

Plan

1^{er} bloc : Défis des sciences cognitives et perspective évolutive sur l'émergence des systèmes nerveux

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action : des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif

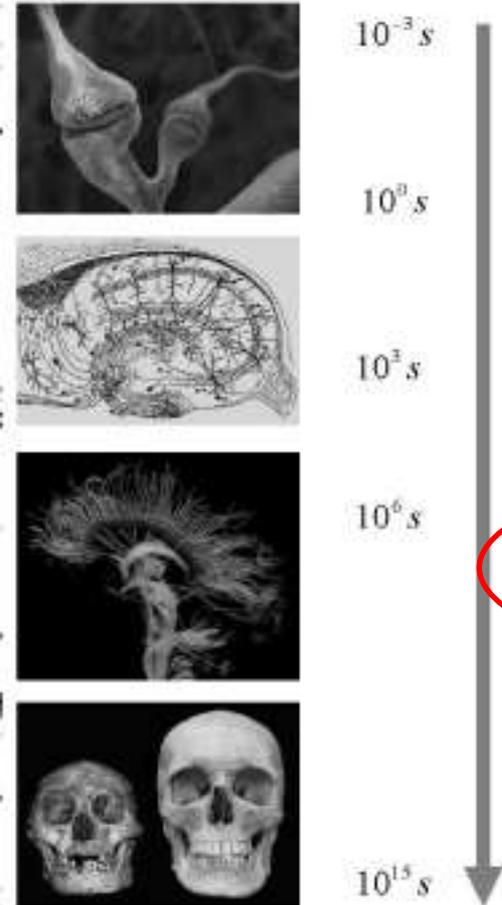
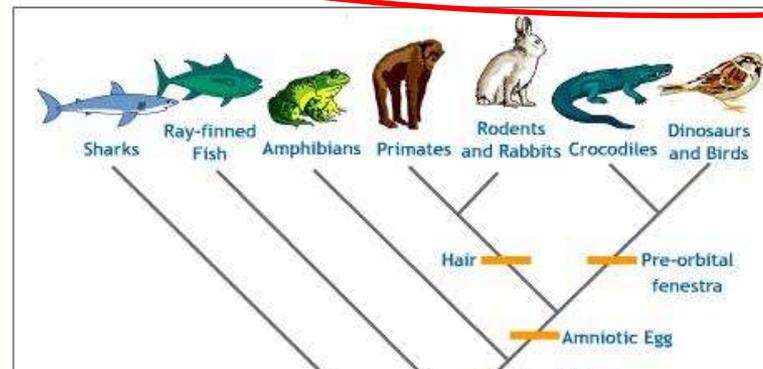
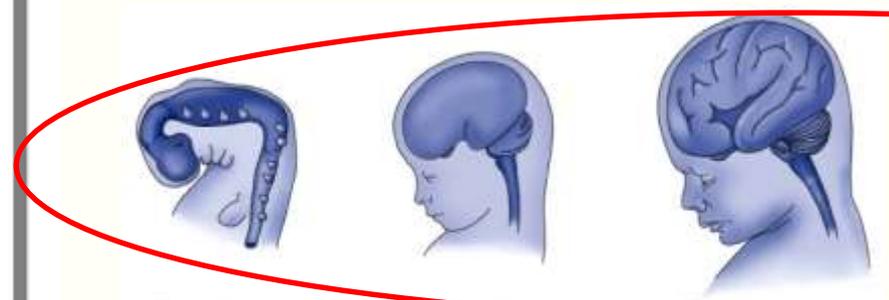
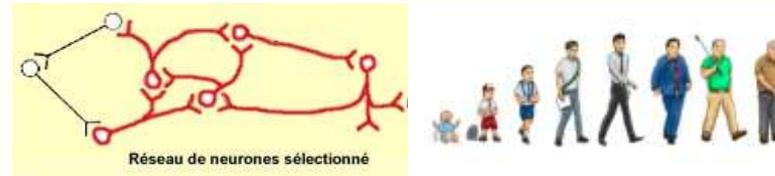
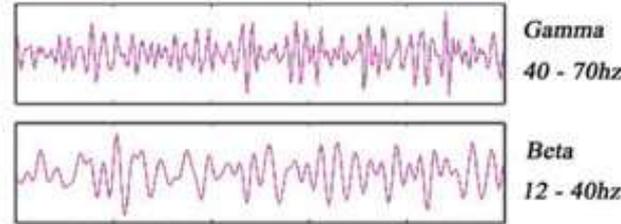
À différentes échelles de temps : que des processus dynamiques

Perception et action devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement

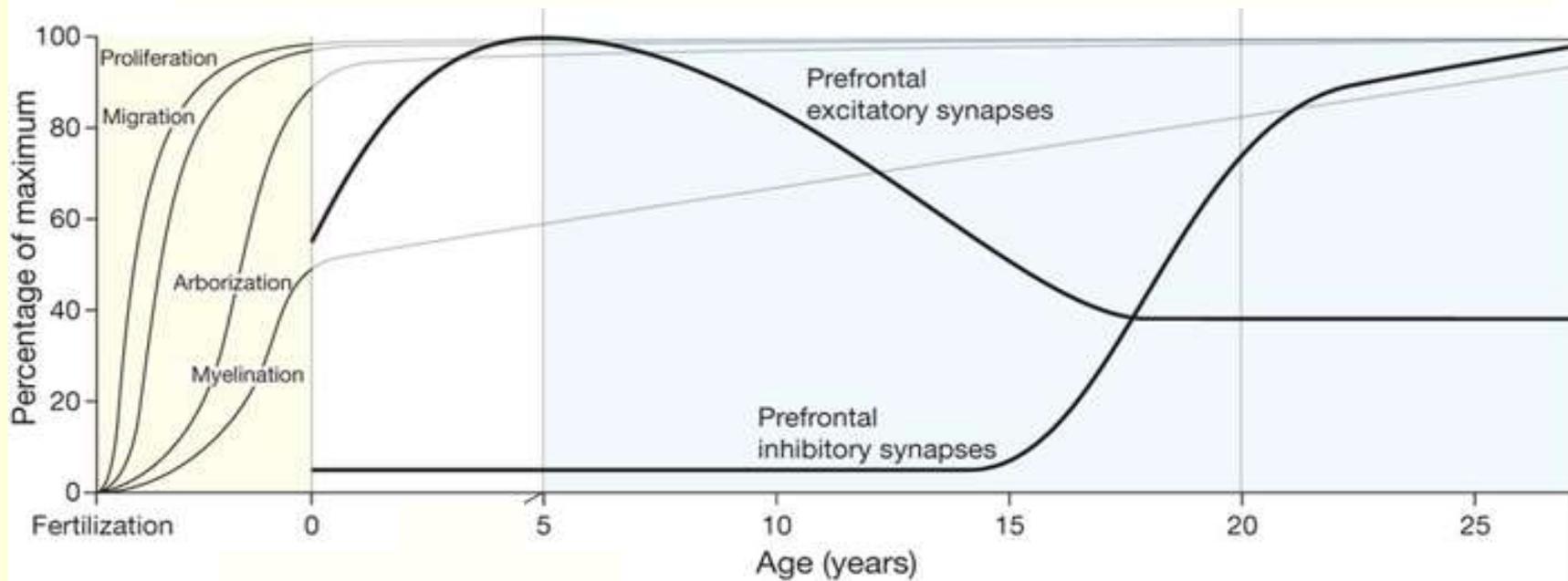
L'apprentissage durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones

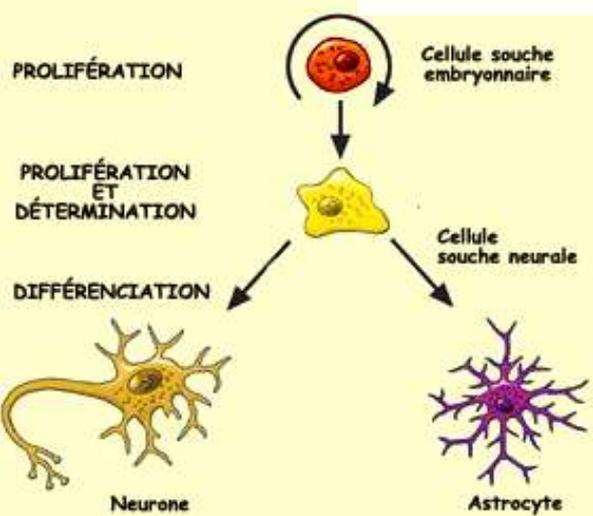
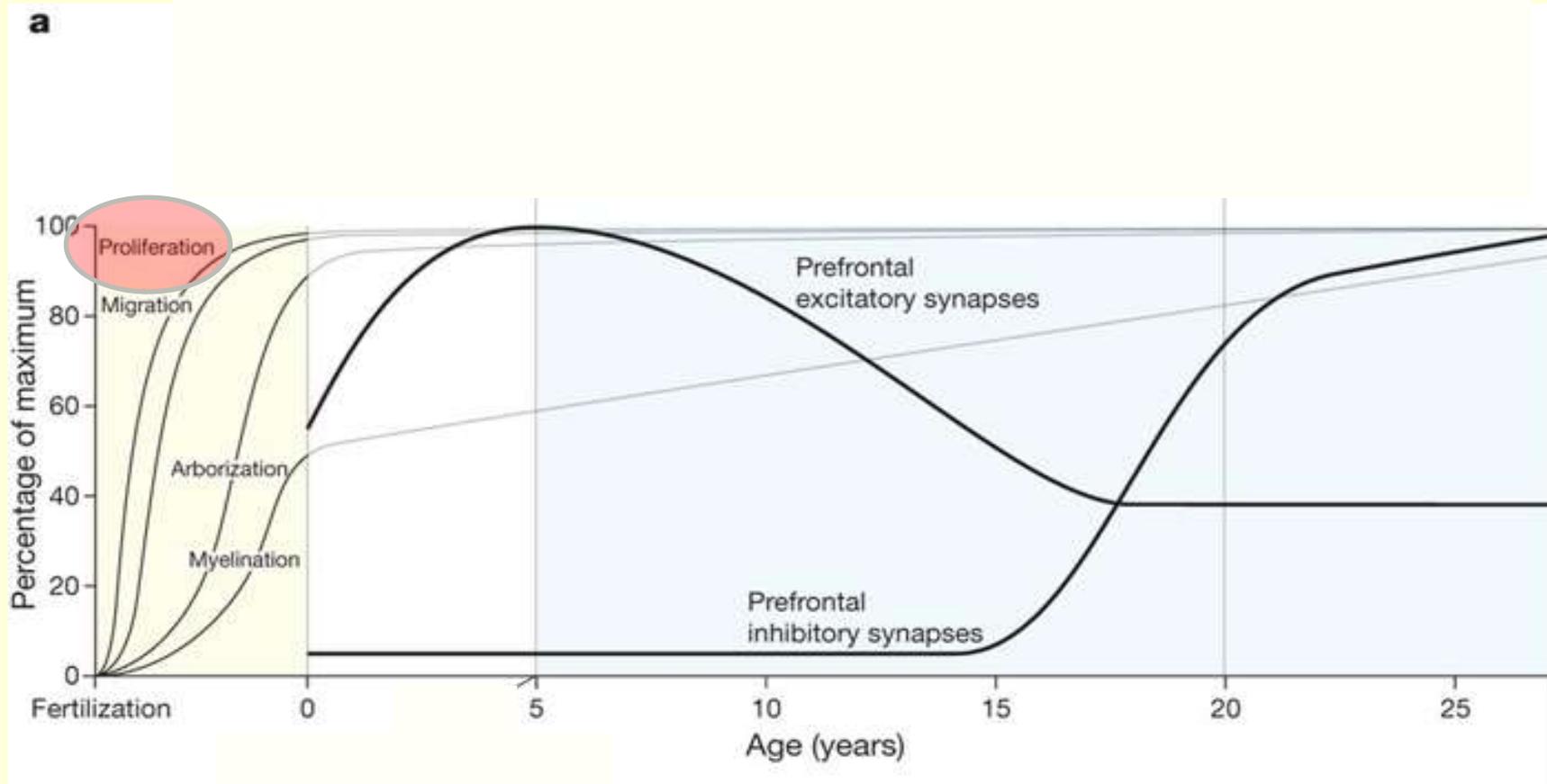
Développement du système nerveux (incluant des mécanismes épigénétiques)

Évolution biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux

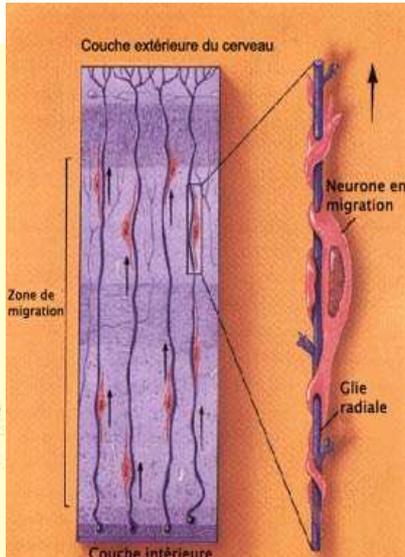
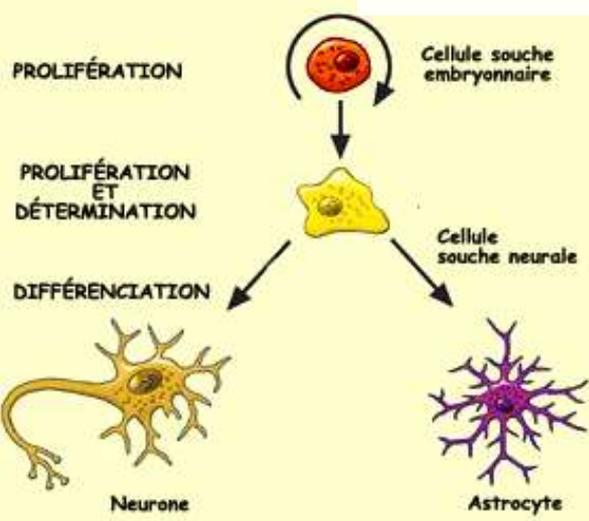
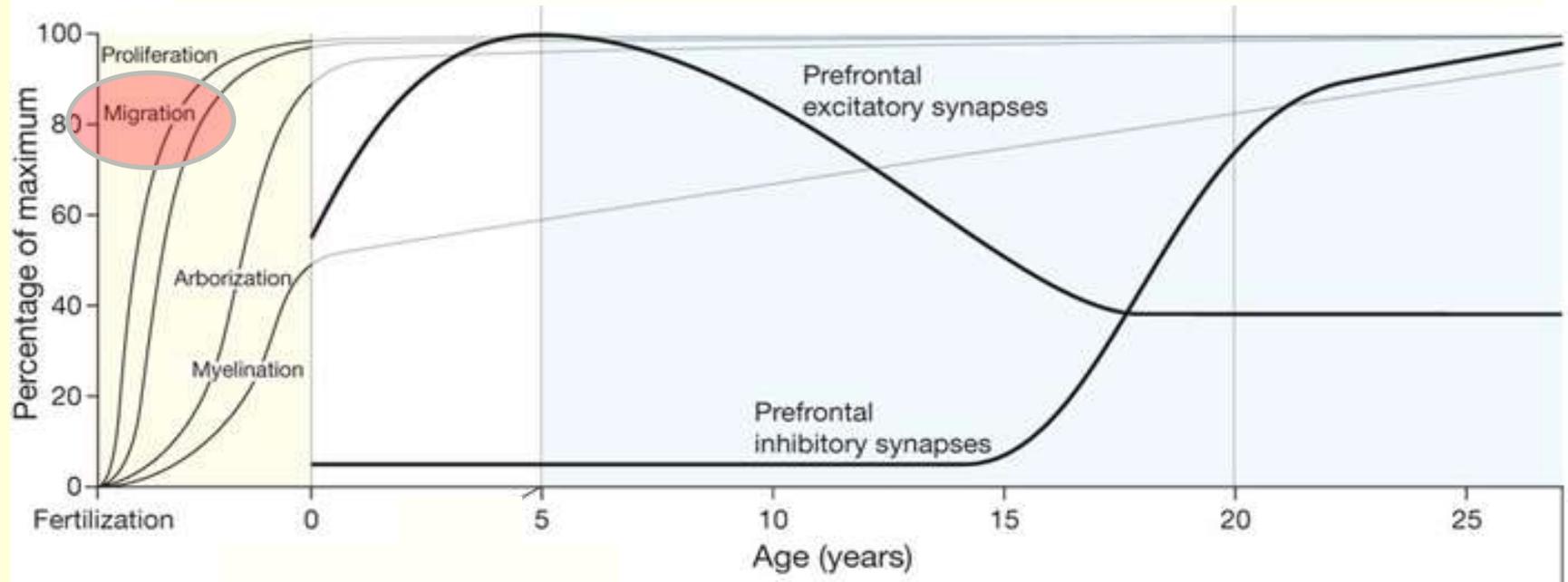


a

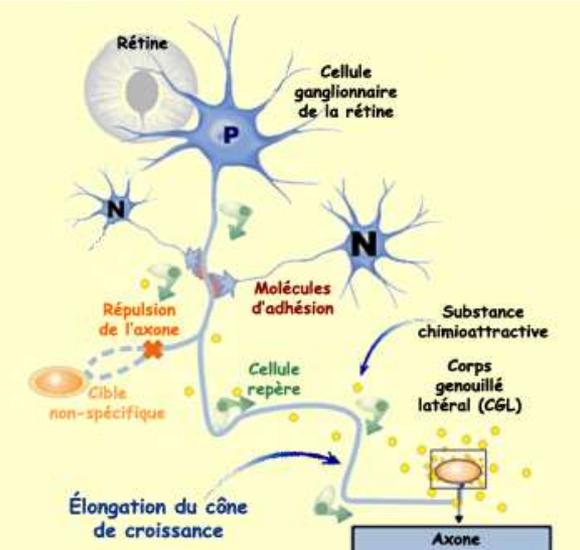
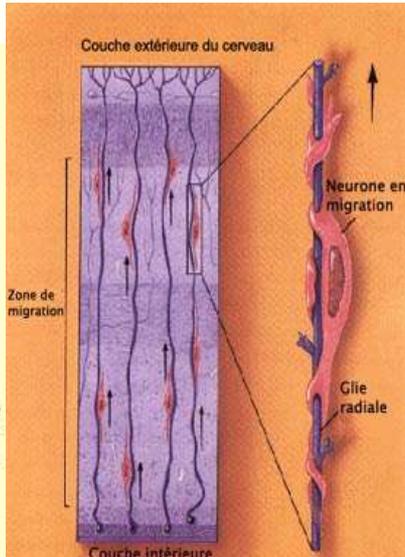
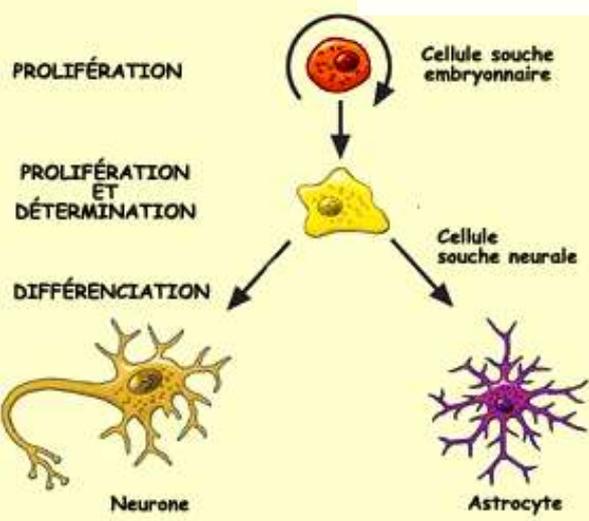
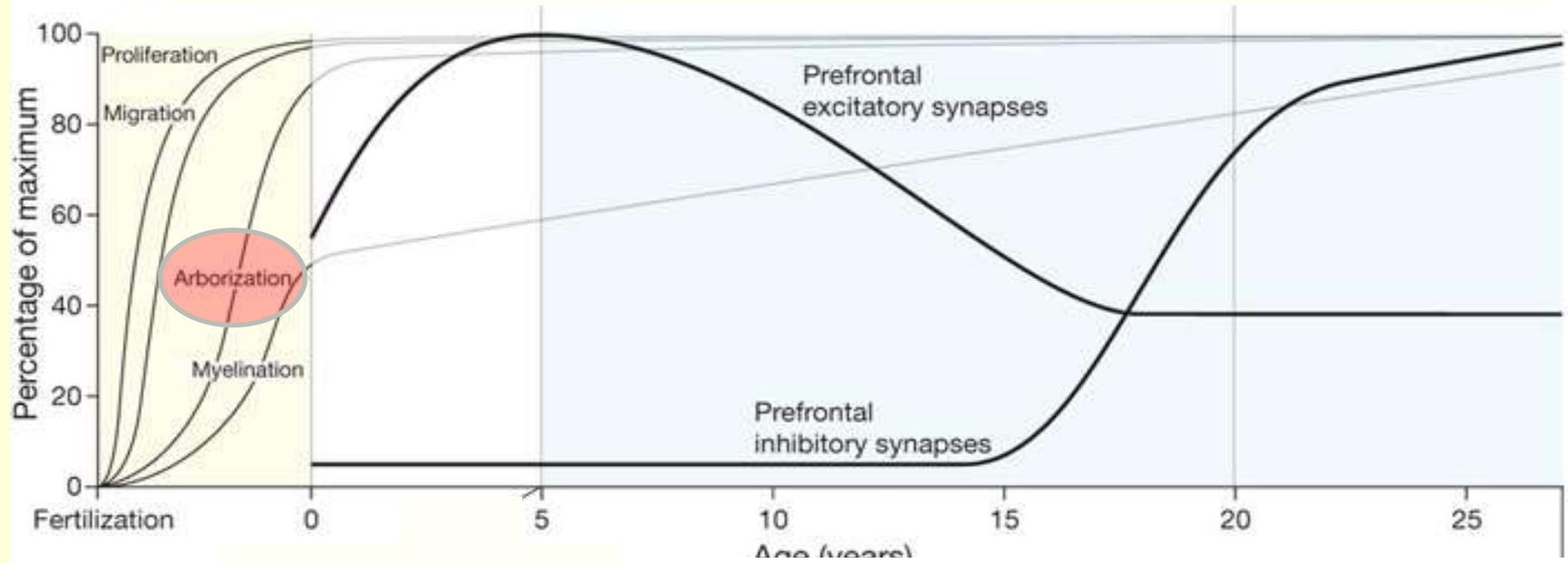




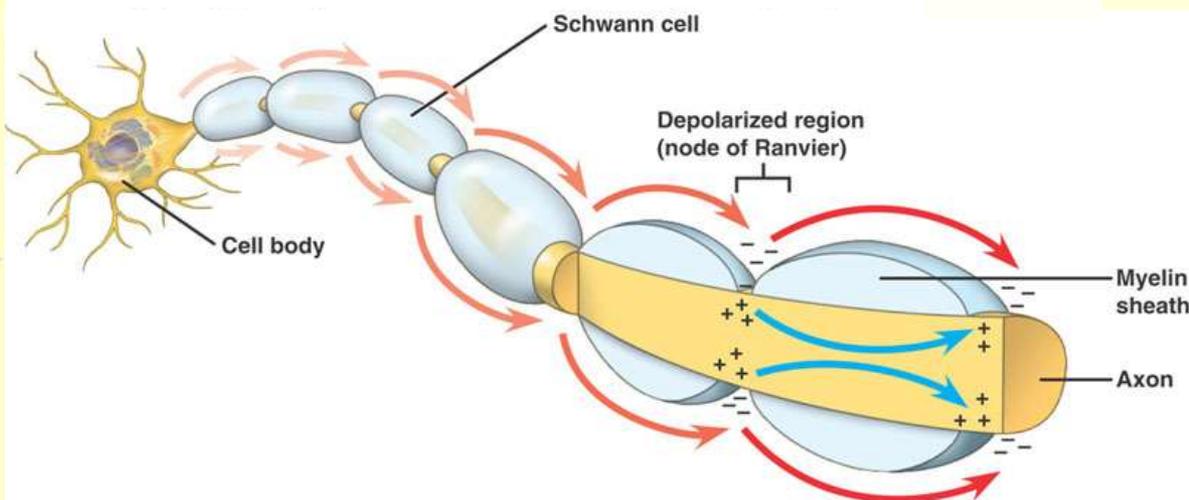
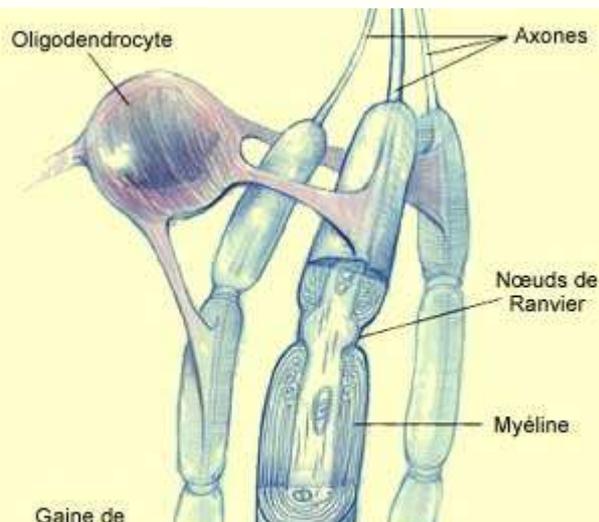
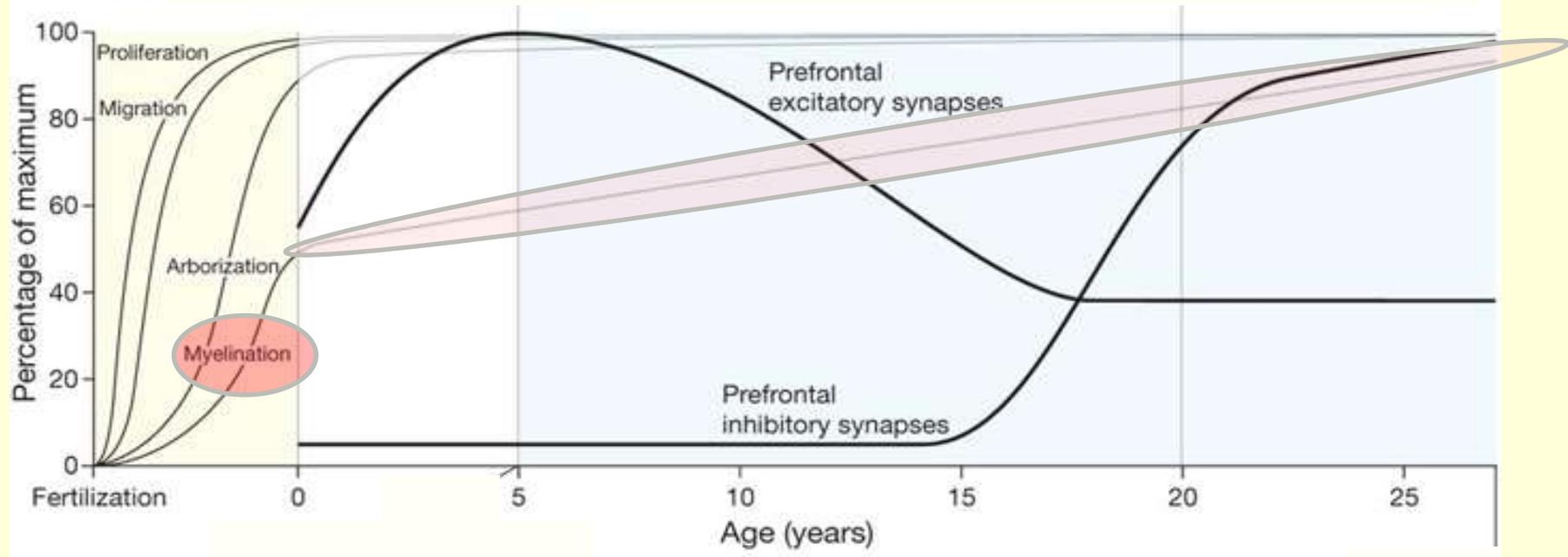
a



a

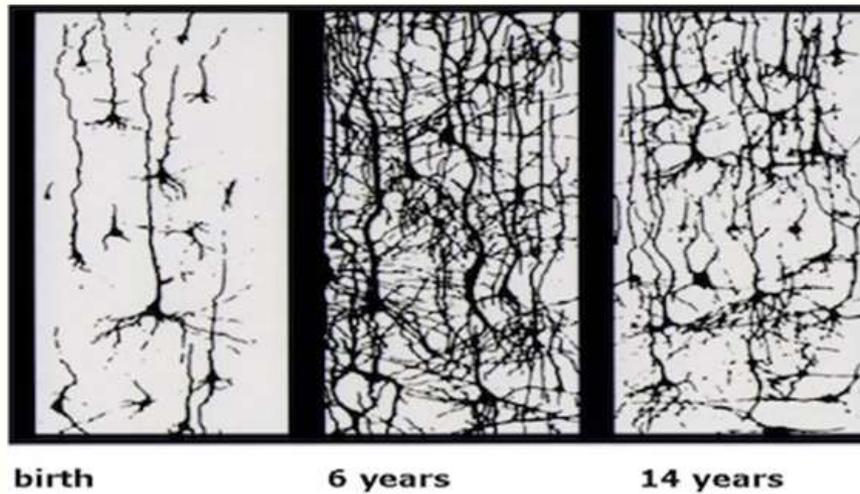
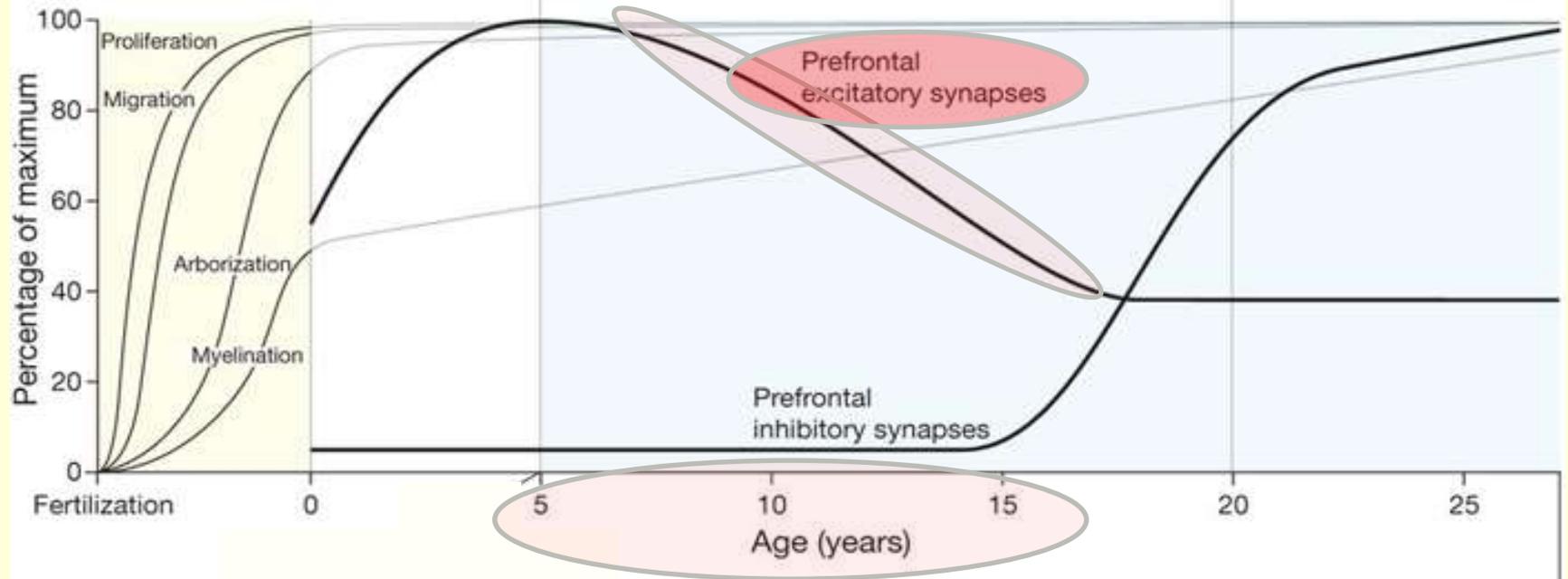
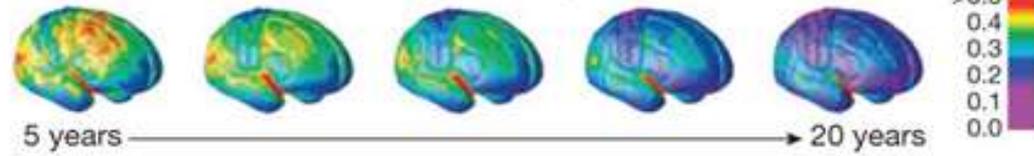


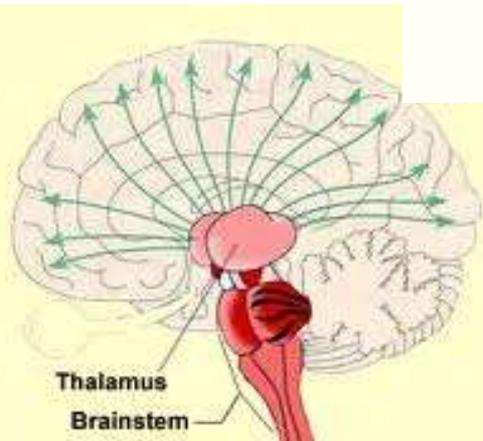
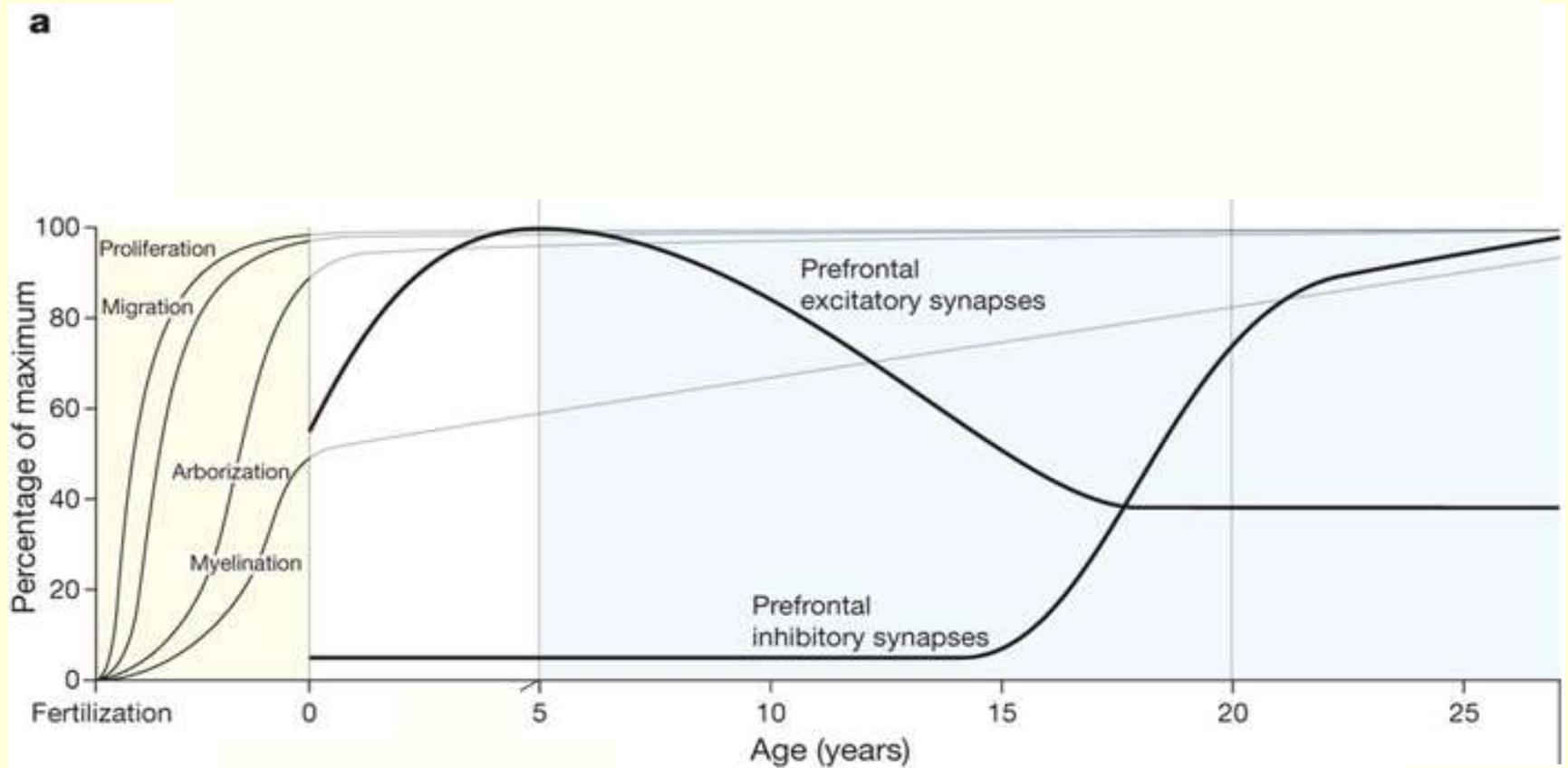
a



a

Grey-matter volume changes during normal development





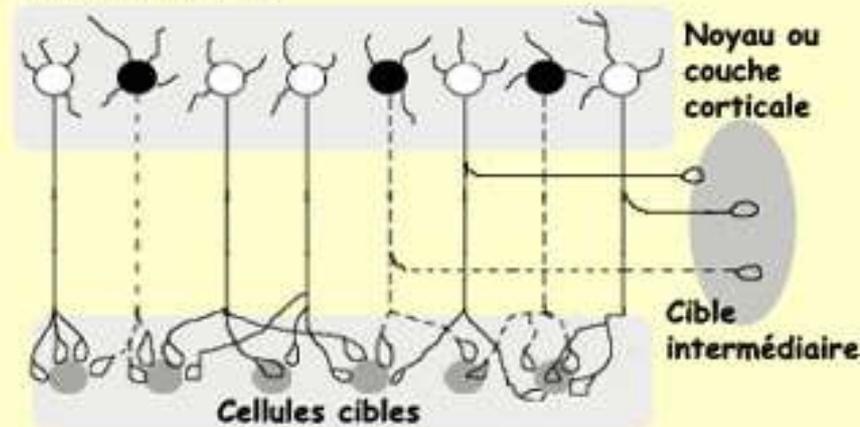
Donc **après la naissance**, dans les **premières années de vie** surtout, les connexions entre les neurones vont être ajustée plus finement par les **inputs extérieurs** en provenance du thalamus.

Autrement dit, des **interactions** de l'enfant avec **l'environnement**.

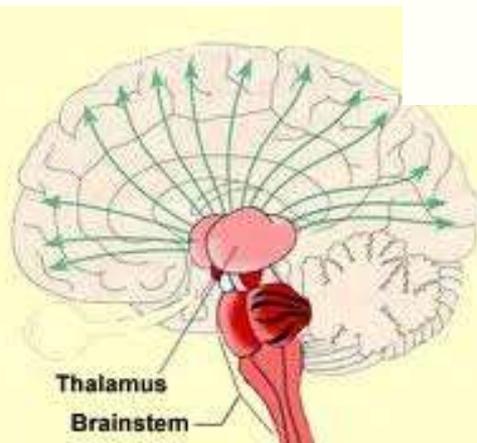
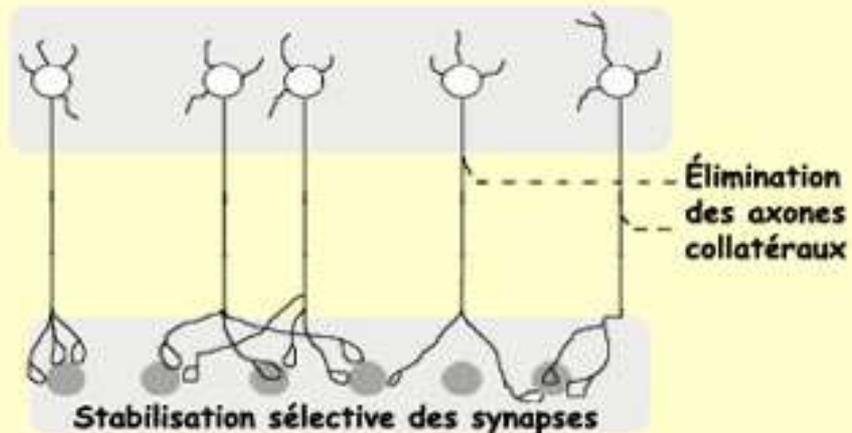
Durant ces interactions « online » certains mécanismes « **épigénétiques** » sont à l'œuvre comme :

- la **stabilisation** et **l'élimination** sélective de certaines synapses moins utilisées
- l'ajustement de la taille de la population neuronale par la **mort neuronale** (ou apoptose)

A Mort neuronale



B Ajustement des circuits neuronaux

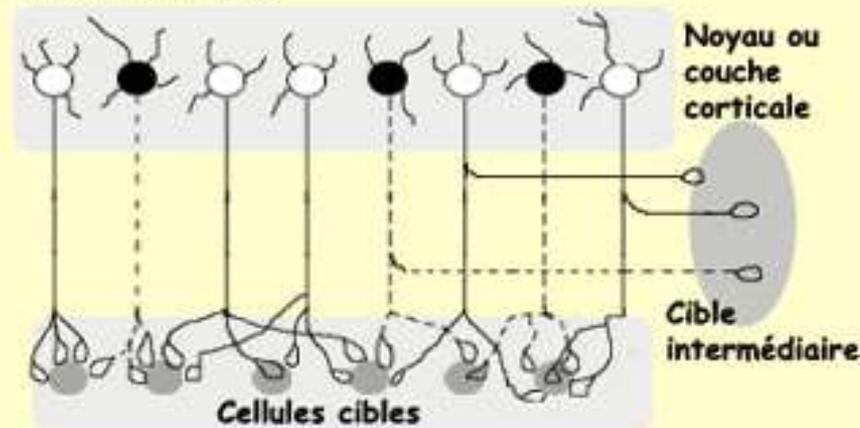


Durant ces interactions « online » certains mécanismes « **épigénétiques** » sont à l'œuvre comme :

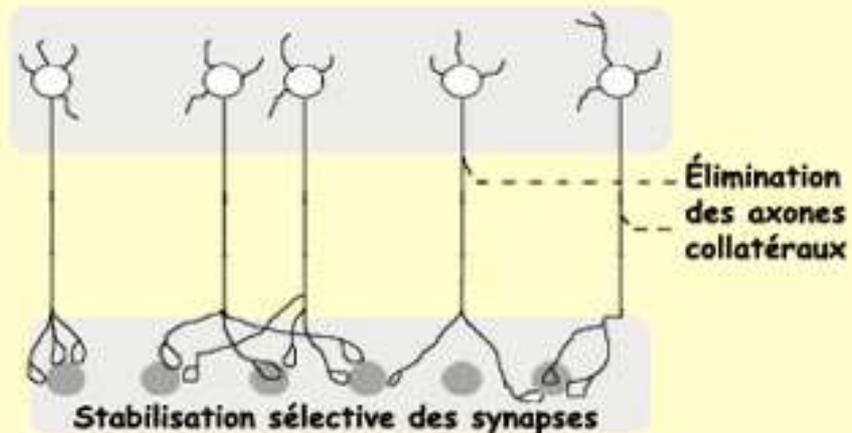
- la **stabilisation** et **l'élimination** sélective de certaines synapses moins utilisées
- l'ajustement de la taille de la population neuronale par la **mort neuronale** (ou apoptose)

→ Orchestré par des **facteurs de croissance** sécrétés par les cellules cibles suite à des stimulations sensorielles en provenance du monde extérieur.

A Mort neuronale



B Ajustement des circuits neuronaux



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

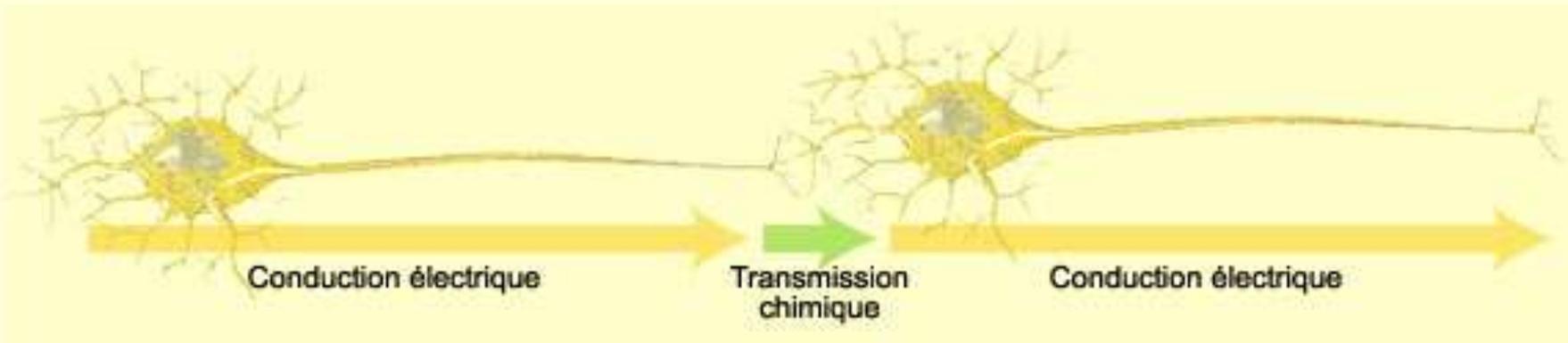
Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

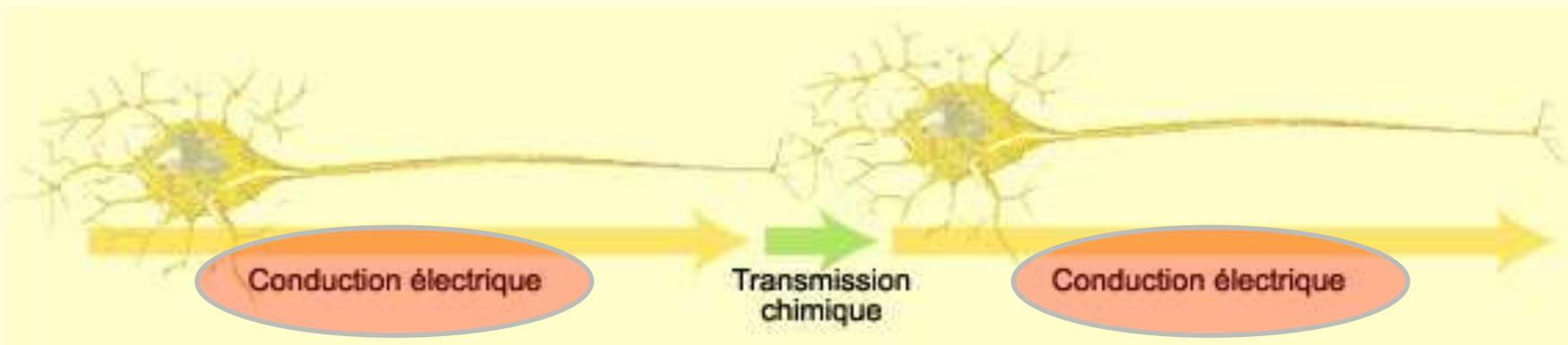
Prise de décision

Le cerveau prédictif

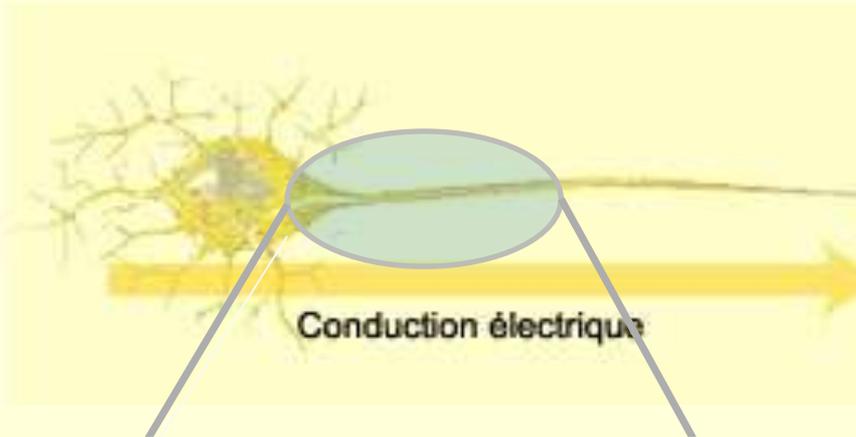
On finalise donc notre développement grâce à l'activité dans nos circuits de neurones



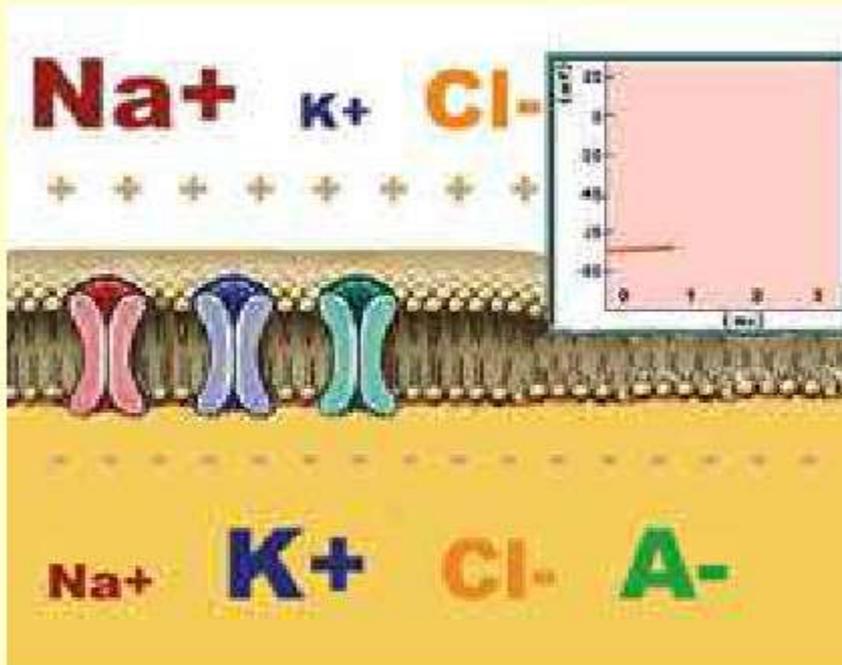
générée par les **interactions** répétées de notre boucle sensori-motrice avec notre **environnement**.



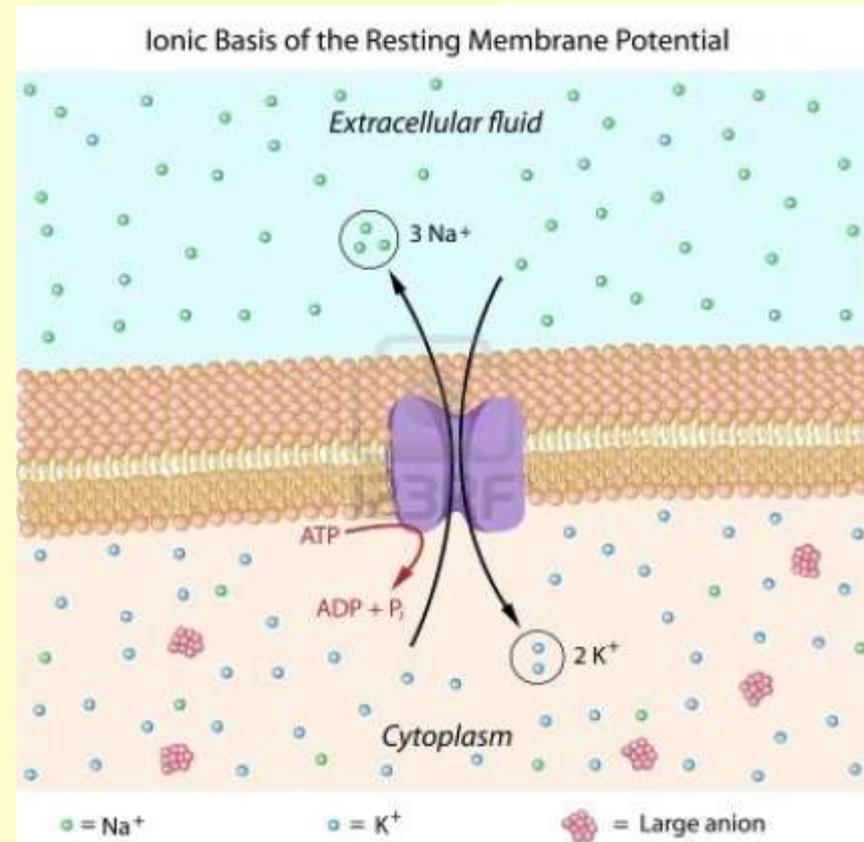
Vous savez que cette activité nerveuses dans les circuits neuronaux est rendue possible par **deux mécanismes complémentaires**

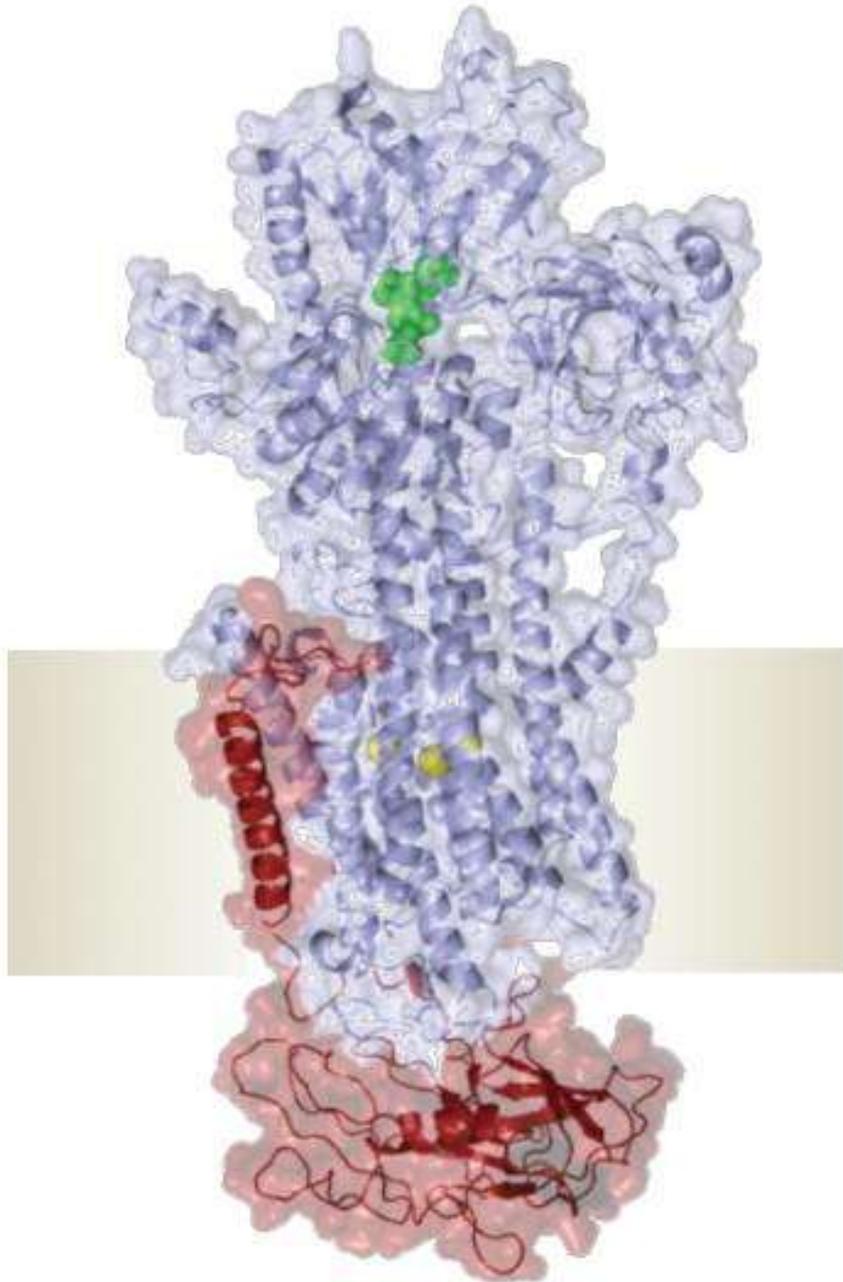


La pompe Na/K

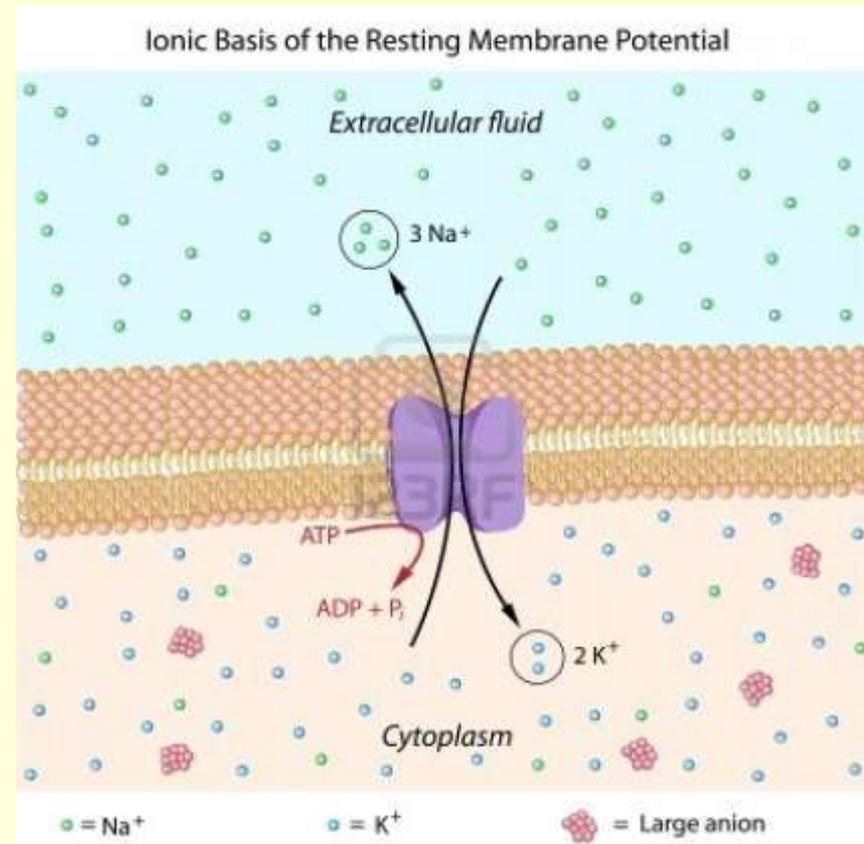


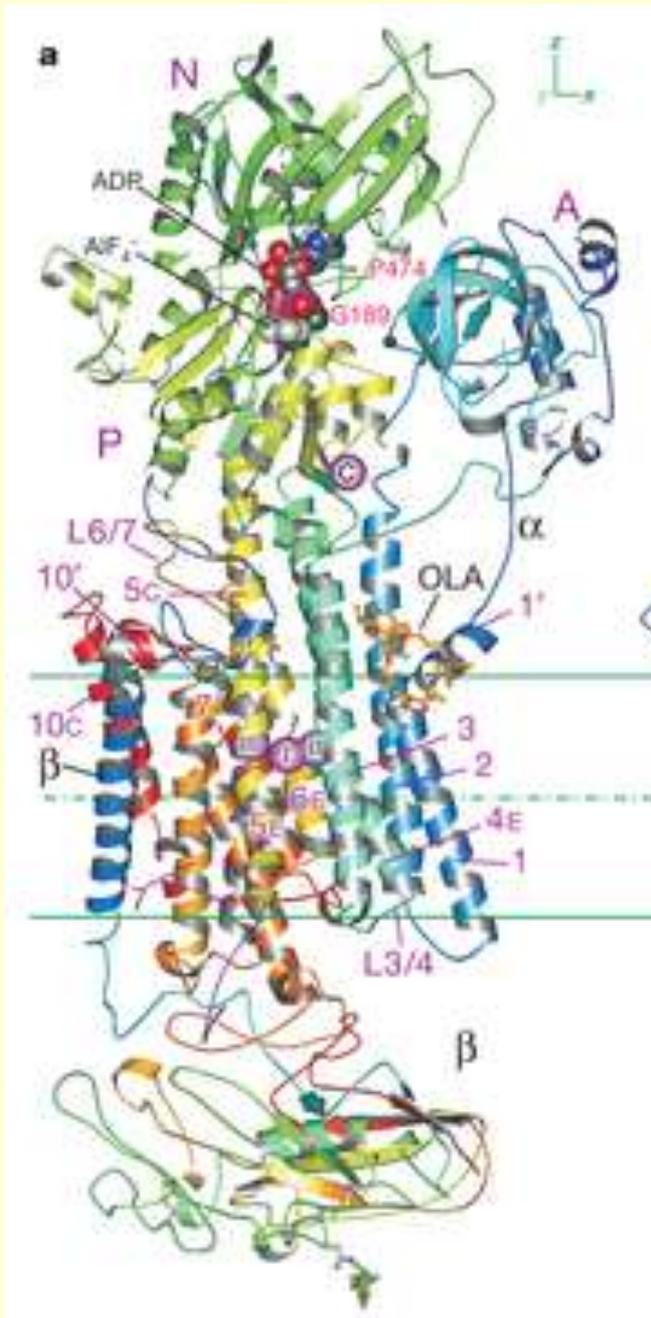
Étapes : 1 - 2 - 3 - 4





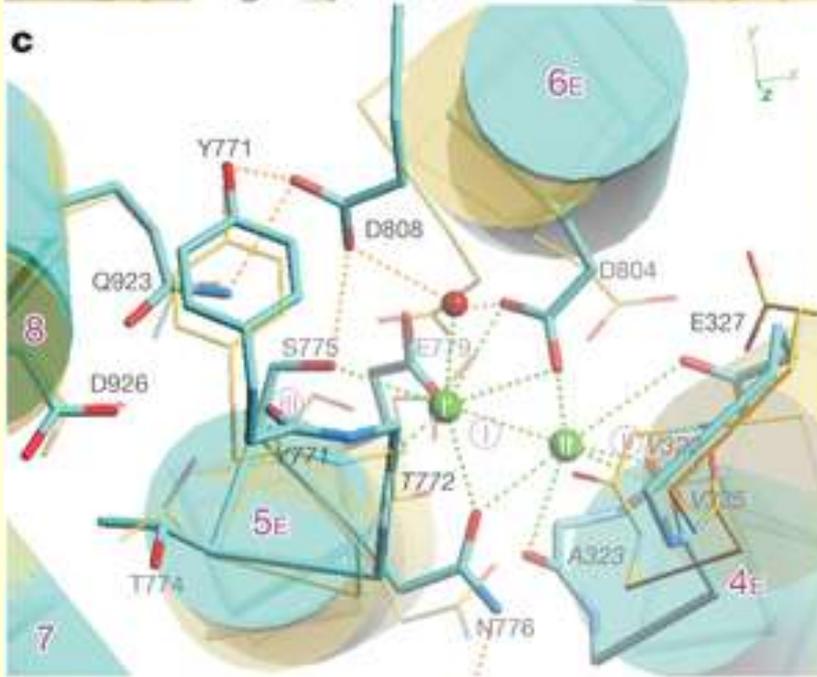
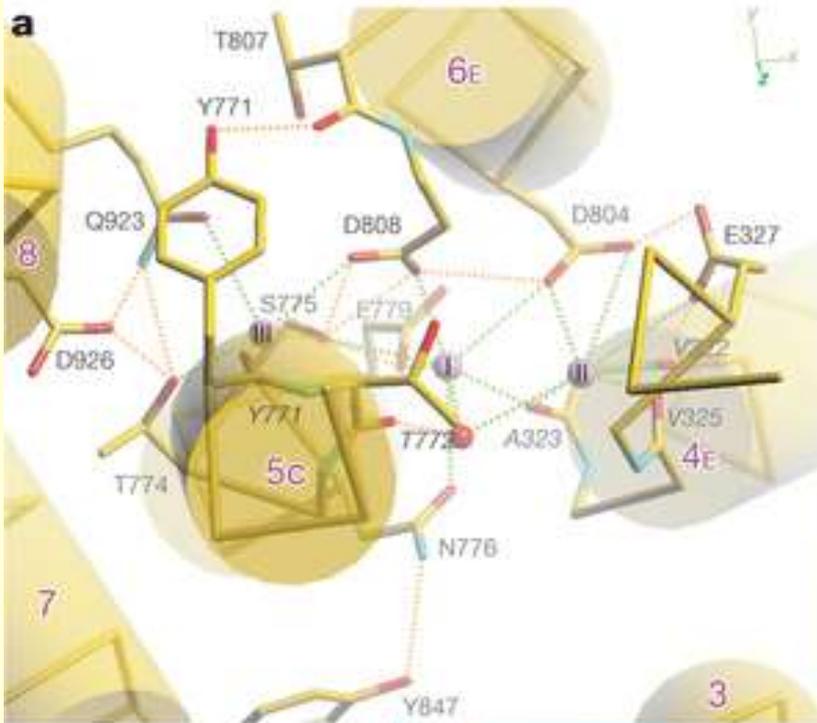
La pompe Na/K

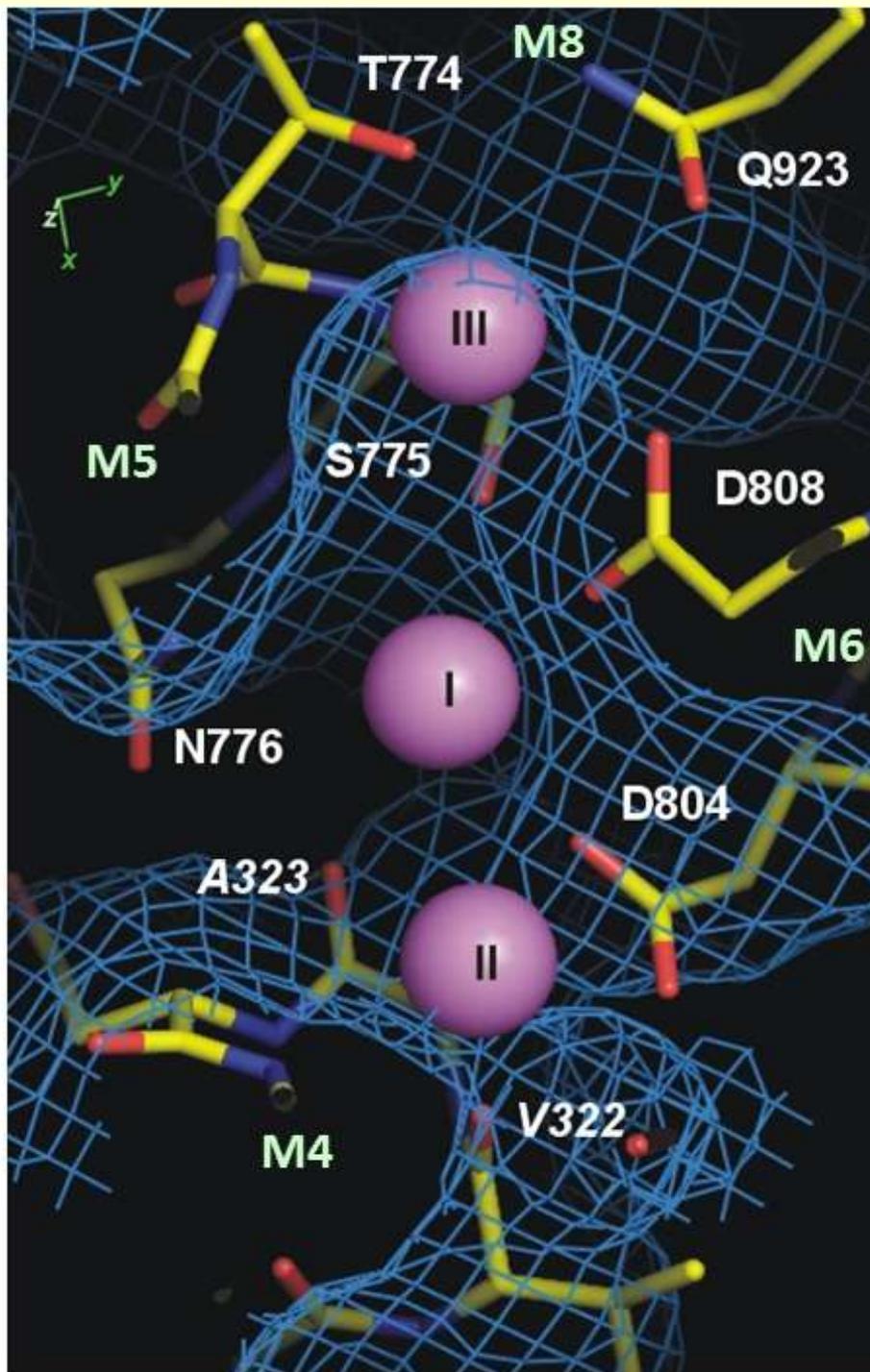




C'est seulement en **2009**,
que sa structure globale
a pu être observée.

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.**





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**

et maintient ainsi le potentiel de repos du neurone qui rendra possible les potentiel d'action, et ultimement la pensée...

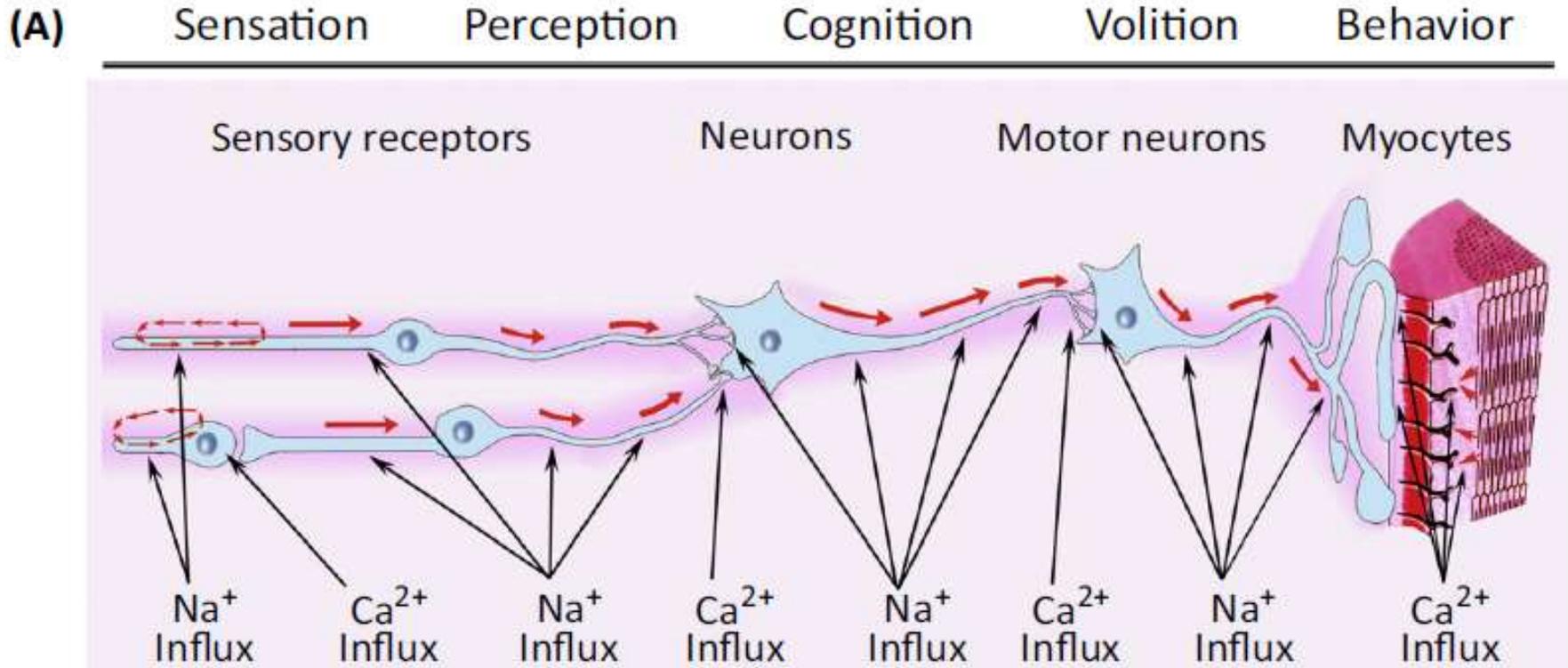
From membrane excitability to metazoan psychology

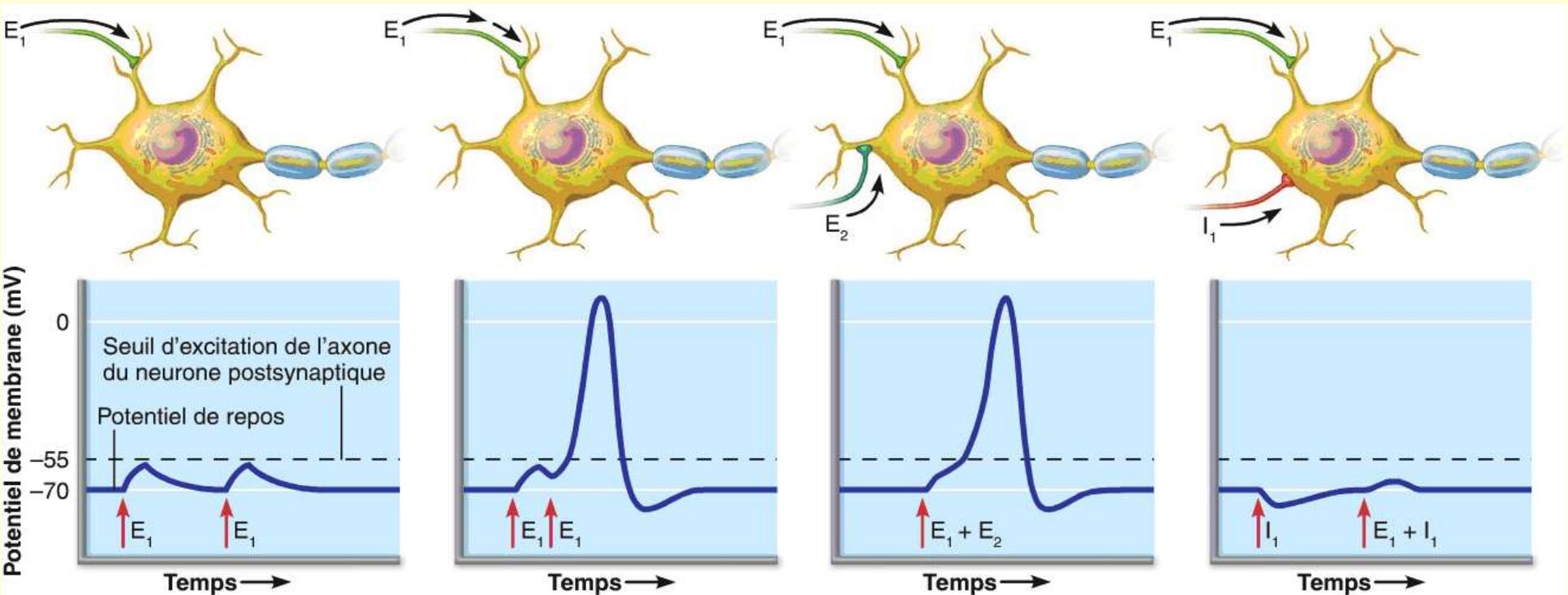
Trends in Neuroscience, Volume 37, Issue 12, p698–705, **December 2014**

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

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

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





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

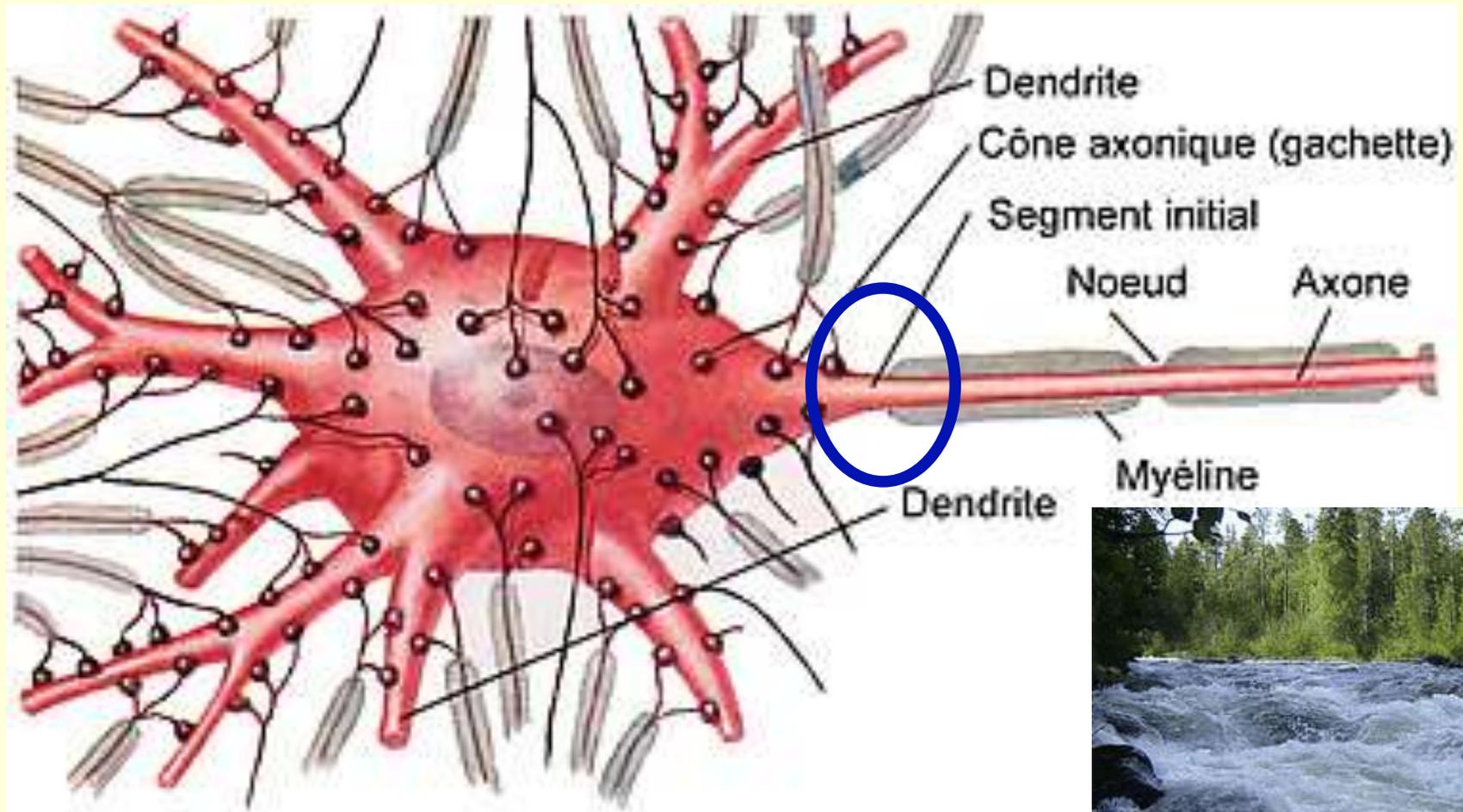
(b) **Sommation temporelle:**
Sommation des PPSE lorsque deux stimulus sont rapprochés dans le temps.

(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.

Concept / Cadre théorique :

Chaque neurone est un **intégrateur dynamique**

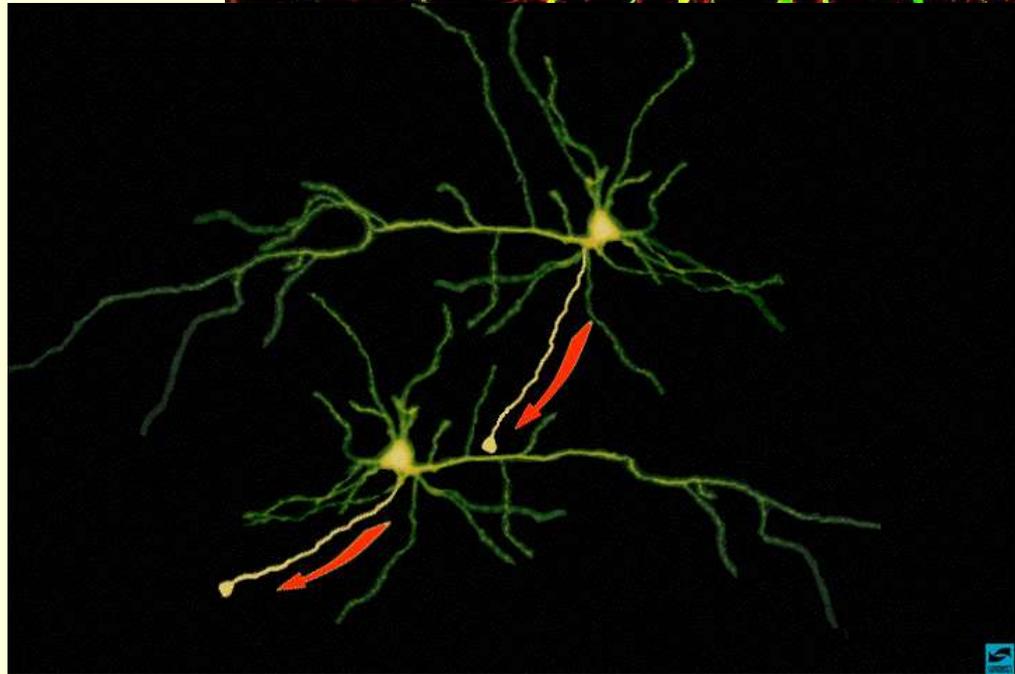
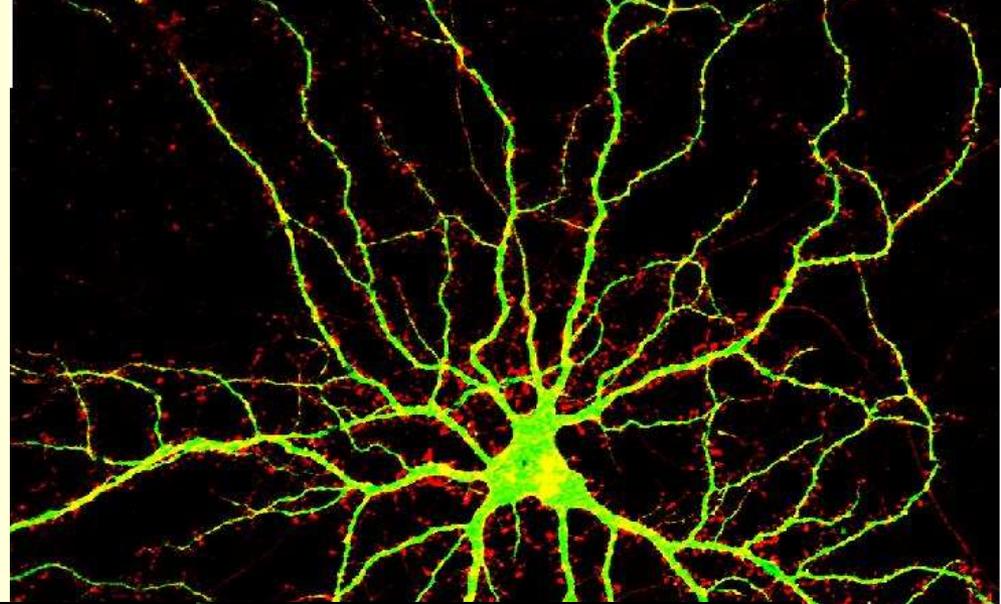


« Le fait qu'une cellule vivante se soit adaptée en une structure capable de recevoir et **d'intégrer** des données,

de **prendre des décisions** fondées sur ces données,

et **d'envoyer des signaux** aux autres cellules en fonction du résultat de cette intégration

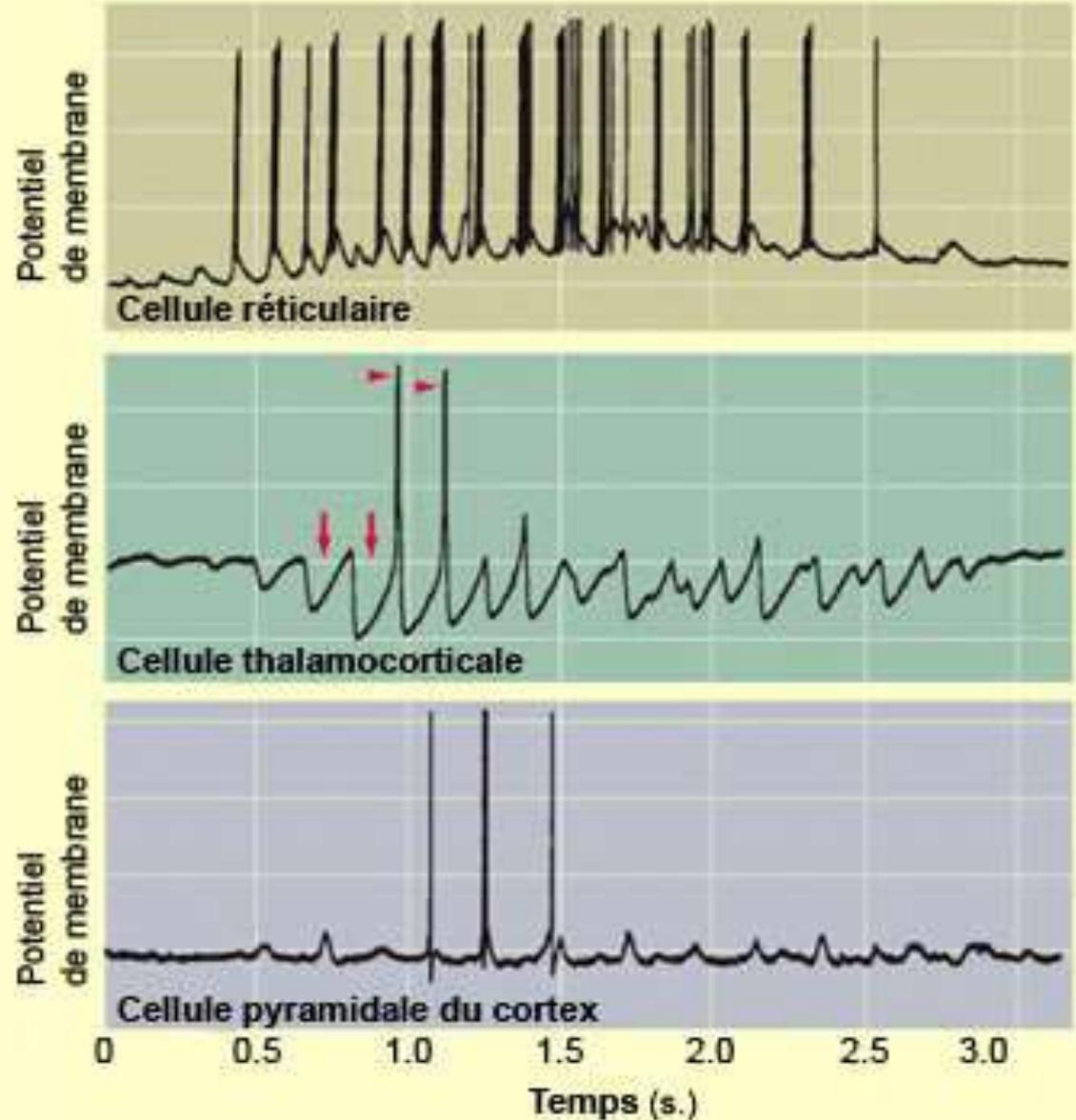
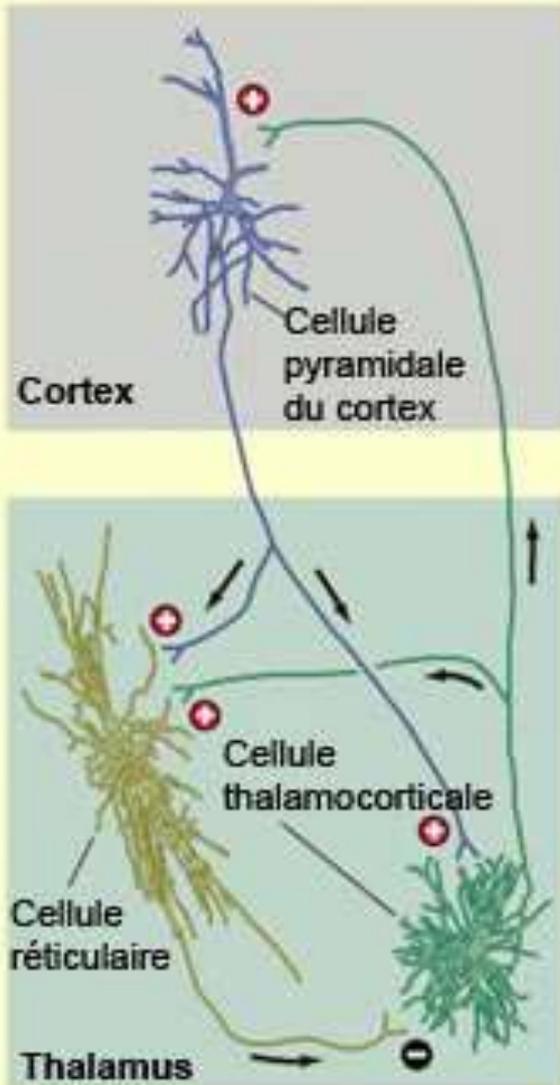
est un exploit remarquable de l'évolution. »

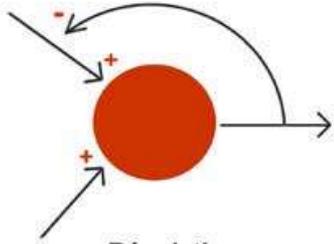
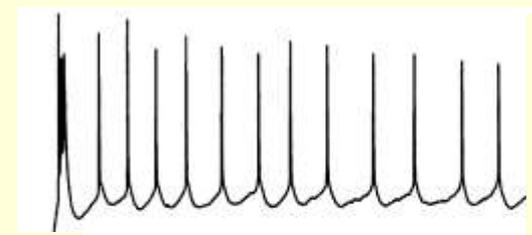
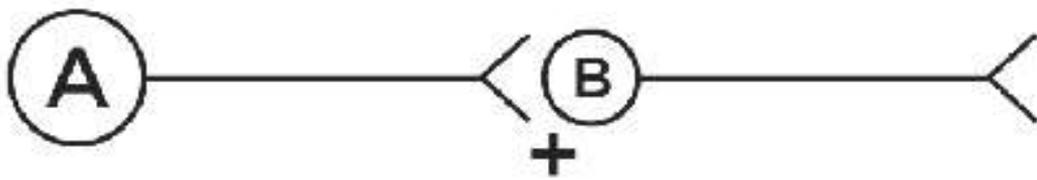


<http://m.cacm.acm.org/magazines/2011/8/114944-cognitive-computing/fulltext>

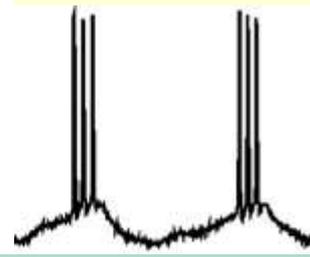
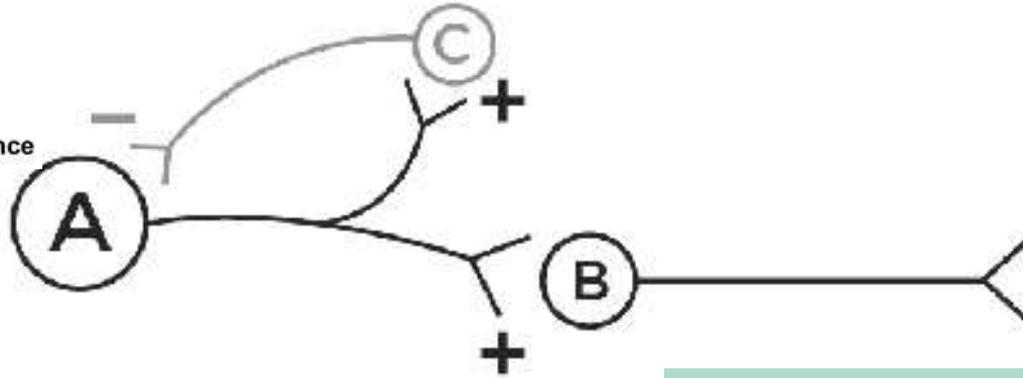
Dharmendra S. Modha, Rajagopal Ananthanarayanan, Steven K. Esser, Anthony Ndirango, Anthony J. Sherbondy, Raghavendra Singh, Communications of the ACM, Vol. 54 No. 8, Pages 62-71 (2011)

Deux neurones, trois neurones, quelques neurones (la grammaire de base du cerveau)

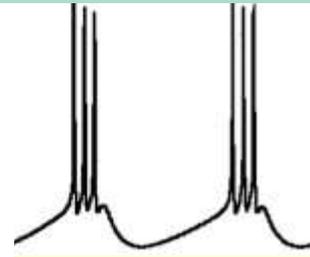
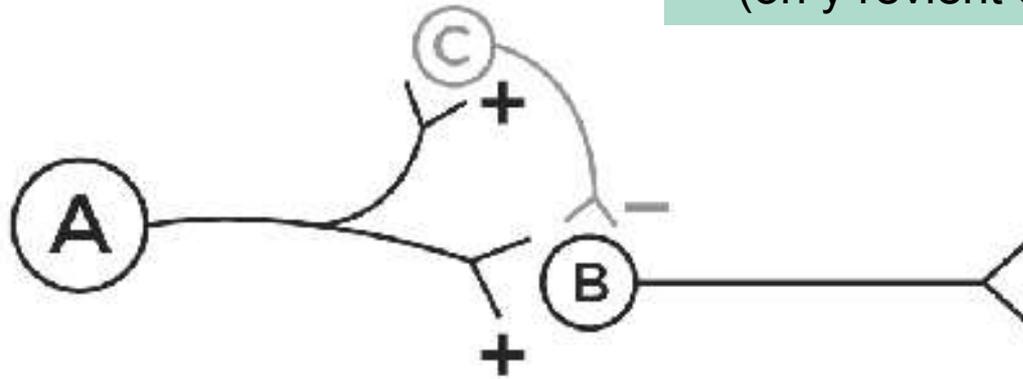




Régulation en constance



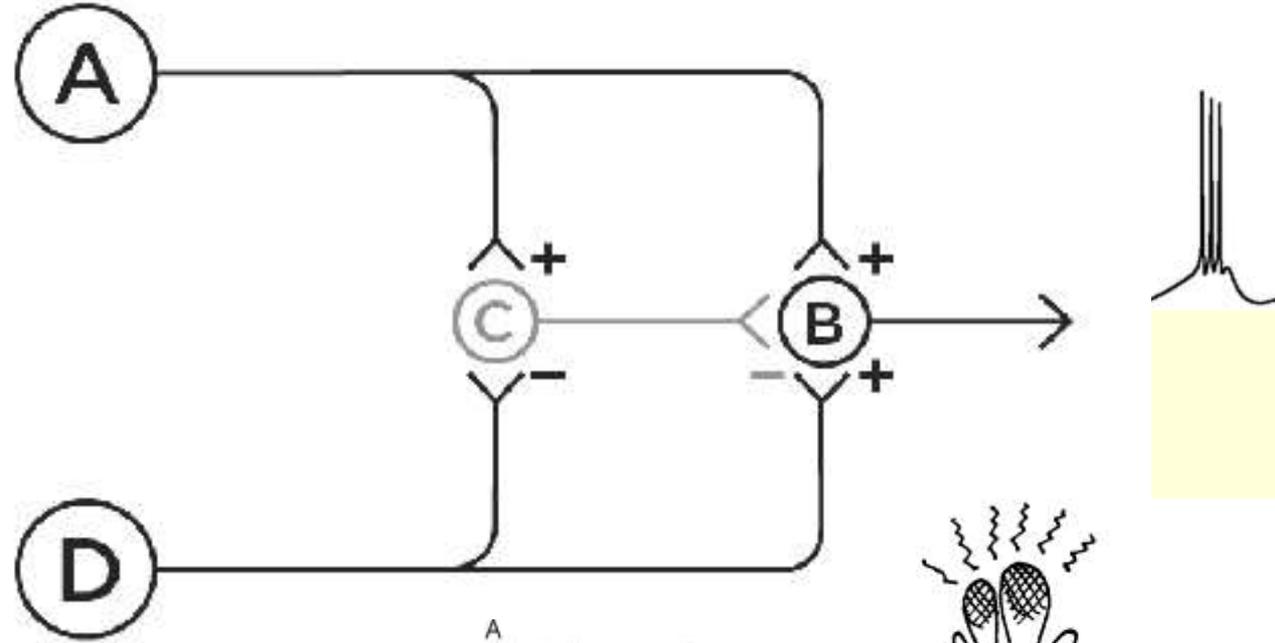
→ Émergence de rythmes !
(on y revient dans un instant...)



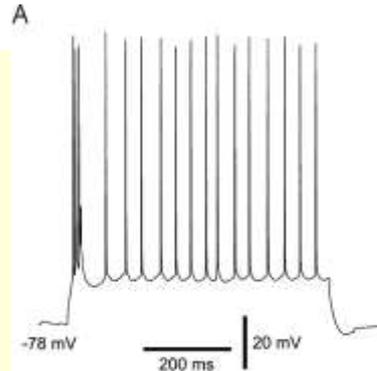
Deux manières d'augmenter le **contraste temporel** (« temporal sharpening »)

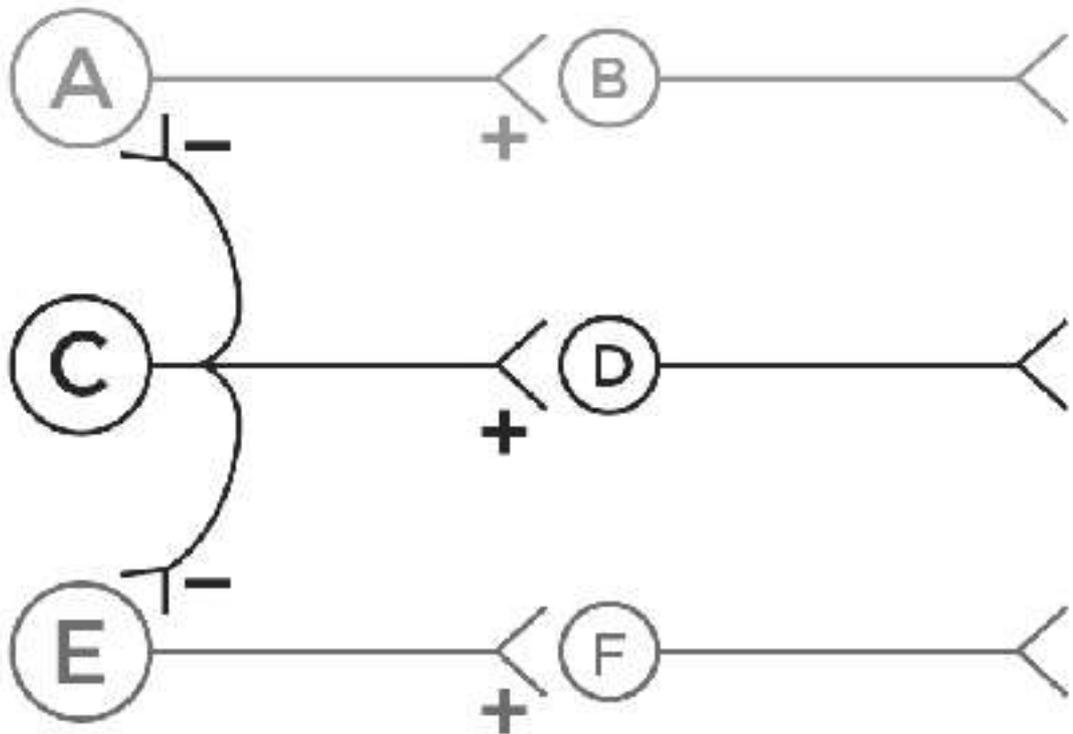


Douleur aguë

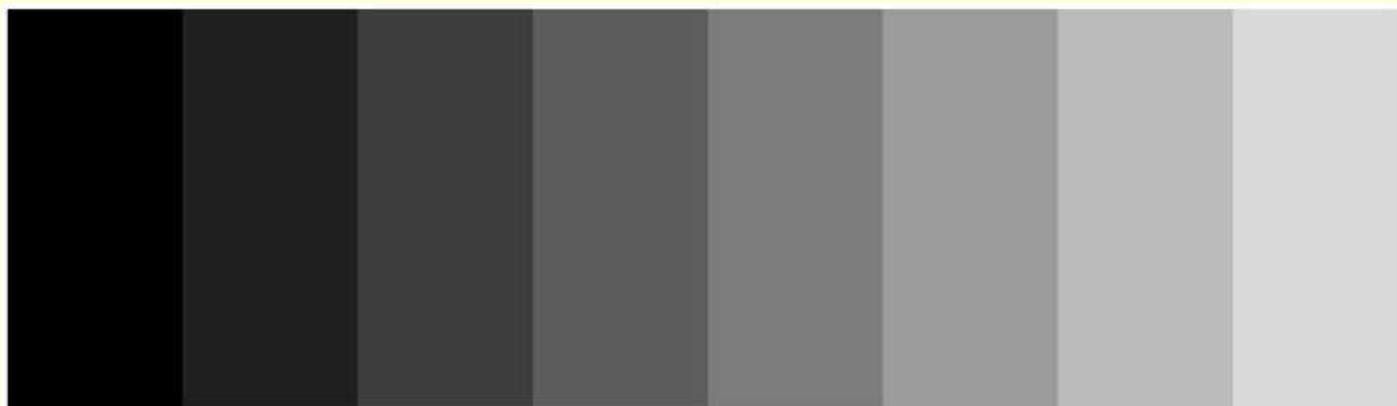
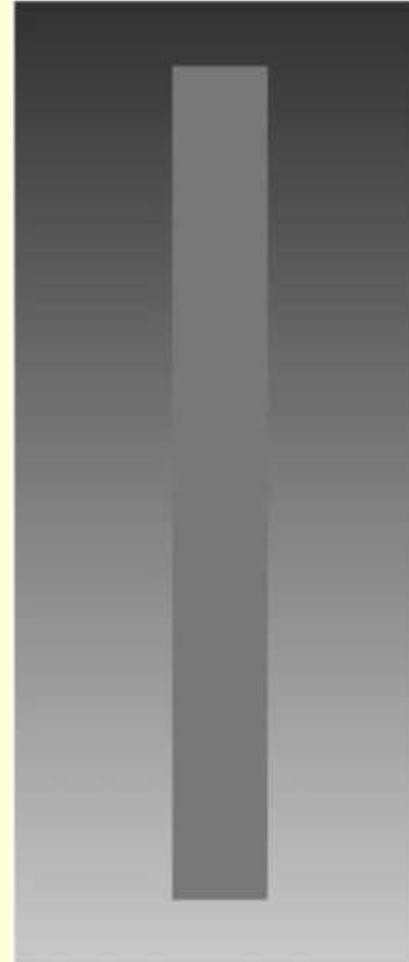


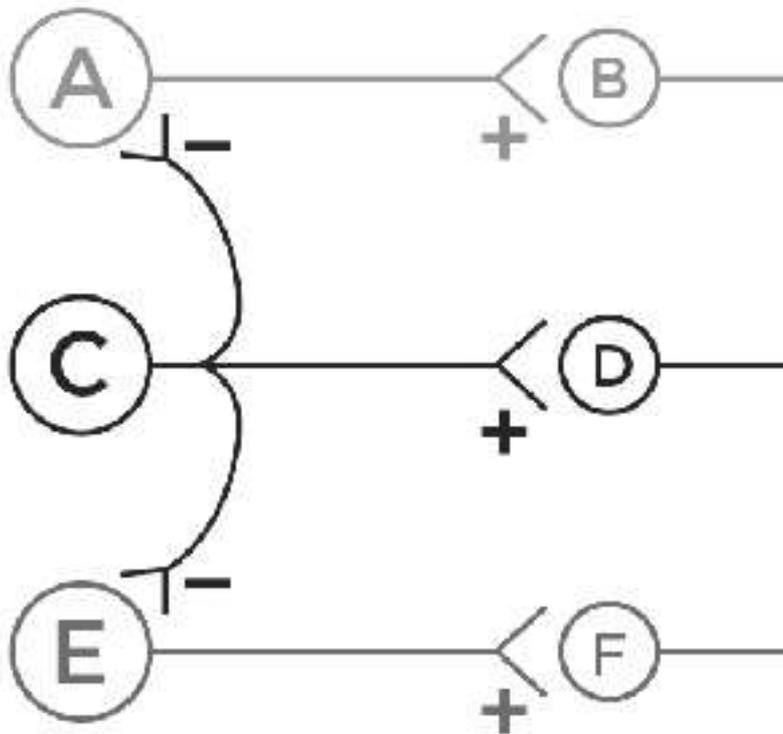
Douleur chronique





Inhibition latérale



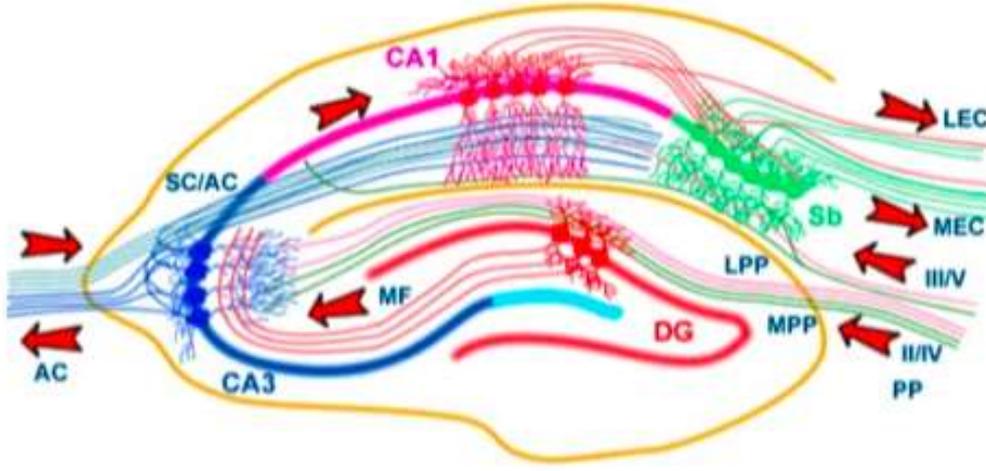


Inhibition latérale

Niveau d'organisation

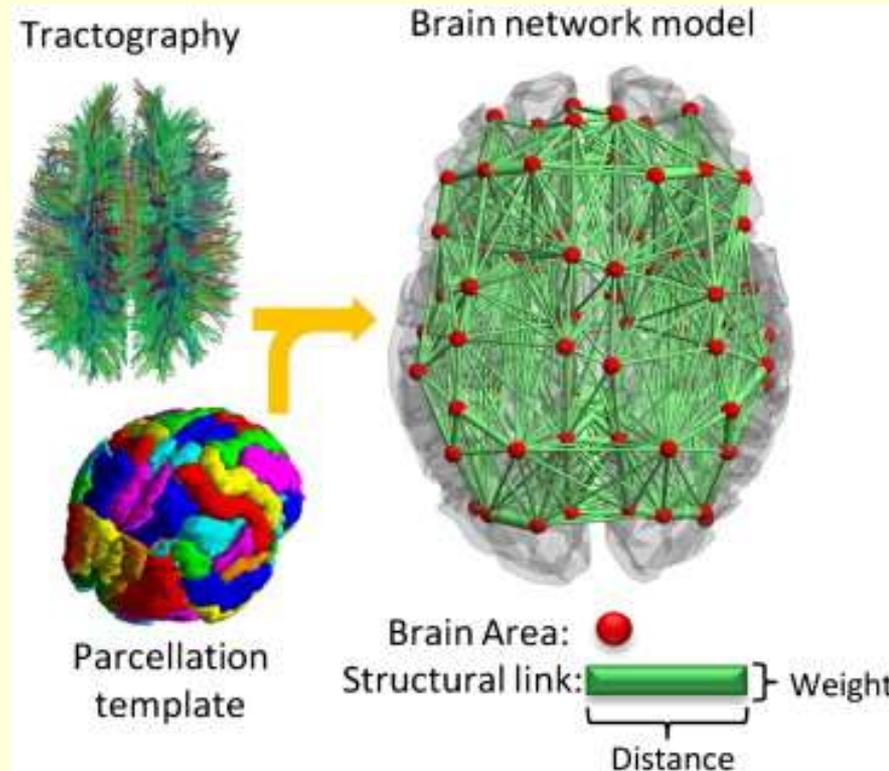
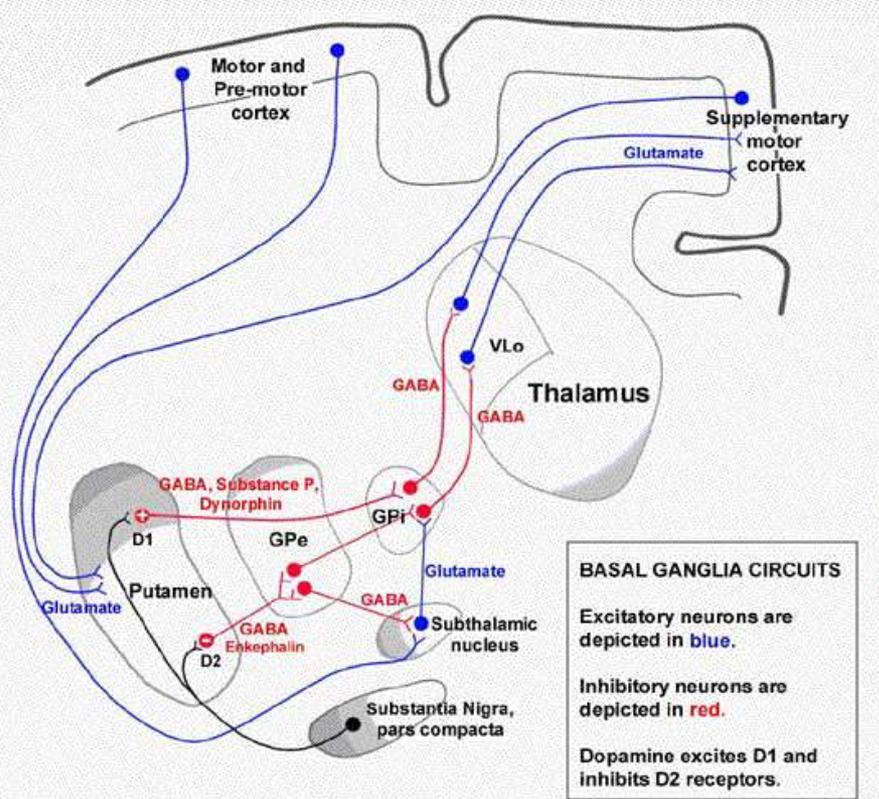
- △ **Social**
- **Psychologique**
- **Cérébral**
- **Cellulaire**
- ▼ **Moléculaire**

Behave
 The Biology of Humans at
 Our Best and Worst
 By Robert M. Sapolsky
<http://www.penguinrandomhouse.com/books/311787/behave-by-robert-m-sapolsky/9781594205071/>



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

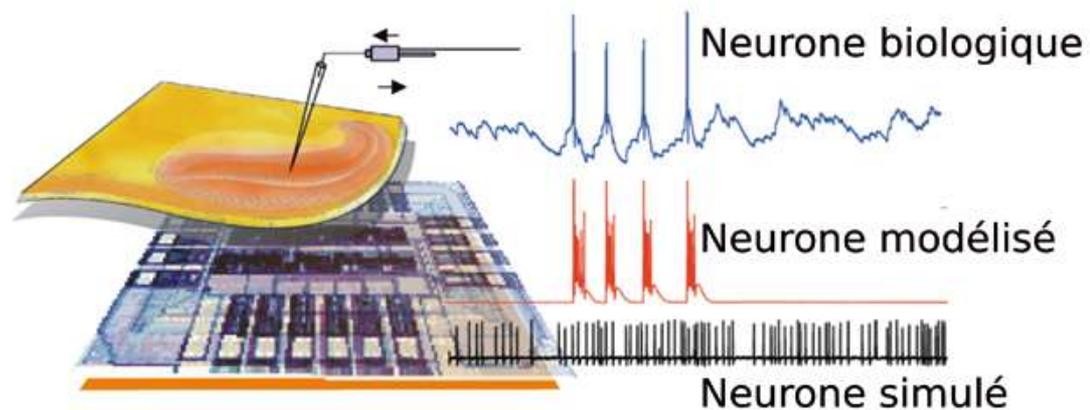
Il y a des circuits à l'échelle de structures cérébrales (hippocampe, noyaux gris centraux...)



C'est l'objet des « neurosciences computationnelles »

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

(l'expression date du milieu des années 1980)



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

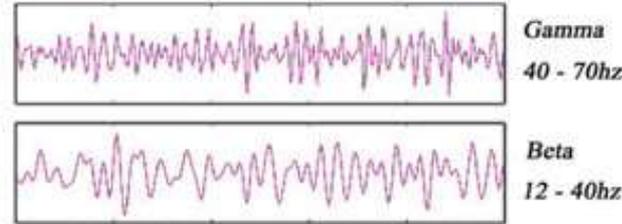
Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

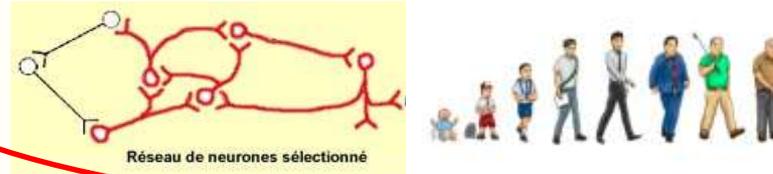
Le cerveau prédictif

À différentes échelles de temps : que des processus dynamiques

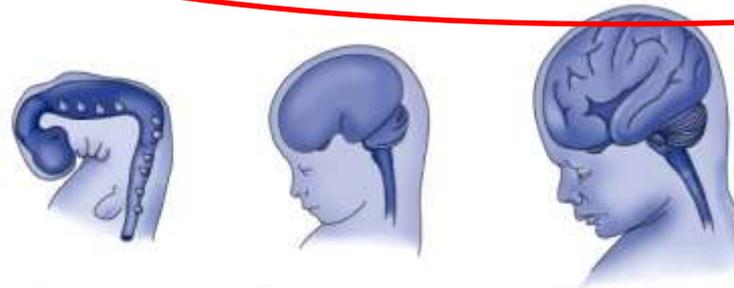
Perception et action devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement



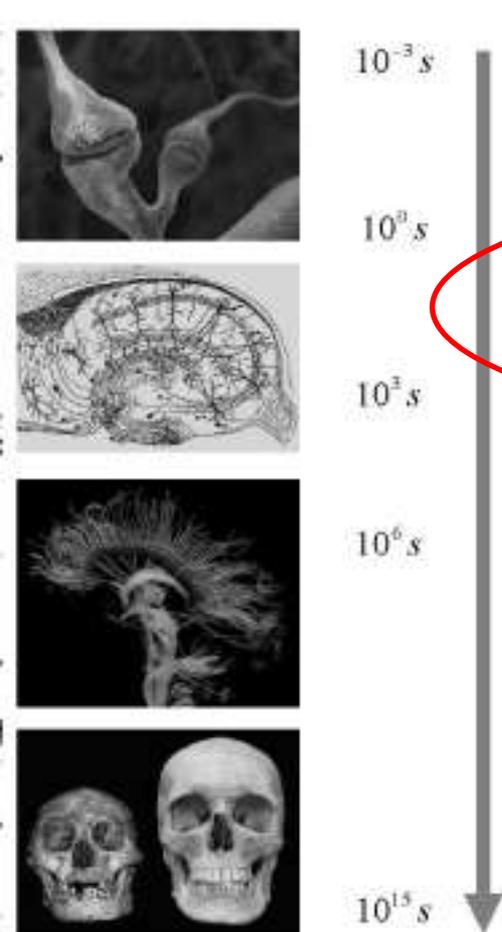
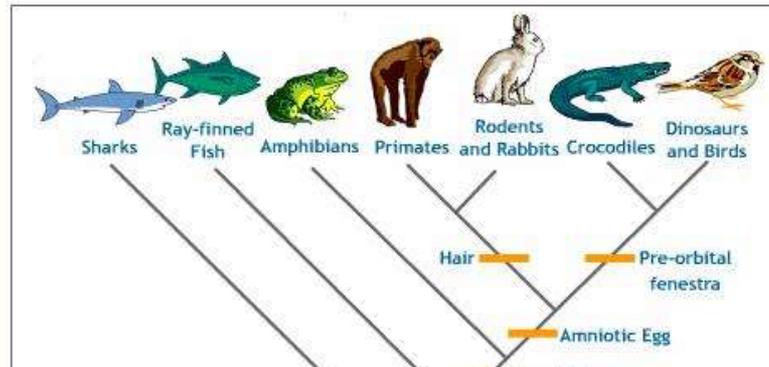
L'apprentissage durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones

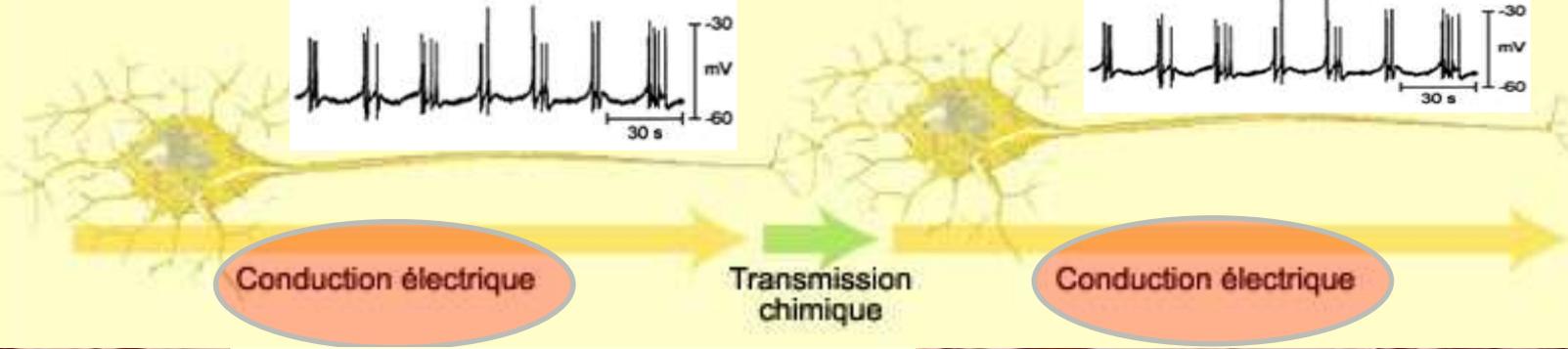


Développement du système nerveux (incluant des mécanismes épigénétiques)



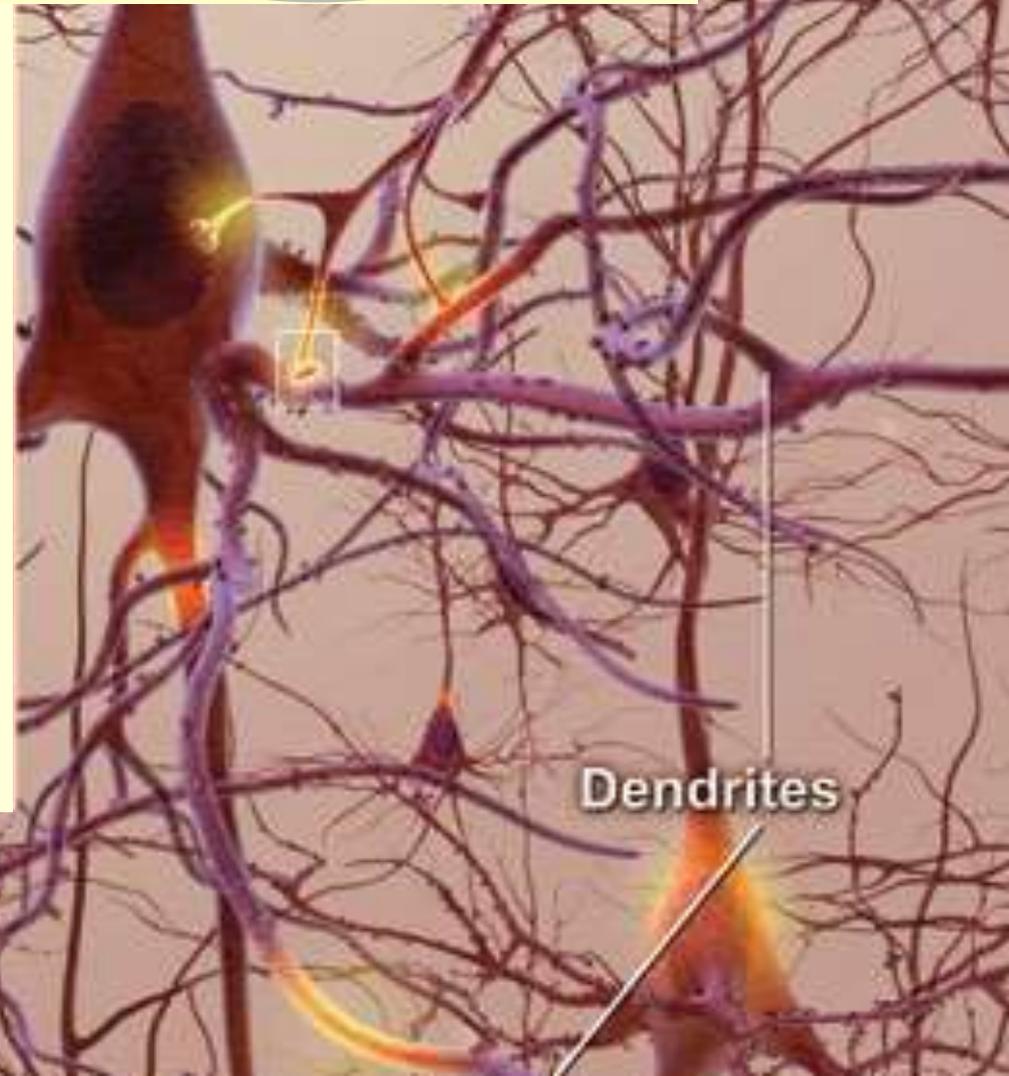
Évolution biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux

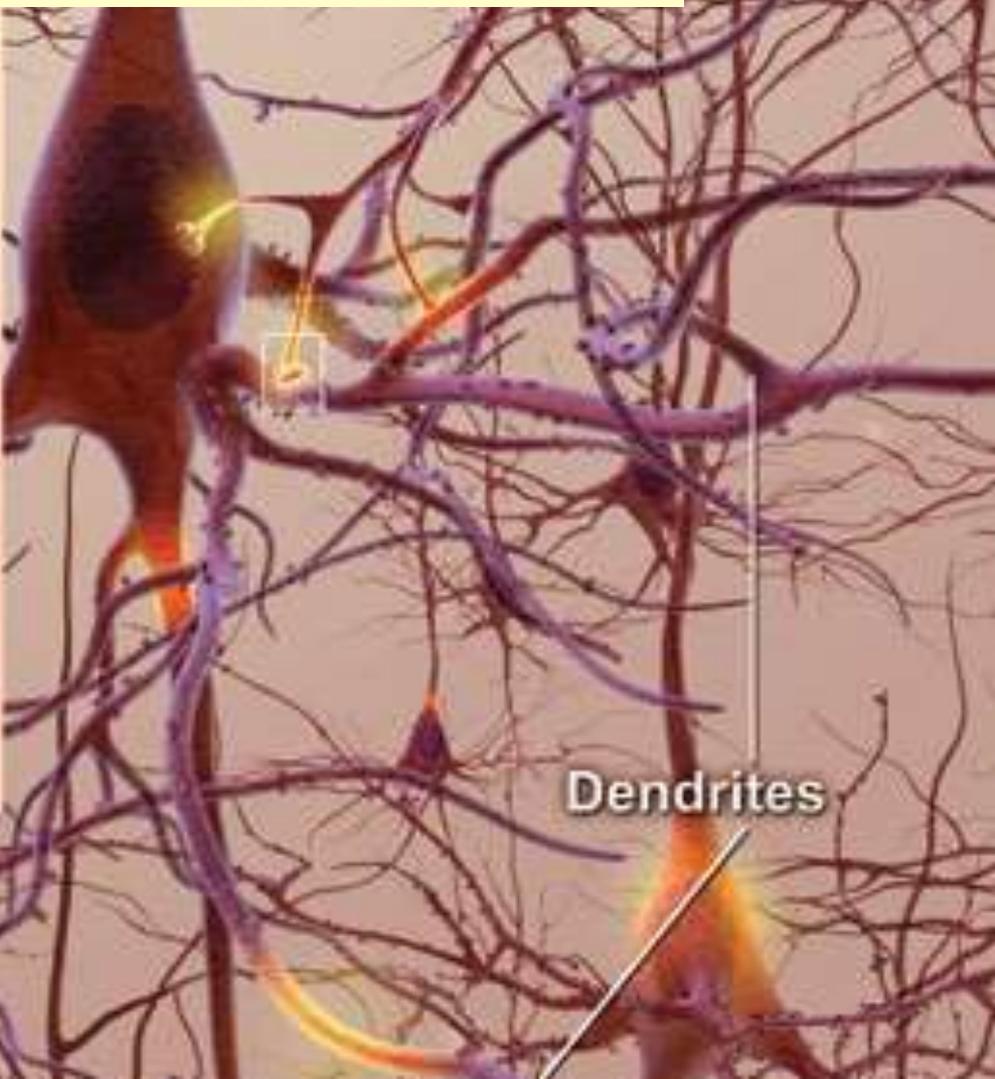
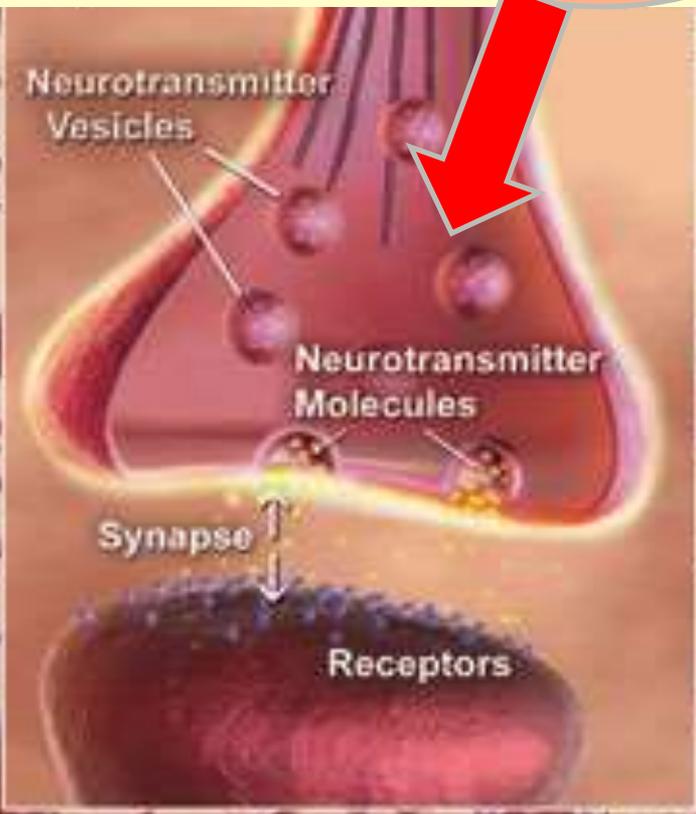
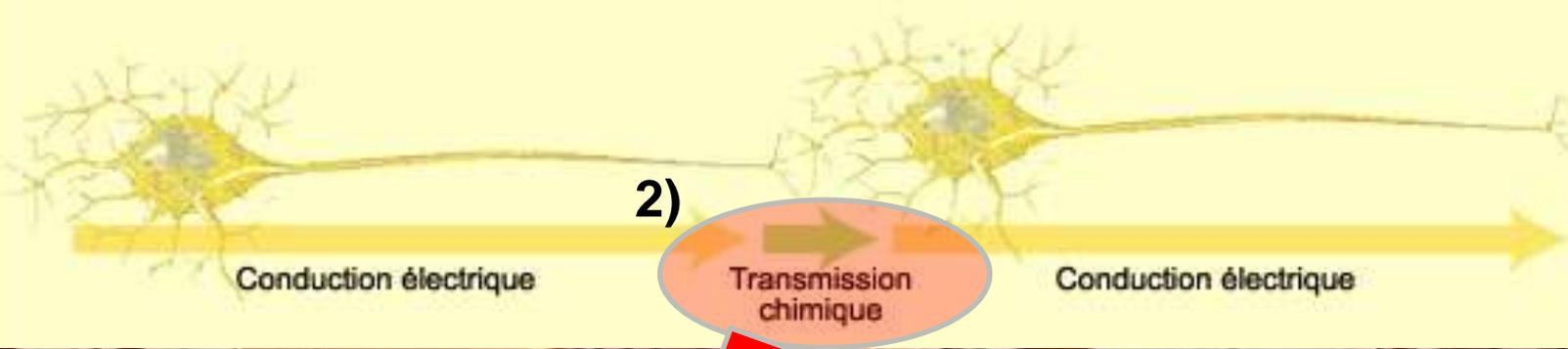




On a dit que la communication neuronale utilise deux grands mécanismes distincts :

1) on vient de voir la **conduction électrochimique**

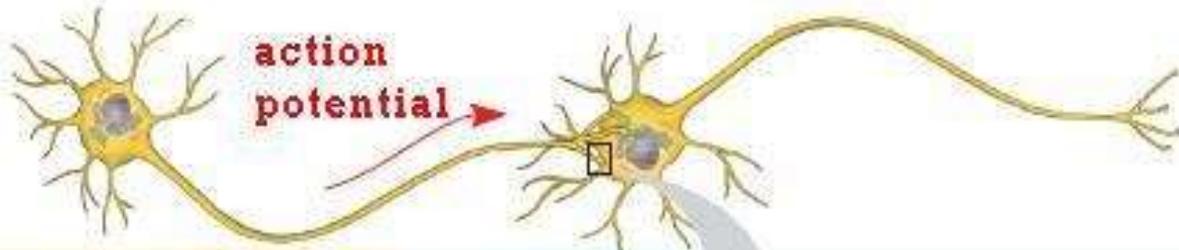




Presynaptic cell

Postsynaptic cell

action potential



Synaptic vesicles containing neurotransmitter

Presynaptic membrane

Voltage-gated Ca^{2+} channel

1 Ca^{2+}

Synaptic cleft

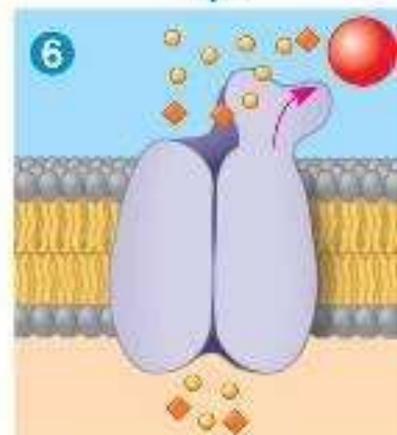
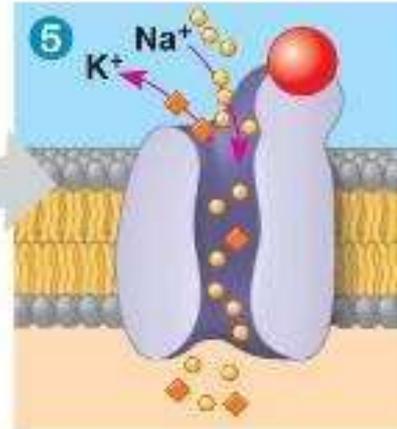
2

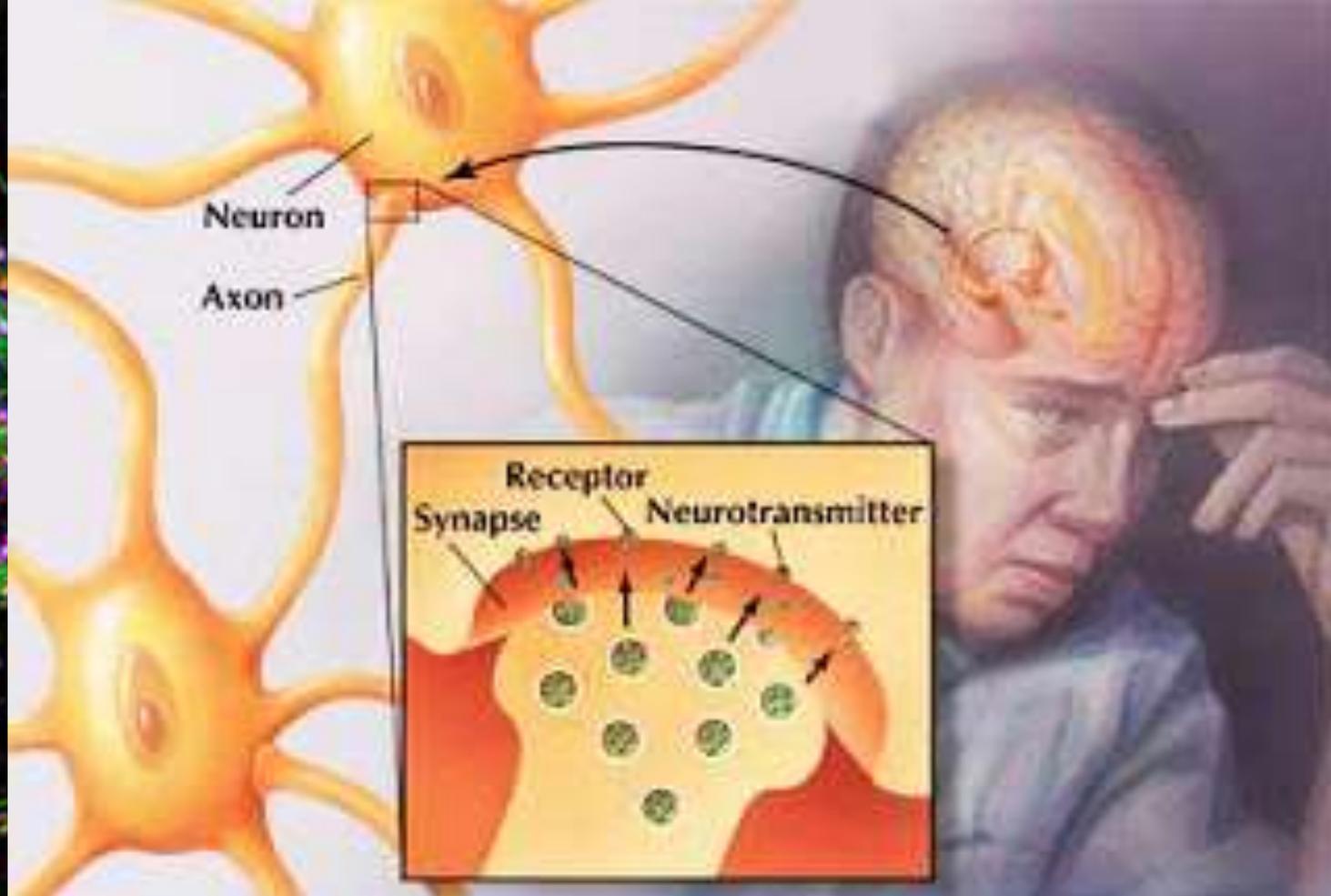
3

4

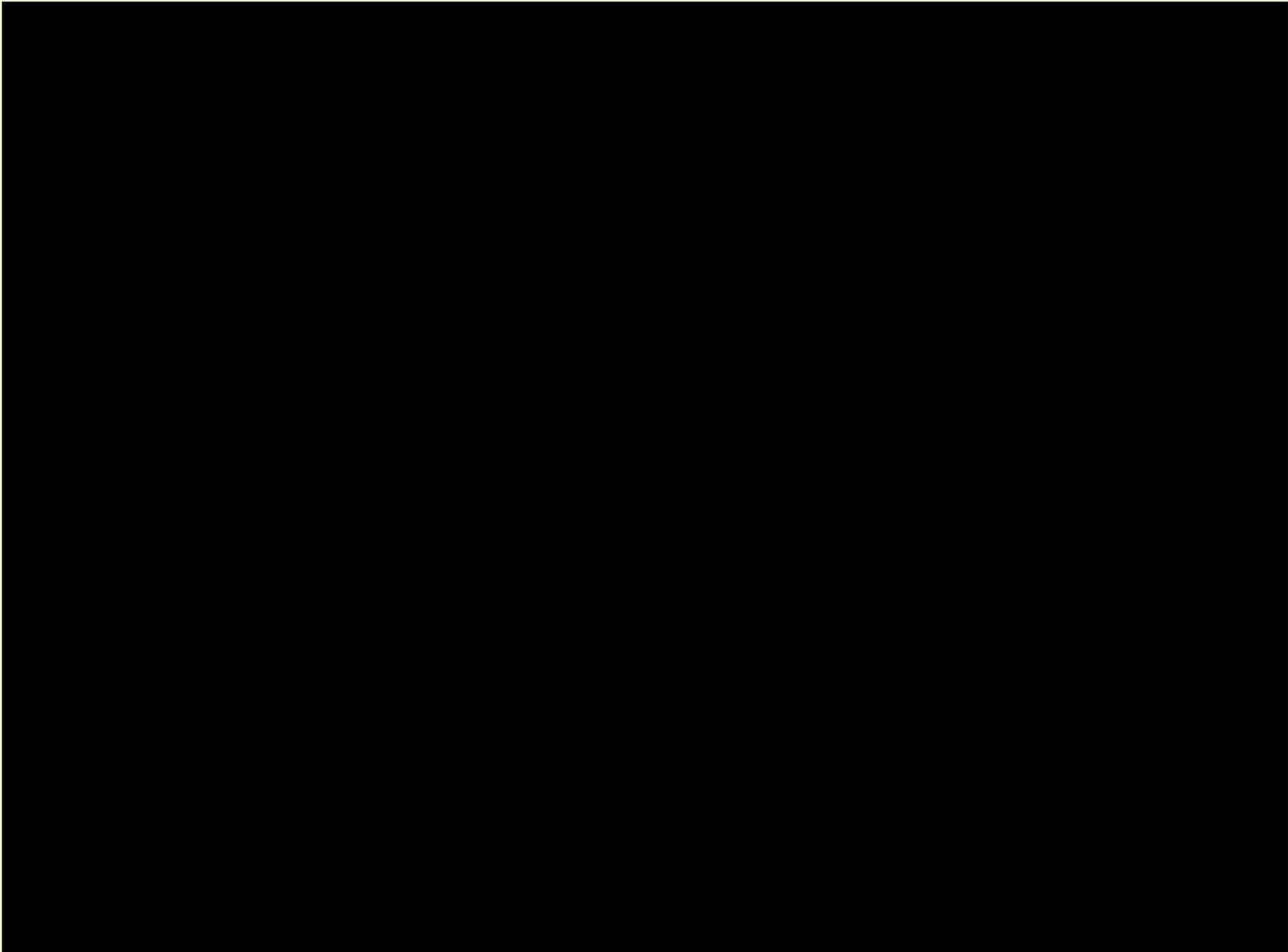
Ligand-gated ion channels

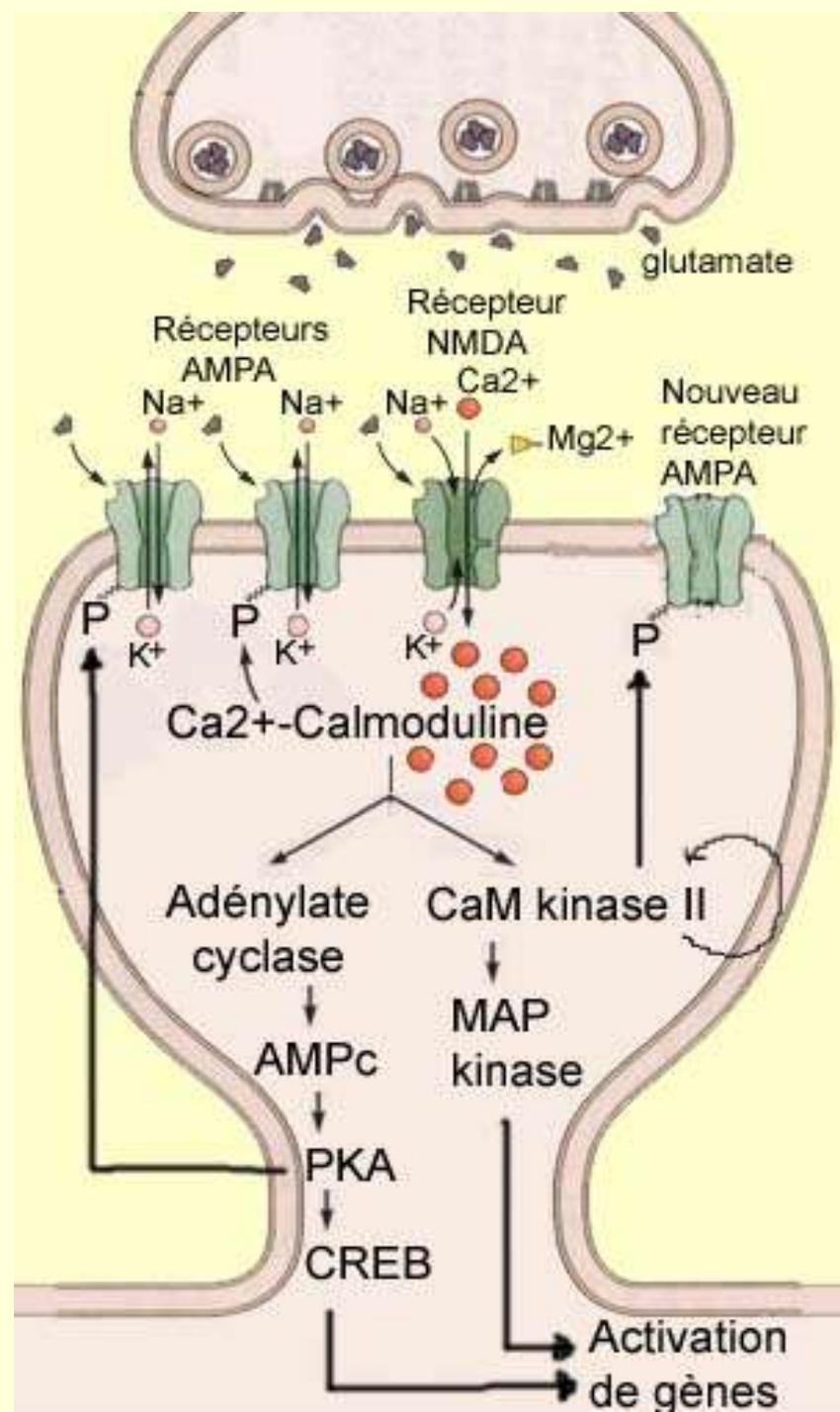
Postsynaptic membrane





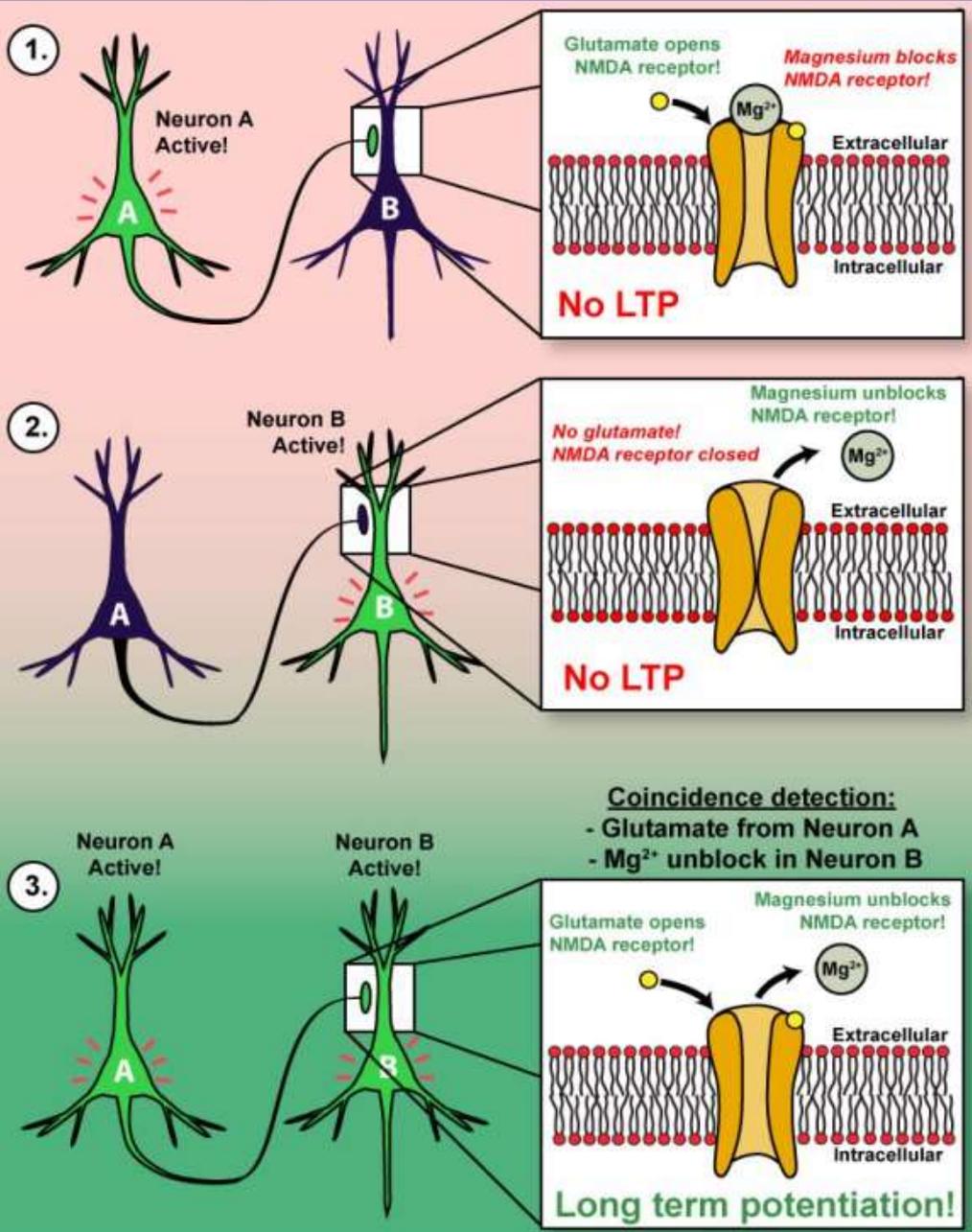
C'est à la synapse qu'agissent
la grande majorité des
médicaments et
des **drogues**

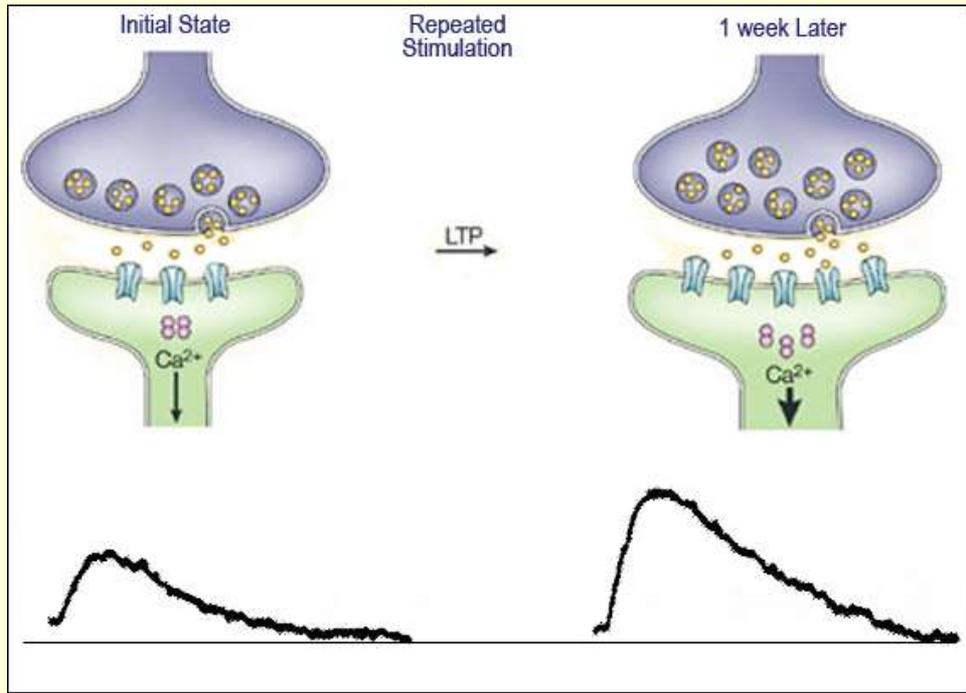
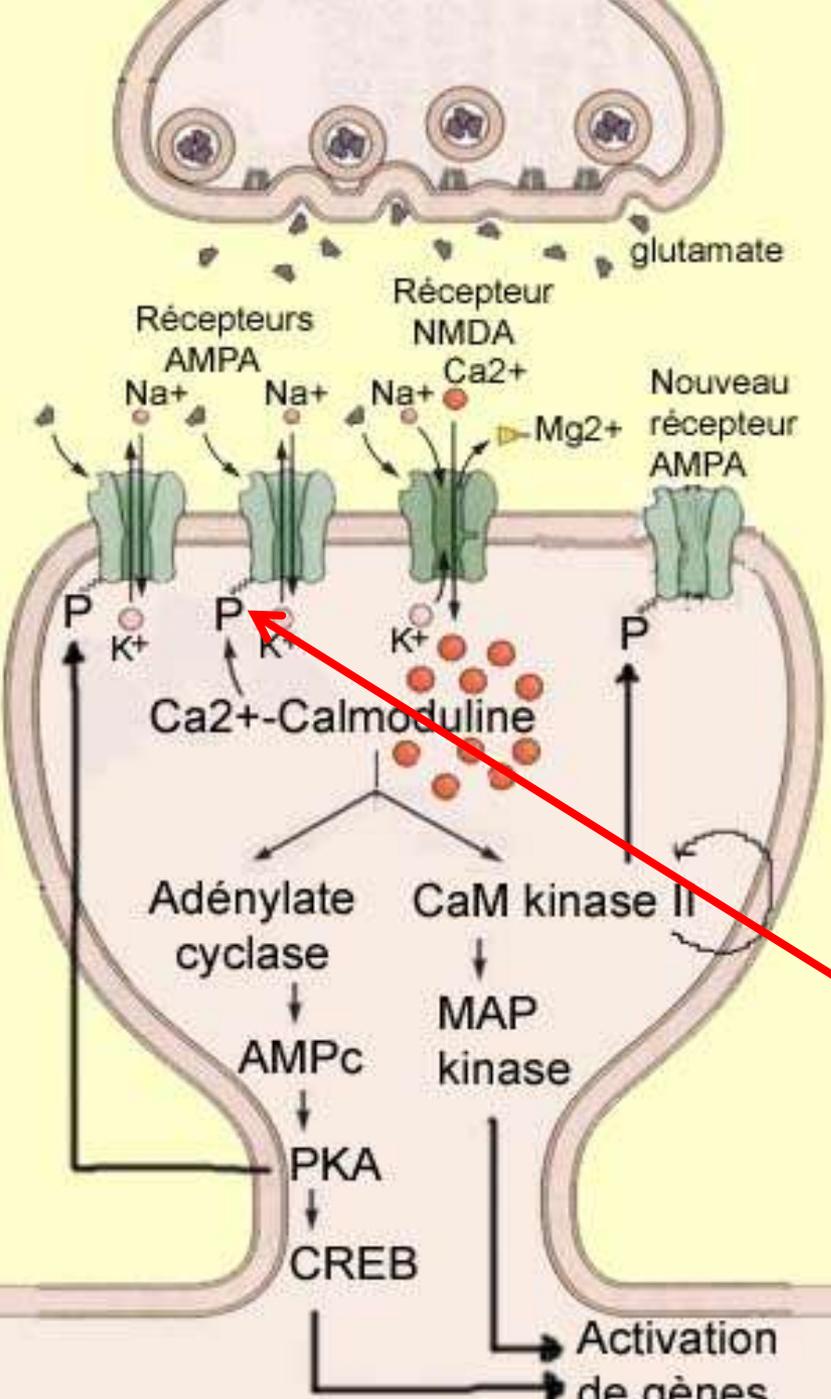




What a Coincidence!

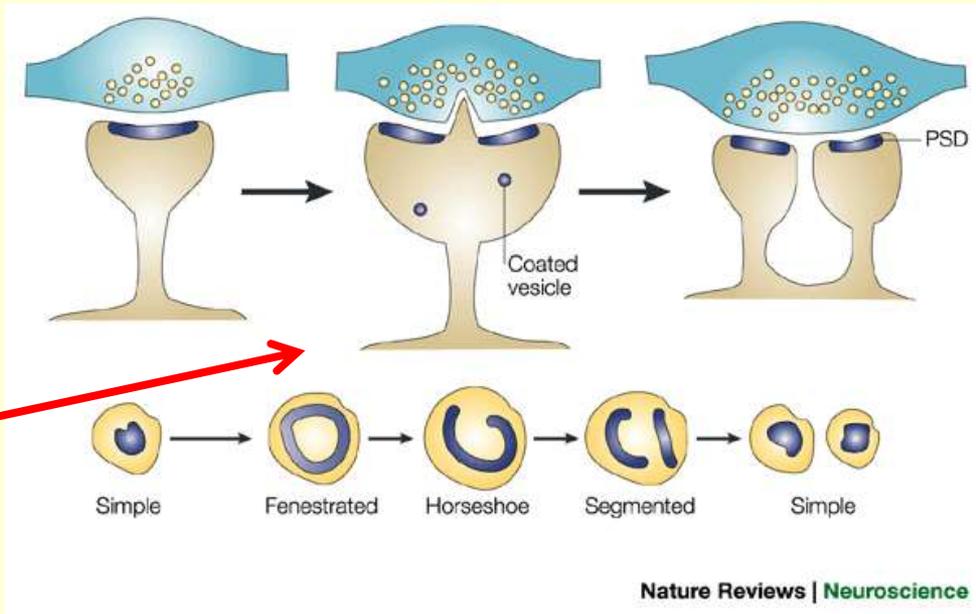
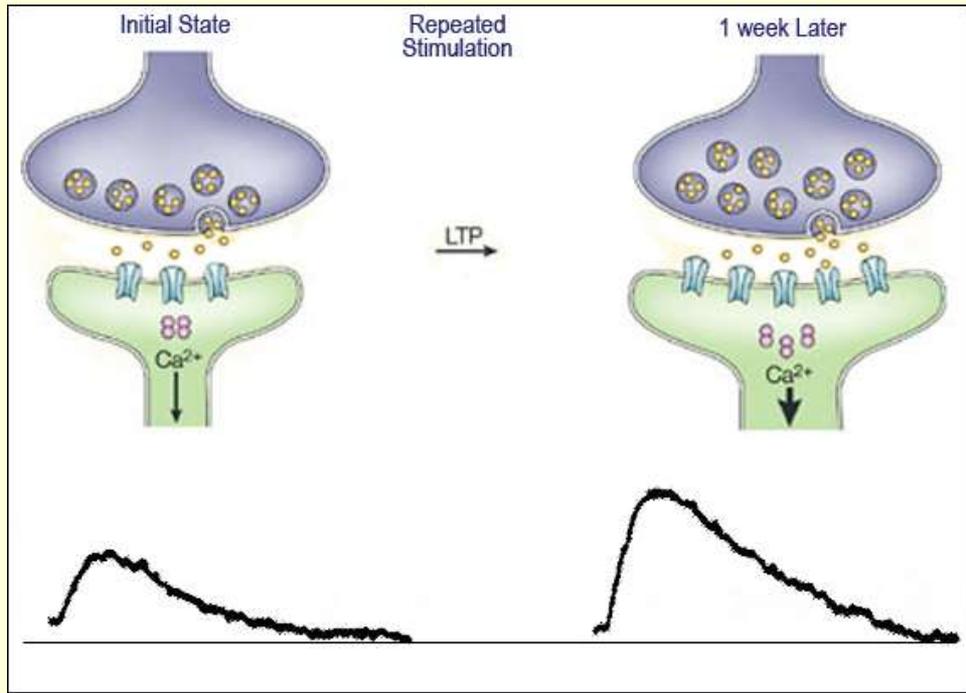
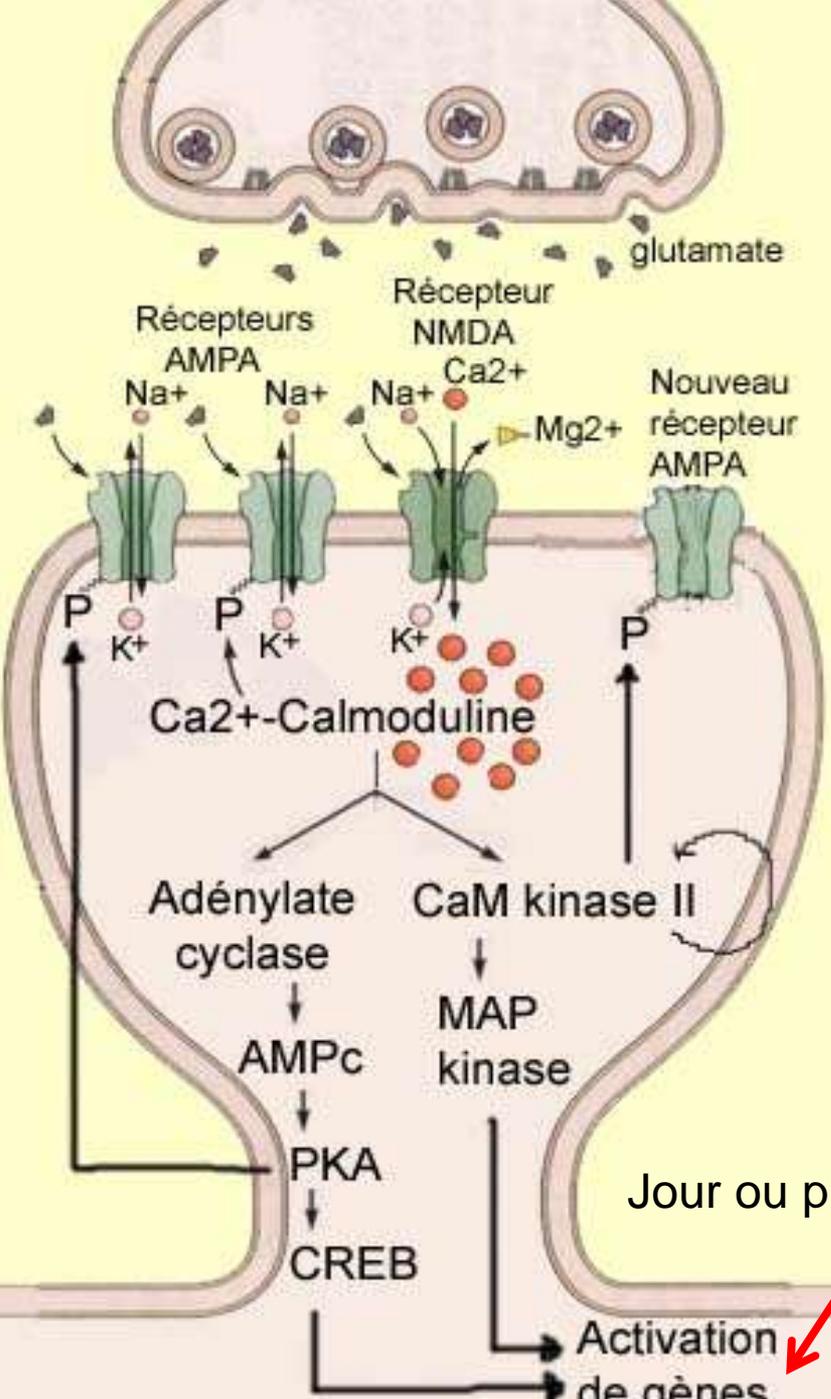
Magnesium, NMDA Receptors, and LTP





Ordre de grandeur temporelle :

Minutes ou heures

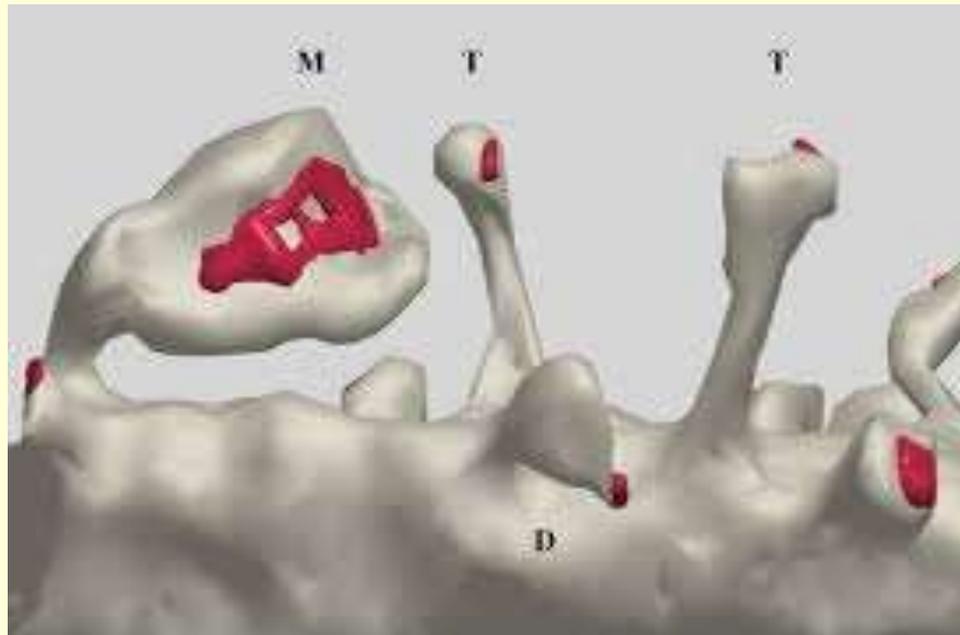


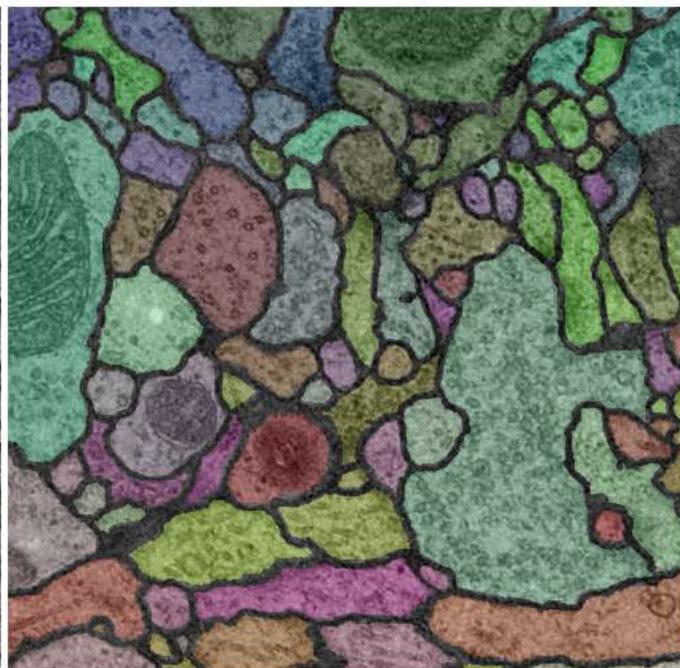
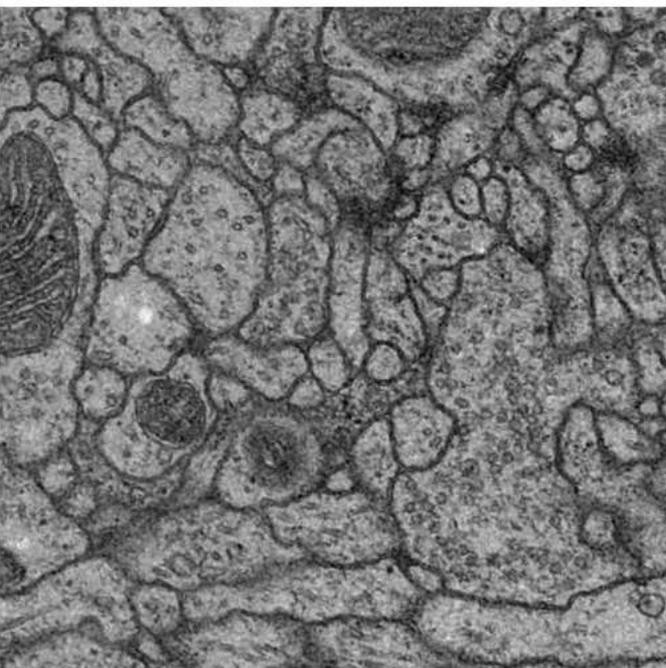
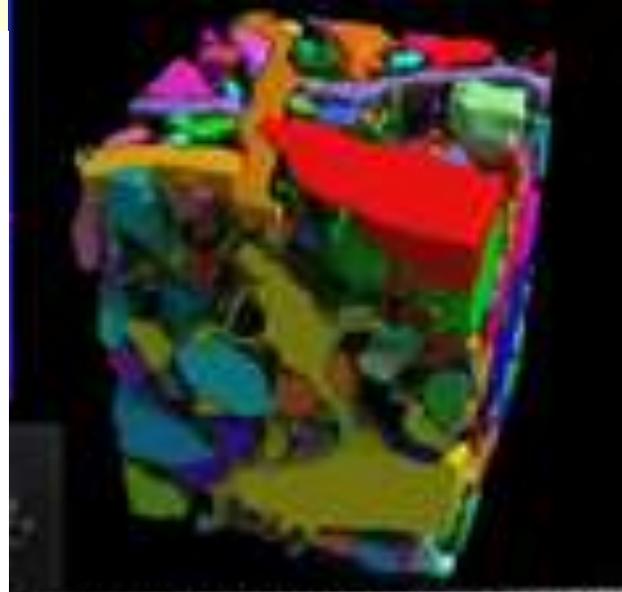


Nos diverses interactions **quotidiennes** avec le monde font **augmenter d'environ 20%** la surface du bout de l'axone et de l'épine dendritique qui se font face.

Et l'inverse se produit durant la **nuit** : une **diminution d'environ 20%** de la surface synaptique (sauf peut-être pour celles des souvenirs marquants de la journée).

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/02/27/les-traces-neurales-de-nos-souvenirs-conceptuels/>

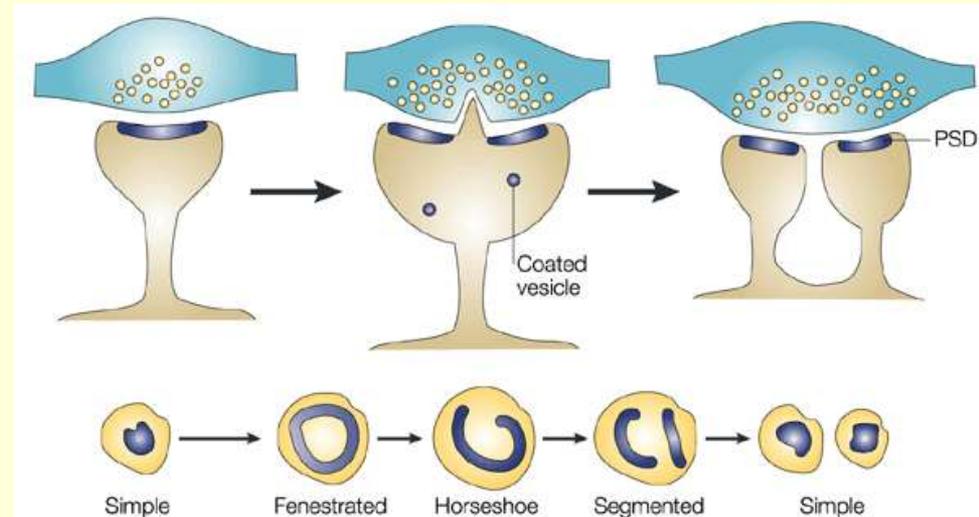
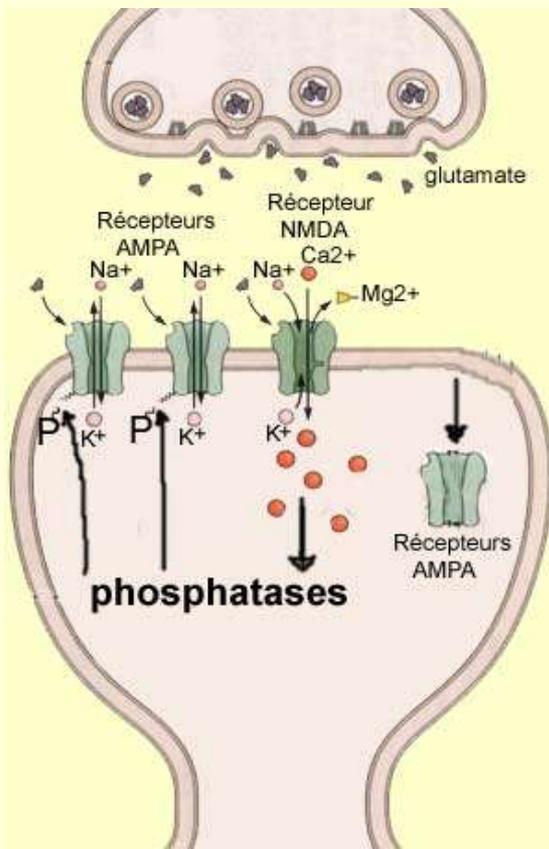
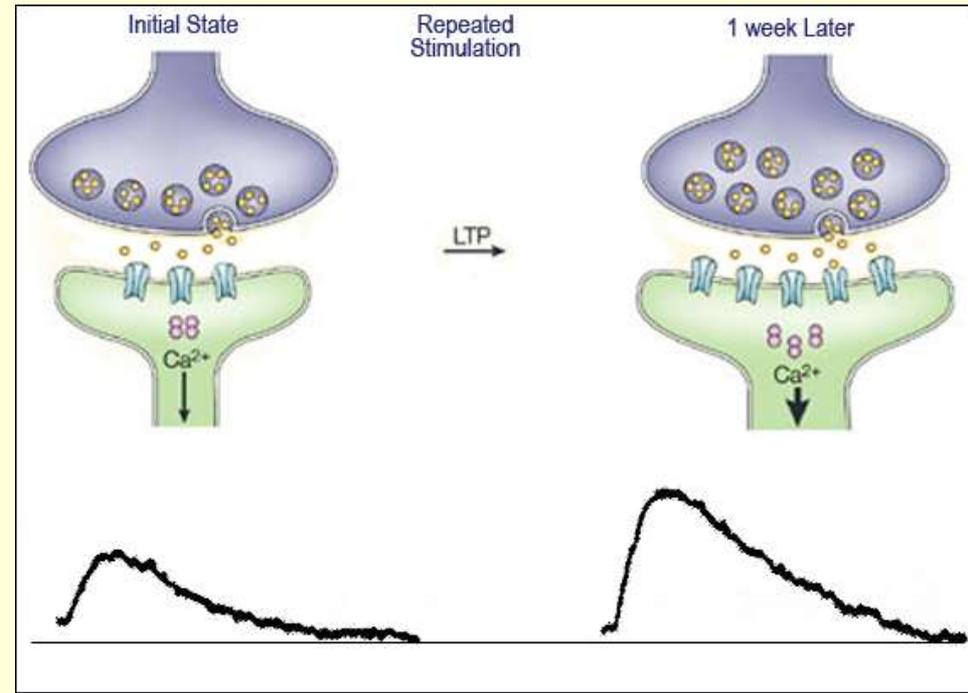




La **potentialisation à long terme (PLT)** est l'un des mécanismes les plus documentés derrière les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.

Mais il y en a beaucoup d'autres !

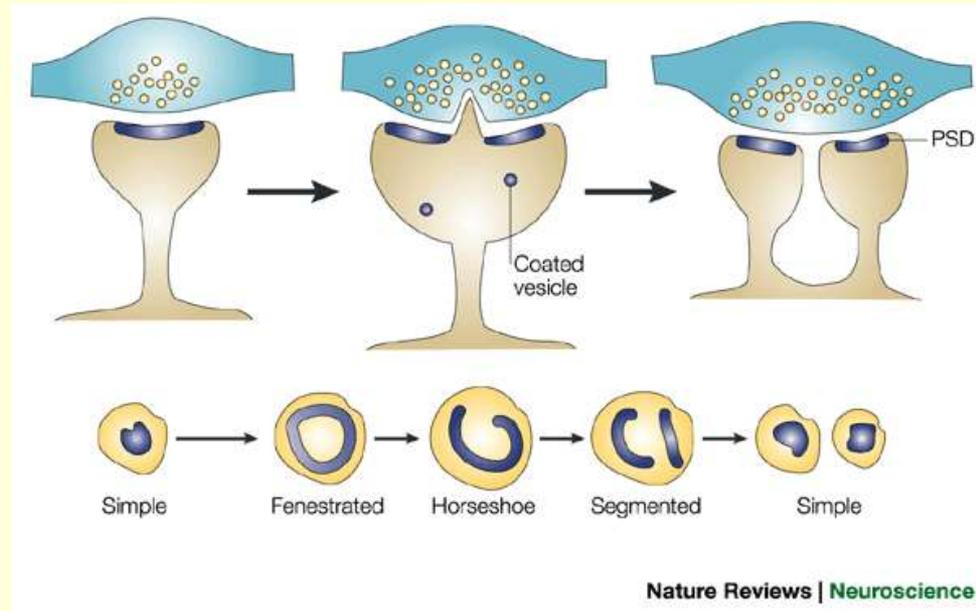
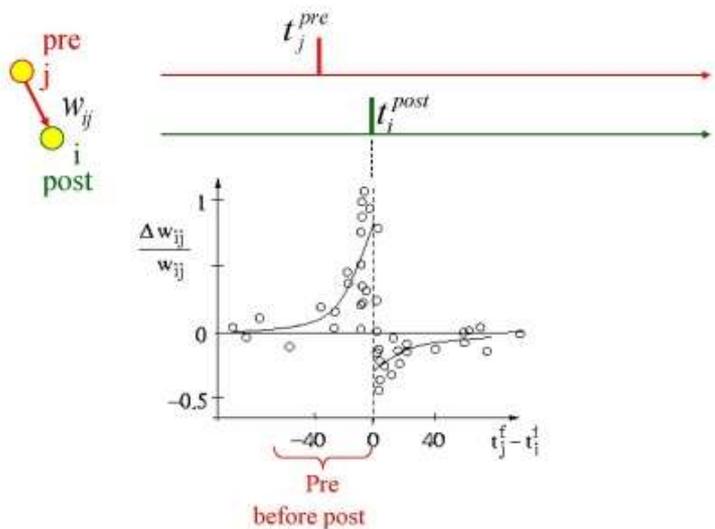
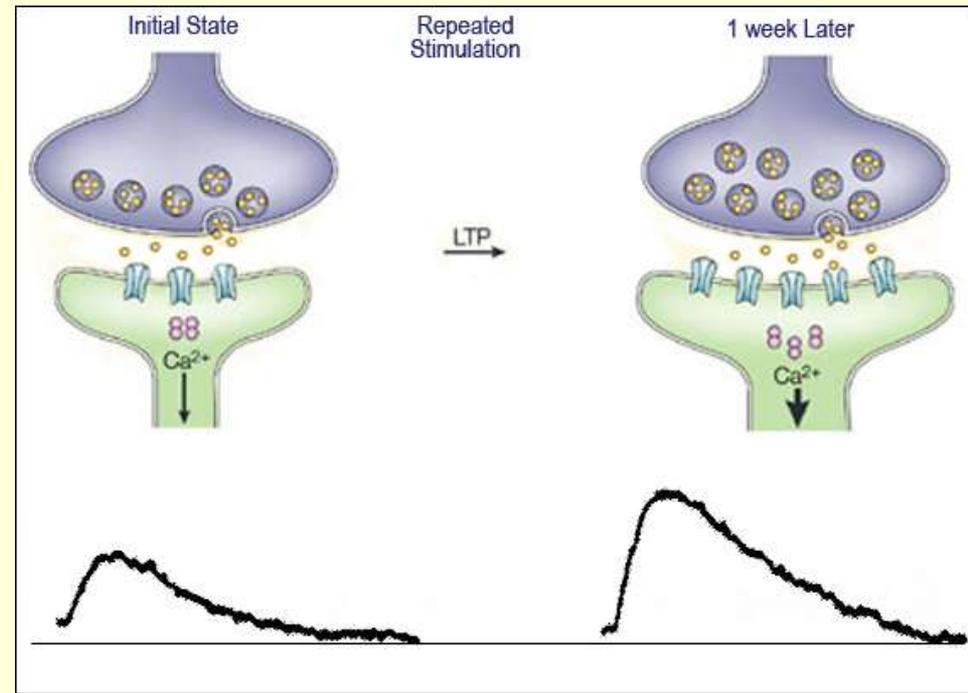
- La **dépression à long terme (DLT)**



La **potentialisation à long terme (PLT)** est l'un des mécanismes les plus documentés derrière les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.

Mais il y en a beaucoup d'autres !

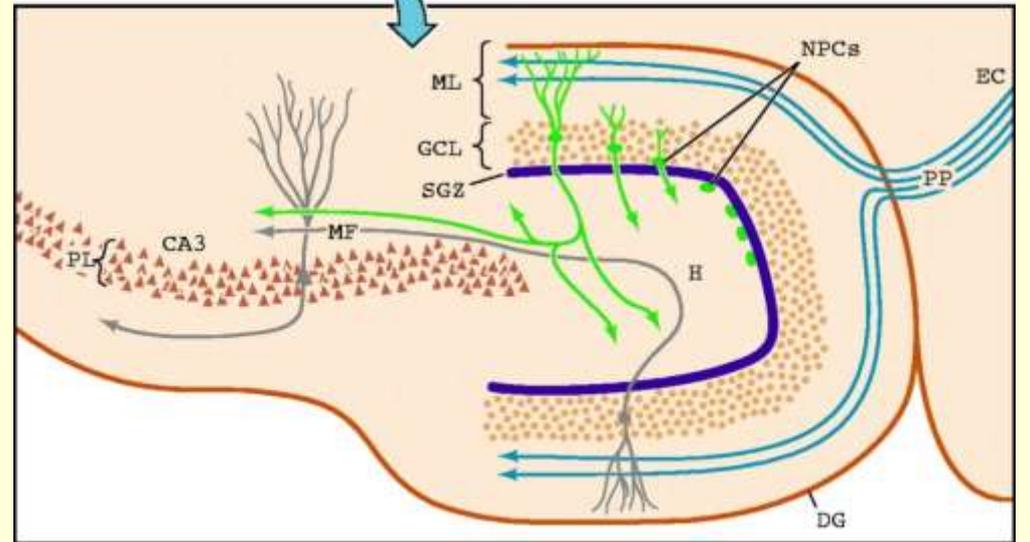
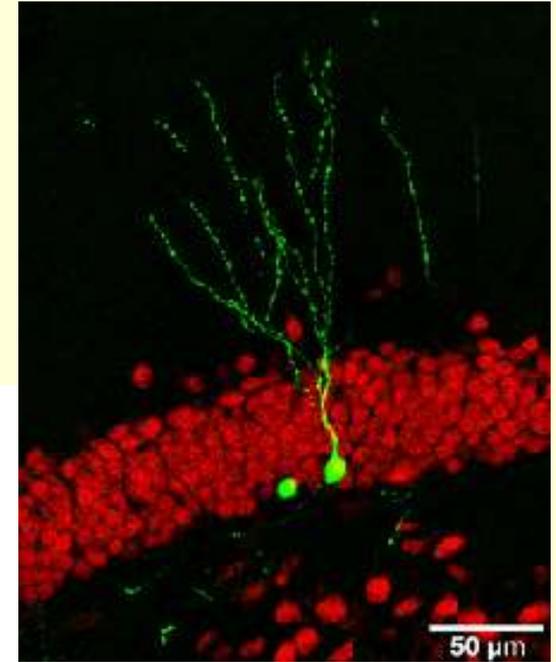
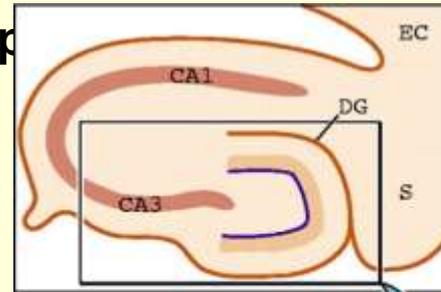
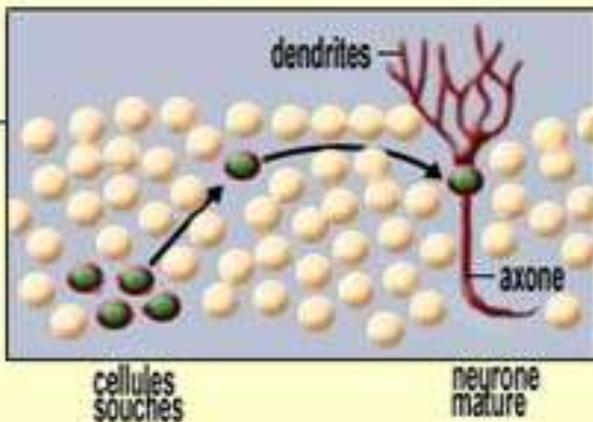
- La **dépression à long terme (DLT)**
- La **plasticité dépendante du temps d'occurrence des impulsions** (« Spike-timing-dependent plasticity » ou **STDP**)



La **potentialisation à long terme (PLT)** est l'un des mécanismes les plus documentés derrière les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.

Mais il y en a beaucoup d'autres !

- La **dépression à long terme (DLT)**
- La **plasticité dépendante du temps d'occurrence des impulsions** (« Spike-timing-dependent plasticity » ou STDP)
- La **neurogenèse**, etc...



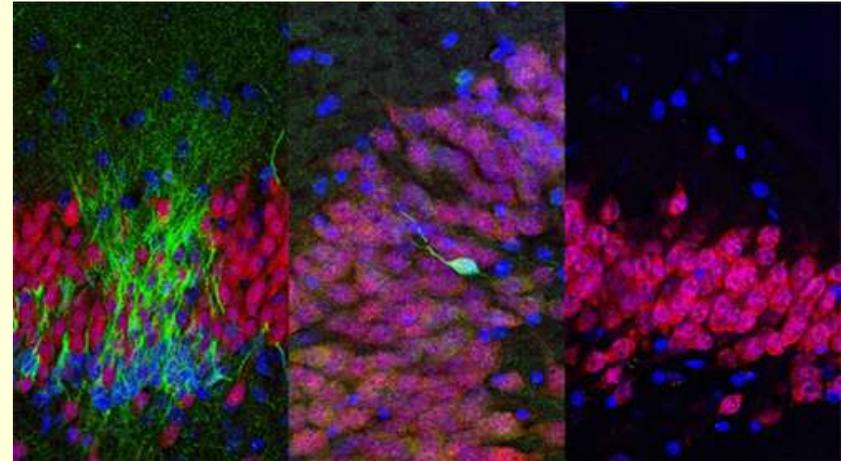
Débat / Controverse :

Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

27 mars 2018

La neurogenèse dans le cerveau humain adulte remise en question

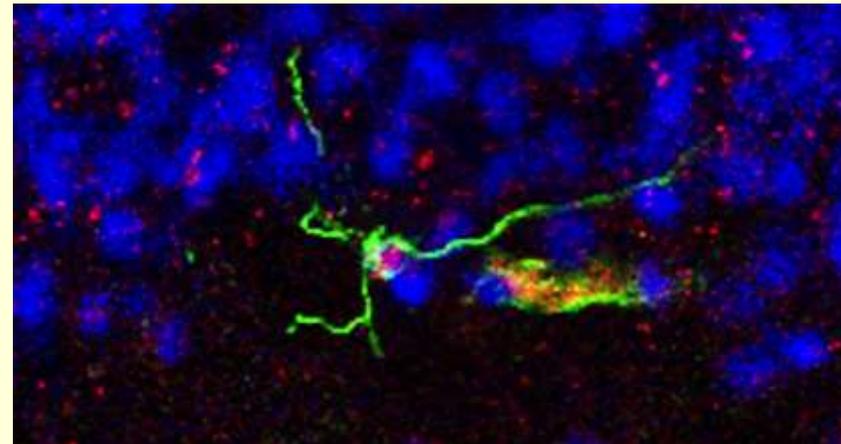
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/03/27/la-neurogenese-dans-le-cerveau-humain-adulte-remise-en-question/>



17 avril 2018

Neurogenèse dans le cerveau humain adulte ? Après le récent « non », un « oui » tout aussi affirmatif !

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/04/17/neurogenese-dans-le-cerveau-humain-adulte-apres-le-recent-non-un-oui-tout-aussi-affirmatif/>



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens **et nouveaux**)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif

Le “coming out” de la synapse électrique

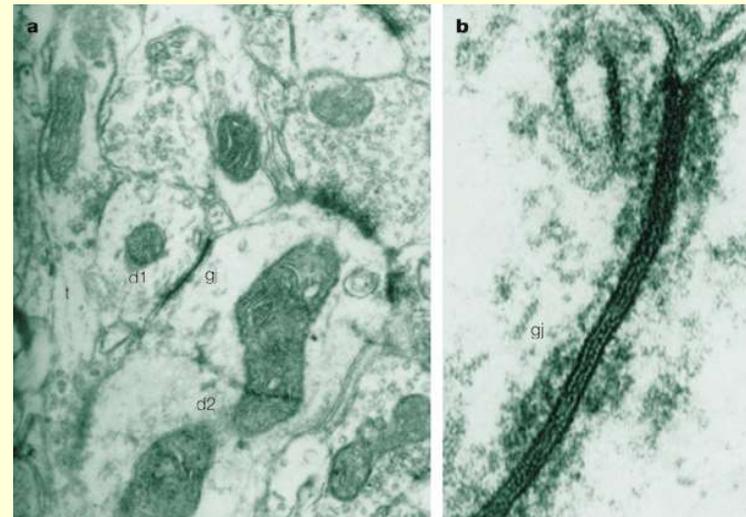
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2014/05/05/le-coming-out-de-la-synapse-electrique/>

Electrical synapses and their functional interactions with chemical synapses

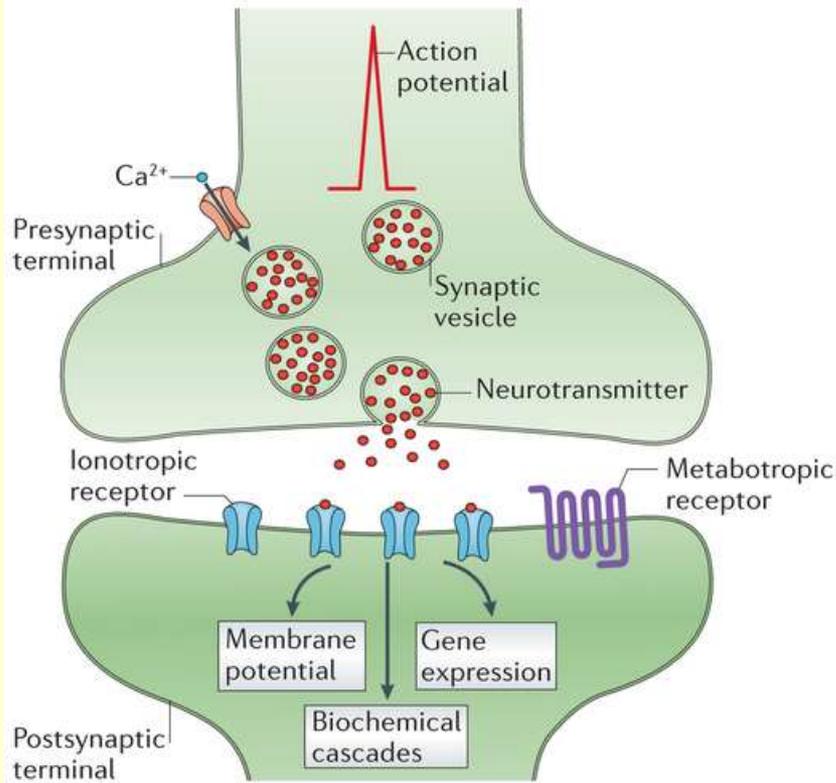
Alberto E. Pereda

Nature Reviews Neuroscience 15, 250–263 (2014)

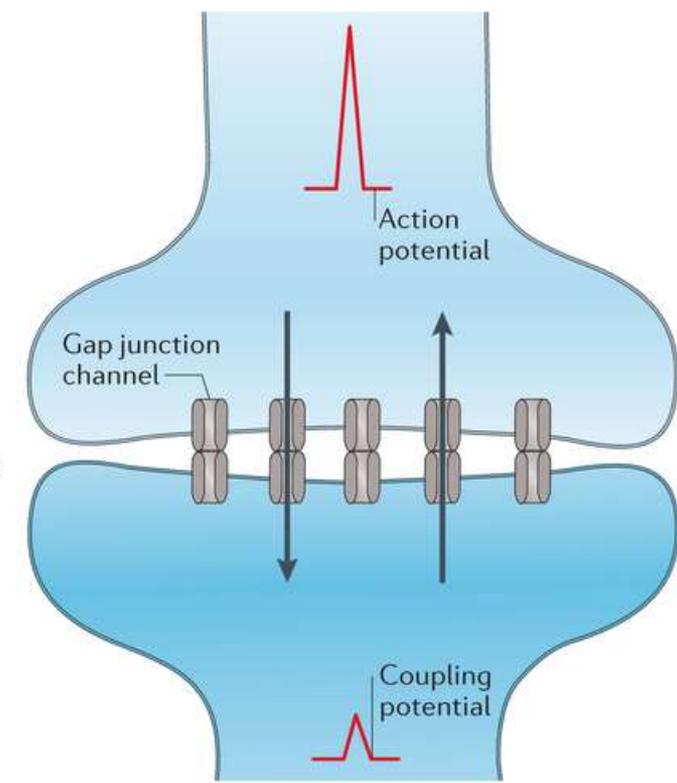
<http://www.nature.com/nrn/journal/v15/n4/full/nrn3708.html>



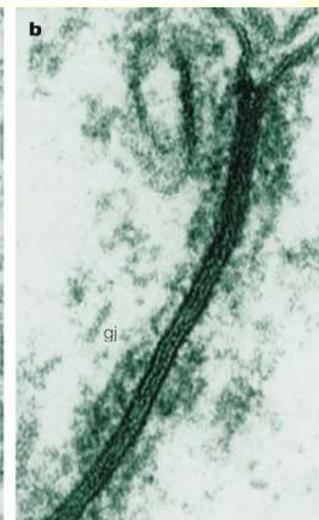
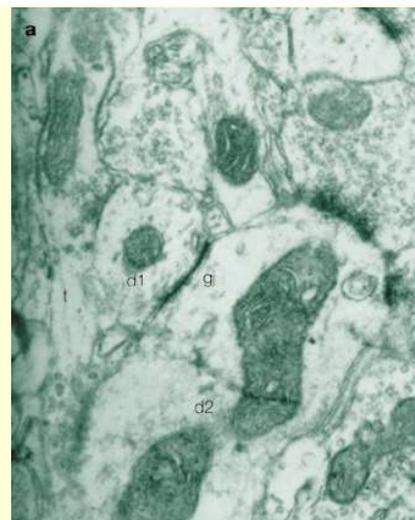
a Chemical synapse



b Electrical synapse

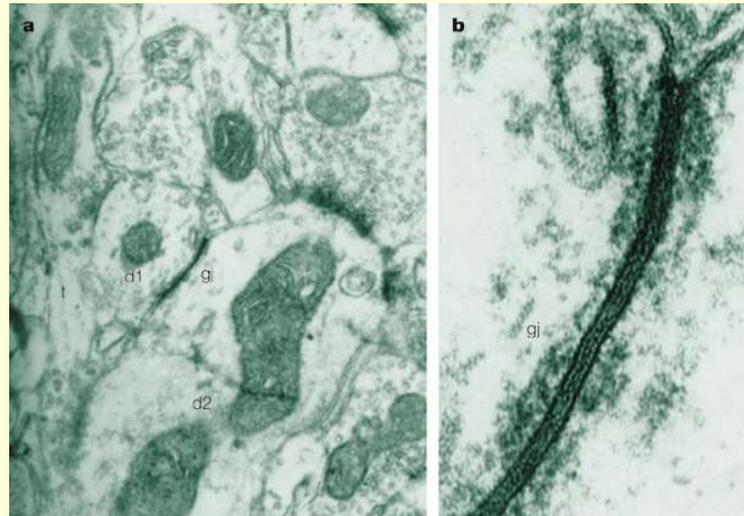


Nature Reviews | **Neuroscience**



Synchronisation :

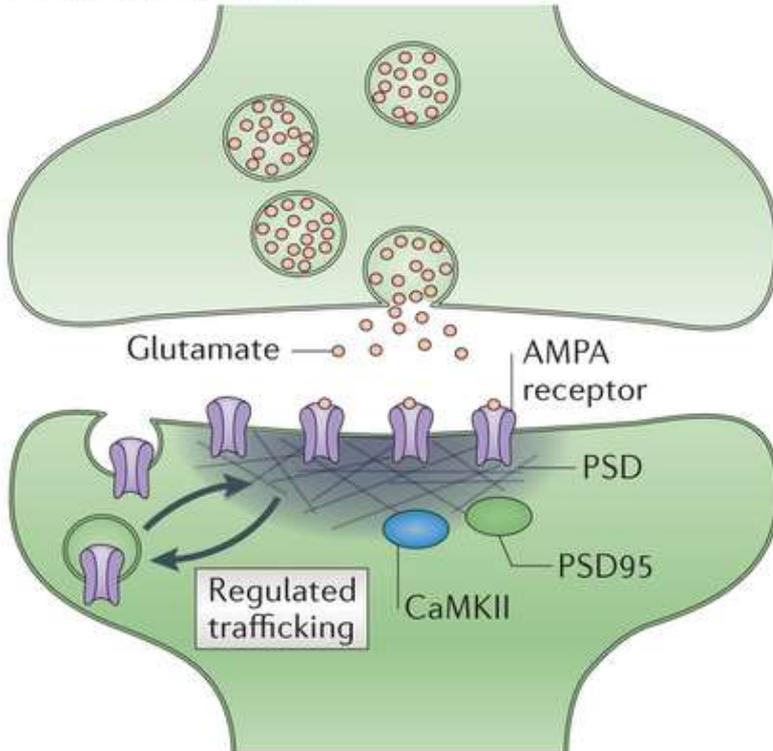
Les synapses électriques permettraient d'abord à de nombreux neurones de **synchroniser leur activité** en répartissant les excitations reçues par un neurone à ses voisins connectés par des synapses électriques.



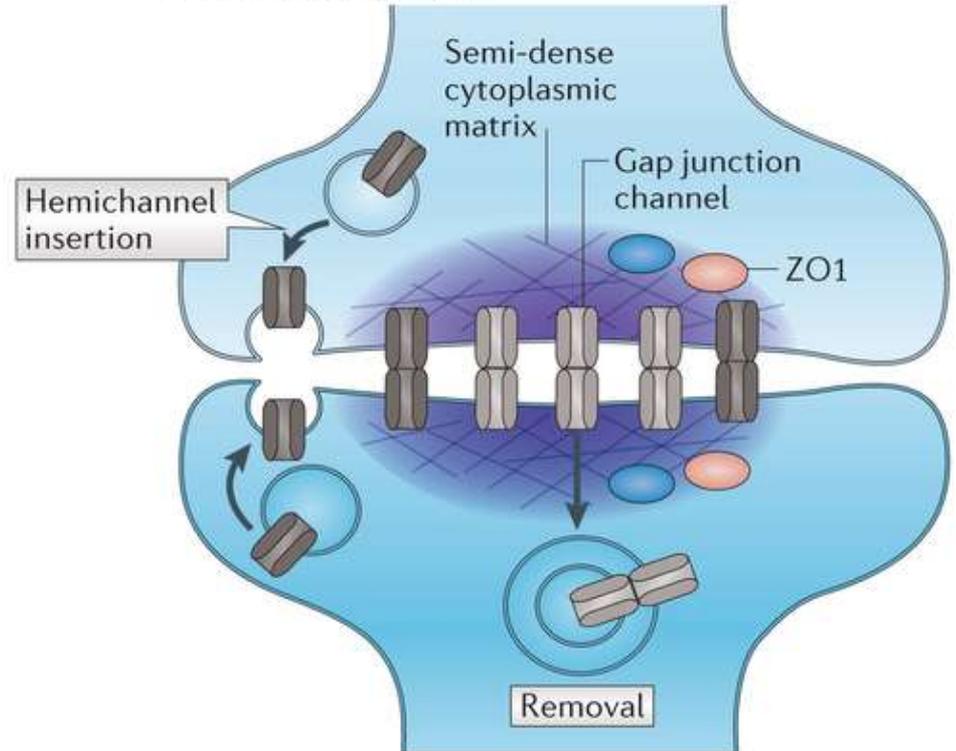
Plasticité :

De la même manière qu'un récepteur à un neurotransmetteur peut être modifié pour renforcer une synapse chimique, 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 !

a Chemical synapse

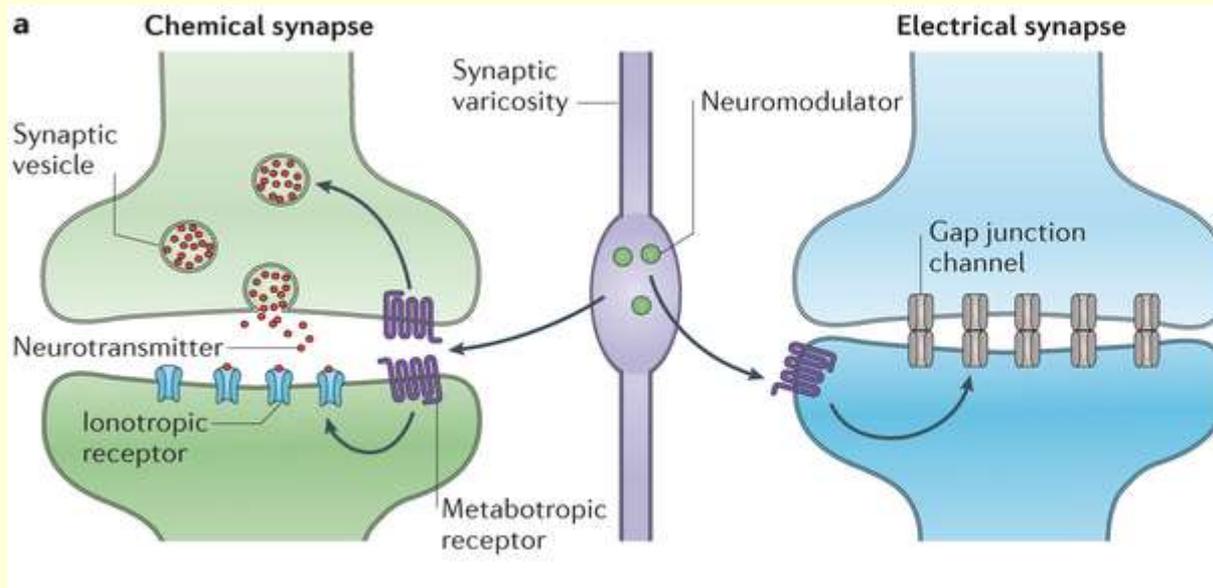


b Electrical synapse



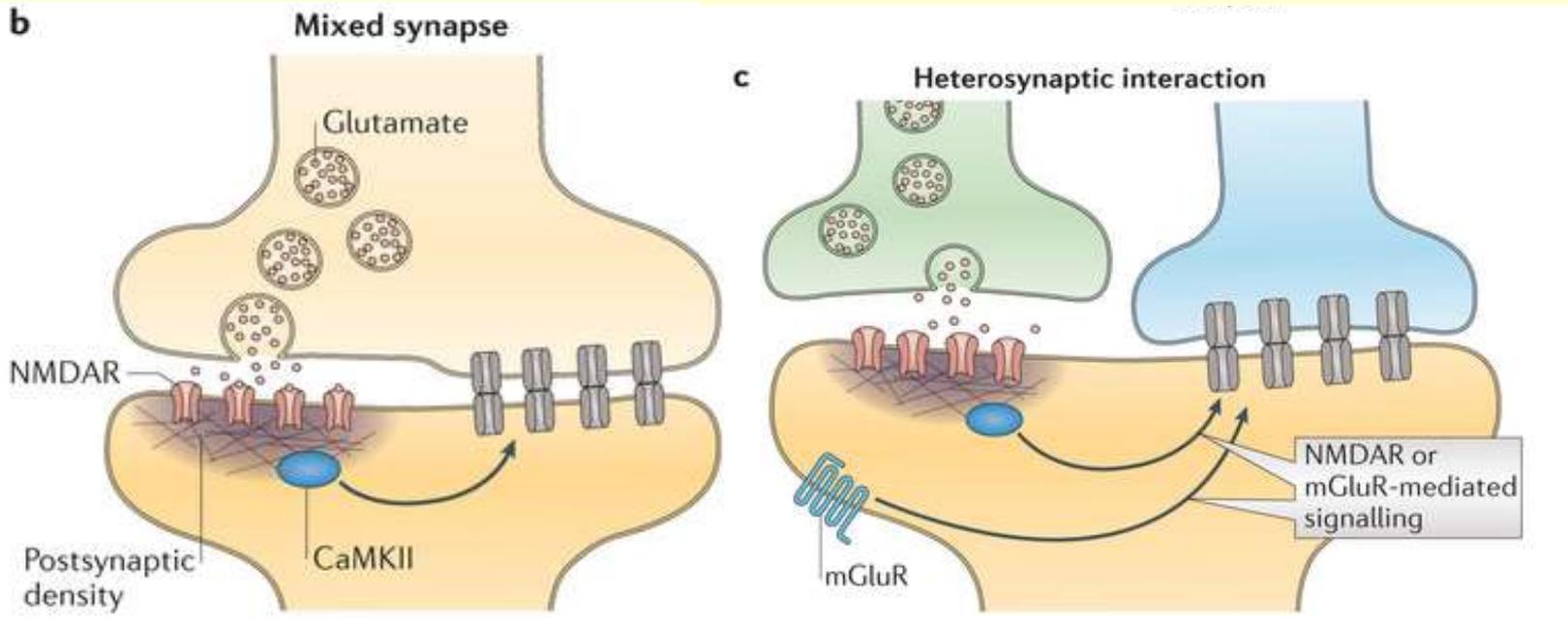
Neuromodulation :

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.

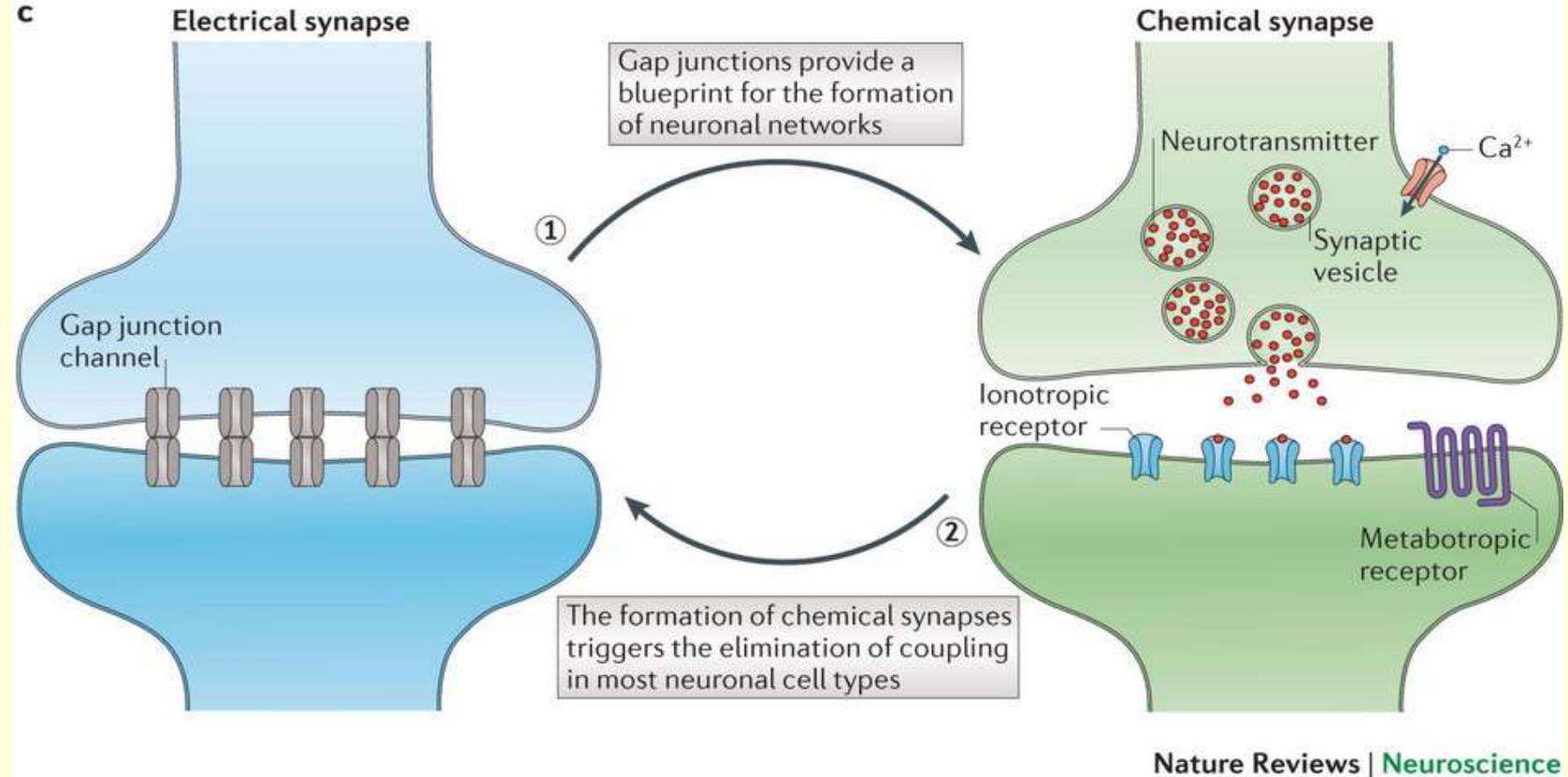


Synapses mixtes :

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

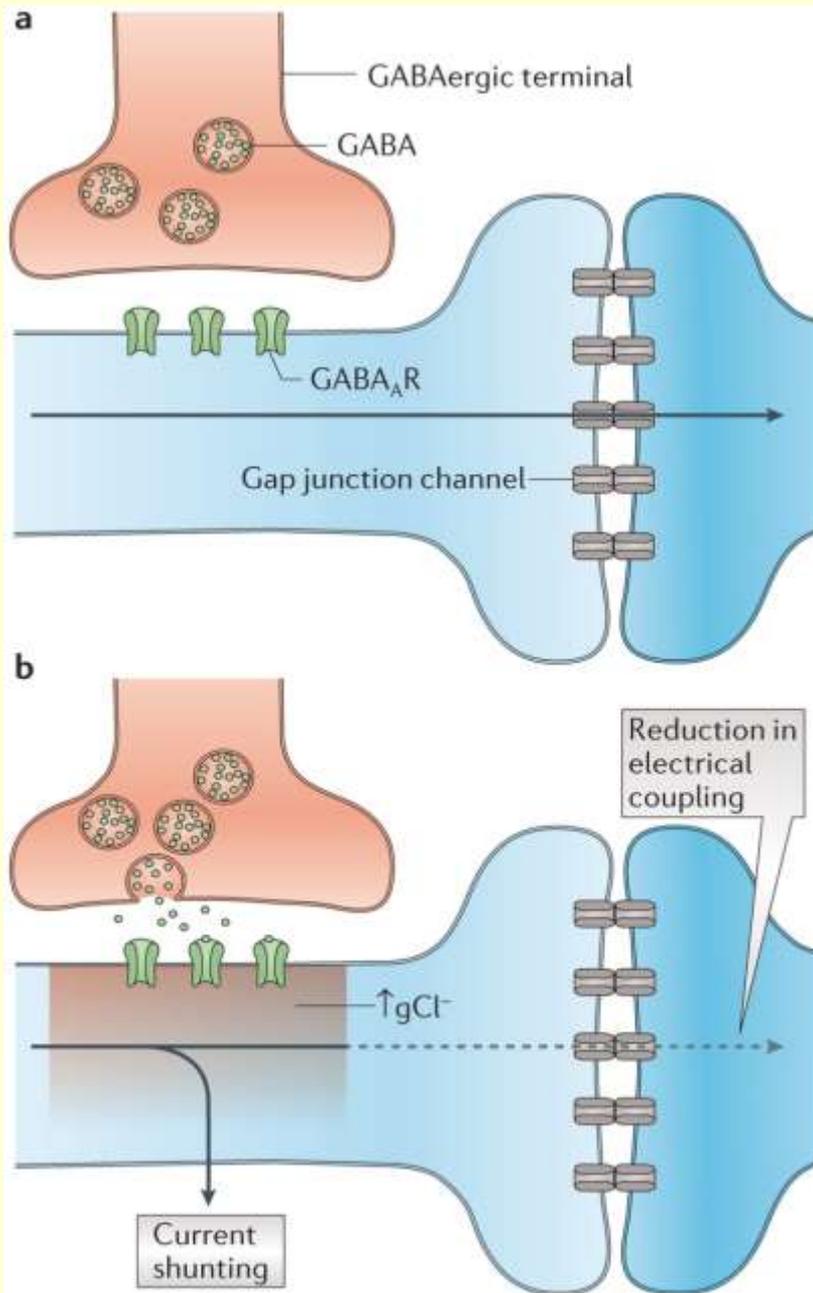


Ou mixtes
hétérosynaptiques.



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.



Et finalement, le dernier mais non le moindre...

Interneurone au GABA :

Le lien intime entre les interneurones au GABA et les synapses électrique où les premiers viennent court-circuiter l'influx nerveux afférent ce qui réduit l'efficacité du couplage électrique.

On en arrive en bout de ligne à une conception beaucoup moins tranchée entre les deux types de synapse **qui semblent indissociablement liées.**

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)

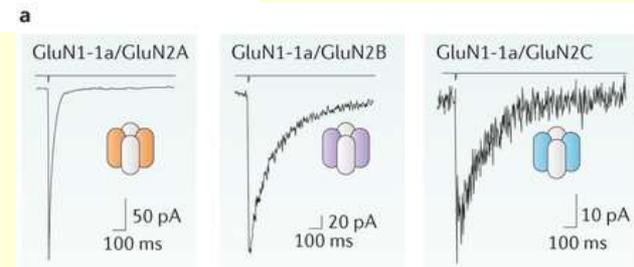
<http://www.nature.com/nrn/journal/v14/n6/full/nrn3504.html>

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

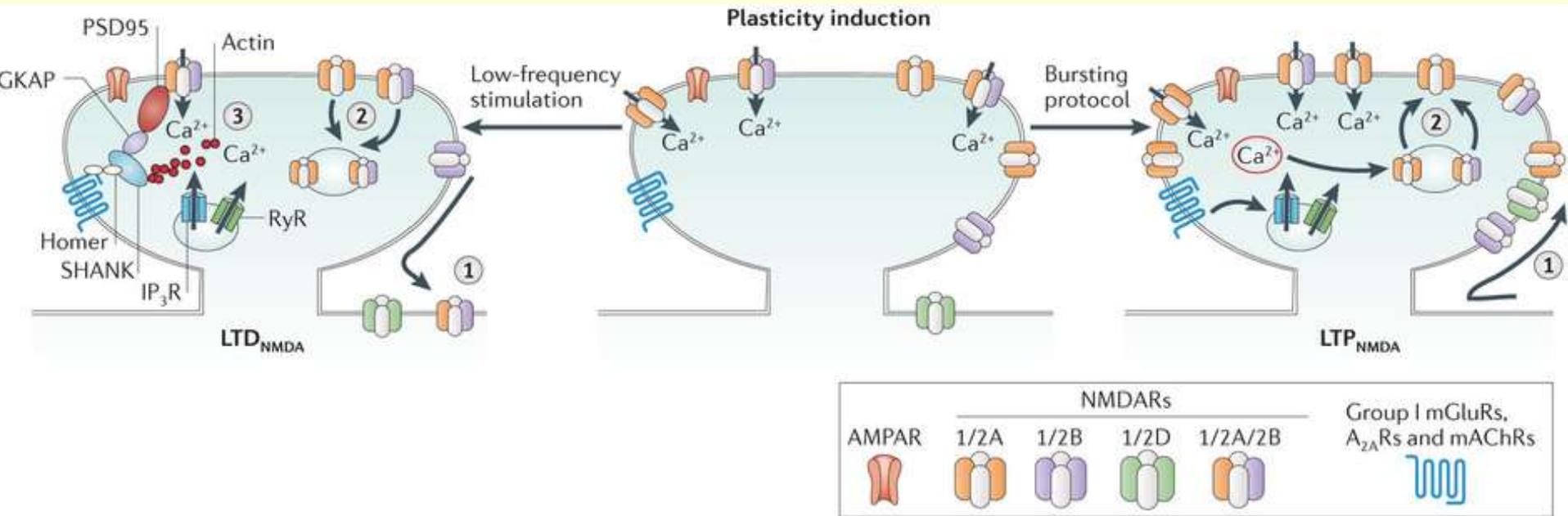
Ce que cet article va montrer, c'est que **la composition** du récepteur NMDA est elle-même **plastique** à cause de la combinatoire de différentes sous-unités, ce qui donne lieu à un grand **nombre de sous-types de récepteurs possibles**.



Avec différentes **propriétés biophysiques** du récepteur (par exemple la durée d'ouverture suite à la fixation du glutamate).



Avec cette **nouvelle forme de plasticité**, 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...

Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

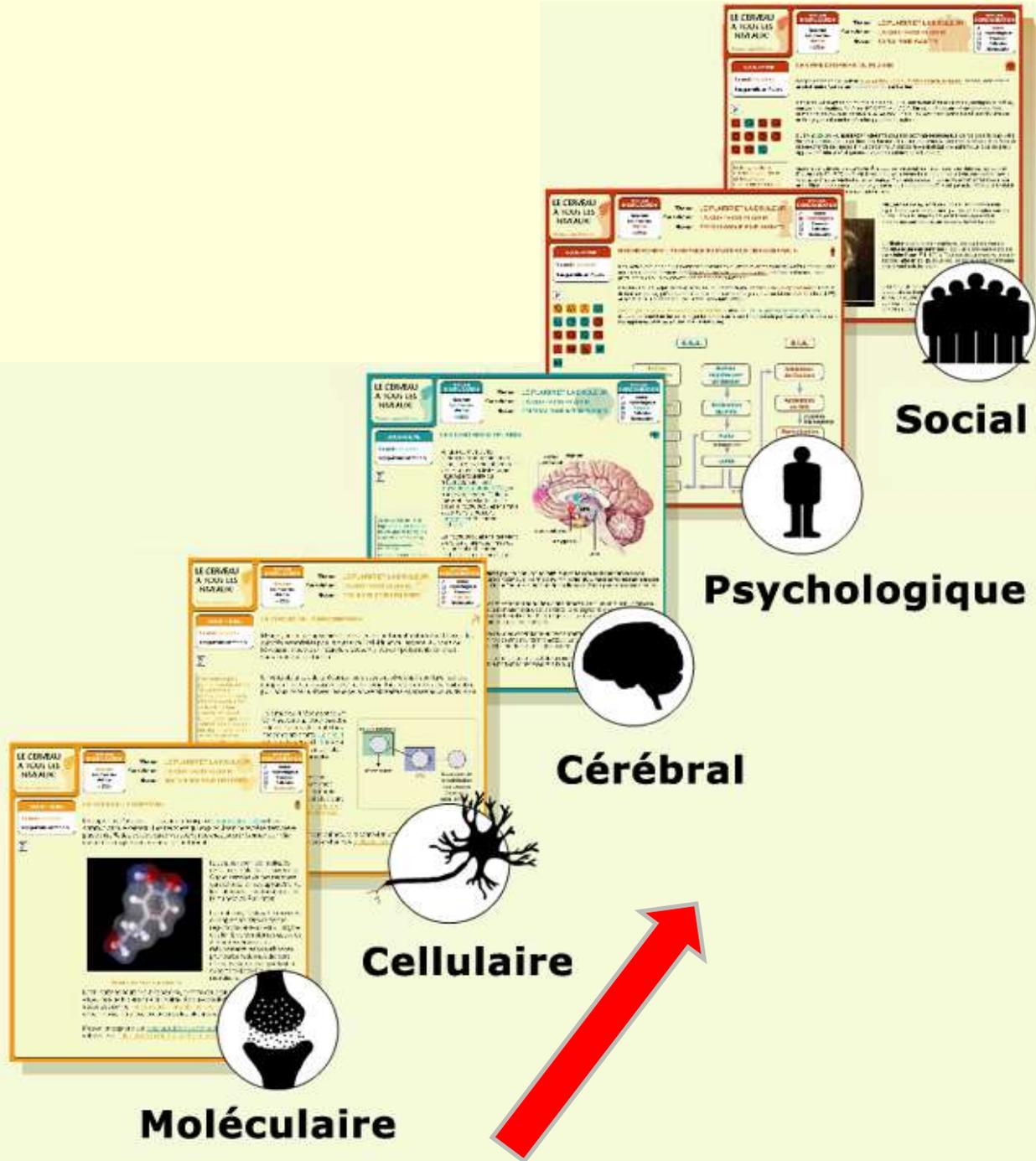
L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif



Moléculaire

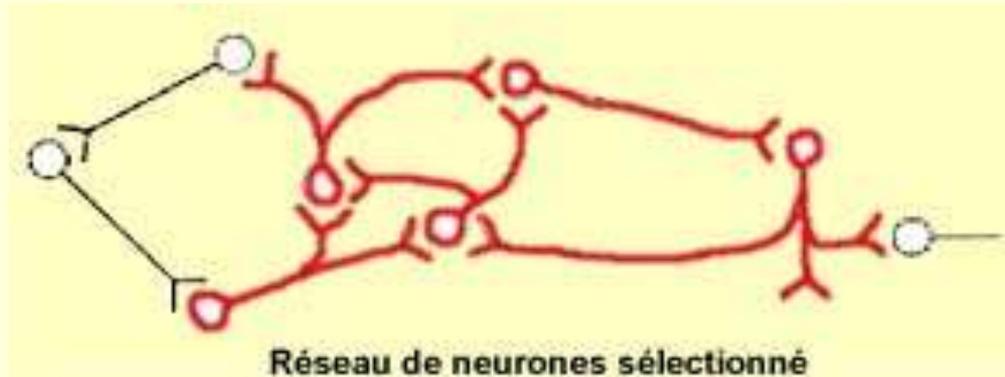
Cellulaire

Cérébral

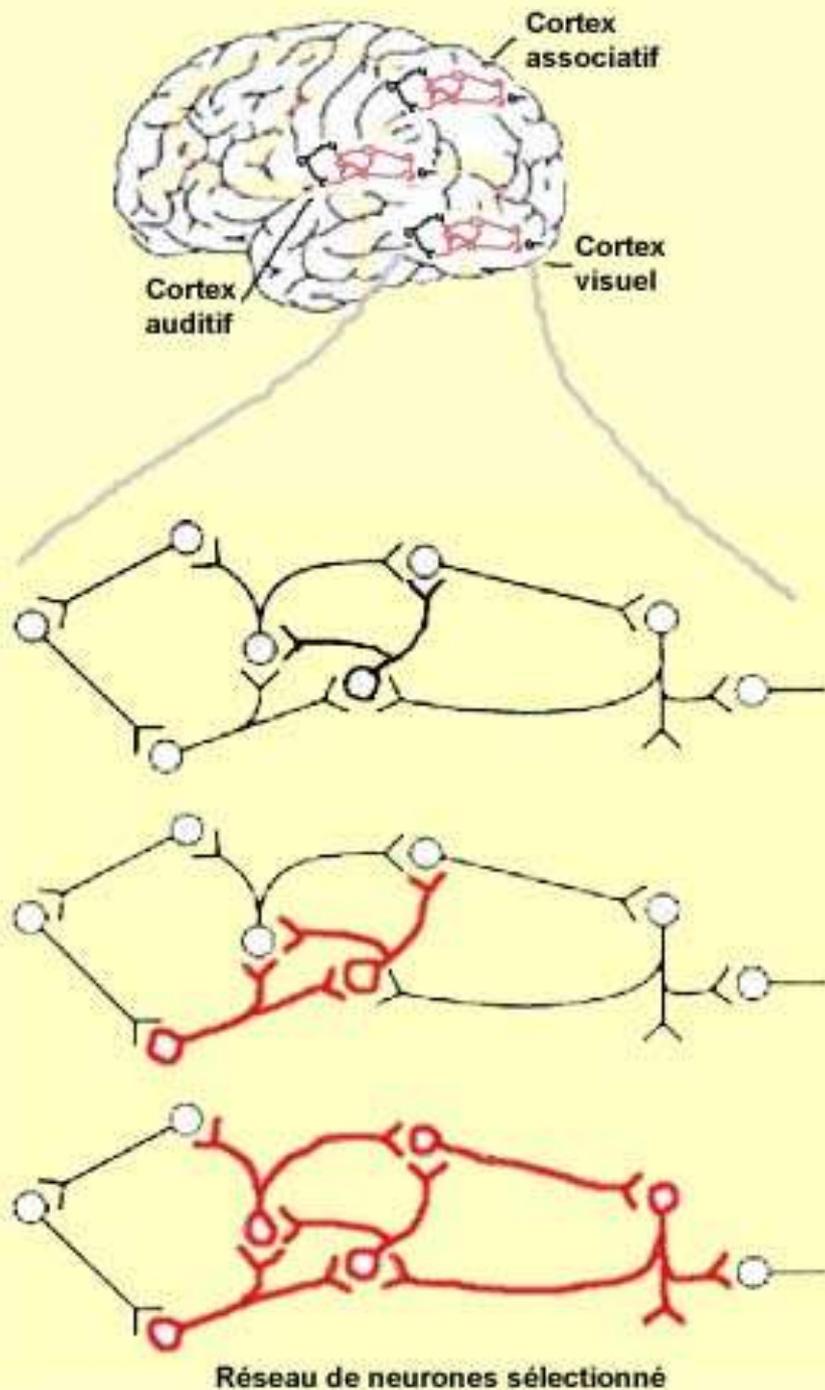
Psychologique

Social

Assemblées de neurones

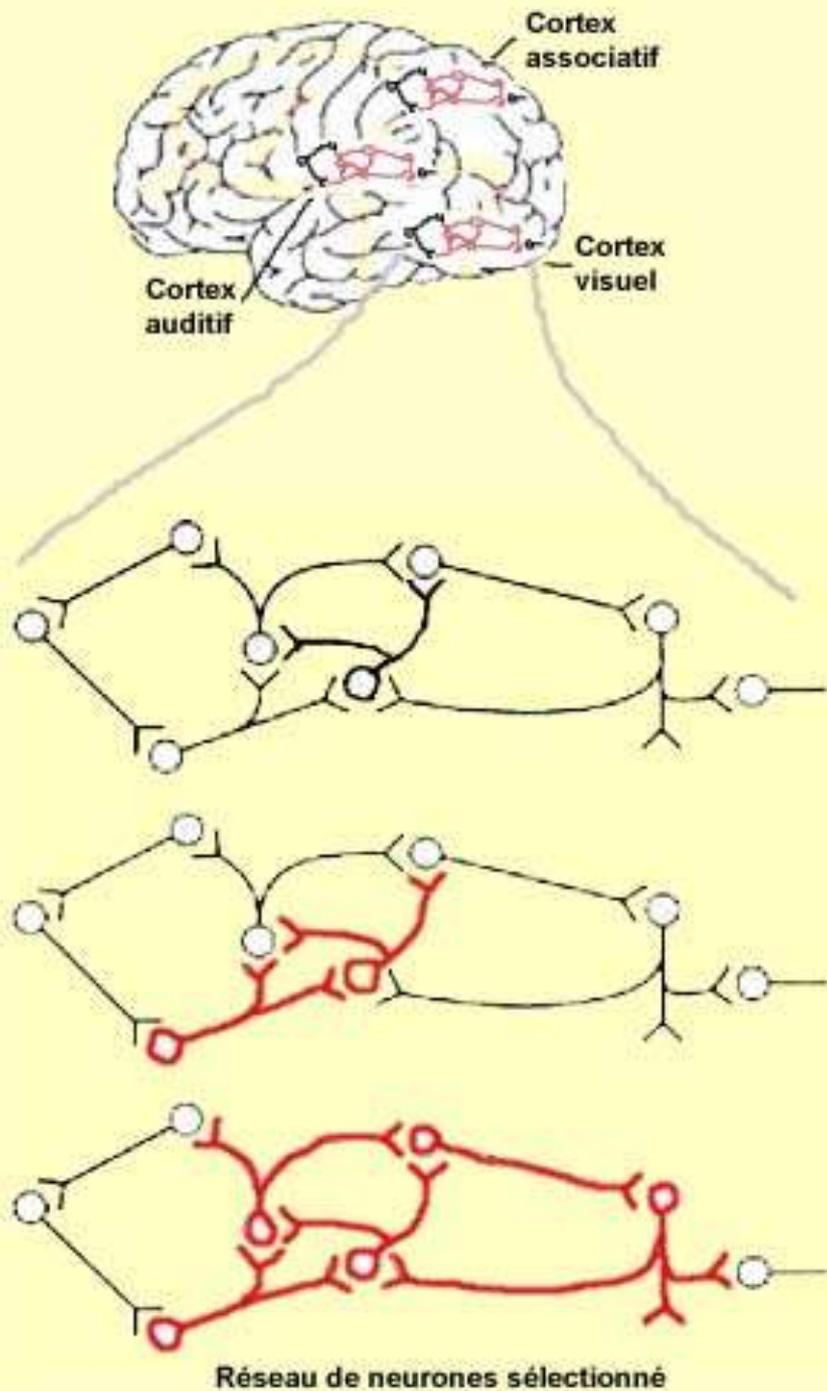


Étudier, s'entraîner, apprendre...



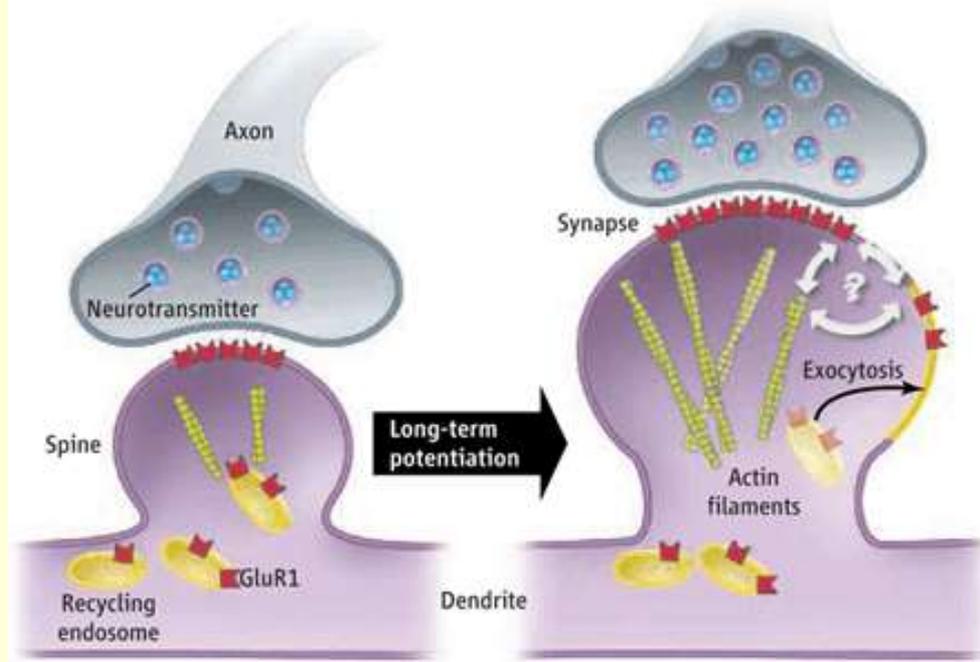
...c'est renforcer des connexions neuronales.

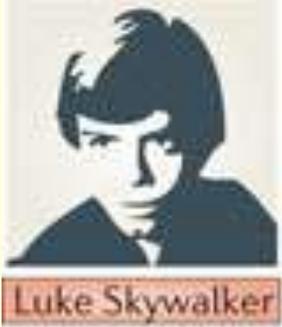
pour former des groupes de neurones qui vont devenir **habitués** de travailler ensemble.



Comment ?

Grâce aux synapses qui varient leur efficacité !





Concept / Cadre théorique :

Et ce sont ces réseaux de neurones sélectionnés qui vont constituer le support physique (ou « **l'engramme** ») d'un souvenir.

BMC Biol. 2016; 14: 40. Published online **2016** May 19.

What is memory?

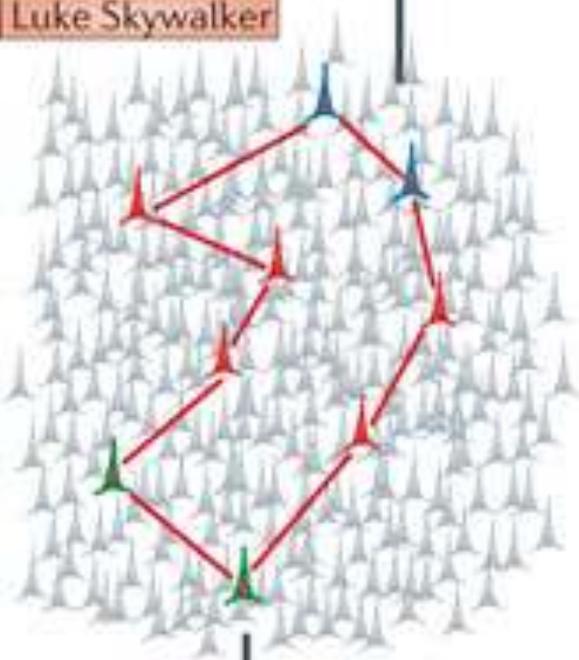
The present state of the engram

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

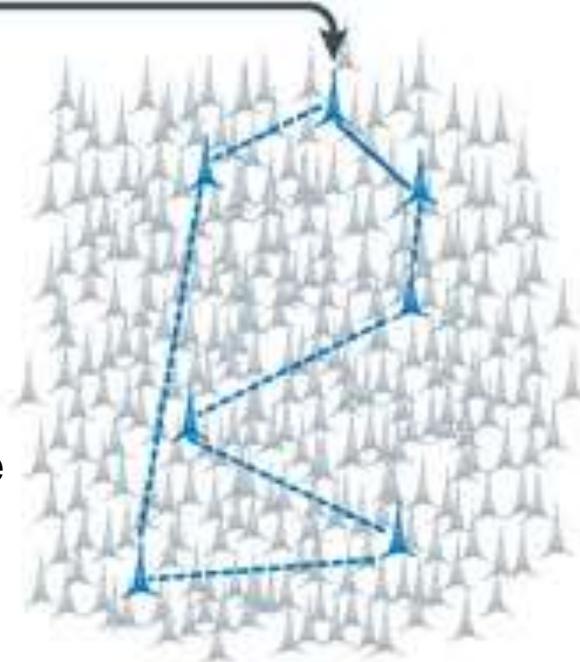
- Le “poids synaptique” (l'efficacité d'une synapse) contrôlerait **l'accessibilité** de l'information encodée
- Et la connectivité particulière d'une assemblée de neurone contrôlerait la **spécificité** de l'information encodée



Luke Skywalker

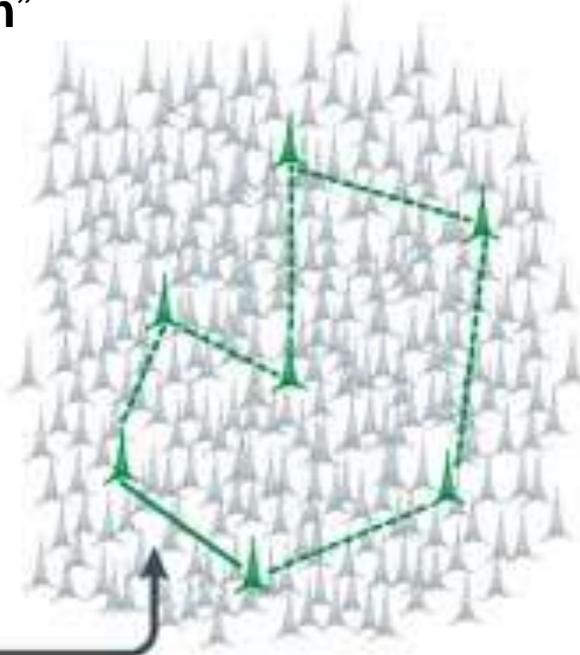


Un mécanisme de rappel appelé “**pattern completion**”



Yoda

C’est aussi de cette façon qu’un **concept** ou un **souvenir** peut en évoquer un autre...



Darth Vader

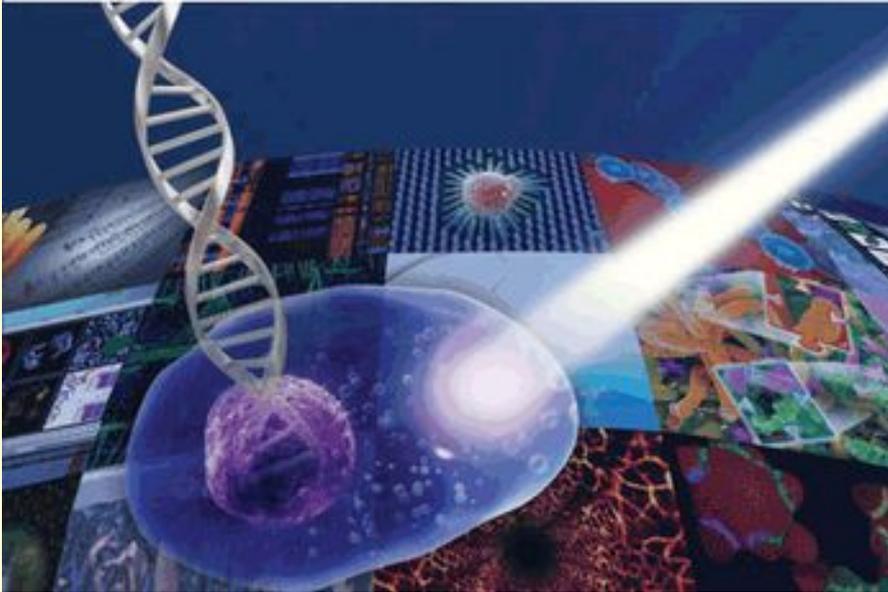
La **théorie de l'engramme mnésique** proposé par Richard Semon en 1923 a été presque **complètement ignorée** jusqu'à tard dans les années 1970.

Depuis quelques années, notamment grâce à l'**optogénétique**, elle revient en force :

Identification and Manipulation of Memory Engram Cells (2014)

Xu Liu, Steve Ramirez, Roger L. Redondo, Susumu Tonegawa

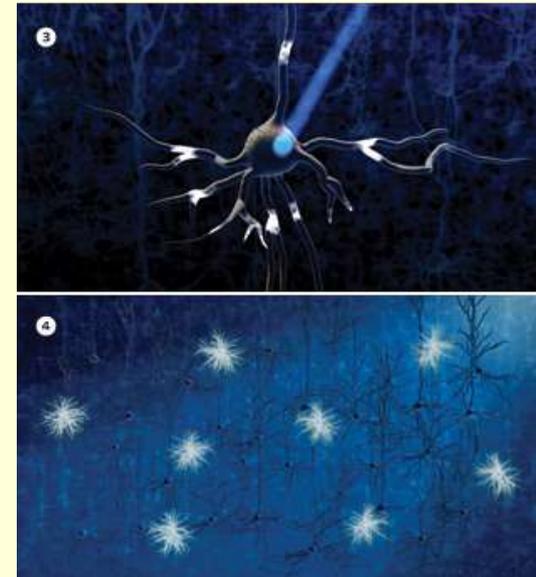
<http://symposium.cshlp.org/content/79/59.full>



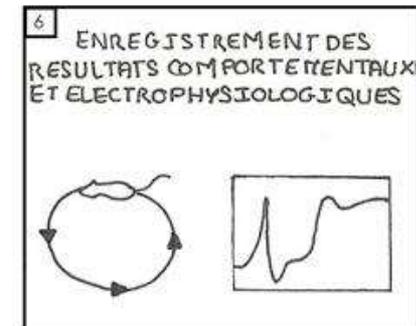
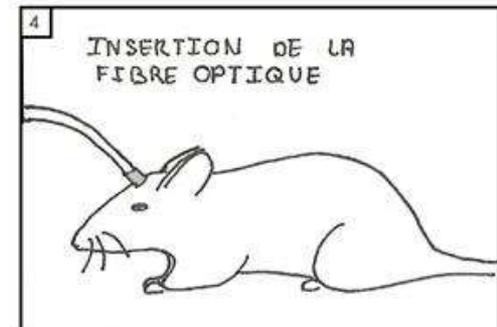
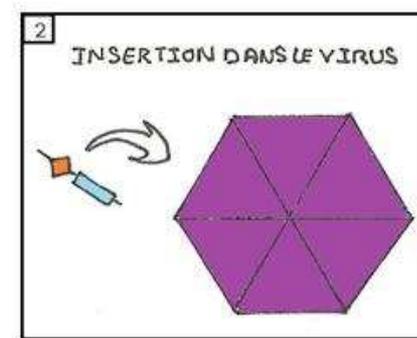
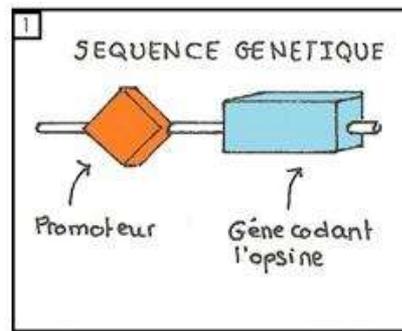
Un mélange de génétique, de virologie et d'optique permettant d'activer ou d'inactiver instantanément des groupes spécifiques de neurones dans le cerveau d'animaux vivants.

"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.

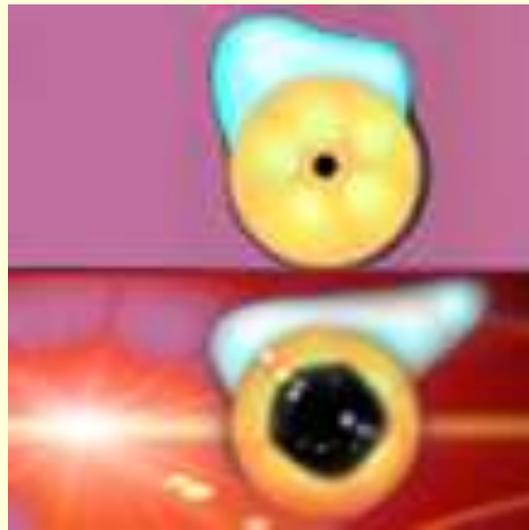


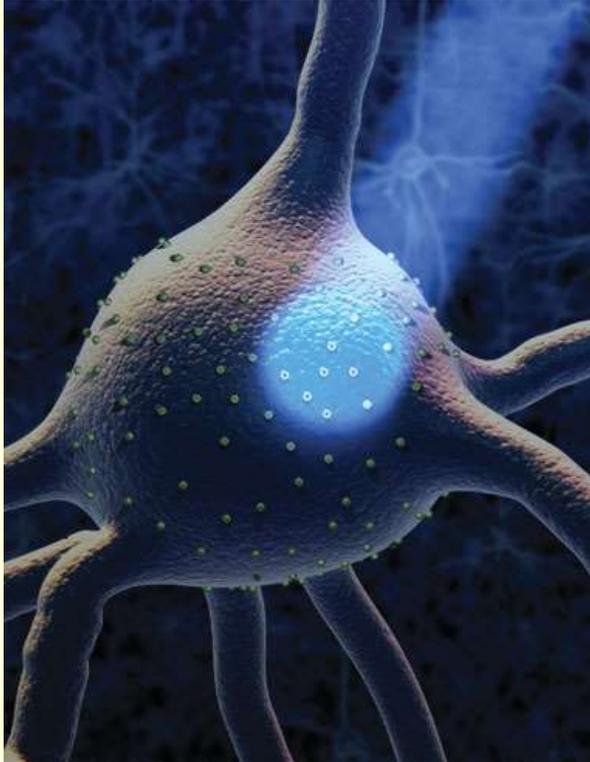
On peut utiliser des **promoteurs spécifiques** à un type cellulaire donné. Par exemple pour stimuler des neurones excitateurs du noyau subthalamique d'animaux modèles de la maladie de Parkinson, c'est le promoteur CamKIIa.



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.

The Birth of Optogenetics

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

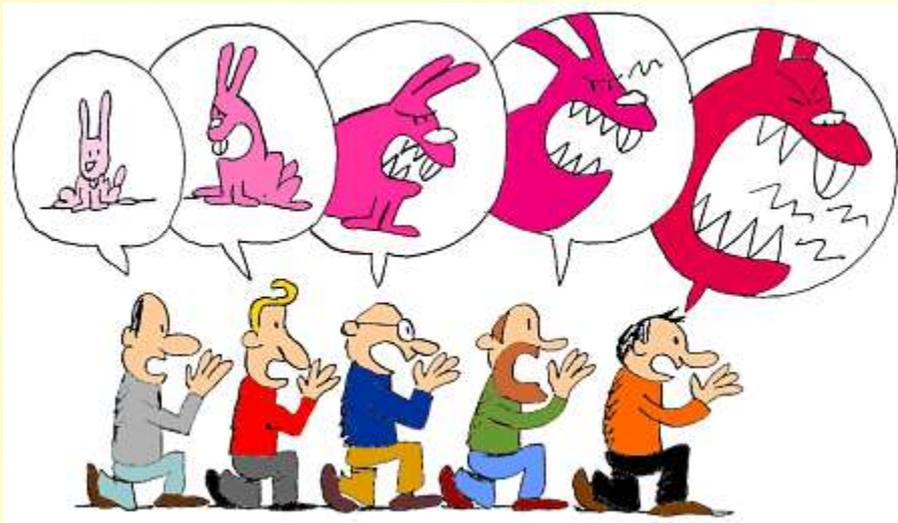
December 12, 2013

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

Question quiz :

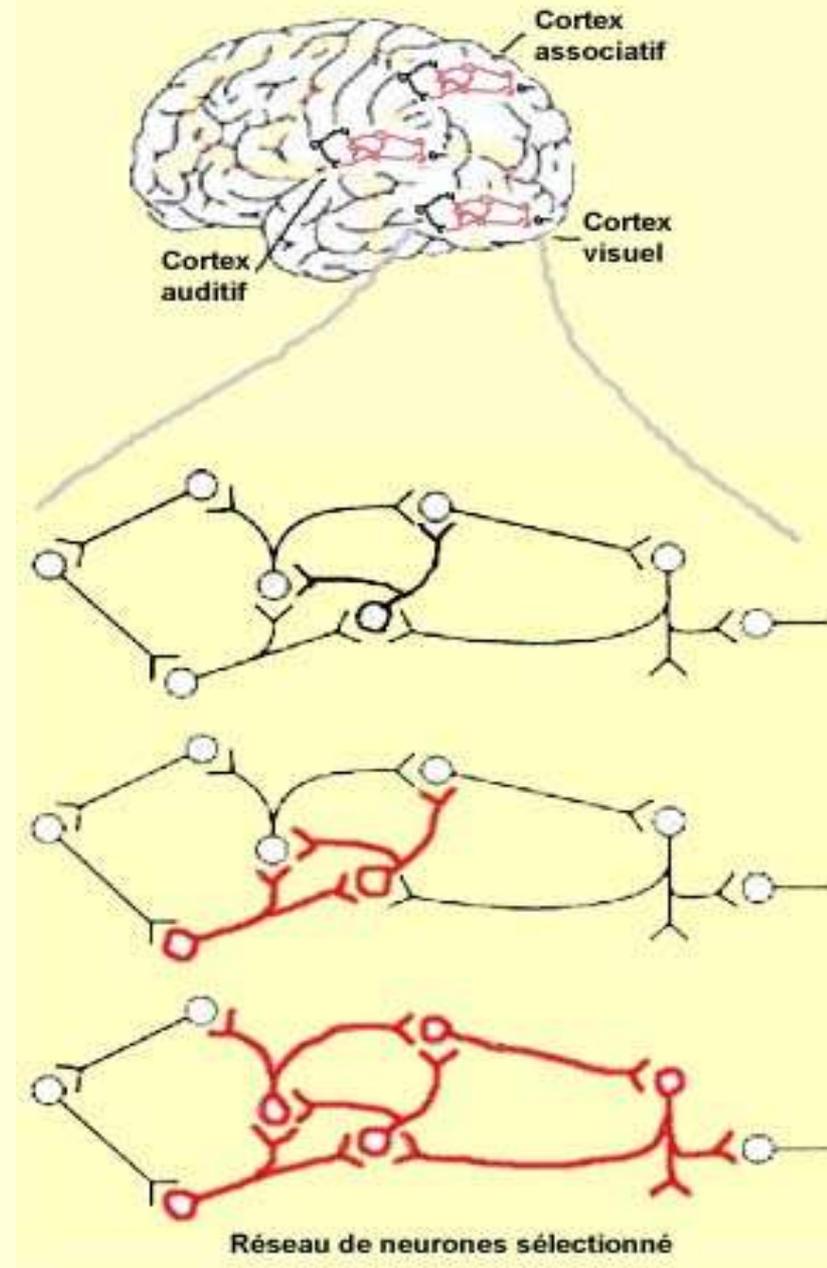
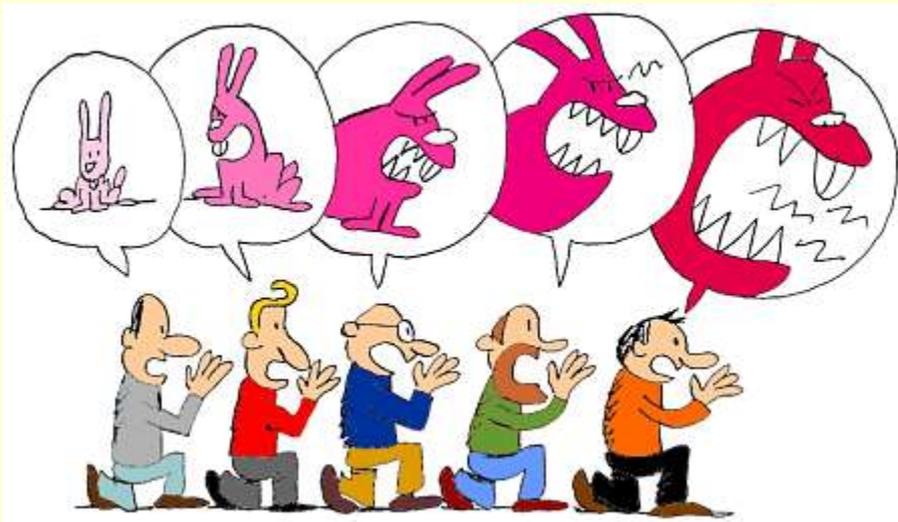
Sachant cela, quelle
serait la meilleure
métaphore
pour la mémoire
humaine ?



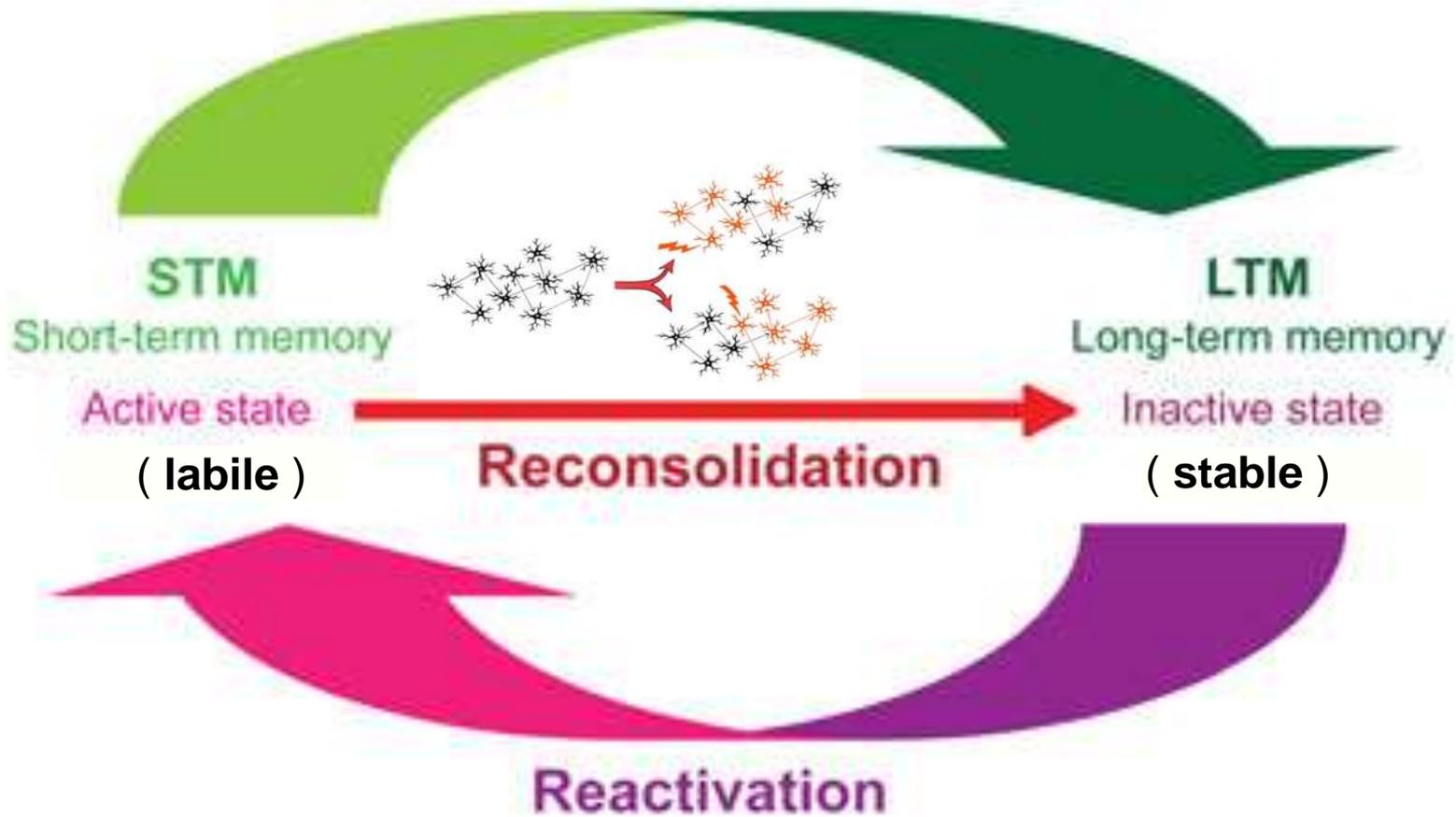
La mémoire humaine est forcément une **reconstruction**.

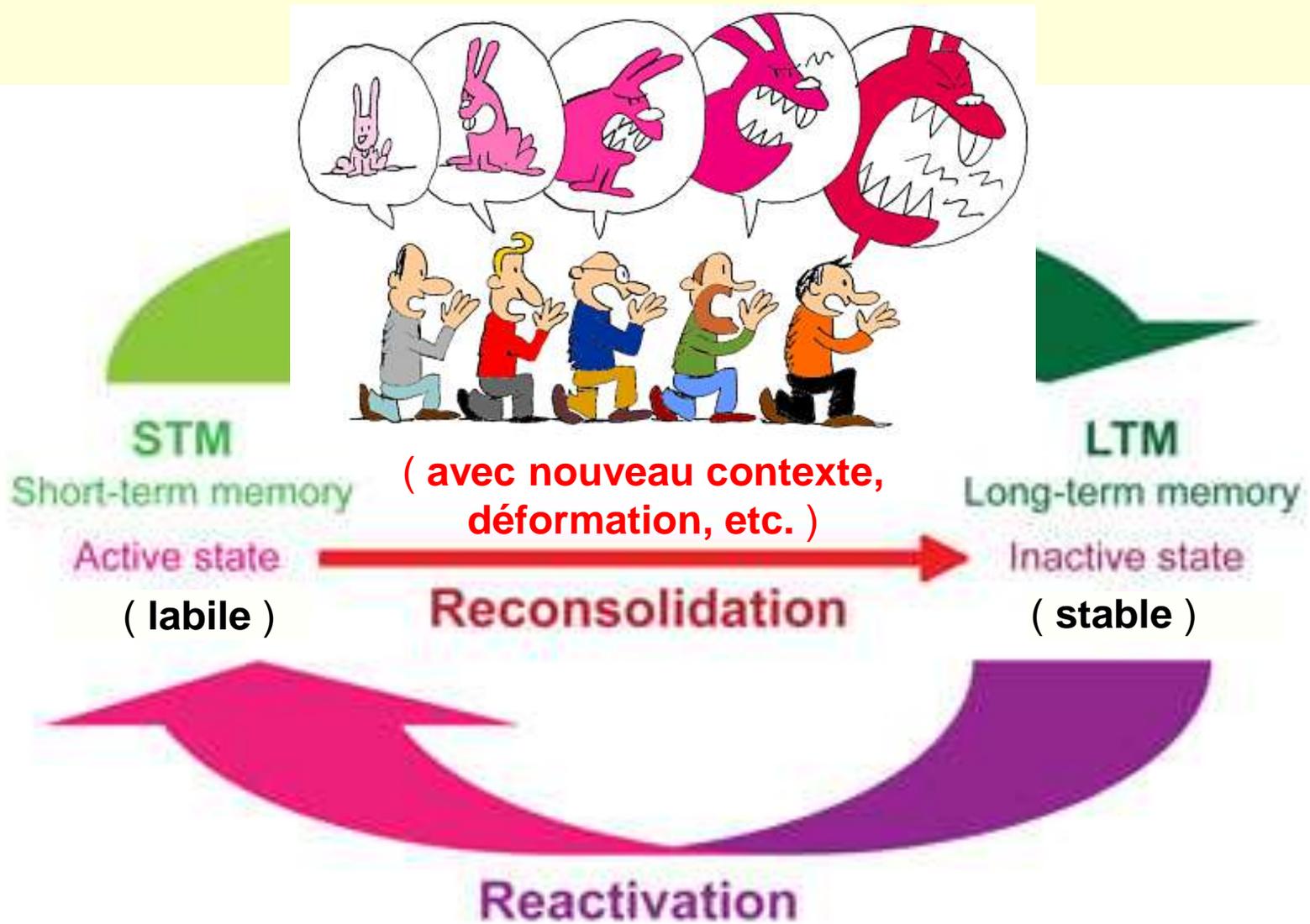
Notre cerveau, et donc notre **identité**, n'est donc jamais exactement la même au fil des jours...

Déjà, elle n'est plus tout à fait la même que lorsque vous êtes rentrés dans cette pièce !



Consolidation





Memory retrieval and the passage of time: from reconsolidation and strengthening to extinction.

Inda MC, Muravieva EV, Alberini CM. Journal of Neuroscience 2011 Feb 2; 31(5):1635-43.

<http://www.hfsp.org/frontier-science/awardees-articles/function-memory-reconsolidation-function-time>

[http://knowingneurons.com/2017/02/01/mandela-effect/?ct=t\(RSS_EMAIL_CAMPAIGN\)](http://knowingneurons.com/2017/02/01/mandela-effect/?ct=t(RSS_EMAIL_CAMPAIGN))

Peut-on effacer les souvenirs?

1. Les méandres de la mémoire

[Isabelle Paré](#)

15 décembre 2018

<https://www.ledevoir.com/societe/543662/peut-on-effacer-les-souvenirs>

L'approche du Dr. **Alain Brunet**, de l'hôpital Douglas à Verdun :

« Cette approche se fonde sur le fait que lorsque les symptômes émanent d'un événement traumatique, **si on diminue les souvenirs émotifs liés à cet événement, on diminuera les symptômes** », explique le chercheur, aussi clinicien. L'objectif n'est donc pas d'effacer le souvenir, insiste-t-il, mais plutôt de **le dépouiller des émotions extrêmes** qui l'accompagnent.

Dans le cabinet du thérapeute, cela se traduit par la prise d'un médicament, le **Propranolol**, un bêtabloquant capable d'inhiber la production des hormones de stress relâchées quand un souvenir traumatisant refait surface. Absorbé par le patient 90 minutes avant qu'il passe en revue ses souvenirs difficiles, le Propranolol permet à celui-ci de « **restocker** » **ce souvenir en le délitant des sensations physiques adverses** qu'il générerait au départ.

Après **six séances**, le souvenir factuel reste, mais les symptômes, domptés par le Propranolol, ont disparu de la mémoire.

Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

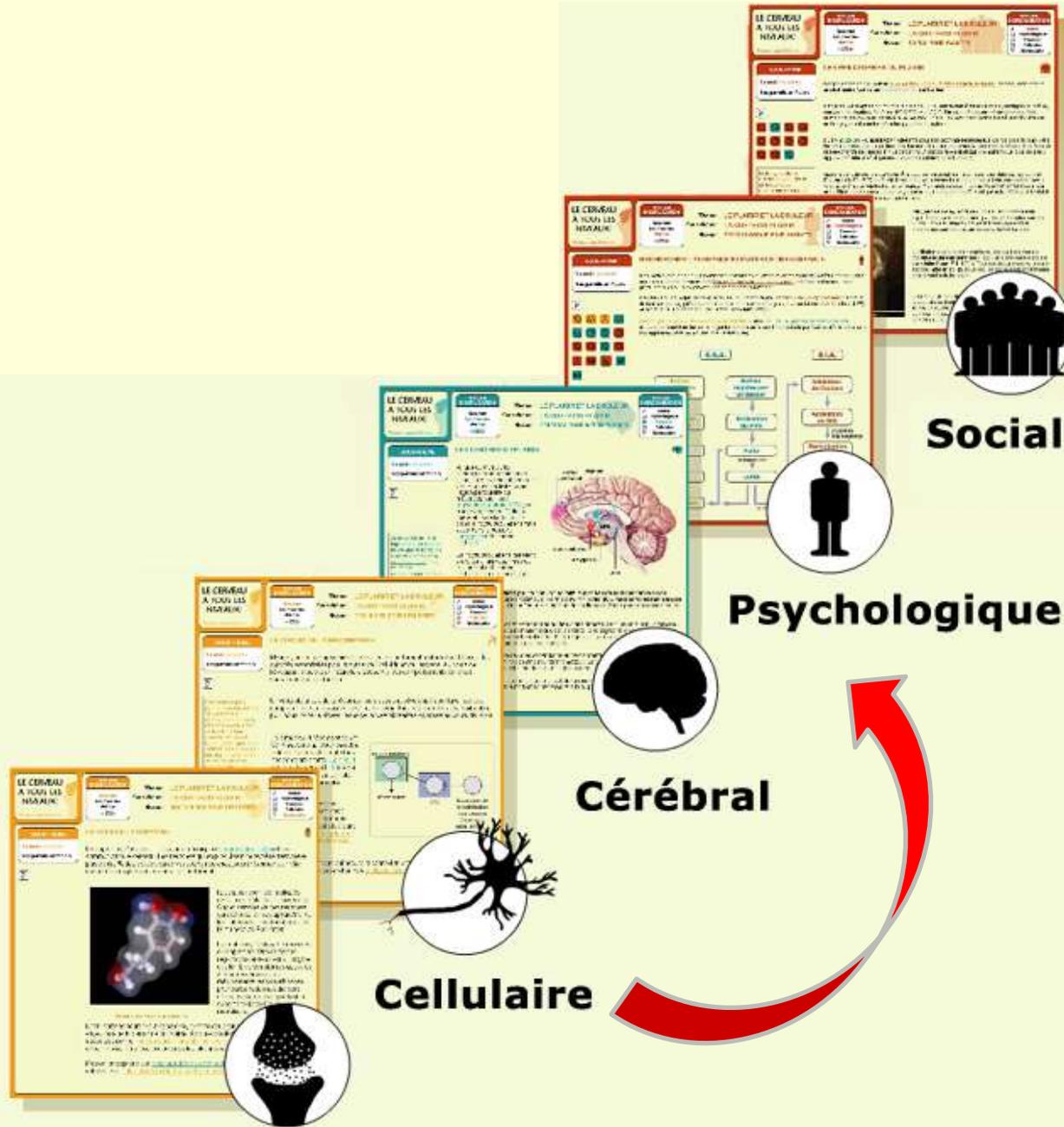
L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif



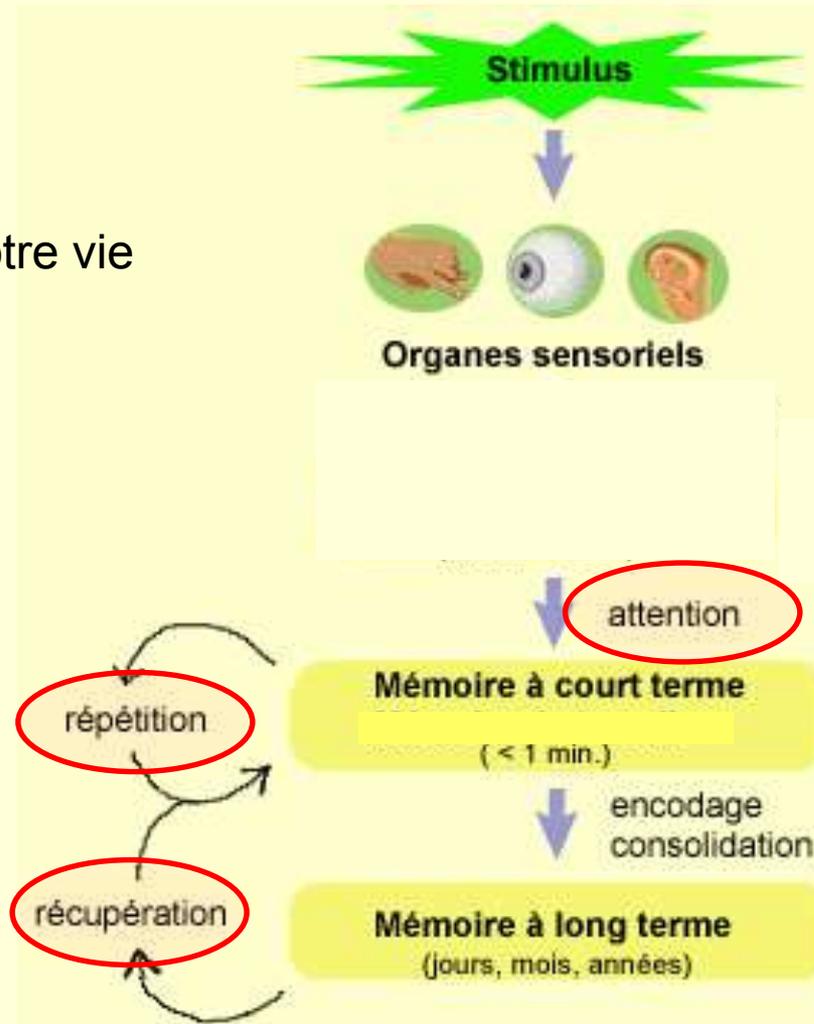
Petite incursion
au niveau
psychologique

Concrètement, qu'est-ce qui peut favoriser l'apprentissage et la mémoire ?

- Comprendre qu'on peut s'améliorer durant toute notre vie

Concrètement, qu'est-ce qui peut favoriser l'apprentissage et la mémoire ?

- Comprendre qu'on peut s'améliorer durant toute notre vie
- Porter attention
- Répéter
- Faire des tests de rappel



Étude versus tests de rappel

Groupe 1 : 4 blocs d'étude, 4 tests (ÉT ÉT ÉT ÉT)

Groupe 2 : 6 blocs d'étude, 2 tests (ÉT ÉÉ ÉT ÉÉ)

Groupe 3 : 8 blocs d'étude, 0 test (ÉÉ ÉÉ ÉÉ ÉÉ)

Les meilleurs résultats de rappel deux jours plus tard sont :

groupe 1,

puis **groupe 2**

et finalement **groupe 3.**

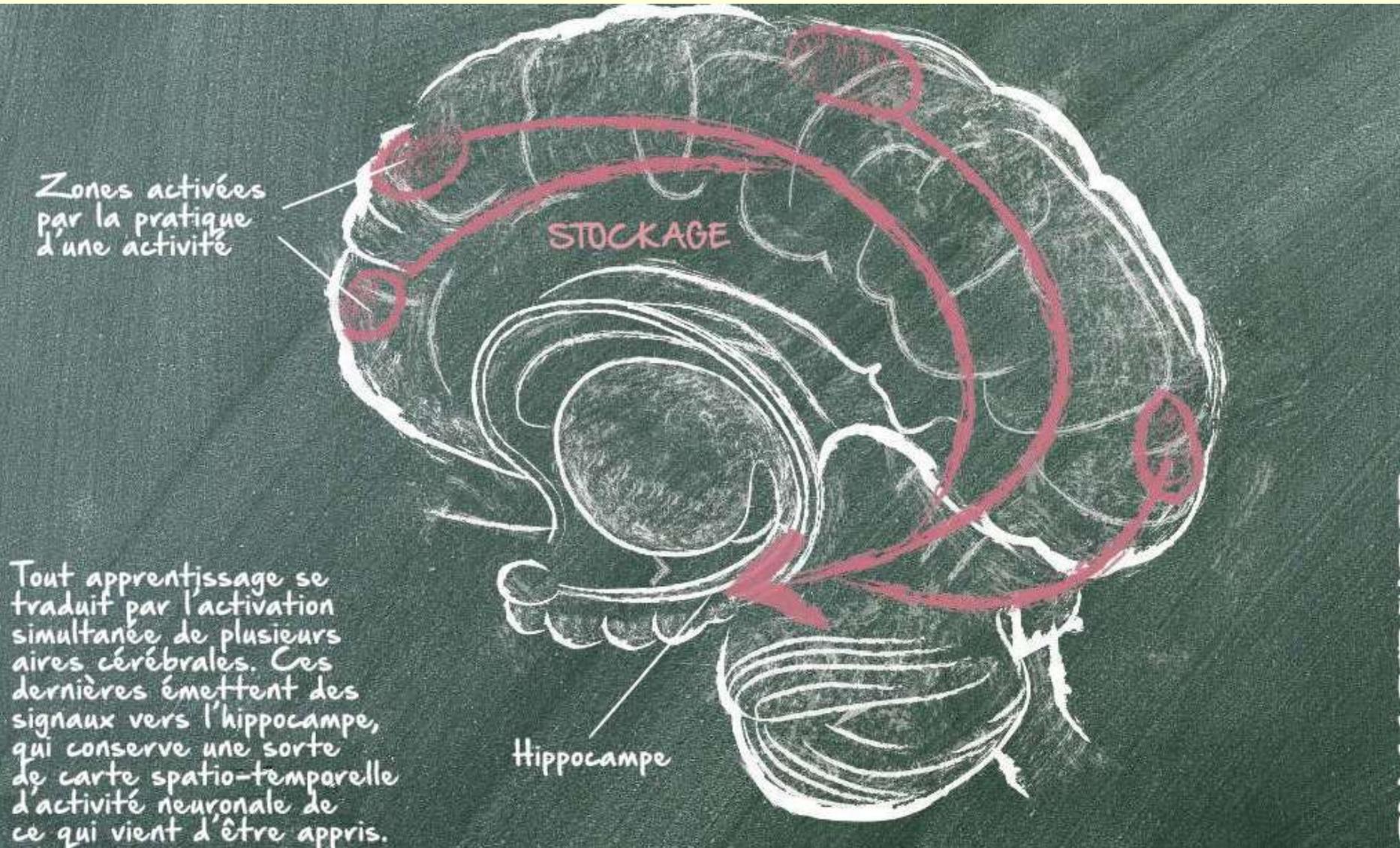
→ Faire des **tests de révision fréquents** nous force à récupérer en mémoire une information récemment apprise

→ Ce rappel est suivi d'une **reconsolidation** qui permet le **stockage plus profond** de cette information en mémoire à long terme.

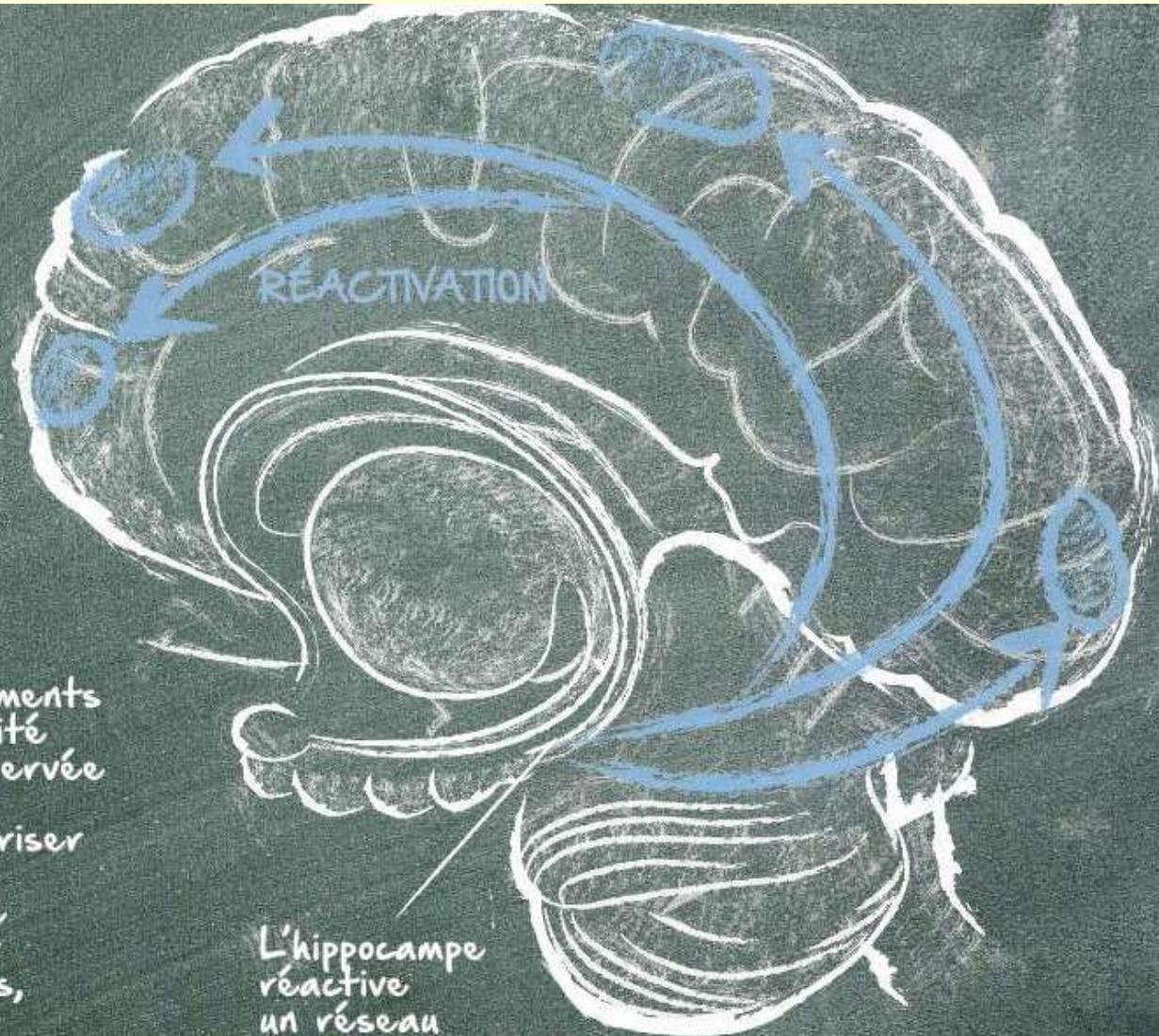
Concrètement, qu'est-ce qui peut favoriser l'apprentissage et la mémoire ?

- Comprendre qu'on peut s'améliorer durant toute notre vie
- Porter attention
- Répéter
- Faire des tests de rappel
- Bien dormir

Les apprentissage du jour...



Les apprentissage du jour... sont **réactivés et consolidés la nuit.**



Loin d'être inactif, le cerveau affiche pendant certains moments du sommeil une activité identique à celle observée pendant la veille. En effet, pour mémoriser les apprentissages récents, l'hippocampe réactive les réseaux de neurones impliqués, ce qui consolide l'apprentissage.

L'hippocampe réactive un réseau de neurones

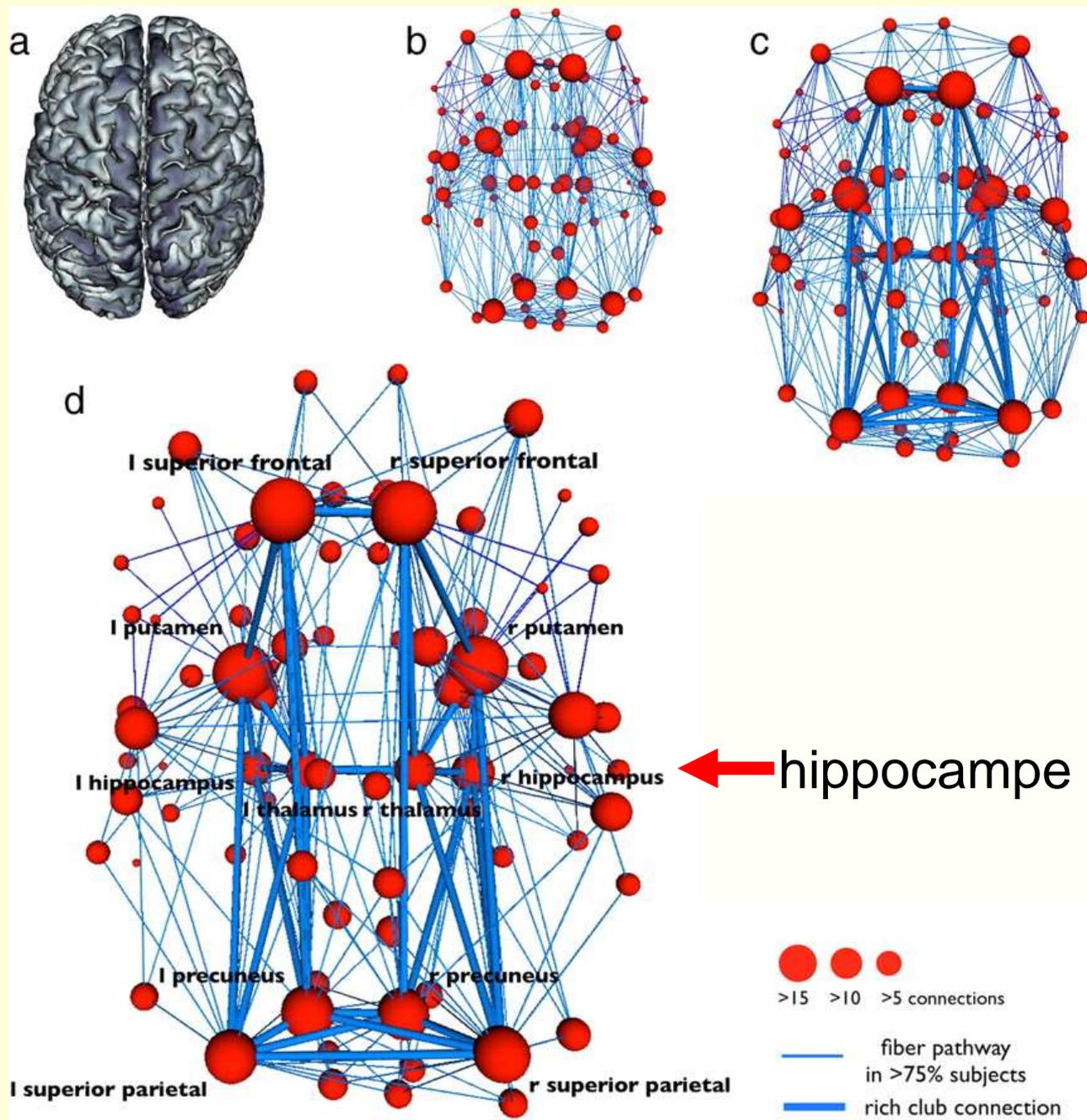
Rich-Club Organization of the Human Connectome

Martijn P. van den Heuvel
and Olaf Sporns

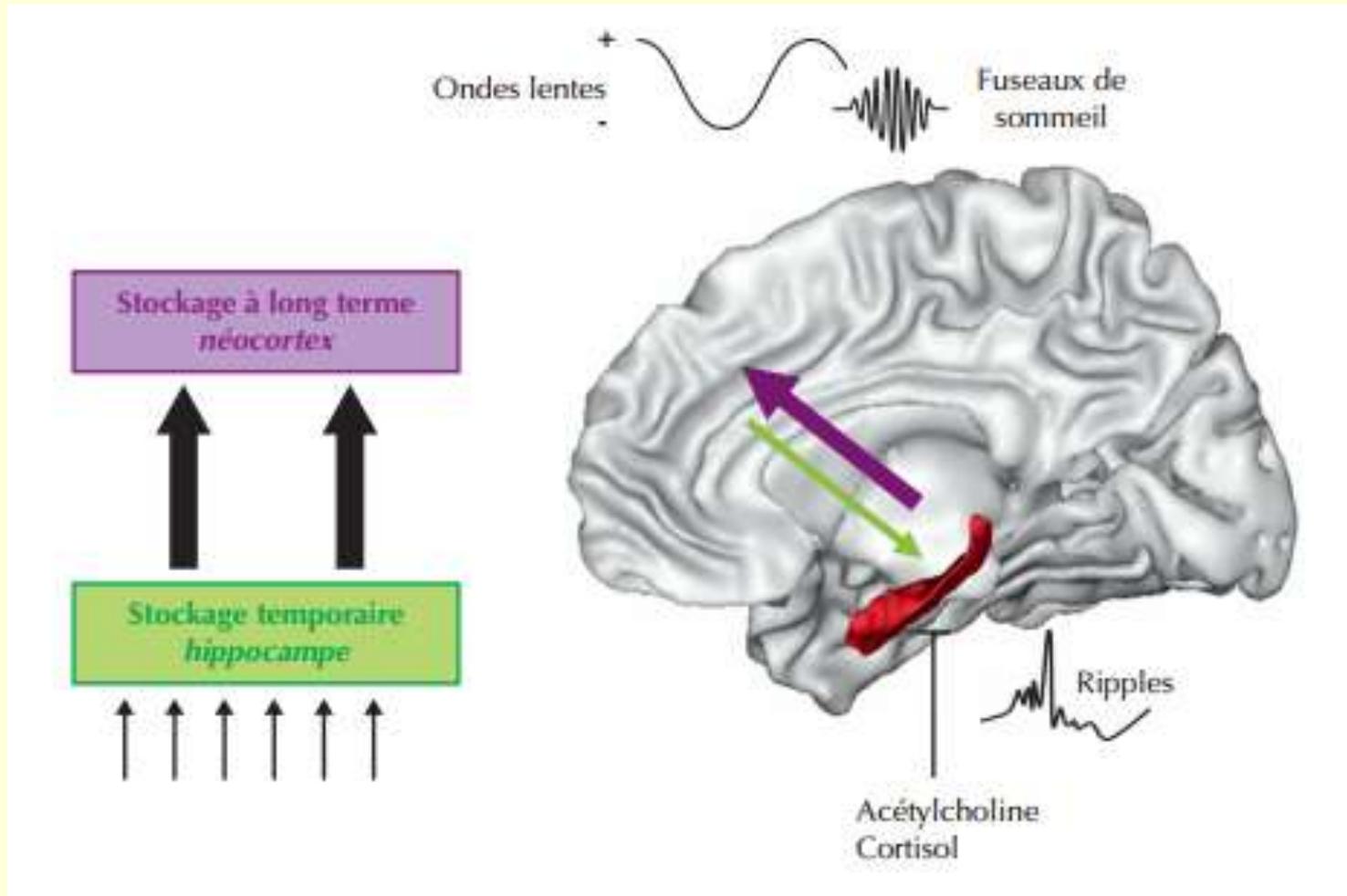
Journal of Neuroscience
2 November 2011

<http://www.jneurosci.org/content/31/44/15775>

“ Here, we demonstrate that brain **hubs** form a so-called “**rich club,**” characterized by a tendency for high-degree nodes to be **more densely connected among themselves** than nodes of a lower degree, providing important information on the higher-level topology of the brain network.”



Rôle du sommeil dans la **consolidation** de la mémoire :



Rôle du sommeil dans la **consolidation** de la mémoire :

En **juin 2014** paraissait dans la revue Science un article montrant que les neurones moteurs activés durant l'apprentissage d'une tâche **sont réactivés durant le sommeil profond**,

ce qui favorise la formation d'épines dendritiques de manière spécifique sur ces neurones.

Lundi, **15 juin 2015**

De l'importance des oscillations cérébrales lentes durant le sommeil profond

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2015/06/15/4595/>

Il semble assez bien établi que les **oscillations lentes d'environ 0,75 Hz** qui se répandent largement dans tout le cerveau durant le sommeil profond **favorisent cette consolidation**.

Ce qui est différent des oscillations **thêta de 4 à 8 Hz** qui elles favoriseraient **l'encodage dans l'hippocampe**, une structure cérébrale très impliquée dans notre mémoire à long terme.

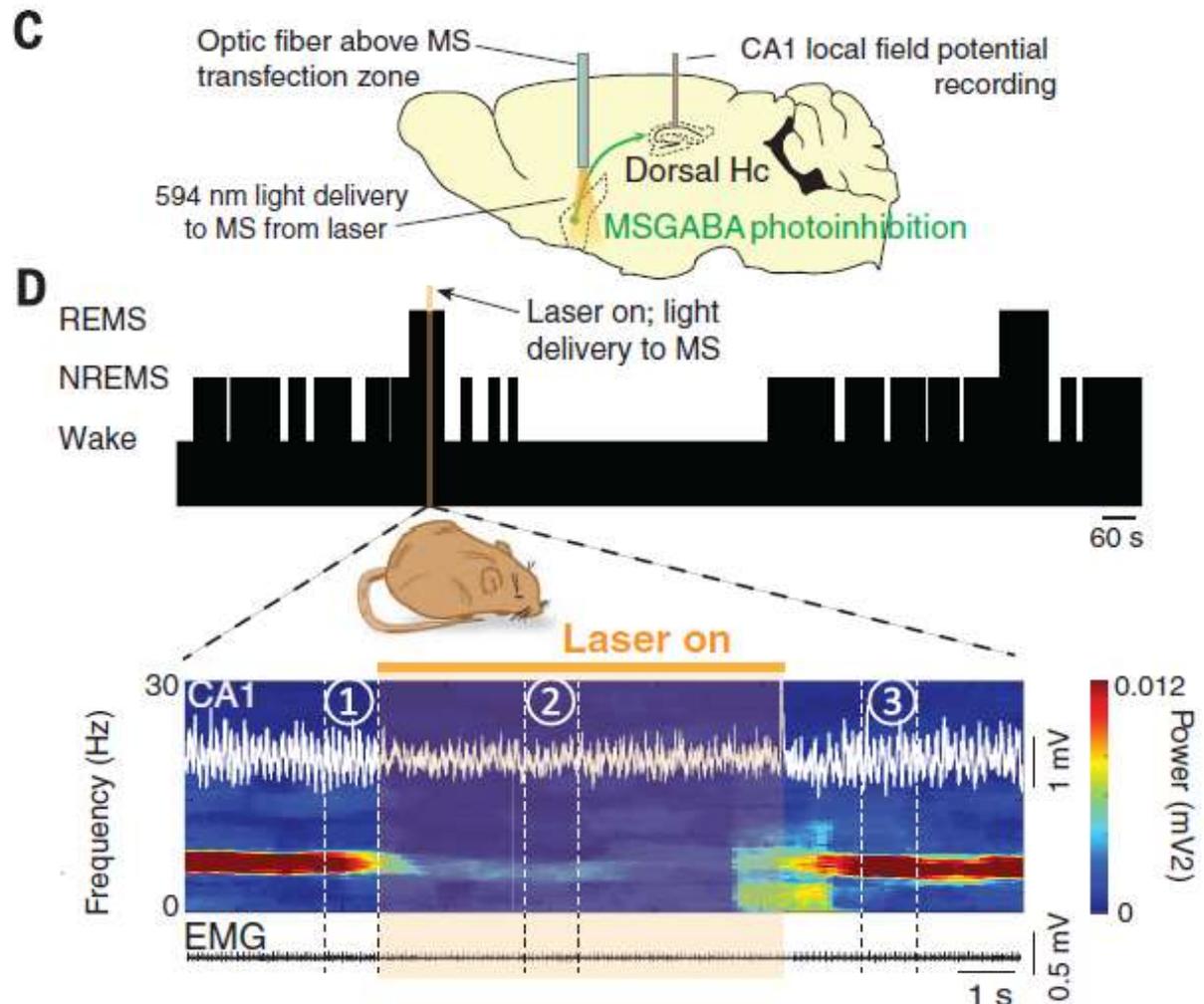
Causal evidence for the role of REM sleep theta rhythm in contextual memory consolidation

Richard Boyce,¹ Stephen D. Glasgow,² **Sylvain Williams,^{2*}†** Antoine Adamantidis^{2,3*}†
(2016)

<http://science.sciencemag.org/content/352/6287/812/tab-pdf>

Grâce à des techniques **d'optogénétique** chez la souris, des neurones au **GABA** du **septum médian** ont été rendu **silencieux**.

Cela a permis **l'atténuation du rythme thêta** associé à la consolidation mnésique durant le REM (sans perturber le sommeil).



Par la suite, la souris éveillée ne reconnaissait pas le nouvel emplacement d'un objet.

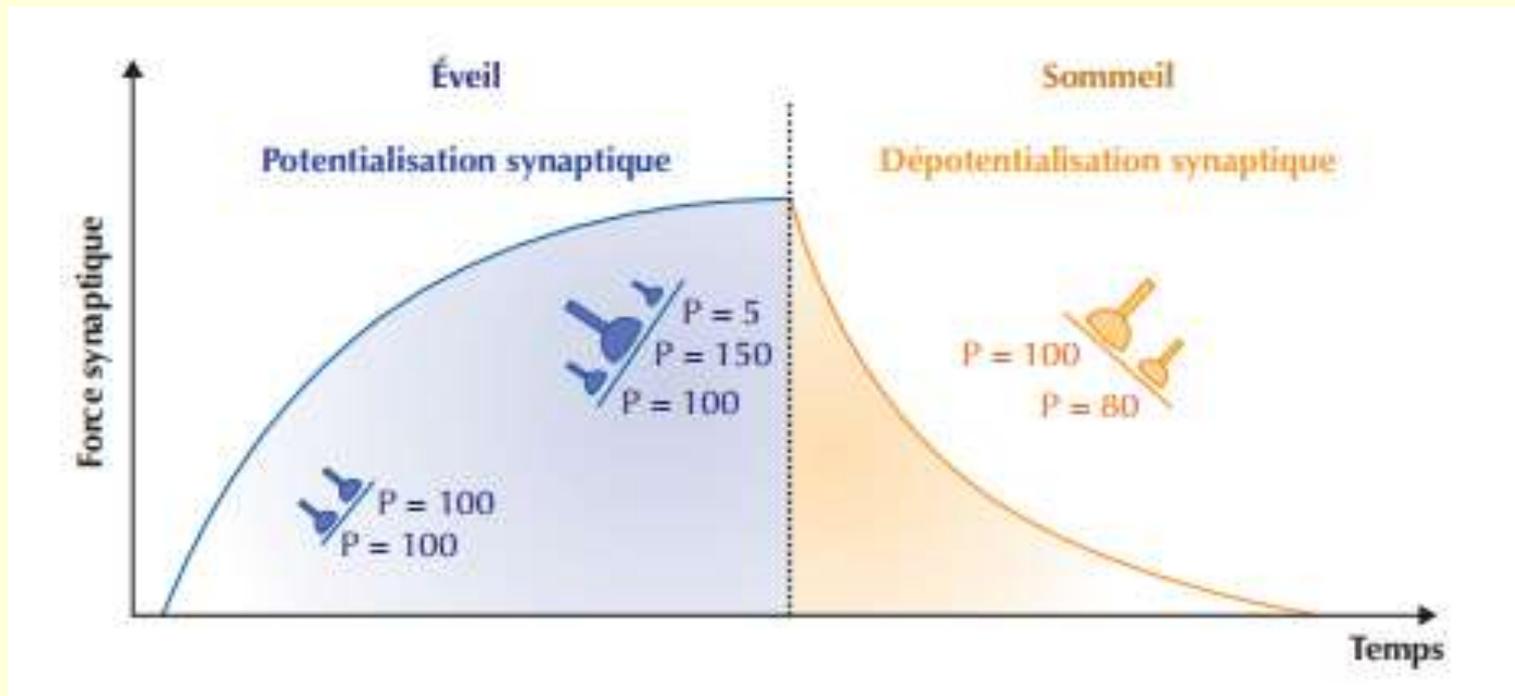
Ce traitement perturbait également une peur conditionnée à un certain contexte.

Le fait de rendre silencieux les neurones au GABA du septum médian en dehors des épisodes de REM n'avait pas d'effet sur la mémoire.

D'où leur conclusion que l'activité des neurones au GABA du septum médian, par leur contribution au rythme thêta dans l'hippocampe, est essentielle à la consolidation mnésique durant le REM.

Sommeil et « reset neuronal » [recalibrage synaptique] :

- Diminution de l'ordre de 20% des surfaces de contact synaptiques durant le sommeil;
- Diminution du nombre de récepteur au glutamate dans les synapses excitatrices durant le sommeil



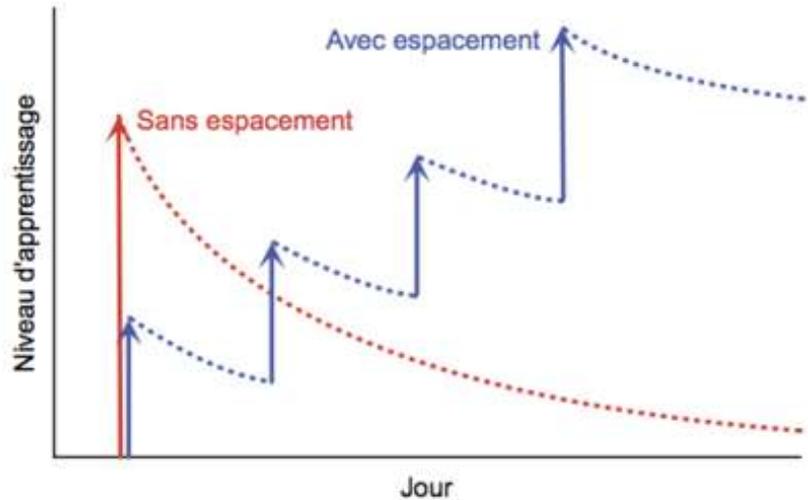


Fig. 1 – Comparaison des effets de deux pratiques d'enseignement (avec et sans espacement) sur l'apprentissage et l'oubli des élèves.

Un simple **espacement des périodes d'apprentissage** semble avoir un **effet bénéfique** (en plus du sommeil) :

- 4 x 30 min marche mieux que de 1 x 2h
- donc espacer les périodes d'étude (pas 3h avant l'examen)

Concrètement, qu'est-ce qui peut favoriser l'apprentissage et la mémoire ?

- Comprendre qu'on peut s'améliorer durant toute notre vie
- Porter attention
- Répéter
- Faire des tests de rappel
- Bien dormir et espacer les périodes d'apprentissage
- Être motivé



Concrètement, qu'est-ce qui peut favoriser l'apprentissage et la mémoire ?

- Comprendre qu'on peut s'améliorer durant toute notre vie
- Porter attention
- Répéter
- Faire des tests de rappel
- Bien dormir et espacer les périodes d'apprentissage
- Être motivé
- Créer des liens et des associations

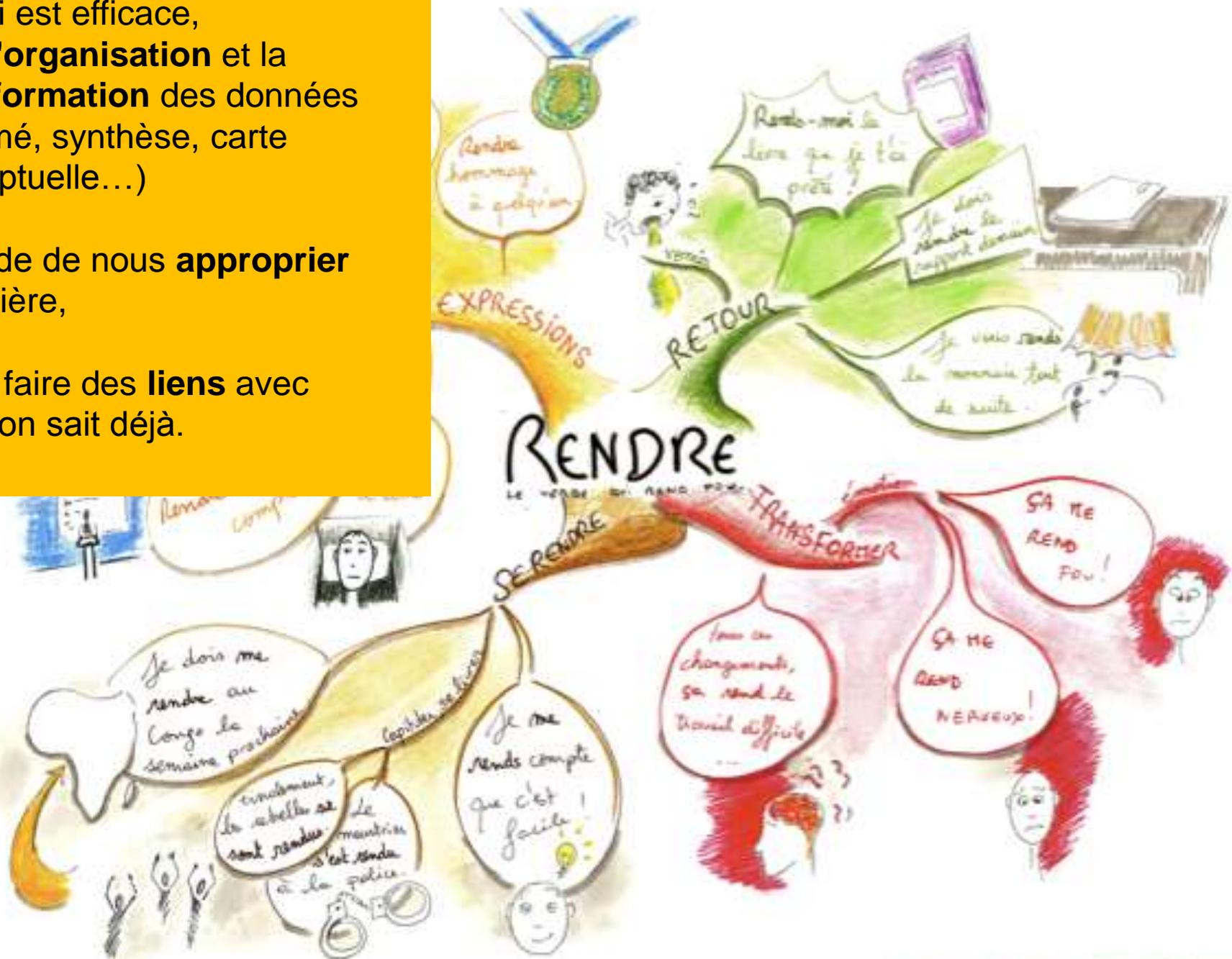
« Apprendre c'est accueillir le nouveau dans le déjà là. »

- Hélène Trocme Fabre

Ce qui est efficace, c'est **l'organisation** et la **transformation** des données (résumé, synthèse, carte conceptuelle...)

C'est de de nous **appropriier** la matière,

bref à faire des **liens** avec ce qu'on sait déjà.



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

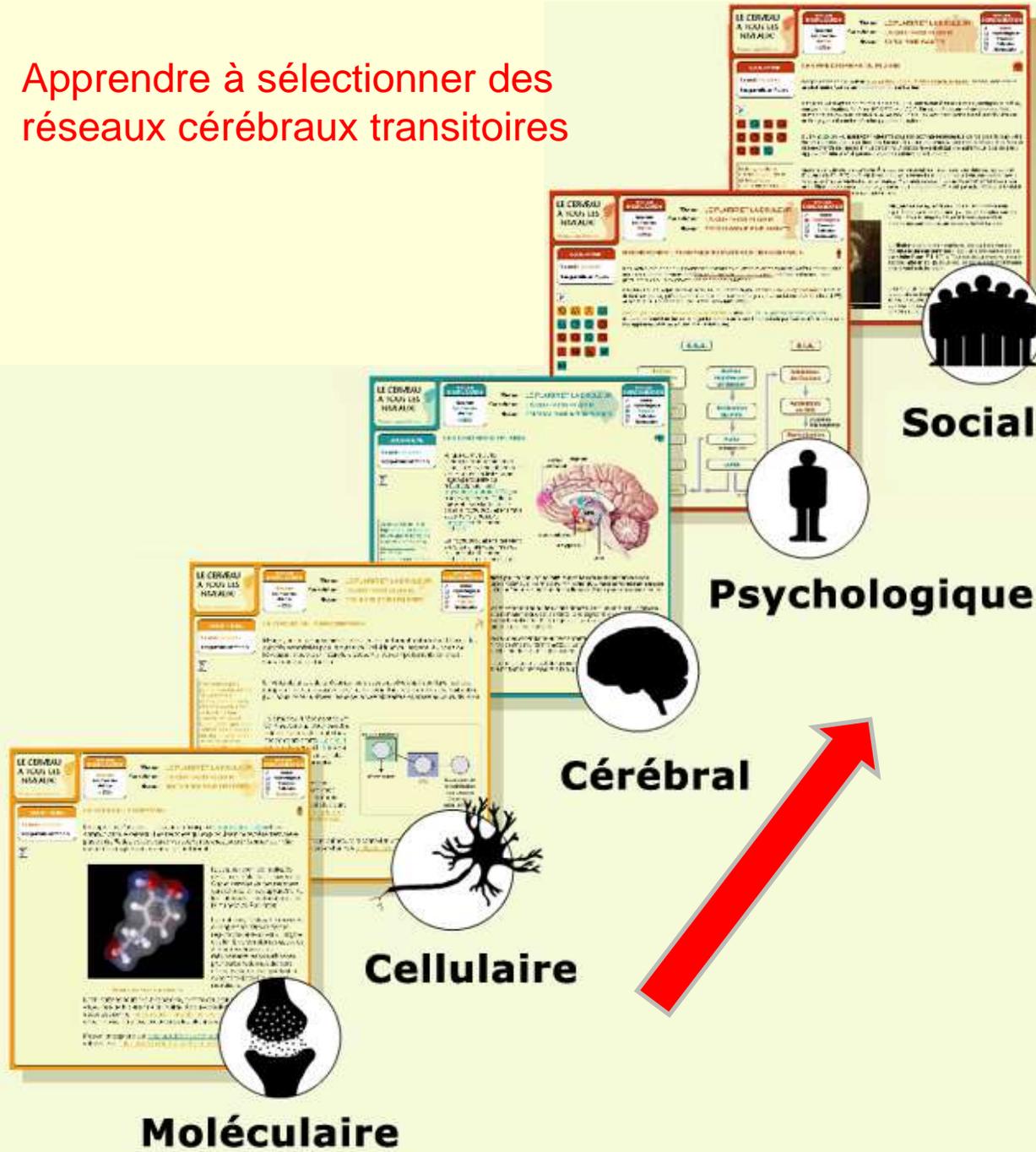
Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires



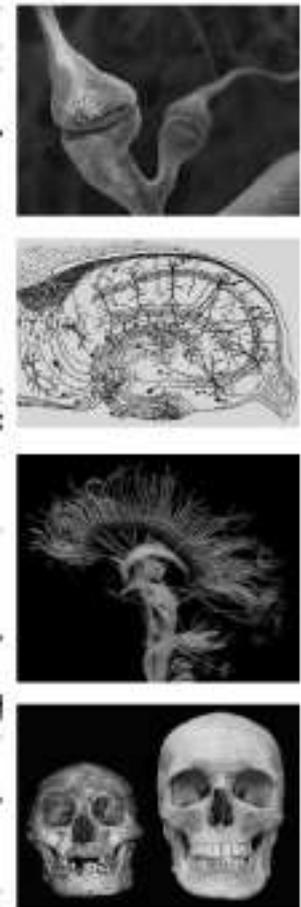
À différentes échelles de temps : que des processus dynamiques

Perception et action devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement

L'apprentissage durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones

Développement du système nerveux (incluant des mécanismes épigénétiques)

Évolution biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux



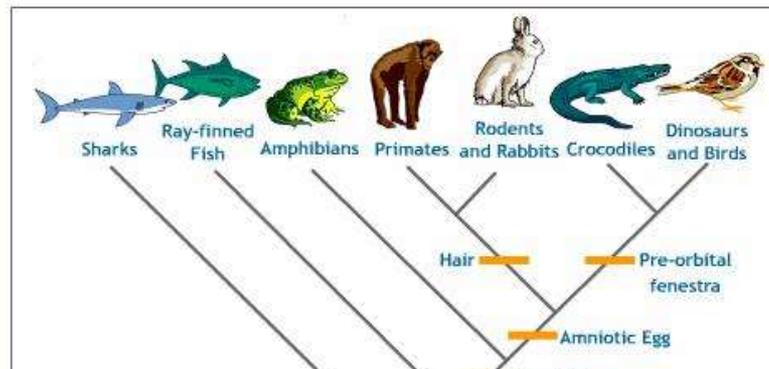
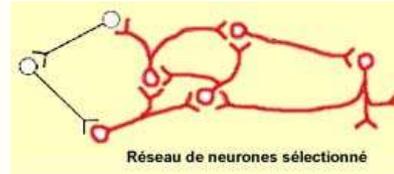
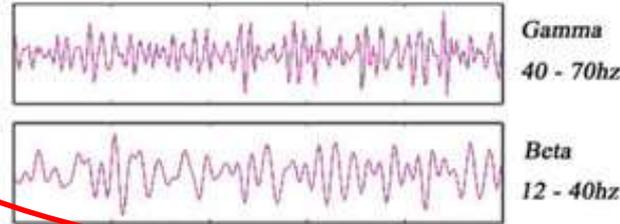
$10^{-3} s$

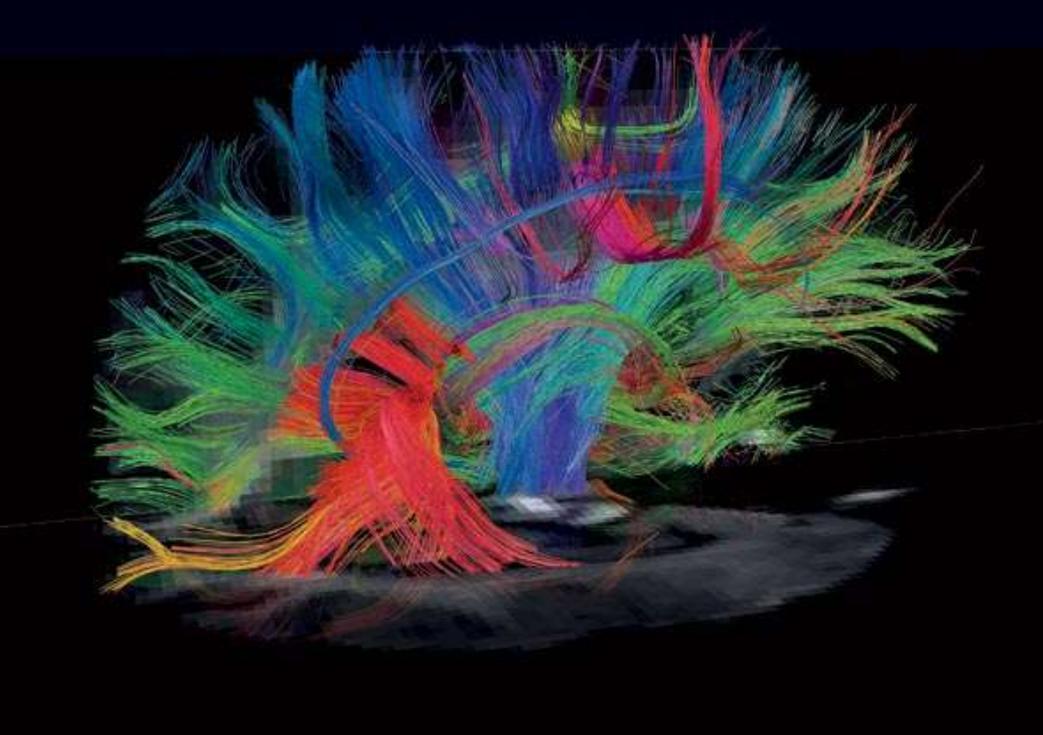
$10^{11} s$

$10^3 s$

$10^6 s$

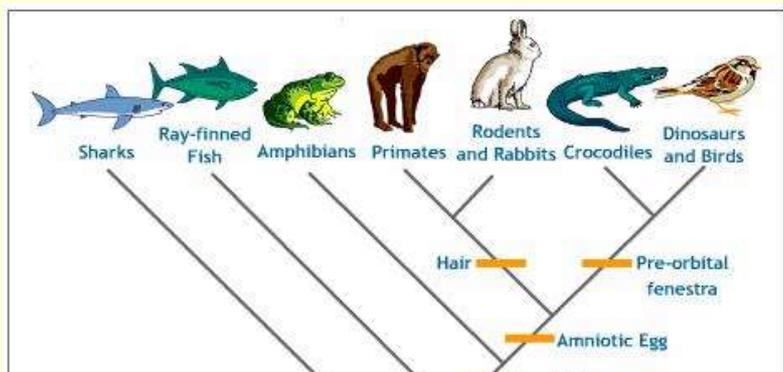
$10^{15} s$

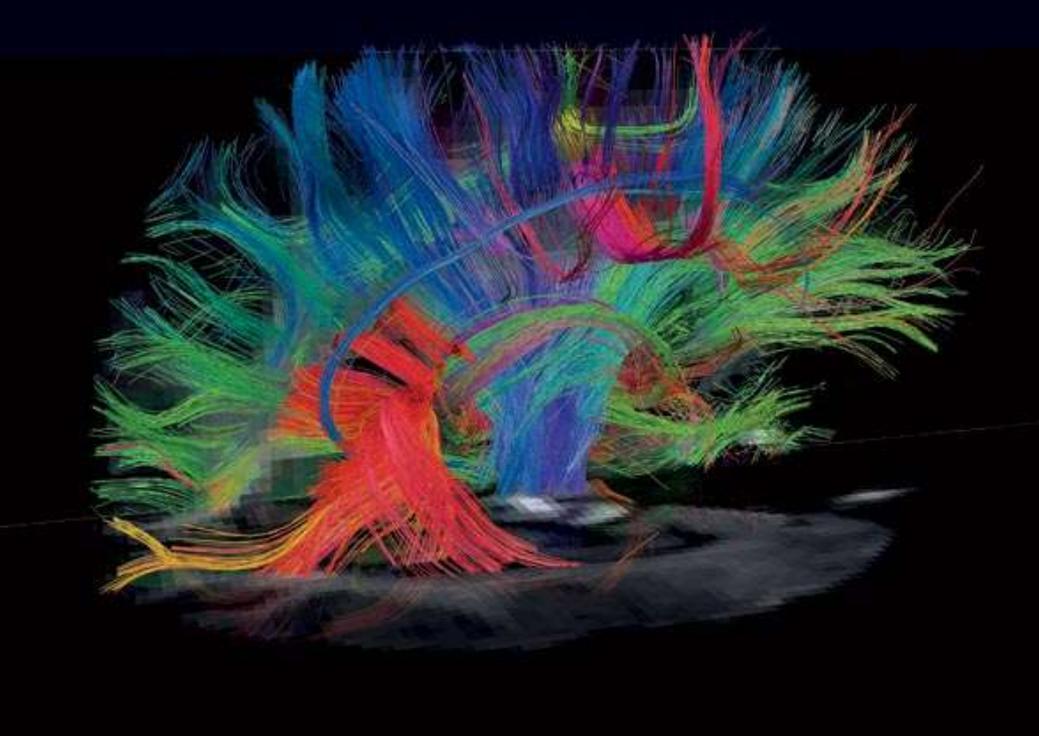




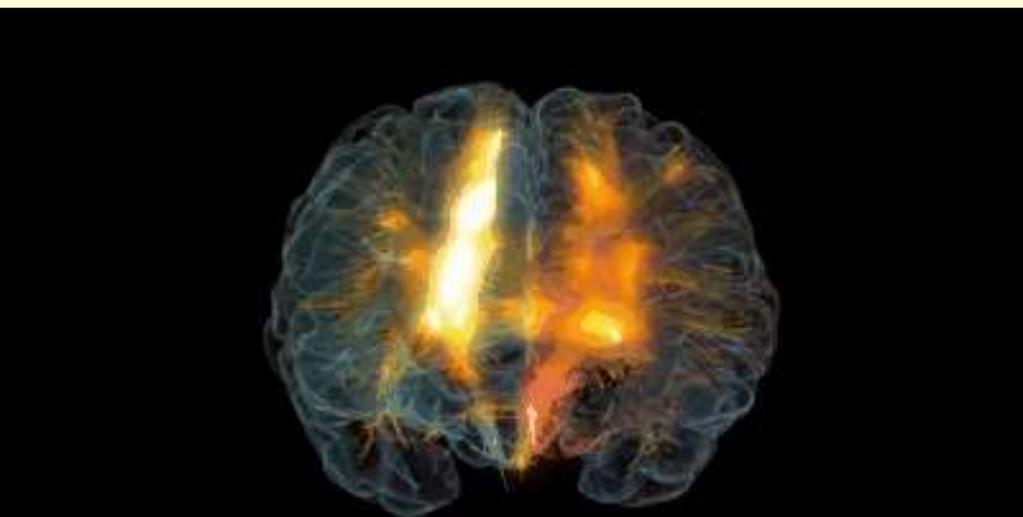
On a vu que les grandes voies nerveuses du cerveau sont déterminées par notre histoire évolutive.

Elles sont semblables aux grandes routes d'une carte routière.





Or à tout moment, de l'activité nerveuse circule dans certaines de ces voies comme les véhicules sur nos routes passent plus sur certaines que d'autres

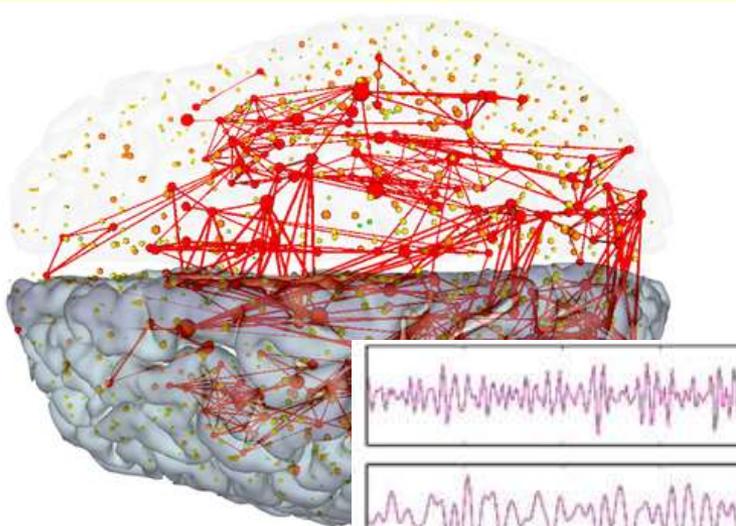


Mais comment ?

De la même façon qu'on ne prendra pas les mêmes routes si l'on veut voir du beau paysage

ou si l'on est pressé d'arriver,

l'activité électrique de notre cerveau variera dans ses différentes structures (en intensité, fréquence, etc) selon les exigences du moment.



Gamma
40 - 70hz



Beta
12 - 40hz



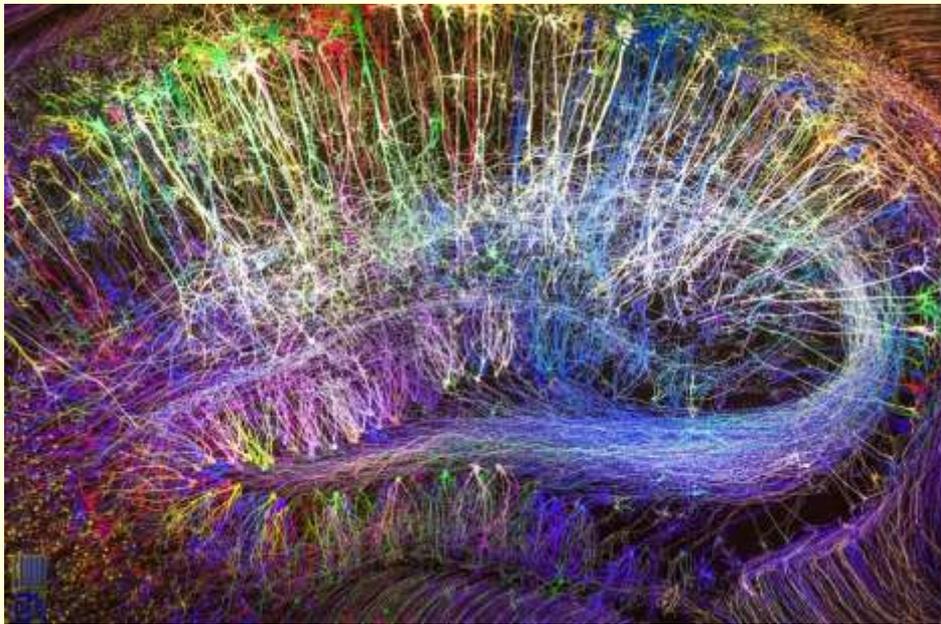
Il faut d'abord rappeler que le cerveau humain comporte beaucoup de régions cérébrales avec des **architectures neuronales distinctes**.

Ces différentes structures cérébrales, comme

l'hippocampe

ou le

cervelet

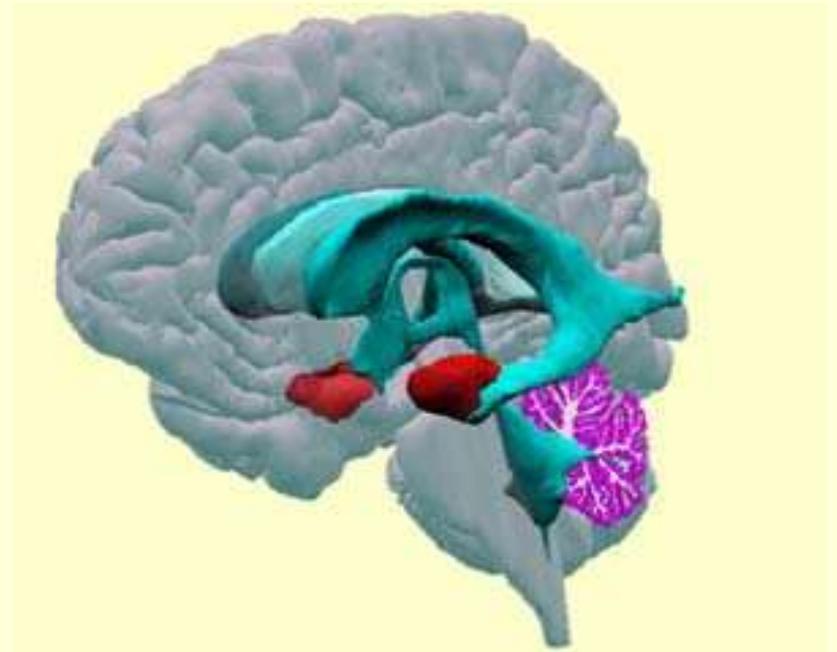


on ne peut cependant pas leur accoler une étiquette fonctionnelle unique.

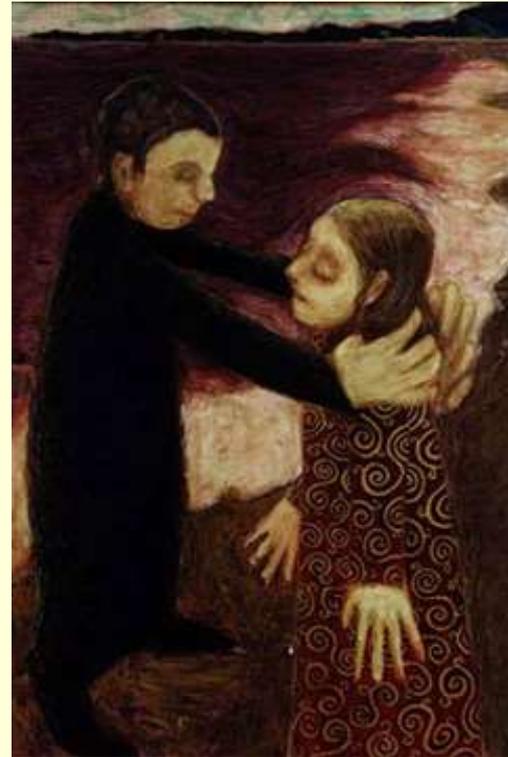
Exemple :



Amygdale = peur ?



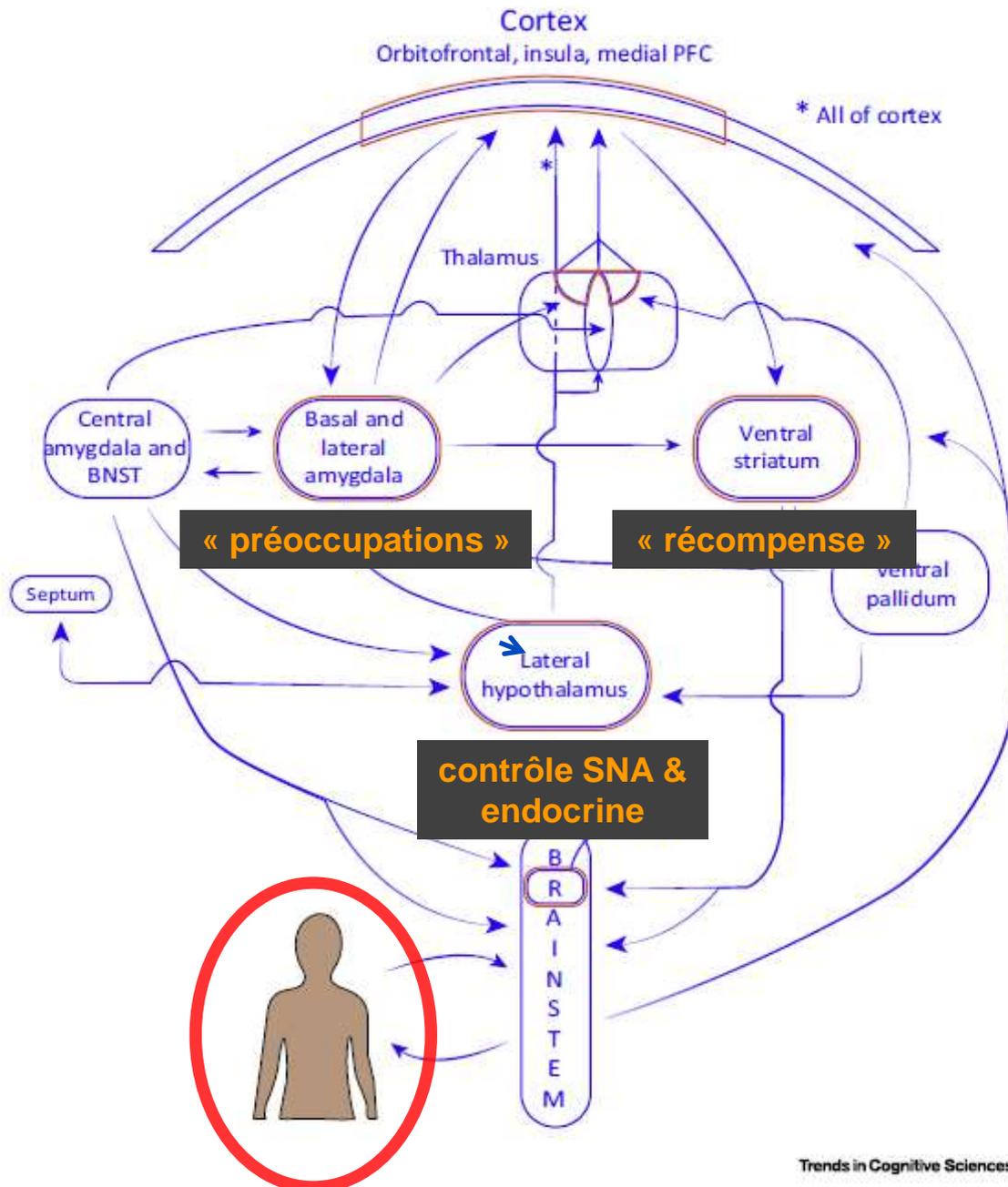
Exemple :



Amygdale ~~X~~ peur ?

Non. Amène une composante de « préoccupation » qui, en collaboration avec d'autres régions, va correspondre à différents états affectifs.





Autrement dit,
l'amygdale n'agit pas seule :

elle s'intègre dans différents circuits cérébraux impliquant plusieurs structures,

ici dans un réseau relié aux **émotions.**

A Network Model of the Emotional Brain

Luiz Pessoa

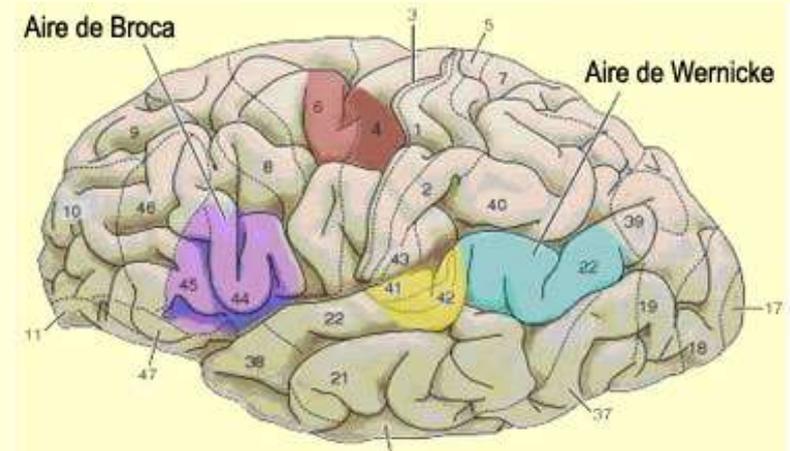
Trends Cogn Sci. **2017** May; 21(5): 357–371

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5534266/>

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

Car même l'aire de Broca, typiquement associée au langage, est plus fréquemment activée dans des tâches non langagières que dans des tâches liées au langage!
(Russell Poldrack (2006))

Et de la même façon, il semblerait que la plupart des régions du cerveau, et même des régions très petites, peuvent être activées par **de multiples tâches.**



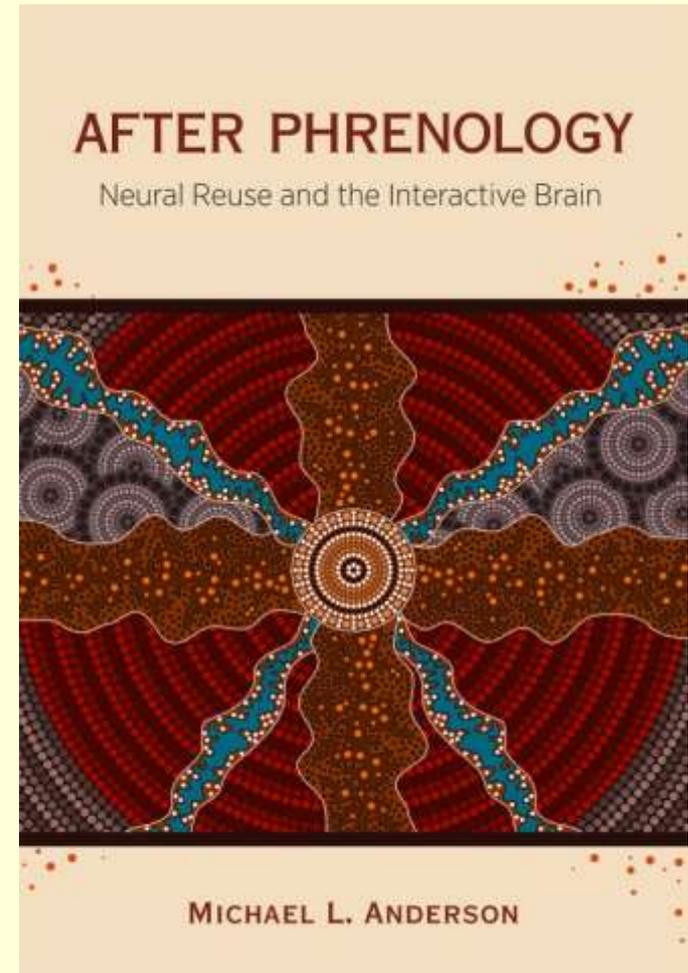
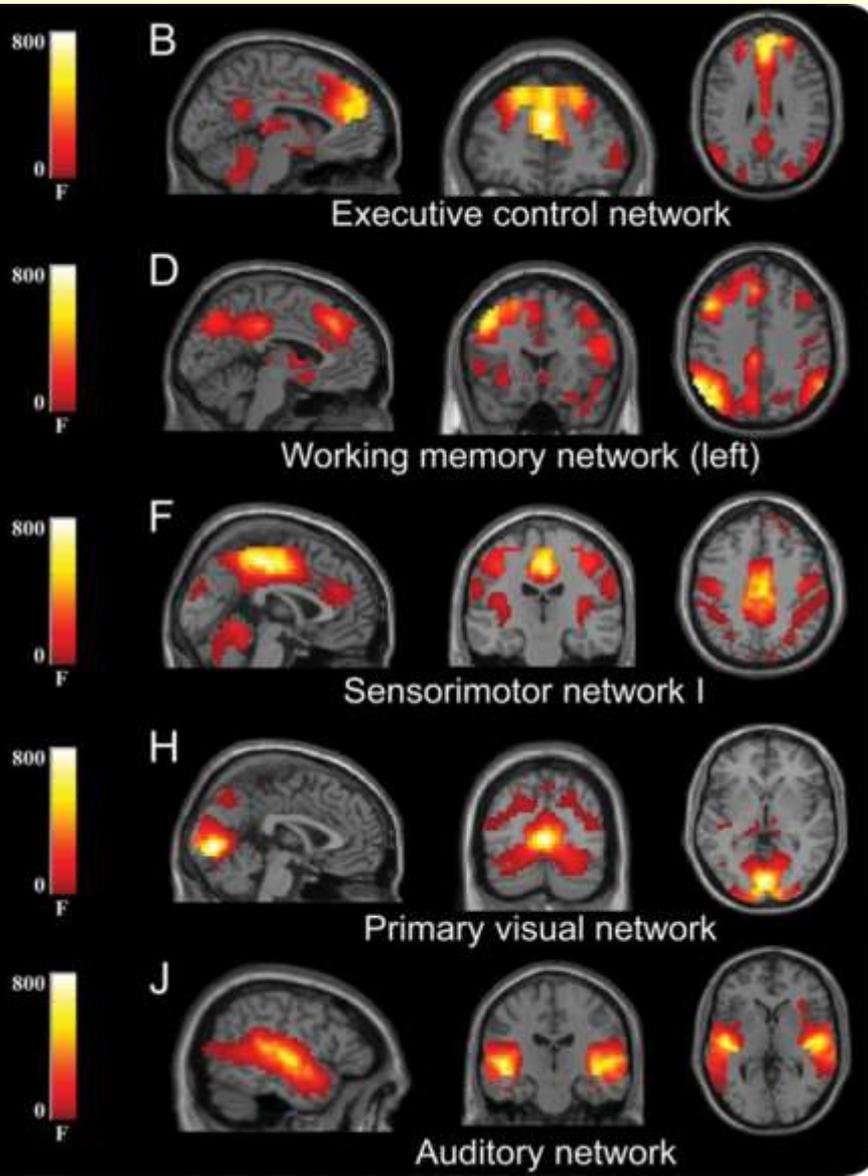
Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

[Après « L'erreur de Descartes », voici « L'erreur de Broca »](#)

[Parler sans aire de Broca](#)

[Repenser la contribution de l'aire de Broca au langage](#)

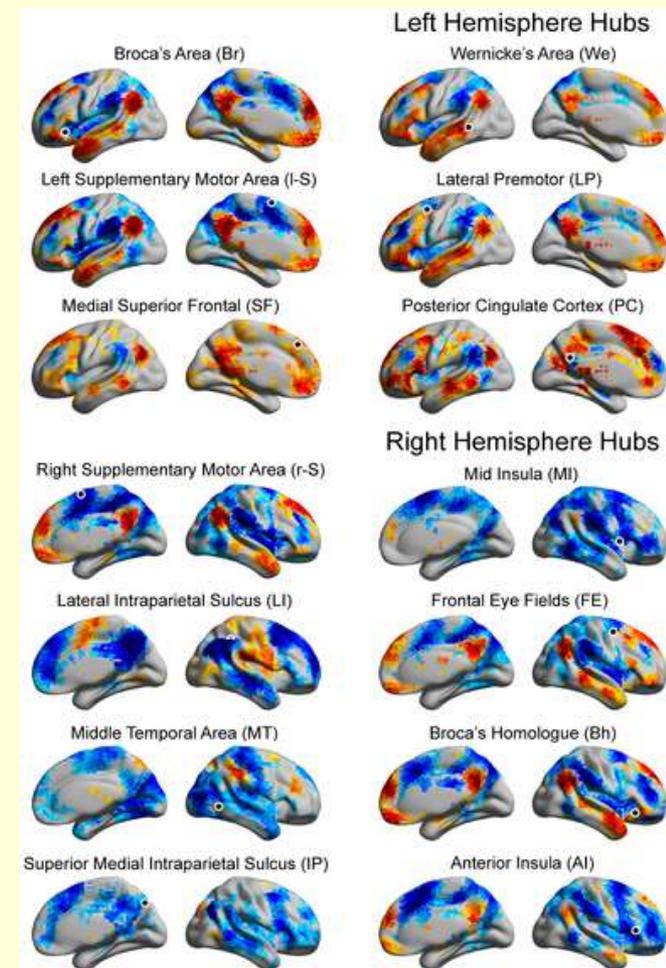
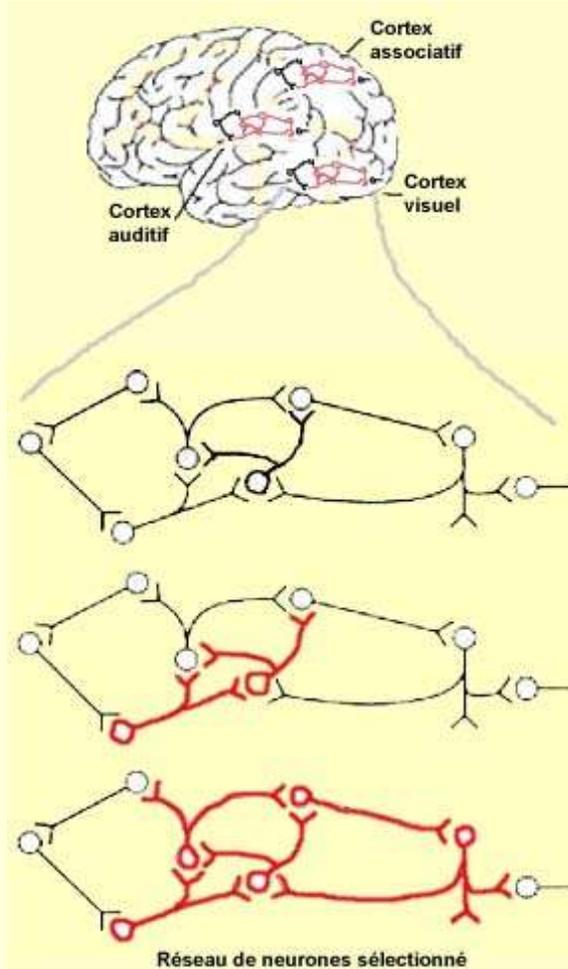
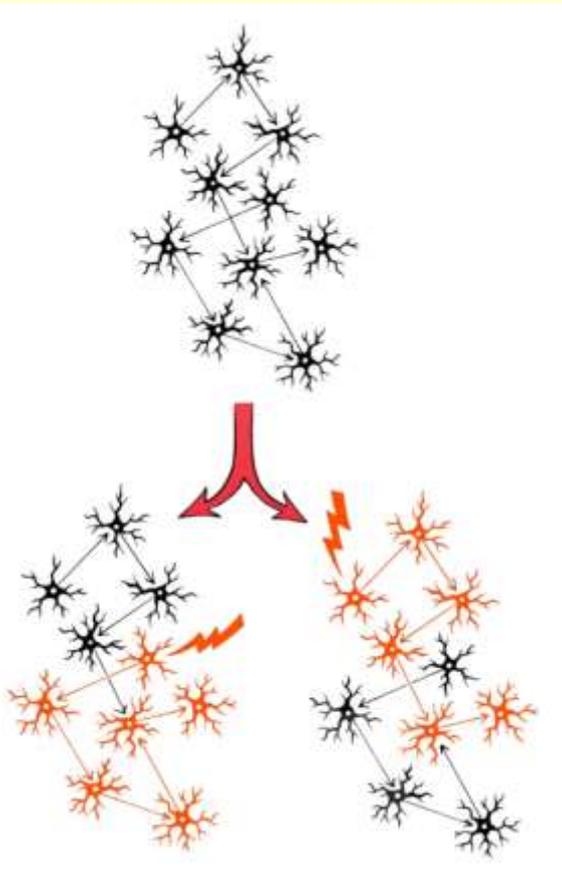
Et vont agir en collaboration avec d'autres régions pour former des **coalitions**, des **réseaux**, où chacun apporte sa spécificité computationnelle.

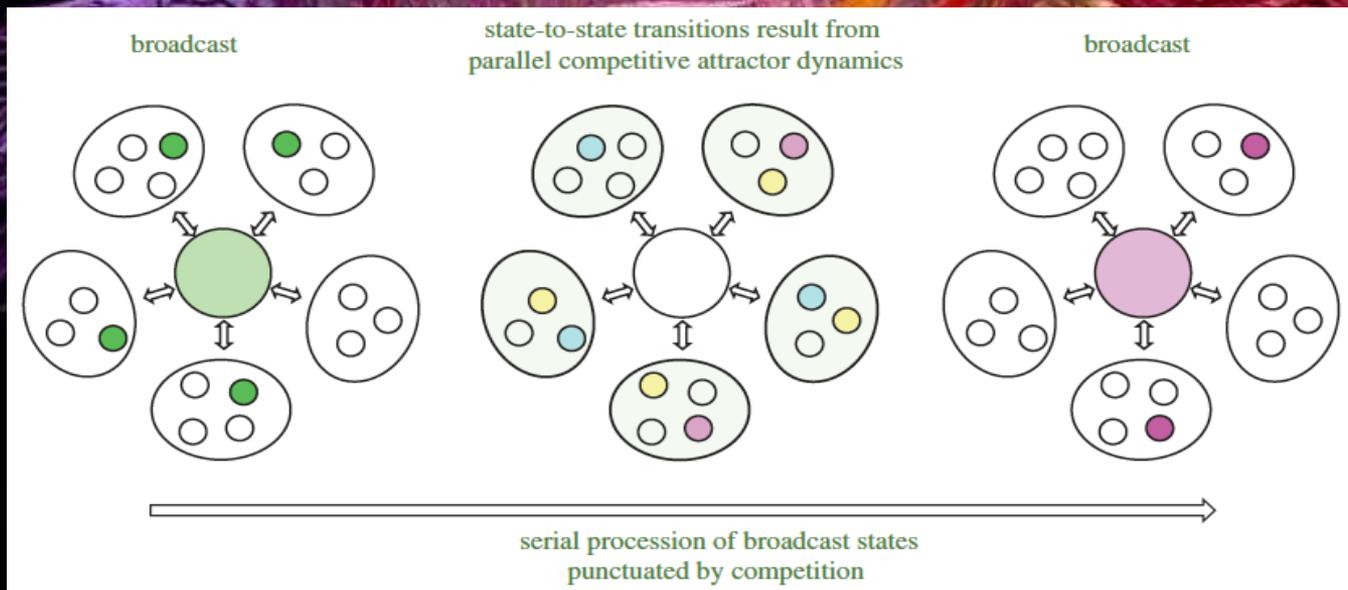


(2014)

Ce qui se passe constamment dans notre cerveau, c'est donc la formation **d'assemblées de neurones transitoires**

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





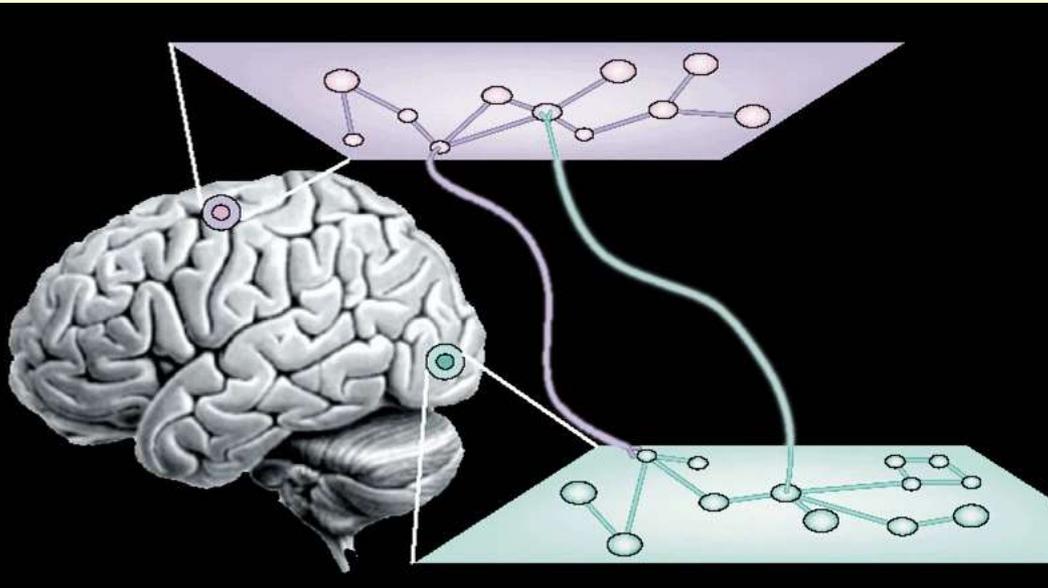
Hypothèse du « Connective core » (M. Shanahan)

On dit parfois que le cerveau est anatomiquement « surconnecté » et donc il doit trouver une façon de **mettre en relation** à tout moment les meilleures « assemblées de neurones » pour faire face à une situation.

La connectivité fonctionnelle (fcMRI)

(ou rs-fcMRI (pour « resting state » fcMRI))

Quelles régions cérébrales forment des réseaux, coopèrent ou « travaillent ensemble » ?



→ on mesure les fluctuations spontanées à basse fréquence du signal BOLD

(que l'on associe aux fluctuations à basse fréquence des « local field potentials »),

→ et l'on tente d'identifier des régions qui fluctuent au même rythme et en phase

et qui ont ainsi tendance naturellement à « **travailler ensemble** ».



Visual



Auditory



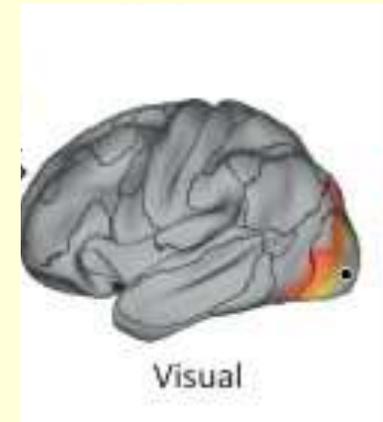
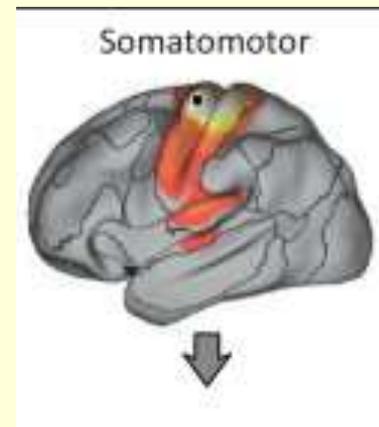
Sensorimotor



Default mode

Si la « région semence »
est placée dans les zones
sensorielles et motrices **primaires**,

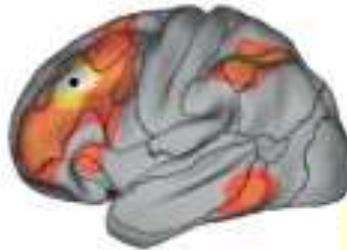
les réseaux obtenus affichent une
connectivité largement locale
(réseaux visuels et sensorimoteurs).



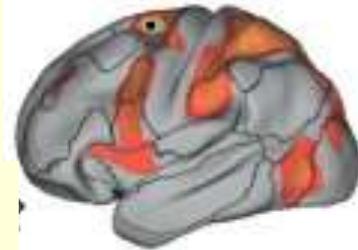
Mais si la « région semence » est placée dans les zones associatives,

on observe des **réseaux distribués** à l'échelle du **cerveau entier**.

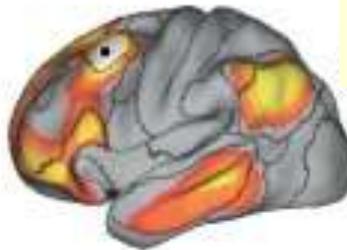
Control



Dorsal attention



Default

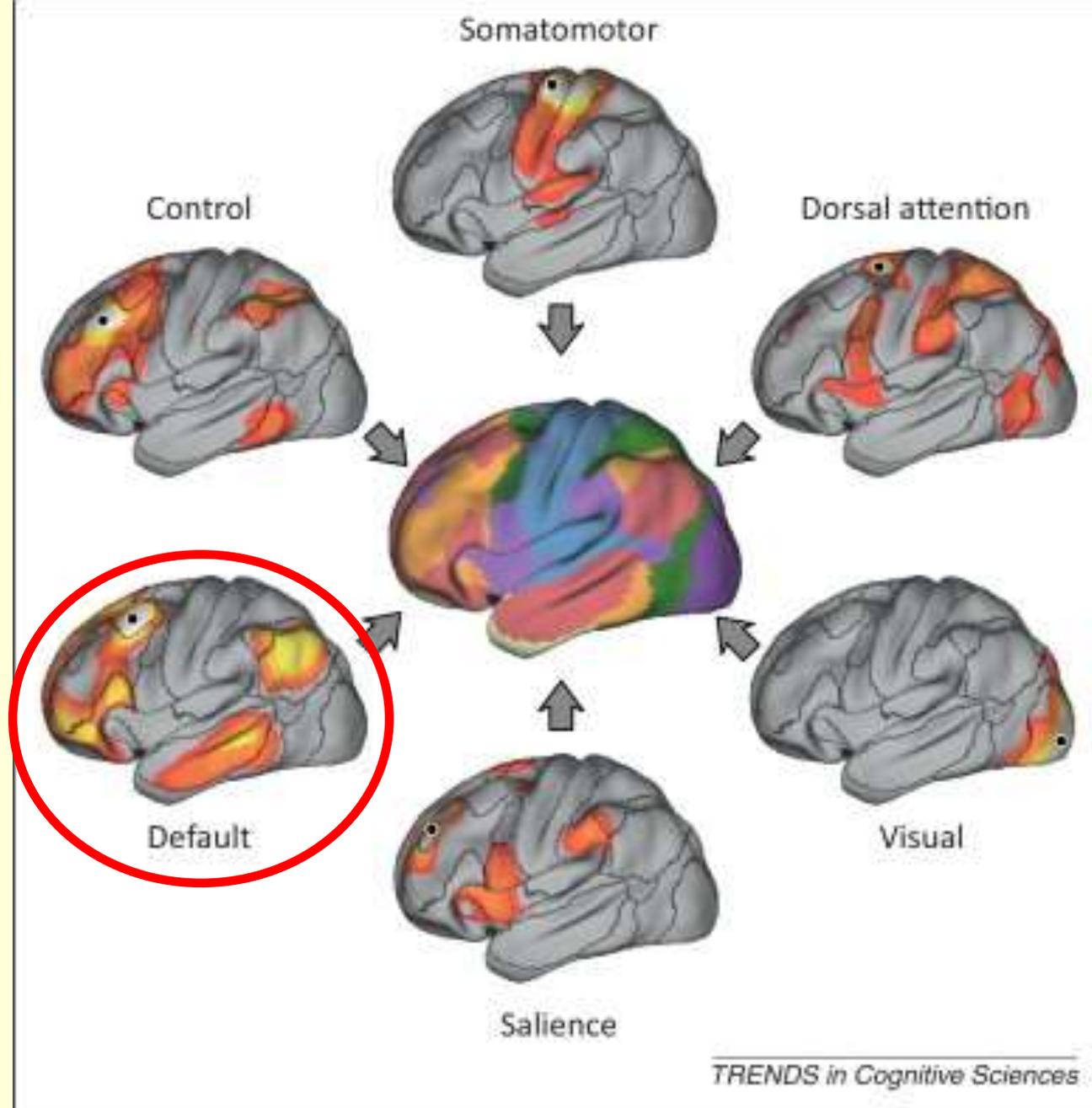


Salience



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

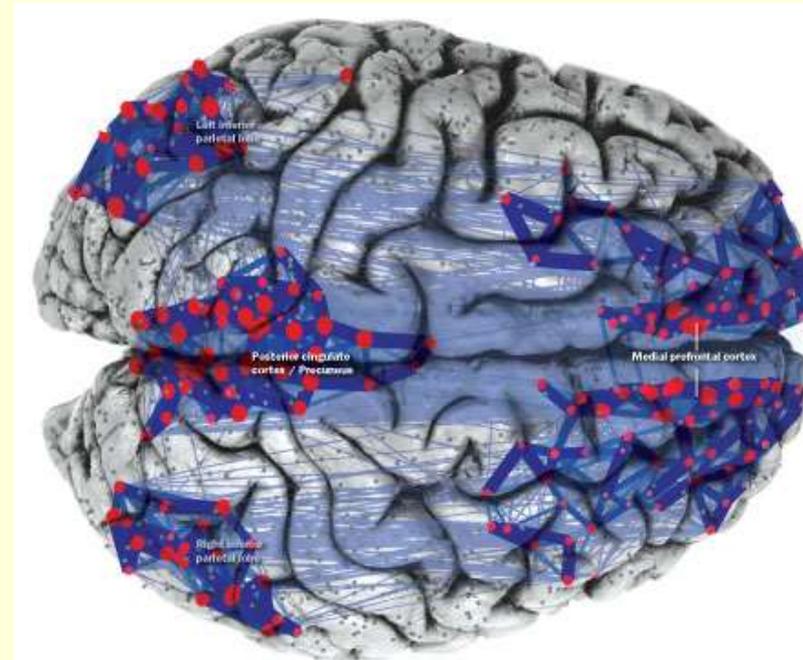
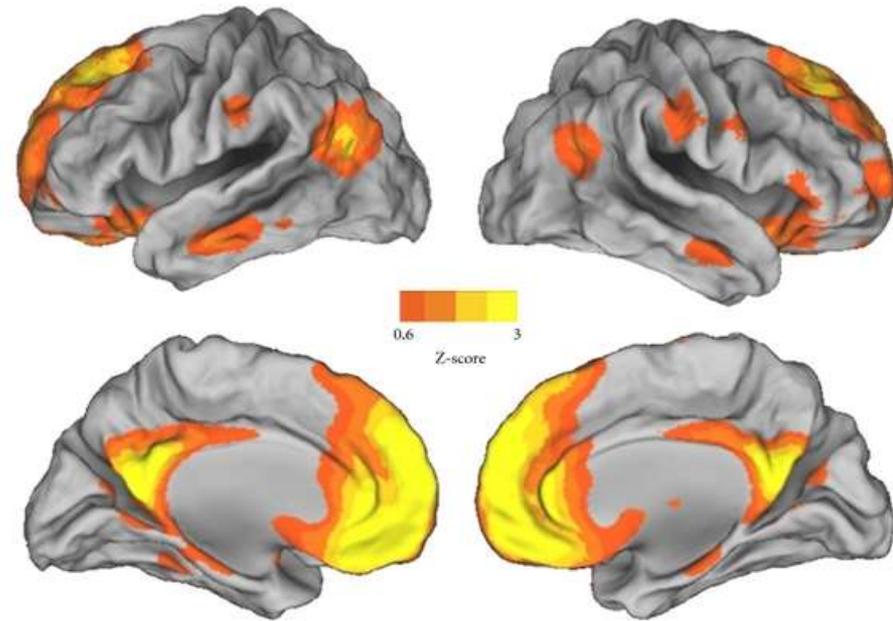
en évitant de retomber dans une forme de spécialisation fonctionnelle trop spécifique, car chacun de ces réseaux semble comporter bien des nuances..



Réseau du mode par défaut

Les régions impliquées dans ce circuit sont déjà connues pour être plus actives quand :

- notre esprit vagabonde (quand on est « dans la lune »);
- lorsqu'on évoque des souvenirs personnels;
- qu'on essaie de se projeter dans des scénarios futurs;
- ou de comprendre le point de vue des autres.



On the relationship between the “**default mode network**” and the “**social brain**”

Rogier B. Mars, et al. Front Hum Neurosci. 2012; 6: 189. Published online **2012** June 21.

What can the organization of the brain’s **default mode network** tell us about **self-knowledge**?

Joseph M. Moran et al. Front Hum Neurosci. **2013** Jul 17;7:391.

→ Aussi : rôle dans la mémoire de travail

April 25, 2016

Essential role of default mode network in higher cognitive processing.

http://mindblog.dericbownds.net/2016/04/essential-role-of-default-mode-network.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29

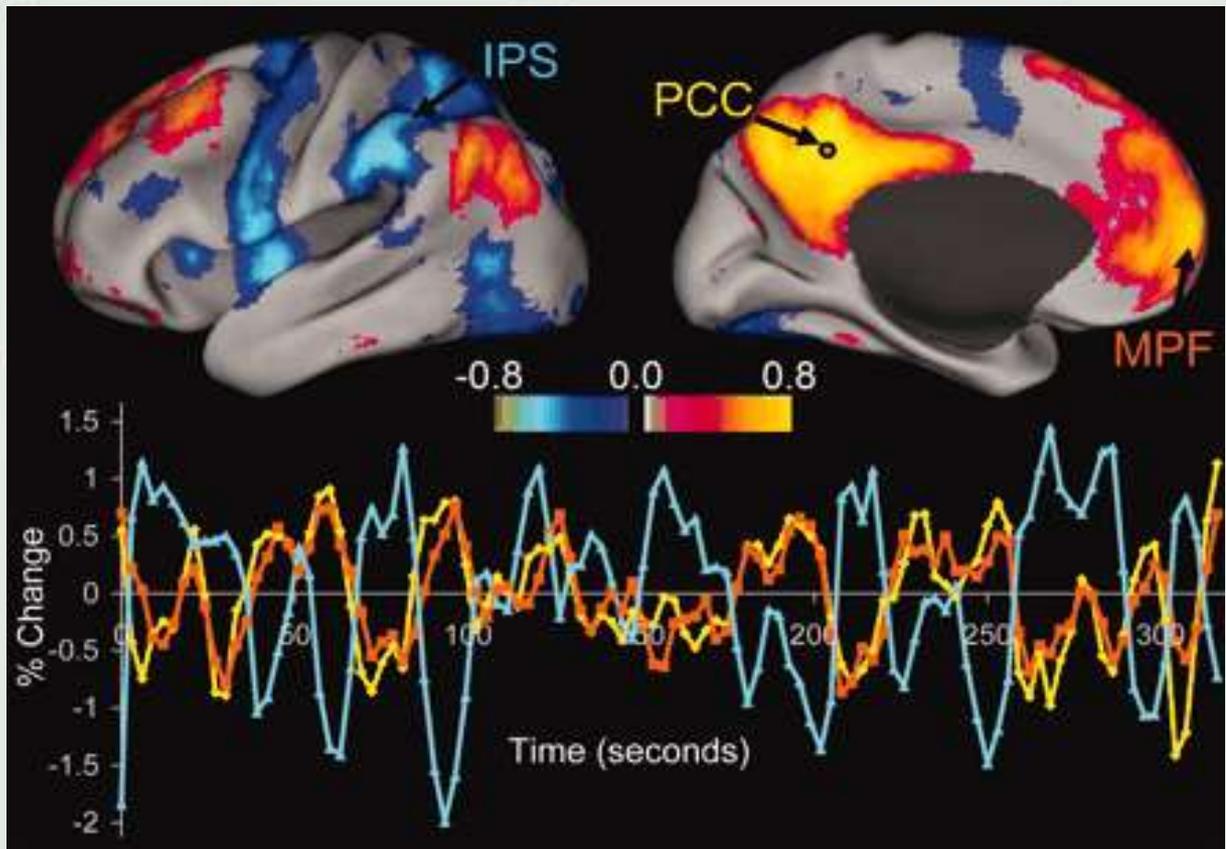
« idées noires » ?



Dorsal Attention Network



Default Mode Network



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

February 24, 2015

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

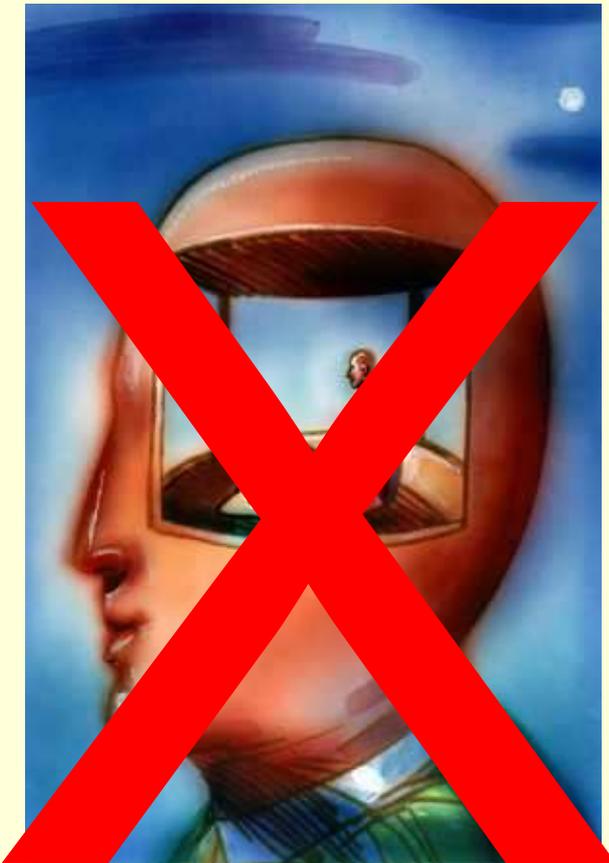
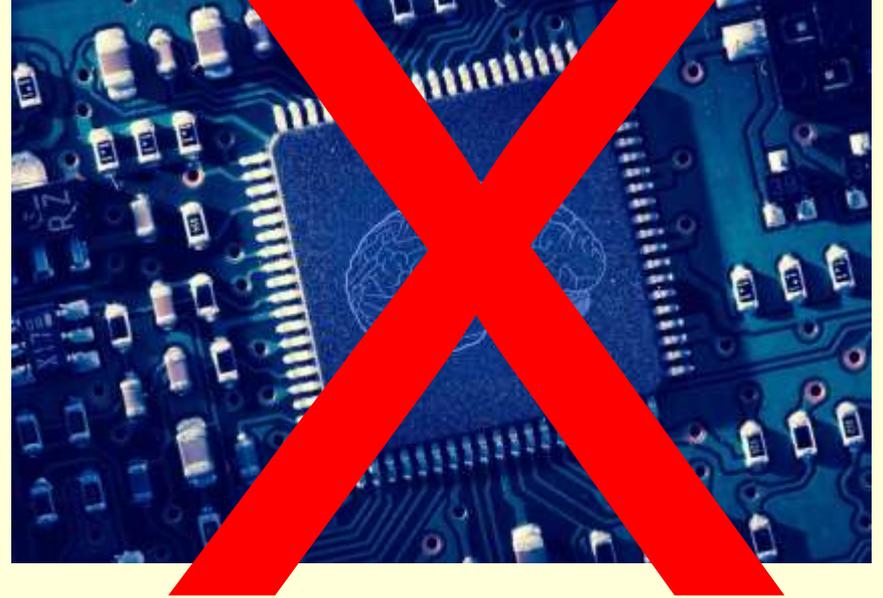
Default mode network mechanisms of transcranial magnetic stimulation in depression.

Liston C, Chen AC, Zebley BD, Drysdale AT, Gordon R, Leuchter B, Voss HU, Casey BJ, Etkin A, Dubin MJ.

2014 Feb 5.

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

Une chose que l'on peut conclure jusqu'à présent c'est...



...qu'il n'y a pas de
« **centre de...** » quoi
que ce soit dans le
cerveau.

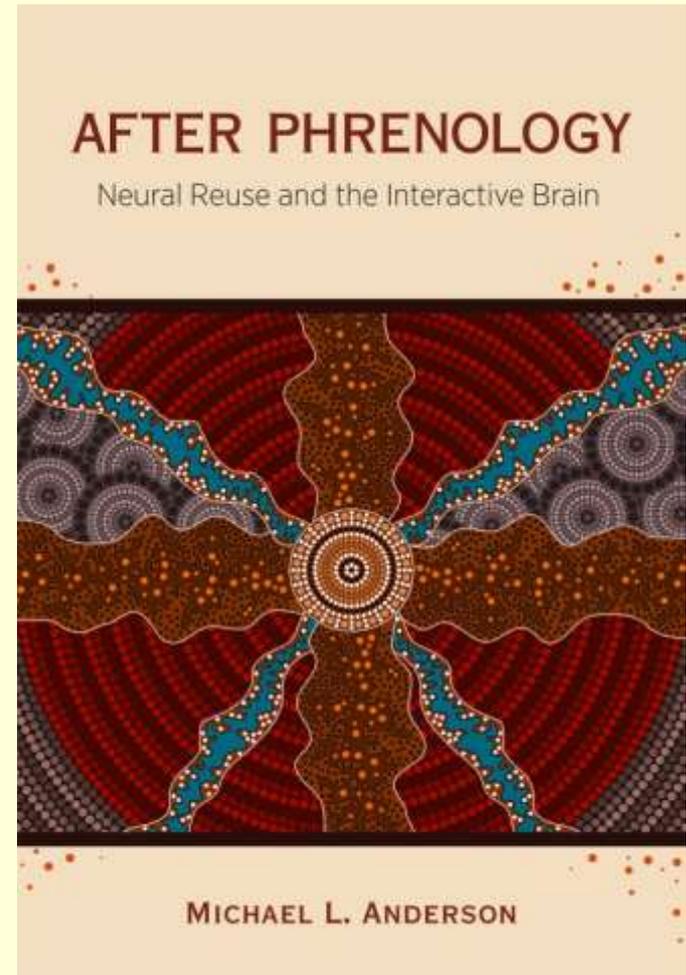
« **There is no boss in the brain.** »

- M. Gazzaniga

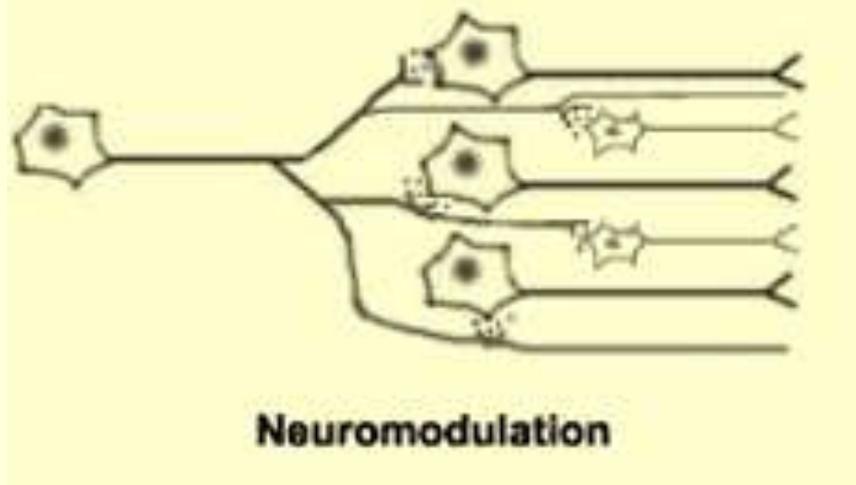
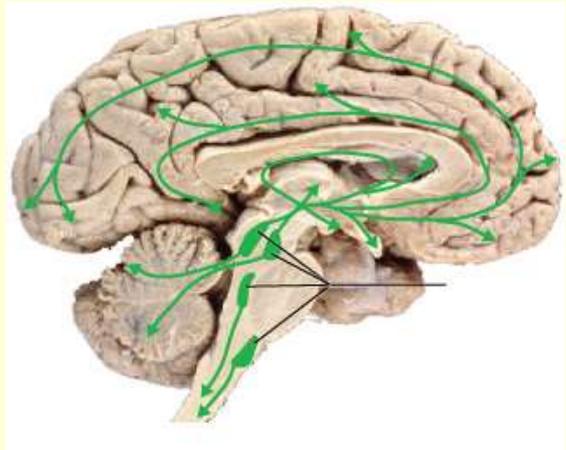
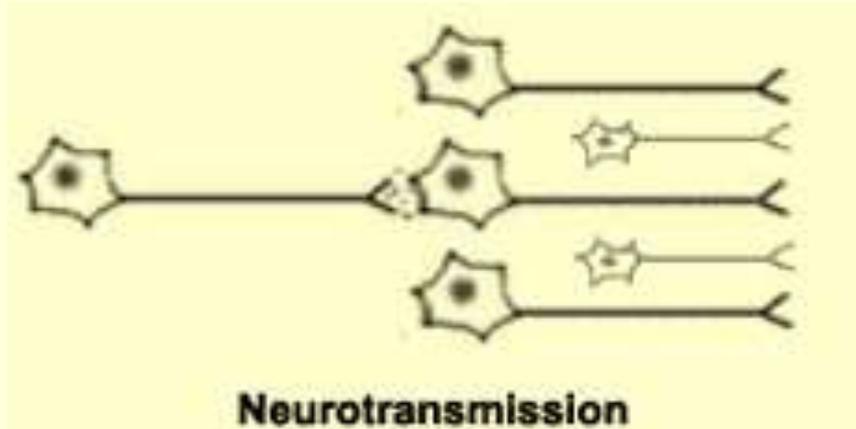
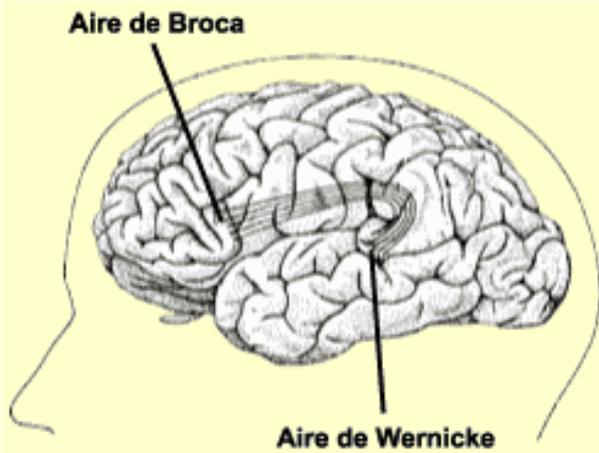
Il devient alors nécessaire de postuler l'existence de mécanismes permettant à ces différentes régions différenciées **de se trouver** pour former des « **coalitions** » ou des **réseaux** fonctionnels.

On pense ici à **deux** grandes classes de phénomènes qui vont permettre d'aller chercher **le bon sous-ensemble** de régions pour une situation donnée :

- **la neuromodulation;**
- **la synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones (on y vient dans un instant...).



(2014)

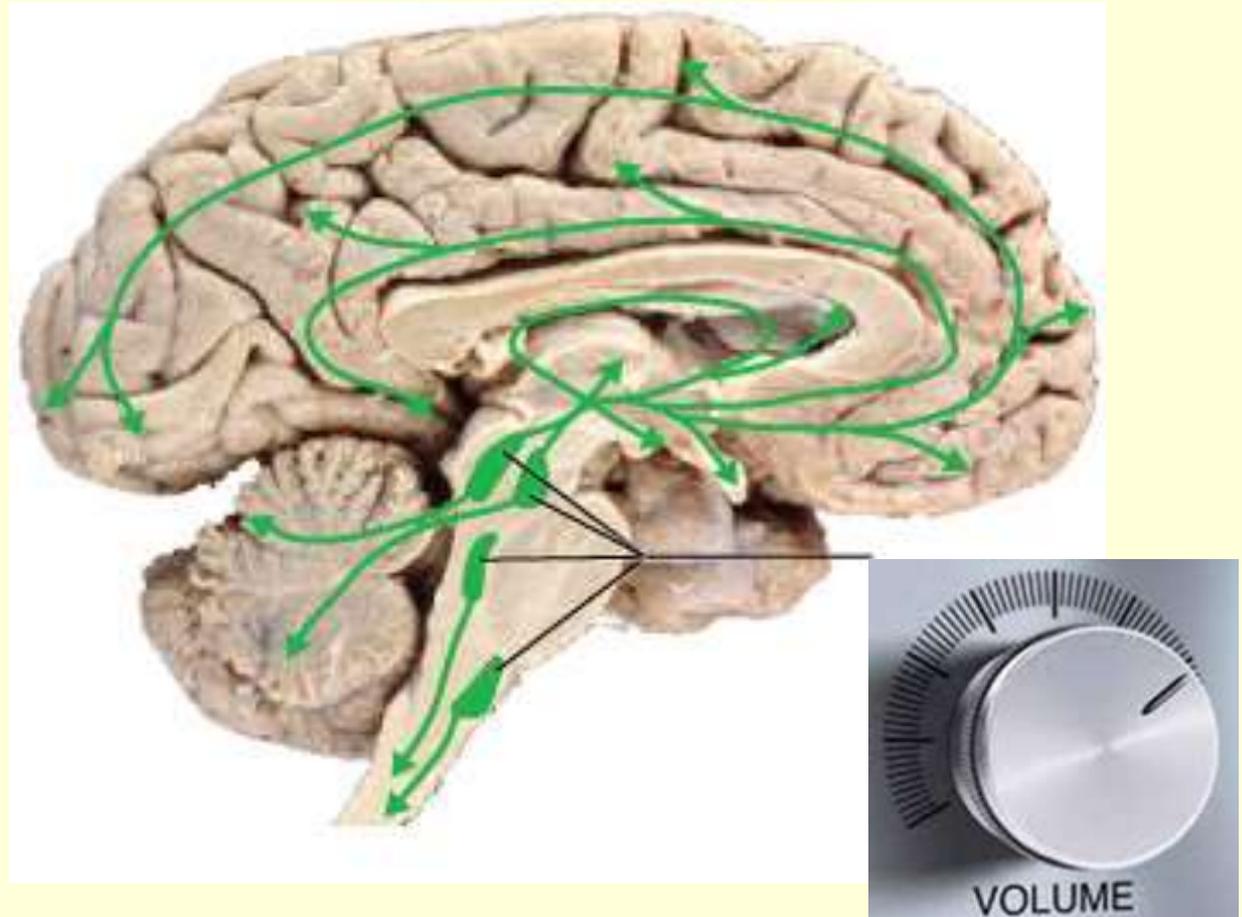


Neuromodulation

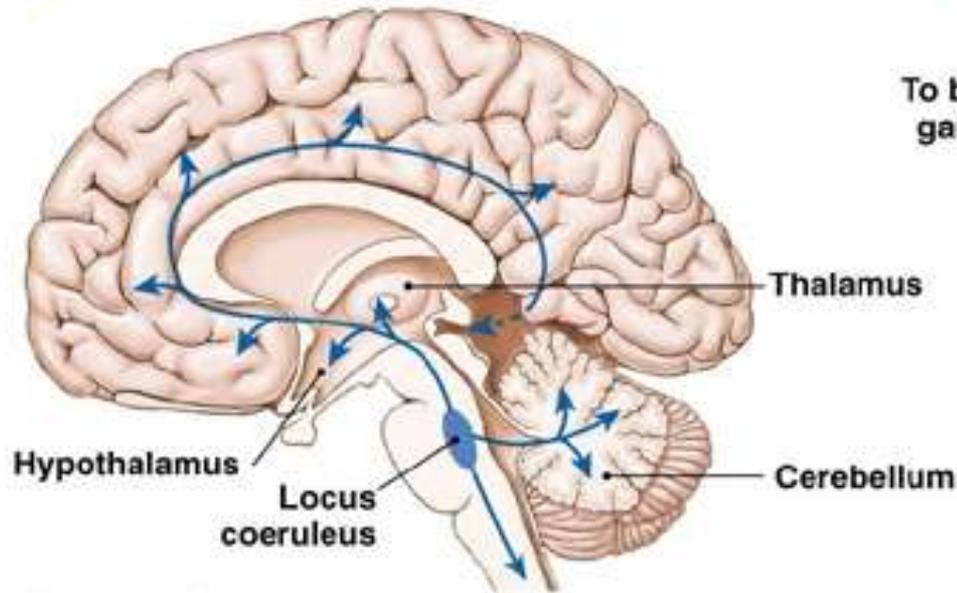
→ Agit à une échelle **de temps plus lente** que la neurotransmission et à une échelle **spatiale plus vaste**.

Les **neuromodulateurs** peuvent changer :

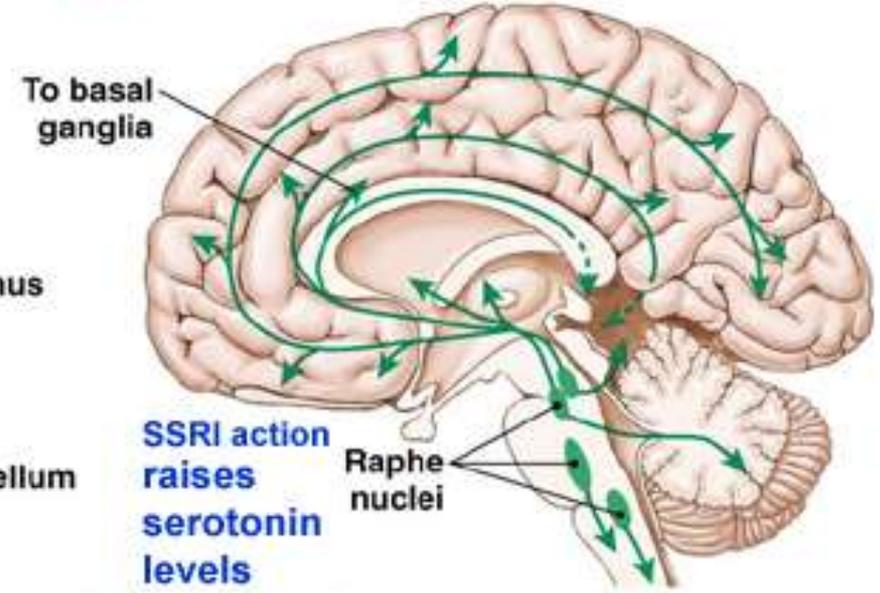
- l'efficacité d'une synapse;
- l'excitabilité d'une cellule;
- le gain sensoriel
- l'activité oscillatoire d'une population de neurones
- Etc.



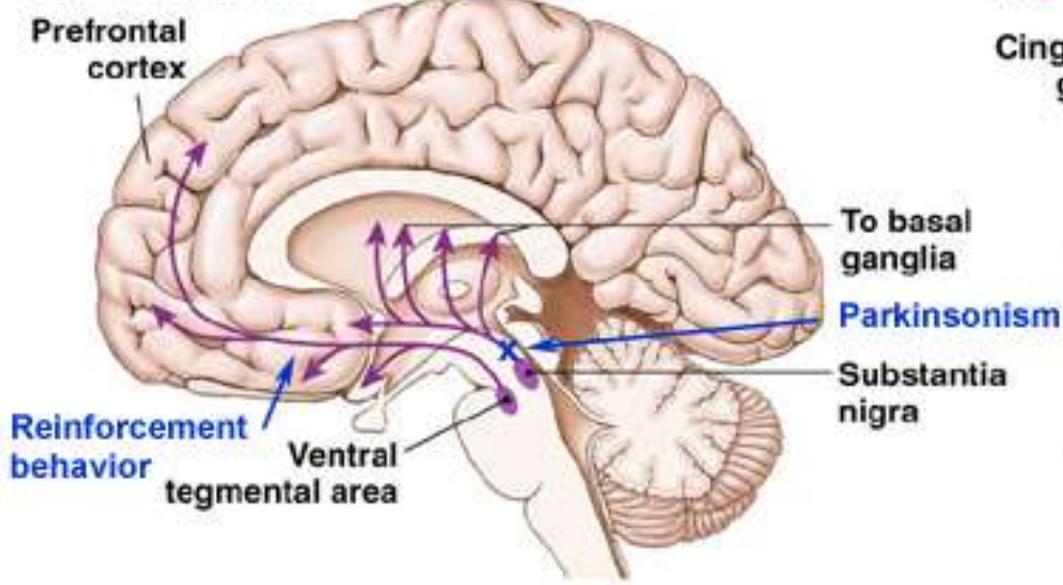
(a) • Norepinephrine



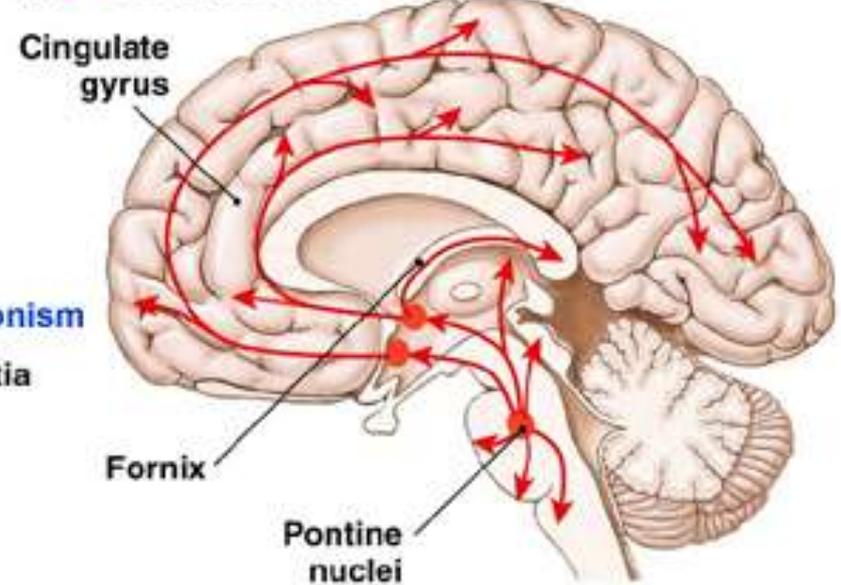
(b) • Serotonin



(c) • Dopamine

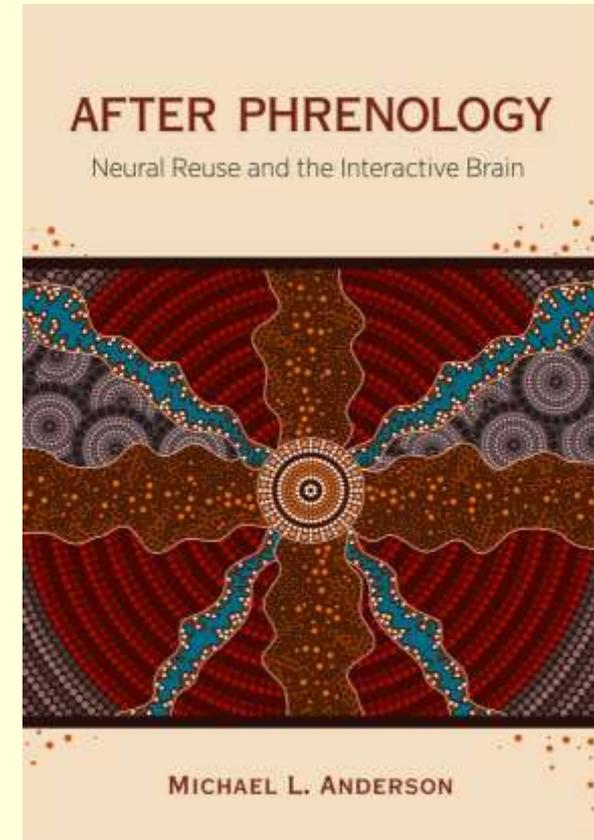


(d) • Acetylcholine



La **neuromodulation** augmente les possibilités de “recyclage neuronal”

ce qui permet de tirer d'un ensemble neuronal donné **un maximum de comportements possibles** pour mieux interagir avec son environnement.



Bargmann (2012) a suggéré qu'étant donné le caractère ubiquitaire de la neuromodulation, on peut s'attendre à ce que la plupart de la circuiterie neuronale soit **structurellement sur-connectée**.

Chaque carte du connectome à l'échelle micro encode de multiples circuits dont certains seront à un moment donné **actifs** ou **latent**.



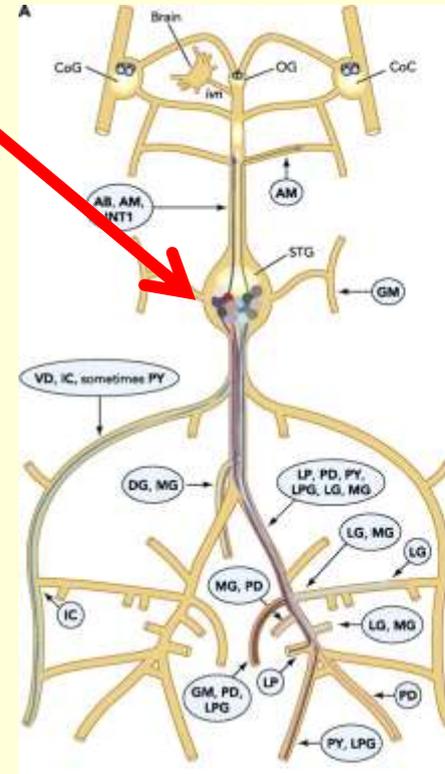
Un circuit donné aura donc un certain nombre d'utilisations possibles, dont seulement certaines sont disponibles à un moment donné **dépendant de l'état de neuromodulation de l'organisme**.

**Beyond the connectome:
how neuromodulators shape neural circuits.**

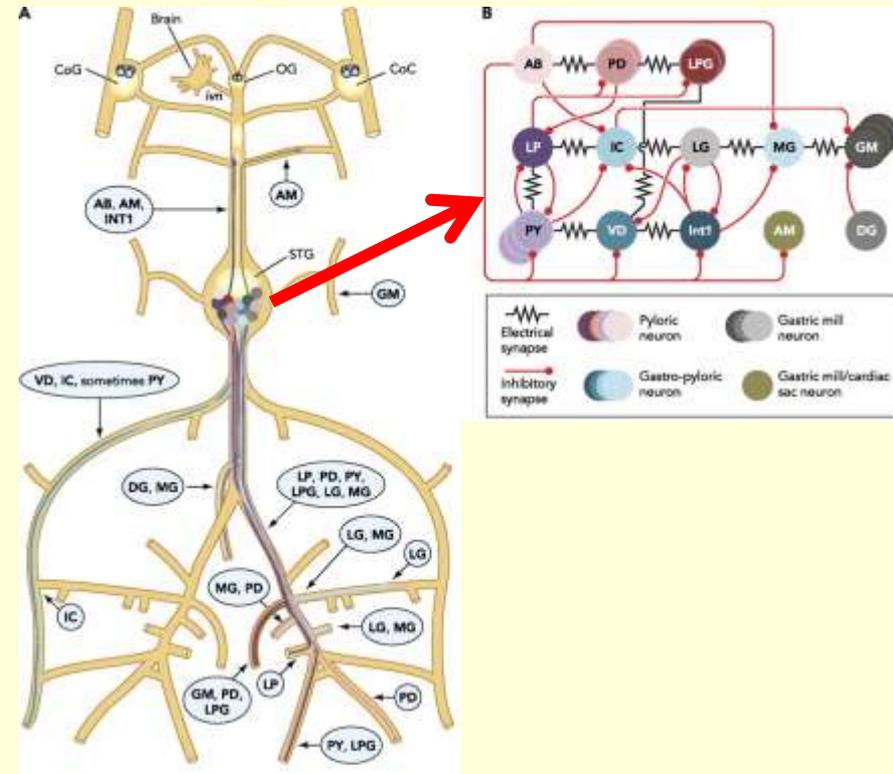
Bargmann CI (2012)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22396302>

C'est le cas du ganglion somatogastrique du homard

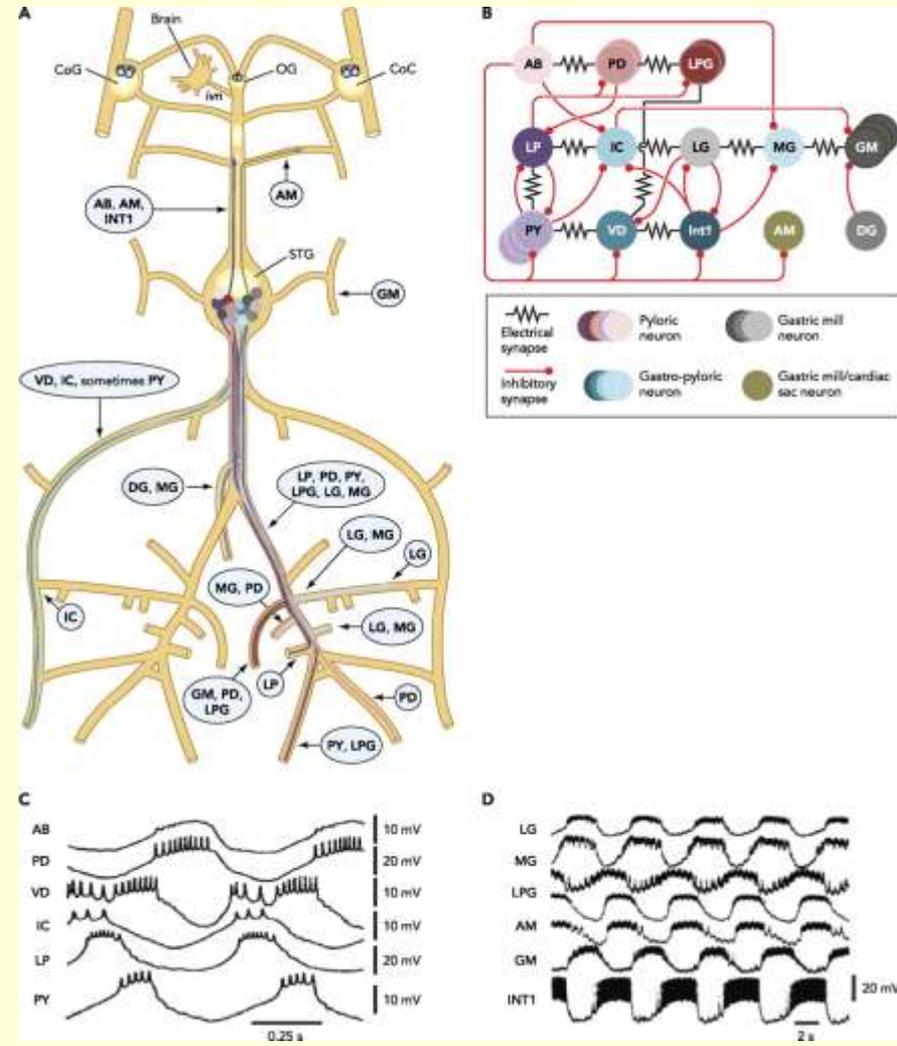


C'est le cas du ganglion somatogastrique du homard
où **le même circuit**



C'est le cas du ganglion somatogastrique du homard où **le même circuit peut avoir plusieurs types d'outputs** différemment des **neuromodulateurs** qu'on lui applique.

Le même circuit peut être en quelque sorte **reconfiguré** par son environnement neuromodulateur.

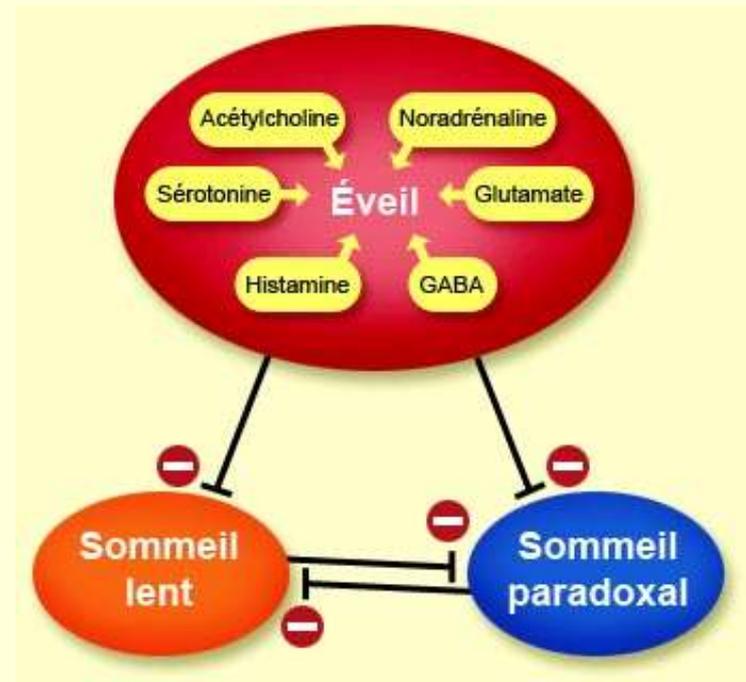
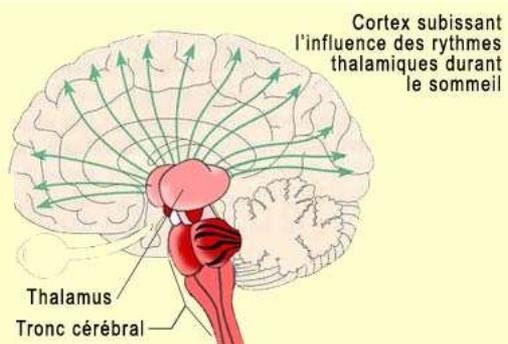
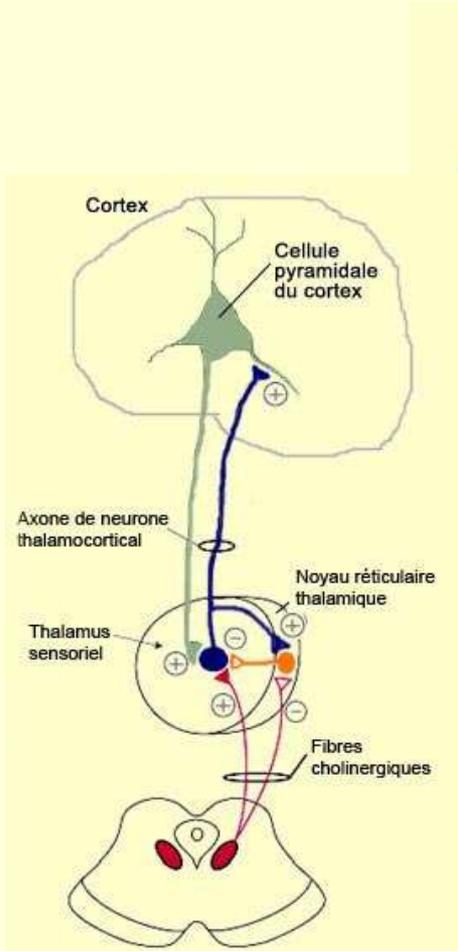


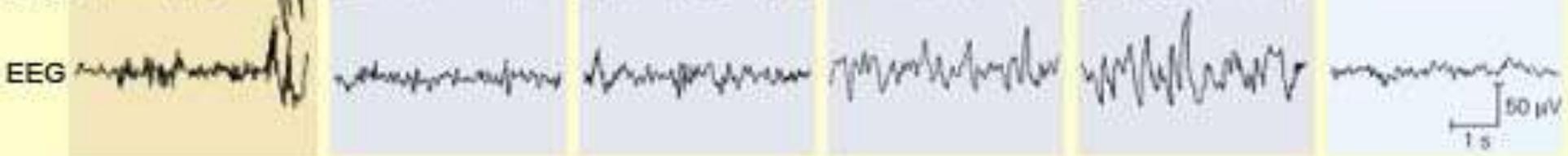
Brain Science Podcast 56 :
Eve Marder

<http://brainsciencepodcast.com/bsp/interview-with-neuroscience-pioneer-eve-marder-phd-bsp-56.html>

Et cette idée s'applique chez l'humain quand on considère des phénomènes comme les états émotionnels, les troubles mentaux ou le **sommeil**...

SOMMEIL PROFOND





ÉVEIL

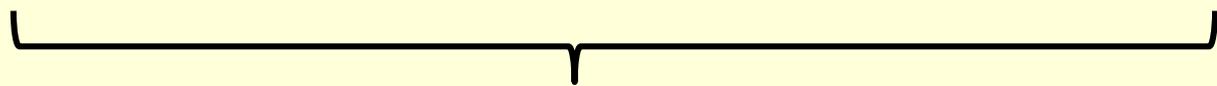
I

II

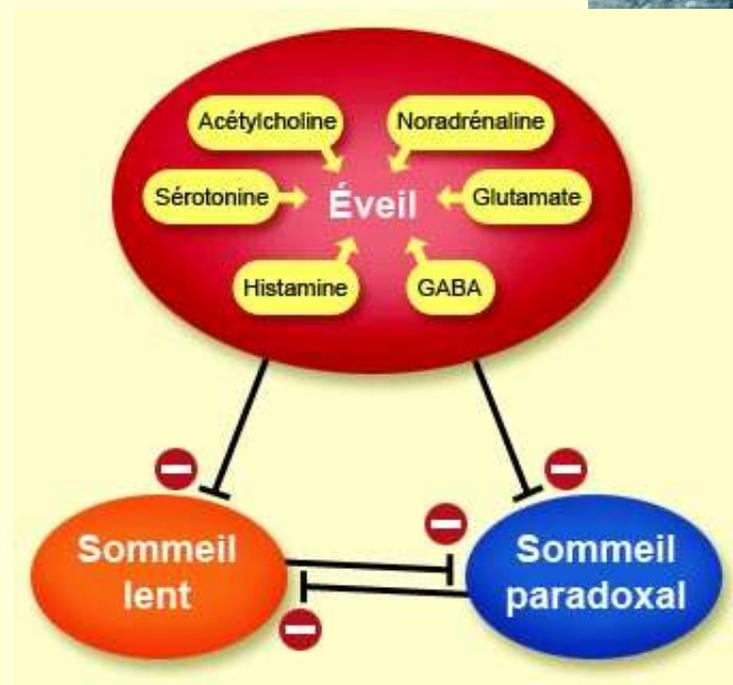
III

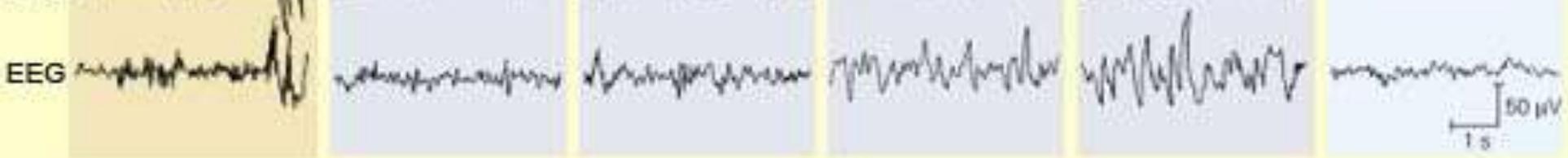
IV

REM



RÊVE





ÉVEIL

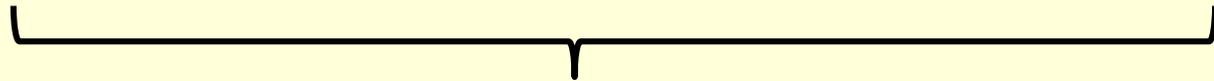
I

II

III

IV

REM

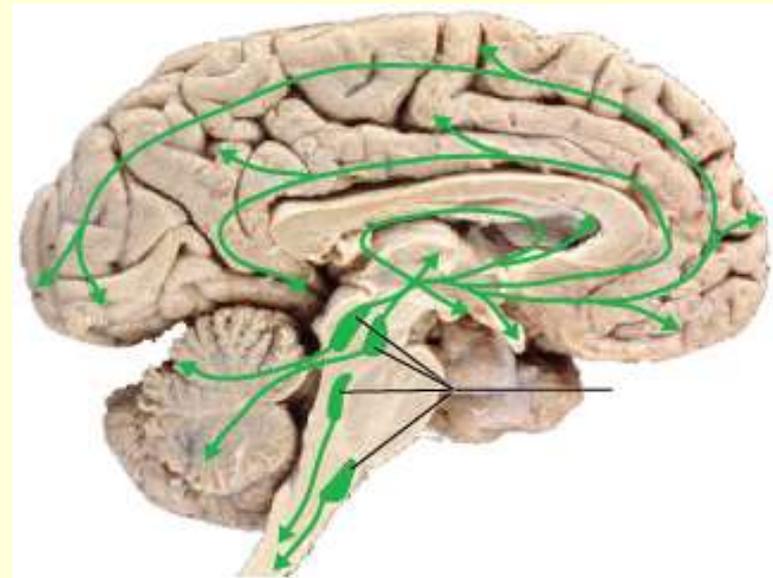


SOMMEIL PROFOND

RÊVE



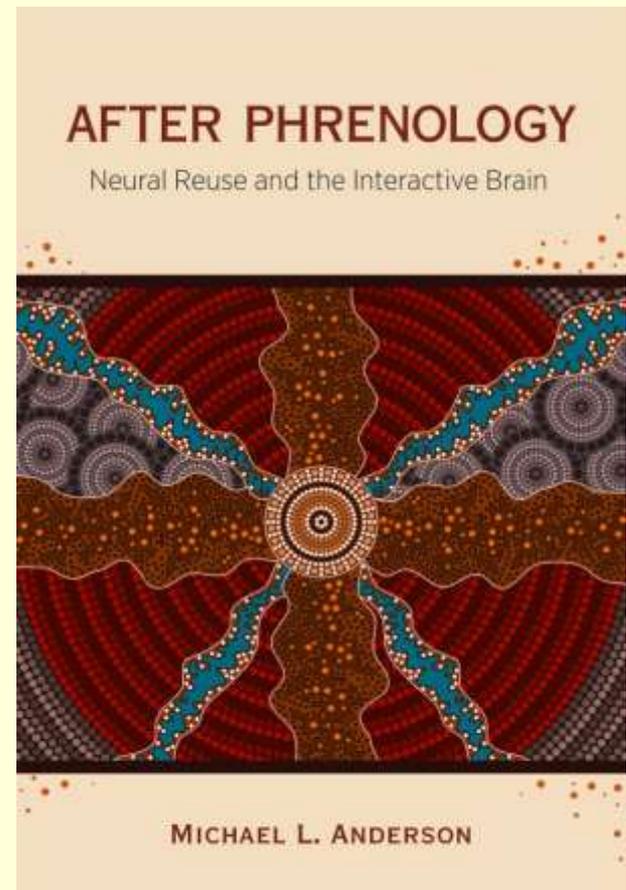
La neuromodulation
et l'activité nerveuse
sont **intimement liées.**



On pense ici à **deux** grandes classes de phénomènes qui vont permettre d'aller chercher **le bon sous-ensemble** de régions pour une situation donnée :

- la **neuromodulation**;

- la **synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones.



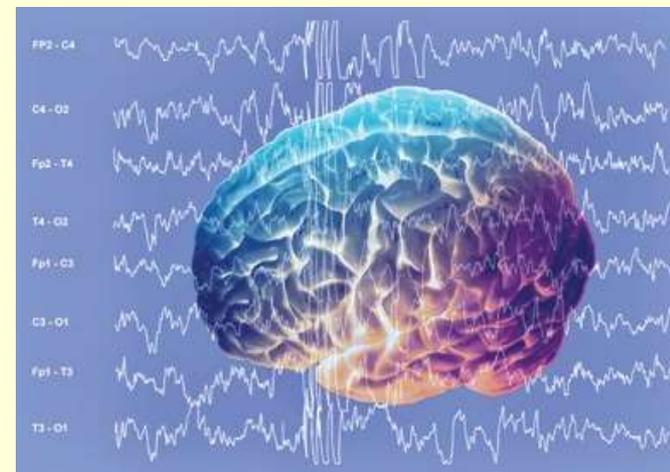
(2014)

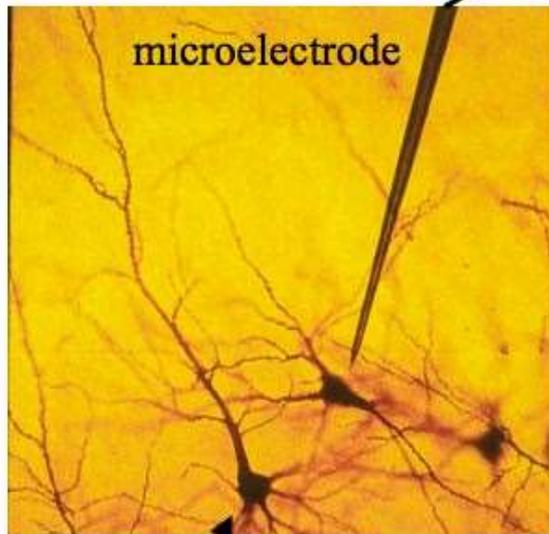
On pense ici à **deux** grandes classes de phénomènes qui vont permettre d'aller chercher **le bon sous-ensemble** de régions pour une situation donnée :

- la **neuromodulation**;

- la **synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones.

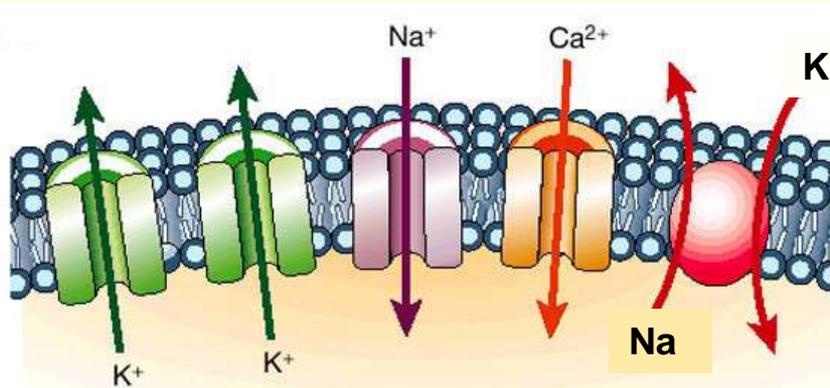
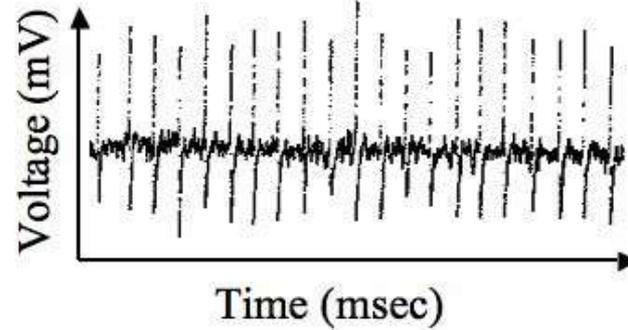
On va maintenant dire quelques mots sur les **variations cycliques de cette activité électrique** à l'échelle du **cerveau entier**.



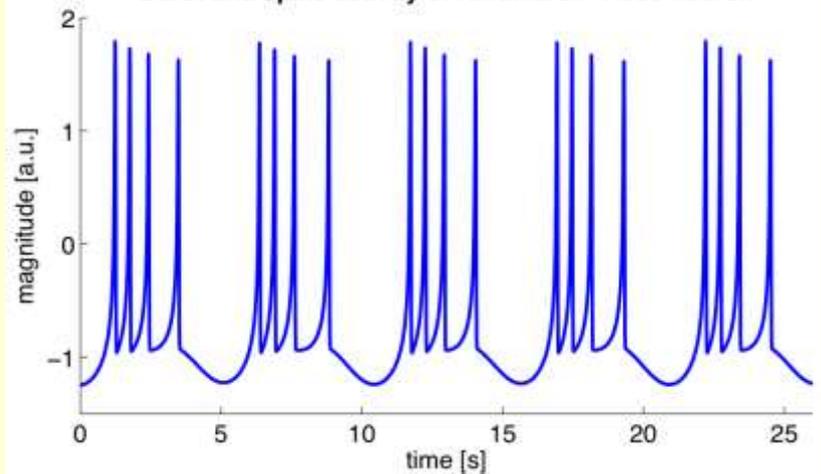


Cortical pyramidal cell (Golgi stain)

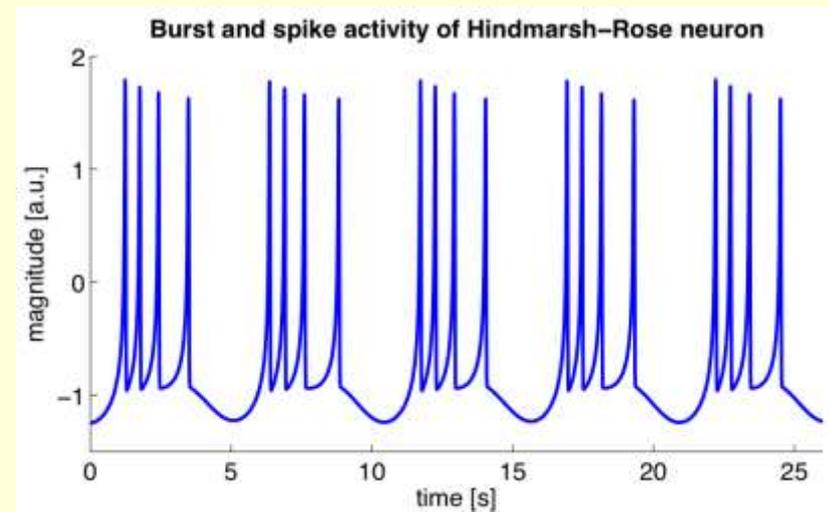
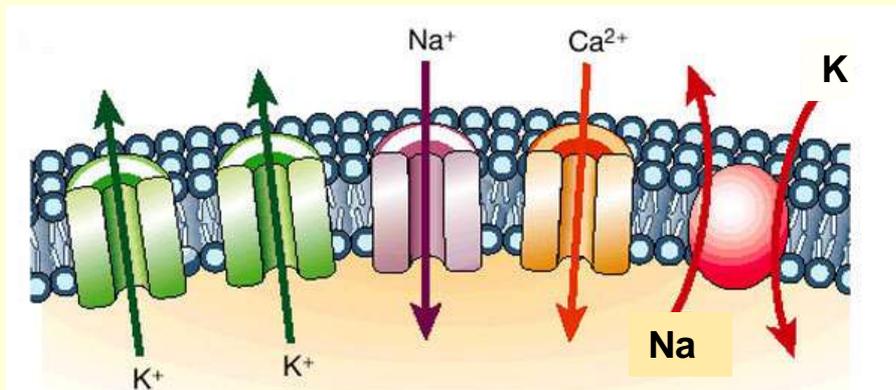
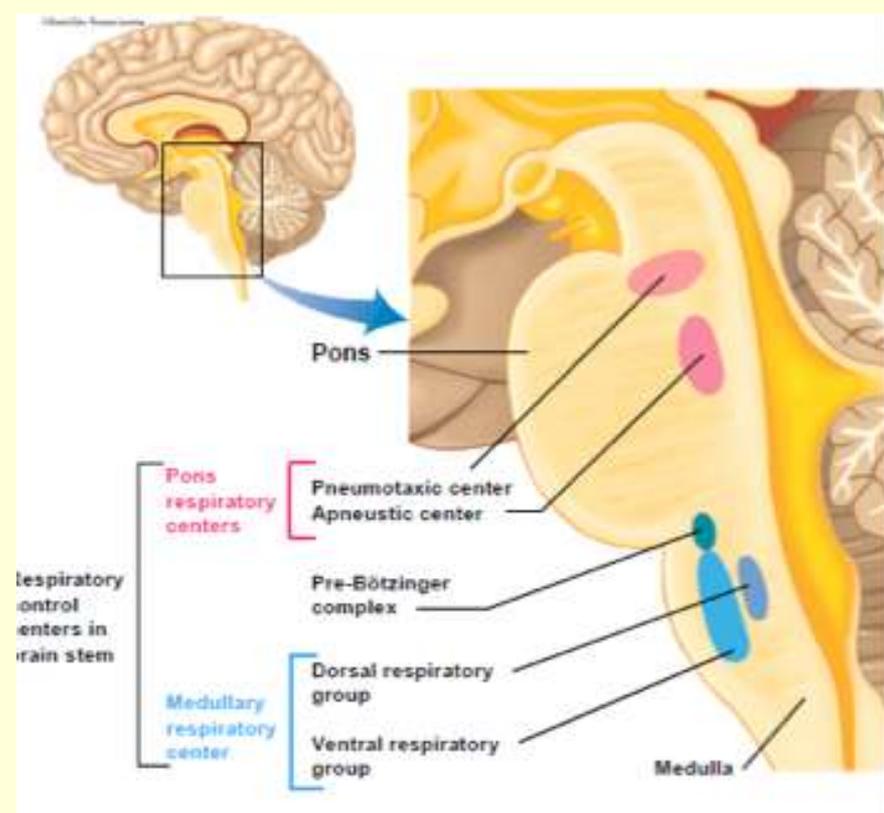
amplifier



Burst and spike activity of Hindmarsh-Rose neuron



Exemple :
les centres respiratoires
du tronc cérébral



Donc première façon de générer des rythmes :

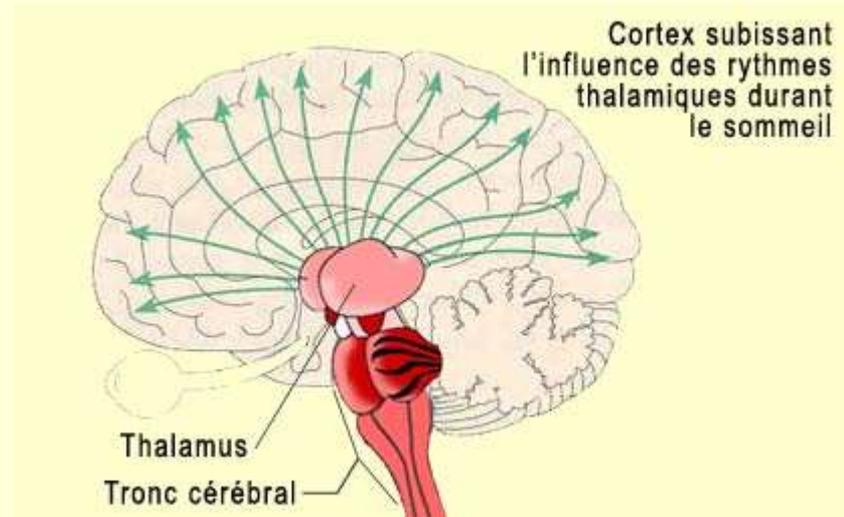
- par les propriétés **intrinsèque** de la membrane du neurone (« endogenous bursting cells »)

Thalamus : presque tous les neurones

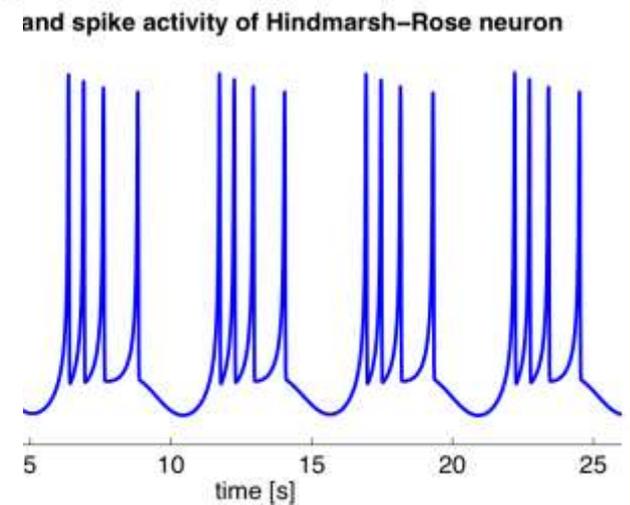
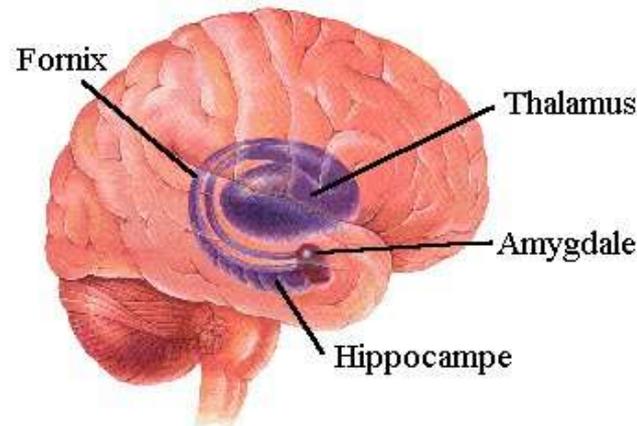
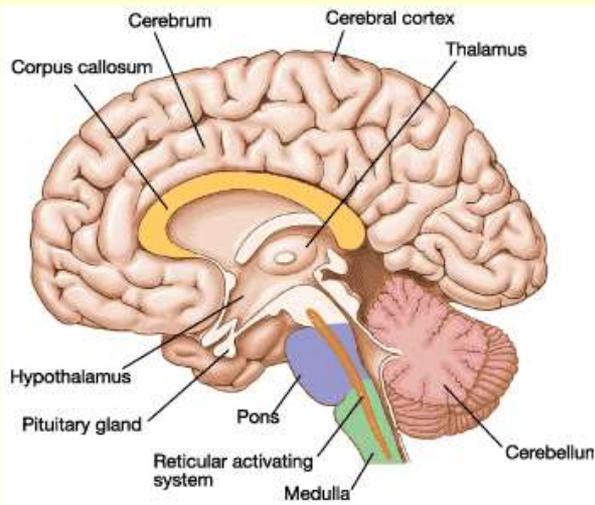
Cortex : non

Cortex enthorinal

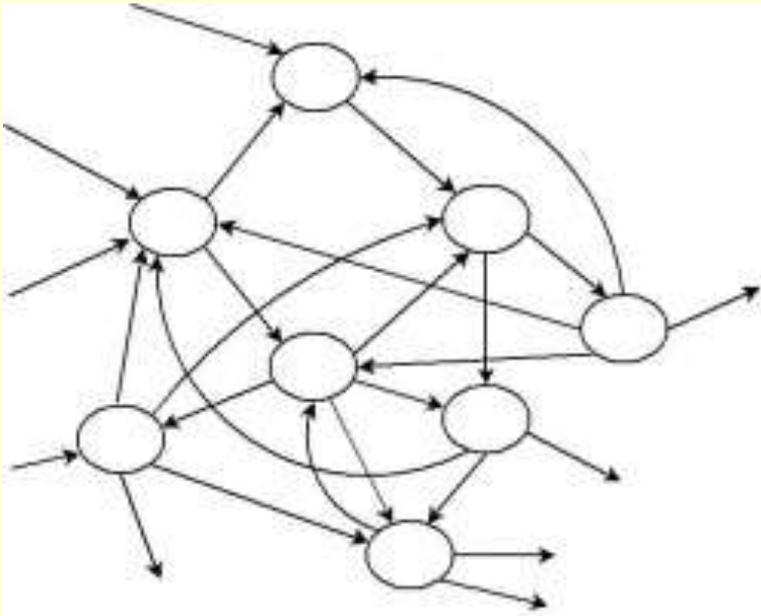
(près de l'hippocampe) : certains neurones



On peut alors distinguer des « **pacemaker cells** » (ex.: thalamus) et des « **follower cells** » (ex.: cortex)

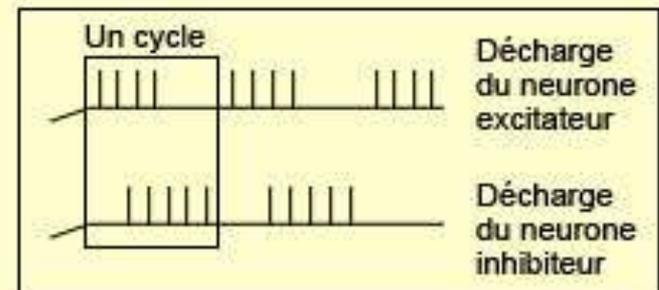
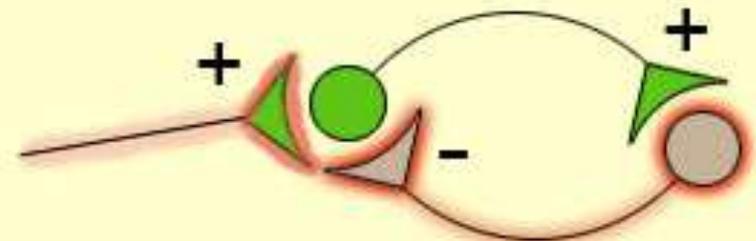
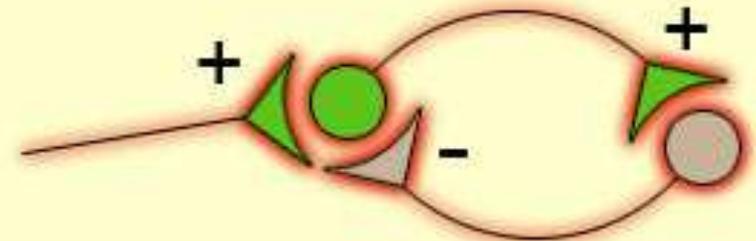
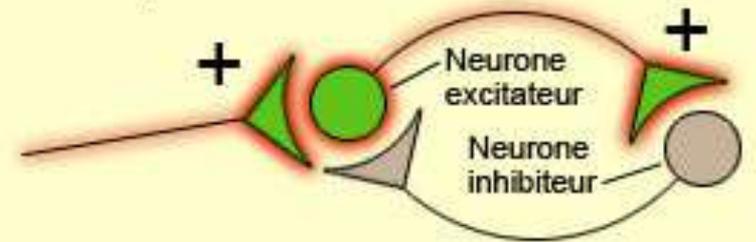


Des rythmes peuvent aussi être générés par les **propriétés du réseau**,



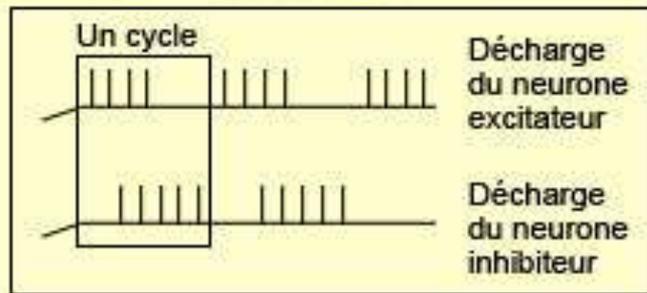
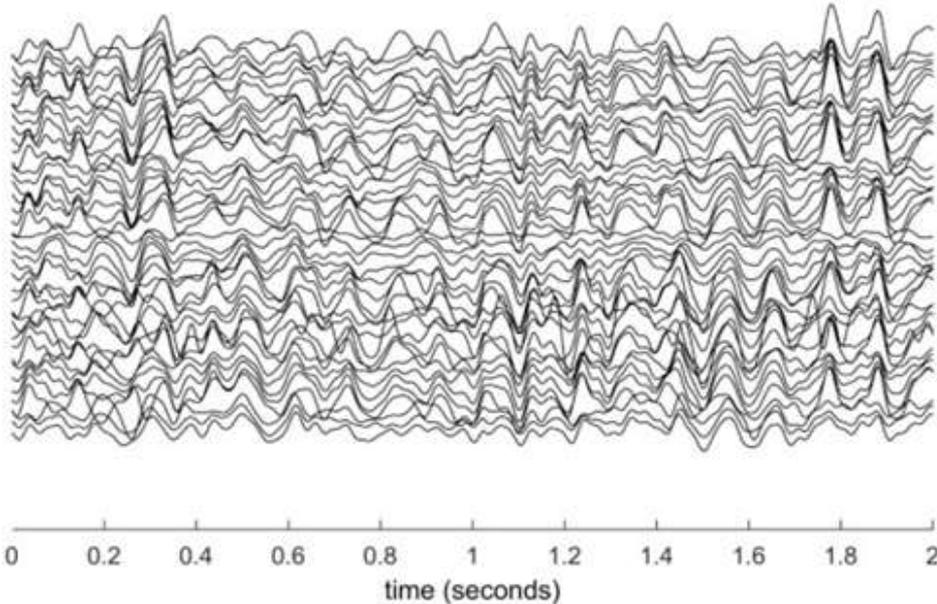
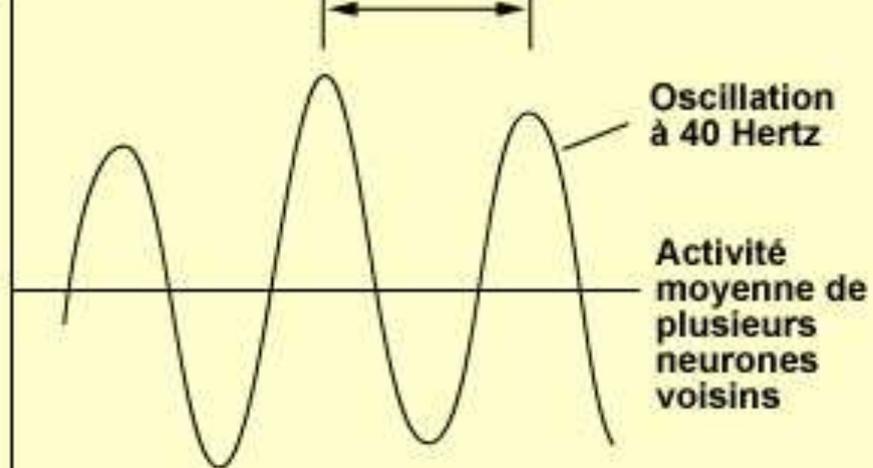
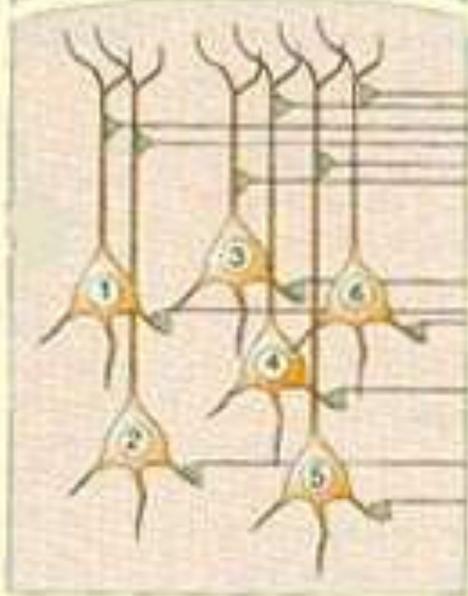
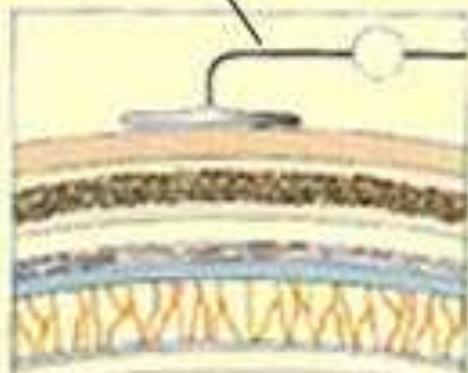
c'est-à-dire par des **boucles** (excitation-inhibition ou inhibition-inhibition)

Afférence excitatrice active en permanence



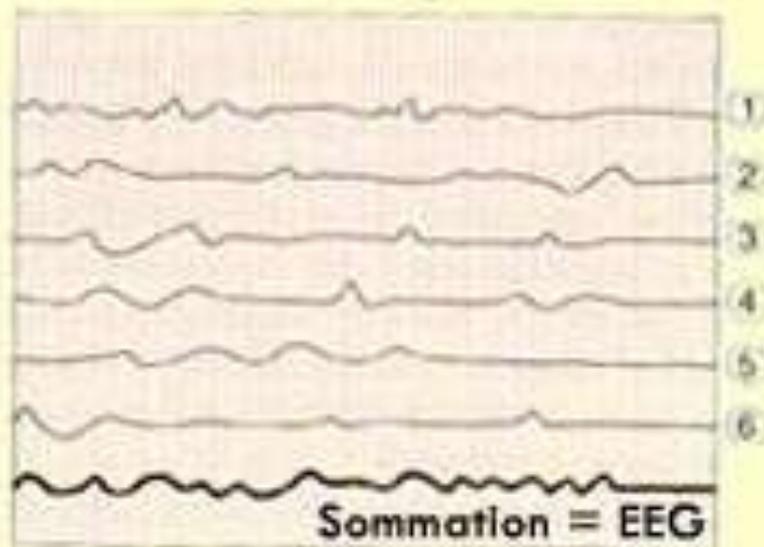


Électrode d'EEG

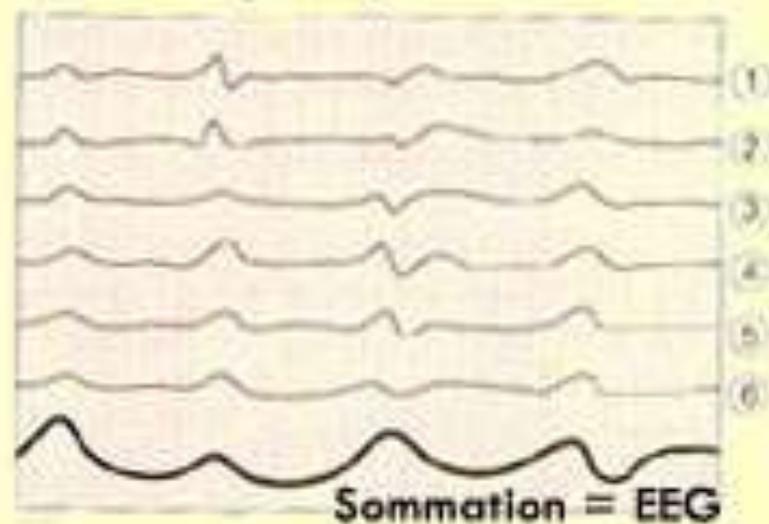


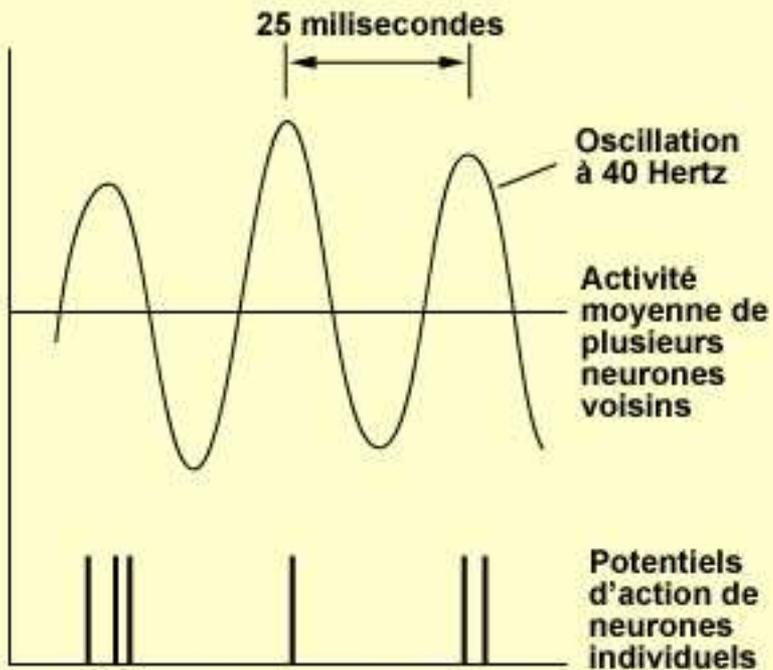


Décharges irrégulières



Décharges synchronisées





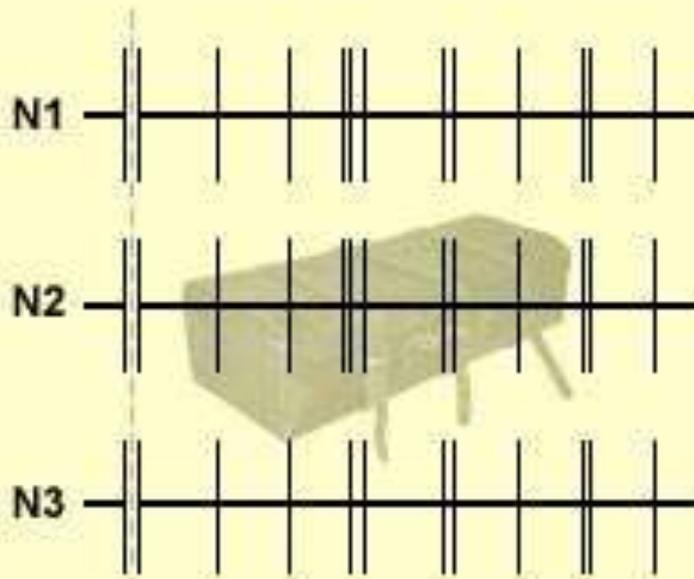
Oscillations

(selon un certain rythme
(en Hertz))

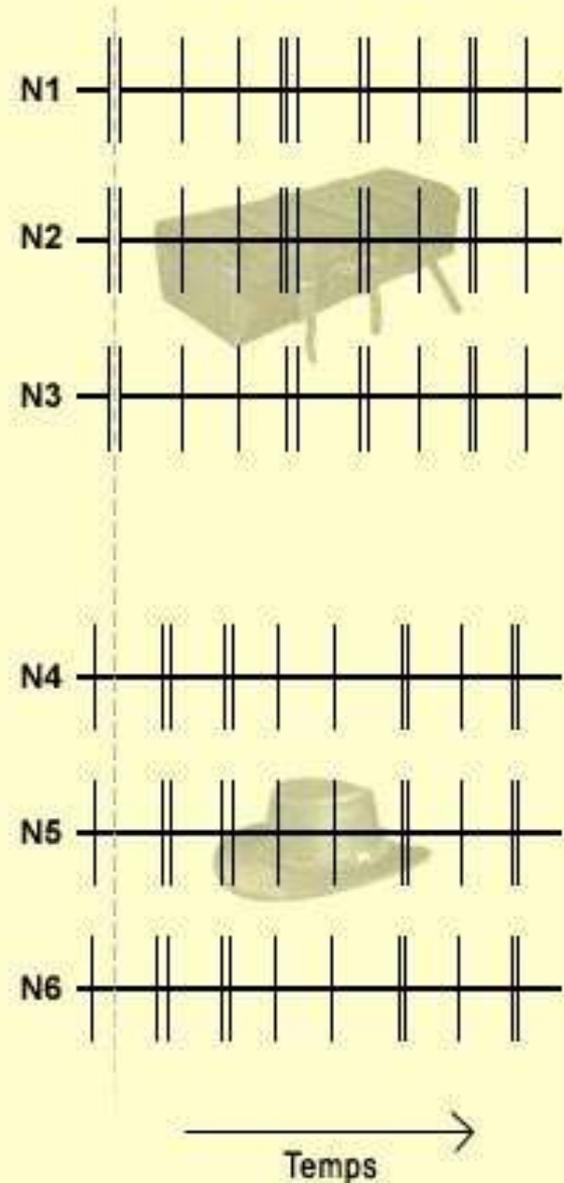
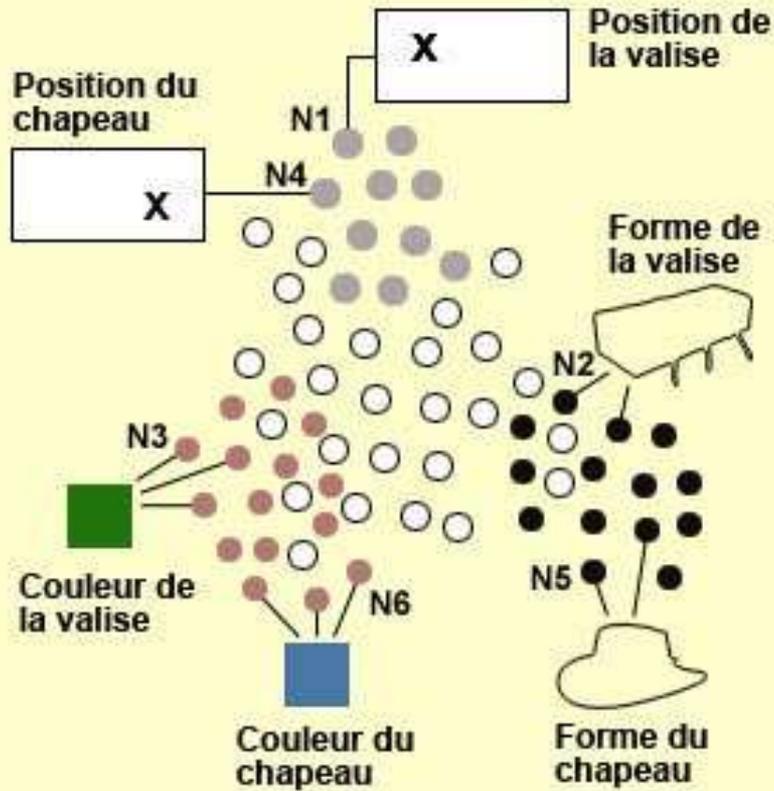
et

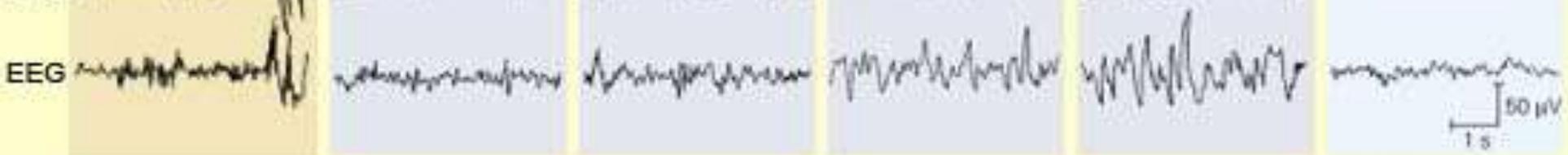
Synchronisation
(activité simultanée)

sont des phénomènes
différents mais souvent
liés !

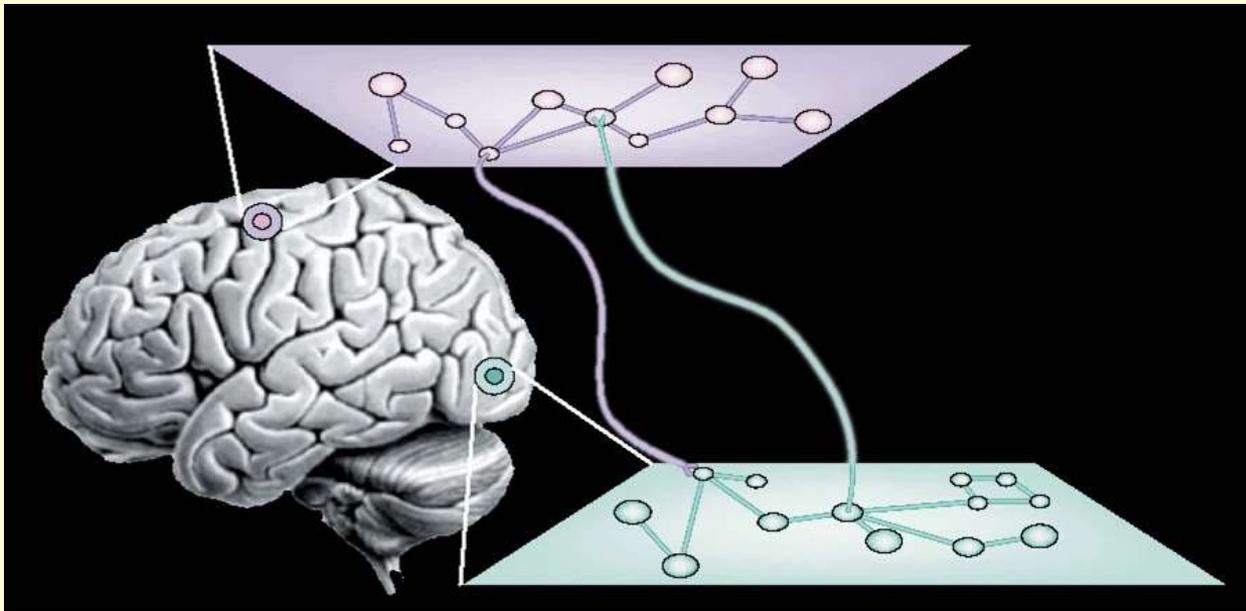


Le « binding problem »



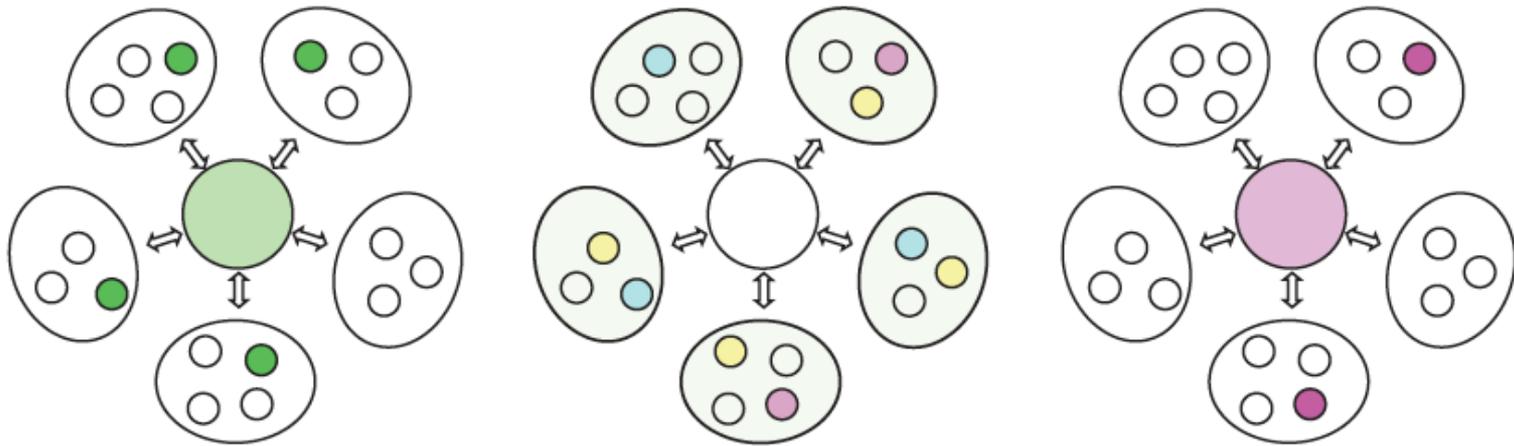


L'une des fonctions que l'on associe maintenant à l'activité oscillatoire neuronale est de faire en sorte que différentes régions du cerveau puissent « travailler ensemble ».

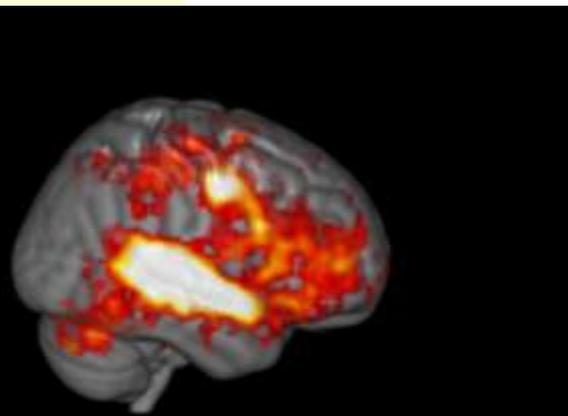




On assiste à une **compétition** entre différentes **coalitions** d'assemblées de neurones



serial procession of broadcast states punctuated by competition



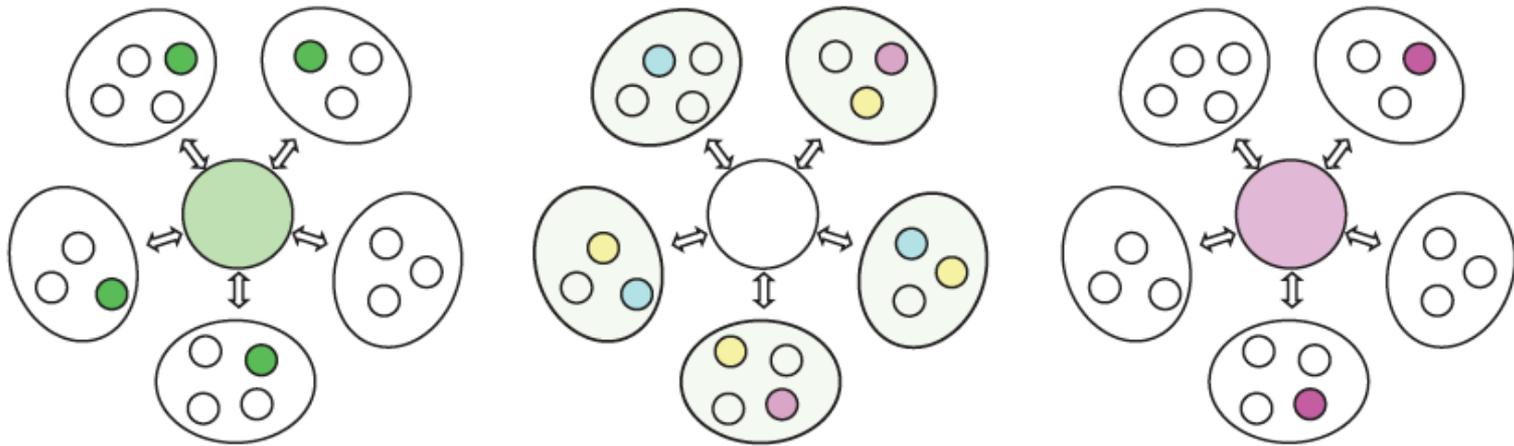
(Exemple fictif)

<http://lespierresquichantent.over-blog.com/2015/09/premiers-resultats-d-une-collaboration-en-neurosciences.html>

et un sous-réseau cognitif finit par s'imposer et devenir **le** mode comportemental approprié pour une situation donnée.



On assiste à une **compétition** entre différentes **coalitions** d'assemblées de neurones

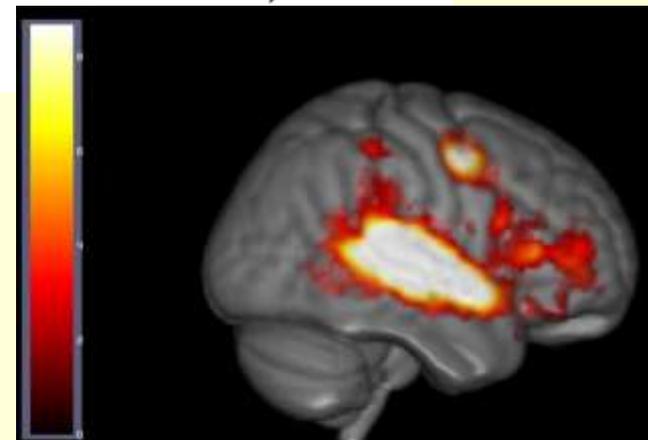
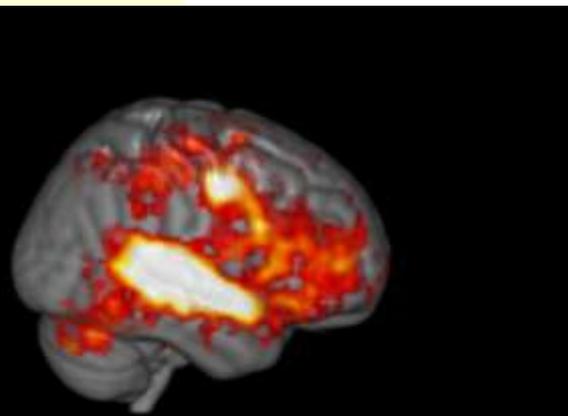


serial procession of broadcast states
punctuated by competition

« **Winning coalition** »

(Exemple fictif)

<http://lespierresquichantent.over-blog.com/2015/09/premiers-resultats-d-une-collaboration-en-neurosciences.html>



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

Prise de décision

Le cerveau prédictif

Cette notion de « coalition neuronale gagnante »
va nous amener à considérer la **prise de décision**.

**Traditionnellement, on conçoit
la prise de décision de façon
sérielle :**

Quoi faire ?

- 1) « sélection »** (ou décision)
→ Peut prendre plusieurs minutes

Comment le faire ?

- 2) « spécification »** (des commandes motrices appropriées)



→ Peut prendre plusieurs minutes



→ Ou même des jours
ou des mois...



→ Peut prendre quelques secondes



→ Ou dizaines de secondes



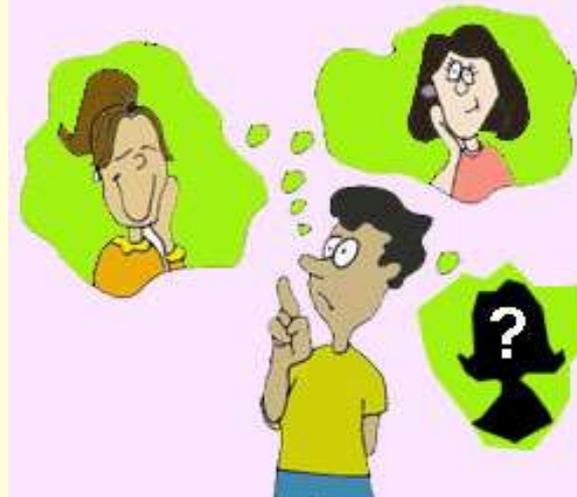
→ Peut prendre une seconde

→ Ou une fraction de seconde



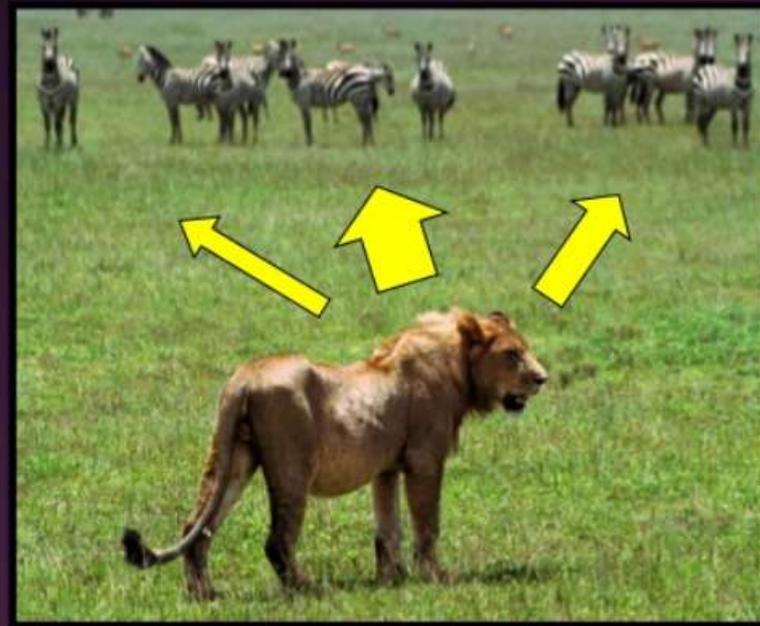
Pour nombre de décisions simples et rapides,
les données expérimentales
n'appuient pas le schéma classique :

« décision →
préparation du bon
mouvement →
action »



Comment sont prises les décisions alors ?

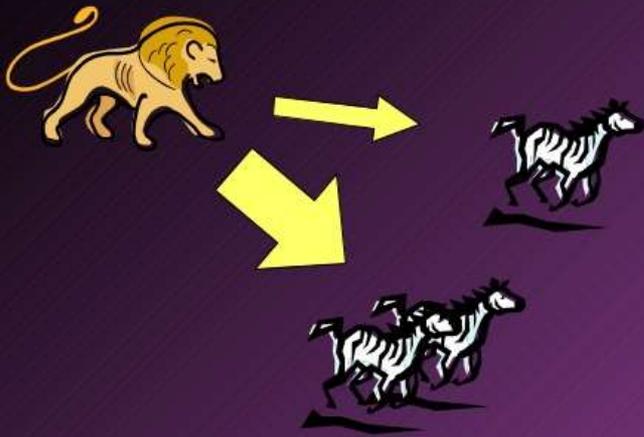
Decision-making in the wild



- The world presents animals with multiple opportunities for action ("affordances")
- Cannot perform all actions at the same time
- Real-time activity is constantly modifying affordances, introducing new ones, etc.

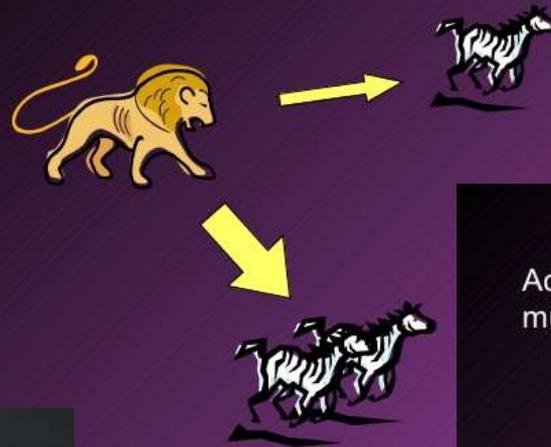
Paul Cisek Model - No "Decision" "Decision-Making"

<http://www.slideshare.net/BrainMoleculeMarketing/uqam2012-cisek>

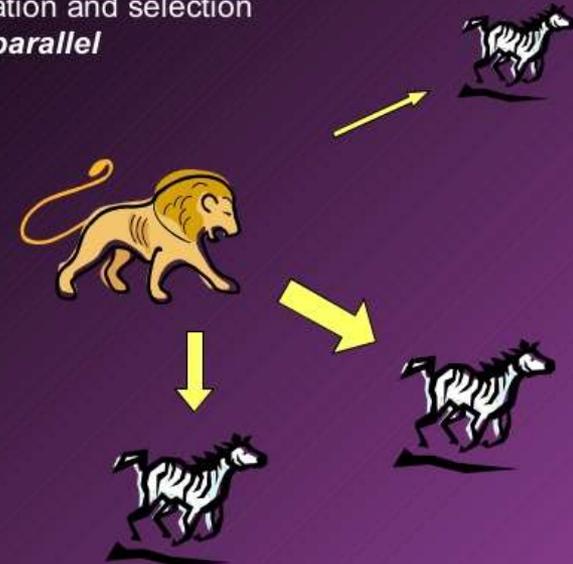


L'origine de la prise de décision c'est ça...

...et pas ça !



Action specification and selection must occur *in parallel*



Depuis une vingtaine d'années (Tucker & Ellis (1998)), on sait par exemple que la simple perception de **l'anse d'une tasse** active la simulation de systèmes moteurs correspondants à l'action de prendre la tasse (**affordances** !)

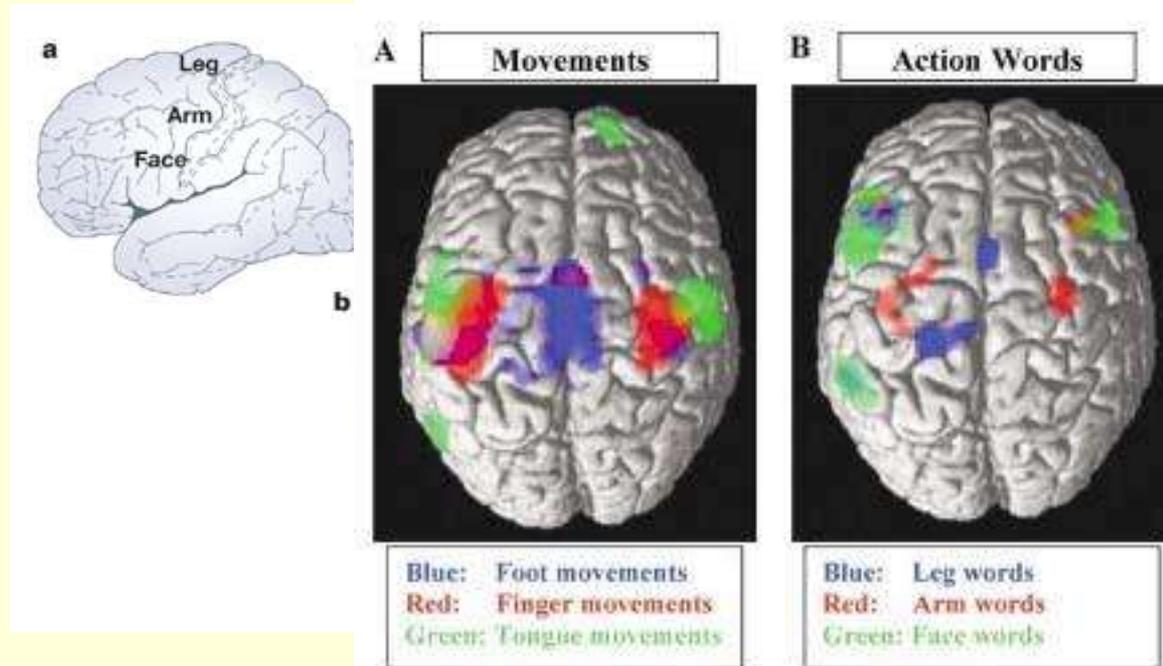


Pulvermüller (2006)
Hauk et al. (2004)

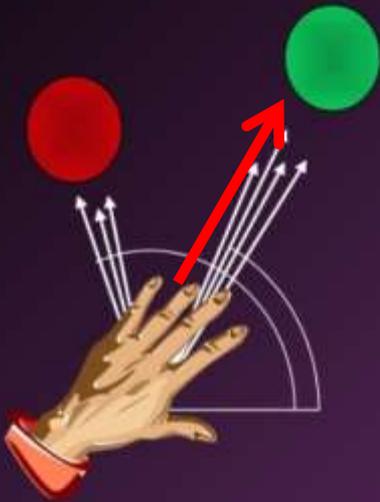
Lire des mots d'action
comme *kick*, *kiss*, *pick*
produit une activation du
système moteur
qui est organisée de
manière somatotopique.

Exemple : lire *kiss* active la
région motrice de la **bouche**;

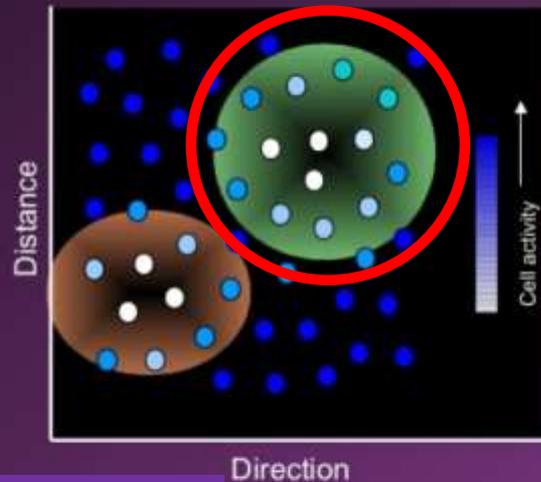
lire *kick* active la région
motrice de la **jambe**, etc.



Specification and selection in parallel



A population of tuned neurons



Spécification d'actions possibles :

Les neurones qui répondent préférentiellement aux deux directions intéressantes (aux deux affordances) augmentent leur activité.

Sélection d'une action :

Un groupe de neurones remporte la « compétition » dû à la prédominance de son activité.

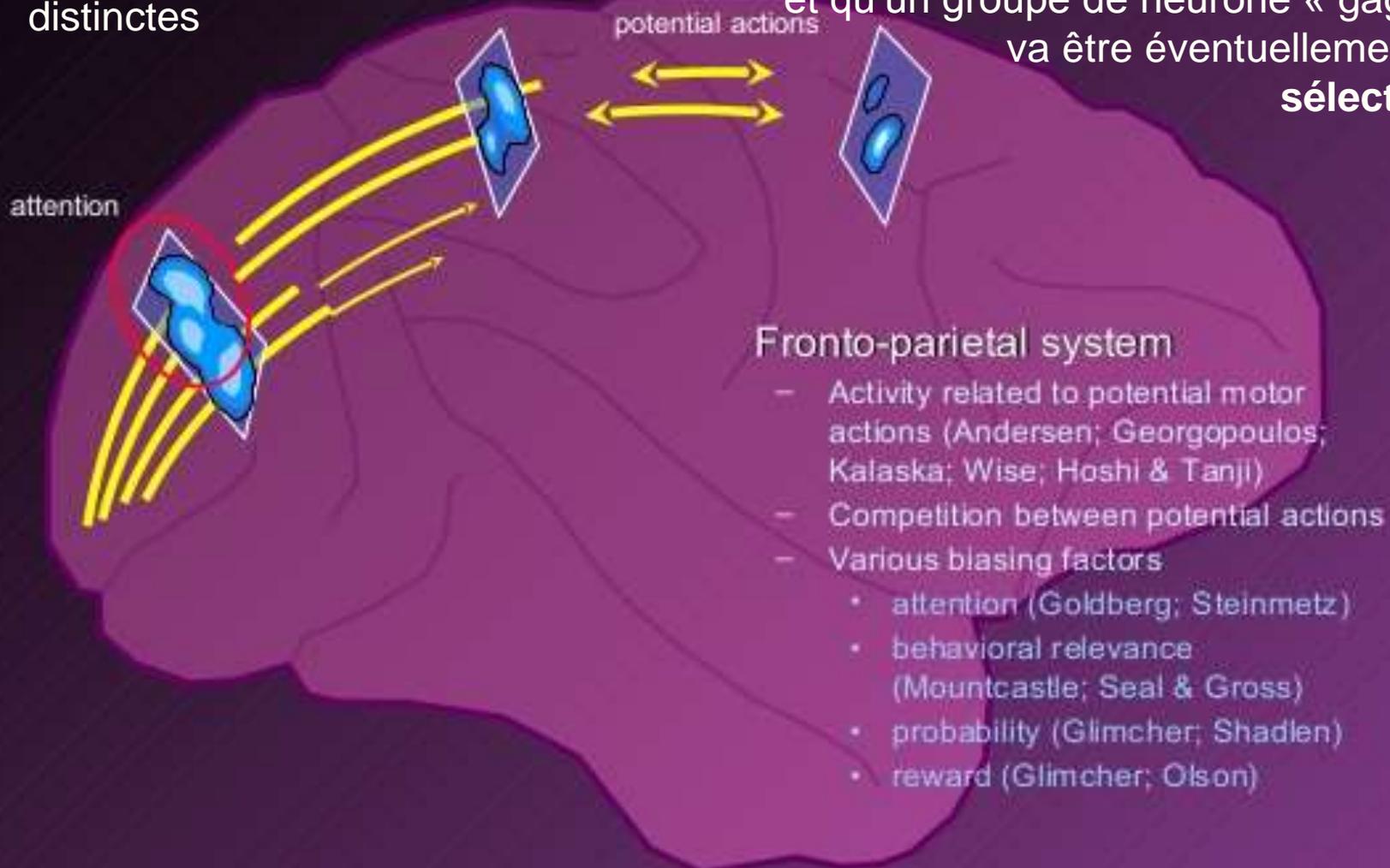
Et non sélection (ou décision) en premier

et spécification ensuite !

Quels seraient les substrats neuronaux à l'échelle du cerveau entier ?

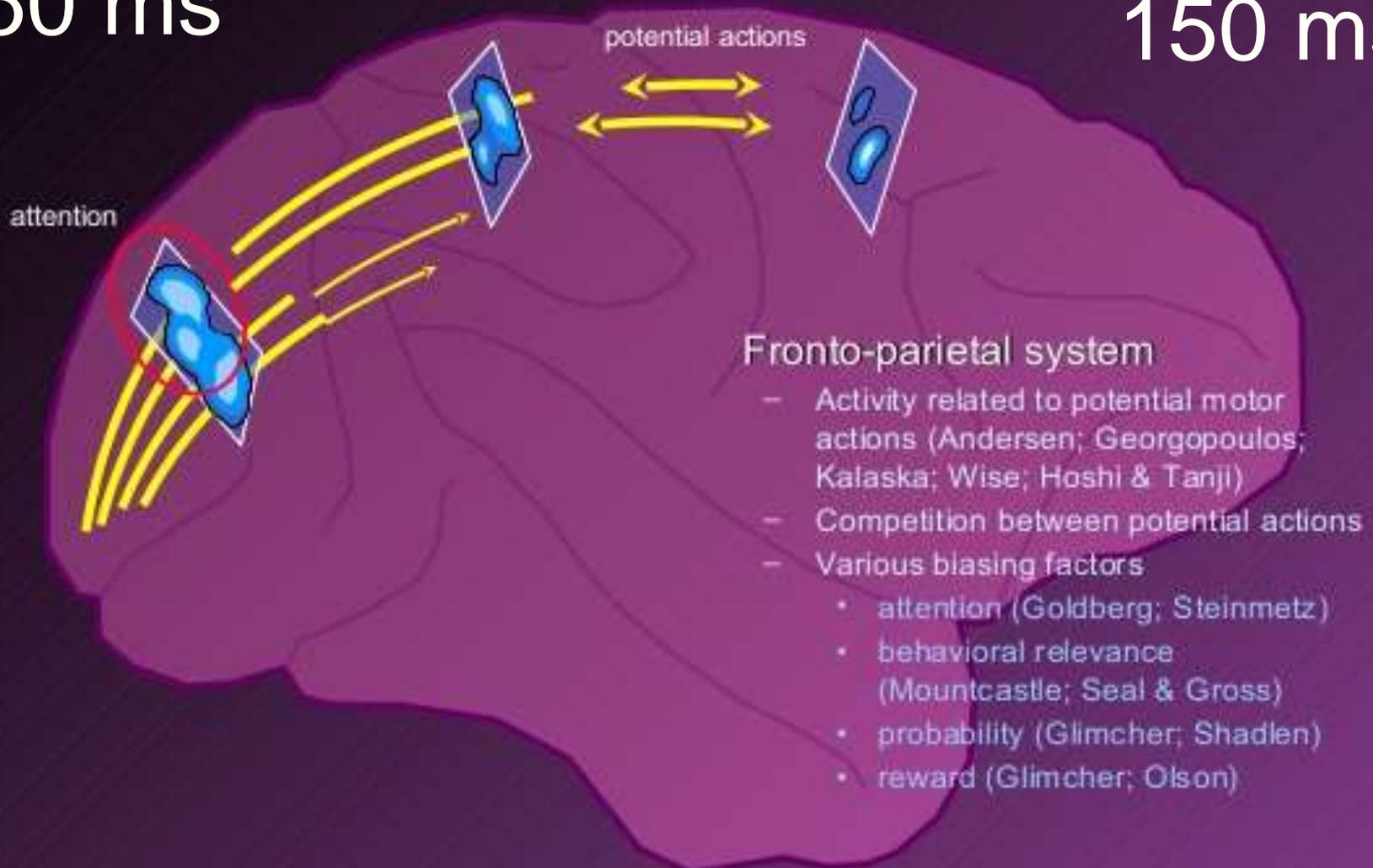
Des processus d'attention aident à **spécifier** des cartes distinctes

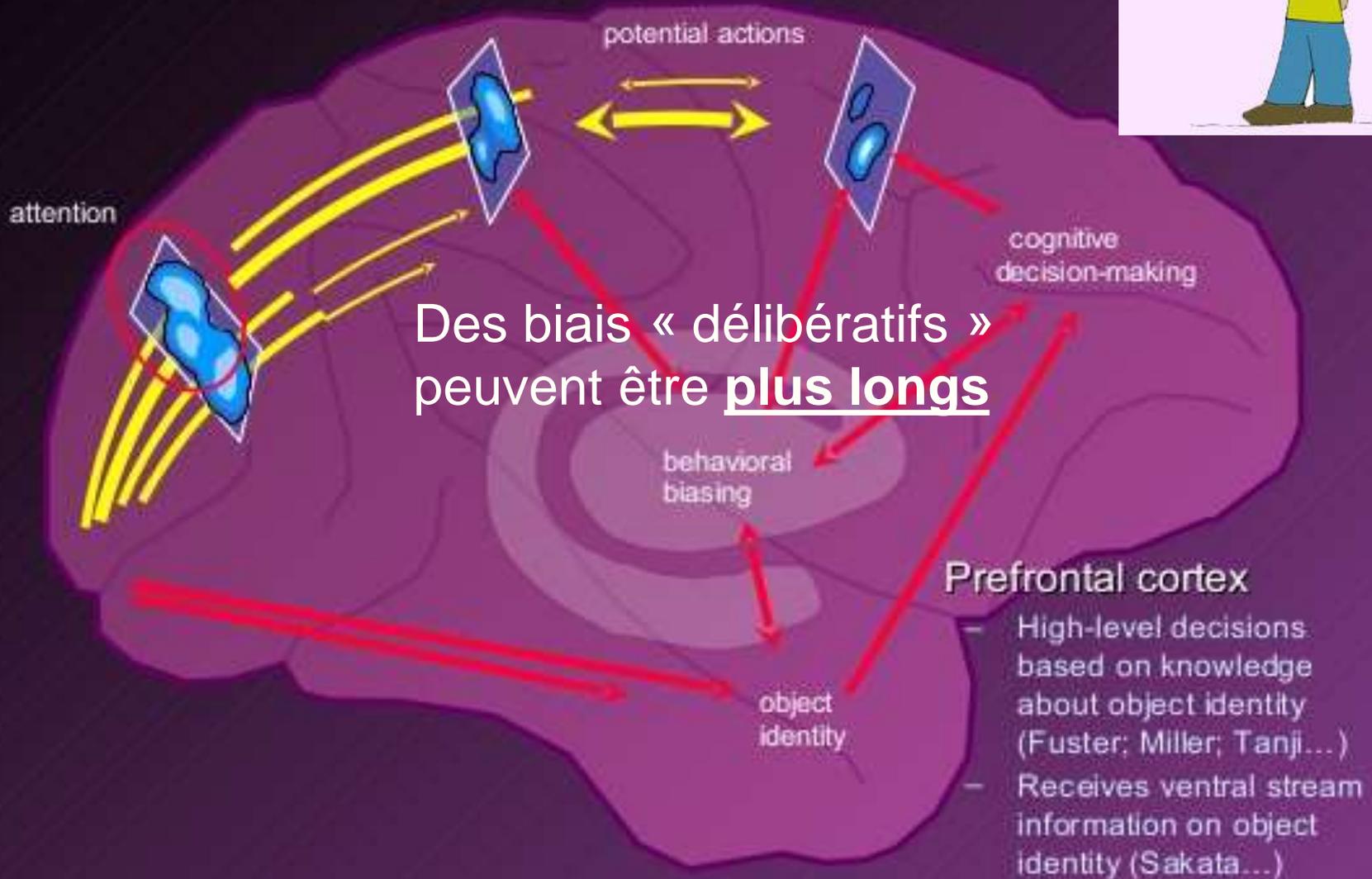
Et c'est à partir de là qu'a lieu la compétition (par inhibitions réciproques) et qu'un groupe de neurone « gagnant » va être éventuellement être **sélectionné**



50 ms

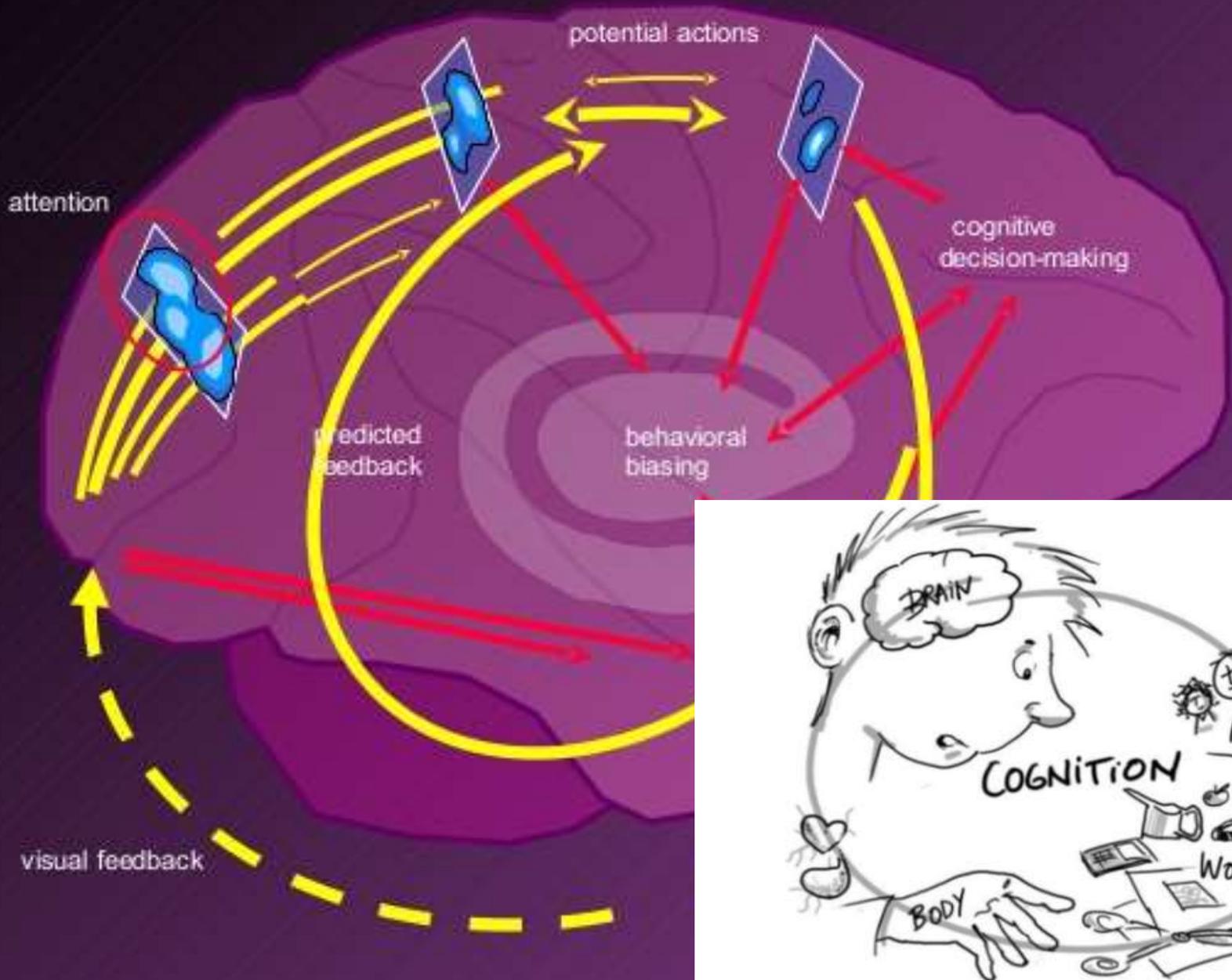
150 ms





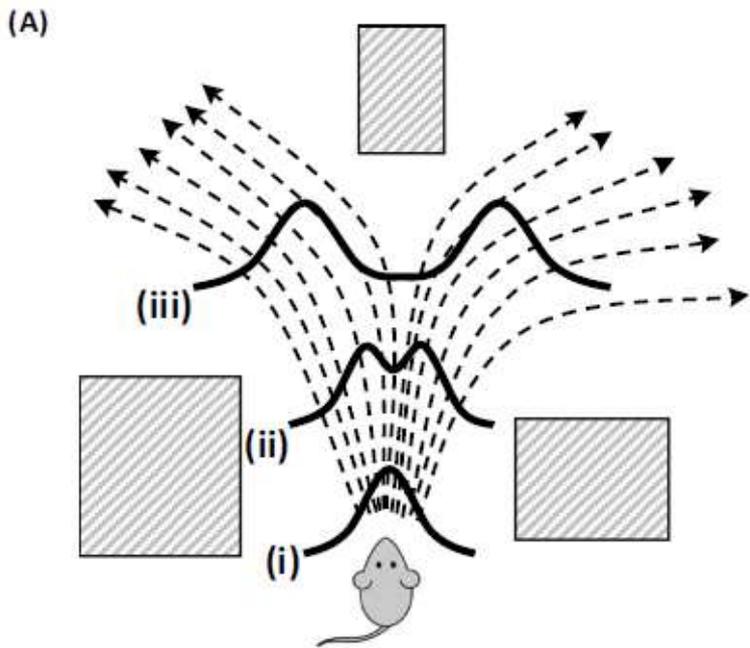
Des biais « délibératifs »
peuvent être plus longs

...et tout cela se poursuit en temps réel (le corps bouge, l'environnement aussi) et à tout moment on doit réévaluer notre action, la corriger, etc.

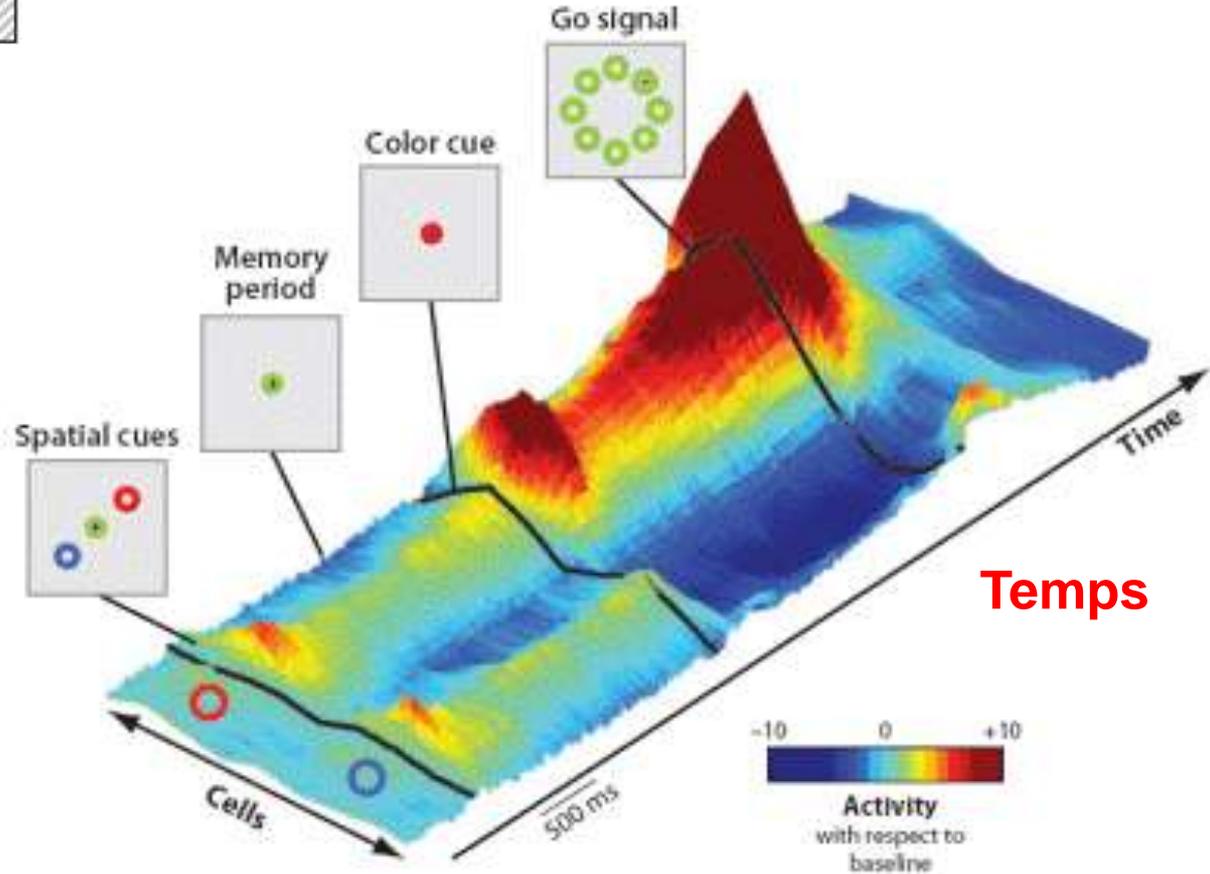


Par exemple, quand on marche dans une foule, à tout moment notre action définit ses prochaines options que notre cerveau va commencer à préparer en parallèle avant qu'une de celle-ci ne s'impose, soit sélectionnée, et débouche sur un geste concret.



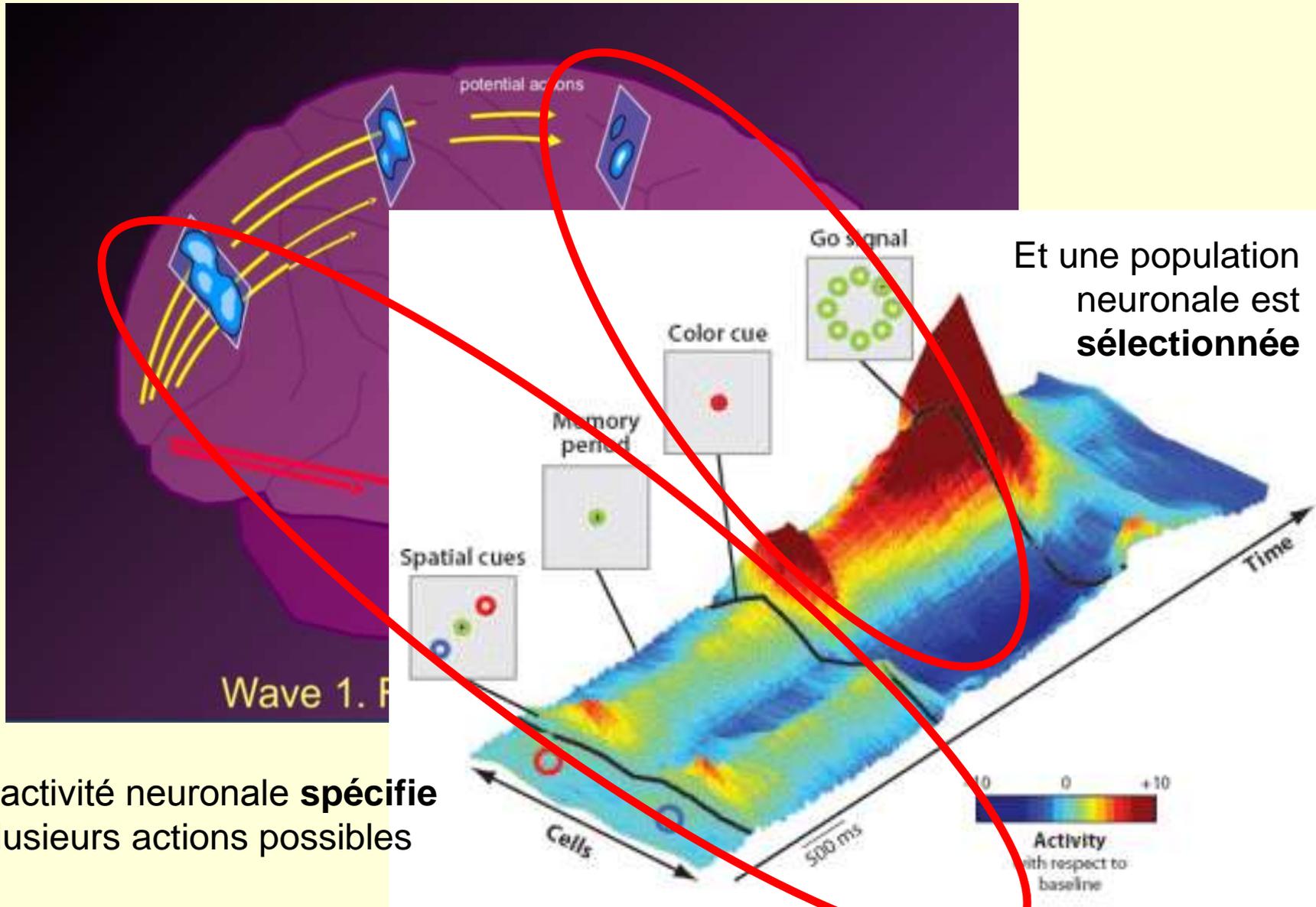


Niveau d'activité de deux populations de neurones



Temps

S'il y a par exemple deux choix possibles, on observe un recrutement d'activité neuronale dans deux populations de neurones différentes, et puis soudainement, il y en a une où l'activité cesse rapidement alors que l'autre augmente radicalement la sienne pour amener l'exécution du mouvement.



Et une population neuronale est **sélectionnée**

L'activité neuronale **spécifique** plusieurs actions possibles

Différentes régions cérébrales peuvent être sollicitées par l'environnement à un moment donné, de sorte qu'on ne peut associer la prise de décision à une structure cérébrale particulière. Autrement dit, **la compétition peut se gagner à différents endroits dans le cerveau**.

C'est, en gros, l'« **Affordance competition hypothesis** » de Cisek et ses collègues intégrée dans les grands cadres théoriques contemporains :

“...specific, functional (global) patterns of interacting (local) components need to be **selected over competing alternatives** to allow different levels of [...] organisation to emerge...”

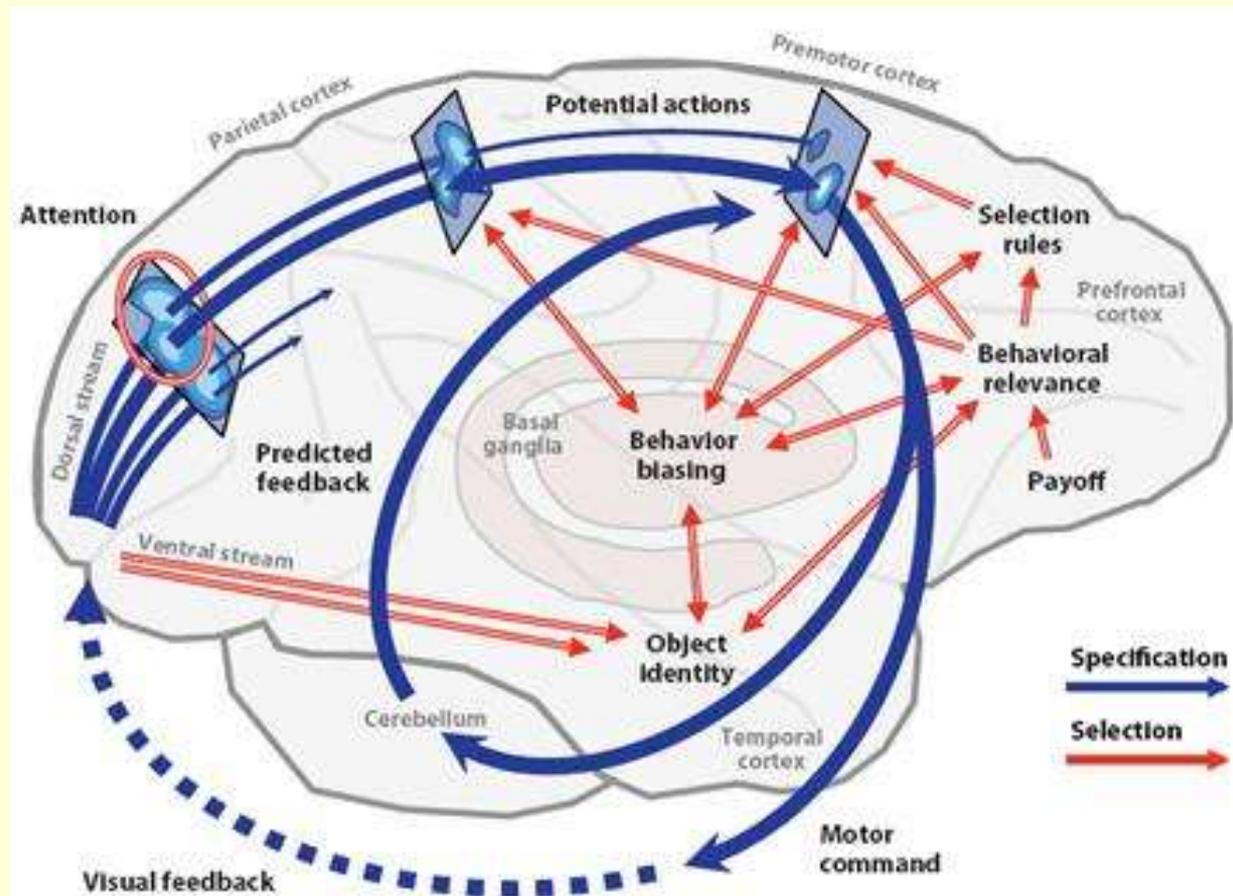
Answering Schrödinger's question:

A free-energy formulation

[Maxwell James Désormeau Ramstead](#),^{a,b,□}
[Paul Benjamin Badcock](#),^{c,d,e} and [Karl John Friston](#)^{f,1}

Phys Life Rev. **2018** Mar; 24: 1–16.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5857288/>



Plan

2^e bloc : Développement, apprentissage et mémoire, perception et action :
des processus dynamiques à différentes échelles de temps

Survol du développement cérébral

Communication et intégration neuronale

Mécanismes de plasticité synaptique
(anciens et nouveaux)

L'engramme : des réseaux de neurones sélectionnés

Parenthèse pratique : ce qui favorise l'apprentissage

Apprendre à sélectionner des réseaux cérébraux transitoires

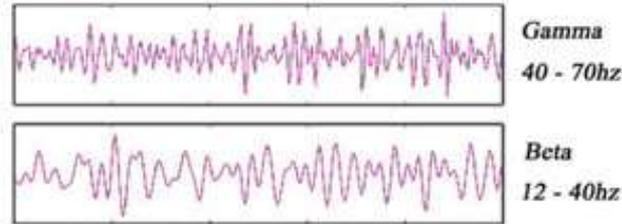
Prise de décision

Le cerveau prédictif

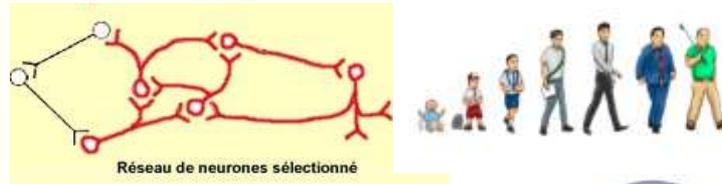
Concept / Cadre théorique :

Le grand cadre théorique qui alimente les débats depuis une dizaine d'années :

Perception et action



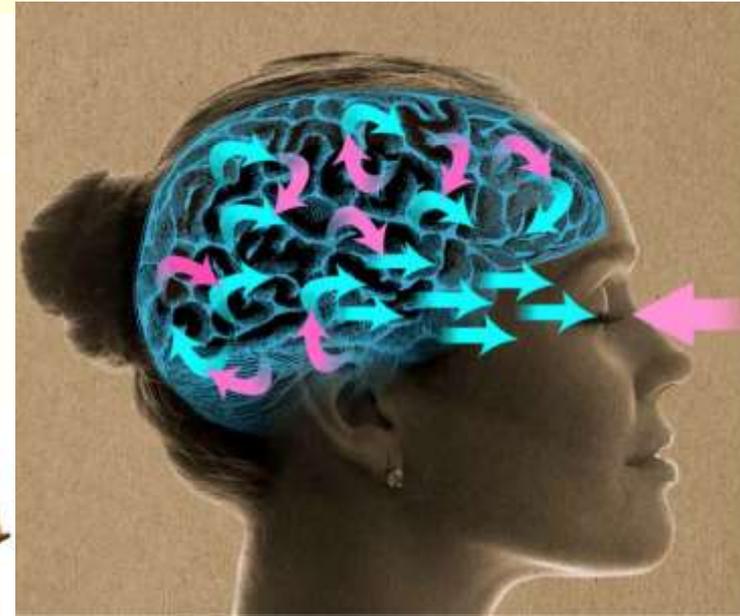
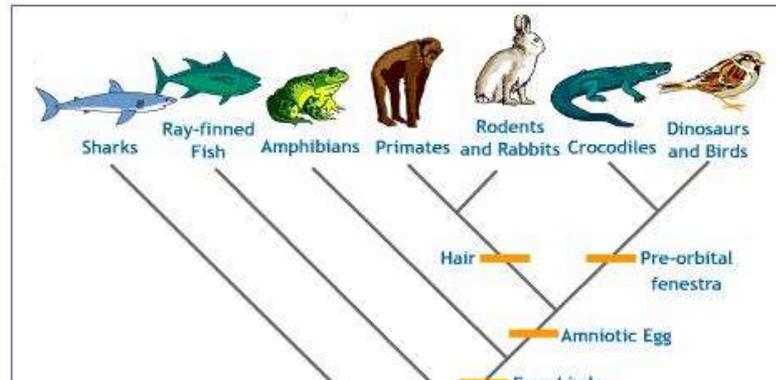
Apprentissage



Développement



Évolution biologique



Nous sommes une **machine à faire des prédiction**

qui se base sur des **modèles internes** construits tout au long de notre **longue** histoire !

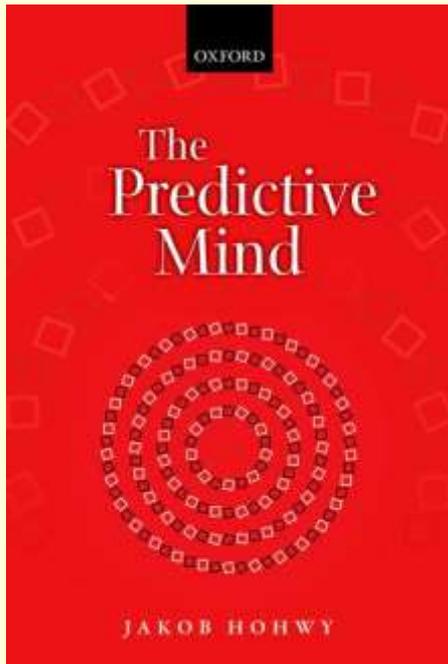
(innée et acquise)

Concept / Cadre théorique :

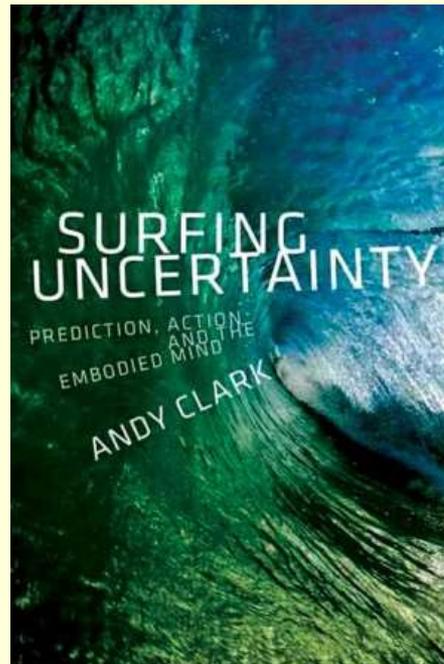
« Predictive processing » « the Bayesian Brain »)

Le cerveau serait fondamentalement une machine à prédiction à partir de **modèles internes** construits par son **expérience préalable**.

Et cette machine à prédiction va surtout utiliser **les erreurs de ses prédictions** pour modifier ses comportements et/ou ses modèles internes du monde.



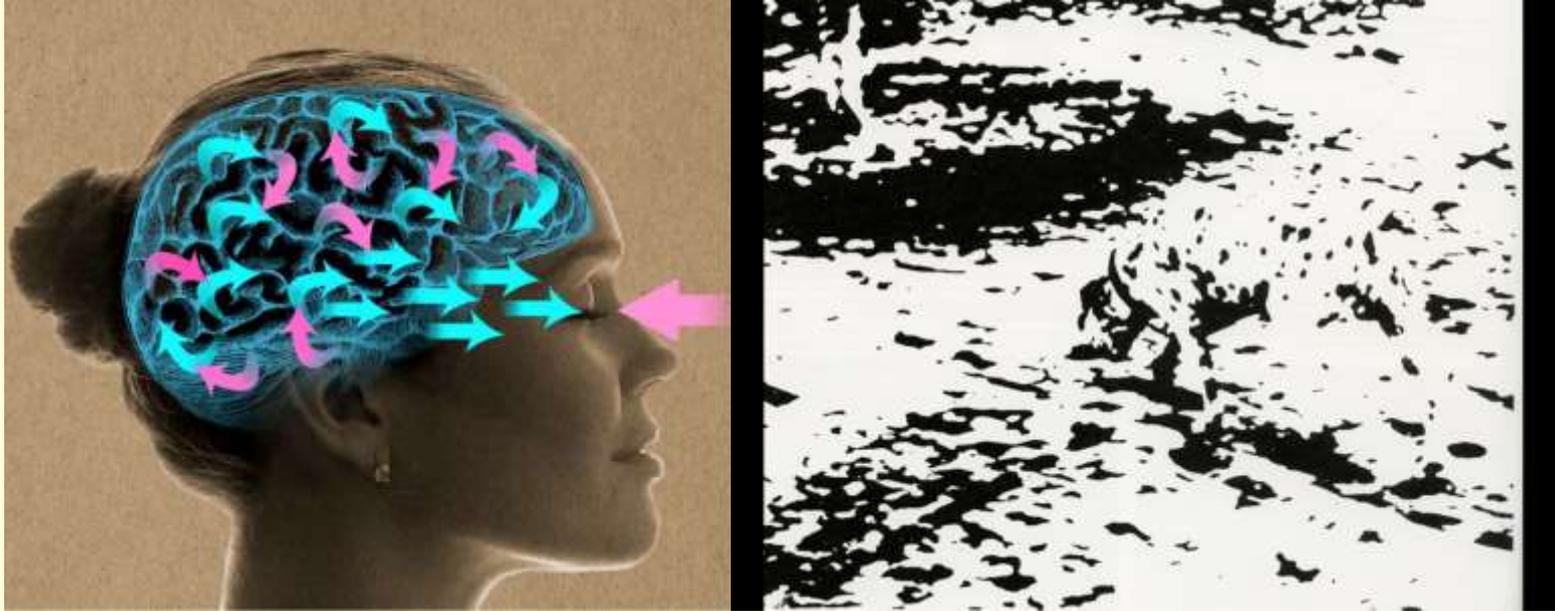
2014



2015



Karl Friston

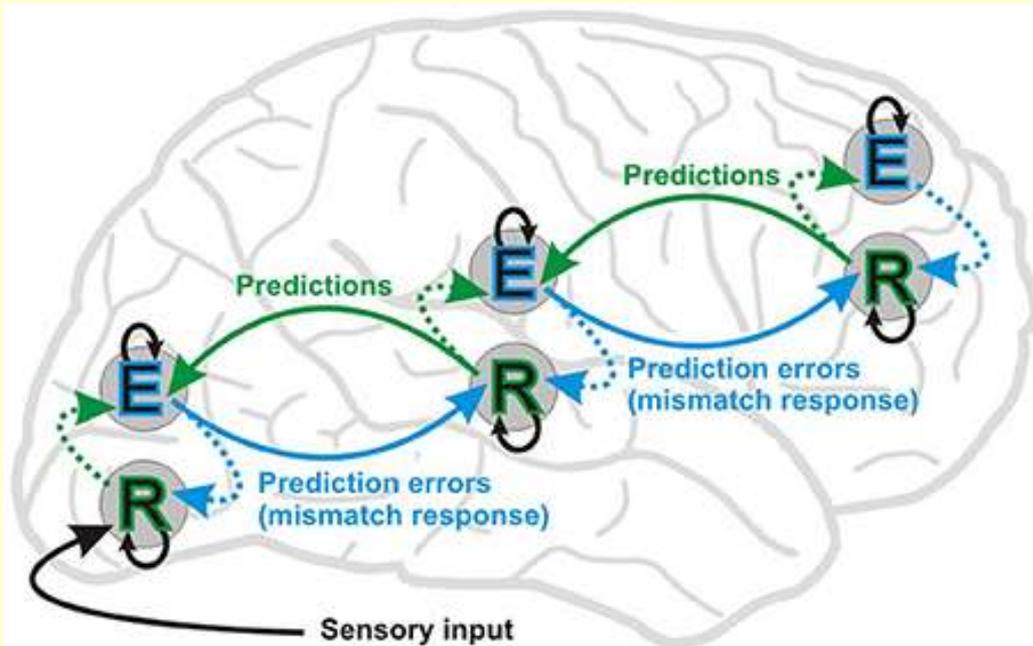


Le cerveau n'est plus vu comme un simple organe de "traitement de l'information" qui attendrait passivement ses inputs,

mais comme une machine pro-active qui **tente constamment d'anticiper la forme des signaux sensoriels** qui lui parviennent.

Autrement dit, c'est un **organe statistique générant constamment des hypothèses** qui sont testées par rapport aux évidences fournies par les sens.

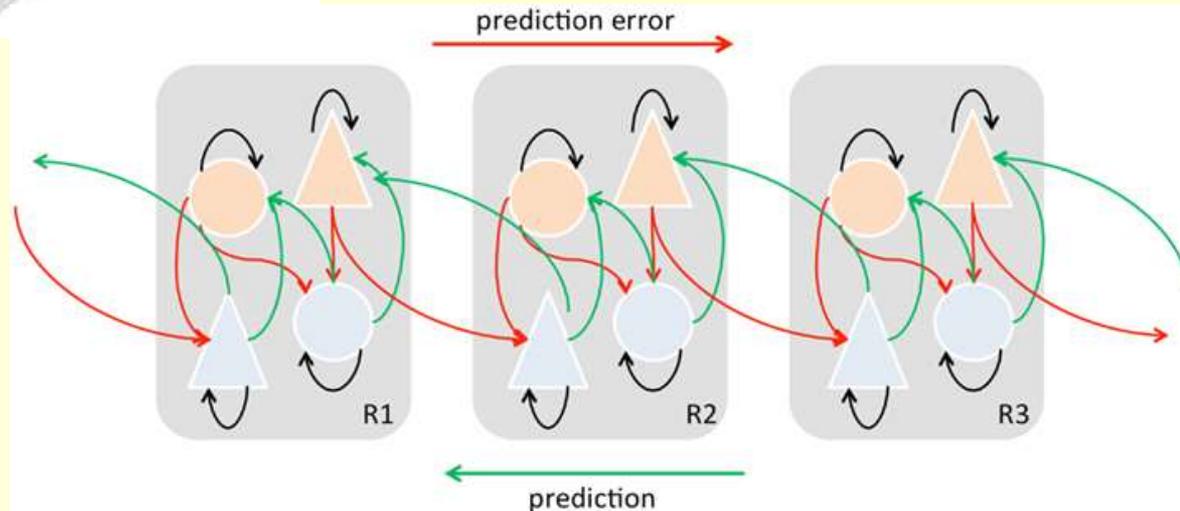
Et dans les cerveaux humains
(en particulier le cortex), il y a une architecture
neuronale **compatible avec ces principes** :



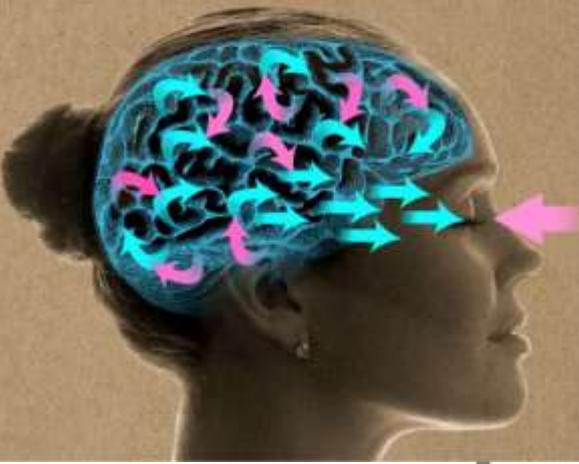
une architecture aux **multiples niveaux** où chaque niveau essaie de prédire l'état du niveau en-dessous de lui.

Simplified scheme of the hierarchical predictive coding framework

(Friston, 2005, 2008, 2010).
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2014.00666/full>

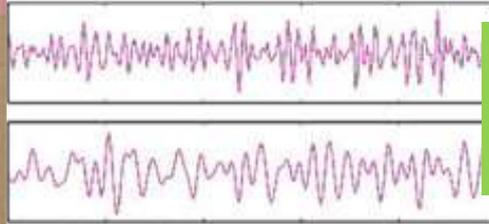


Pour l'approche prédictive :



Perception et action

Passer d'un modèle à un autre parmi tous ceux à notre disposition



L'apprentissage

Modifier / améliorer les modèles existants



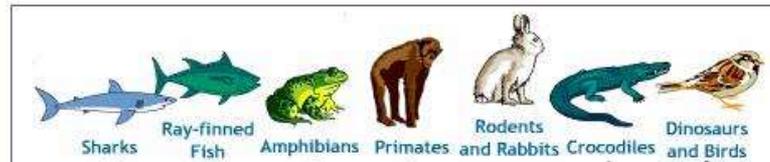
Développement

Optimiser épigénétiquement les modèles par l'élagage dépendant de l'activité nerveuse



Évolution

Modifier la forme du corps considérée comme un « modèle » de son environnement



$10^{11} s$

$10^3 s$

$10^6 s$

$10^{15} s$

Exemple :

« Les **rythmes circadiens** démontrent explicitement l'idée derrière l'inférence active, i.e., que l'on devient un modèle statistique de son environnement à travers l'adaptation. »

- Maxwell Ramstead

“This variational formulation stems from the observation that **living systems**, over time and on average, **tend to revisit the same set of attracting or characteristic states**.”

These can be cast as the characteristic *phenotypic states (and traits)* of the organism.

The FEP explains the dynamics of *any random dynamical system* that appears to resist decay through *adaptive action* [3,4]. Under the FEP, organisms engage the environment in a self-fulfilling prophecy of sorts; ‘surfing’ up probability gradients towards their most probable phenotypic states [5].”

Variational ecology and the physics of sentient systems

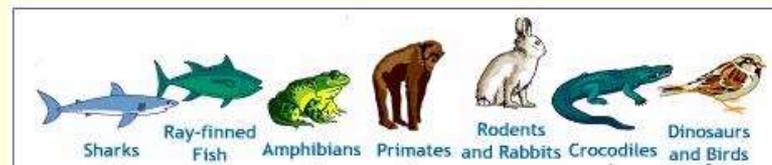
[Maxwell J.D.Ramstead^{ab}](#)

[¹AxelConstant^{c1}Paul B.Badcock^{def}Karl](#)

[J.Friston⁹](#)

[Physics of Life Reviews](#)

Available online 7 January 2019



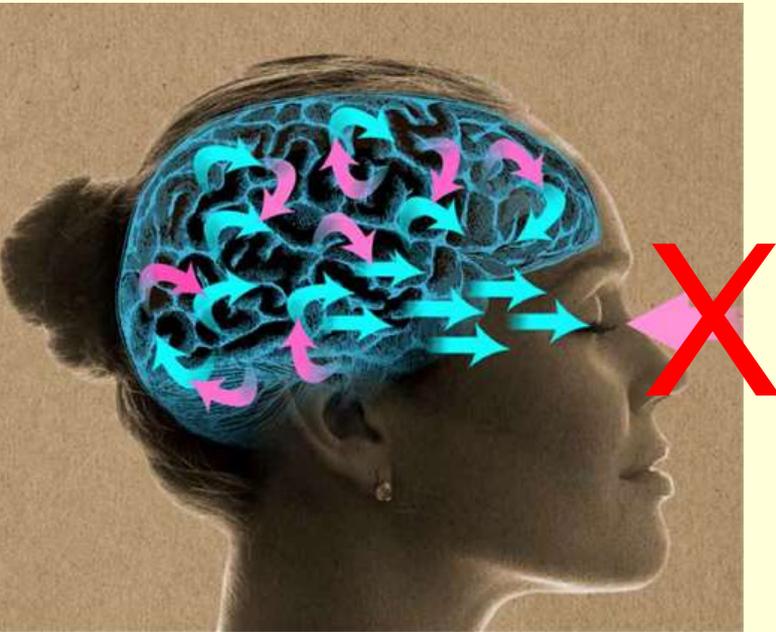
Évolution

Modifier la forme du corps considérée comme un « modèle » de son environnement

Lundi, 12 décembre 2016

« La cognition incarnée », séance 14 :

**Minimisation de l'énergie libre et codage prédictif
(anticiper l'environnement pour agir plus efficacement)**



L'imagination trouve aussi une explication naturelle dans cette façon de voir les choses.

Si l'on néglige l'apport du « bottom up » sensoriel,

on libère, d'une certaine façon, les modèles génératifs « top down » qui peuvent ainsi, libérés des contraintes du réel, s'en donner à cœur joie dans les scénarios fictifs !

Ou **rêver** au sens propre (car durant notre sommeil paradoxal, on est vraiment coupé des inputs sensoriels).

Enfin, la **perception** et la **compréhension**, vues sous l'angle du « predictive processing », peuvent sembler des phénomènes très proches, écrit Andy Clark.

Car dans cette optique percevoir le monde, c'est déployer un savoir non seulement sur la façon dont le signal sensoriel devrait se présenter à nous, mais aussi sur la façon dont il va probablement changer et évoluer au fil du temps.

Les créatures qui déploient cette stratégie, lorsqu'elles voient des herbes bouger, s'attendent déjà non seulement à voir une proie apparaître, mais à ressentir les sensations de leurs propres muscles se préparant à l'action.



Enfin, la **perception** et la **compréhension**, vues sous l'angle du « predictive processing », peuvent sembler des phénomènes très proches, écrit Andy Clark.

Car dans cette optique percevoir le monde, c'est déployer un savoir non seulement sur la façon dont le signal sensoriel devrait se présenter à nous, mais aussi sur la façon dont il va probablement changer et évoluer au fil du temps.

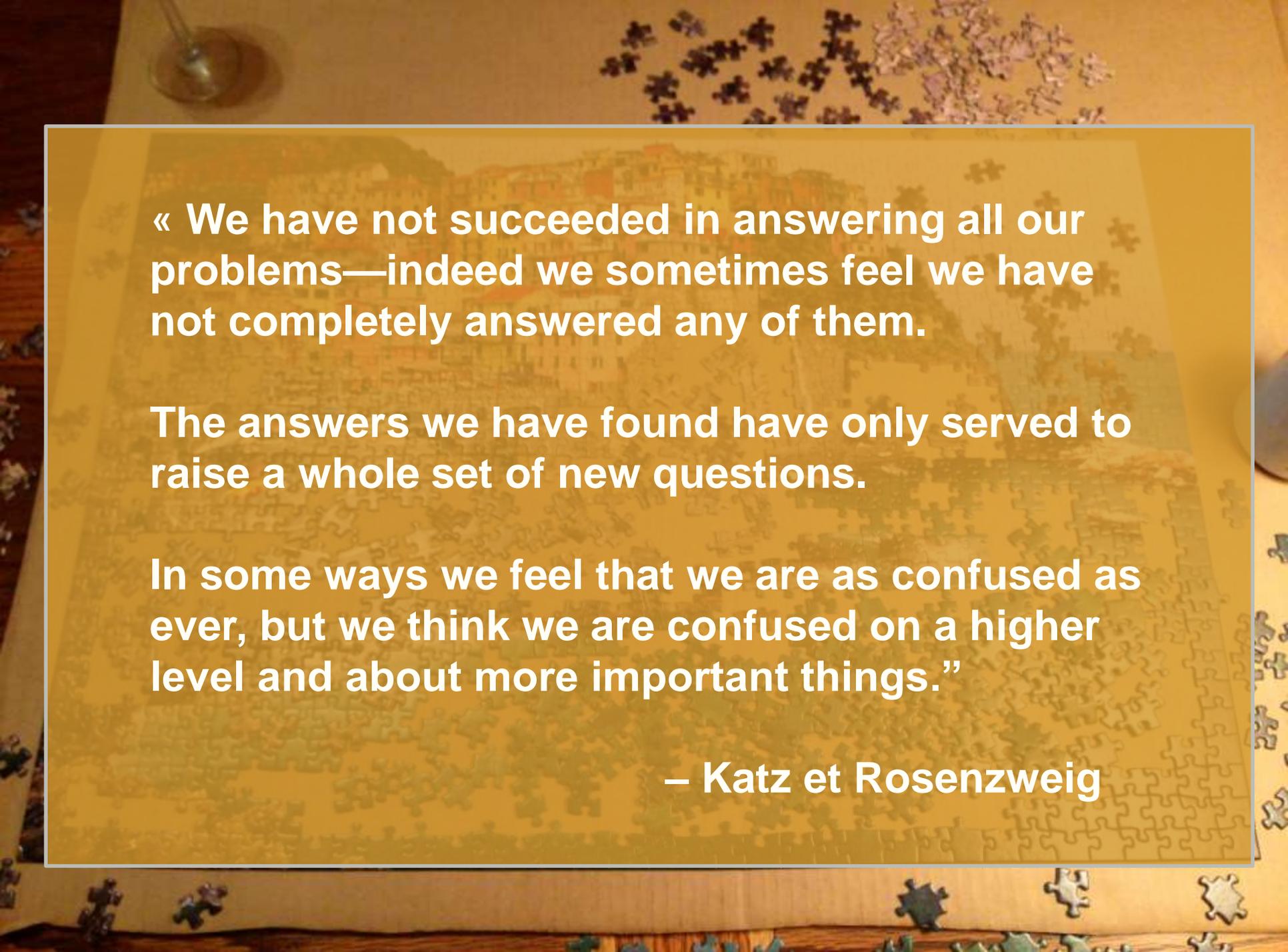
Les créatures qui déploient cette stratégie, lorsqu'elles voient des herbes bouger, s'attendent déjà non seulement à voir une proie apparaître, mais à ressentir les sensations de leurs propres muscles se préparant à l'action.

Or un animal qui a ce genre d'emprise sur son monde est déjà profondément impliqué dans la compréhension de ce monde.



Comme le dit encore Andy Clark : « Peut-être que nous, les humains, et beaucoup d'autres organismes, déployons une stratégie fondamentale, économique et axée sur des prédictions qui s'enracinent dans nos architectures neuronales, et qui permet de **percevoir**, de **comprendre** et **d'imaginer** grâce à cet unique « package deal » »...



A photograph of a wooden table with a large puzzle. The puzzle features a cityscape with buildings and trees. In the top left corner, there is a small glass object, possibly a candle holder or a small vase. The puzzle pieces are scattered around the edges of the board.

« We have not succeeded in answering all our problems—indeed we sometimes feel we have not completely answered any of them.

The answers we have found have only served to raise a whole set of new questions.

In some ways we feel that we are as confused as ever, but we think we are confused on a higher level and about more important things.”

– Katz et Rosenzweig

Merci pour votre présence et votre participation !



www.lecerveau.mcgill.ca



www.elogedelasuite.net



www.upopmontreal.com