

# Plan du cours

~~Cours 1: Évolution cosmique, chimique et biologique (des unicellulaires aux multicellulaires)~~

~~Cours 2: Un neurone, deux neurones, quelques neurones (la grammaire de base du cerveau)~~

Cours 3 : Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

Cours 4: Des milliards de neurones (qui forment des réseaux à l'échelle du cerveau entier)

Cours 5 : Des réseaux de milliards de neurones qui oscillent et se synchronisent dans le temps

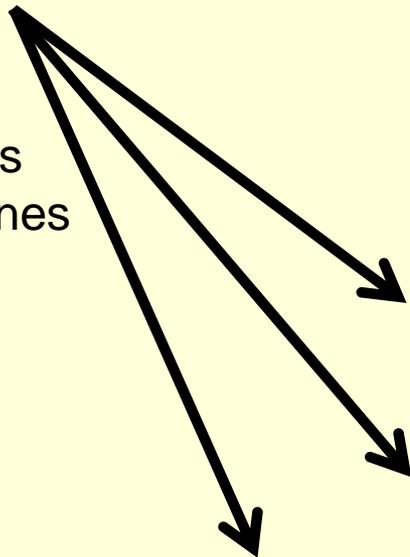
Cours 6 : Tout ce qui précède dans un corps situé dans un environnement

Cours 7 : Tout ce qui précède fait émerger les « fonctions supérieures »

Cours 8 : Tout ce qui précède pour considérer de grandes questions (libre arbitre, éducation, etc.)

# Cours 3 :

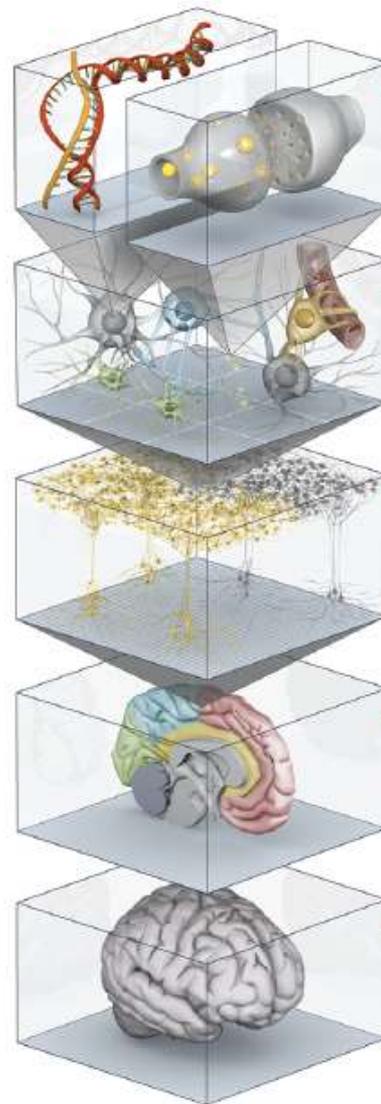
Des milliers et des millions de neurones  
(des structures  
cérébrales  
distinctes)



**Social**  
(corps-cerveau-  
environnement)



**De l'individu**  
(corps-cerveau)



## **Molecular**

A century of research, beginning with the first inspection of a brain cell under a microscope, would translate into a digital facsimile that combines component molecular parts to assemble a cell that demonstrates the essential properties of a neuron—the transmission of electrical and chemical signals.

## **Cellular**

A brain-in-a-box simulation will have to capture every detail of neurons and nonneuronal glial cells, including the exact geometric shapes of the dendrites and axons that receive and send information.

## **Circuits**

A model of the neural connections between different brain areas and among neighboring cells may furnish clues to the origins of complex brain diseases such as autism and schizophrenia.

## **Regions**

Major neural substructures—the amygdala (emotions), the hippocampus (memory), the frontal lobes (executive control)—can be inspected alone or as they interact with one another.

## **Whole Organ**

An in silico brain might substitute for the actual organ. By removing the computer code for a “gene,” the virtual system can, for instance, mimic the effects of a mutation, as scientists do today by “knocking out” a gene in mice. The tool would avoid the lengthy breeding process and could simulate a multitude of experimental conditions.

# Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

A- Évolution de nos mémoires  
et rôle de l'hippocampe



B- Apprendre à associer,  
de la liste d'épicerie  
aux championnats de mémoire



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

A- Évolution de nos mémoires  
et rôle de l'hippocampe

B- Apprendre à associer,  
de la liste d'épicerie  
aux championnats de mémoire

### Développement de nos différentes structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

La trace physique ou

« l'engramme » d'un souvenir

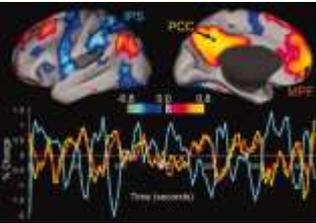
Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

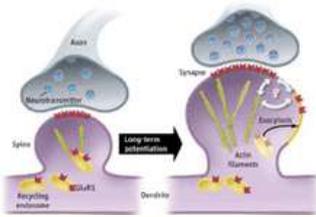
Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

# Échelle de temps :

# Processus dynamiques :



$10^{-3} s$



$10^{11} s$

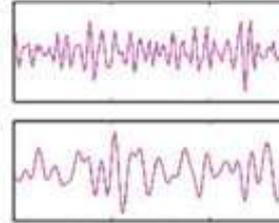
$10^3 s$



$10^6 s$



$10^{15} s$



Dans deux semaines !

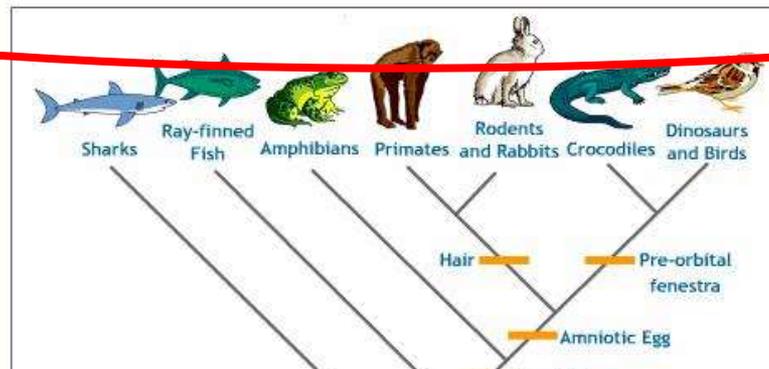
Perception et action devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement



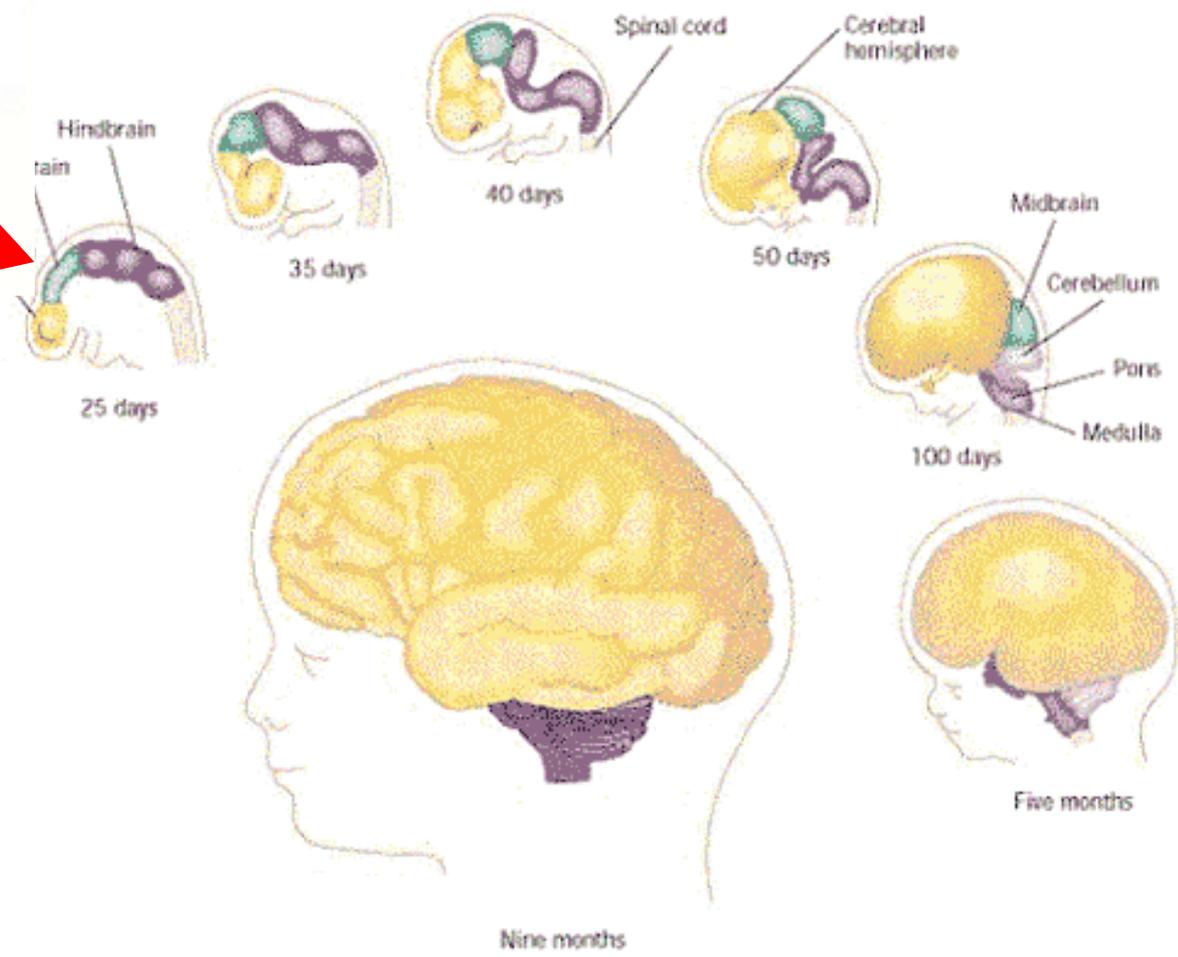
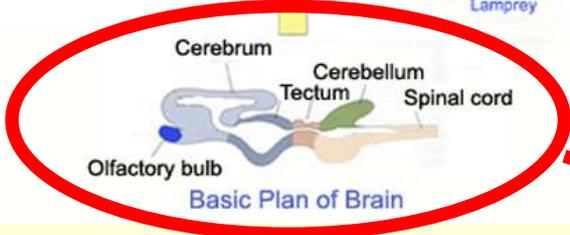
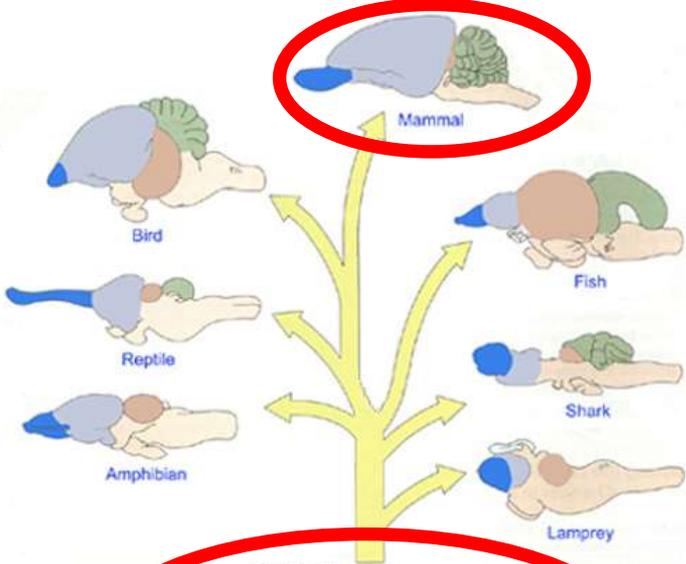
L'apprentissage durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones



Développement du système nerveux par des mécanismes épigénétiques

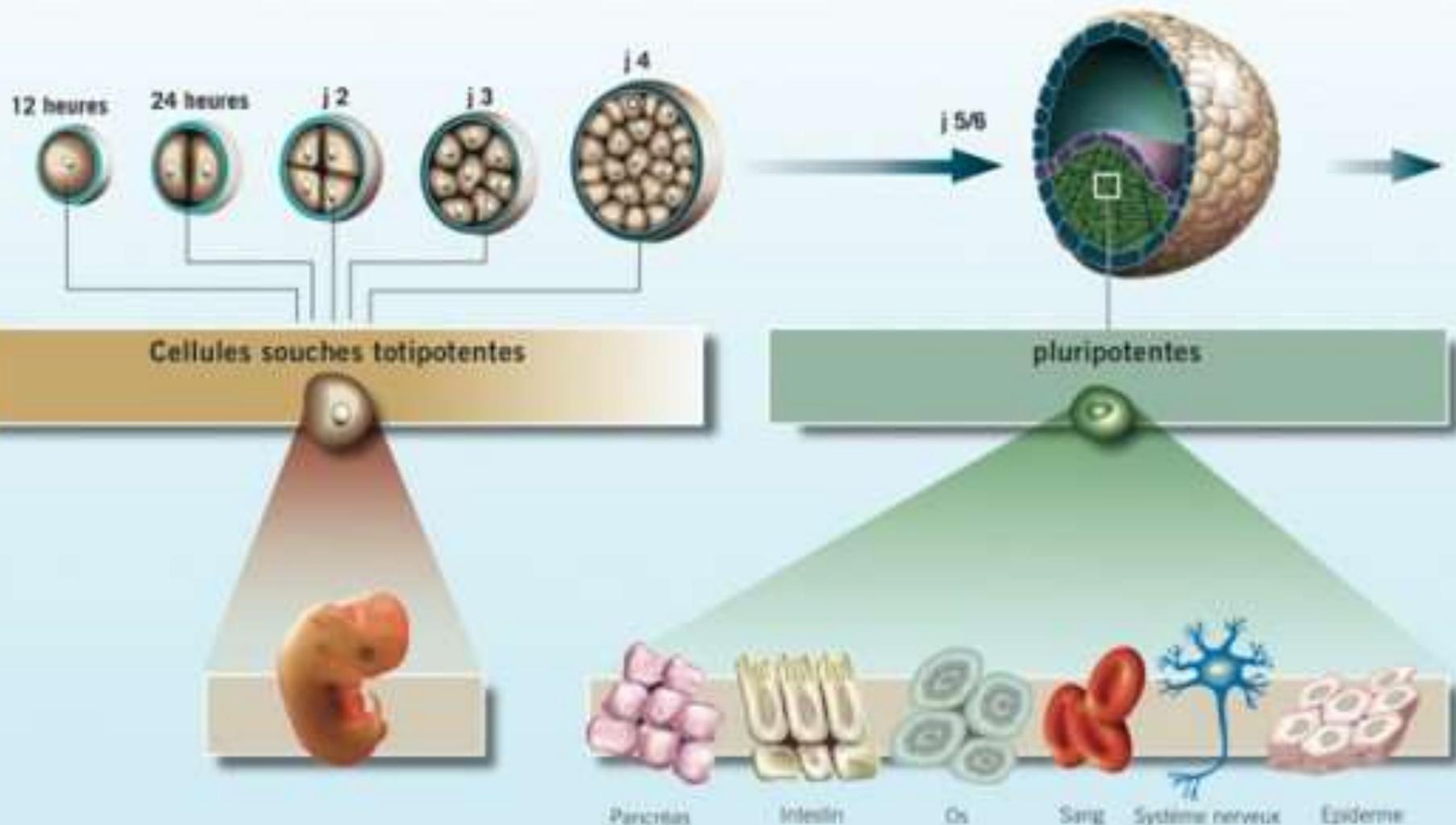


Évolution biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux



# Quatre types de cellules souches

PRÉEMBRYON  
STADE BLASTOCYTE



Issues des premières divisions de l'œuf fécondé, ces cellules sont indifférenciées et immortelles. Dites totipotentes, elles sont celles ayant la plus grande capacité de différenciation. Une seule d'entre elles – si elle était réimplantée dans un utérus – permettrait d'aboutir à un individu complet.

Présentes dans la masse interne du préembryon au stade de blastocyste, ces cellules pluripotentes sont immortelles et capables de se différencier en n'importe lequel des 200 types cellulaires. C'est sur ces fameuses « cellules souches embryonnaires humaines » (GSEH) que se concentre la recherche biomédicale actuelle.

# Quatre types de cellules souches

PRÉEMBRYON  
STADE BLASTOCYTE

## Sur les épaules de Darwin

Comme un fleuve qui remonterait son cours

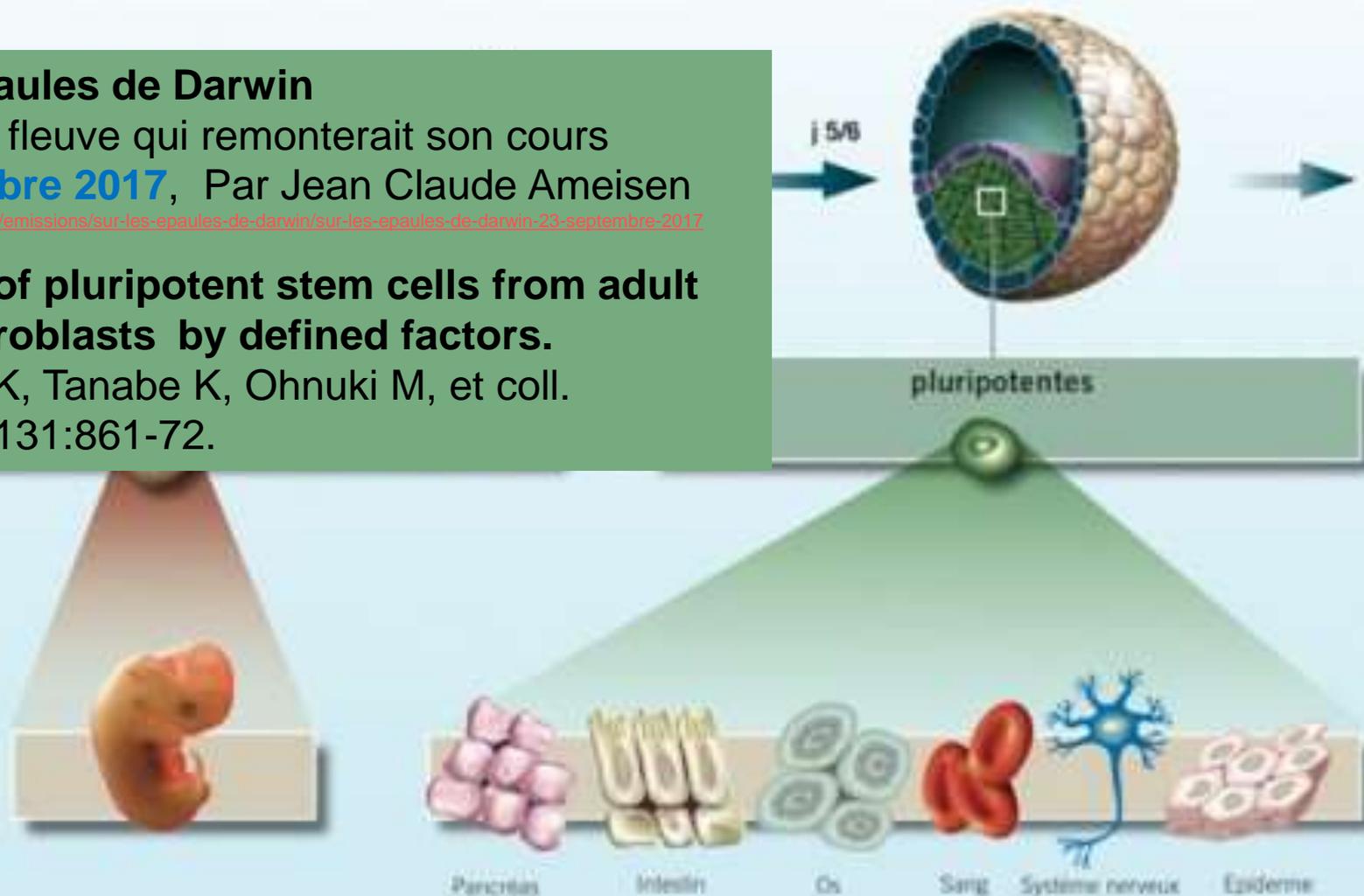
23 septembre 2017, Par Jean Claude Ameisen

<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-23-septembre-2017>

## Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors.

Takahashi K, Tanabe K, Ohnuki M, et coll.

*Cell* 2007, 131:861-72.



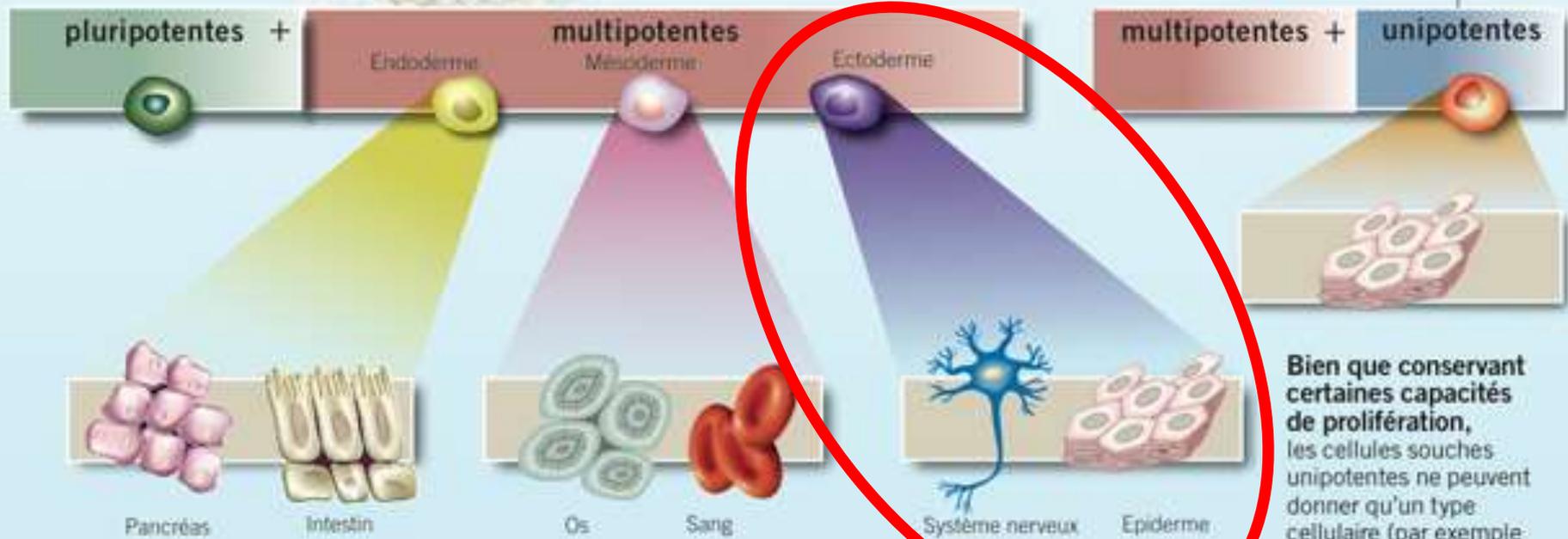
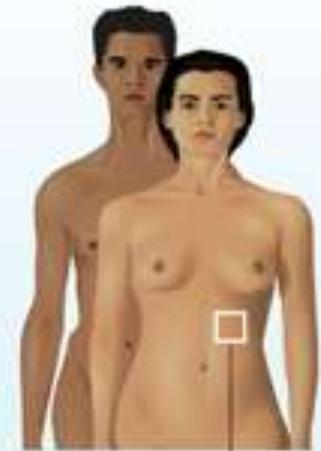
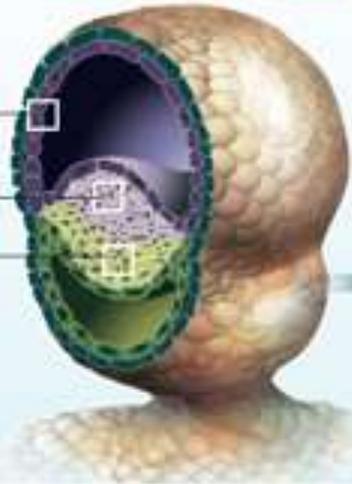
Issues des premières divisions de l'œuf fécondé, ces cellules sont indifférenciées et immortelles. Dites totipotentes, elles sont celles ayant la plus grande capacité de différenciation. Une seule d'entre elles – si elle était réimplantée dans un utérus – permettrait d'aboutir à un individu complet.

Présentes dans la masse interne du préembryon au stade de blastocyste, ces cellules pluripotentes sont immortelles et capables de se différencier en n'importe lequel des 200 types cellulaires. C'est sur ces fameuses « cellules souches embryonnaires humaines » (GSEh) que se concentre la recherche biomédicale actuelle.

# EMBRYON IMPLANTÉ

# FŒTUS

Ectoderme  
Mésoderme  
Endoderme



**Bien que conservant certaines capacités de prolifération,** les cellules souches unipotentes ne peuvent donner qu'un type cellulaire (par exemple hépatocytes du foie ou kératinocytes de la peau). Un organisme adulte conserve aussi des niches de cellules souches multipotentes.

**Hébergées dans des zones restreintes des différents tissus fœtaux ou adultes,** les cellules souches multipotentes, appelées « cellules souches adultes », ne peuvent donner naissance qu'à un seul organe (en fonction du feuillet embryonnaire d'origine : mésoderme, endoderme ou ectoderme). Elles sont, en revanche, à l'origine de plusieurs types de cellules différenciées dudit organe. Une cellule souche hématopoïétique, par exemple, peut donner n'importe laquelle des cellules sanguines (globule rouge, globule blanc, plaquette...).



Cellule souche multipotentes

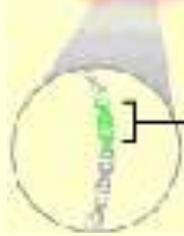


Deux cellules filles avec les mêmes gènes



Expression des gènes spécifiques aux neurones

Expression des gènes spécifiques aux cellules de la peau



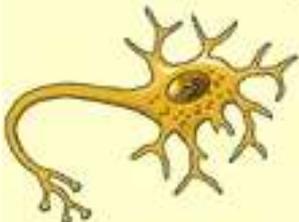
Cellule de la peau

PROLIFÉRATION ET DÉTERMINATION



Cellule souche neurale

DIFFÉRENCIATION

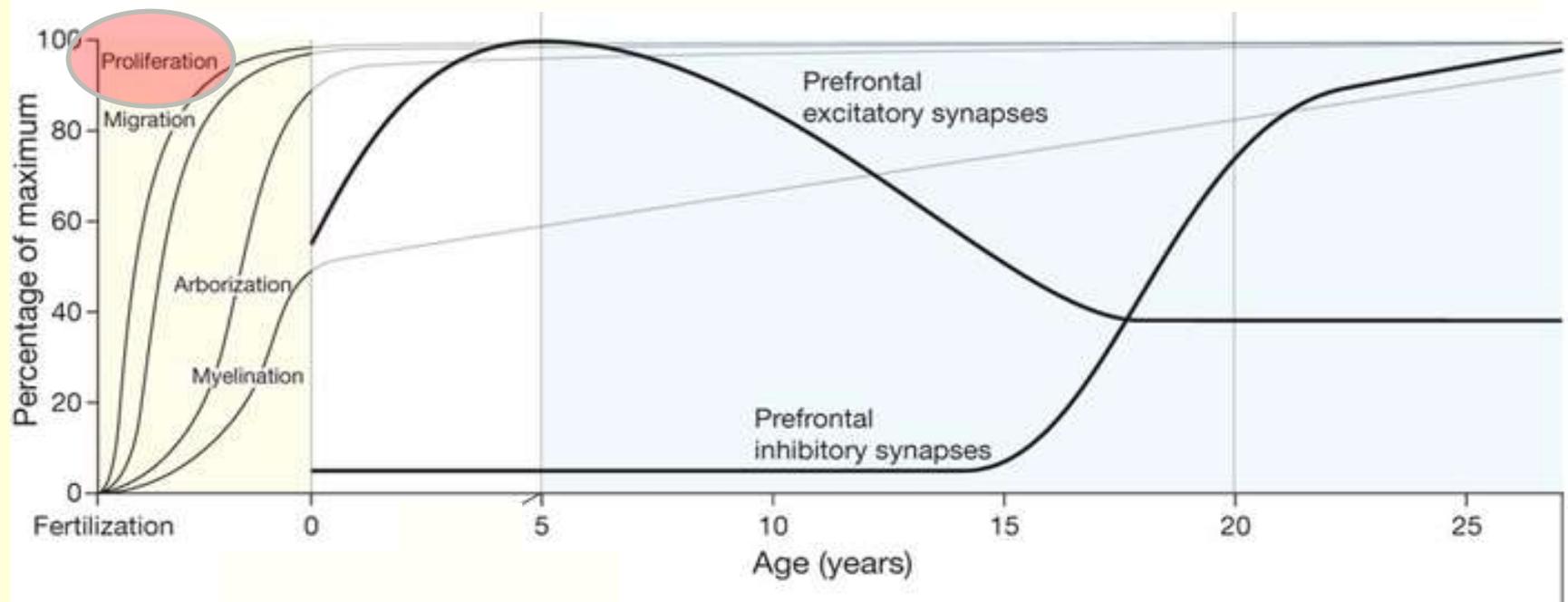


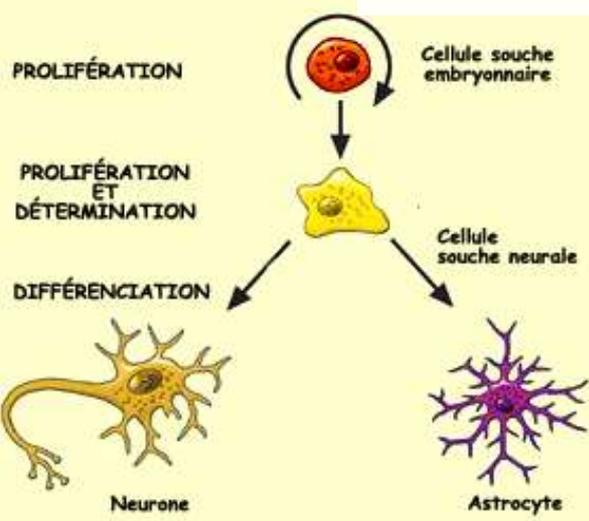
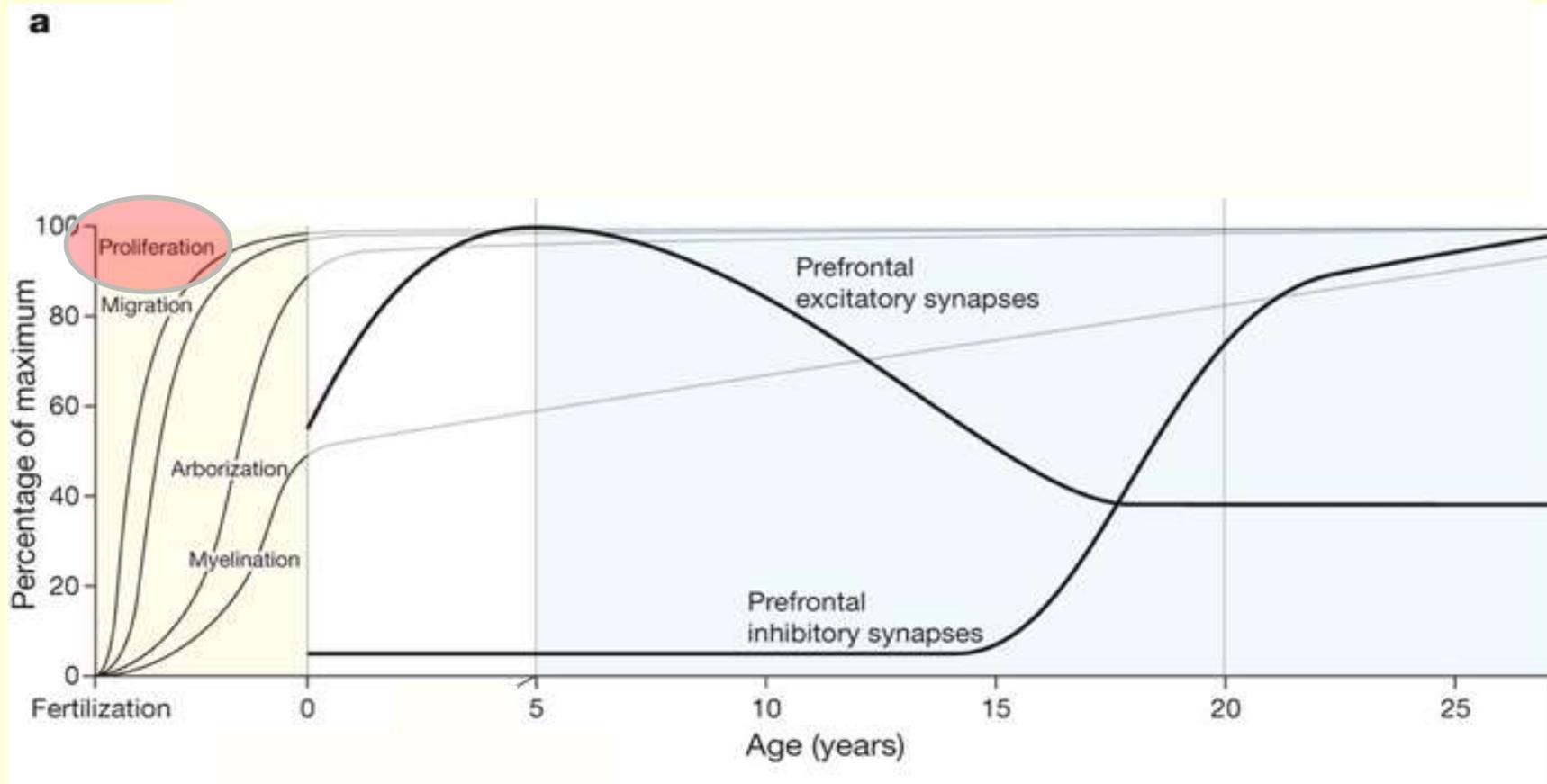
Neurone



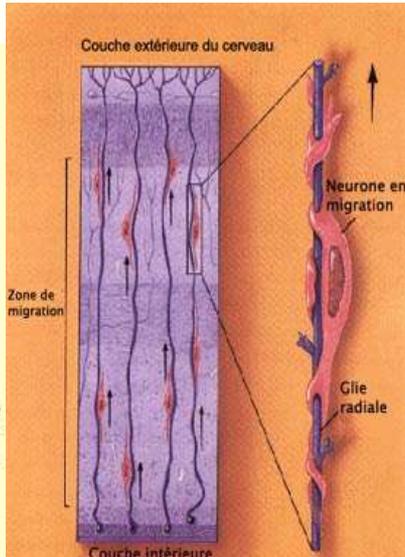
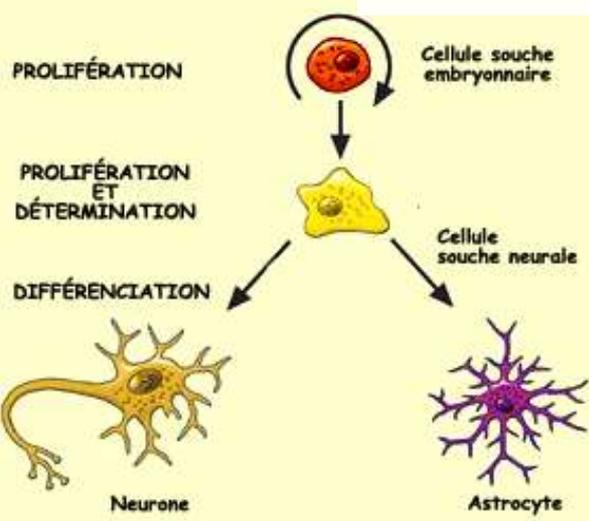
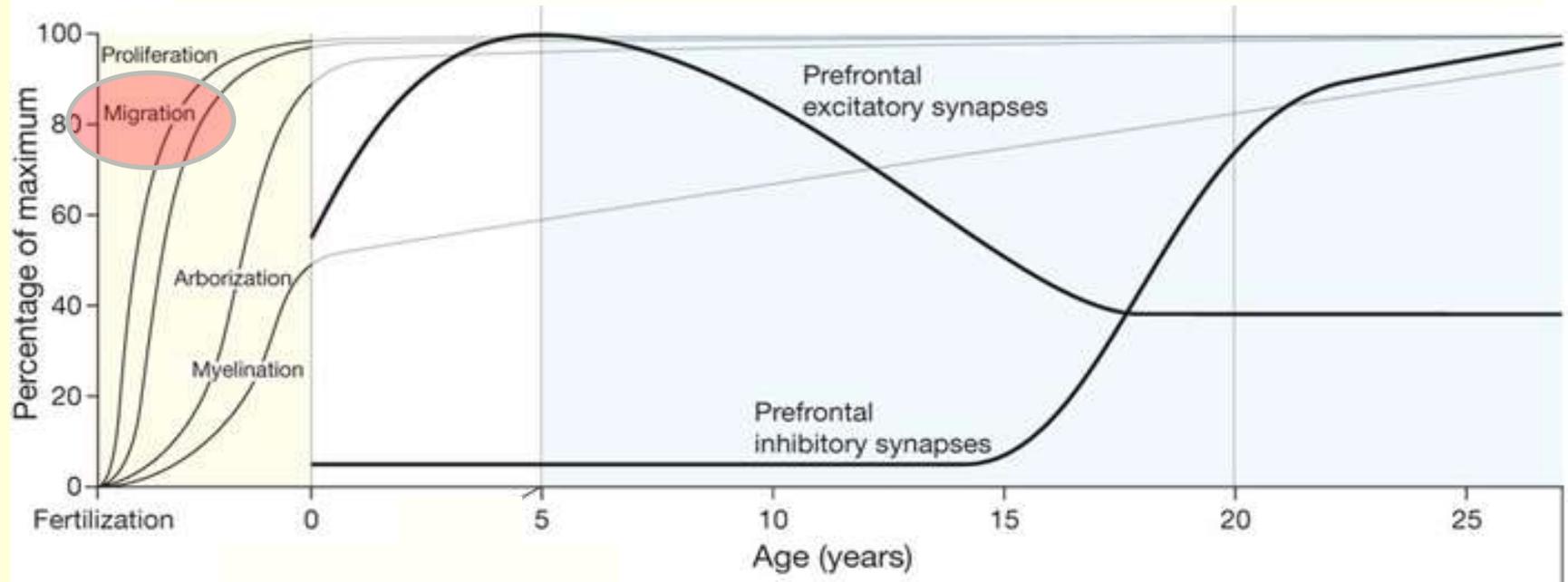
Astrocyte

a

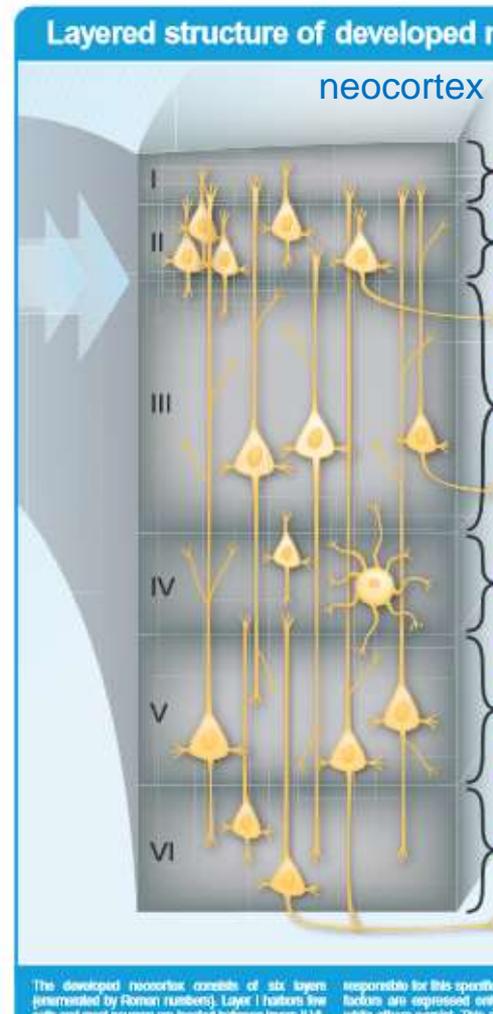
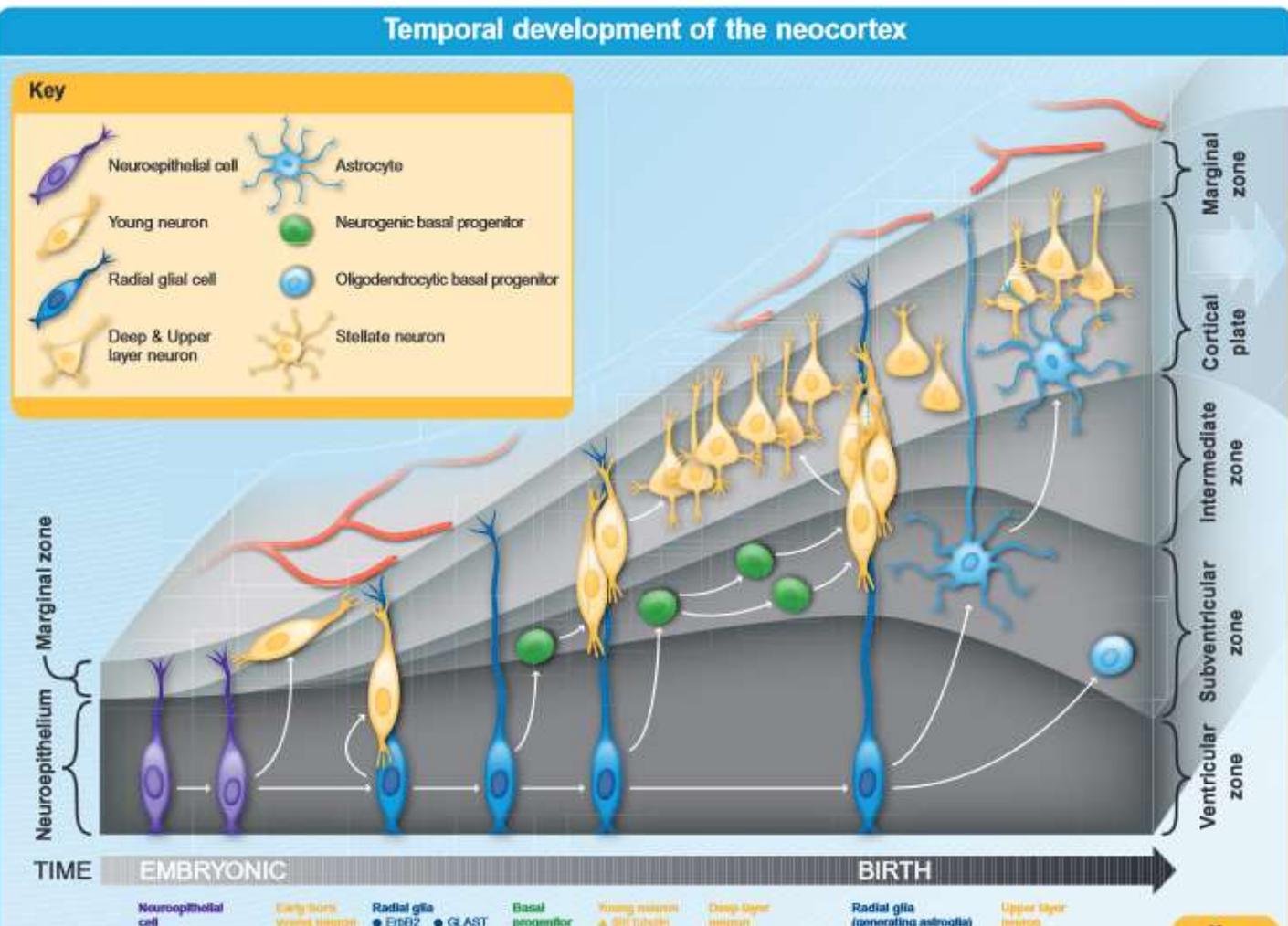




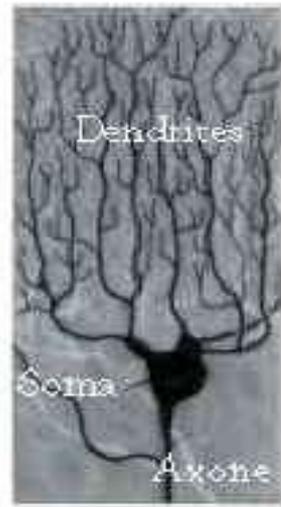
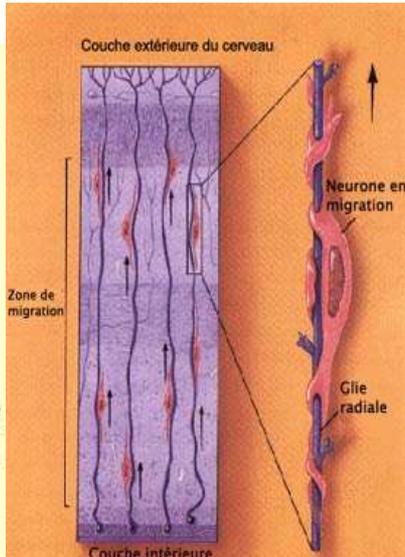
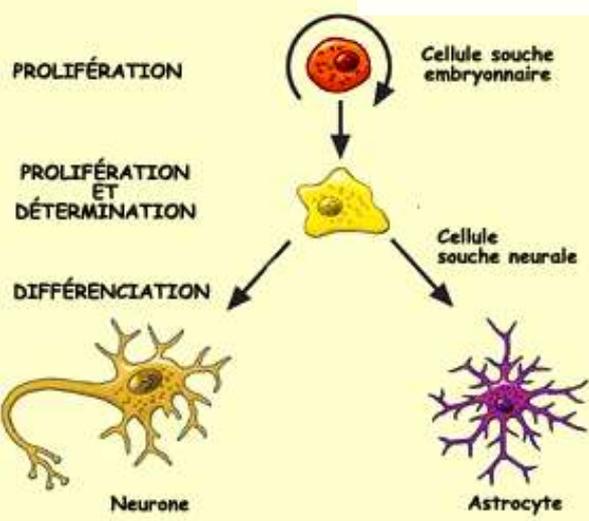
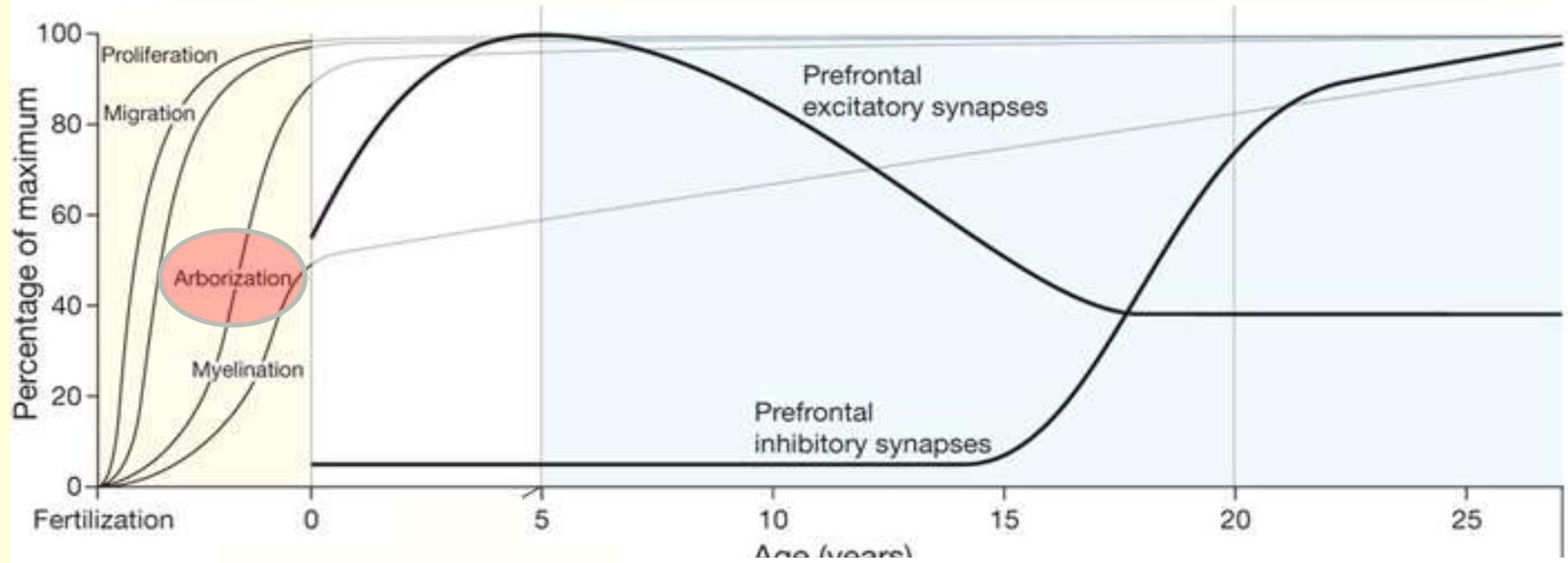
a



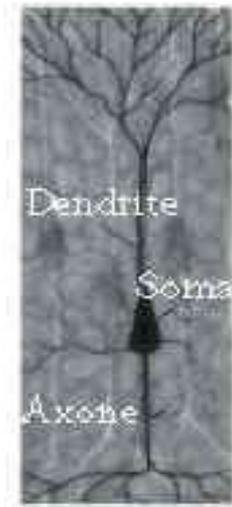
cela va globalement donner lieu à une véritable chorégraphie permettant par exemple ici aux **6 couches du cortex** de se structurer correctement.



a



Cellule de Purkinje

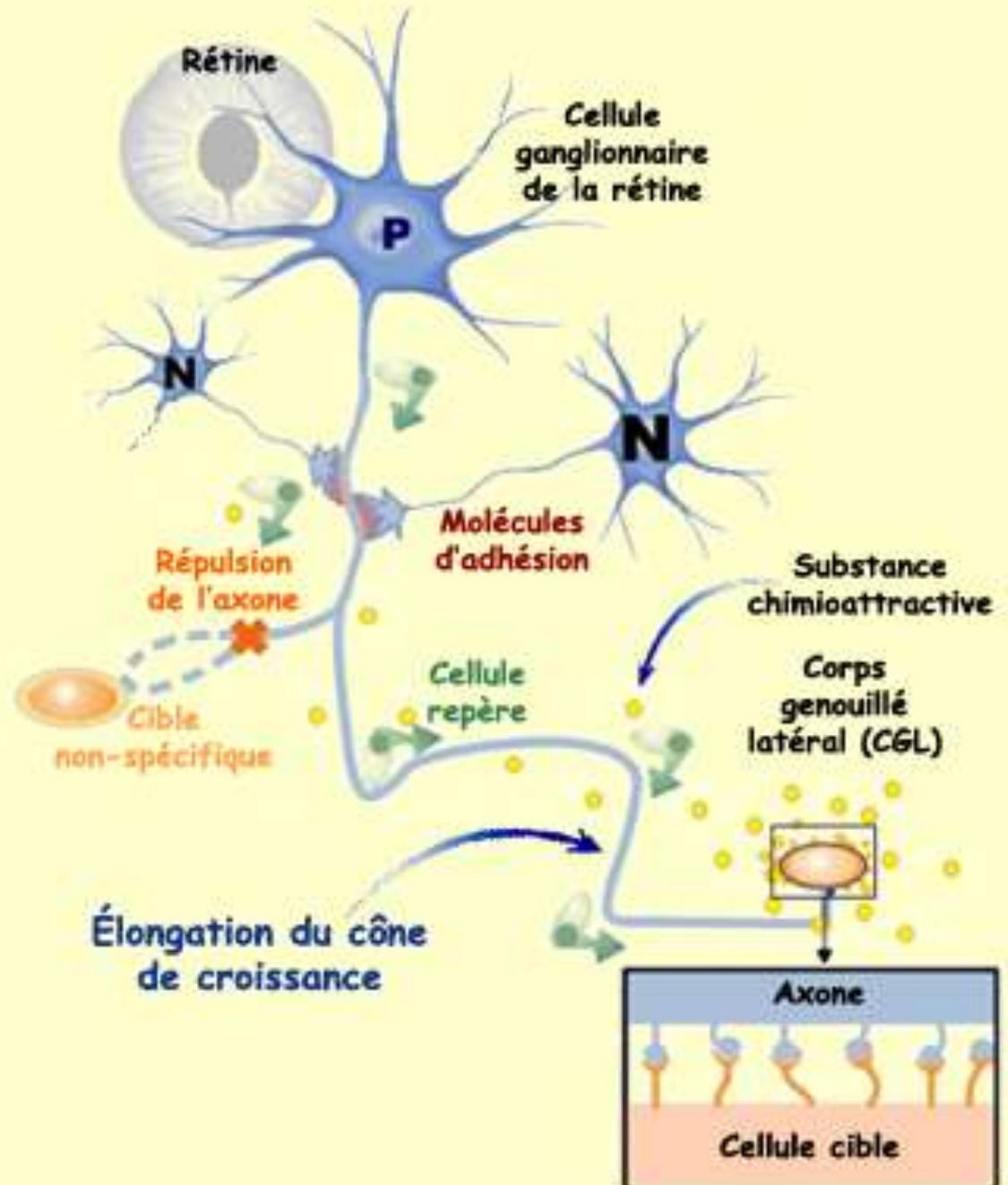
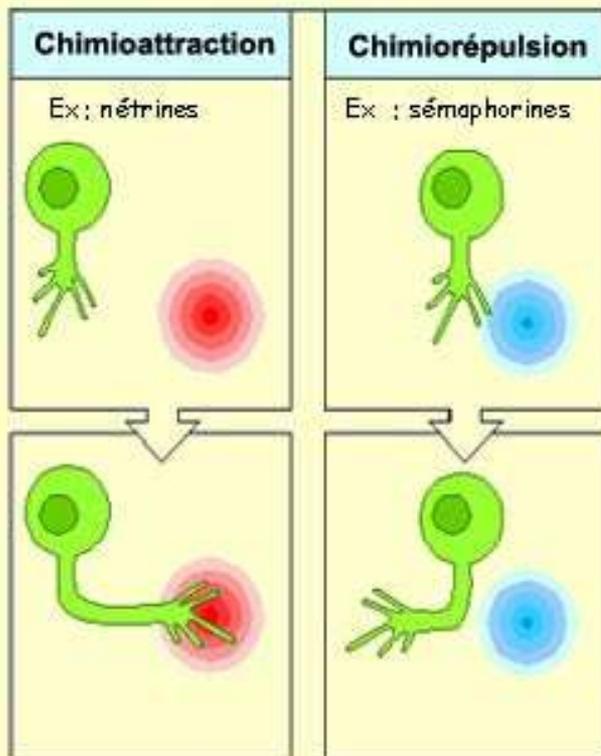


Neurone

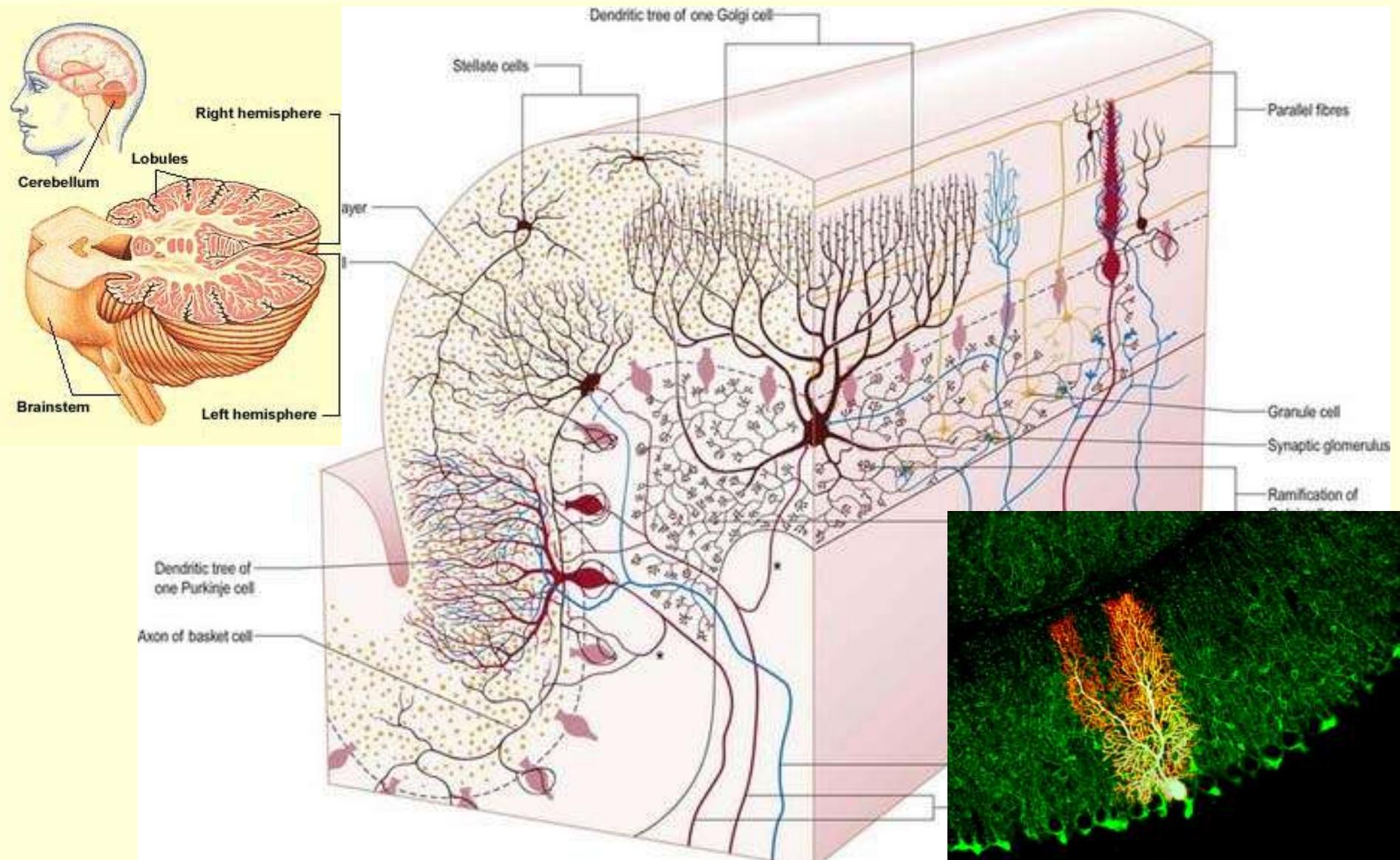


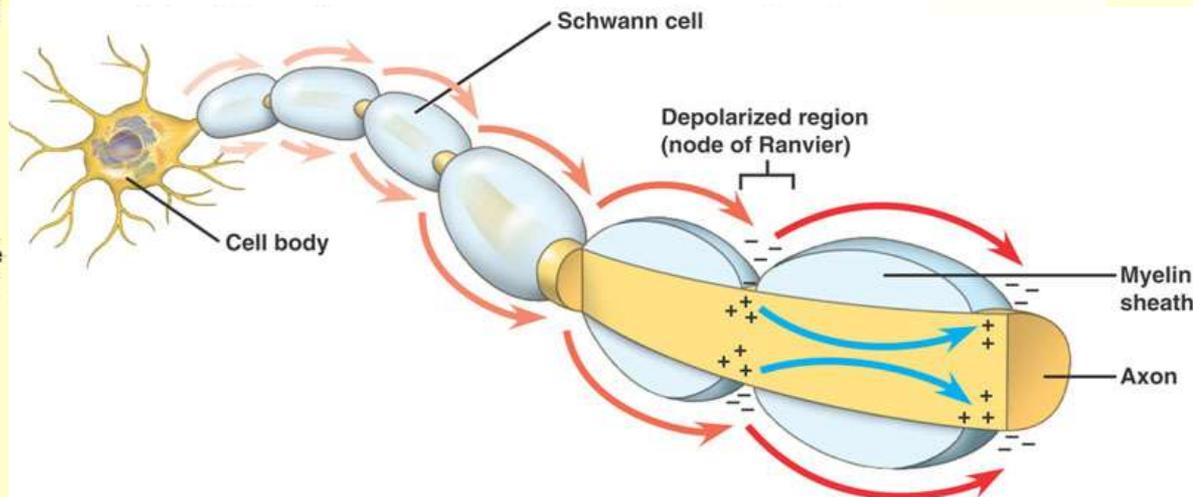
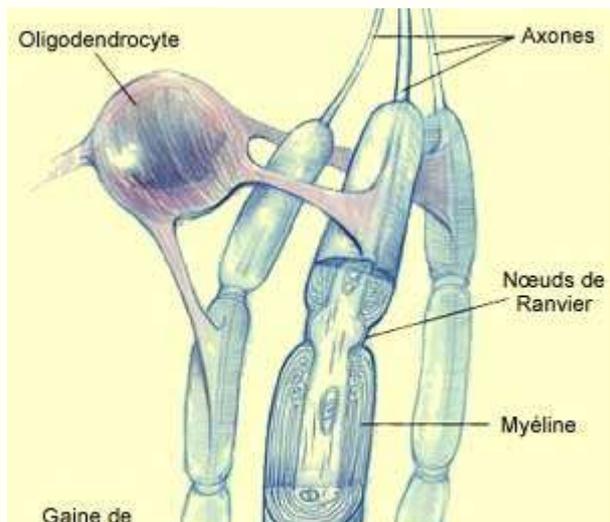
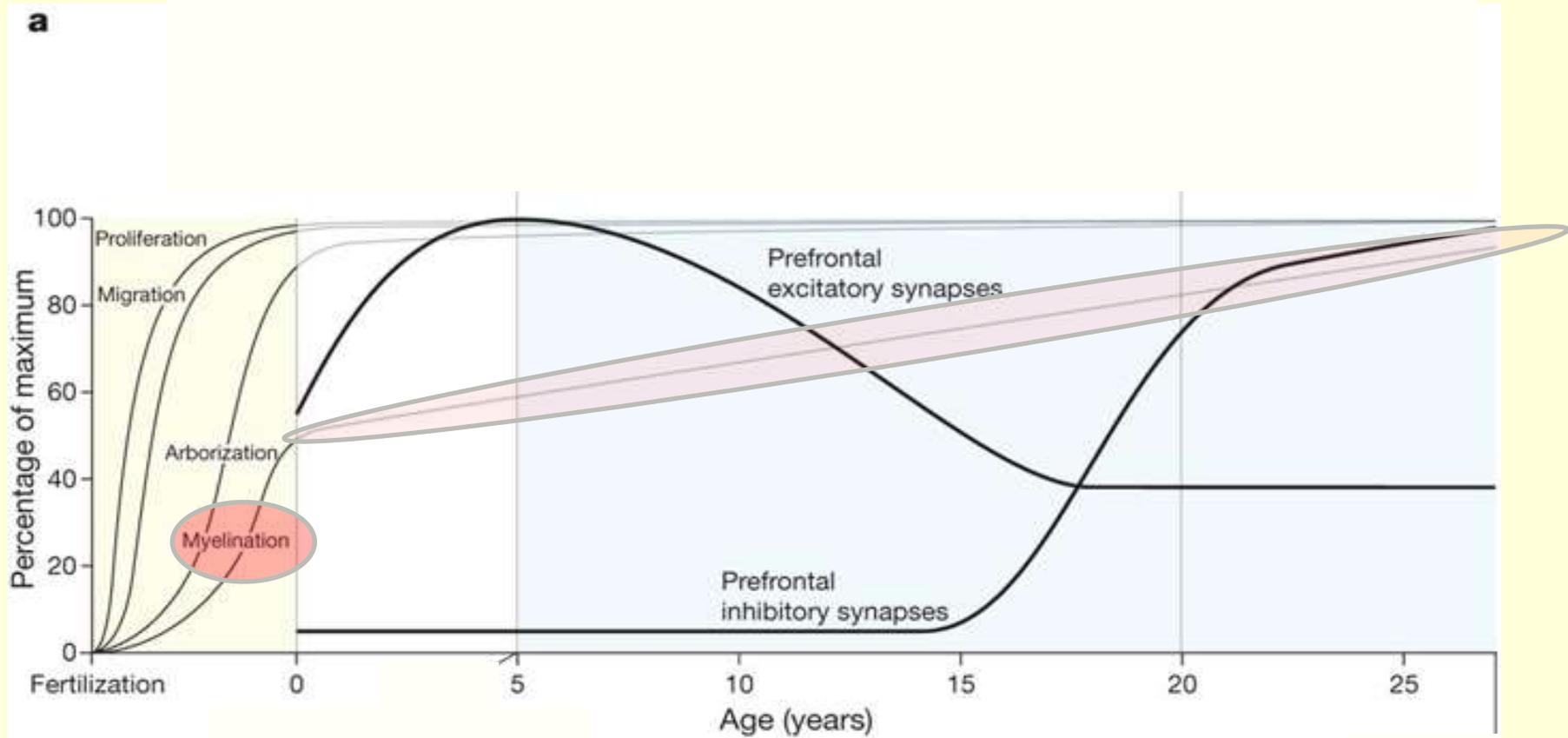
Neurone

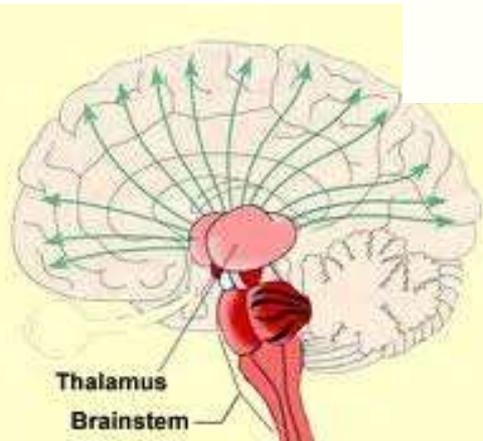
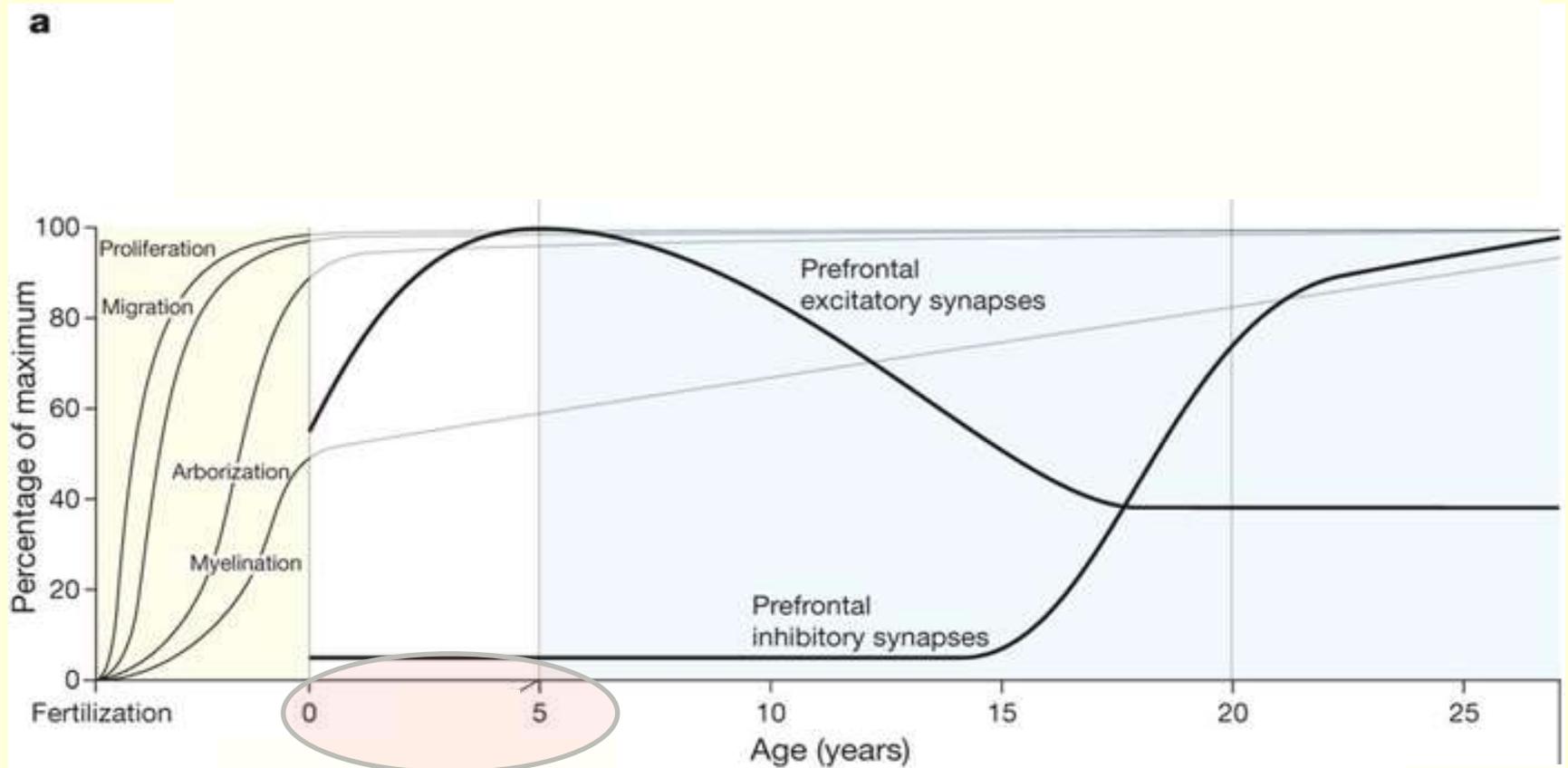
Une fois le neurone positionné, différents mécanismes vont permettre aux axones d'atteindre leur **cellule cible**.



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







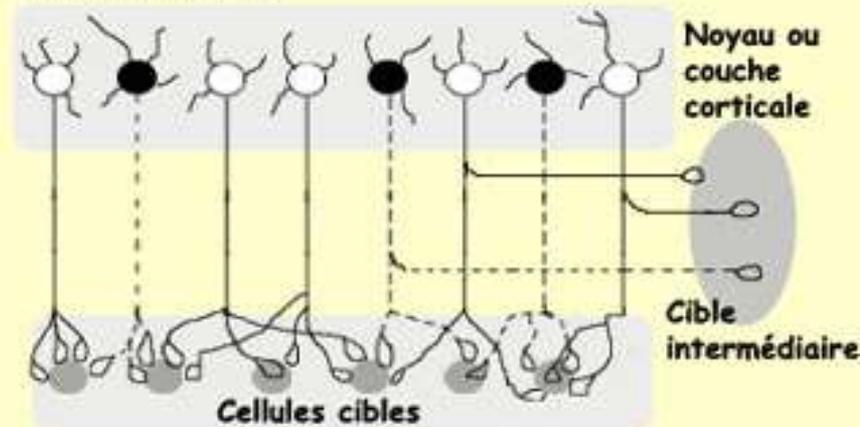
Et **après la naissance**, dans les **premières années de vie** surtout, les connexions entre les neurones vont être ajustée plus finement par les **inputs extérieurs** en provenance du thalamus.

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

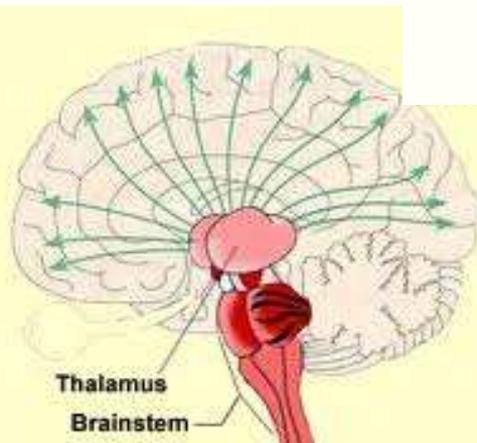
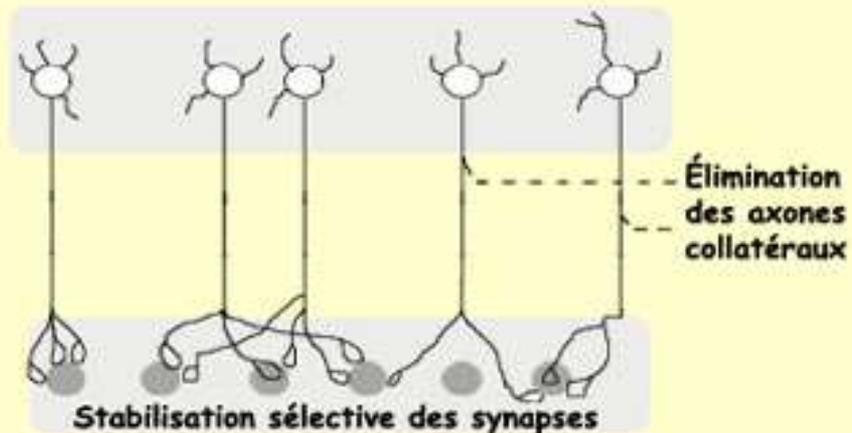
Durant ces interactions « online » certains mécanismes « **épigénétiques** » sont à l'œuvre comme :

- 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

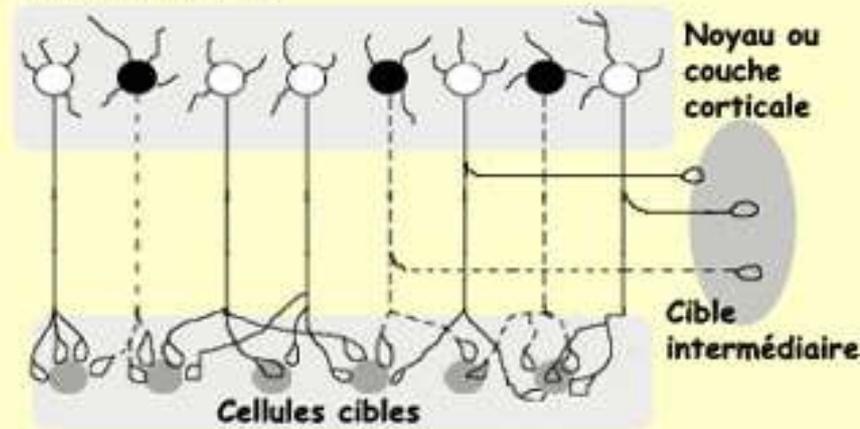


Durant ces interactions « online » certains mécanismes « **épigénétiques** » sont à l'œuvre comme :

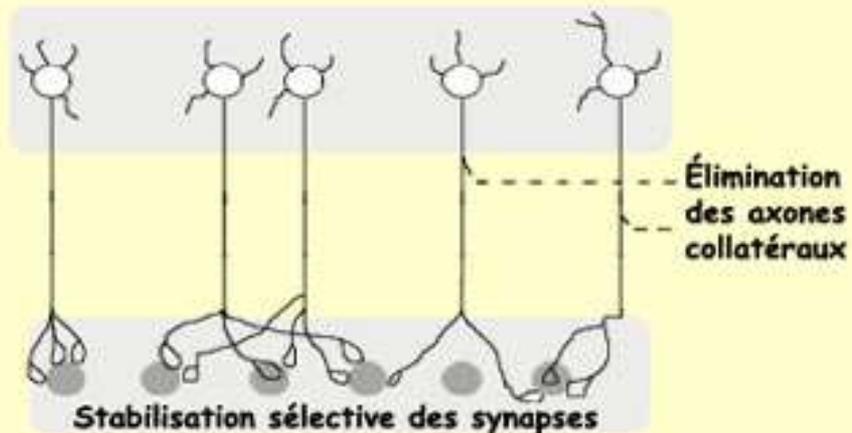
- la **stabilisation** et **l'élimination** sélective de certaines synapses moins utilisées
- l'ajustement de la taille de la population neuronale par la **mort neuronale** (ou apoptose)

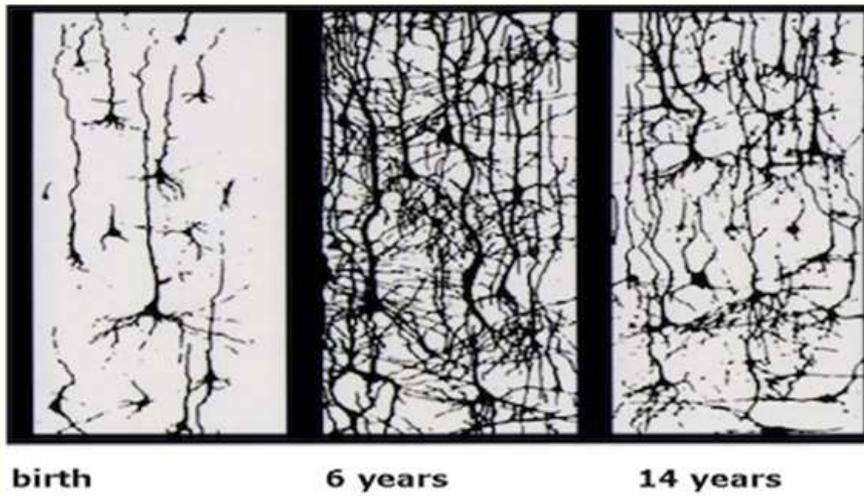
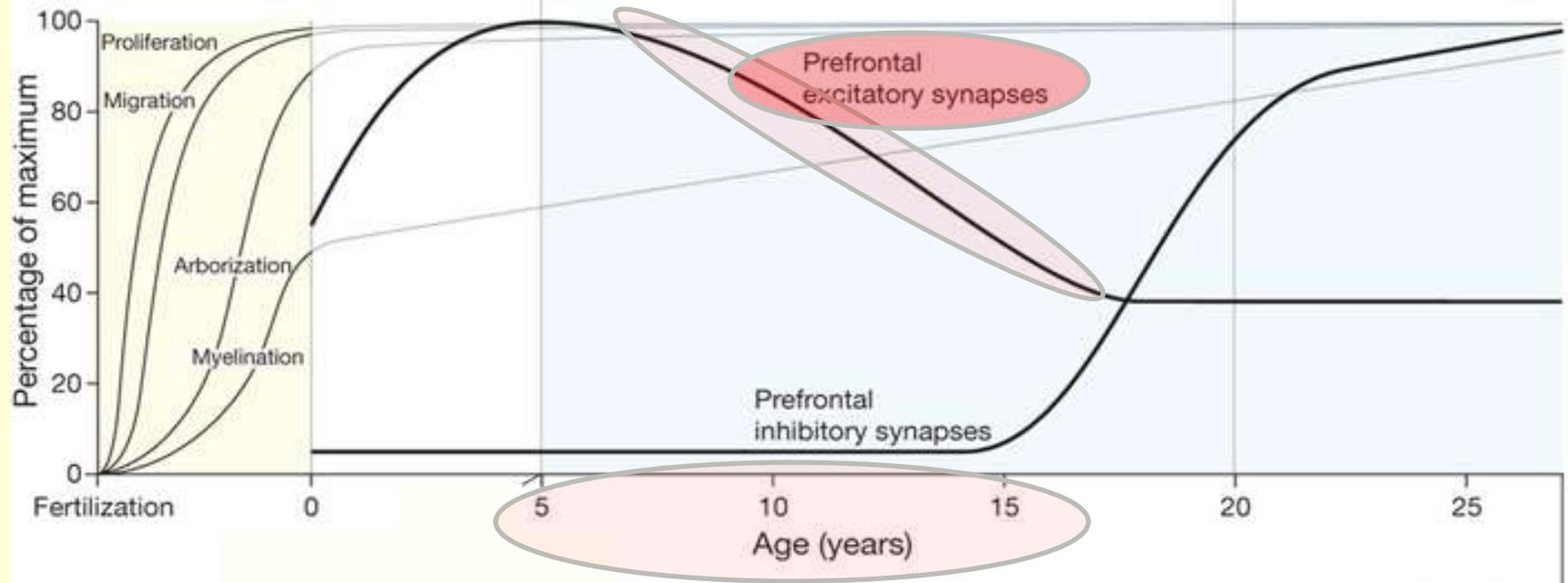
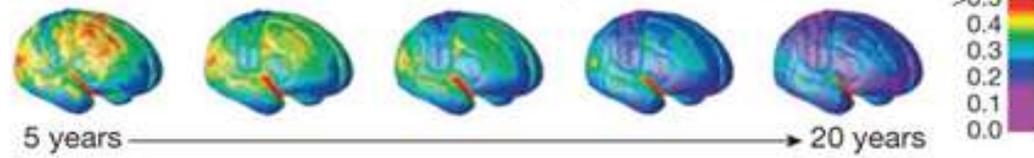
→ Orchestré par des **facteurs de croissance** sécrétés par les cellules cibles suite à des stimulations sensorielles en provenance du monde extérieur.

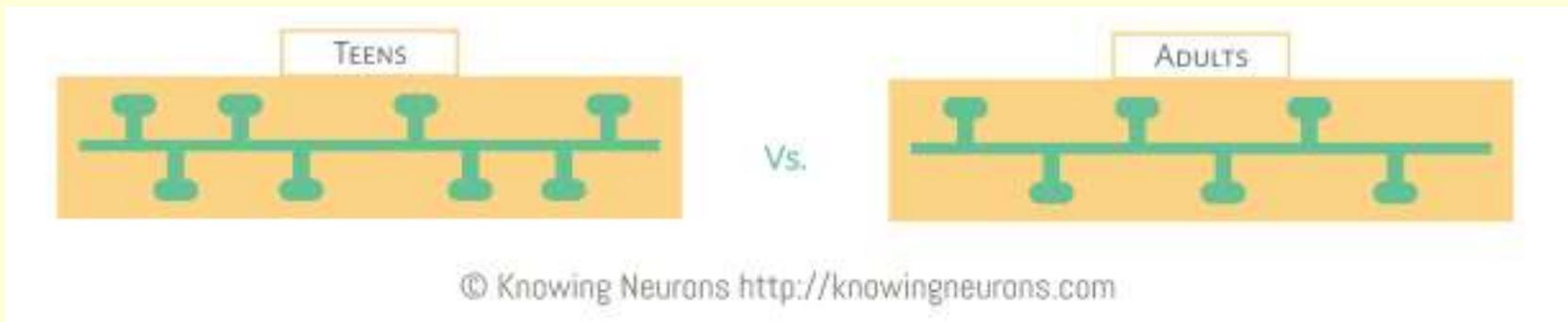
A Mort neuronale



B Ajustement des circuits neuronaux



**a****Grey-matter volume changes during normal development**



À la puberté, la **densité** des épines dendritiques dans le cortex préfrontal est de deux à trois fois plus grande que chez l'adulte.

**Smells Like Teen Synapses: A Look Inside Adolescent Brains and Behaviors**

Posted on November 18, **2015**

<http://knowingneurons.com/2015/11/18/smells-like-teen-synapses-a-look-inside-adolescent-brains-and-behaviors/>



Ce grand “réservoir” de connexions synaptiques va permettre au cerveau de s’adapter à son milieu...

...**en éliminant** les synapses moins utilisées durant l’adolescence sur la base des expériences rencontrées par la personne.

Une bonne façon « d’ajuster » notre identité à notre **culture**...

## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

**Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »**

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

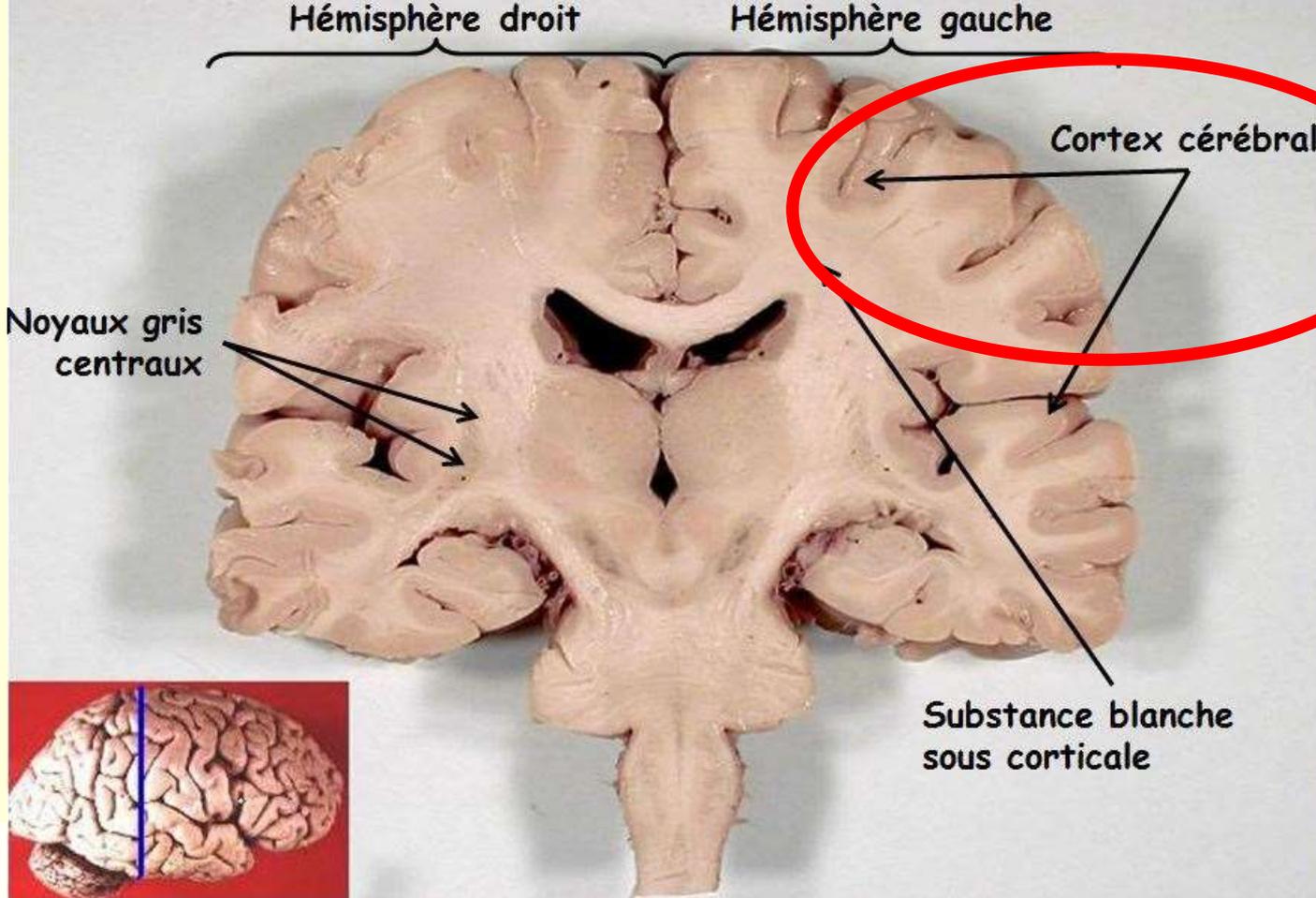
La trace physique ou

« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

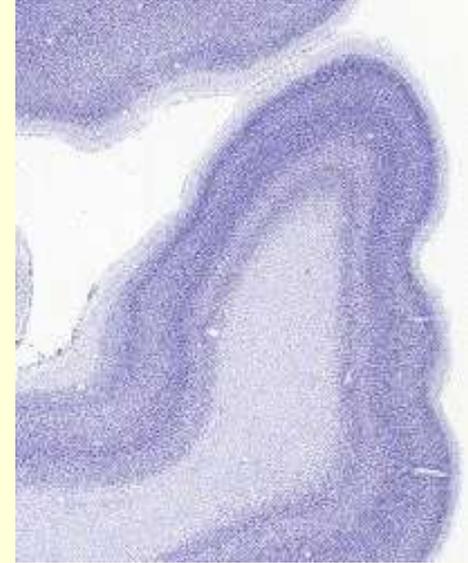
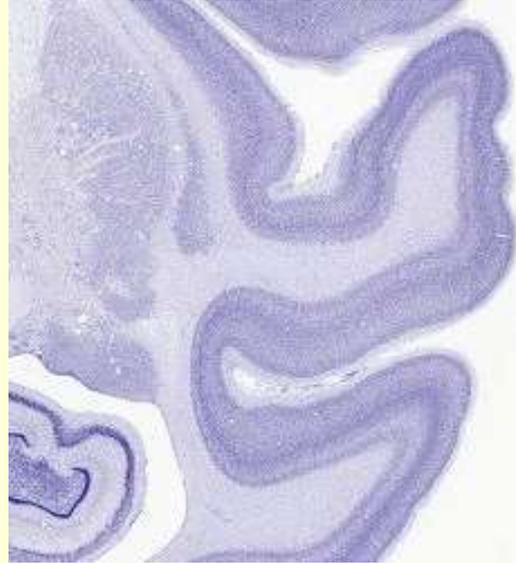
Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?



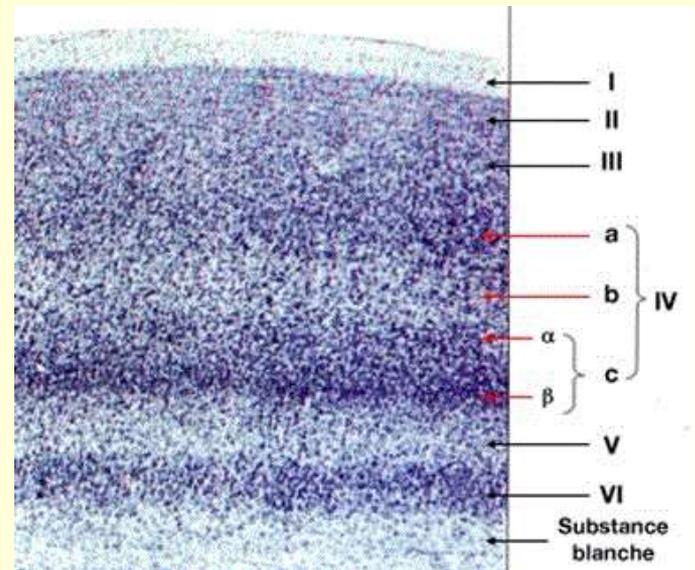
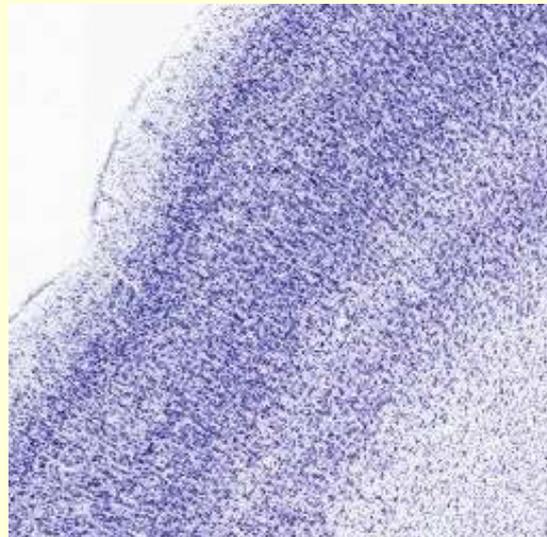
Ça prend tout ça pour former un cerveau humain adulte !



# Comment sont répartis les neurones dans le cerveau ?



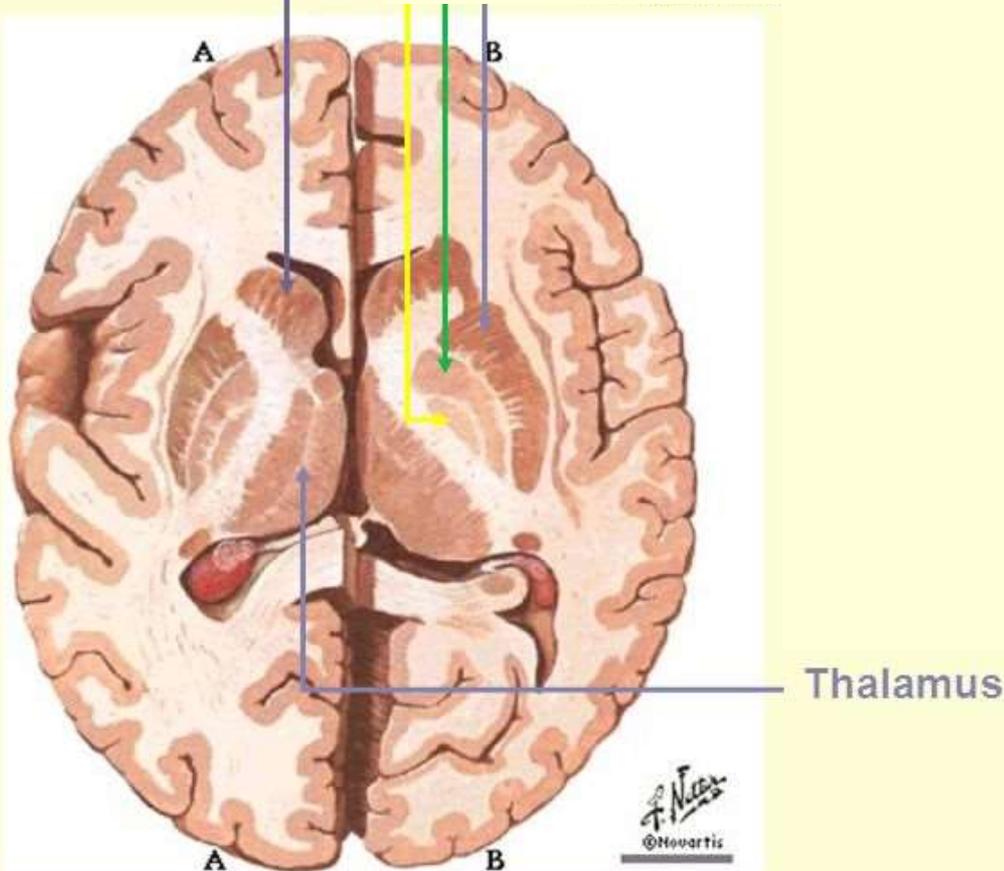
Dans le **cortex**, on distingue une organisation en **couches** avec diverses colorations.



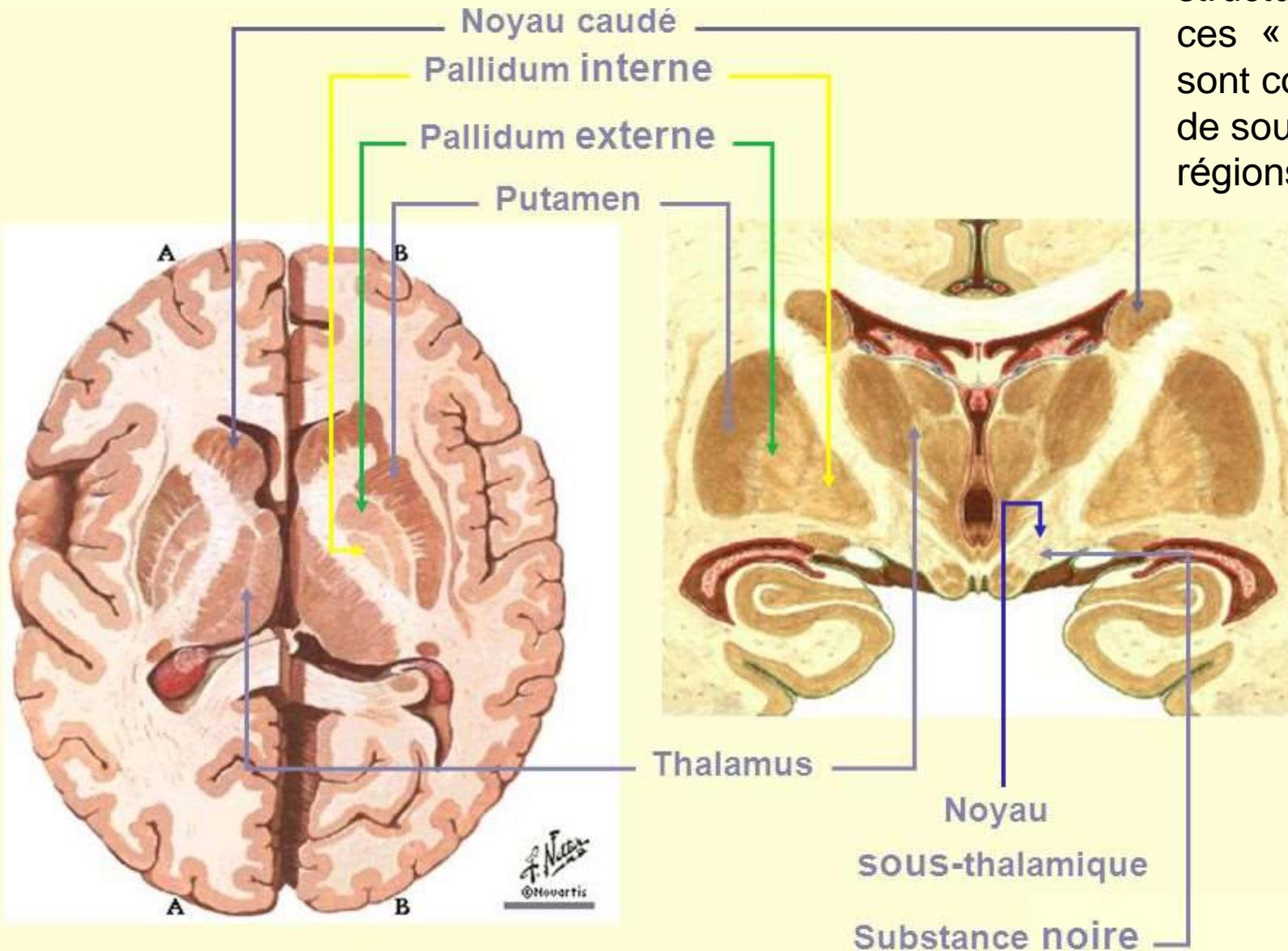
On observe d'autres structures cérébrales où sont concentrés des neurones.

Noyau caudé

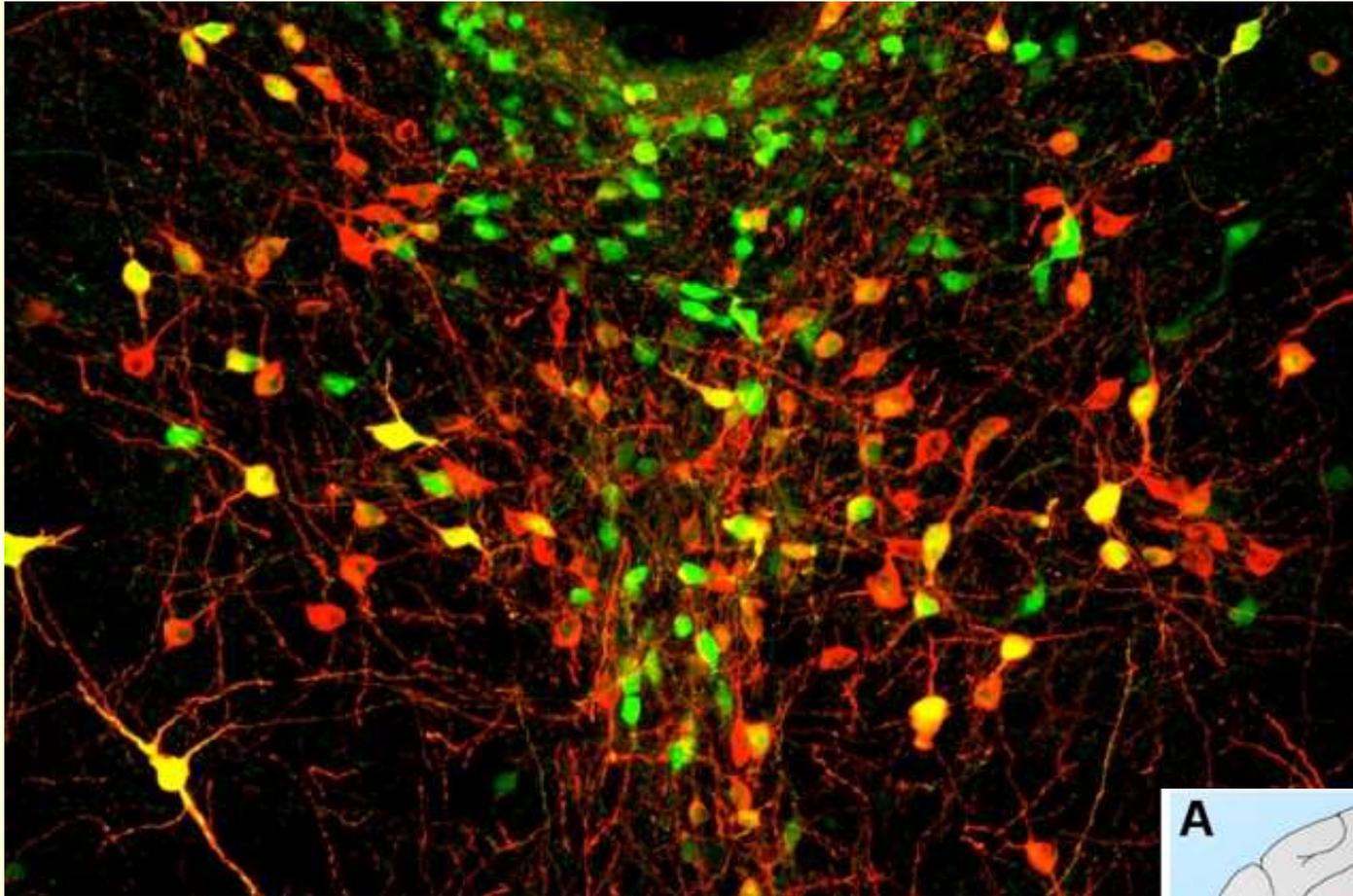
« Noyaux » veut dire ici un  
**amas de neurones**



Et l'on se rend compte que ces structure ou ces « noyaux » sont constituée de sous-régions...



*Novartis*  
©Novartis

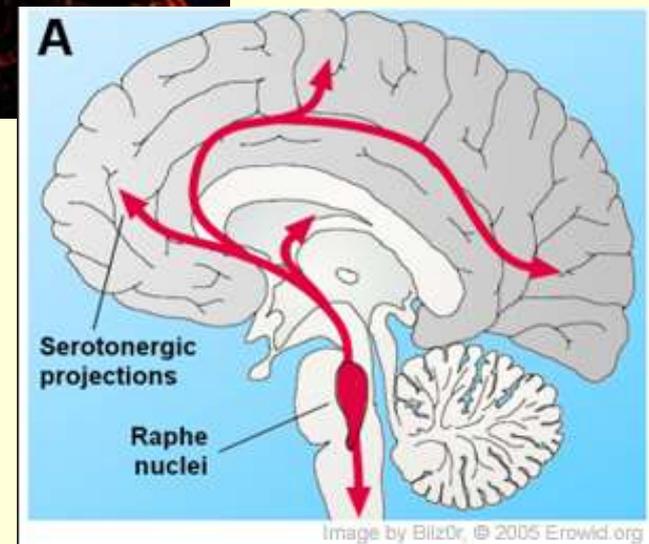


In this image of the **dorsal raphe nucleus**, dopamine neurons are labeled in green, red, or both (appearing yellow).

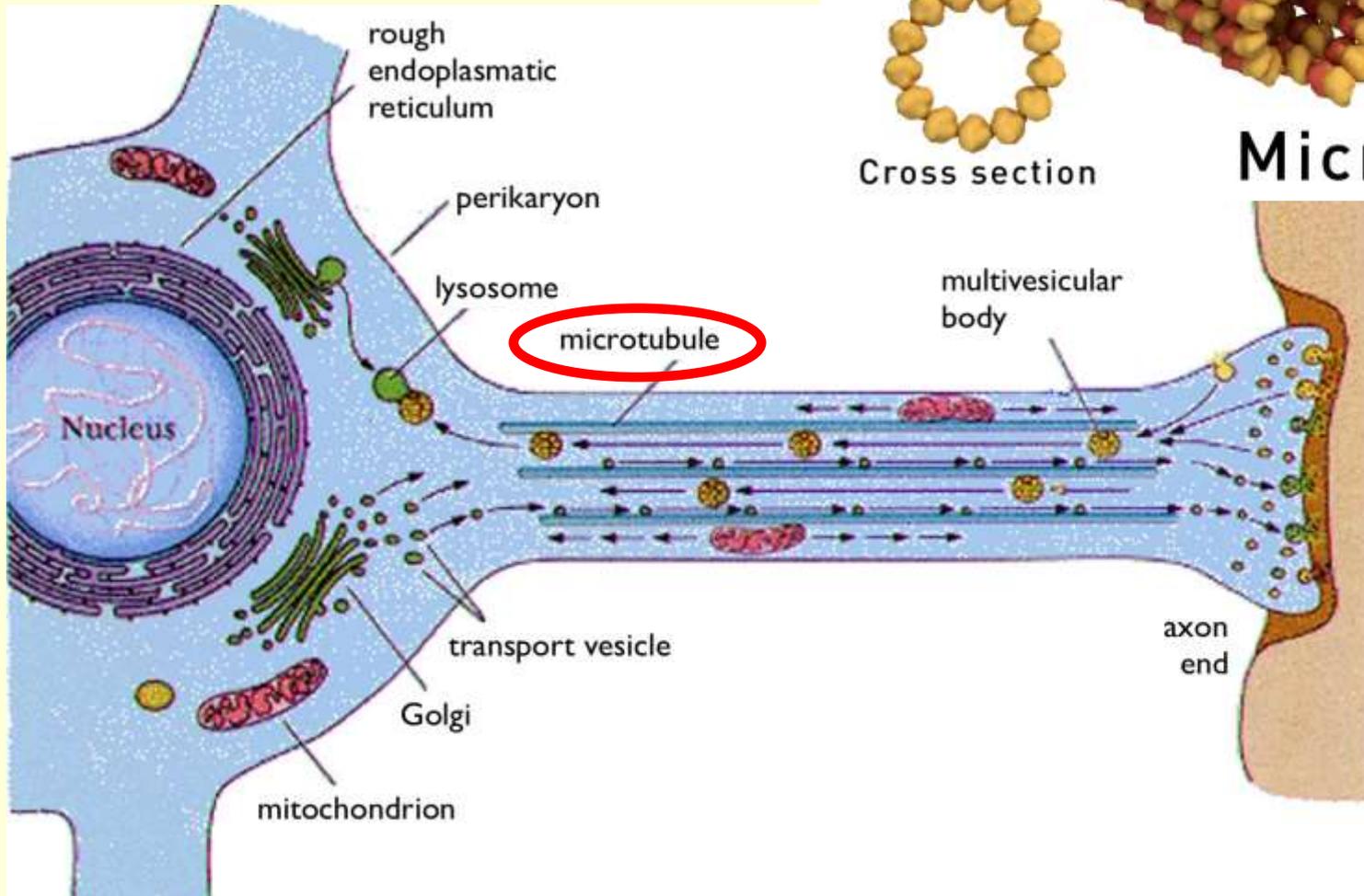
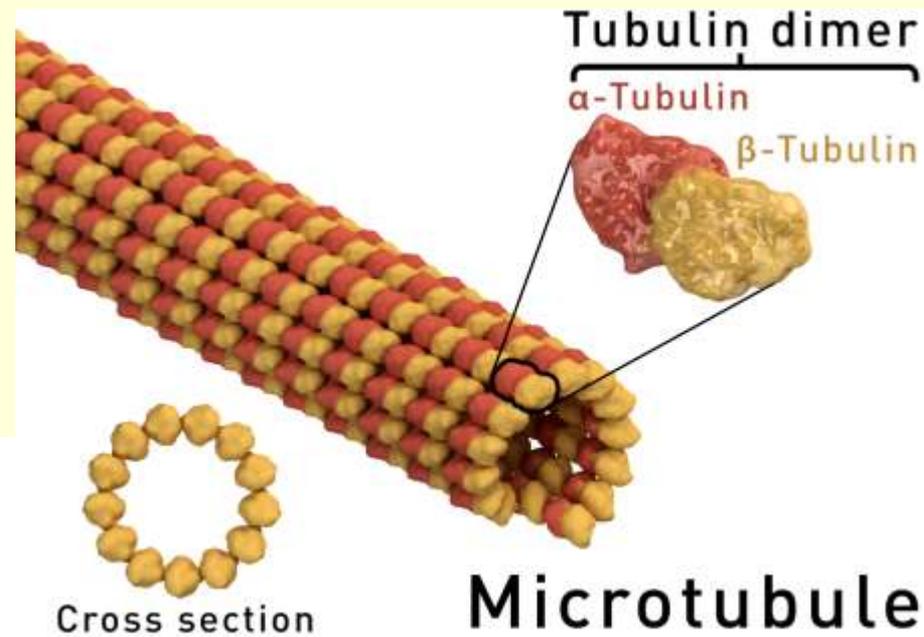
Comment observe-t-on ces sous-régions et surtout les connexions entre elles ?

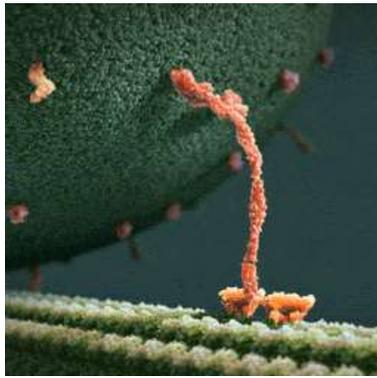
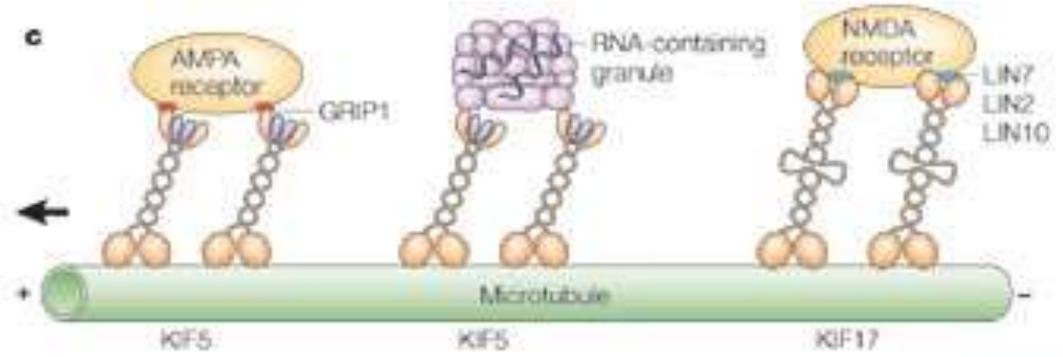
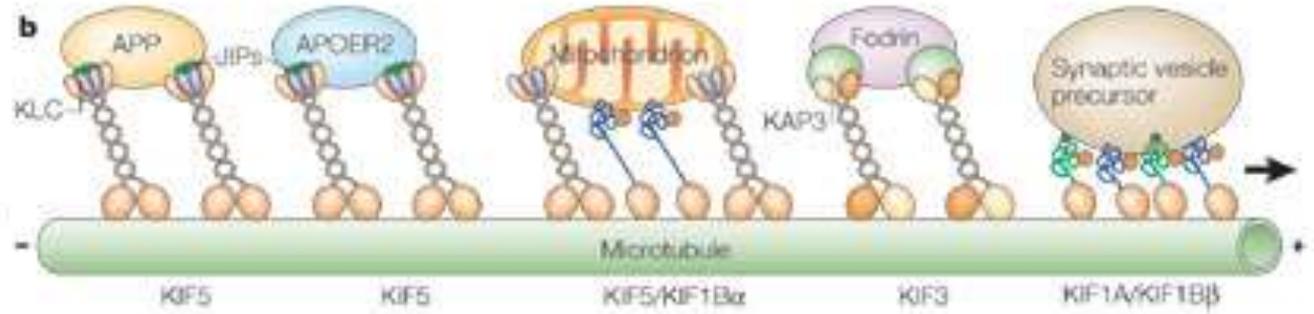
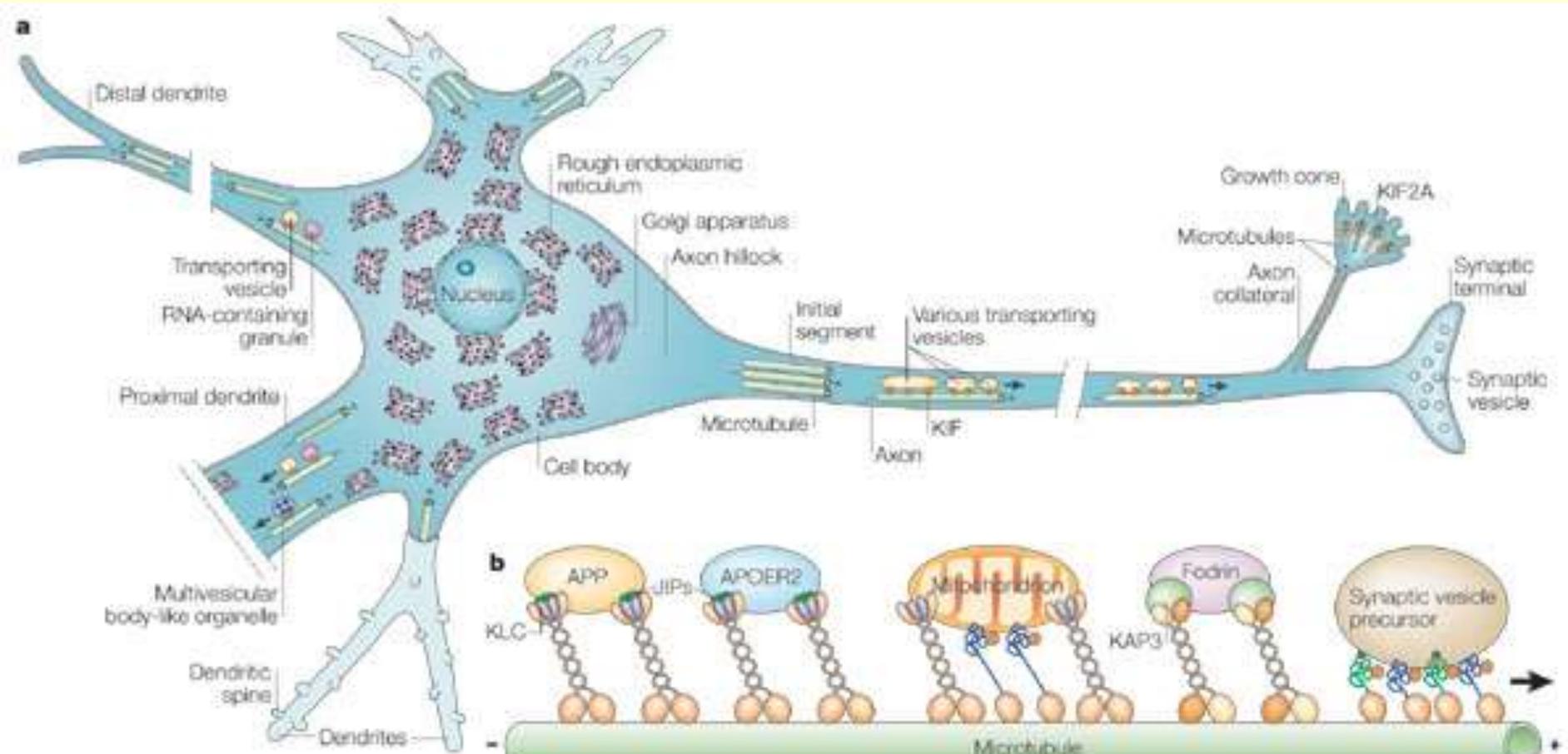
Et l'on se rend compte que ces structure ou ces « noyaux » sont constituée de sous-régions...

...dont l'organisation peut être moins ordonnée que dans le cortex.



Avec des animaux, on utilise des **techniques de traçage**, basée la capacité qu'ont les neurones de faire circuler des molécules dans leur axone (le "**transport axonal**").

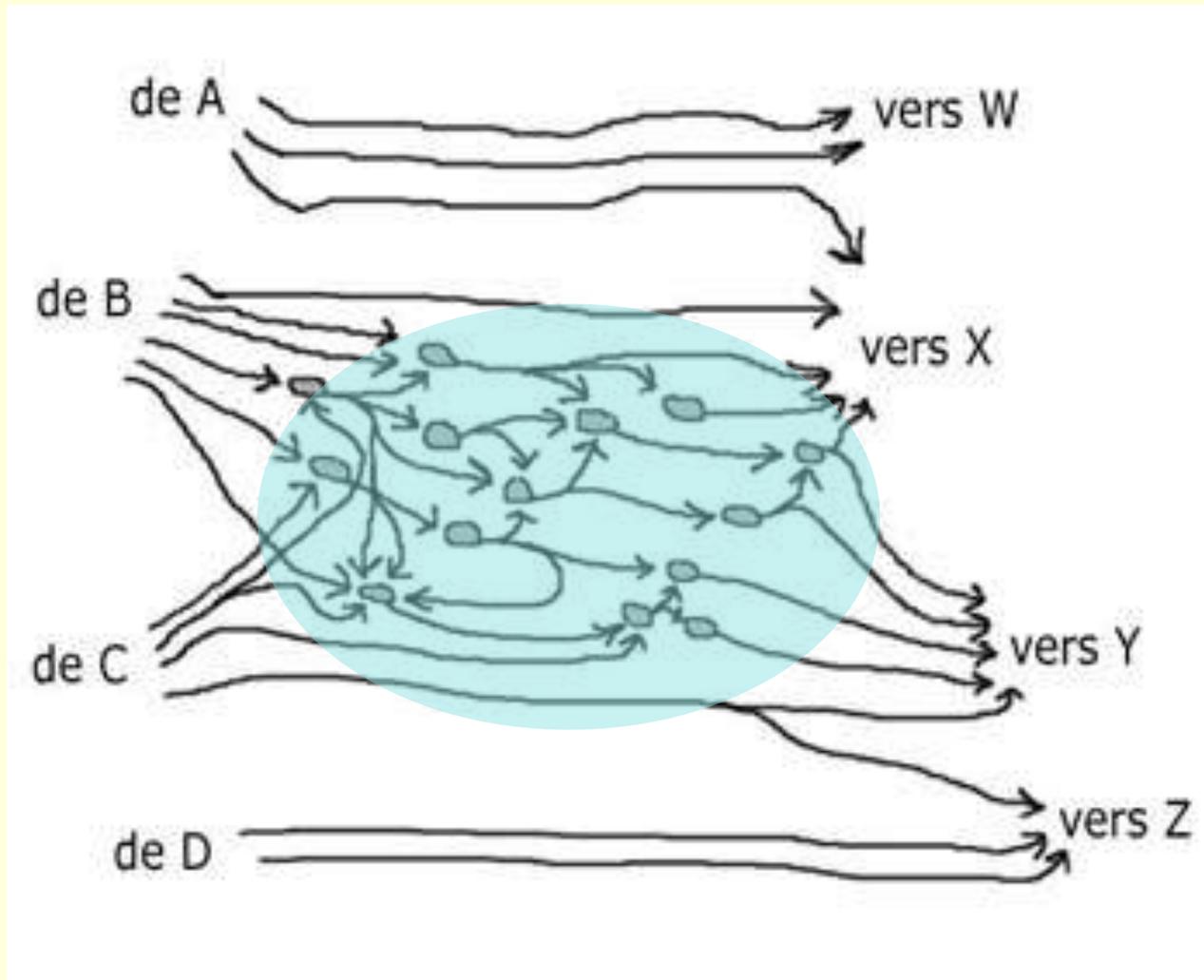




Animation :

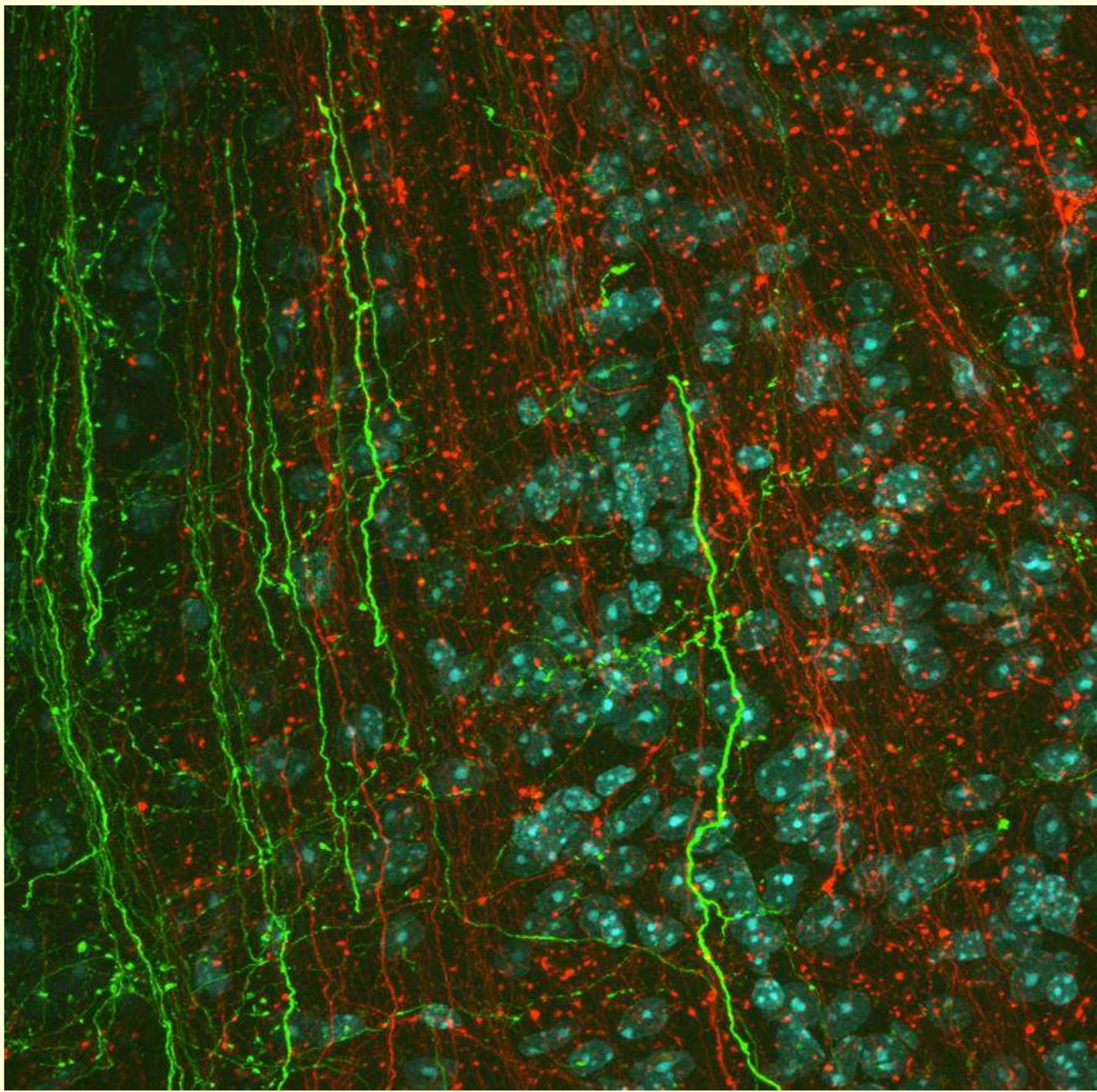
[https://38.media.tumblr.com/ca63616d817b3967a8ac3245d3fda224/tumblr\\_nc5tlfK9NY1s1vn29o1\\_400.gif](https://38.media.tumblr.com/ca63616d817b3967a8ac3245d3fda224/tumblr_nc5tlfK9NY1s1vn29o1_400.gif)

Et c'est avec de telles techniques de traçage que l'on va pouvoir établir le tracé des axones de différents groupes de neurones.



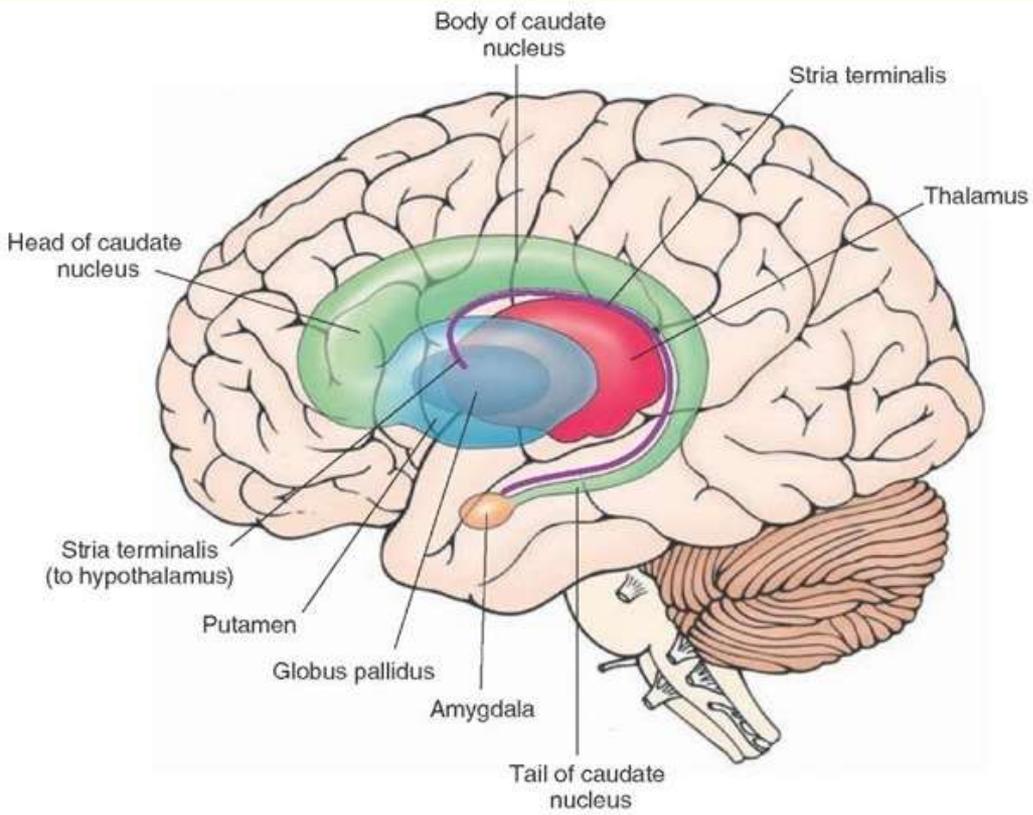
Capsule outil : l'identification des voies cérébrales

[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil\\_bleu03.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu03.html)

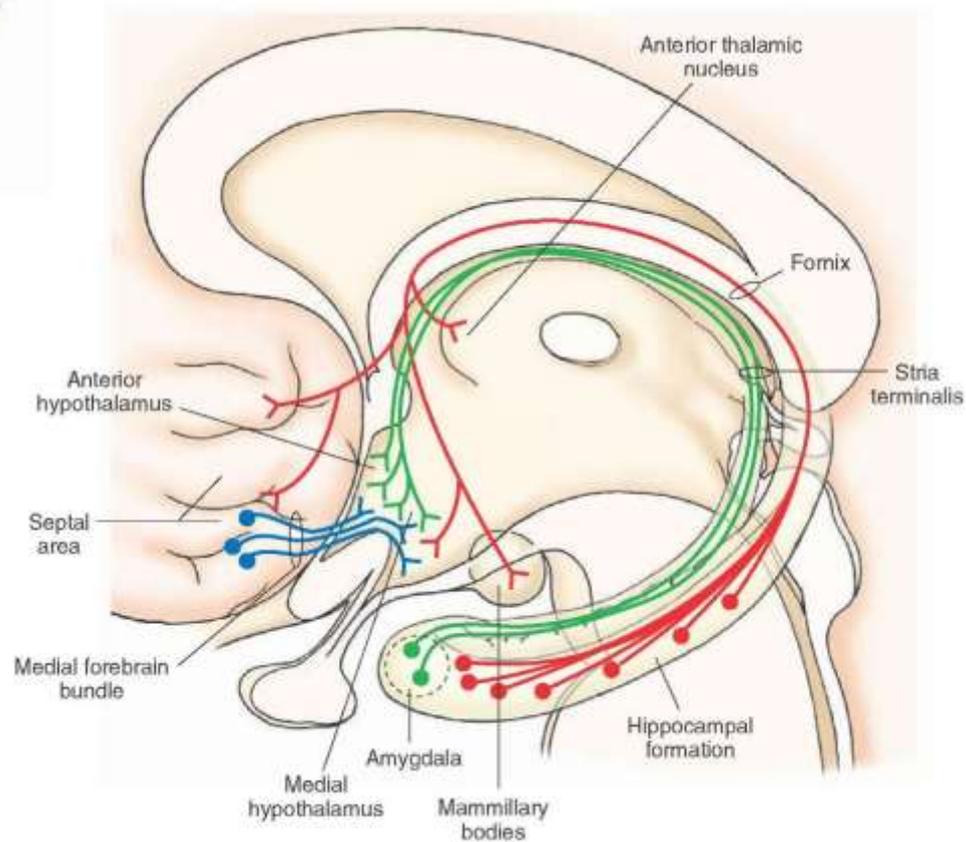
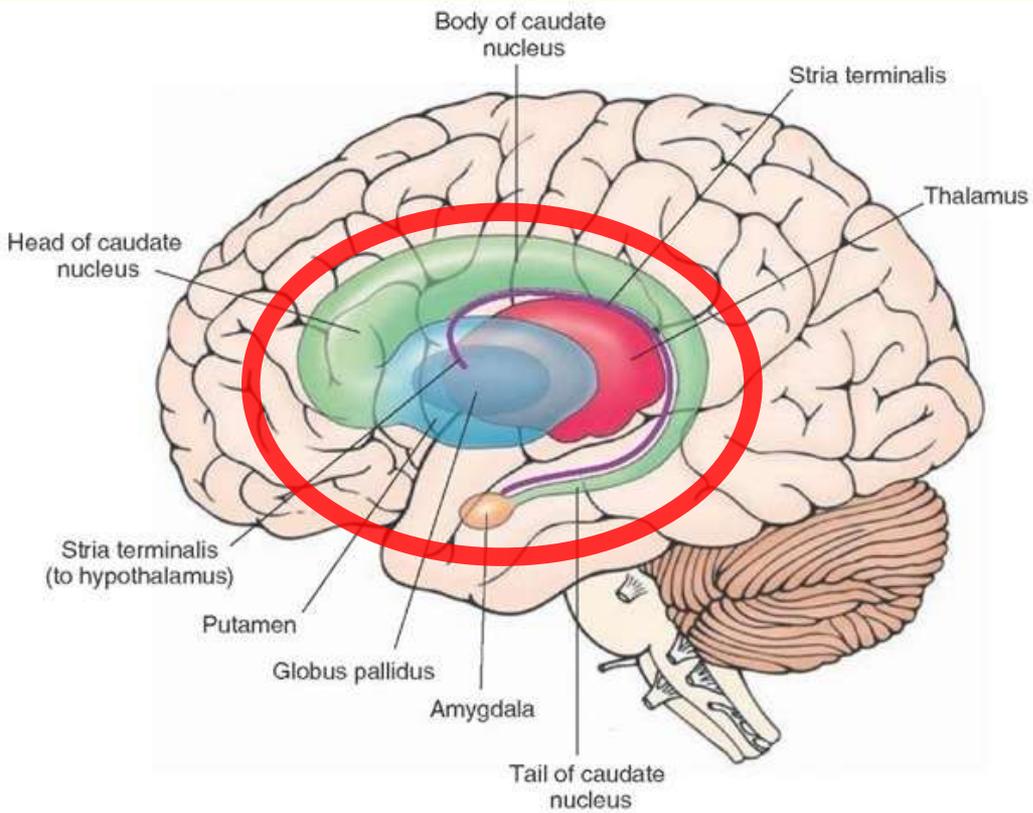


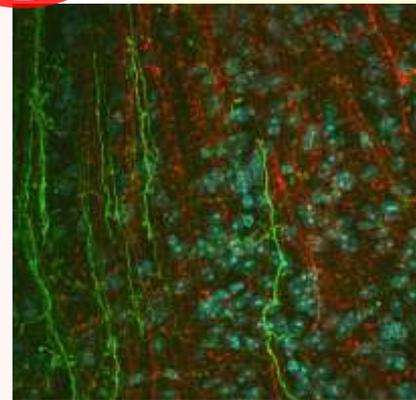
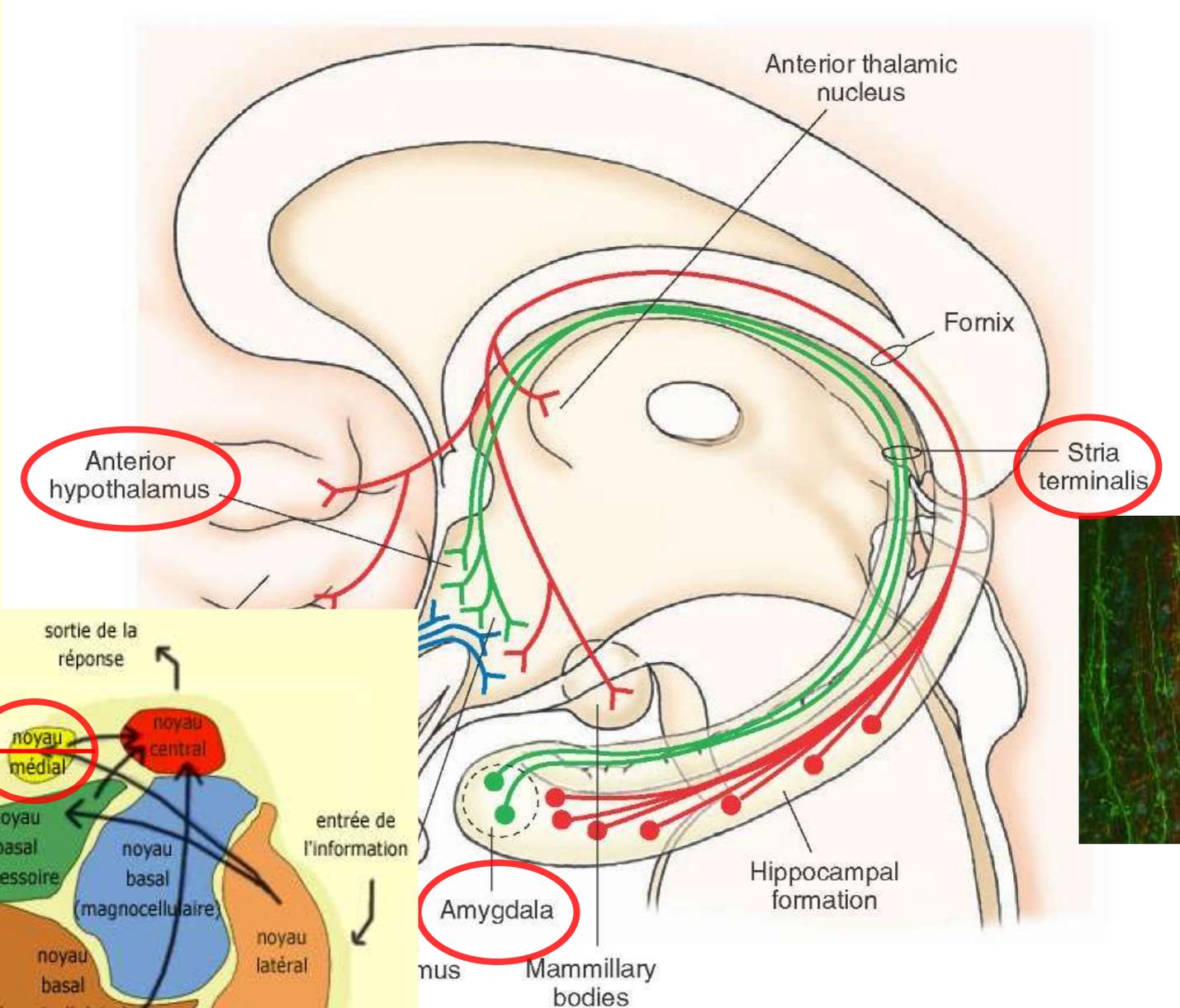
Niveau des  
axones  
individuels.

Projections du  
**noyau médian  
antérieur de  
l'amygdale**  
(vert) et du  
**noyau médian  
postérieur de  
l'amygdale**  
(rouge)  
traversant la  
**stria terminalis  
postérolatérale**  
en direction de  
leur cible :  
**l'hypothalamus**  
et le **striatum  
ventral**.



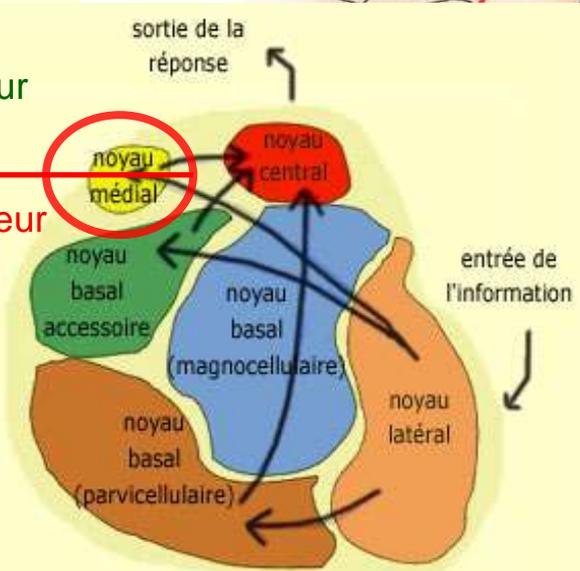
Où dans  
le cerveau ?



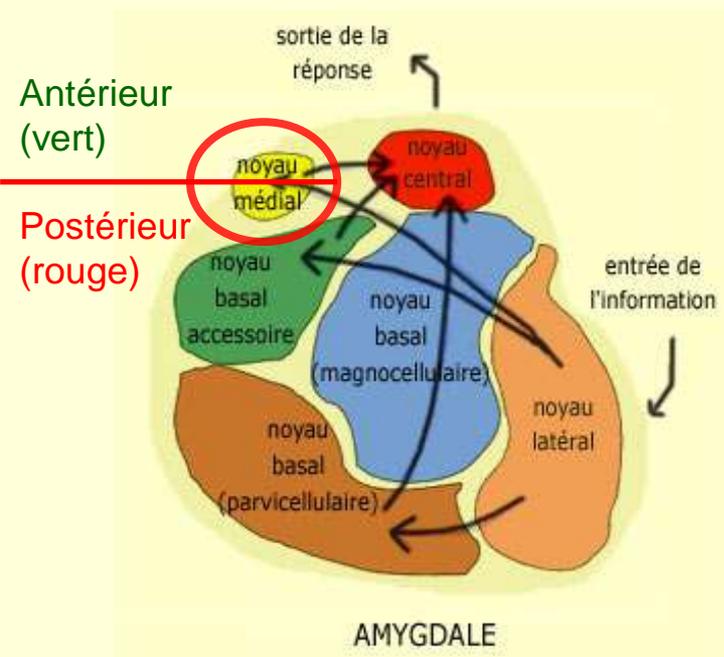
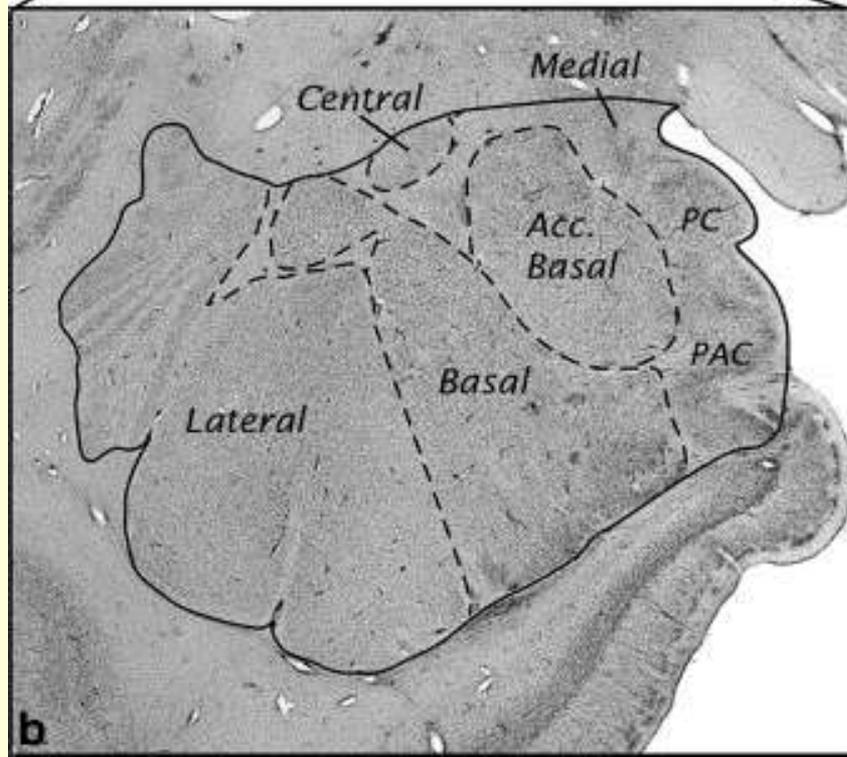
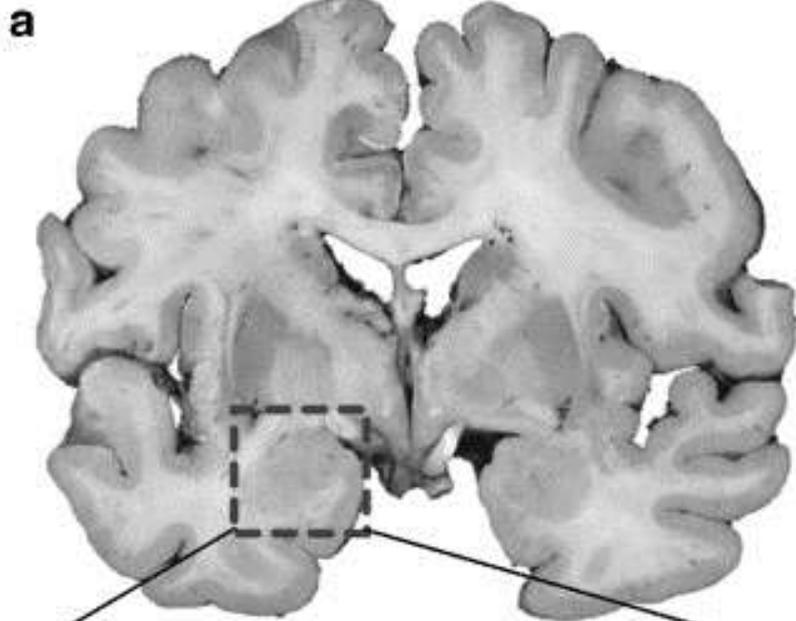


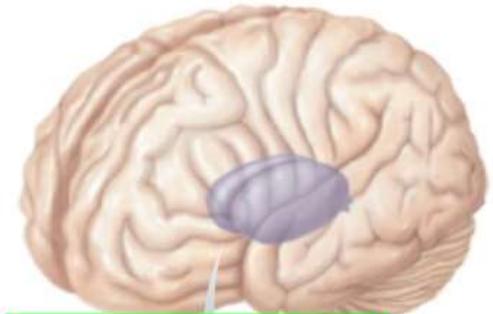
Antérieur (vert)

Postérieur (rouge)

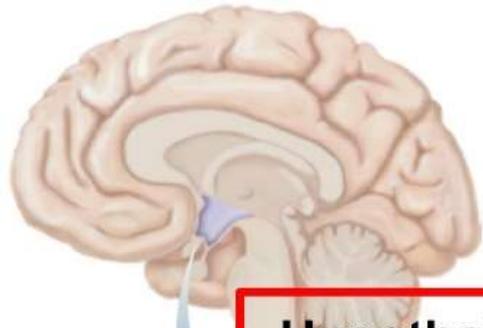
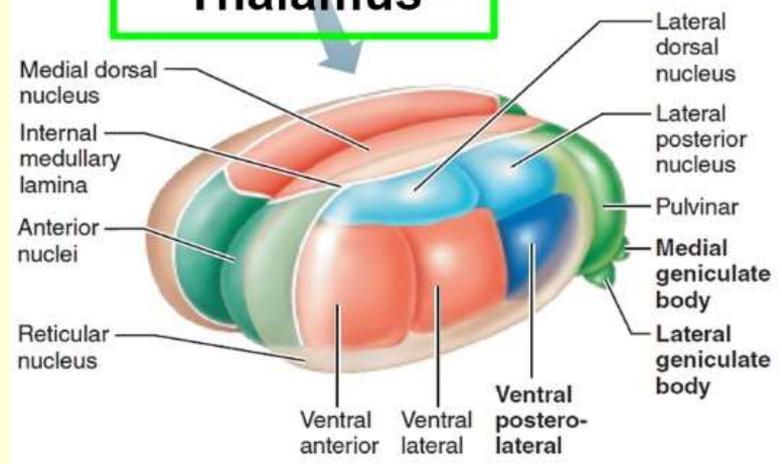


AMYGDALÉ

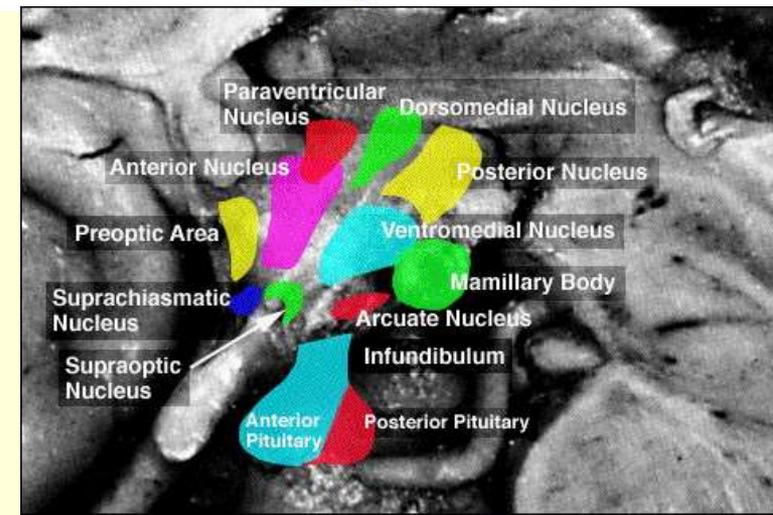
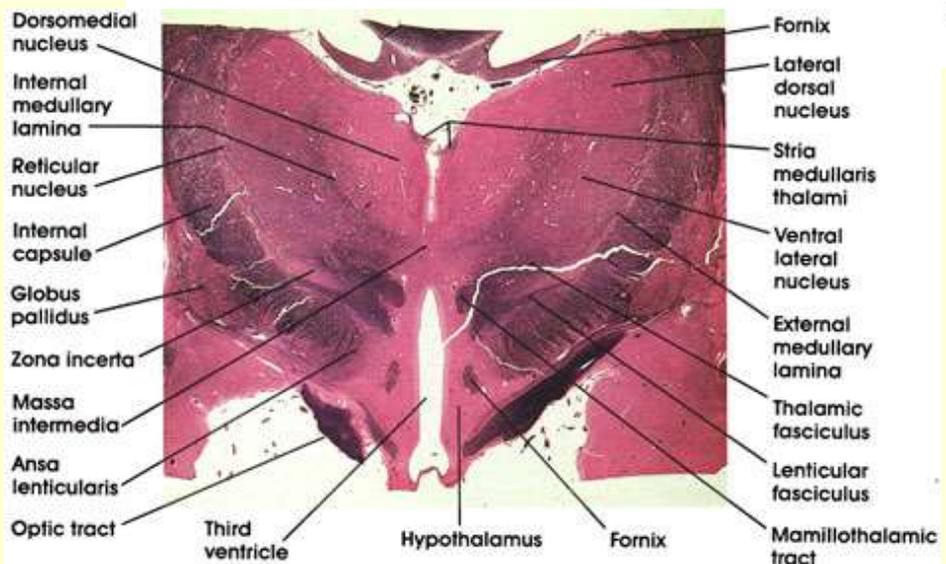
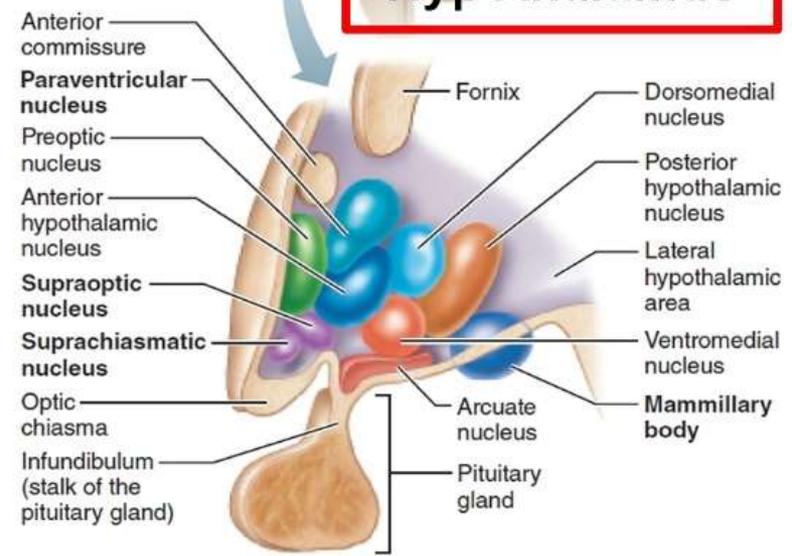


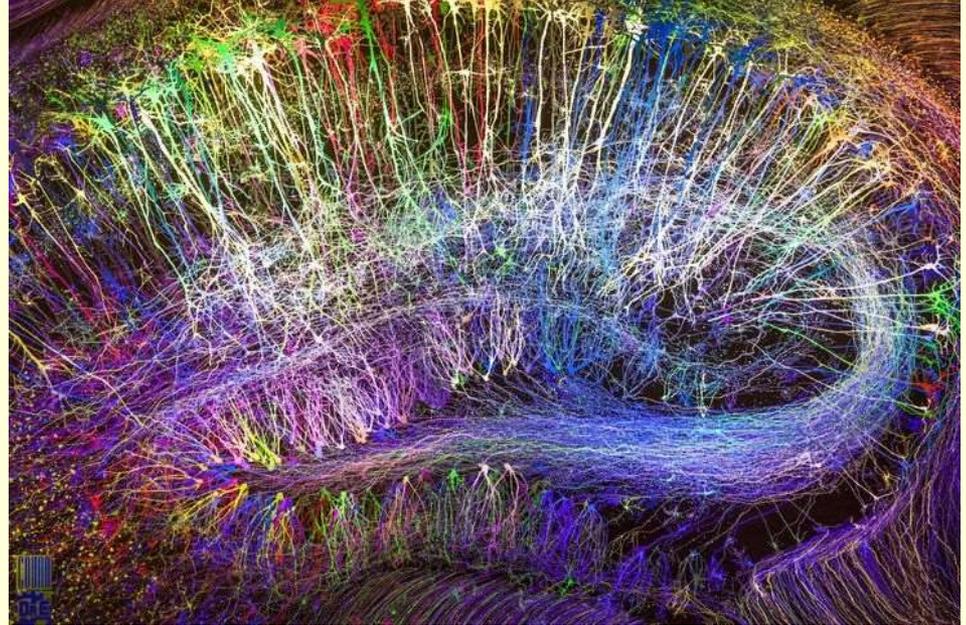
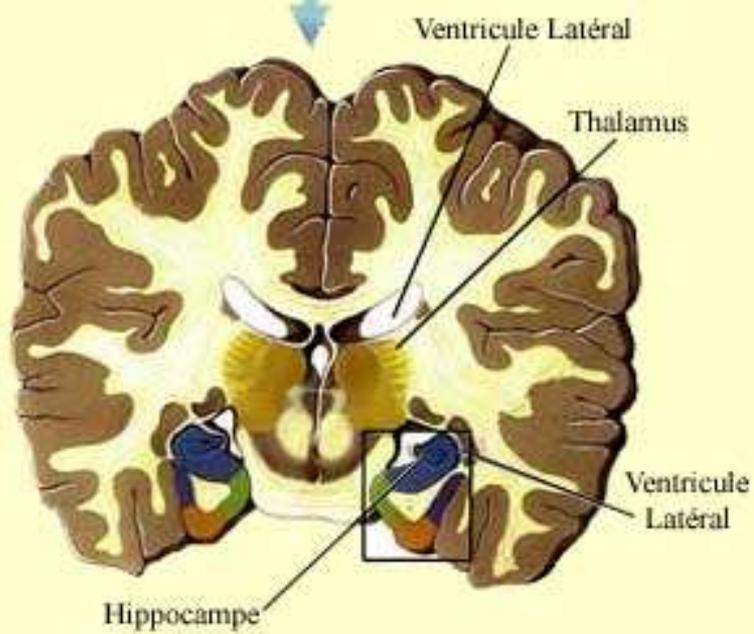


## Thalamus

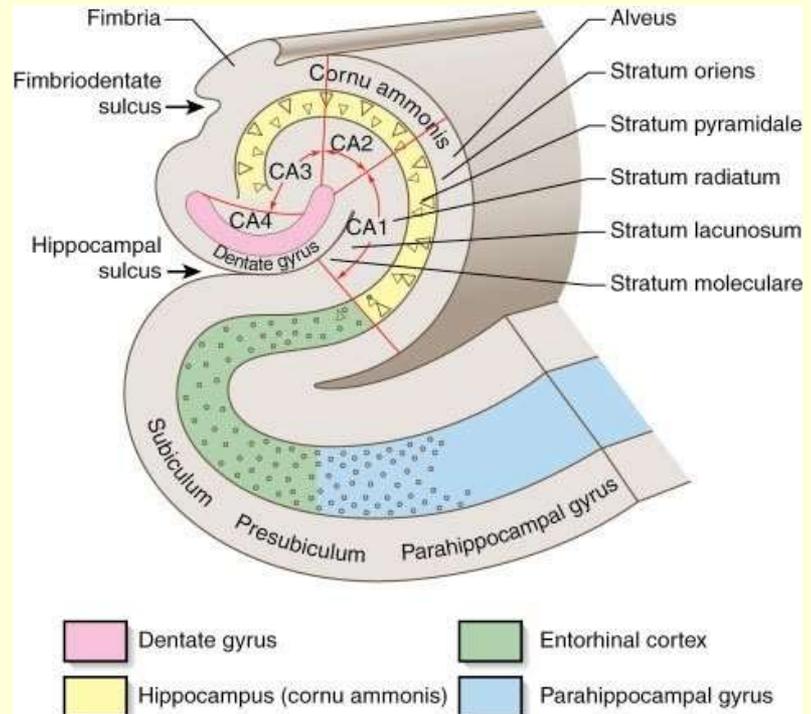
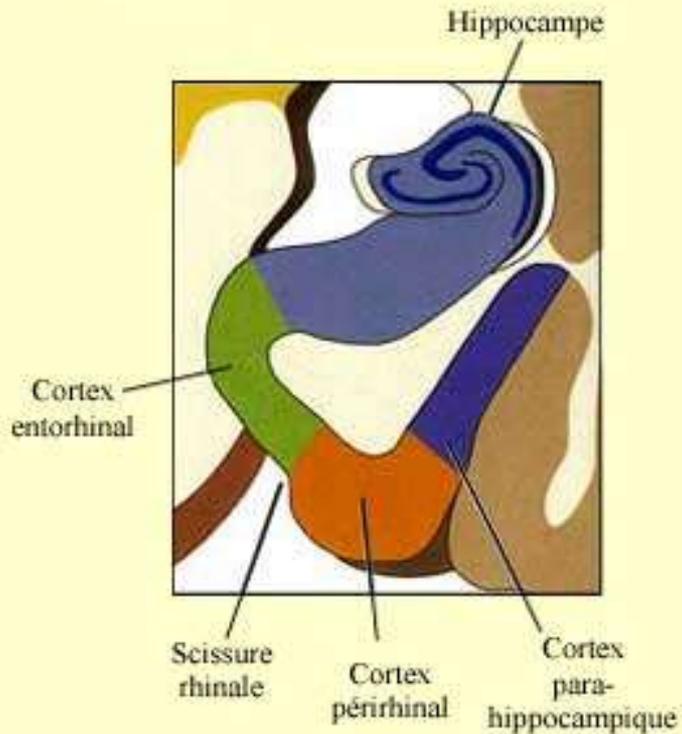


## Hypothalamus





## Hippocampe



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?



**Comportements**

**Approche  
(recherche de plaisirs)**



manger,  
boire,  
se reproduire

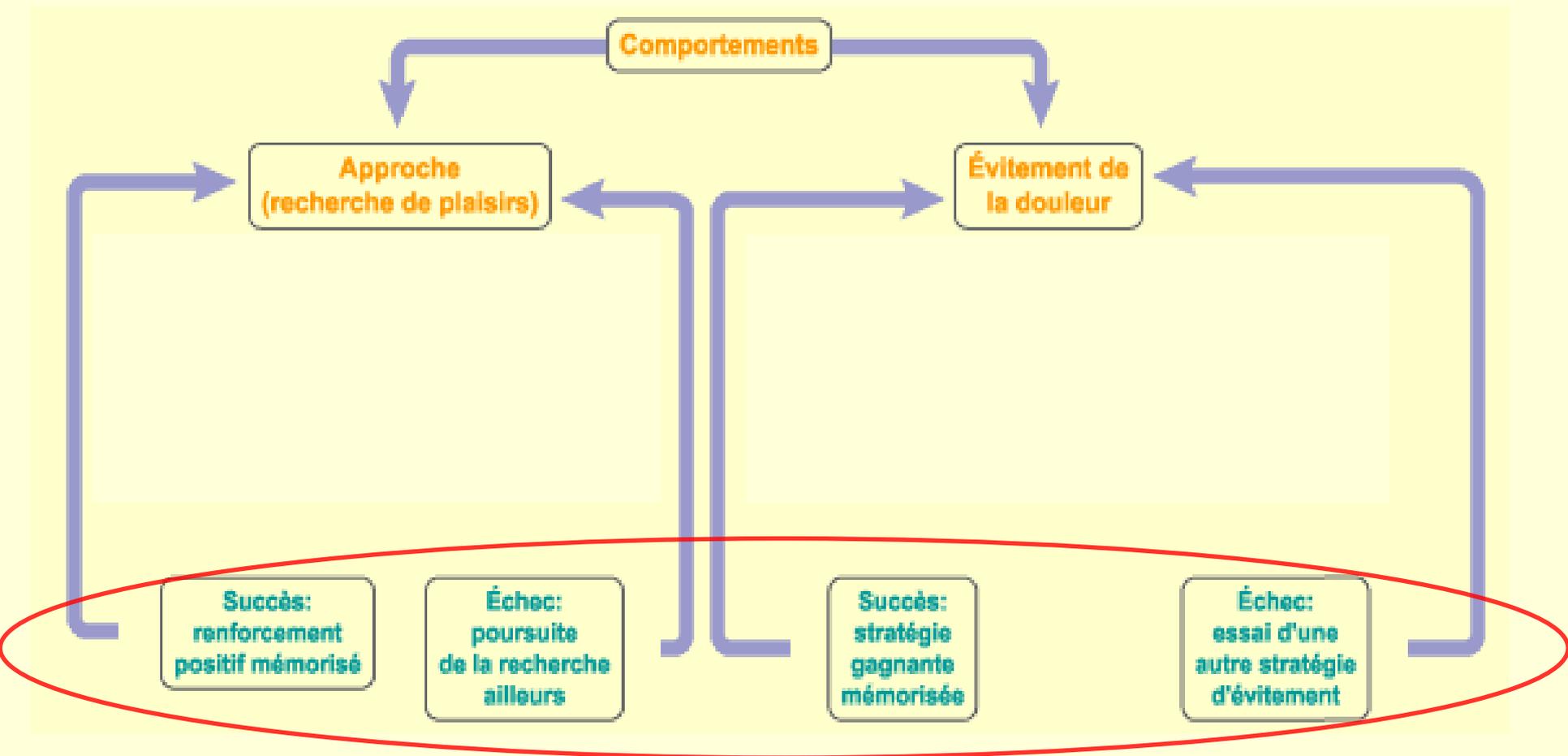
Chez les  
humains,  
même  
ces  
besoins  
innés...

**Évitement de  
la douleur**

protéger son  
intégrité physique

...sont modulés par des **automatismes acquis**  
[classe sociale, médias, publicité, etc.]





# Apprentissage et mémorisation des « bons et mauvais coups »

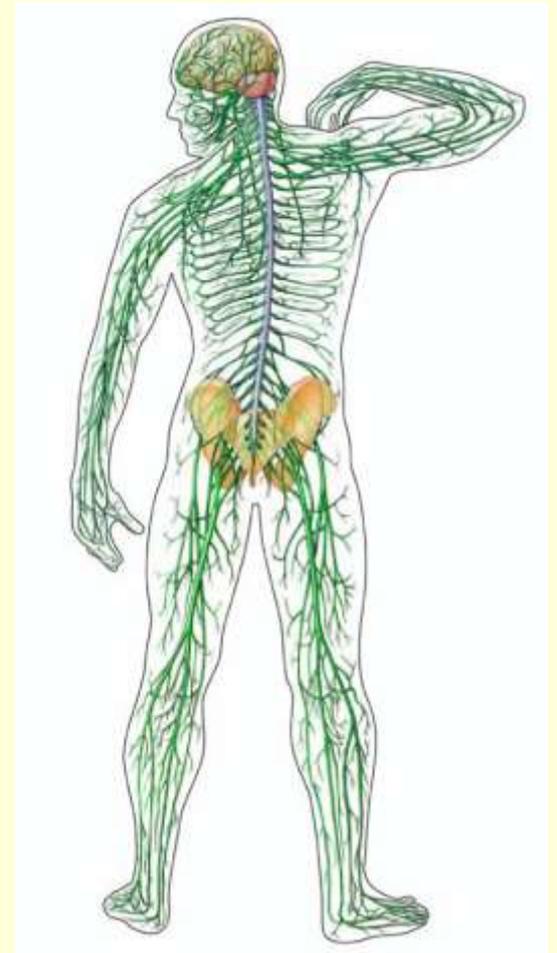
« La mémoire du passé n'est pas faite pour se souvenir du passé, elle est faite pour prévenir le futur.

La mémoire est un instrument de **prédiction.** »

- Alain Berthoz

→ Pouvoir se souvenir de ses bons et mauvais coups amène un **avantage adaptatif** certain.

Mais comment étudier les bases neuronales de nos mécanismes d'apprentissage et de mémoire ?



7 000 000 000  
(cortex seulement)



85 000 000 000  
16 000 000 000  
(cortex seulement)

760 000 000

### Problème :

Très difficile d'étudier  
directement le  
cerveau humain dû  
à la quantité  
astronomique de  
neurones et à leur  
petite taille.

200 000 000

20 000



Diamètre d'un  
neurone :

10, **20**, 50,

100 microns  
(0,1 mm)



Diamètre d'un neurone :  
jusqu'à 1000 microns  
(1 mm !)

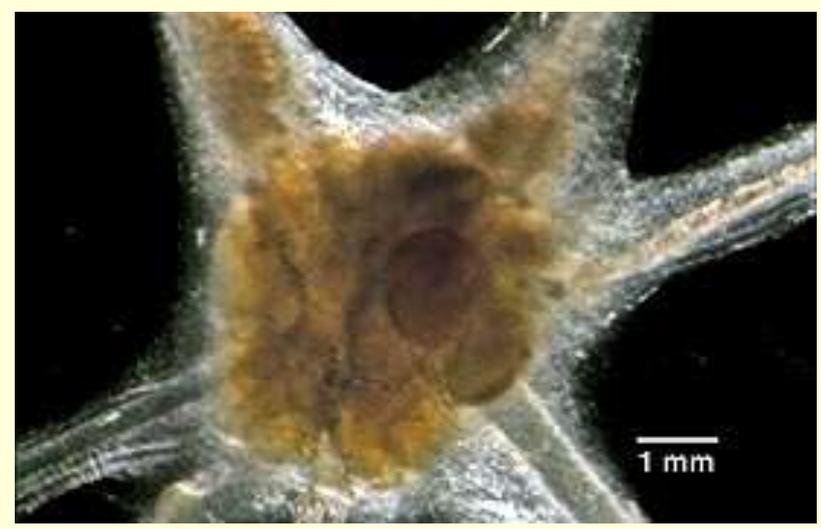
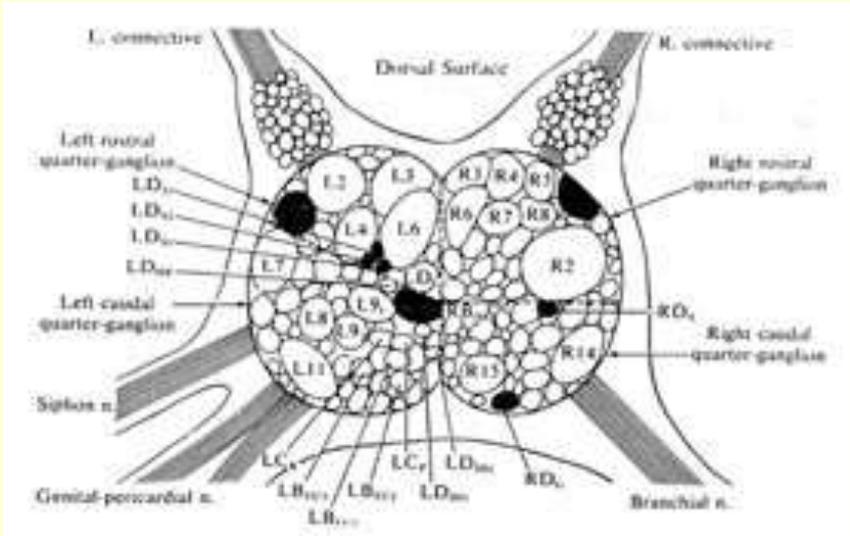
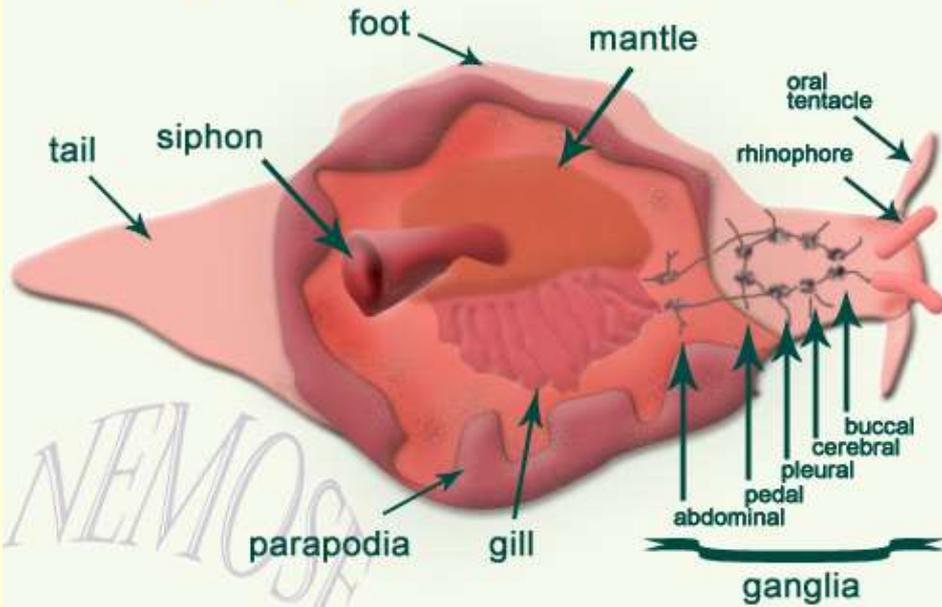
**L'aplysie** est donc devenu l'un des premiers modèles pour étudier les changements neuronaux qui accompagnent l'apprentissage et la mémoire.



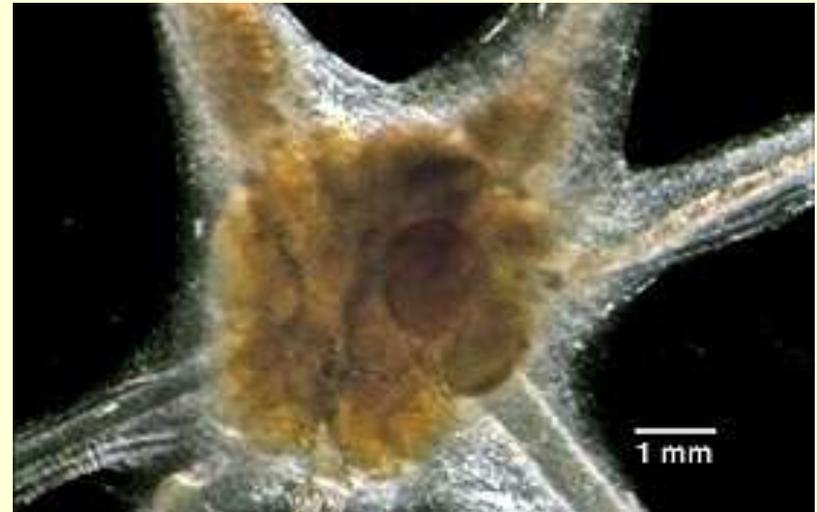
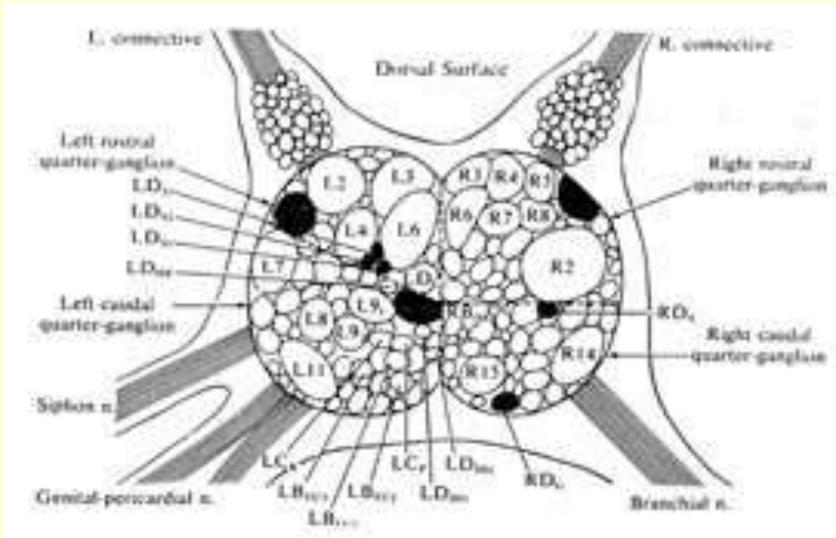
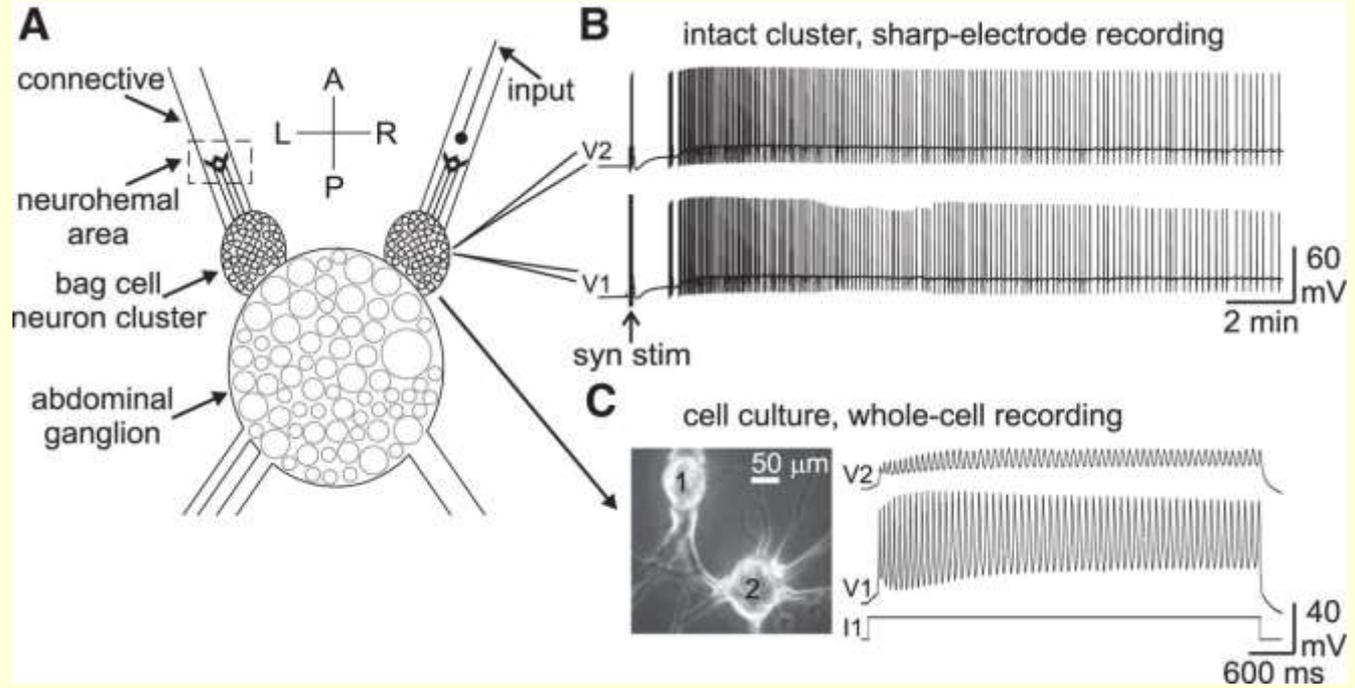
Durant les années 1970, **d'autres êtres vivants simples** où l'on pouvait mettre les changements neuronaux en relation avec des formes d'apprentissage élémentaires ont aussi été utilisés :

- the flexion reflex of **cats** ([Spencer et al. 1966](#));
- the eye-blink response of **rabbits** ([Thompson et al. 1983](#));
- the escape reflex of ***Tritonia*** ([Willows and Hoyle 1969](#)), and various behavioral modifications in ***Hermisenda*** ([Alkon 1974](#)),
- ***Pleurobranchaea*** ([Mpitsos and Davis 1973](#)),
- ***Limax*** ([Gelperin 1975](#)),
- **crayfish** ([Krasne 1969](#)),
- and **honeybees** ([Menzel and Erber 1978](#)).

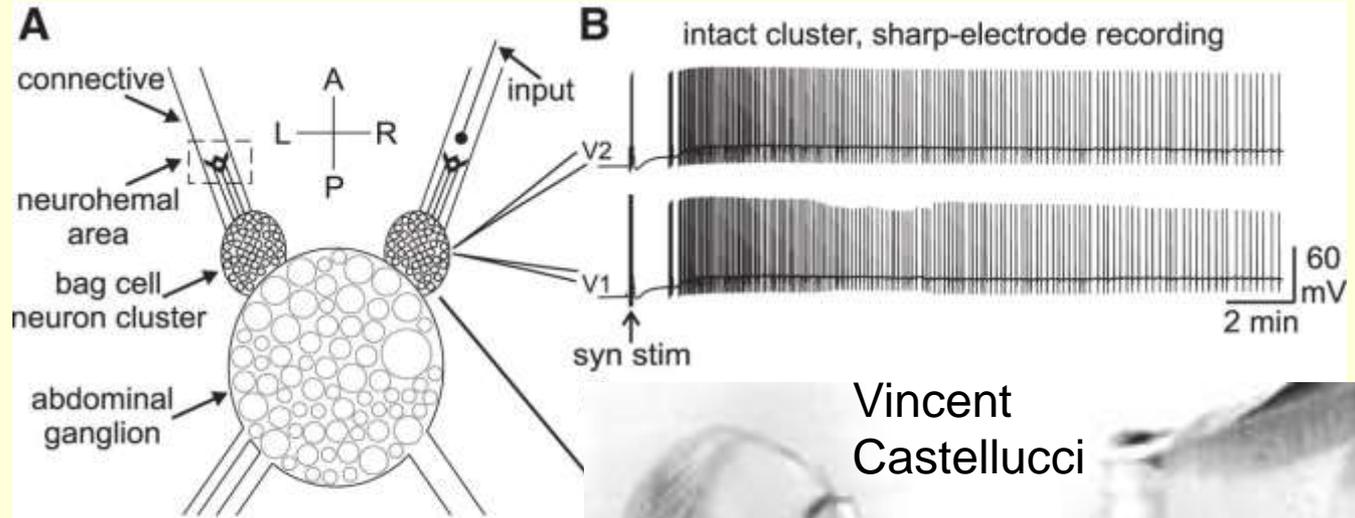
# *Aplysia californica*



Ces systèmes nerveux rudimentaires vont permettre d'identifier **les sites** dans les circuits nerveux **où ont lieu les modifications** grâce à des enregistrements électrophysiologiques dans des neurones identifiables.

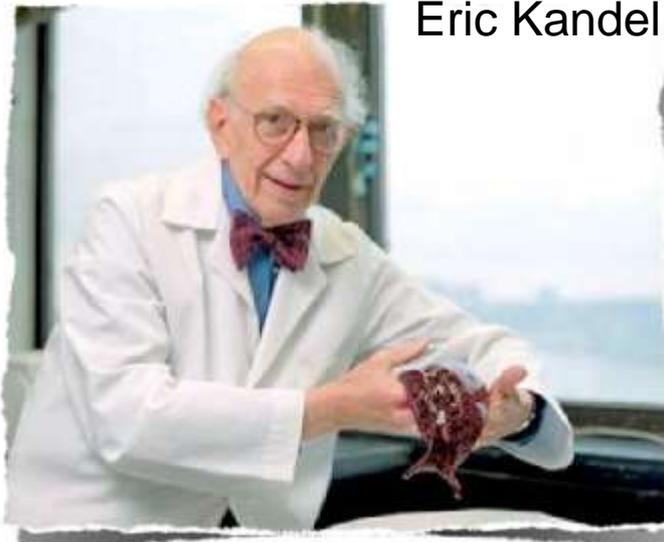


Ces systèmes nerveux rudimentaires vont permettre d'identifier **les sites** dans les circuits nerveux où ont lieu **les modifications** grâce à des enregistrements électrophysiologiques dans des neurones identifiables.



Lesson 5 - The role of Neurons in Memory formation

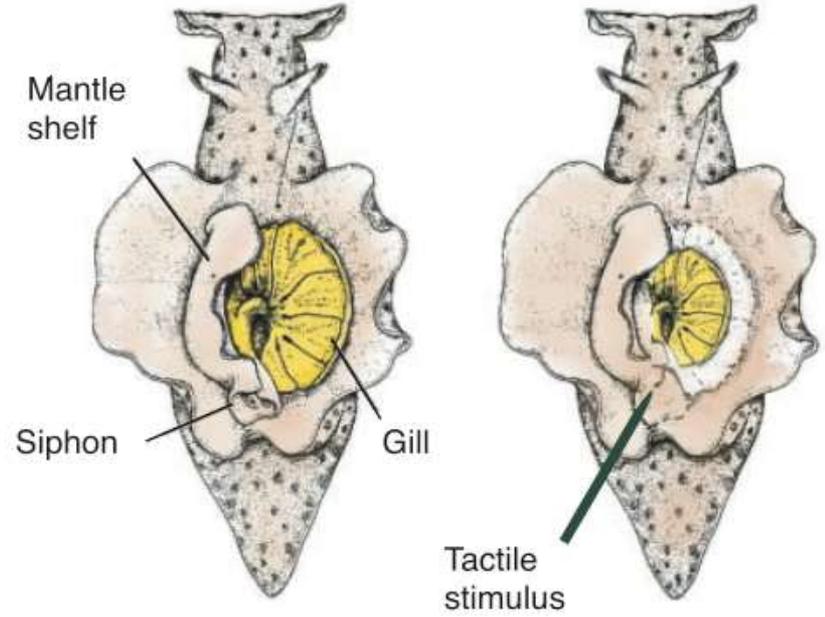
Eric Kandel



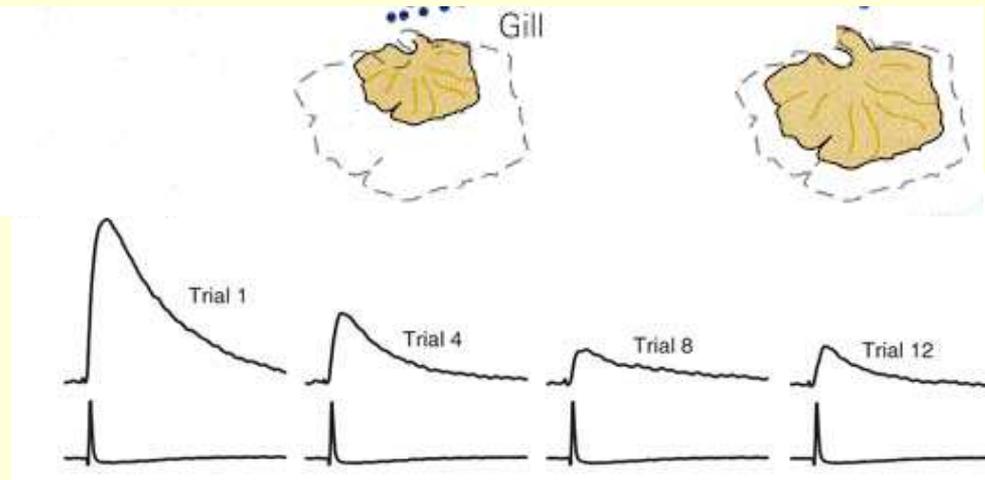
**Sur les épaules de Darwin,**  
par Jean Claude Ameisen  
**Dans l'oubli de nos métamorphoses**  
samedi 18 juin 2016

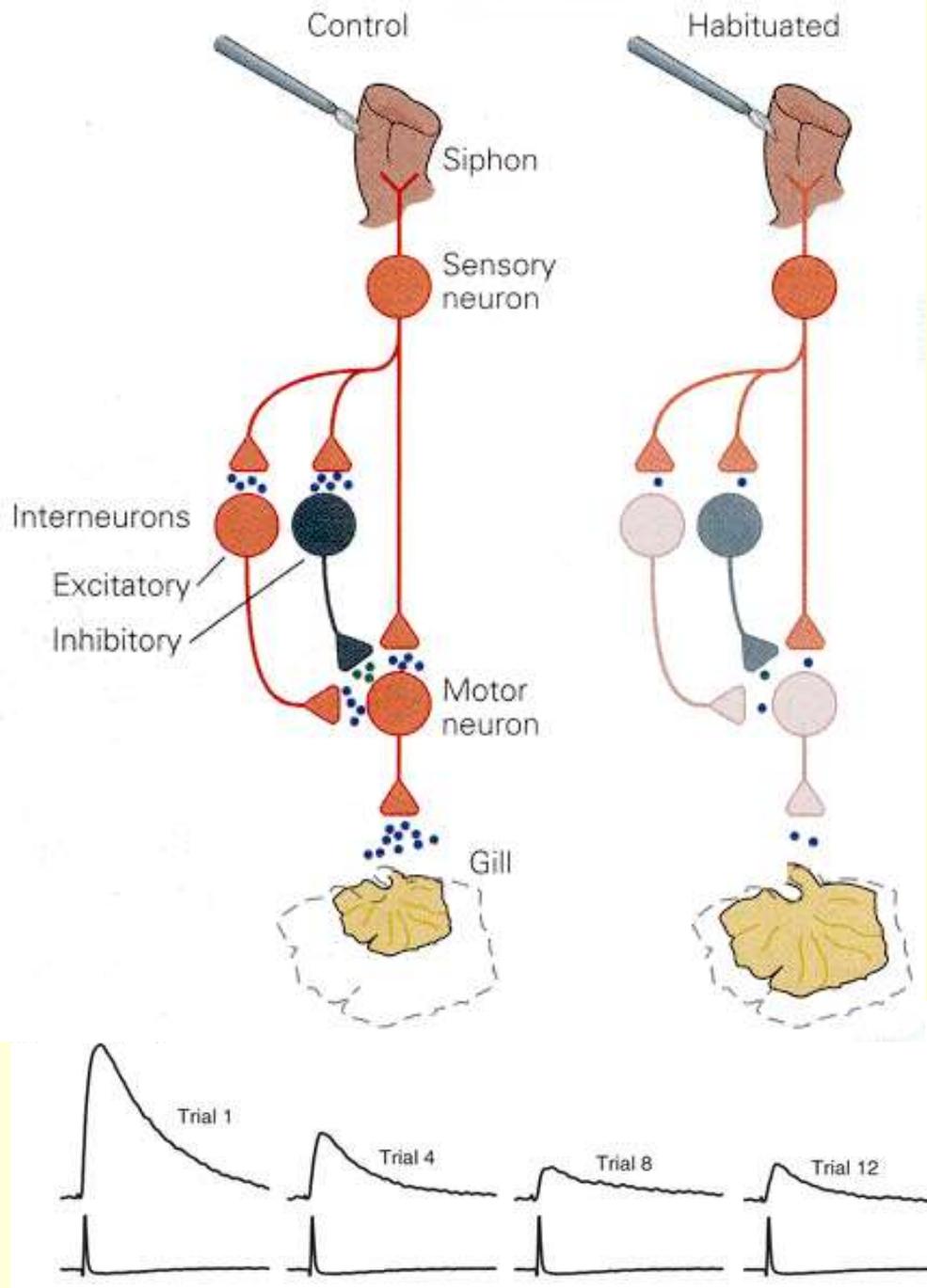
<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-18-juin-2016>

## A Gill Withdrawal Reflex



## L'habituation





« Des stimulations répétées produisent **une diminution de la probabilité de relâchement de neurotransmetteurs** à la synapse sensori-motrice.

Il s'agit d'un **mécanisme pré-synaptique** causé par une diminution de l'entrée d'ions calcium au bout du nerf sensoriel. »

**Habituation and dishabituation of the gill withdrawal reflex in *Aplysia*.**  
 Science. **1970**;167:1740–1742.

Pinsker H, Kuppermann I, **Catellucci V,**  
**Kandel E.**

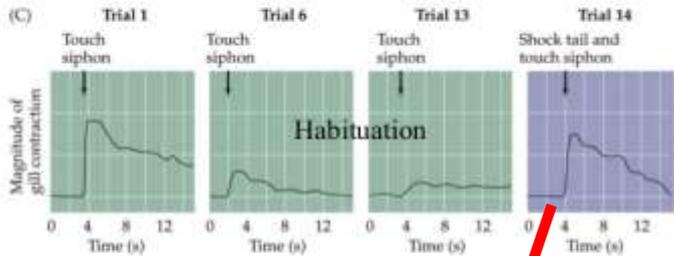
Exemple chez l'humain :

l'horloge que l'on n'entend plus

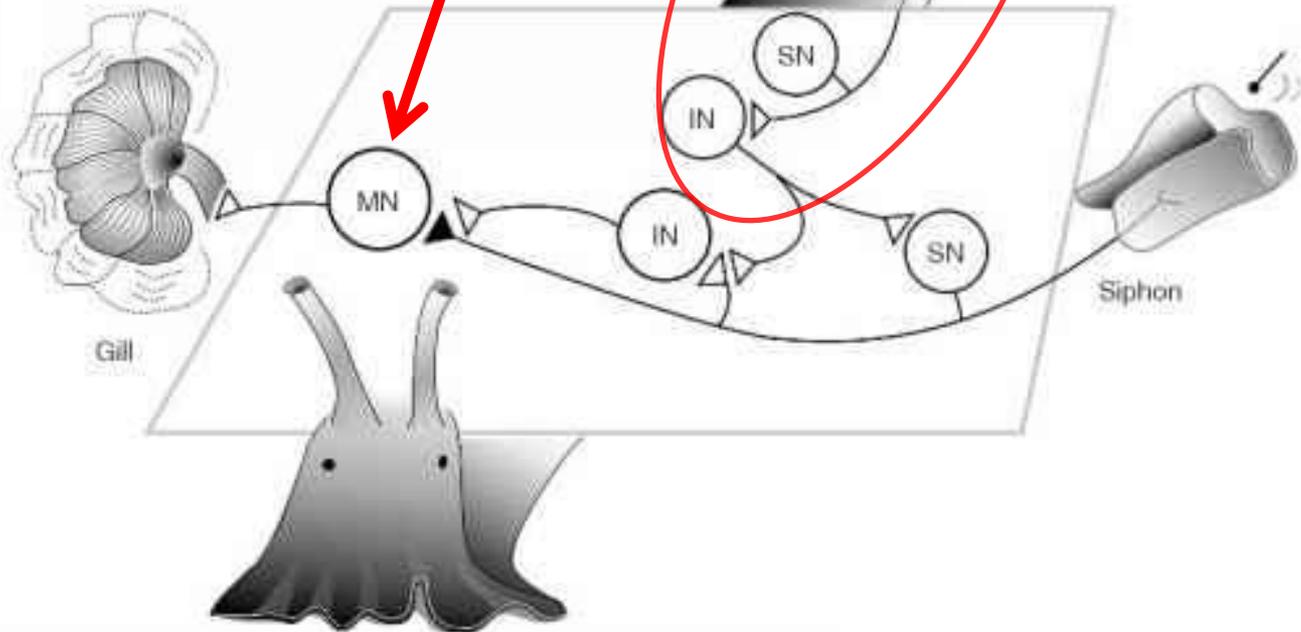


**L'habituat**

Short-term sensitization and habituation of the *Aplysia* gill withdrawal reflex



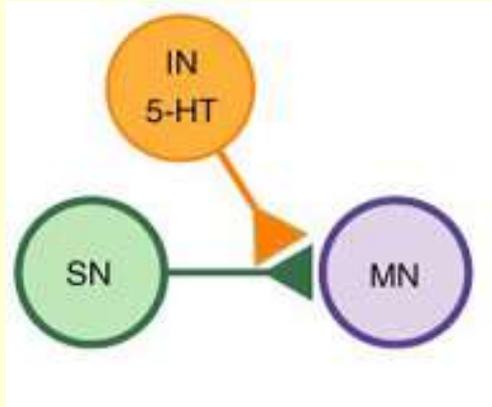
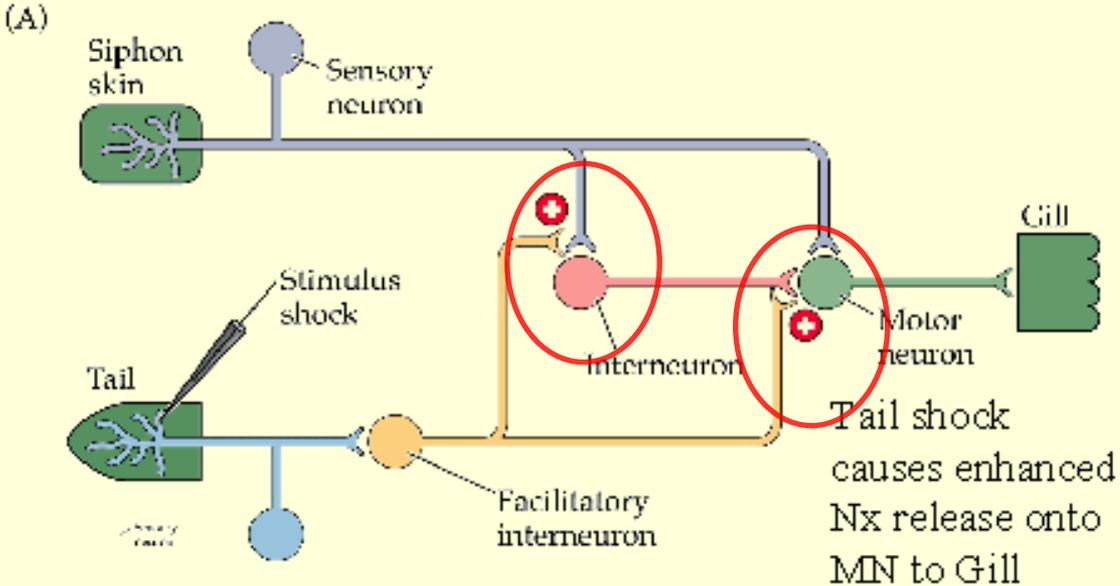
NEUROSCIENCE, Fourth Edition, Figure 8.3 (Part 2)



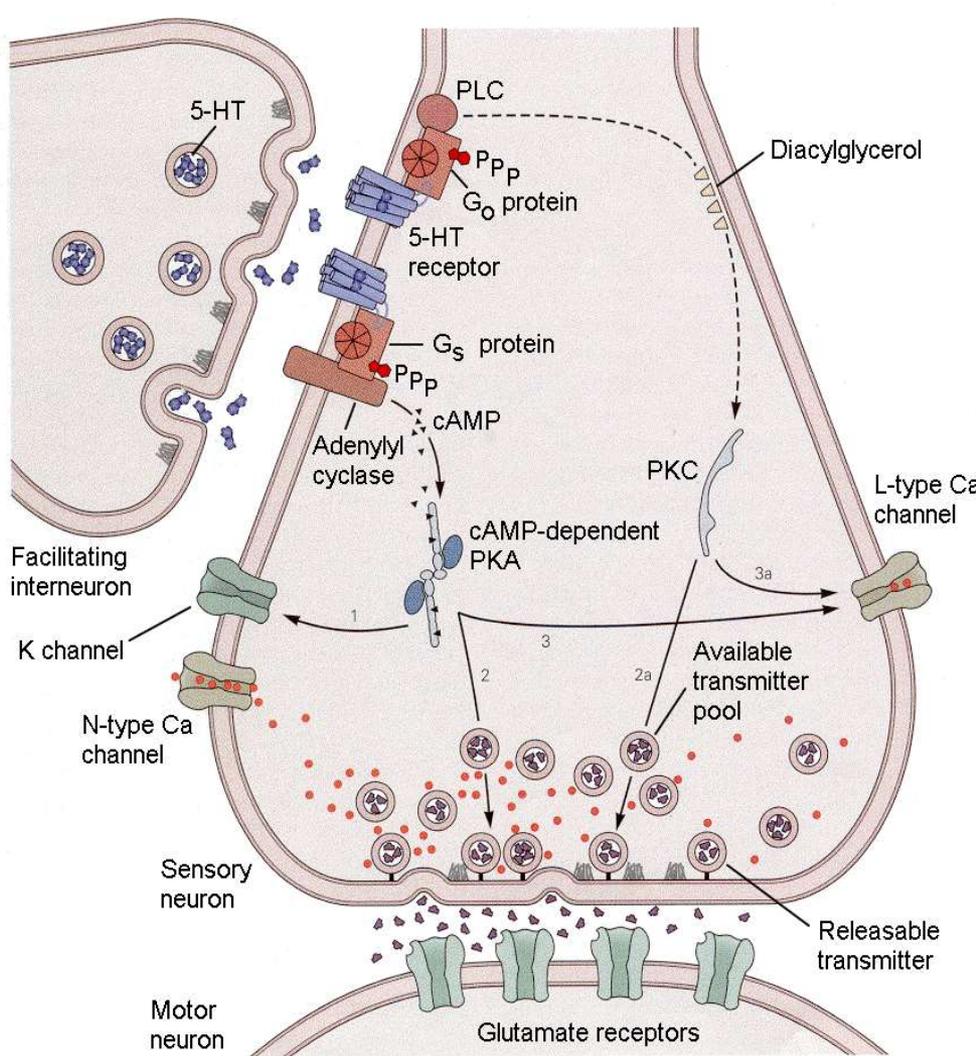
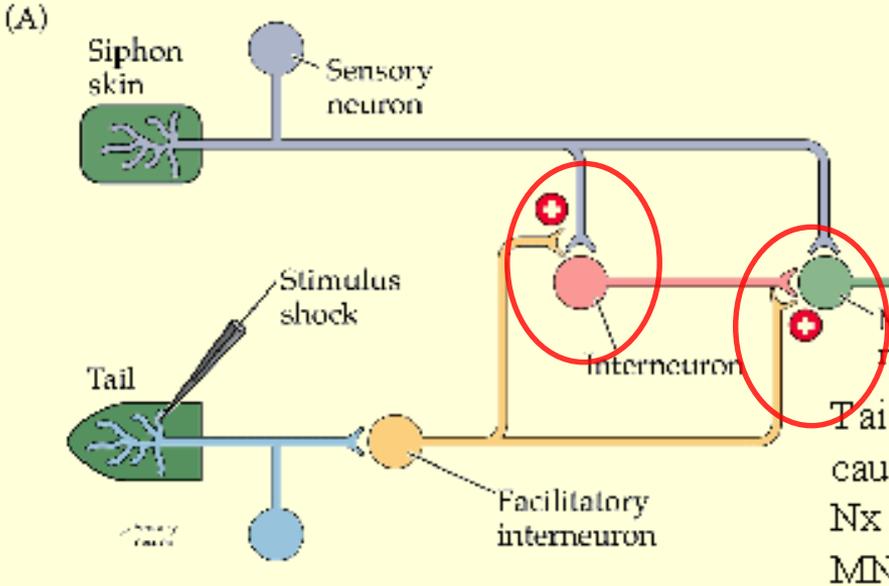
Autre mécanisme d'apprentissage :

La sensibilisation

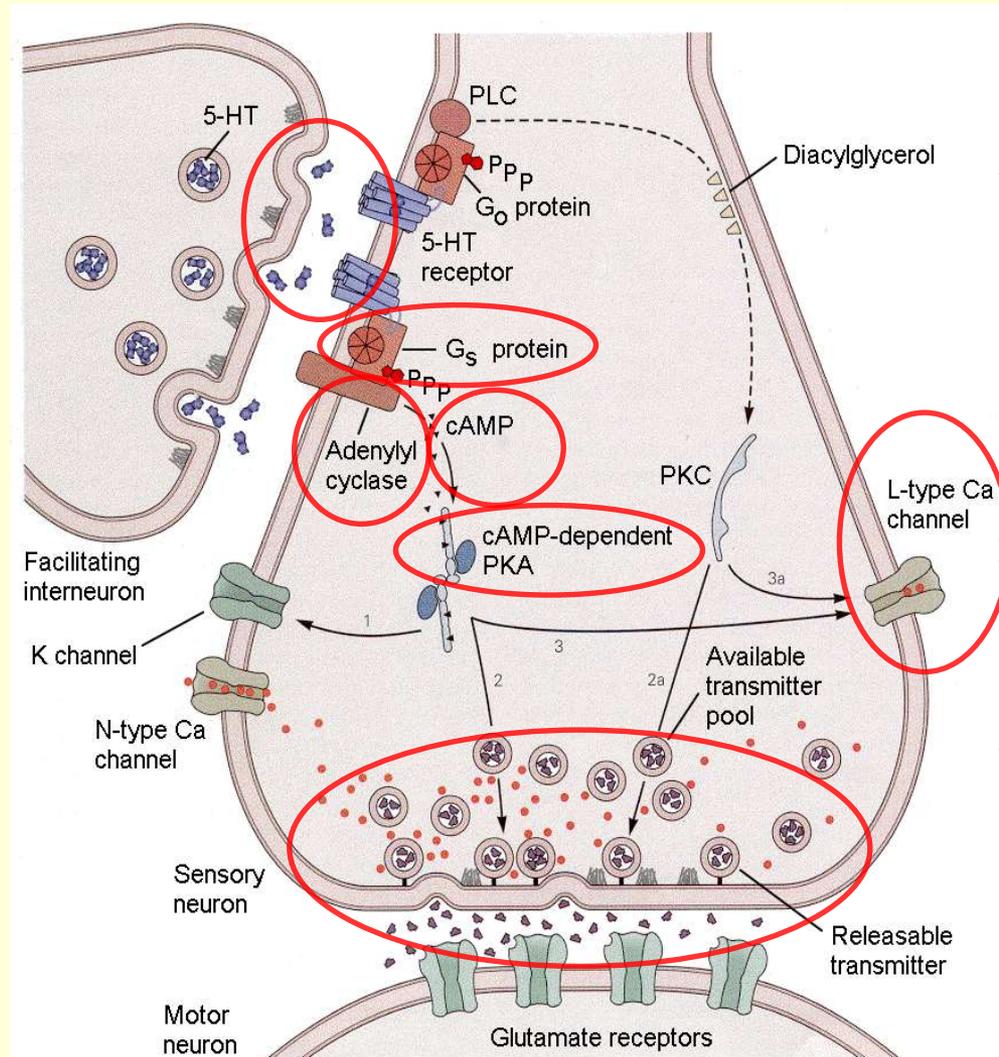
# La sensibilisation



# La sensibilisation



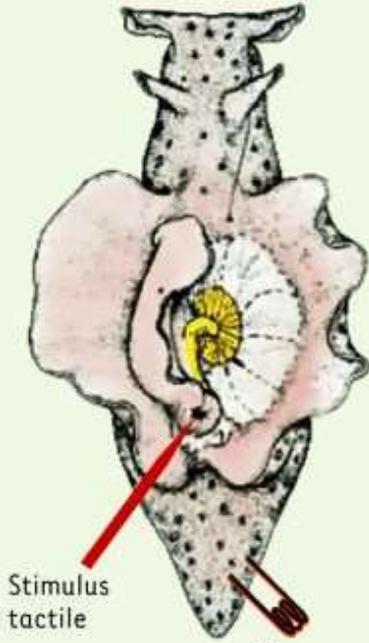
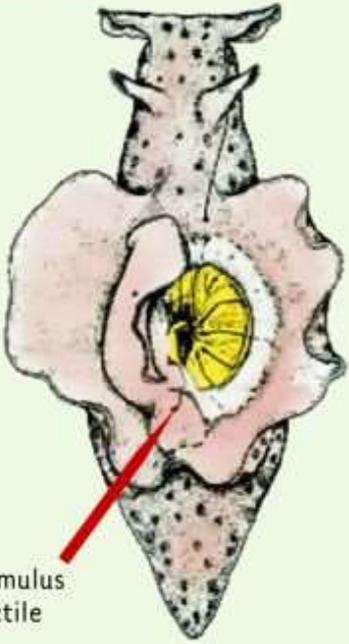
# La sensibilisation



## Sensitization in Aplysia

[https://www.youtube.com/watch?v=qUOMeCQ\\_OtA](https://www.youtube.com/watch?v=qUOMeCQ_OtA)

**Sensibilisation**



La sensibilisation

Exemple chez l'humain :

Choc sur la queue



# Mémoires

**Associatives**

Non associatives

*Conditionnement*

*classique et opérant*

**Habituation et Sensibilisation**

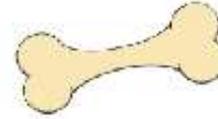
# Conditionnement classique

On apprend que 2 stimuli sont associés.

Before conditioning

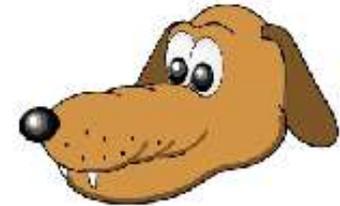
**FOOD  
(UCS)**

**SALIVATION  
(UCR)**



**BELL**

**NO RESPONSE**



During conditioning

**BELL +  
FOOD  
(UCS)**

**SALIVATION  
(UCR)**

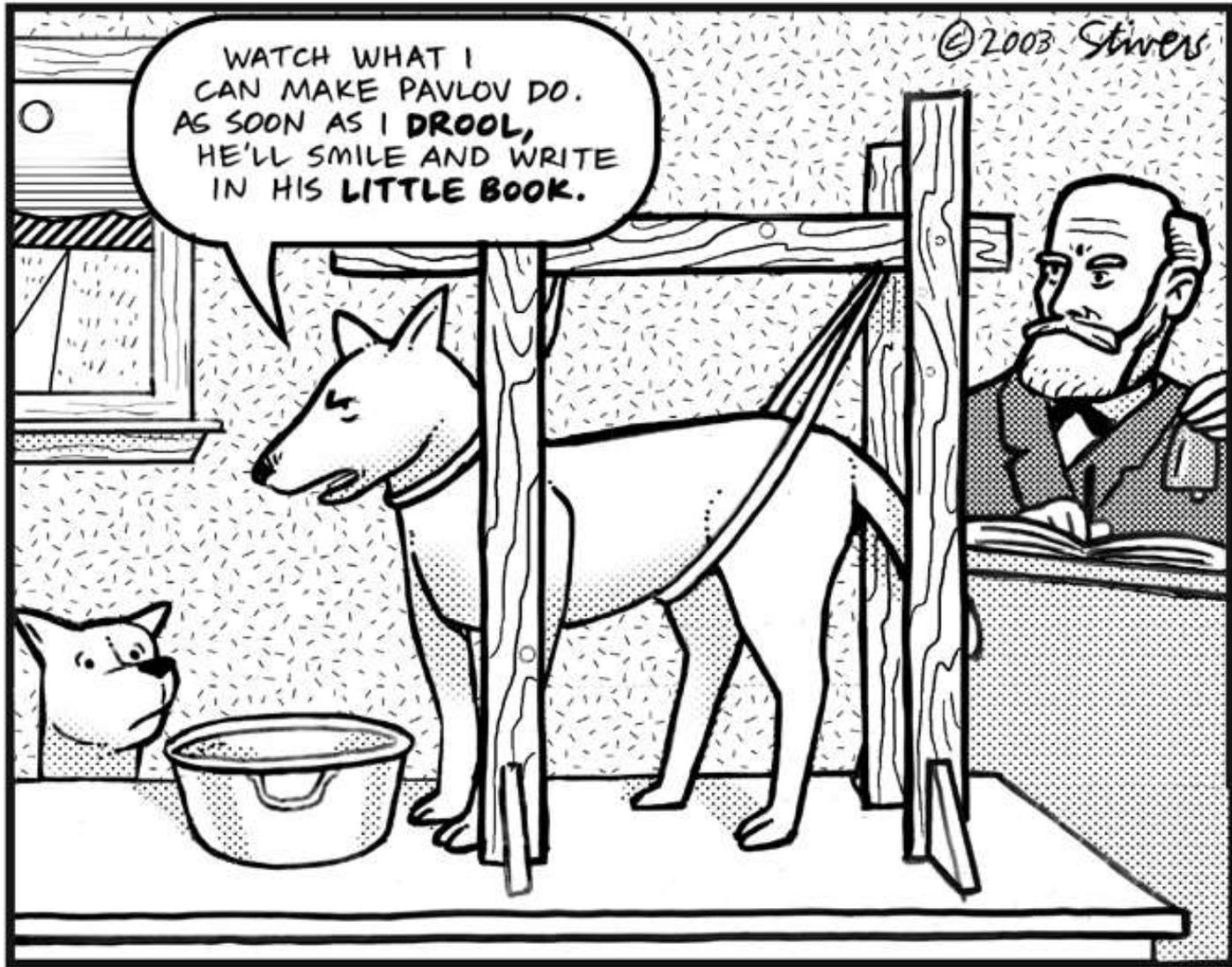


After conditioning

**BELL  
(CS)**

**SALIVATION  
(CR)**





WATCH WHAT I  
CAN MAKE PAVLOV DO.  
AS SOON AS I **DROOL**,  
HE'LL SMILE AND WRITE  
IN HIS **LITTLE BOOK**.

©2003 Stivers

**TOUS LES JOURS  
JE LAVE MON CERVEAU  
AVEC LA PUB**

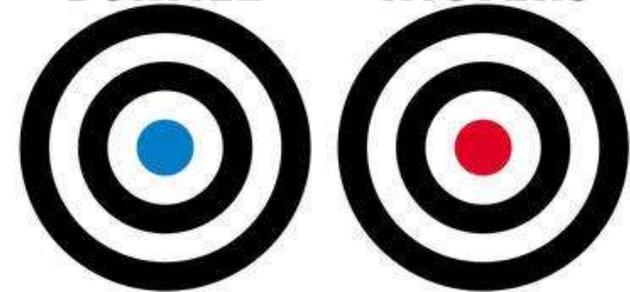


« Je suis effrayé par les automatismes qu'il est possible de créer à son insu dans le système nerveux d'un enfant.

Il lui faudra dans sa vie d'adulte une chance exceptionnelle pour s'évader de cette prison, s'il y parvient jamais. »

- Henri Laborit

**LES MÉDIAS VEILLENT  
DORMEZ CITOYENS**





# Éloge de la suite

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

À PROPOS DU FILM



- POURQUOI CE FILM ?
- FINANCEMENT
- PERSONNAGES
- BANDE-ANNONCE

- POURQUOI CE SITE ?
- BIOGRAPHIES
- LIVRES
- ARTICLES
- AUDIO
- VIDÉO
- PHOTOS
- CITATIONS
- CONTACT

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



LE FILM !

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

Publié le 21 novembre 2014 • Laisser un commentaire

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

## DERNIÈRES PUBLICATIONS SUR LE SITE :

## OÙ ÊTES-VOUS ?



LA SUITE... / LE FILM !

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

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

www.elogedelasuite.net

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

# Mémoires

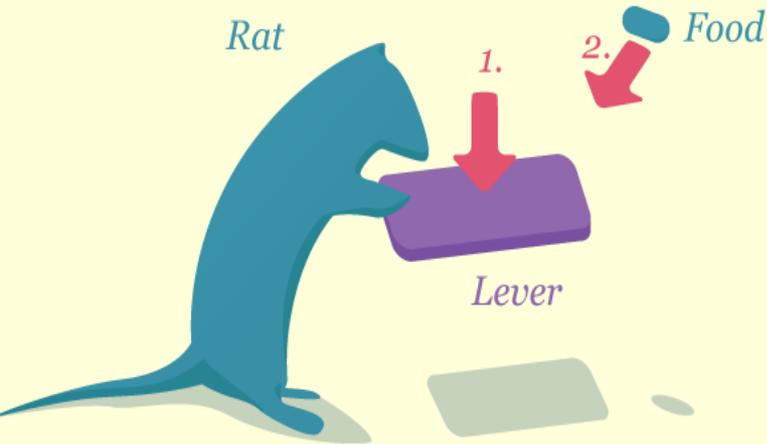
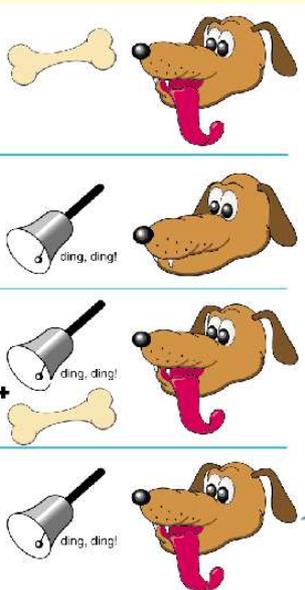
Associatives

Non associatives

*Conditionnement*

Habituation et Sensibilisation

**classique et opérant positif (récompense)**

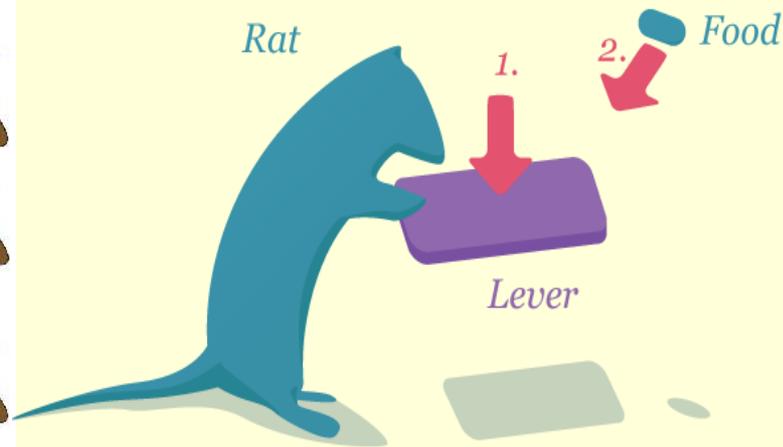


# Mémoires

## Associatives

*Conditionnement*

*classique et opérant positif  
(récompense)*



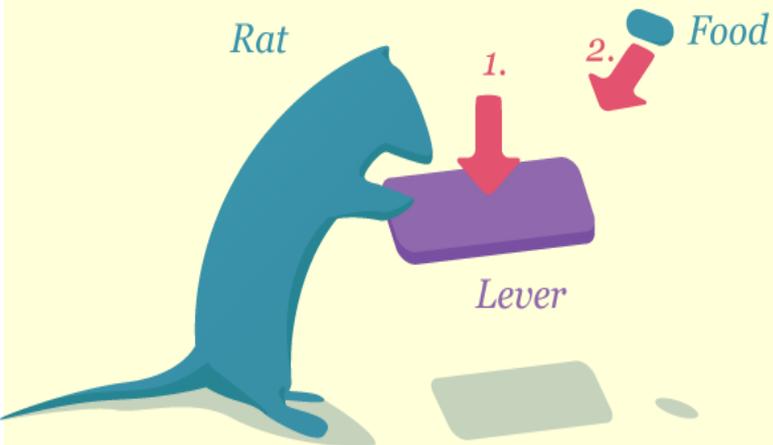
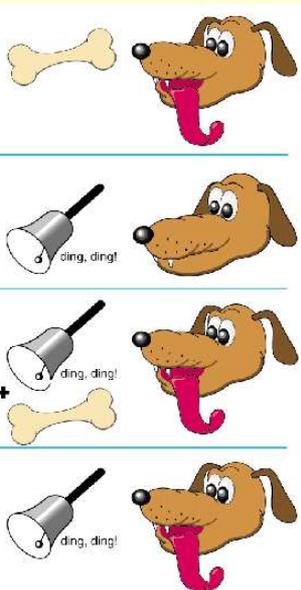
Qu'est-ce qui rapporte plus d'argent aux États-Unis que les films, les parcs d'amusement thématiques et le baseball RÉUNIS ?

# Mémoires

## Associatives

*Conditionnement*

**classique et opérant positif  
(récompense)**



# Conditionnement opérant négatif (punition)

METTRE DE LA CRÈME SOLAIRE À LA PLAGE  
METTRE DE LA CRÈME SOLAIRE À LA P



## Mémoire à long terme

« on apprend sans  
s'en rendre compte »

**Implicite (Non-déclarative)**

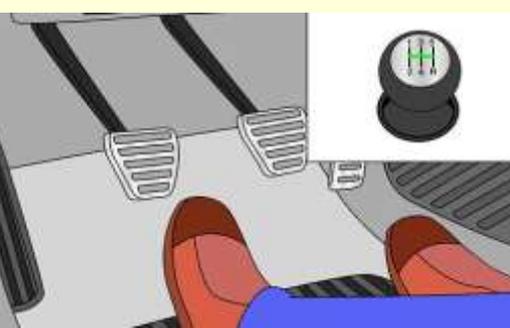
Non associatives

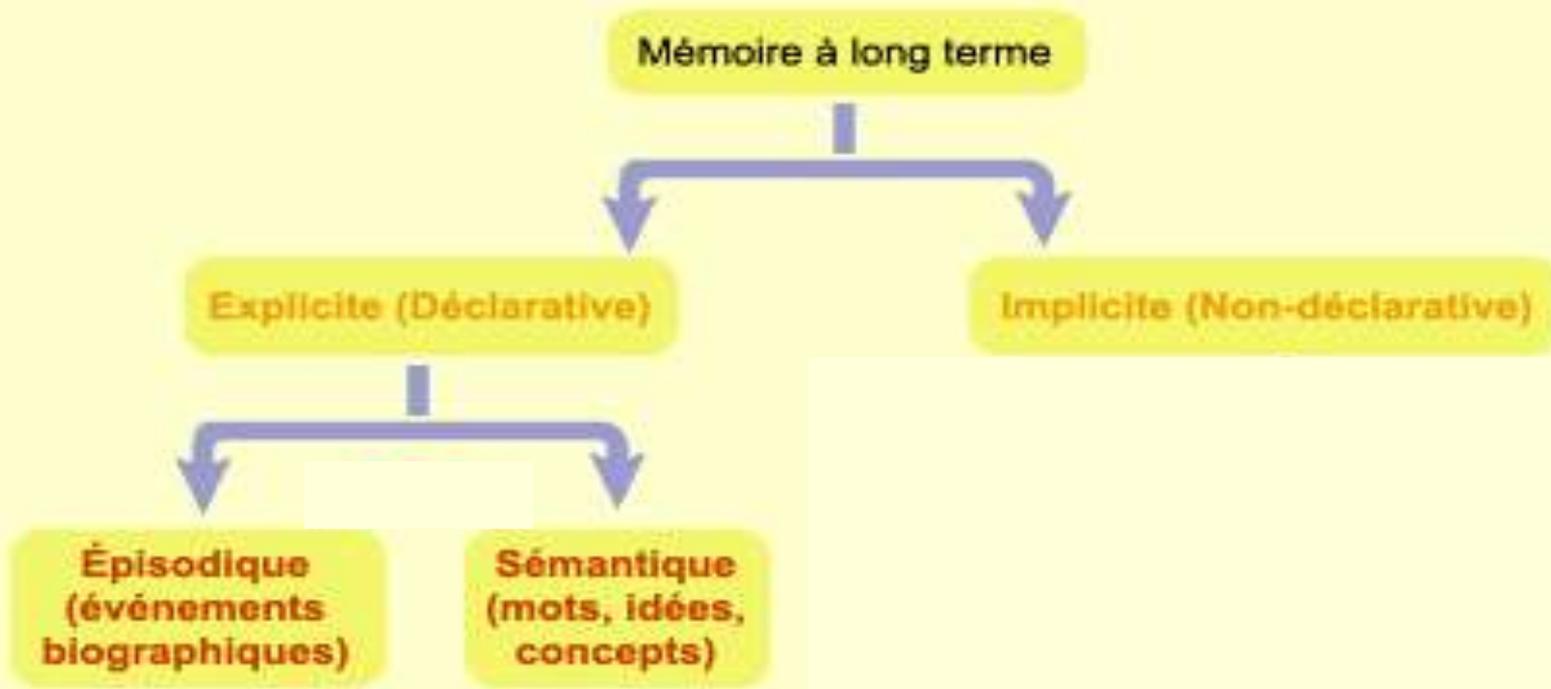
**Habitude**  
**Sensibilisation**

Associatives

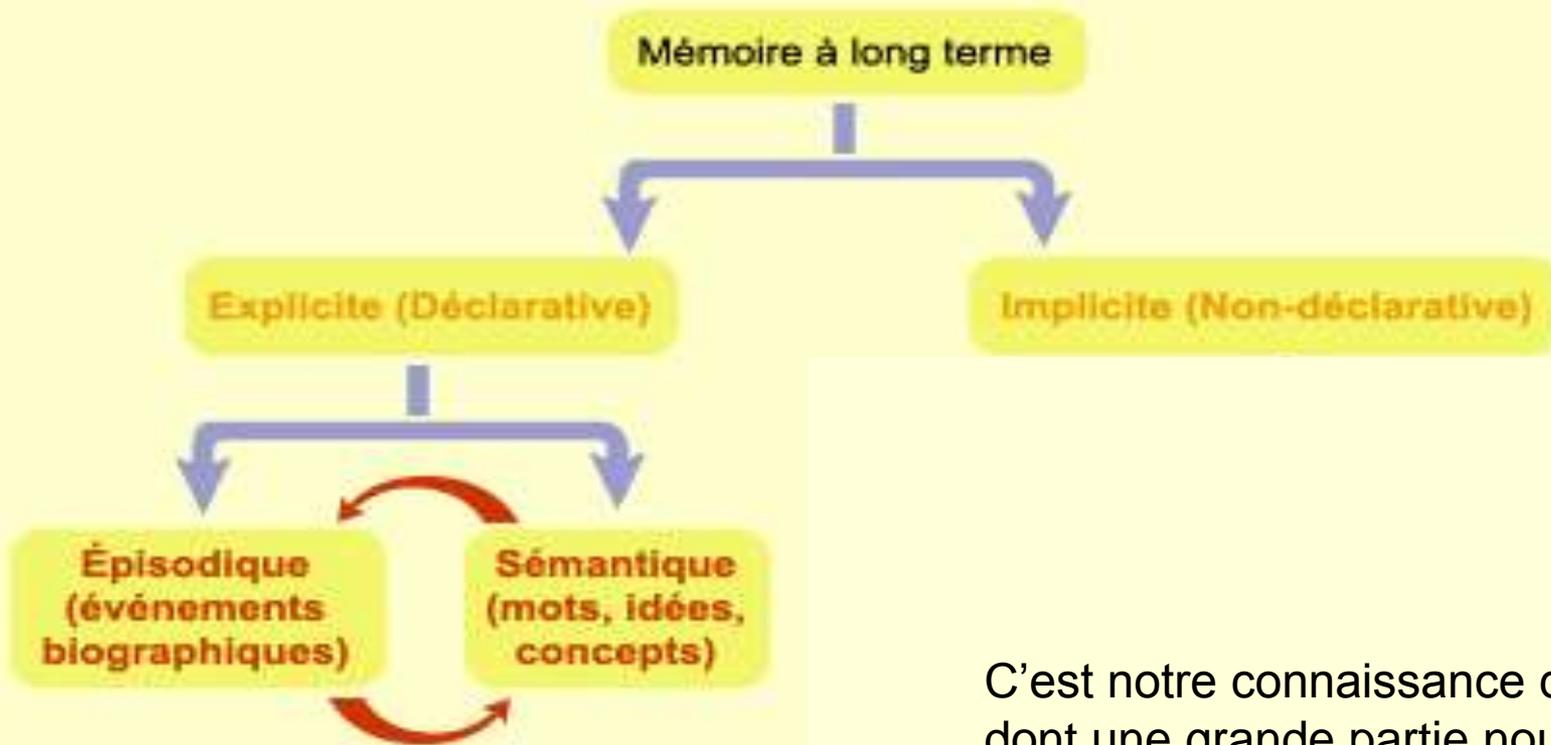
**Conditionnement**  
**classique et opérant**

**Procédurale**  
(habiletés)





On est l'acteur des événements qui sont mémorisés avec tout leur contexte et leur charge émotionnelle.



C'est notre connaissance du monde dont une grande partie nous est accessible rapidement et sans effort.

La mère de Toto

Elle devient indépendante du contexte spatio-temporel de son acquisition.

# L'oubli, mécanisme clé de la mémoire

[http://www.lemonde.fr/sciences/article/2017/08/21/l-oubli-mecanisme-cle-de-la-memoire\\_5174858\\_1650684.html](http://www.lemonde.fr/sciences/article/2017/08/21/l-oubli-mecanisme-cle-de-la-memoire_5174858_1650684.html)

21/08/2017

C'est parce que **les détails de nos souvenirs s'effacent** que nous pouvons agir et nous adapter au quotidien.

Une « bonne mémoire » doit [...] **parvenir à effacer l'accessoire, le superflu.**

Cet oubli « positif » nous permet de **forger des concepts, des catégories et des analogies** [ cours #7 ! ]

et d'adapter nos comportements aux **situations nouvelles.**

Elle devient indépendante du contexte spatio-temporel de son acquisition.

Mémoire à long terme

Explicite (Déclarative)

Implicite (Non-déclarative)

Épisodique  
(événements  
biographiques)

Sémantique  
(mots, idées,  
concepts)

Non associatives

**Habitude**  
**Sensibilisation**

Associatives

**Conditionnement**  
**classique et opérant**

**Procédurale**  
(habiletés)

## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

**Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »**

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

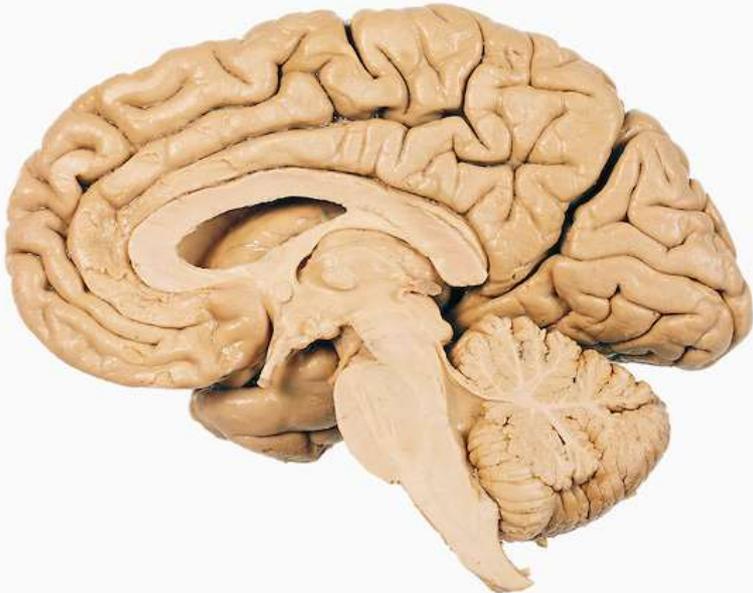
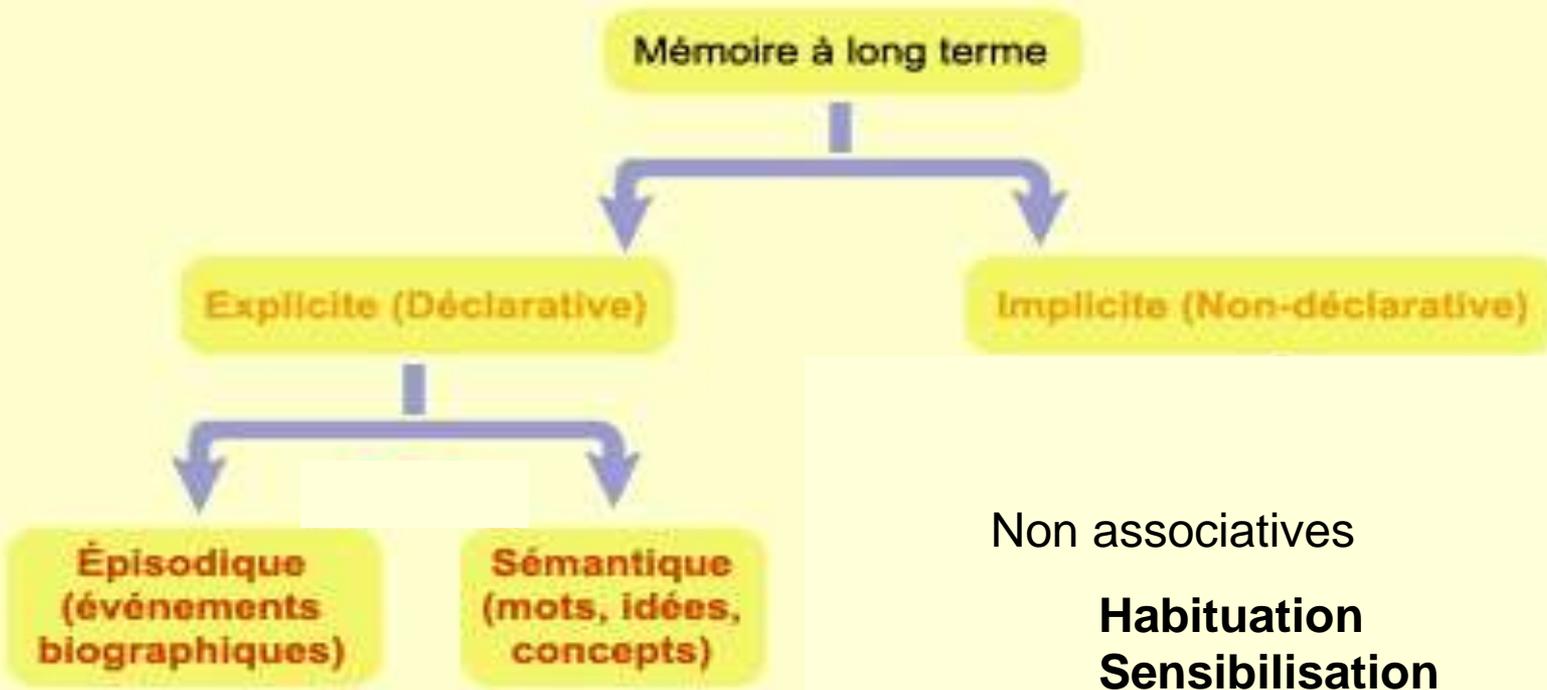
### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

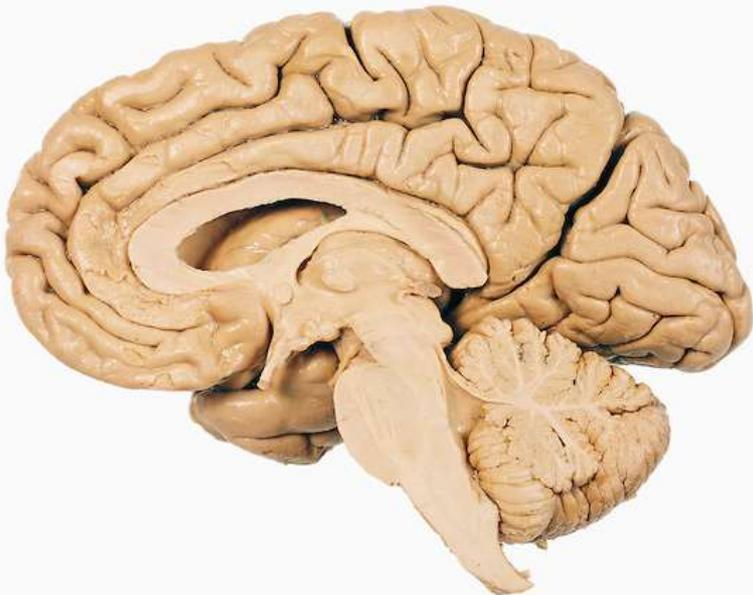


Où ?

**Peut-on associer ces différents types de mémoires à différentes structures cérébrales ?**

Sans entrer dans toute la question de la **spécialisation des aires cérébrales** que nous allons aborder la semaine prochaine,

on peut dire de manière générale que les différents mécanismes associés à ces différents types de mémoire ne sont pas répartis uniformément dans le cerveau.



**Où ?**

## Mémoire à long terme

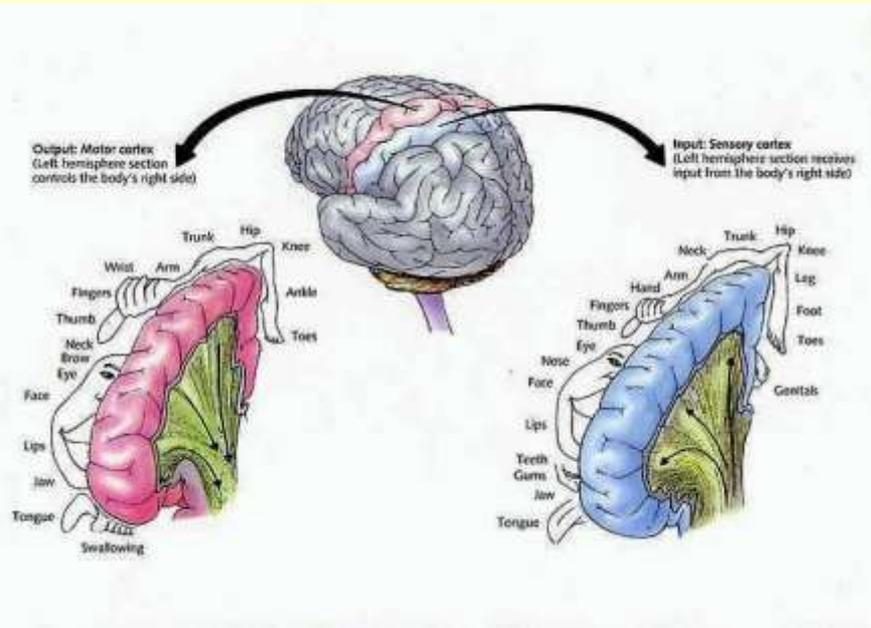
Implicite (Non-déclarative)

Non associatives

**Habituation**  
**Sensibilisation**

Associatives

**Conditionnement**  
**classique**



# Mémoire à long terme

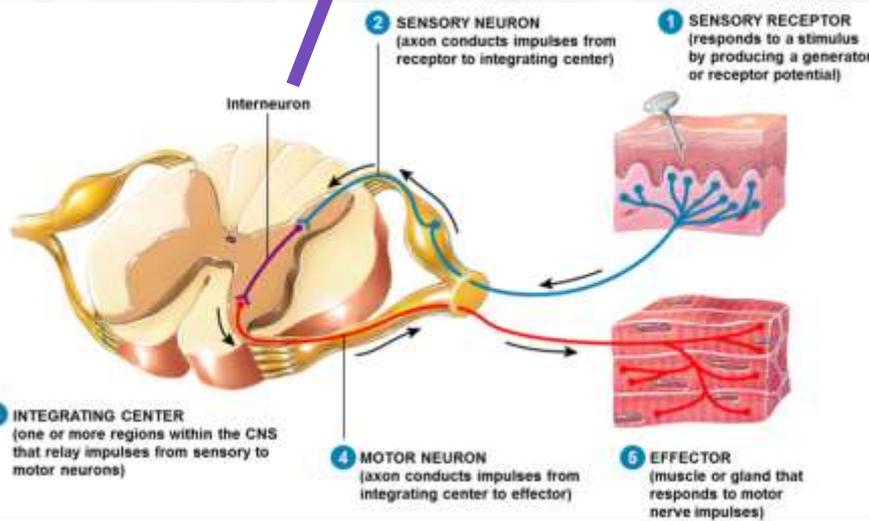
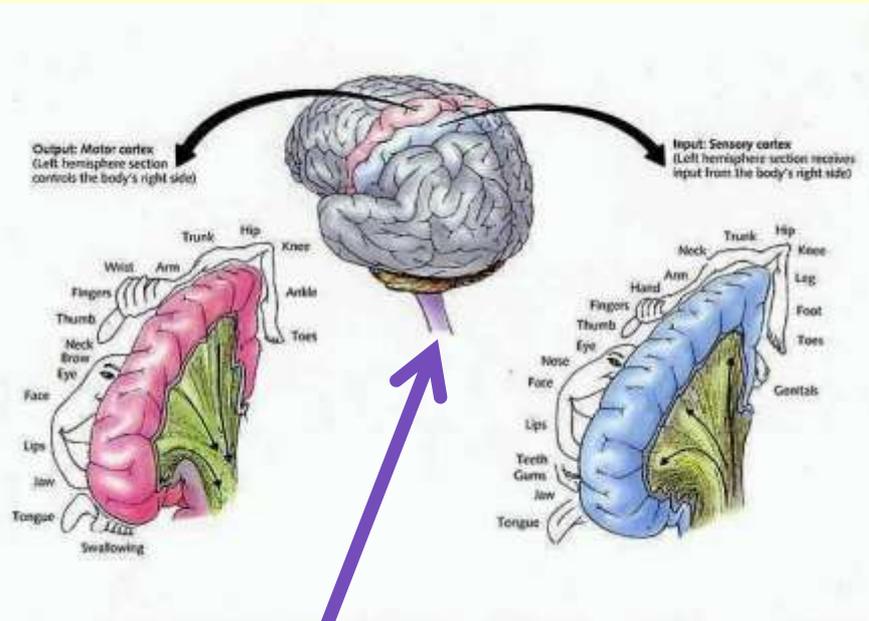
**Implicite (Non-déclarative)**

Non associatives

**Habituation**  
**Sensibilisation**

Associatives

**Conditionnement classique**



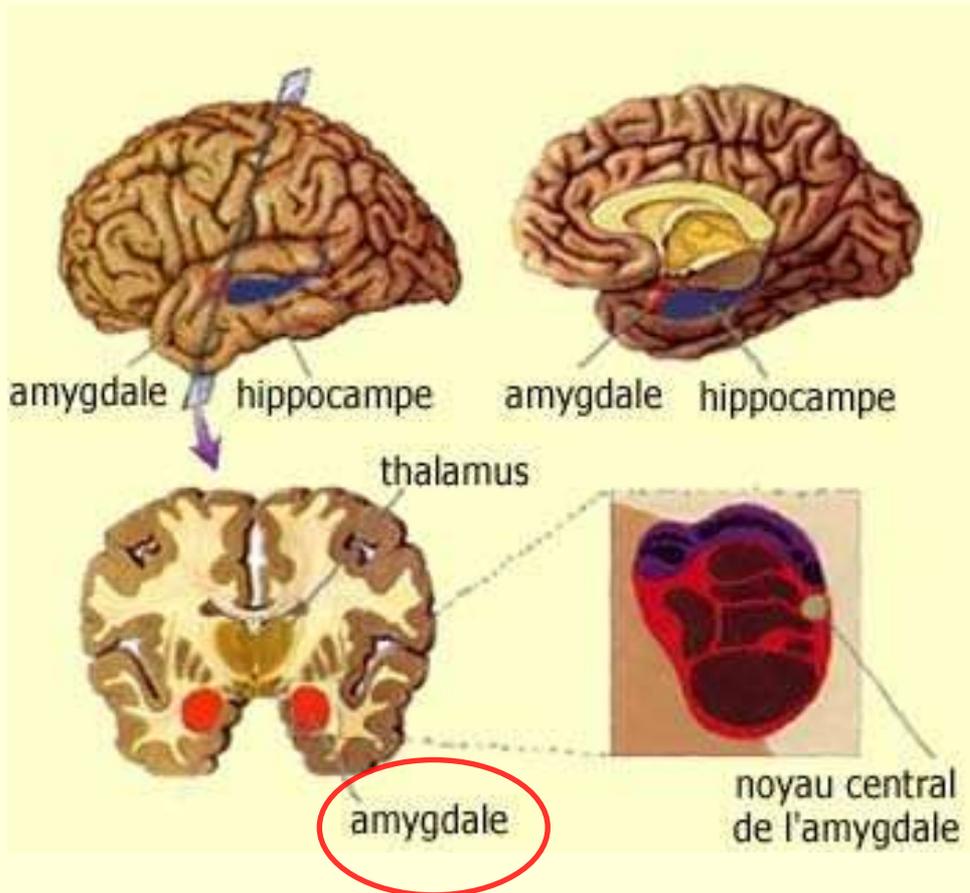


Peur conditionnée

Mémoire à long terme



Implicite (Non-déclarative)



Non associatives

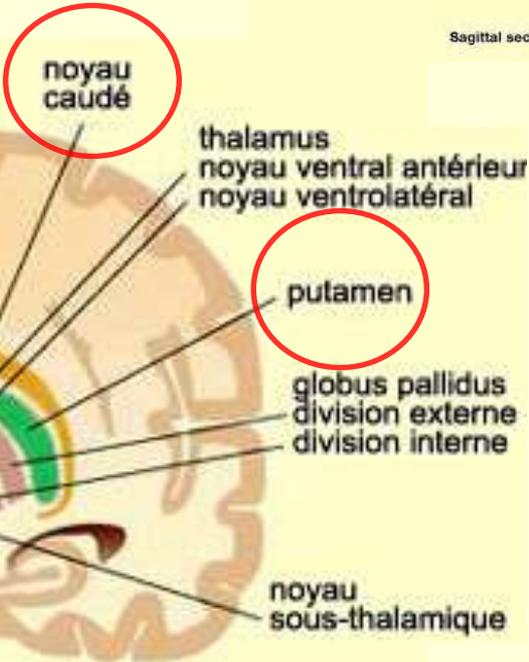
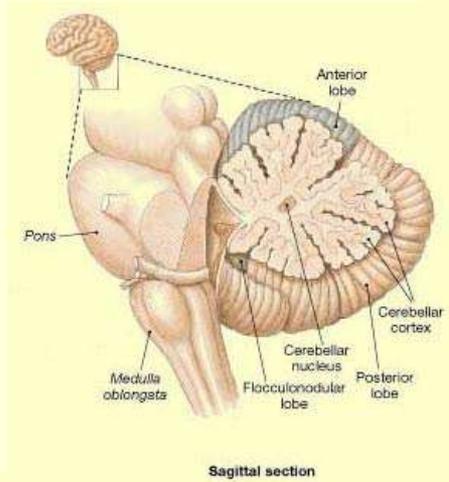
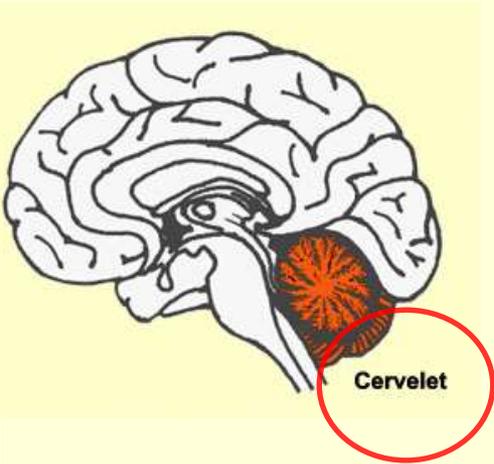
**Habituation**  
**Sensibilisation**

Associatives

**Conditionnement**  
**classique**

Mémoire à long terme

Implicite (Non-déclarative)

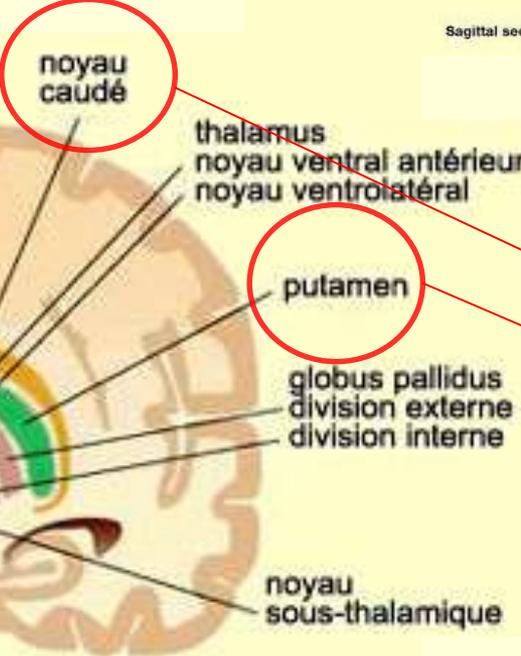
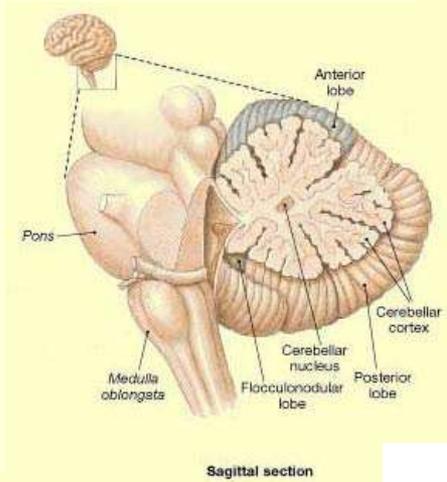
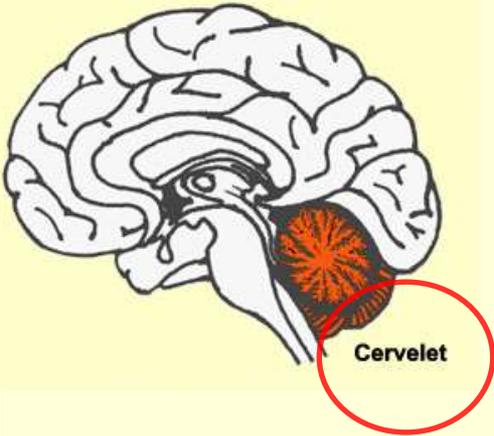


**Conditionnement opérant**

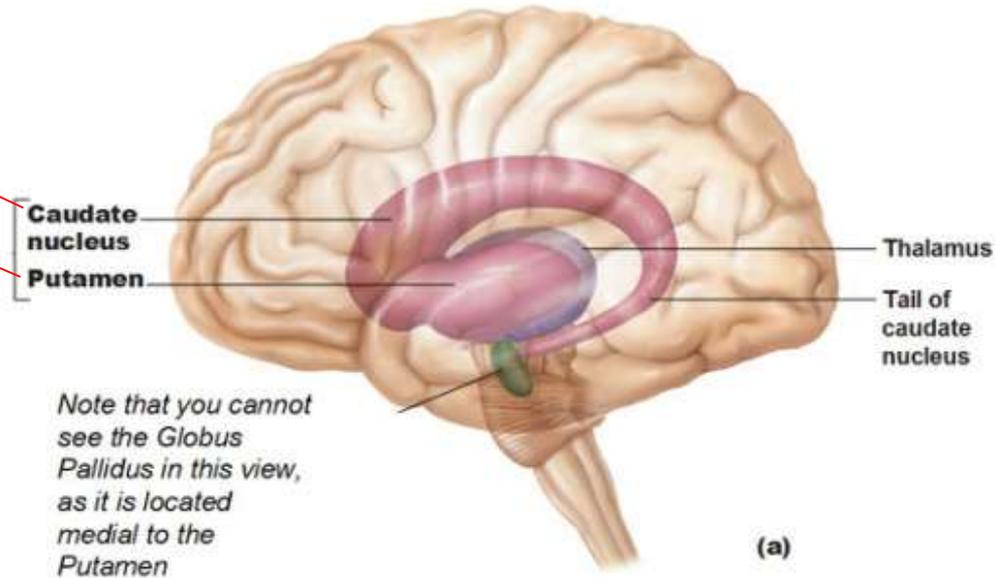
**Procédurale (habiletés)**

# Mémoire à long terme

Implicite (Non-déclarative)



# Basal Ganglia

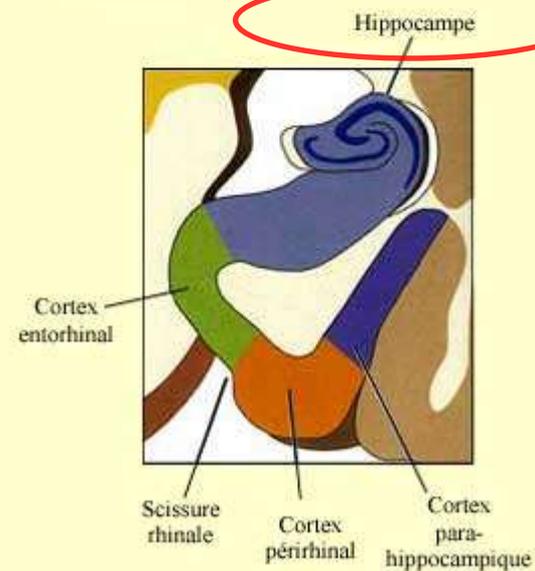
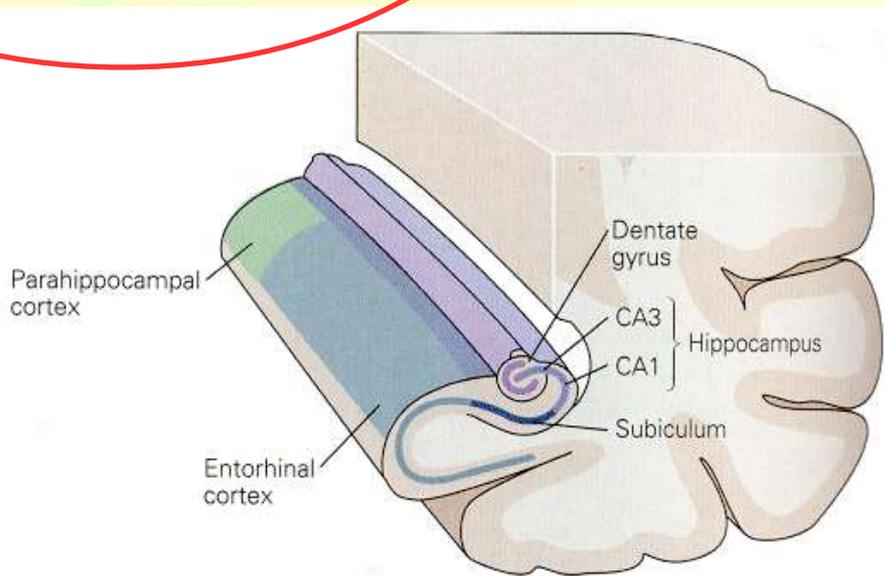
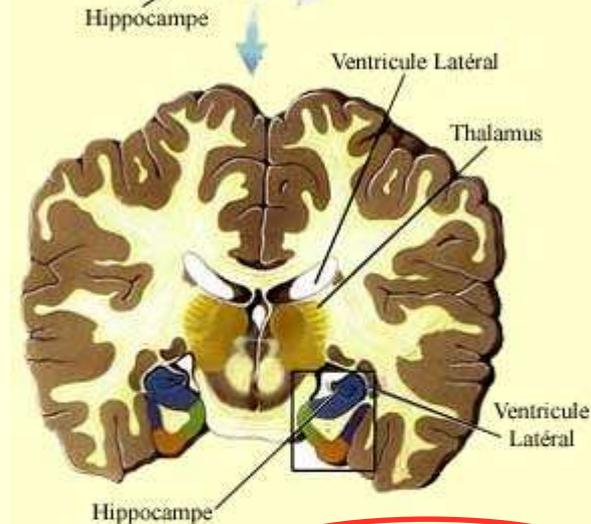
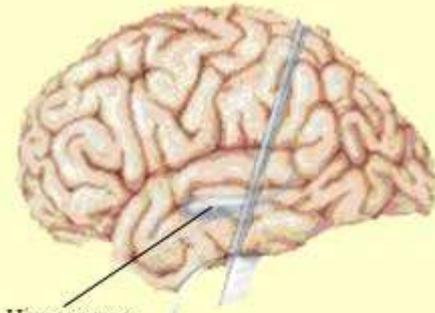


# Mémoire à long terme

## Explicite (Déclarative)

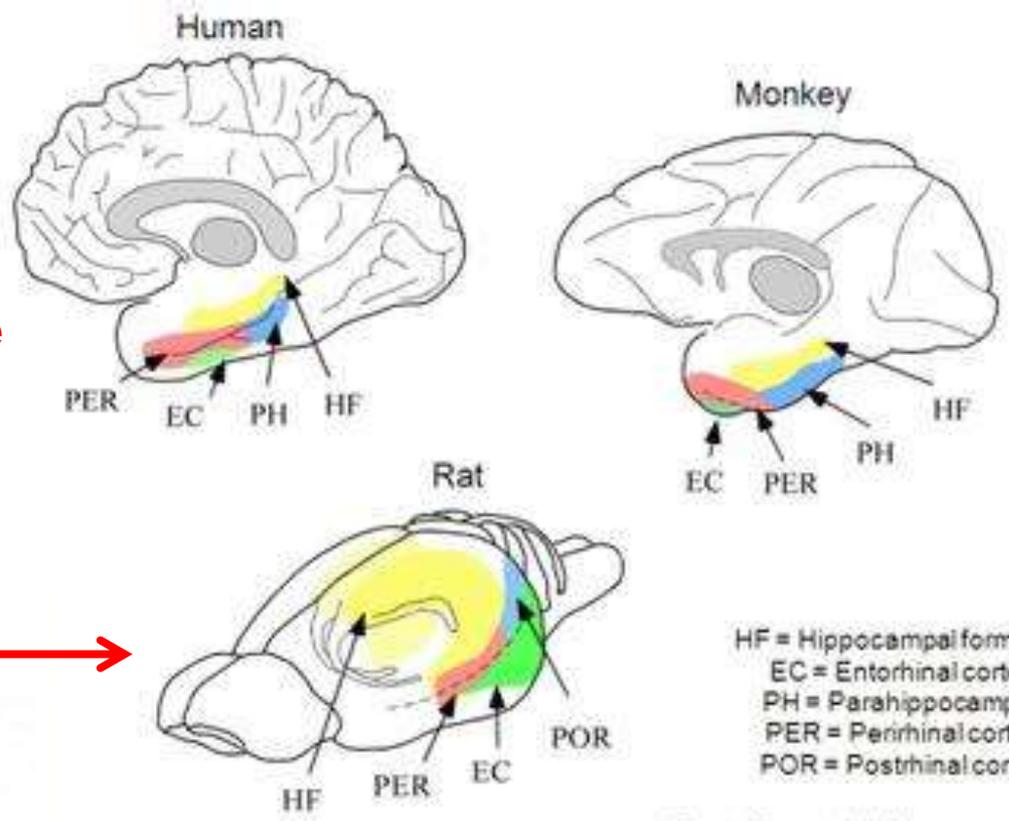
Épisodique  
(événements  
biographiques)

Sémantique  
(mots, idées,  
concepts)

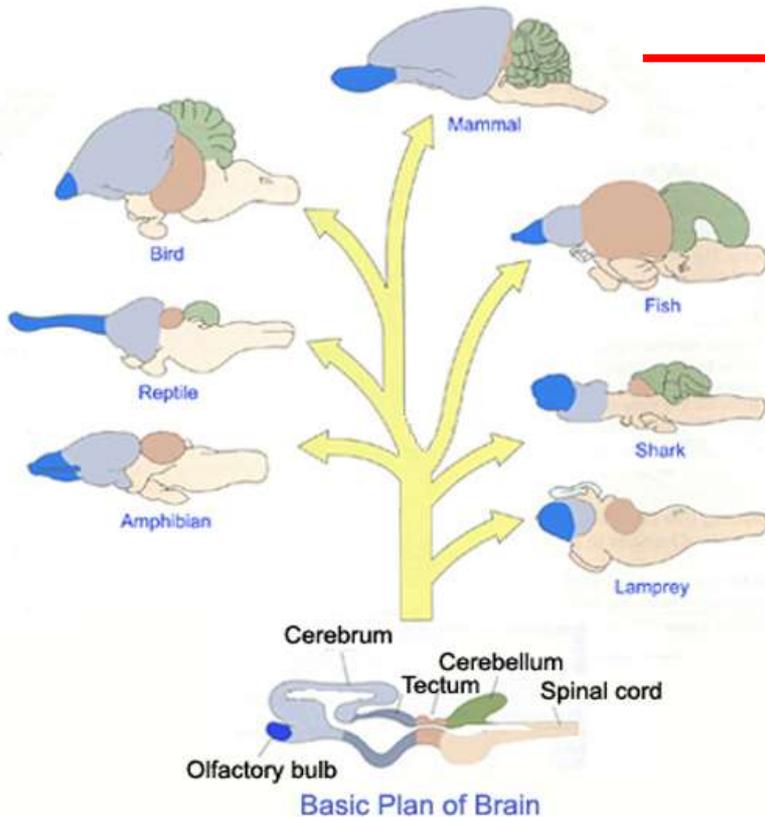




**Navigation spatiale + Mémoire déclarative**



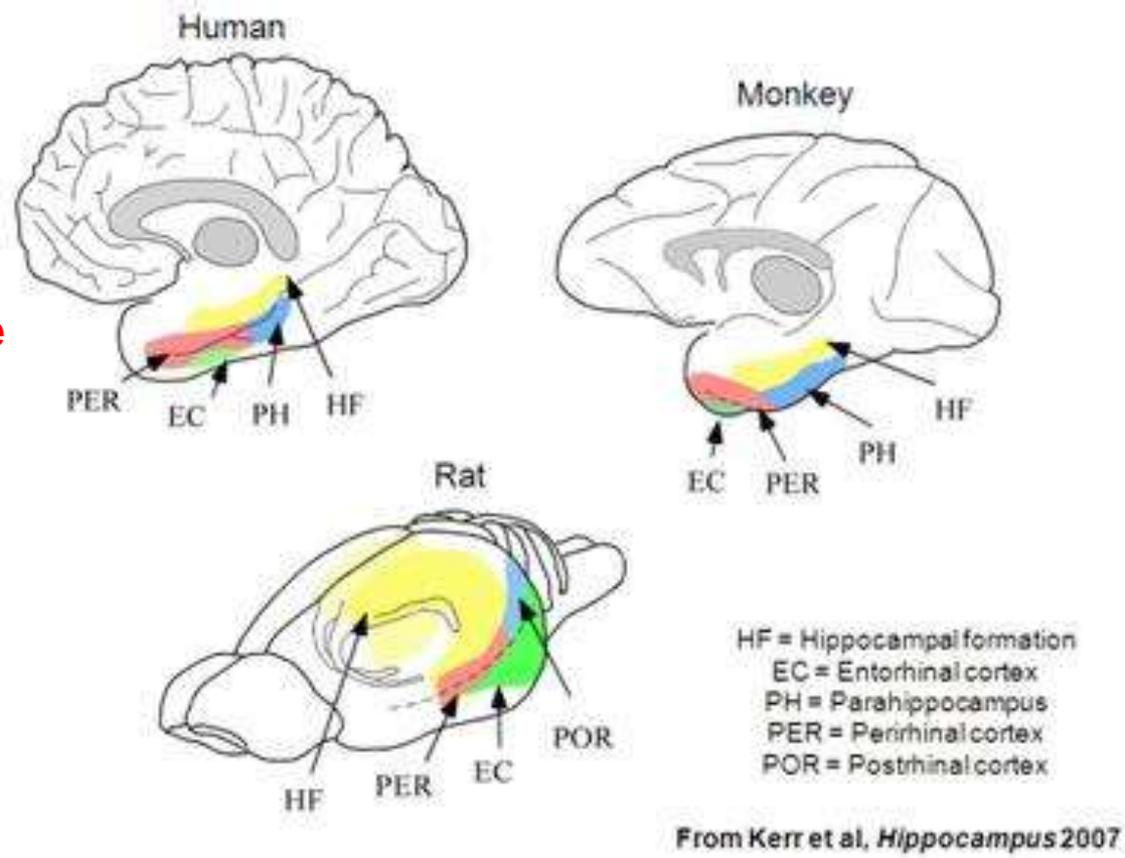
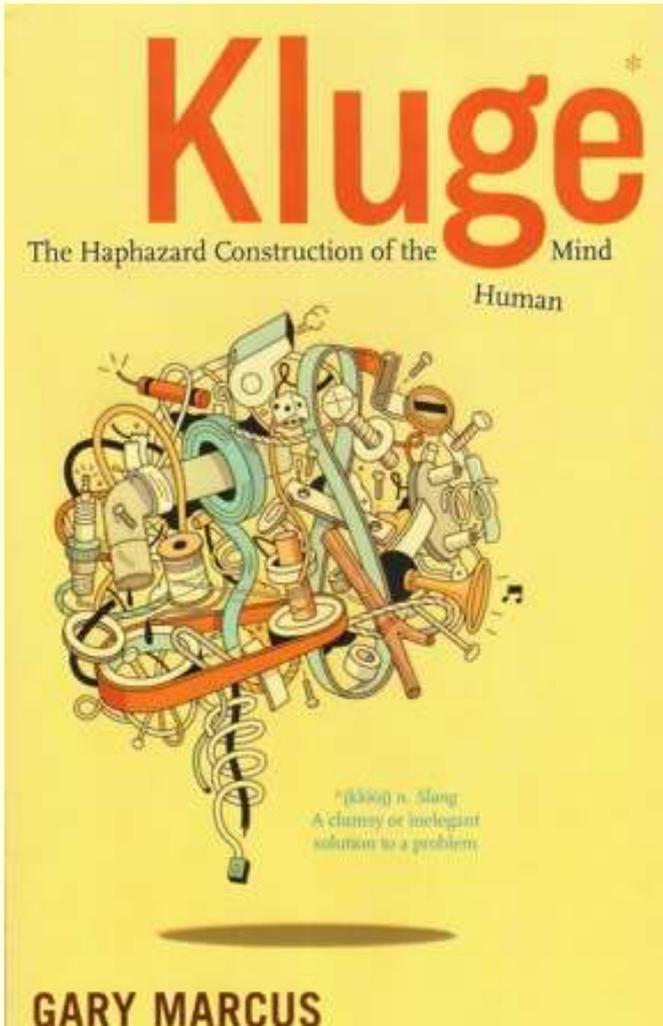
From Kerr et al, *Hippocampus* 2007



**Navigation spatiale**



**Navigation  
spatiale  
+  
Mémoire  
déclarative**



**Navigation spatiale**

**« Recyclage neuronal »**

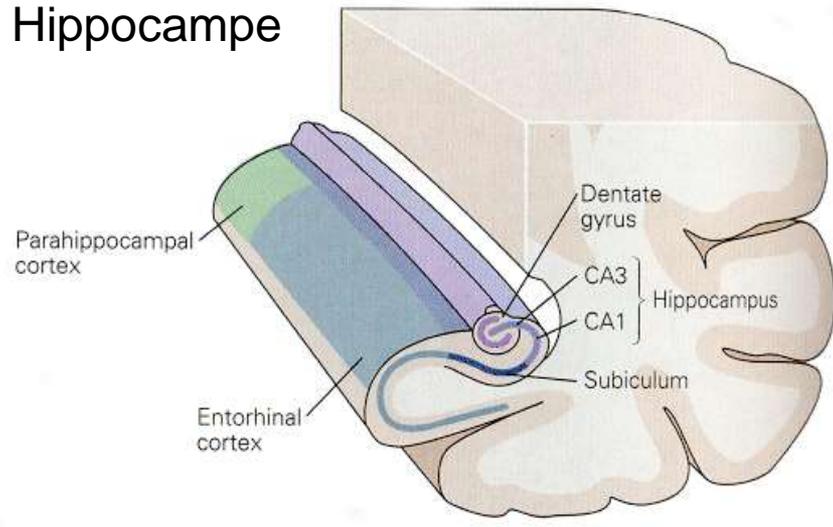
Autre exemple avec **le langage** qui comprend :

- **le lexique** : mots et leur signification, irrégularités de certains verbes
- **la grammaire** : règles, hiérarchies

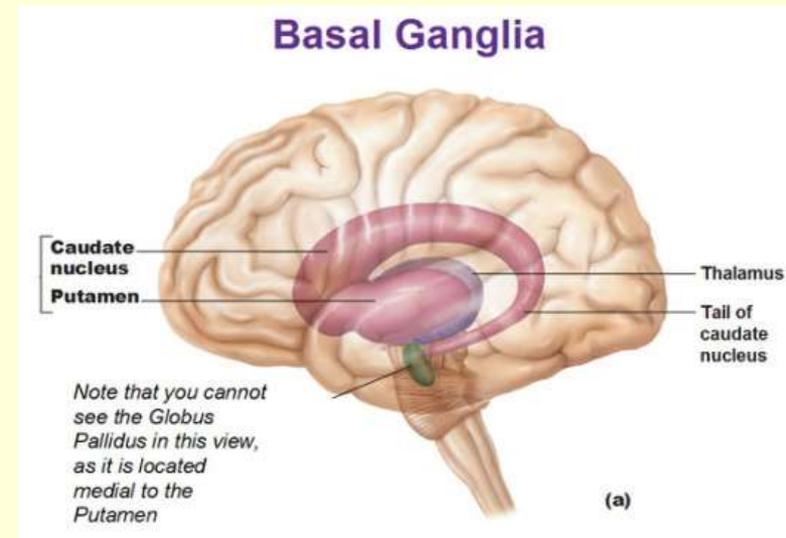
Pris en charge par la **mémoire déclarative** qui est impliquée dans l'apprentissage explicite d'items et d'événements arbitraires.

Pris en charge par la **mémoire procédurale** qui est impliquée dans l'apprentissage implicite de séquences, de règles ou de catégories.

## Hippocampe



## Basal Ganglia



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

**L'hippocampe à la lumière du patient H.M.**

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

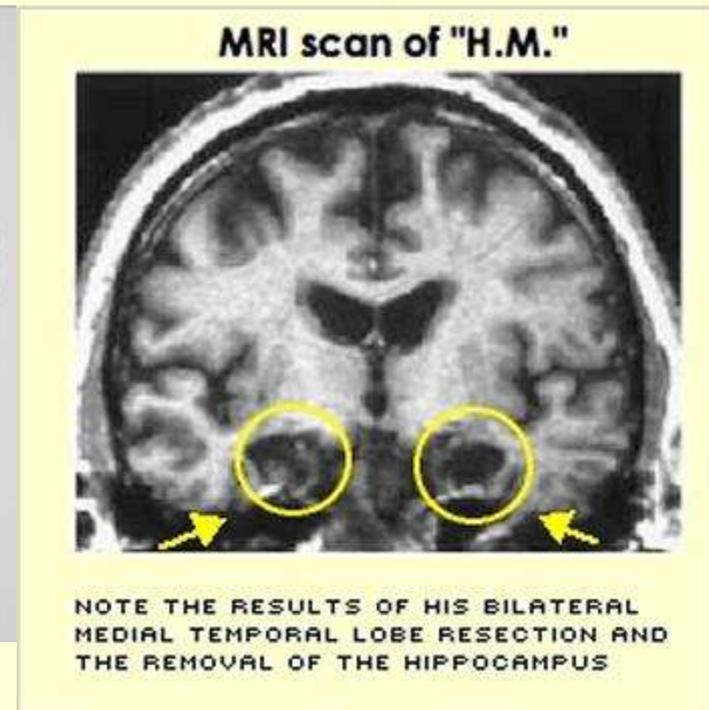
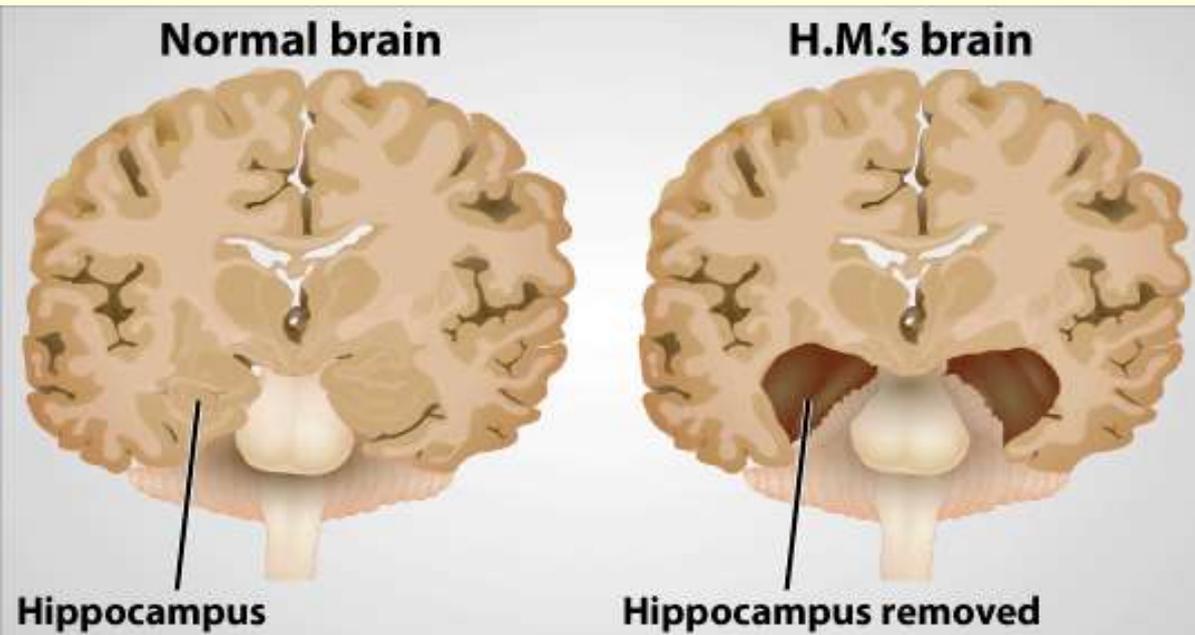
L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

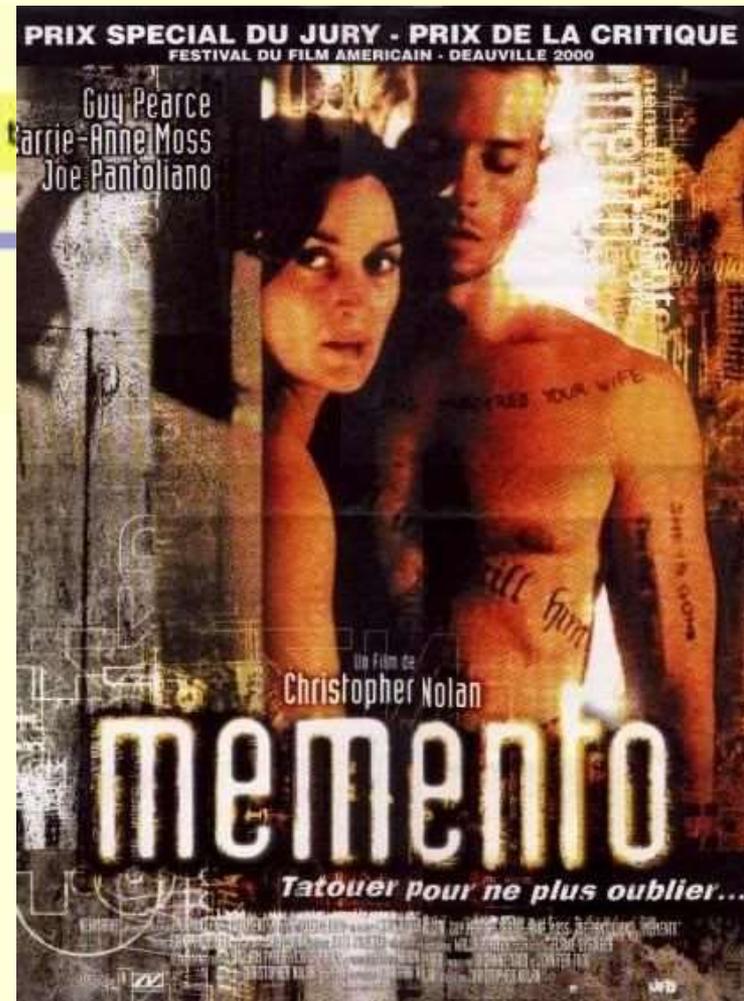
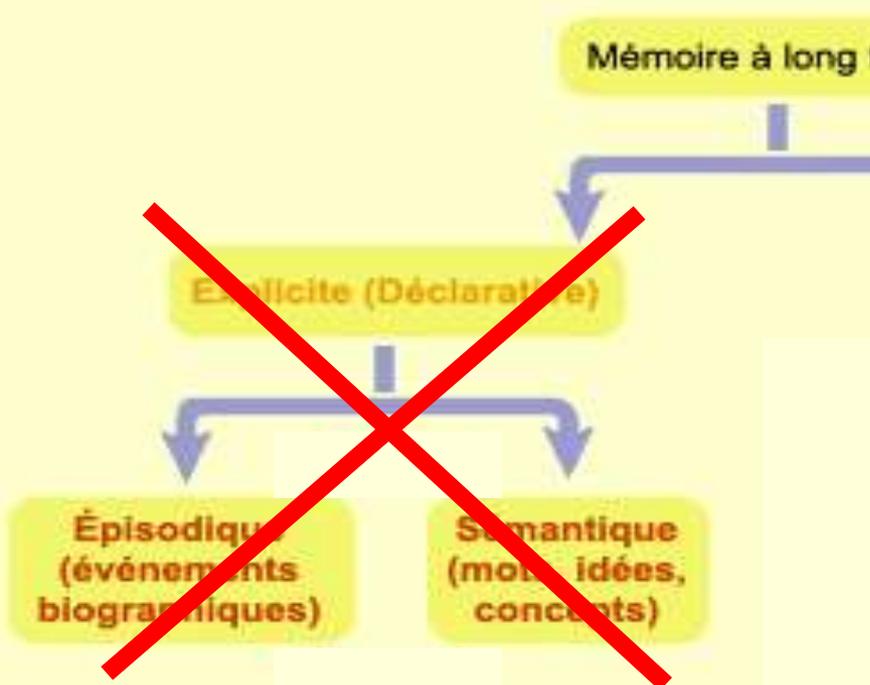


La personne ayant probablement contribué plus que quiconque à notre compréhension de la mémoire humaine (décédé en décembre 2008 à l'âge de 82 ans).

**Henry Molaison** (le fameux « patient H.M. ») était un jeune épileptique auquel on avait enlevé en 1953, à l'âge de 27 ans, les deux **hippocampes** cérébraux pour diminuer ses graves crises d'épilepsie.



L'opération fut un succès pour contrôler l'épilepsie mais eut un effet secondaire imprévu : **H.M. avait perdu la capacité de retenir de nouvelles informations sur sa vie ou sur le monde** (mémoire déclarative).

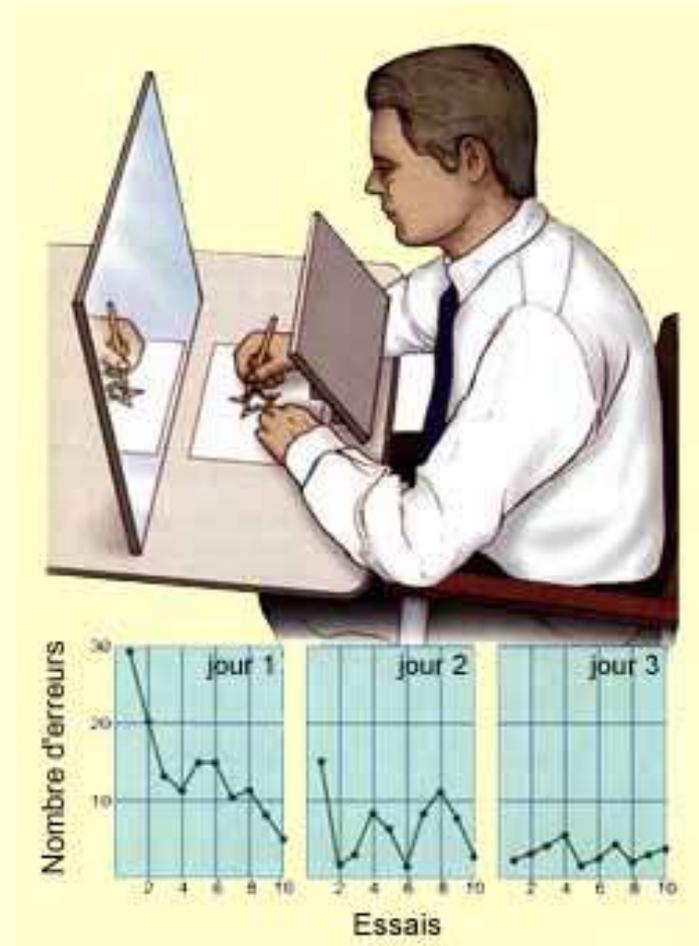


L'opération fut un succès pour contrôler l'épilepsie mais eut un effet secondaire imprévu : **H.M. avait perdu la capacité de retenir de nouvelles informations sur sa vie ou sur le monde** (mémoire déclarative).

Mais...



La **mémoire procédurale**, faite d'automatismes sensorimoteurs inconscients, **était préservée**, ce qui suggérait des voies nerveuses différentes.



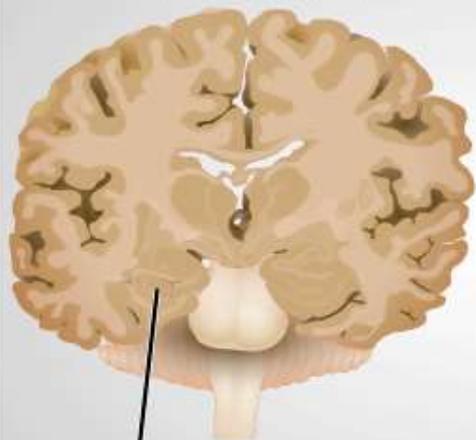
Mémoire à long terme

~~Explicite (Déclarative)~~

~~Épisodique  
(événements  
biographiques)~~

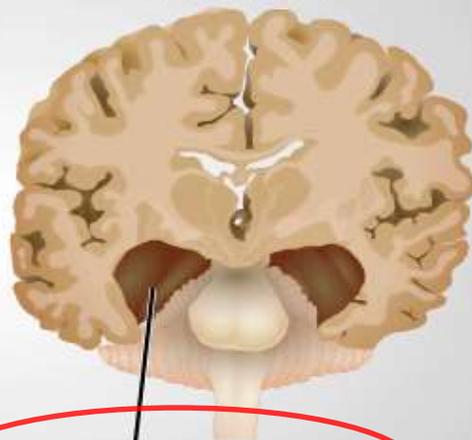
~~Sémantique  
(mots, idées,  
concepts)~~

Normal brain



Hippocampus

H.M.'s brain

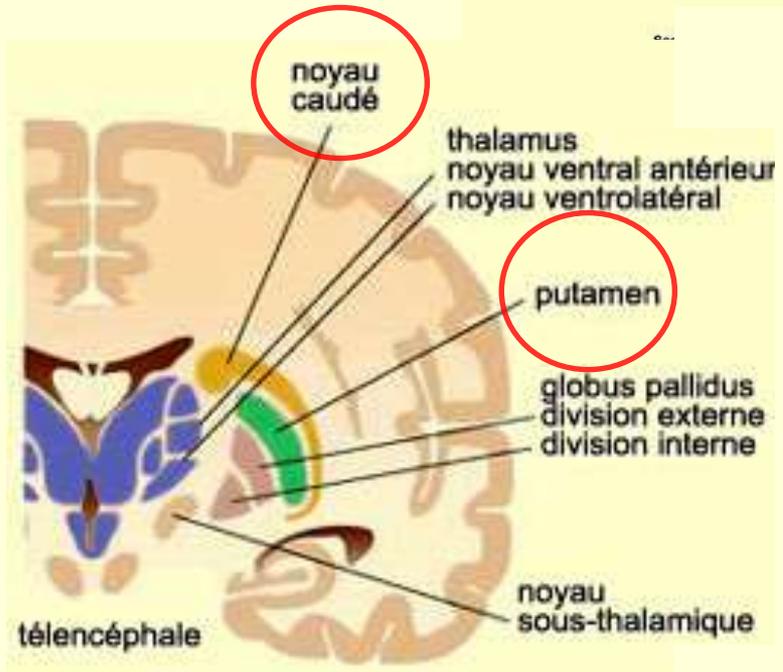
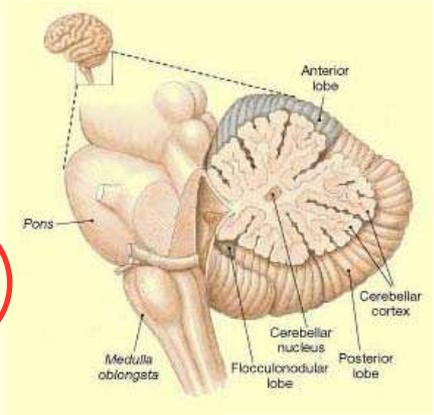
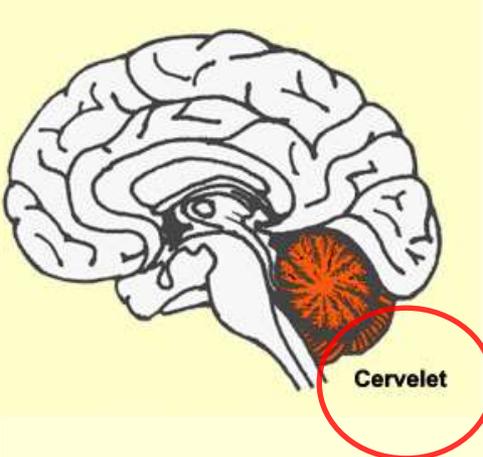


Hippocampus removed

Mémoire à long terme

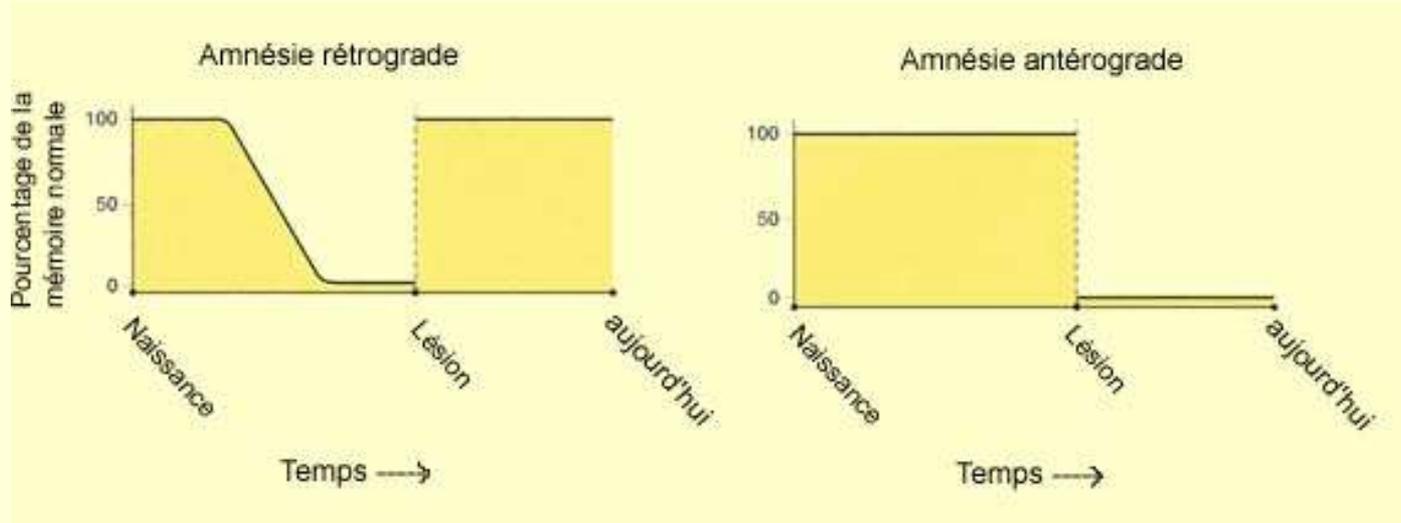
Implicite (Non-déclarative)

Procédurale  
(habiletés)



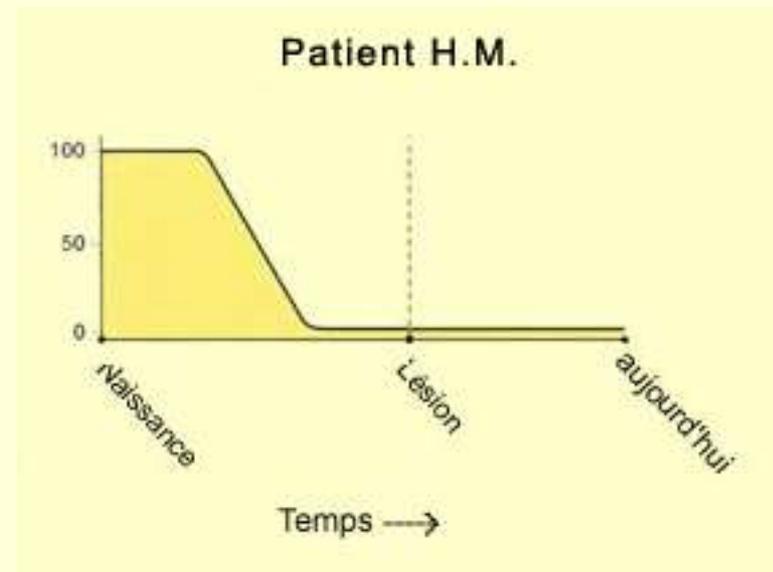
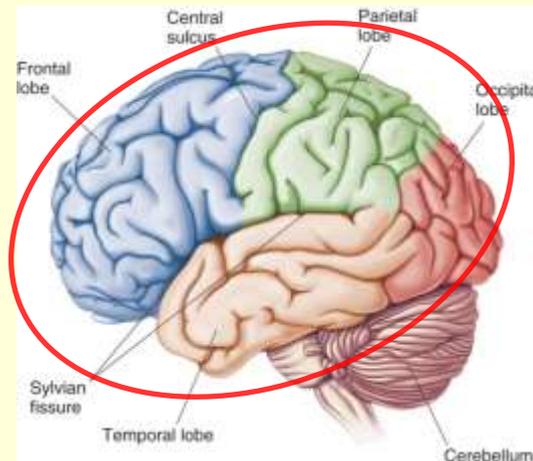
- En plus de cette amnésie « antérograde », H.M. avait une amnésie « **rétrograde** » **graduelle** (avait oublié ce qui s'était passé avant l'opération, mais avait gardé ses souvenirs anciens, d'enfance, etc.)





Les très vieux souvenirs semblent pouvoir se passer de l'hippocampe,

comme si la trace pouvait être transférée au cortex...



→ On a découvert des connexions excitatrices très fortes entre les neurones pyramidaux et des interneurons inhibiteurs qui **sont extrêmement plastiques** et qui seraient spécifique au **cortex** humain.

**Plasticity in Single Axon  
Glutamatergic Connection to GABAergic Interneurons  
Regulates Complex Events in the Human Neocortex**

November 9, **2016**

<http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.2000237>

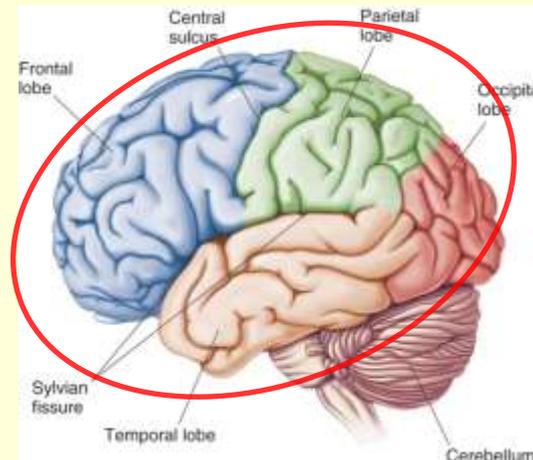
**Are human-specific plastic  
cortical synaptic connections what makes us human?**

February 01, **2017**

[http://mindblog.dericbownds.net/2017/02/are-human-specific-plastic-cortical.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29](http://mindblog.dericbownds.net/2017/02/are-human-specific-plastic-cortical.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29)

Les très vieux  
**souvenirs** semblent  
pouvoir se passer de  
l'hippocampe,

comme si la trace  
pouvait être  
transférée au  
cortex...



Mais lesquels ?

Épisodiques ?

Sémantiques ?

# Neuropsychologue, 97 ans et toujours au travail

Mardi 9 février 2016

[http://ici.radio-  
canada.ca/emissions/le\\_15\\_18/2014-  
2015/chronique.asp?idChronique=397417](http://ici.radio-canada.ca/emissions/le_15_18/2014-2015/chronique.asp?idChronique=397417)



Brenda Milner, neuropsychologue à  
l'Université McGill Photo : Institut de  
neurologie de Montréal / Université McGill

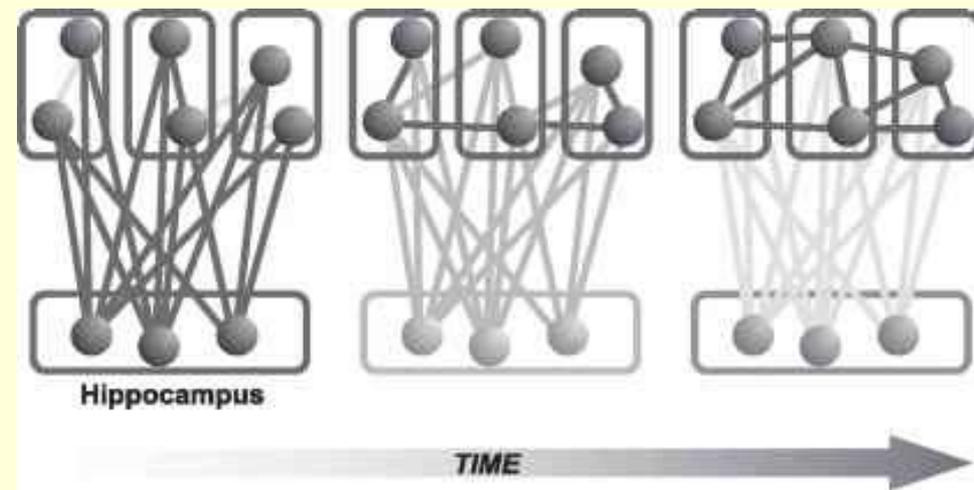
La professeure [Brenda Milner](#),  
scientifique de renommée mondiale et  
pionnière de la neuropsychologie, a fêté  
son **100e** anniversaire le **15 juillet 2018** !

<http://click.mailsender05.com/m/1679/m/1923829/ba82c8f671981fc0e03b8e14859cc221>

- L'hippocampe réalise un système de mémoire conservant l'information d'une à deux années précédentes
- L'hippocampe sert à la consolidation de mémoires emmagasinées ailleurs
- L'hippocampe n'est pas impliqué dans l'apprentissage procédural.

## Le « modèle de la consolidation standard »

- Les souvenirs sont formés en premier dans l'hippocampe
- Avec le temps, ils se transfèrent dans le cortex
- Donc rôle **transitoire** de l'hippocampe



<https://www.alpfmedical.info/remote-memory/the-standard-model-of-memory-consolidation-versus-the-multiple-trace-theory-two-divergent-views-of-the-same-process.html>

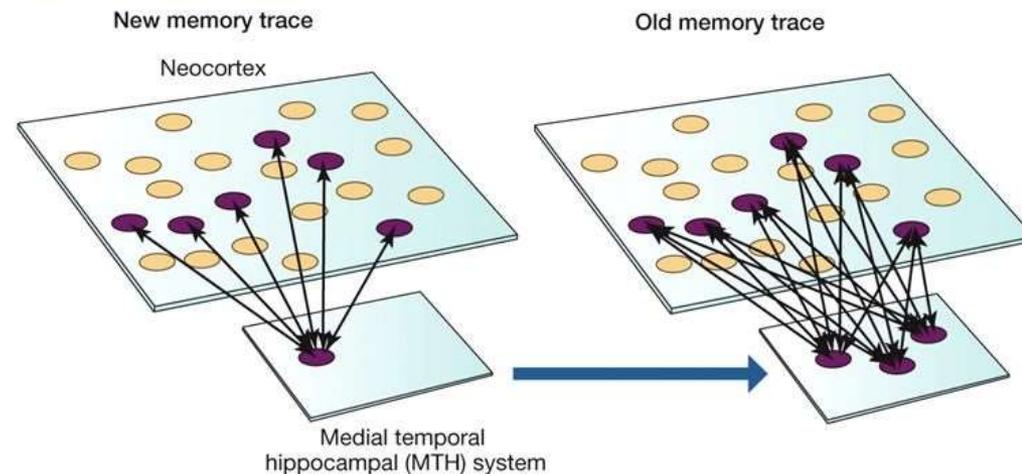
## La « théorie des traces multiples »

(« multiple memory trace theory »)

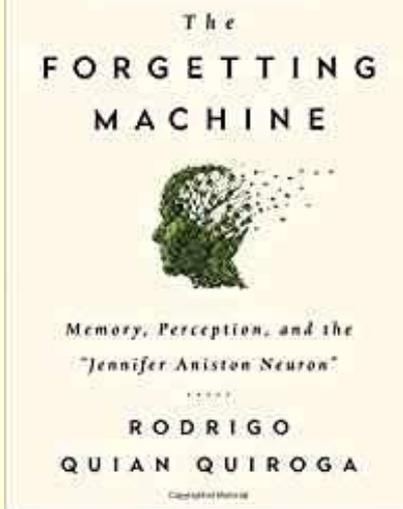
→ Depuis 20 ans, suite à des études de lésions causant des amnésies...

- Les souvenirs sont encore formés en premier dans l'hippocampe
- Mais seulement les souvenirs **sémantiques** seront encodés dans le **cortex** (et + de réactivations = + d'index créés dans l'hippocampe)
- Les souvenirs **épisodiques** demeureront dans l'hippocampe

### Multiple Trace Theory

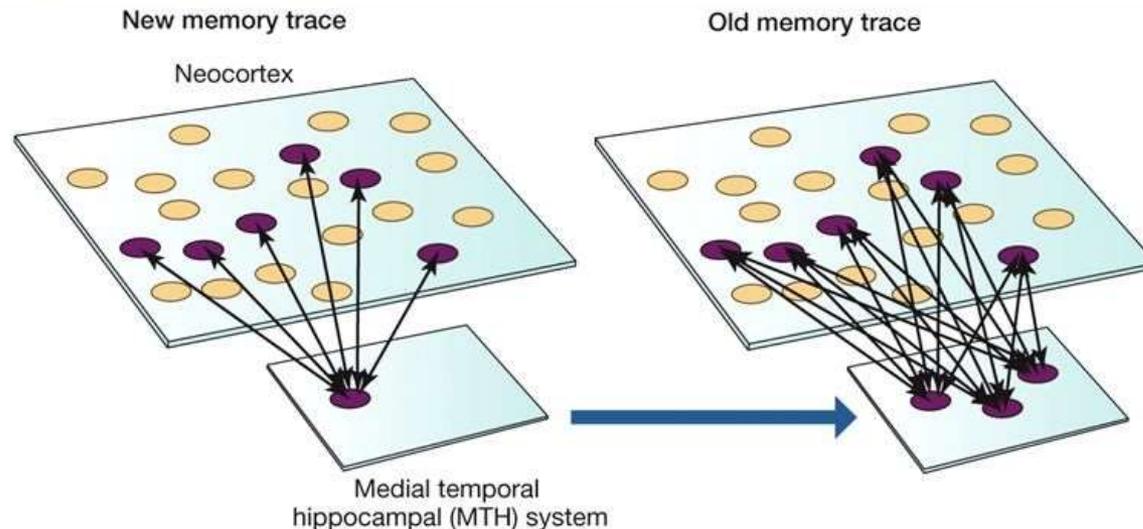


Octobre  
2017



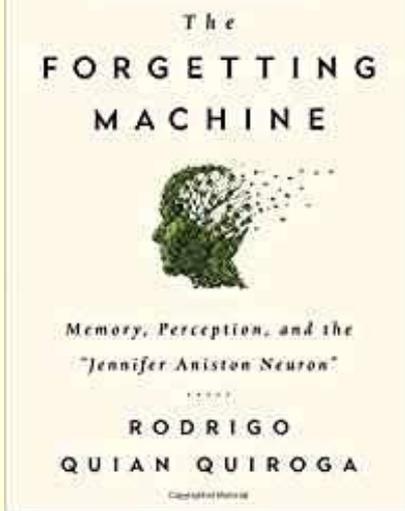
→ La mise en évidence de neurones qui s'activent en réponse aux **concepts** (donc très multimodaux) dans l'hippocampe appuie le second modèle...

## Multiple Trace Theory



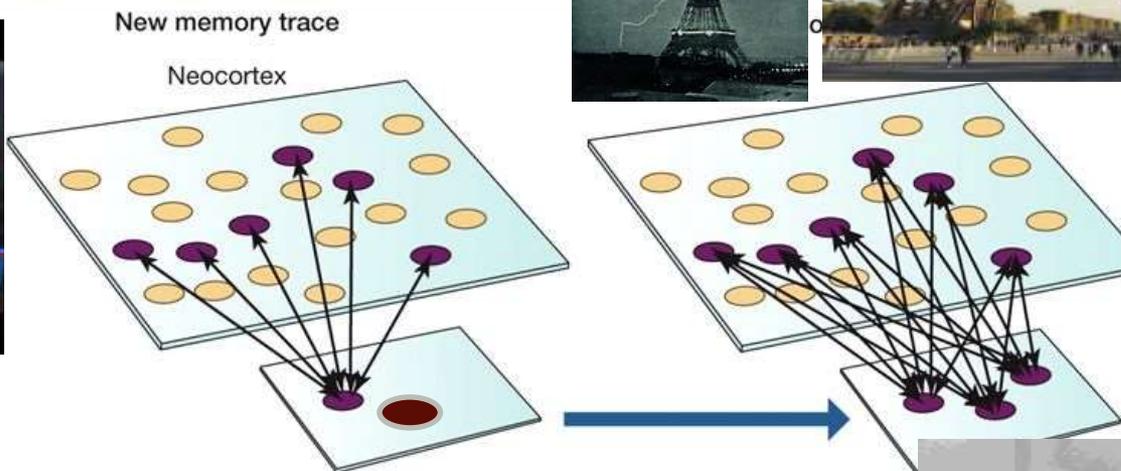
The Brain Science Podcast  
Rodrigo Quian Quiroga: Memory and Perception (BS 141)  
January 25, 2018  
<http://brainsciencepodcast.com/bsp/2018/141-quiroya-memory>

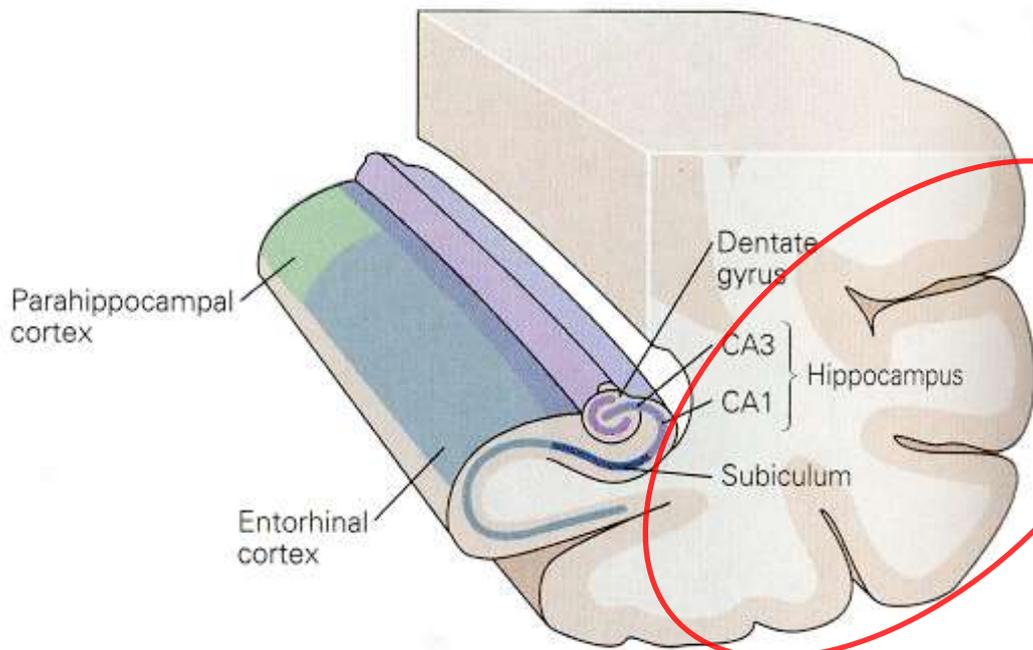
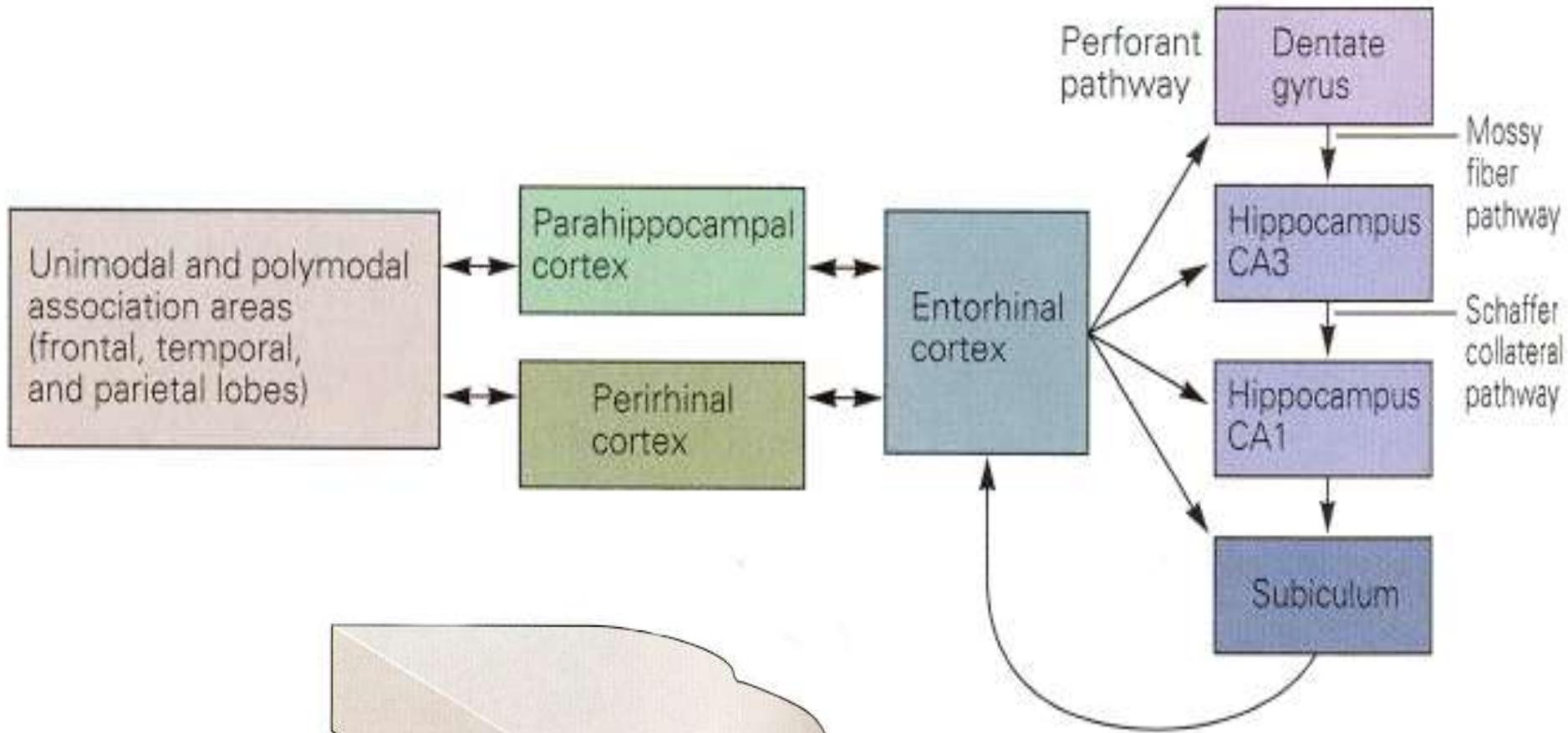
RQ Quiroga, L Reddy, G Kreiman, C Koch, and I Fried. "Invariant visual representation by single neurons in the human brain." *Nature* 435 (2005): 1102-1107.

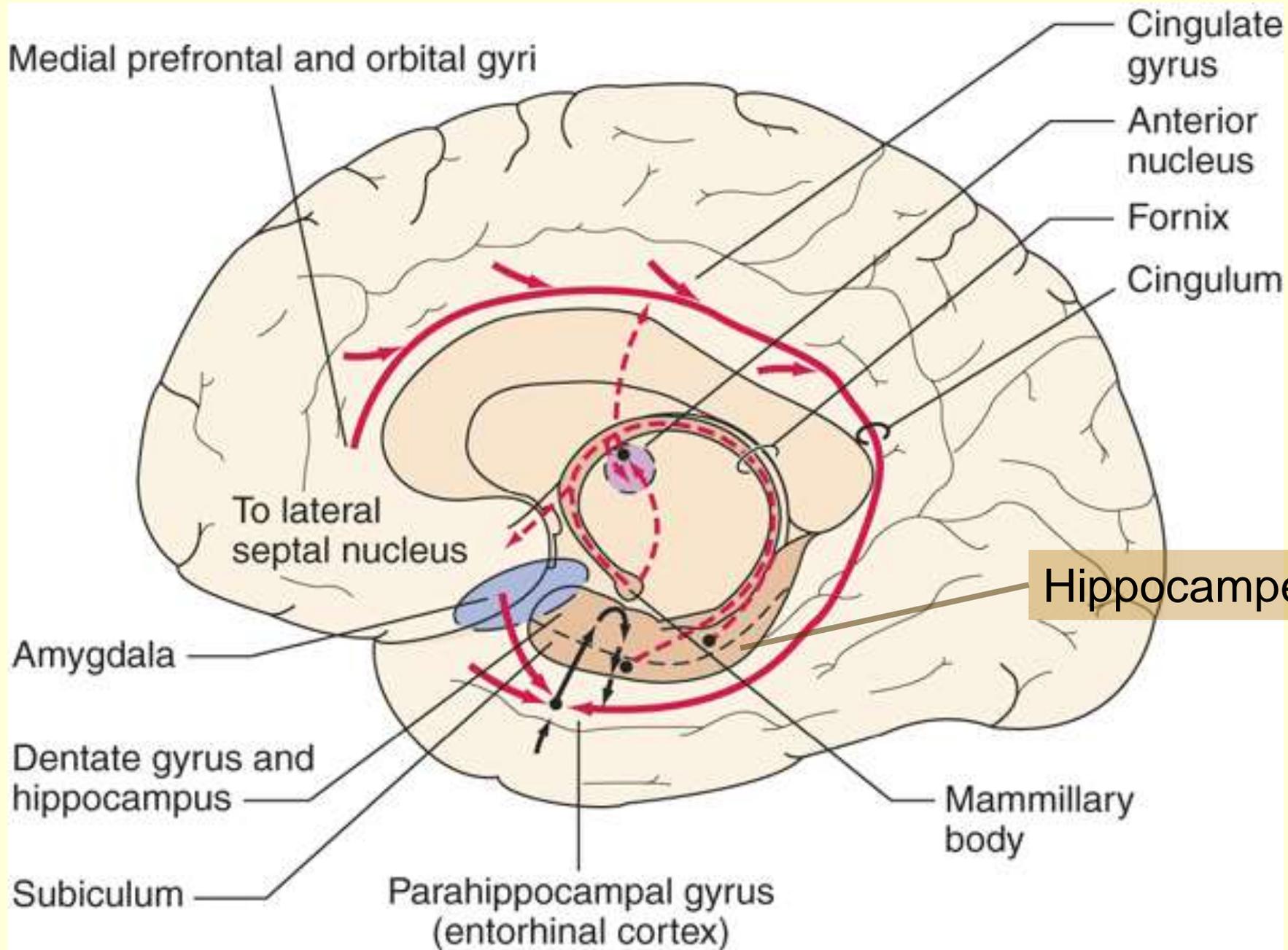


Exemple :

## Multiple Trace Theory







Conférence ISC 28 octobre 2016 :

## «Hippocampal contributions to memory and mental construction»

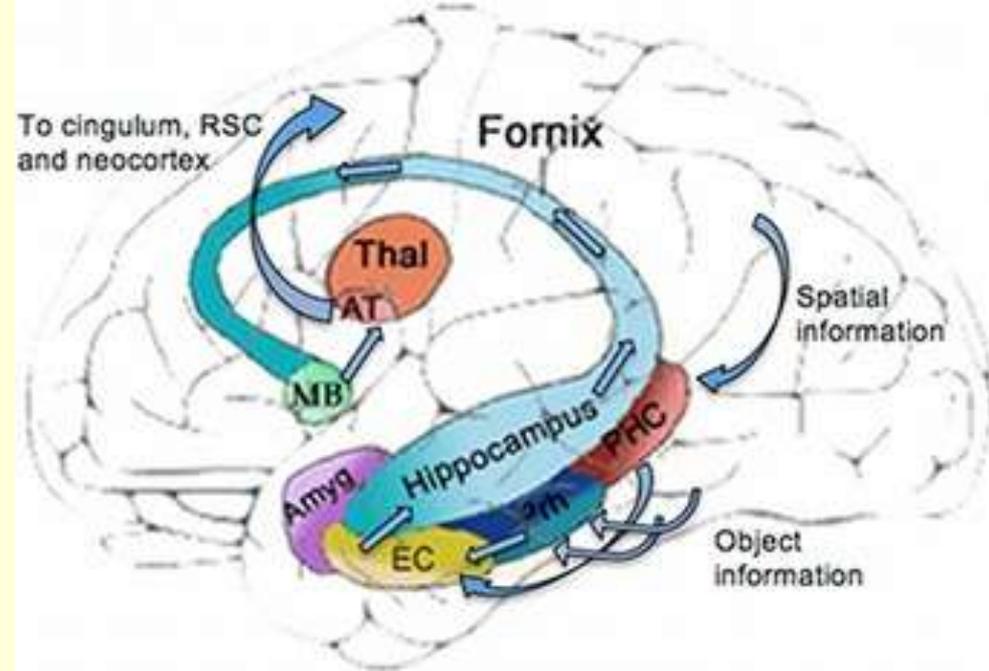
Signy Sheldon, du département de psychologie de l'Université McGill

**Hippocampe** : the « hub » of a network (obtient ses infos des autres régions cérébrales)

Spécialisation fonctionnelle sur son axe longitudinal :

- **Antérieur** : aspects plus larges (thématiques, autobiographique...)
- **Postérieur** : « more fine grained » (spatial, ex.: chauffeurs de taxi londonniens...)

Impliqué dans des tâches **non reliées à la mémoire** : se rappeler du passé et **planifier l'avenir** = overlap !



« La mémoire du passé n'est pas faite pour se souvenir du passé,

elle est faite pour prévenir le futur.

La mémoire est un instrument de **prédiction.** »

- Alain Berthoz

Pour clore l'histoire de H.M.:

Son cerveau a été coupé en près de 2600 minces tranches qui ont été numérisées et rendues accessibles gratuitement sur Internet.

Comme l'amnésie de H.M. était extrêmement bien documentée au niveau de ses **capacités psychologiques**, on pourra encore continuer à chercher des corrélations entre celles-ci et **l'anatomie** particulière de son cerveau.

## Postmortem examination of patient H.M.'s brain based on histological sectioning and digital 3D reconstruction

<http://www.nature.com/ncomms/2014/140128/ncomms4122/full/ncomms4122.html>

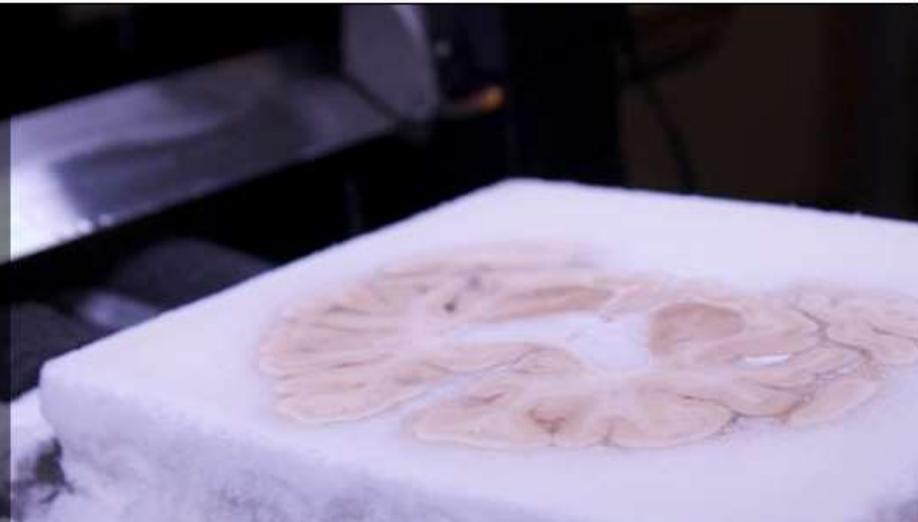
Published 28 January **2014**

THE BRAIN OBSERVATORY™ UC San Diego HOME | PROJECT HM | ARTICLES | VIDEOS



DECONSTRUCTING HENRY  
THE RE-EXAMINATION OF THE BRAIN OF PATIENT H.M.  
THE BRAIN OBSERVATORY

The frozen block of gelatin and brain was sectioned on a heavy-duty microtome for 53 hours straight. Five blades were used in the process.



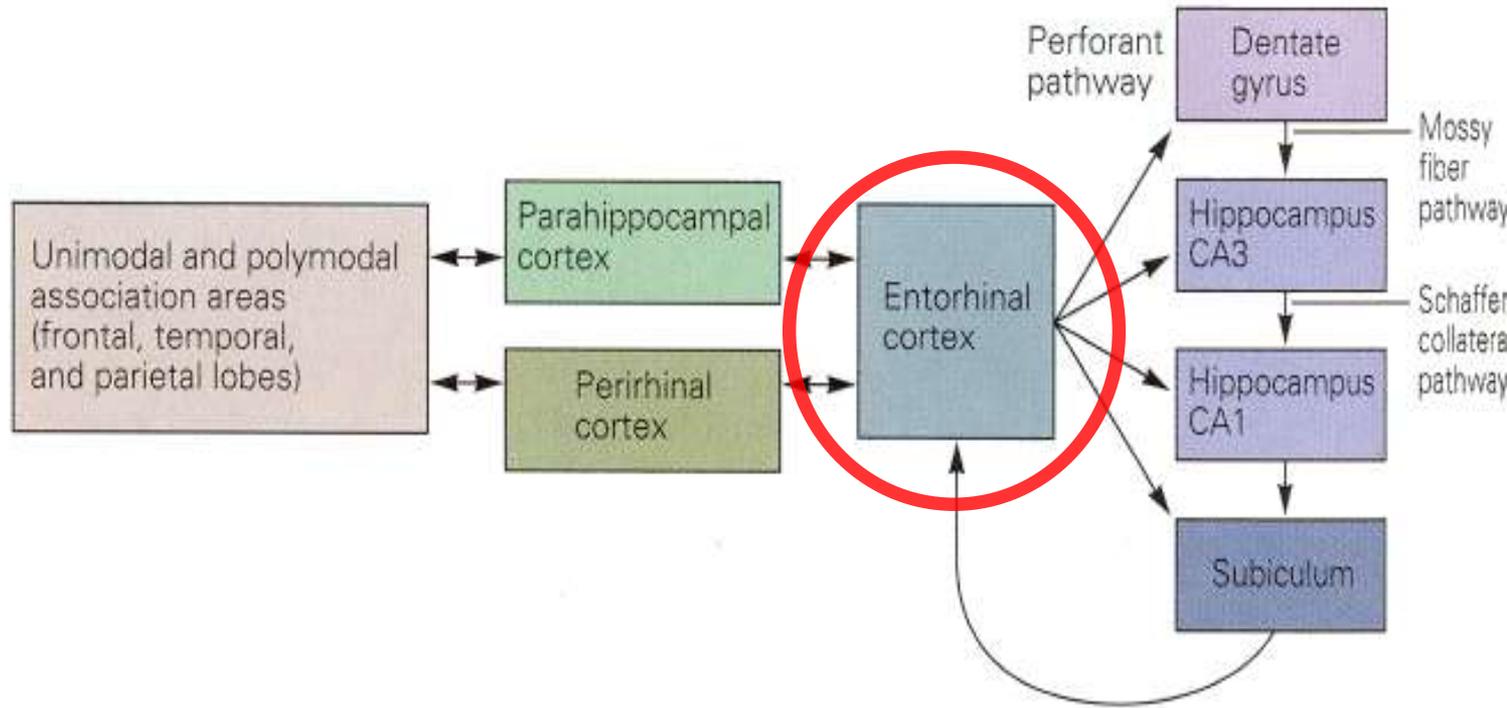
# Forever Young: The Story of Patient H.M.

October 14, **2015** by Kate Fehlhaber

<http://knowingneurons.com/forever-young-the-story-of-patient-h-m/>

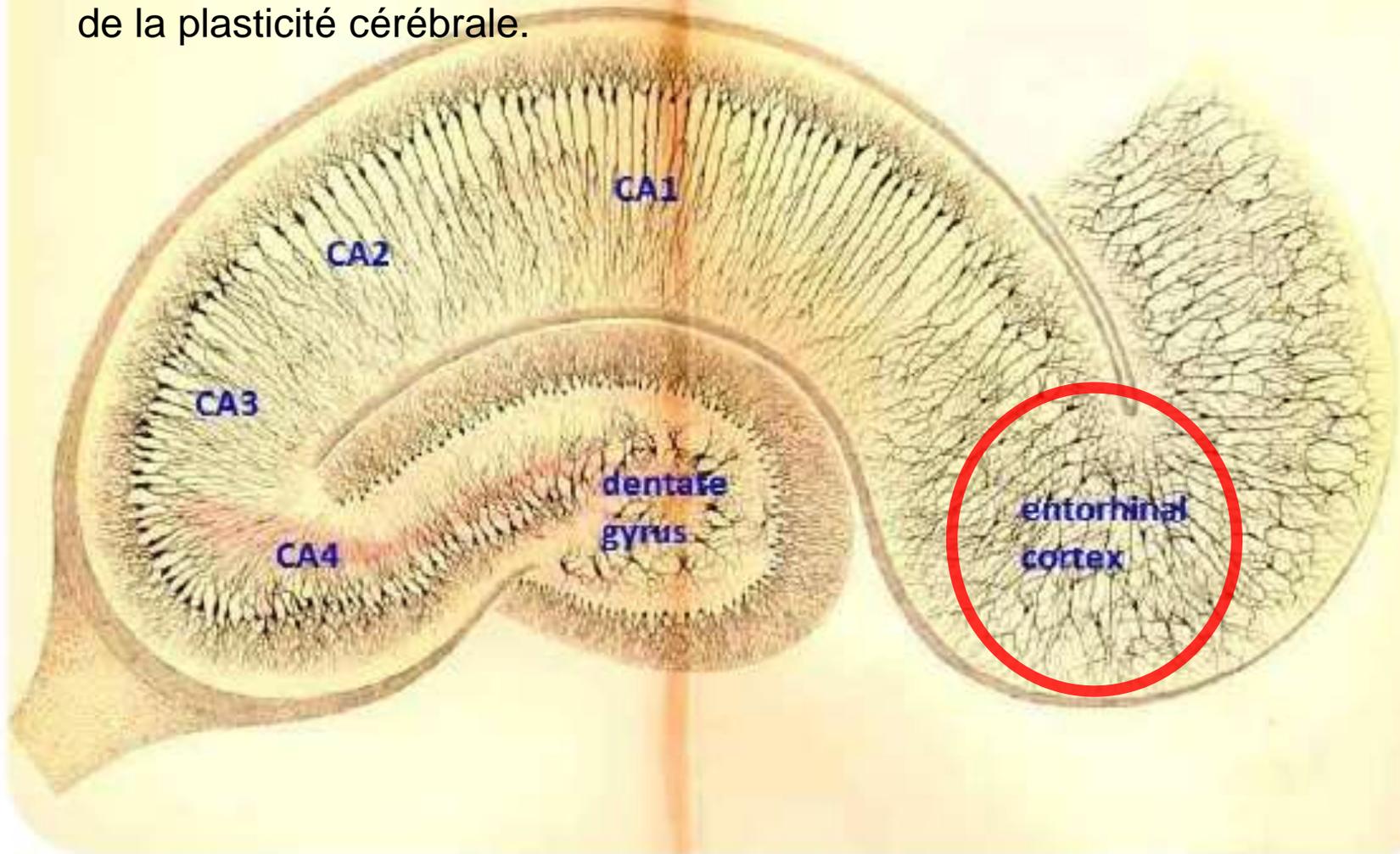
Plus de 50 ans après son opération, ces images ont montré qu'il y avait étonnamment une **proportion non négligeable de l'hippocampe** qui avait été laissée intacte.

Mais d'autres régions, comme le **cortex entorhinal** (situé entre l'hippocampe et le reste du cortex), qui n'avaient pas été explicitement ciblées par la chirurgie avaient, elles, été **enlevées**, suggérant que ces régions ont aussi un rôle important à jouer dans la mémoire.



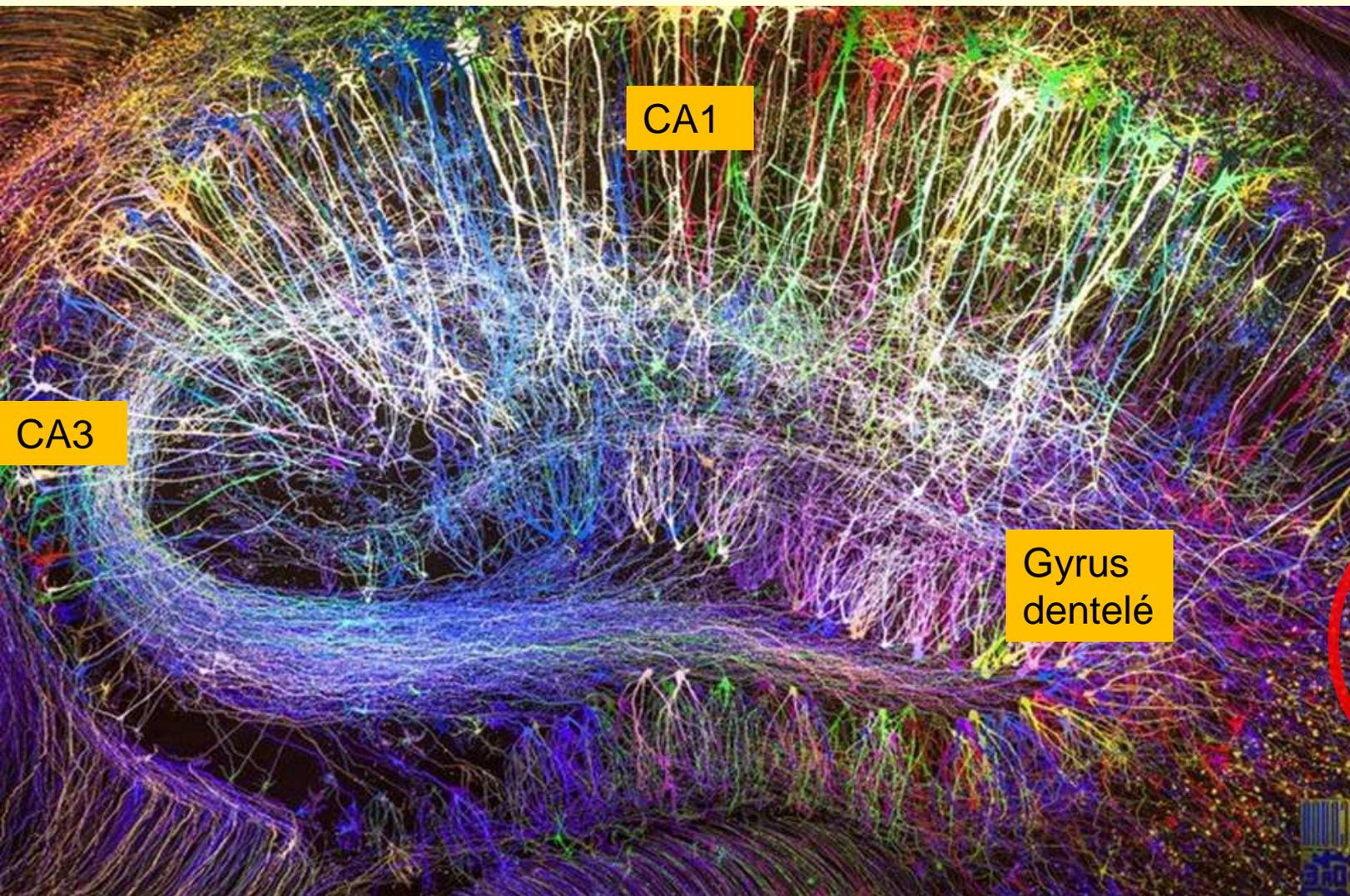
Mais d'autres régions, comme le **cortex entorhinal** (situé entre l'hippocampe et le reste du cortex), qui n'avaient pas été explicitement ciblées par la chirurgie avaient, elles, été enlevées, suggérant que ces régions ont aussi un rôle important à jouer dans la mémoire.

Détaillons un peu l'hippocampe pour aller vers les mécanismes neuronaux de la plasticité cérébrale.



## **Drawing of Hippocampus by Camilo Golgi**

Subregions of the hippocampus exhibit histological differences.



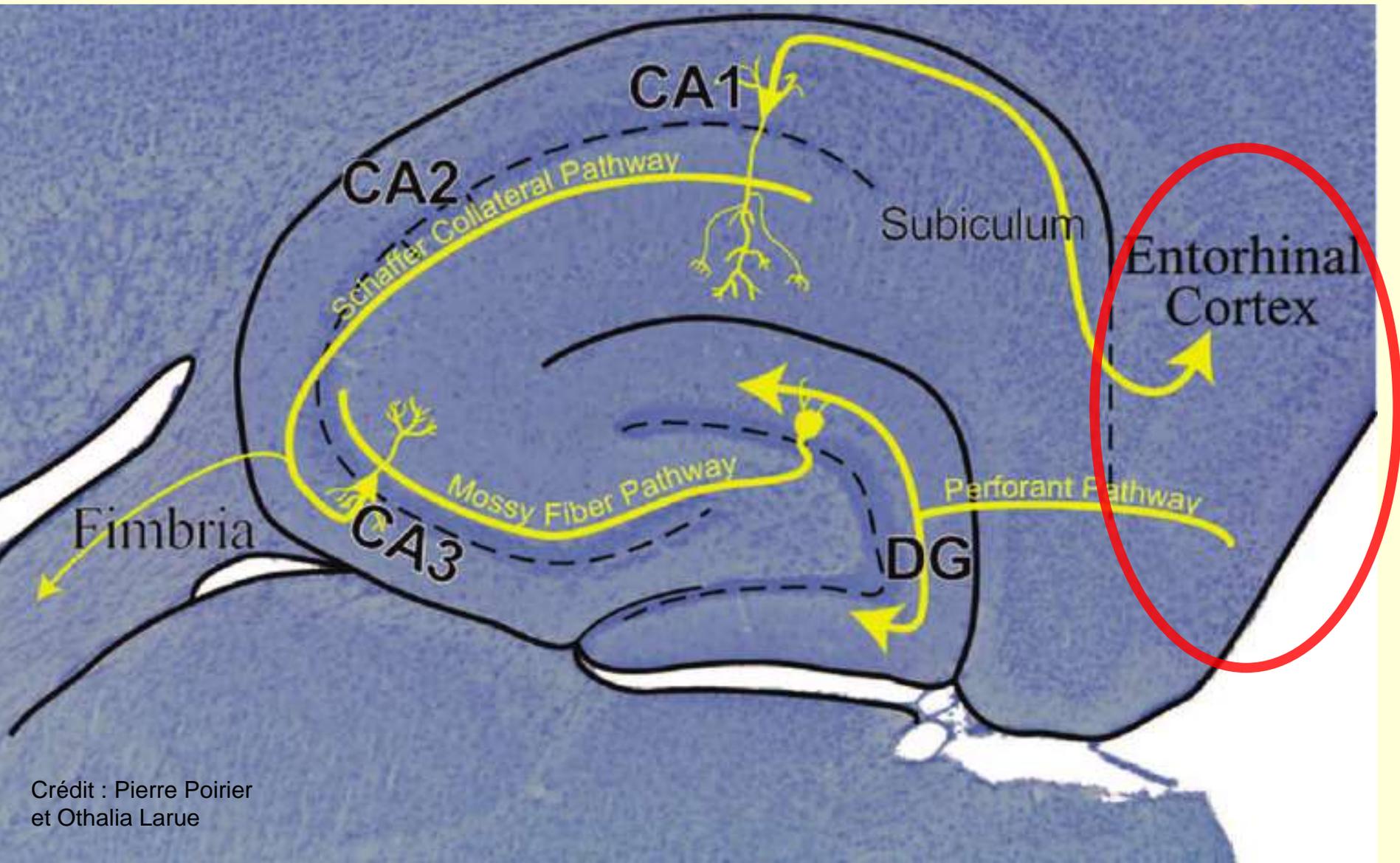
CA1

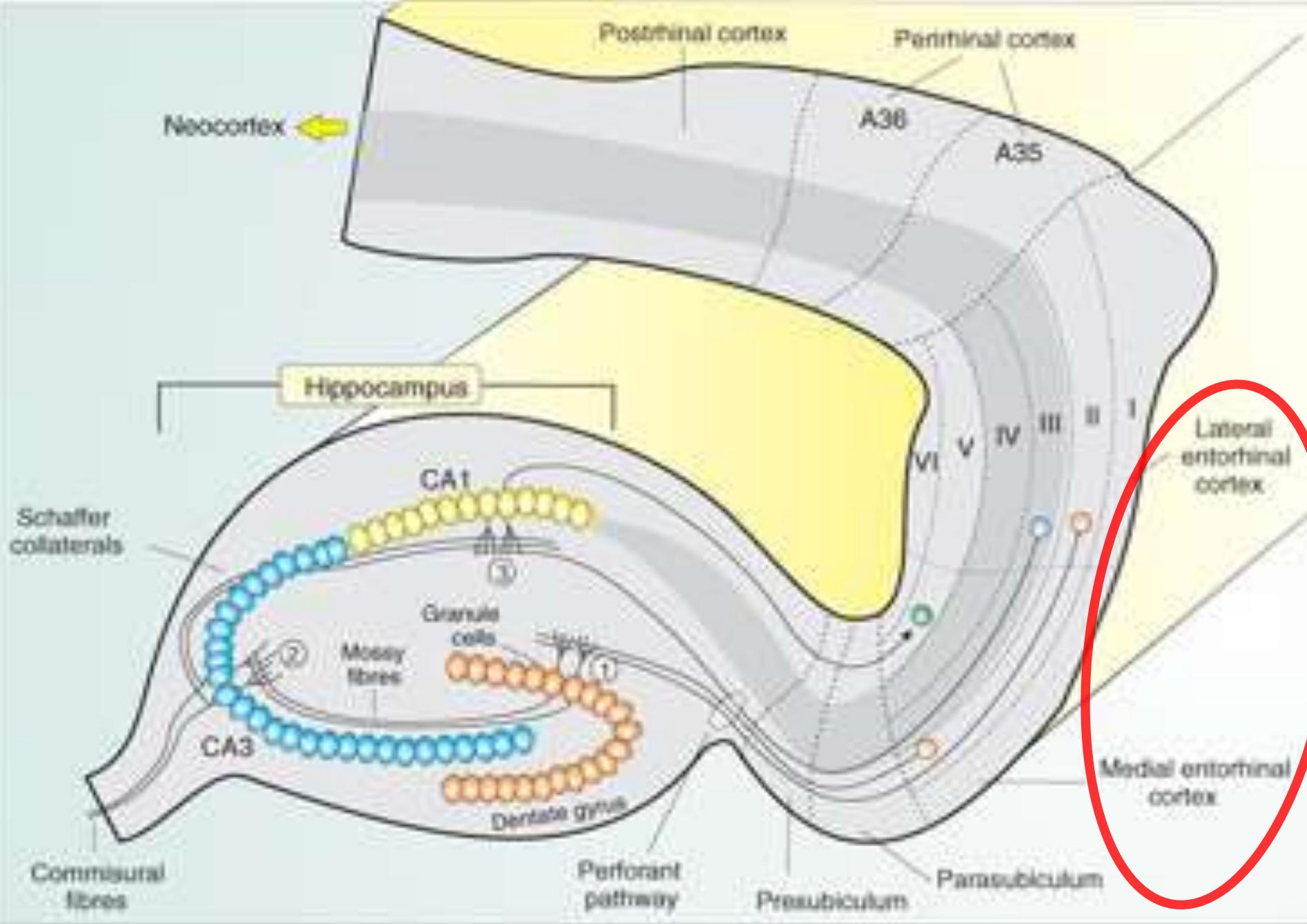
CA3

Gyrus  
dentelé

Cortex  
entorhinal

Coloration « Brainbow »





## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

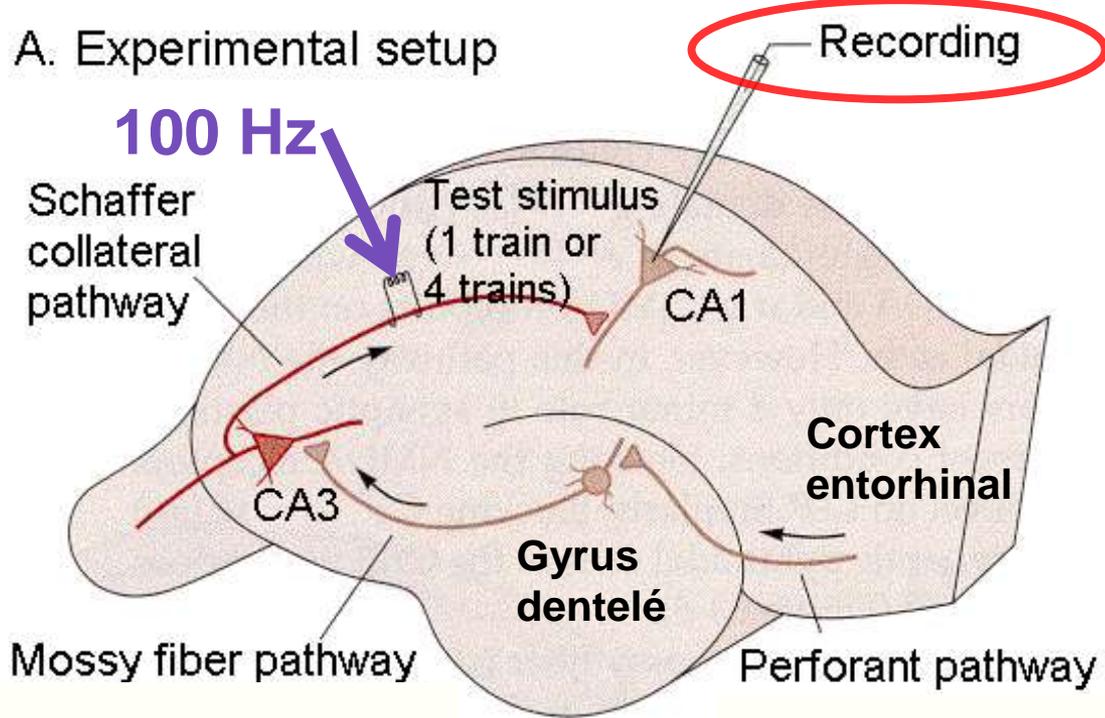
La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

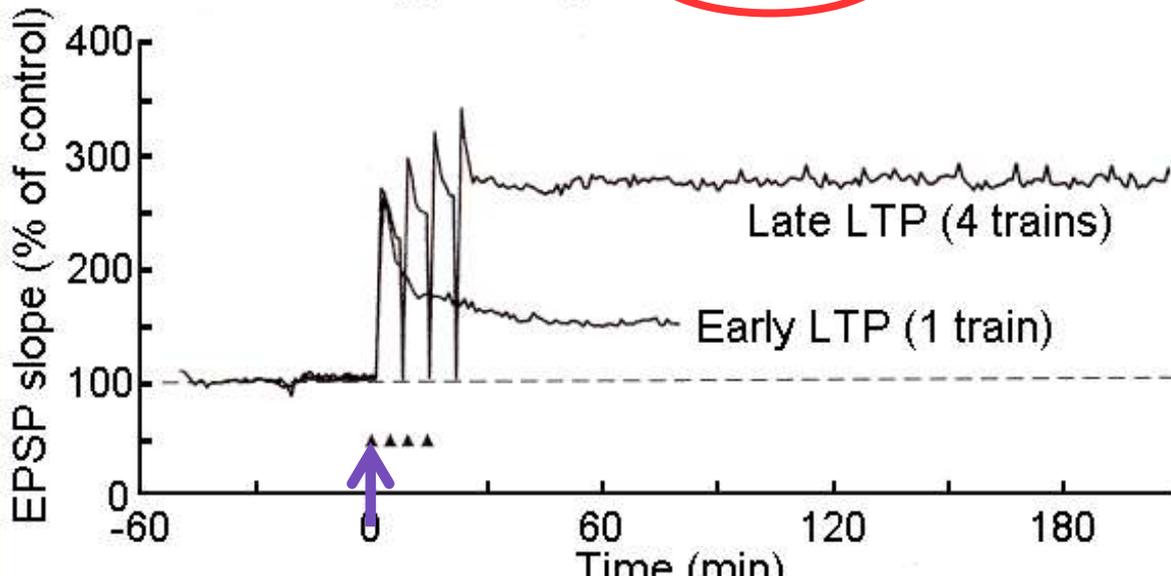
### A. Experimental setup



En 1973,  
on a découvert dans  
les neurones de  
l'hippocampe un  
phénomène qu'on  
appelle la  
**potentialisation à long  
terme (PLT)**

en stimulant à haute-  
fréquence les  
collatérales de Schaffer

### B. LTP in the hippocampus CA1 area

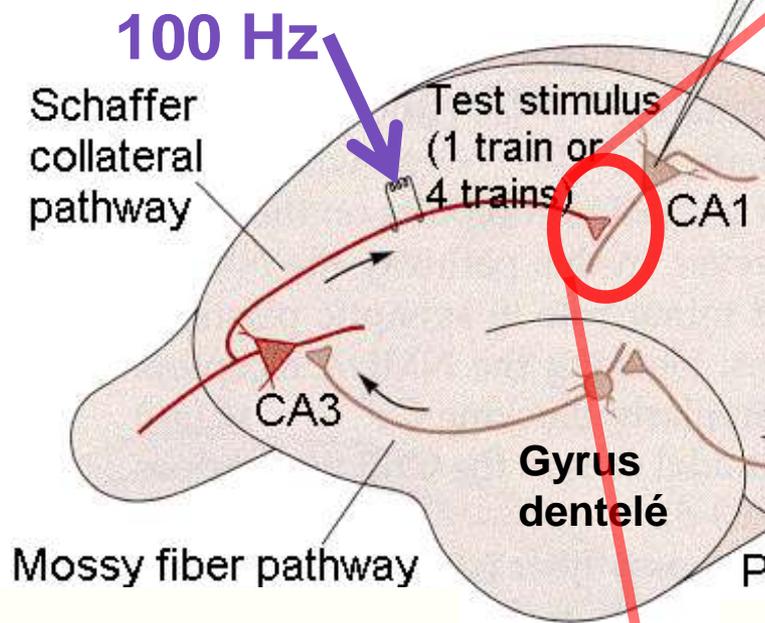


Video : Neuroscience –  
**Long-Term Potentiation**  
Carleton University

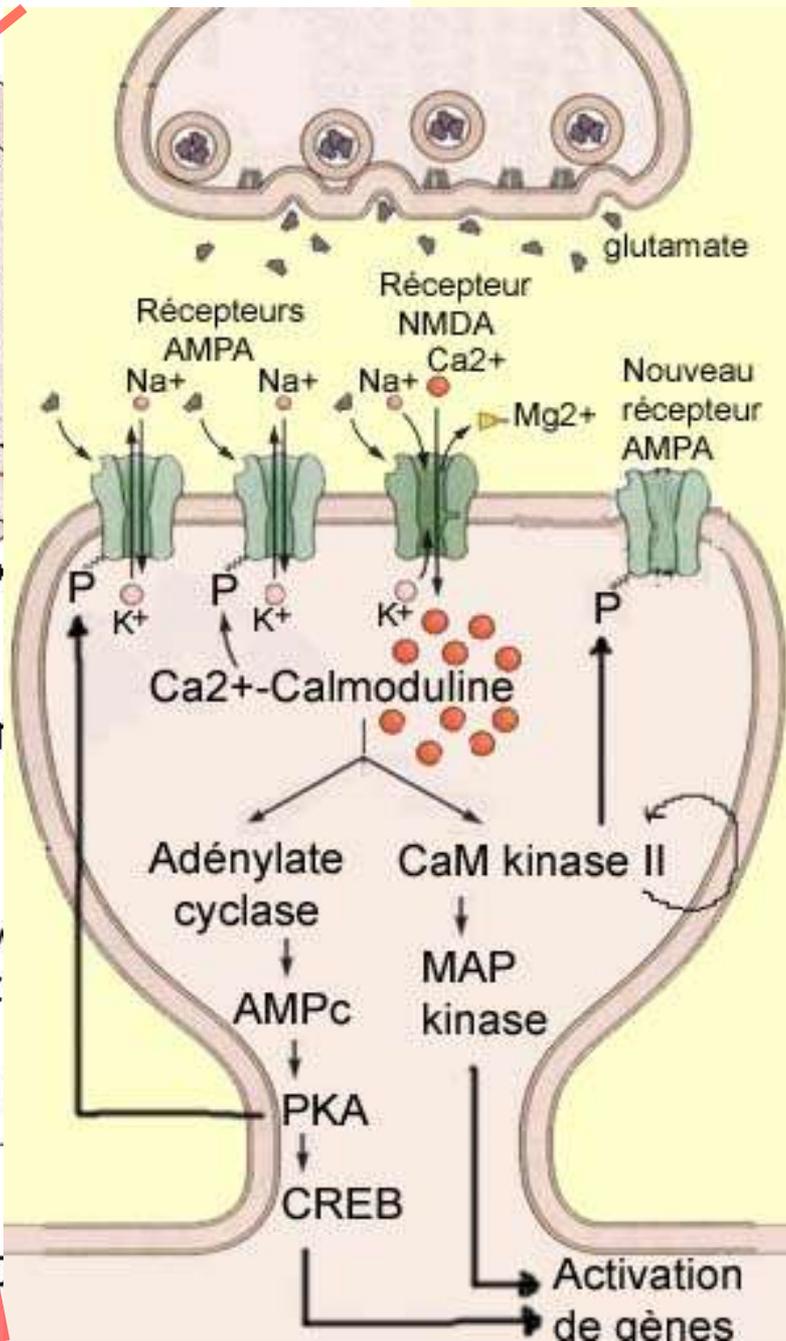
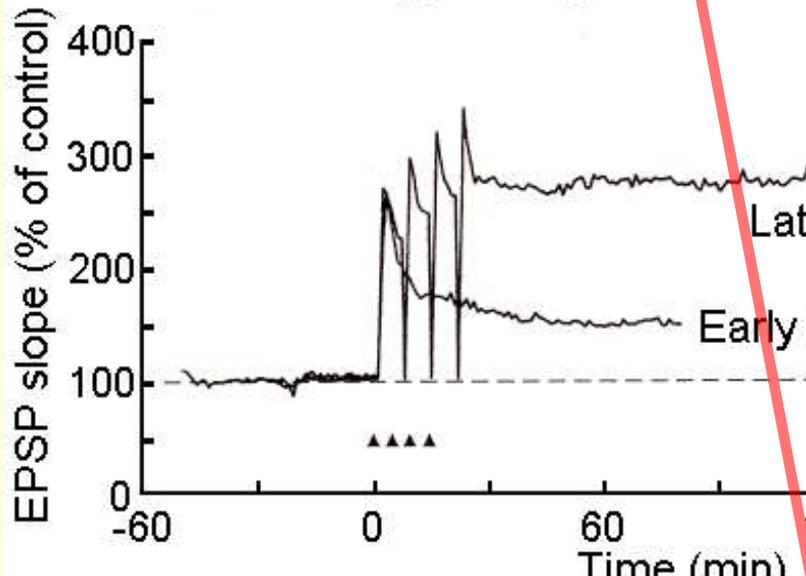
[https://www.youtube.com/watch?v=vso9jgfp1\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=vso9jgfp1_c)

2:40 à 6:30

### A. Experimental setup

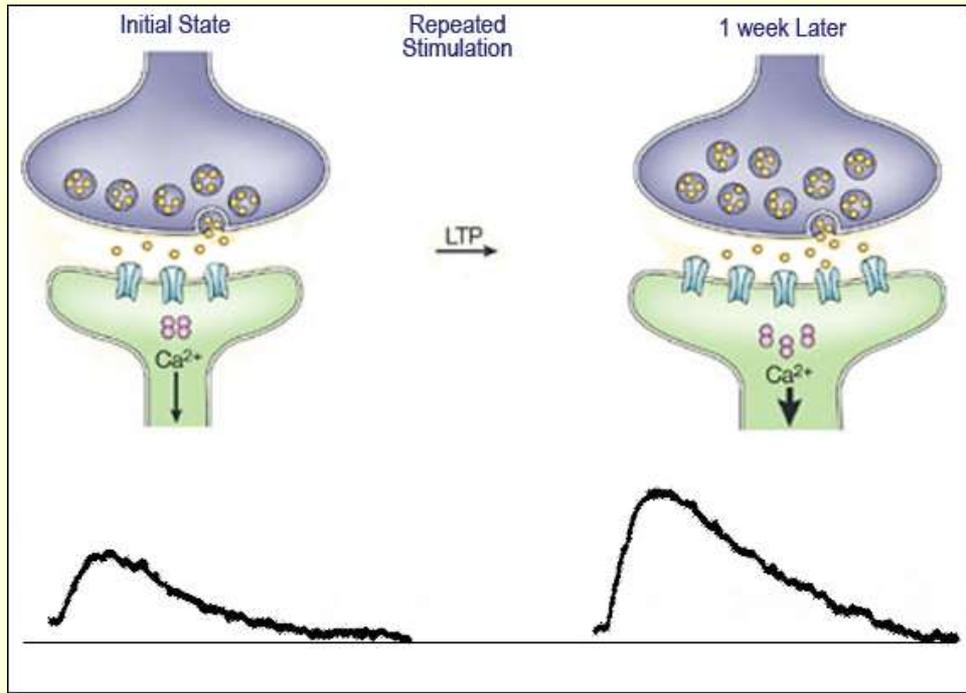
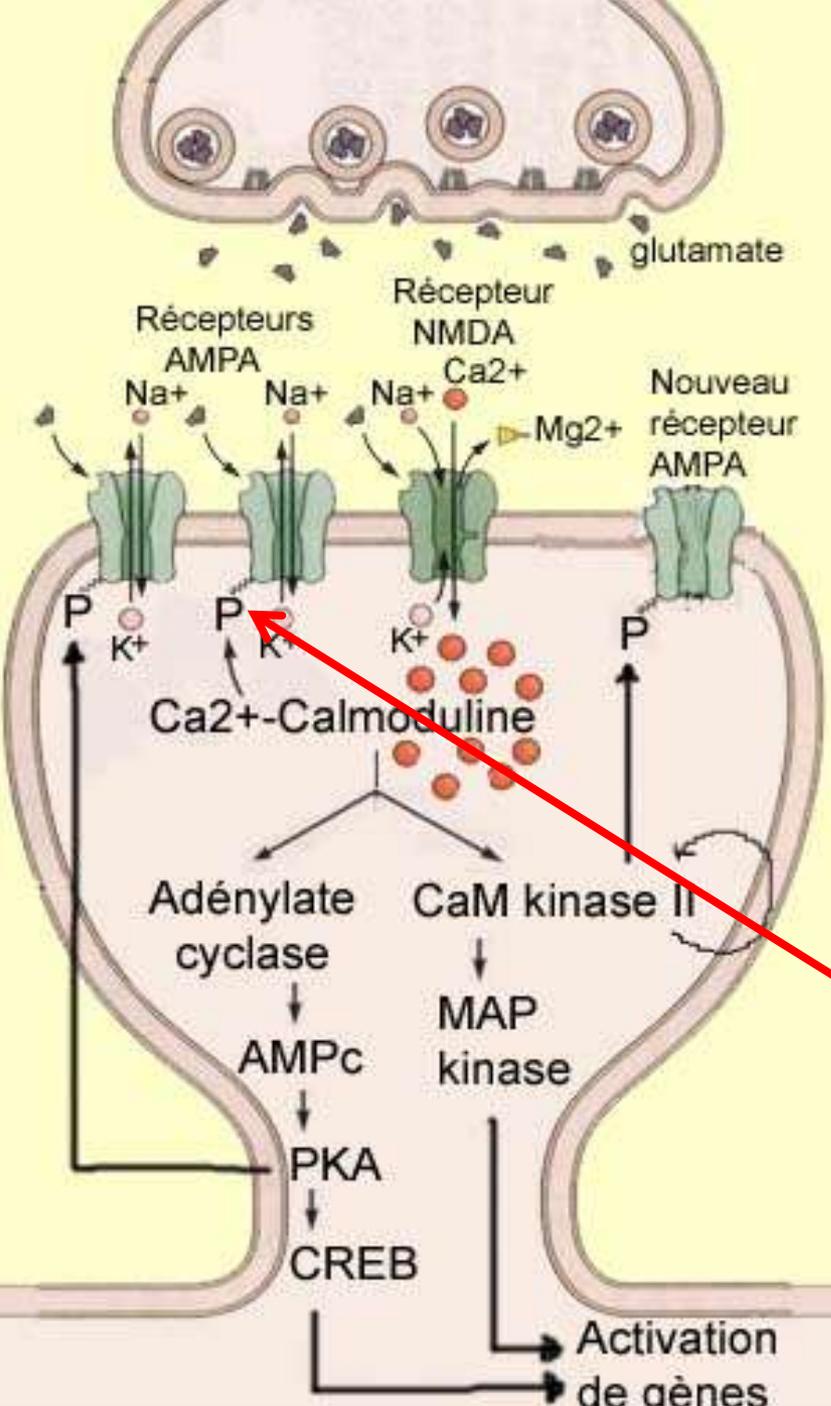


### B. LTP in the hippocampus CA1 and CA3



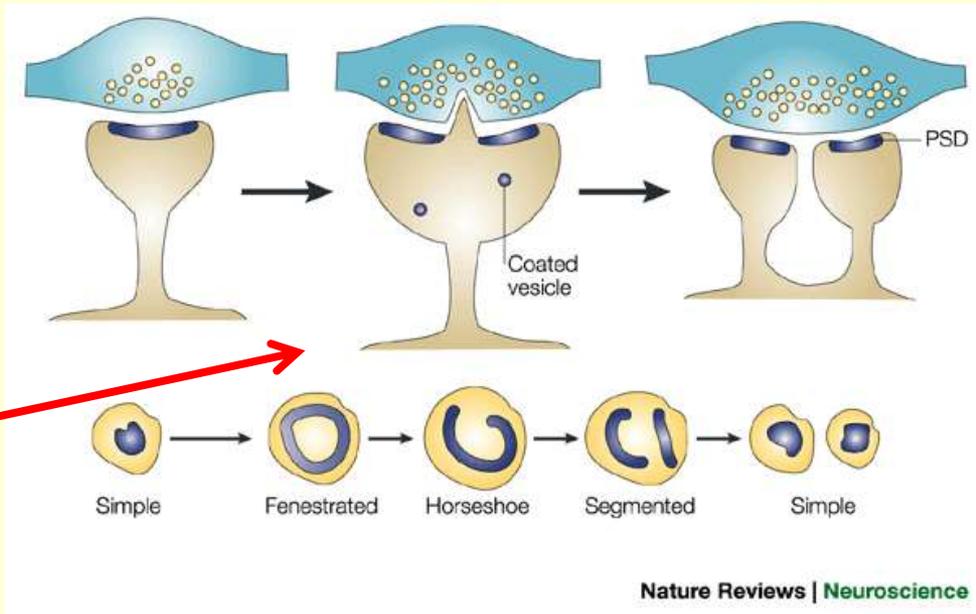
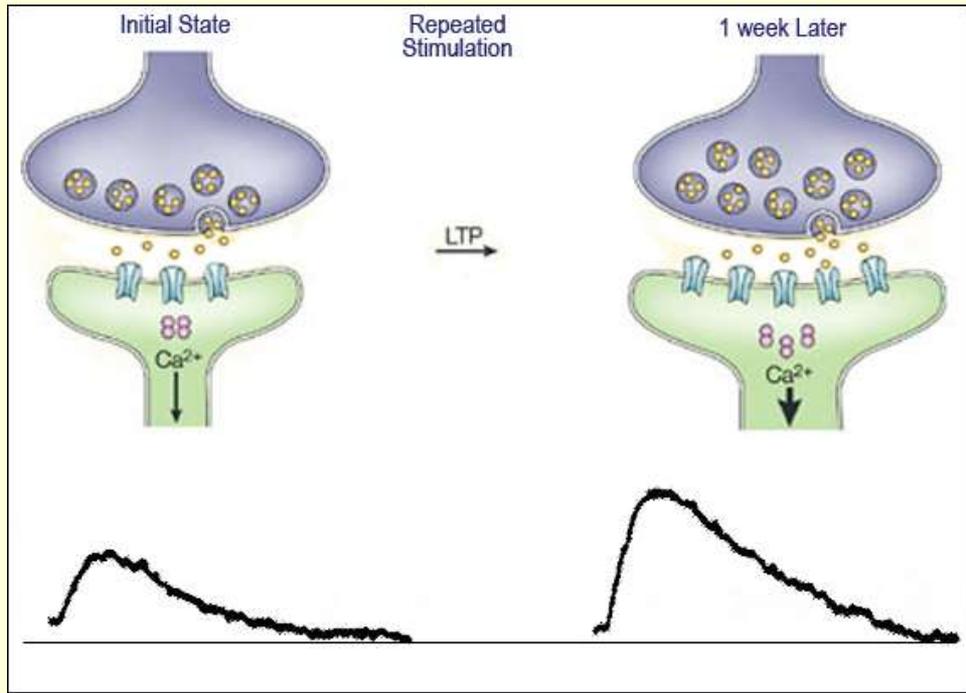
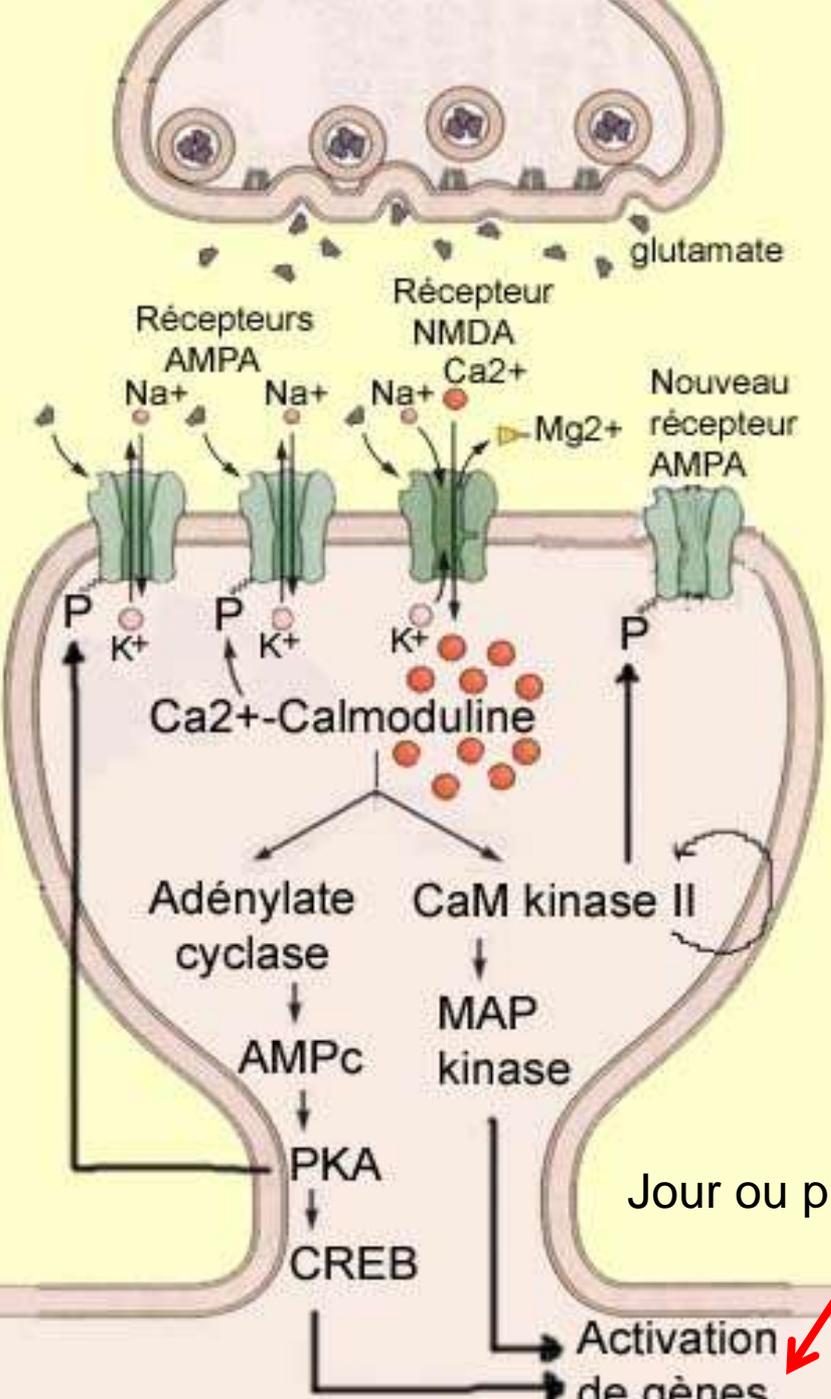
**PLT** : un des phénomènes de plasticité à la base de l'apprentissage  
(on en avait dit un mot avec cette diapo au **cours 2**)

[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i\\_07/i\\_07\\_m/i\\_07\\_m\\_tra/i\\_07\\_m\\_tra.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i_07/i_07_m/i_07_m_tra/i_07_m_tra.html)



**Ordre de grandeur temporelle :**

Minutes ou heures

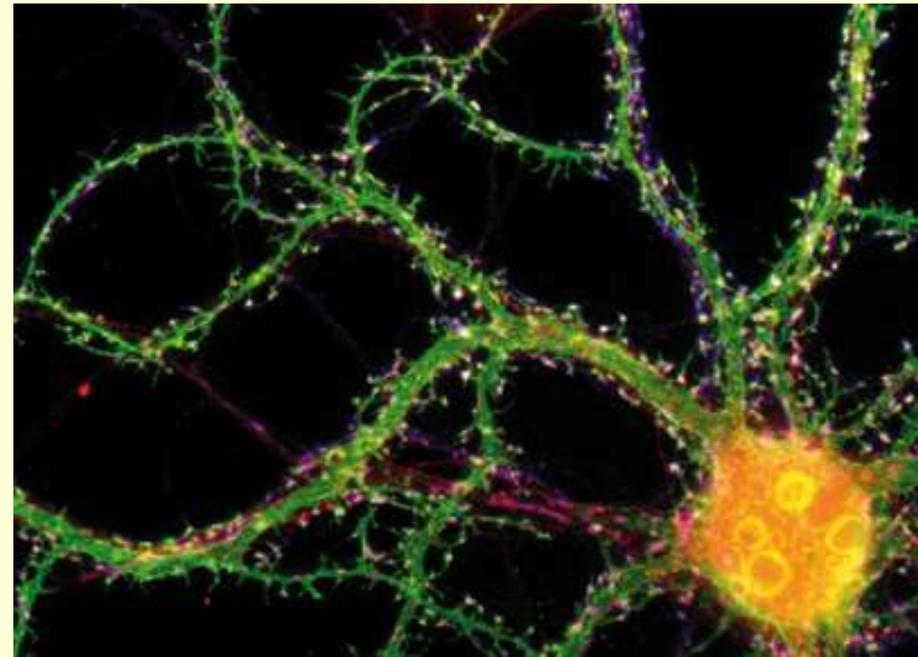
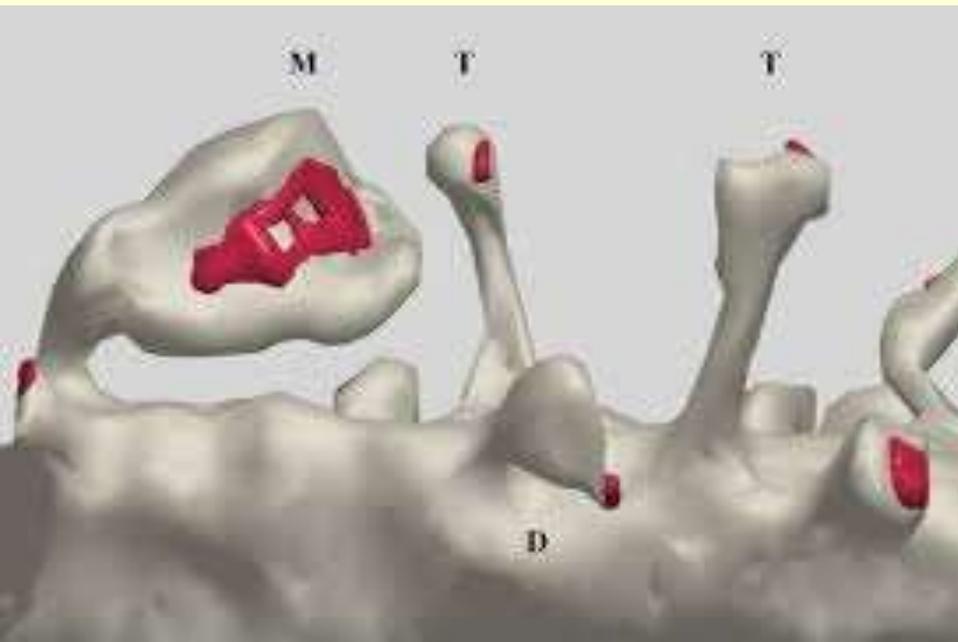




Nos diverses interactions quotidiennes avec le monde font augmenter d'environ 20% la surface du bout de l'axone et de l'épine dendritique qui se font face.

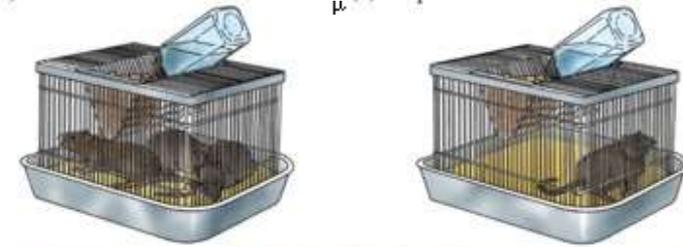
Et l'inverse se produit durant la nuit : une diminution d'environ 20% de la surface synaptique (sauf peut-être pour celles des souvenirs marquants de la journée).

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



a) Standard condition

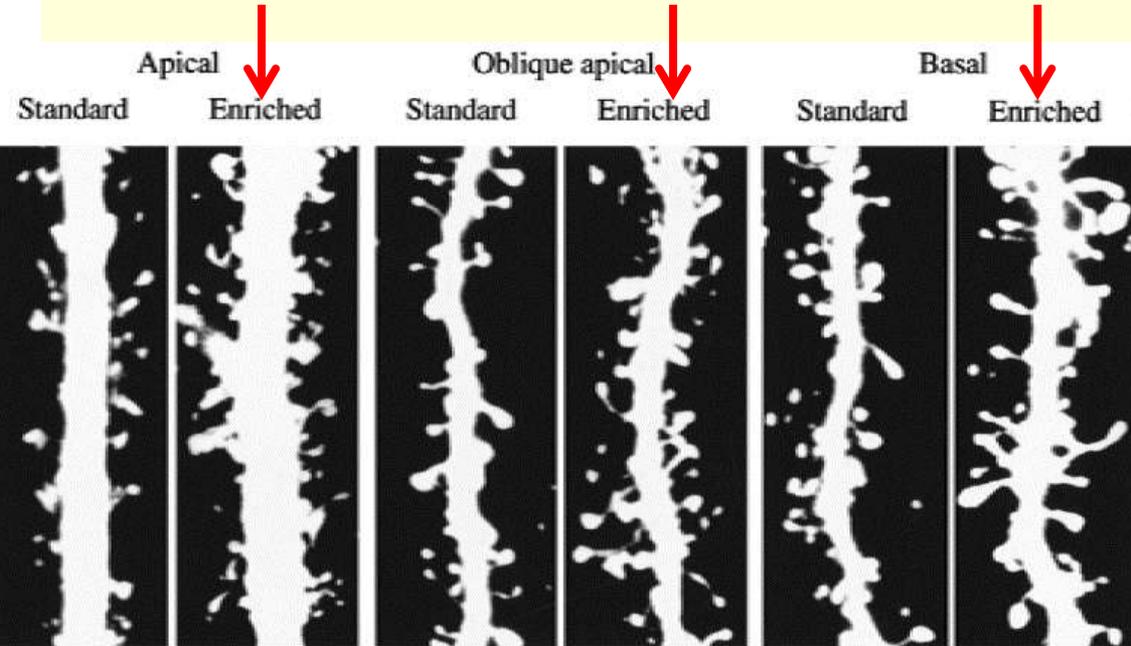
b) Impoverished condition



(c) Enriched condition

Psychology 6e, Figure 17.17

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



layer II/III

layer V/VI

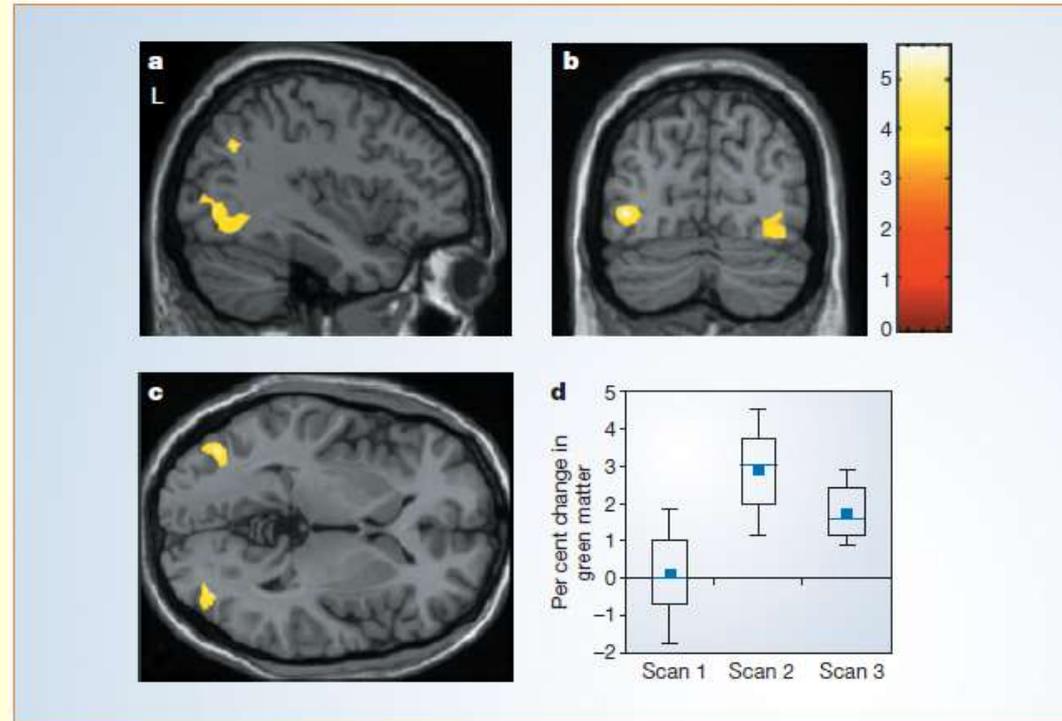
Épines dendritique de neurones du cortex somatosensoriel de rats adultes ayant grandi dans des cages **standard** ou dans un environnement **enrichi** durant 3 semaines.

# Changes in grey matter induced by training

Nature, 2004

Bogdan Draganski\*, Christian Gaser†, Volker Busch\*, Gerhard Schuierer‡, Ulrich Bogdahn\*, Arne May\*

[https://www.researchgate.net/publication/305381022\\_Neuroplasticity\\_changes\\_in\\_grey\\_matter\\_induced\\_by\\_training](https://www.researchgate.net/publication/305381022_Neuroplasticity_changes_in_grey_matter_induced_by_training)



**Figure 1** Transient changes in brain structure induced while learning to juggle. **a–c**, Statistical parametric maps showing the areas with transient structural changes in grey matter for the jugglers group compared with non-juggler controls. **a**, Sagittal view; **b**, coronal view; **c**, axial view. The increase in grey matter is shown superimposed on a normalized T1 image. The left side (L) of the brain is indicated. A significant expansion in grey matter was found between the first and second scans in the mid-temporal area (hMT/V5) bilaterally (left:  $x, -43; y, -75; z, -2$ , with  $Z = 4.70$ ; right:  $x, 33; y, -82; z, -4$ , with  $Z = 4.09$ ) and in the left posterior intraparietal sulcus ( $x, -40; y, -66; z, 43$  with  $Z = 4.57$ ), which had decreased by the time of the third scan. Colour scale indicates Z scores, which correlate with the significance of the change. **d**, Relative grey-matter change in the peak voxel in the left hMT for all jugglers over the three time points. The box plot shows the standard deviation, range and the mean for each time point.

NATURE | VOL427 | 22 JANUARY 2004 | www.nature.com/nature

**Augmentation** de l'épaisseur de 2 régions du cortex 3 mois après être devenu « **expert** », puis **diminution** après 3 mois **d'inactivité**.

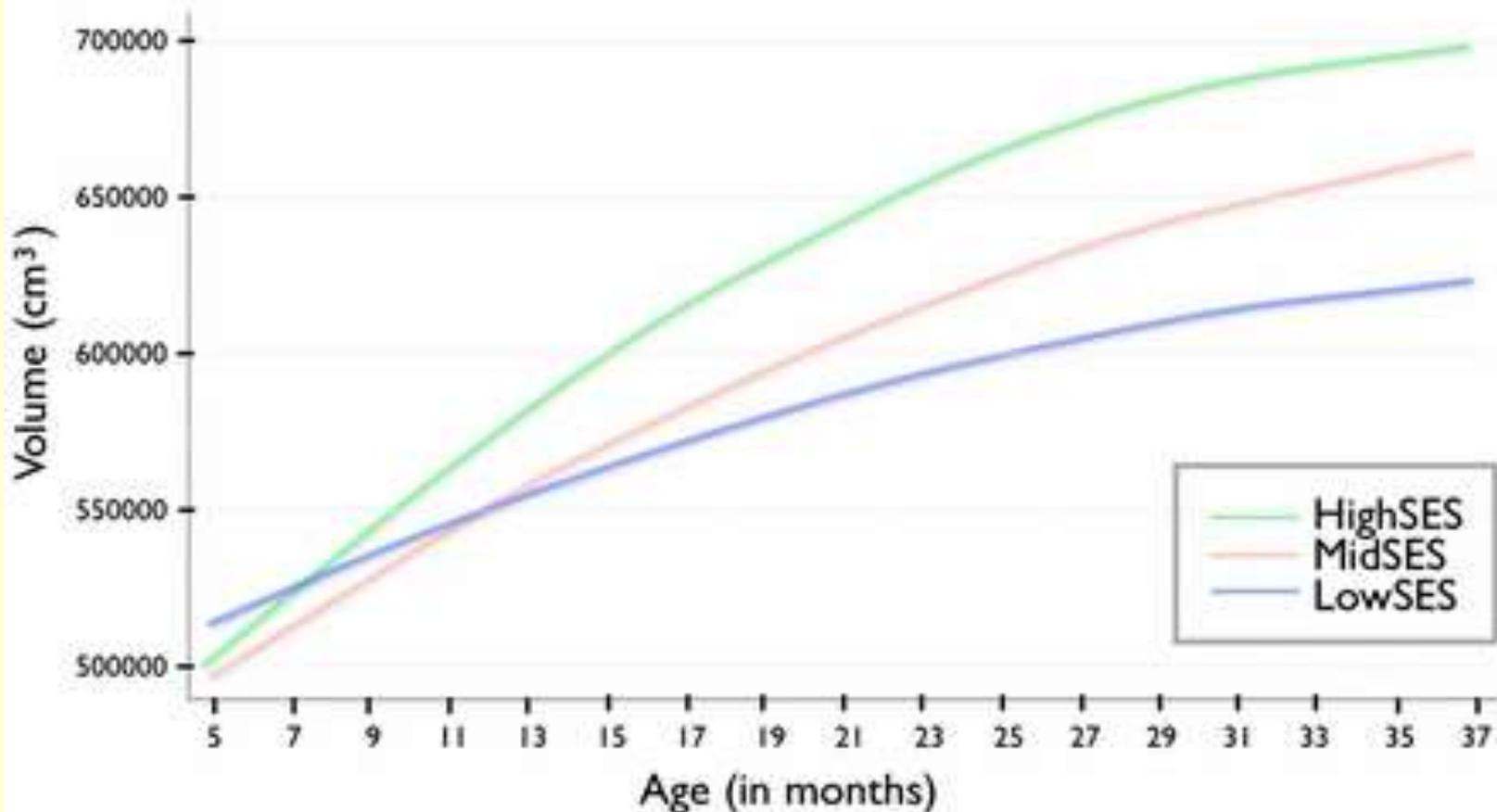
Wednesday, **February 03, 2016**

# The neuroscience of poverty.

[http://mindblog.dericbownds.net/2016/02/the-neuroscience-of-poverty.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29](http://mindblog.dericbownds.net/2016/02/the-neuroscience-of-poverty.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29)

## Total Gray Matter

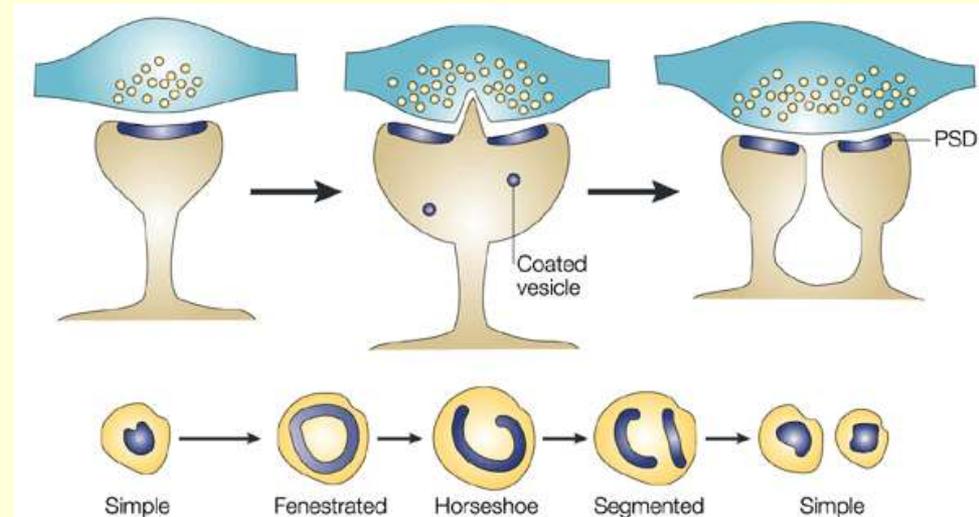
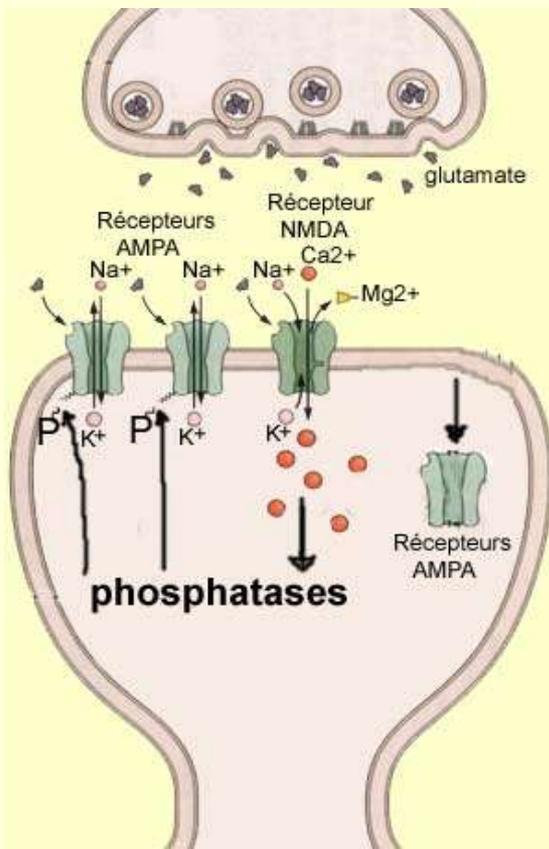
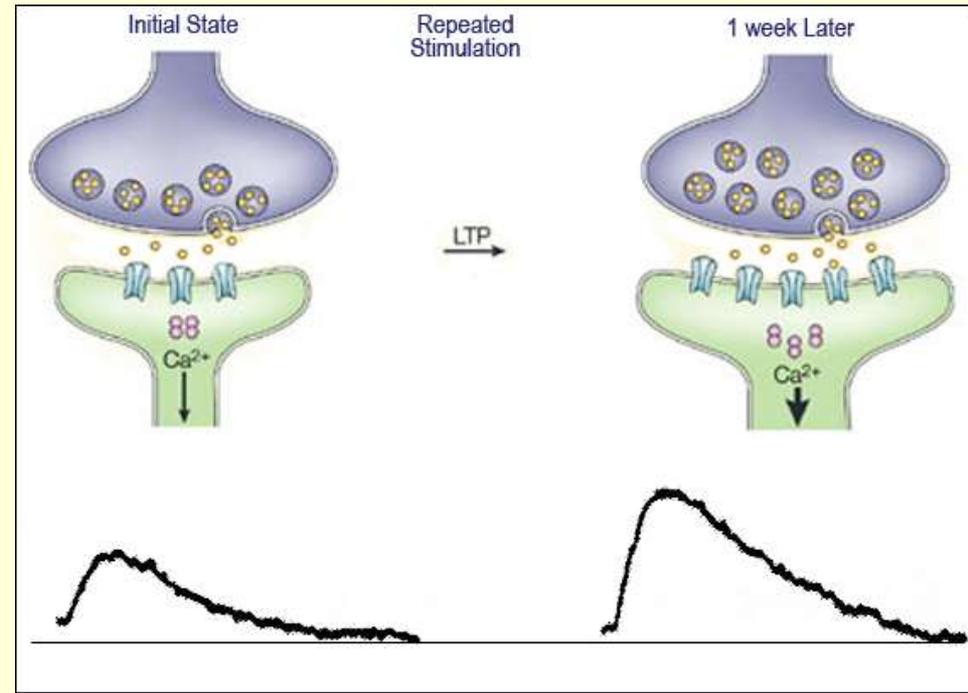
Surtout dans le lobe frontal et l'hippocampe.



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 !

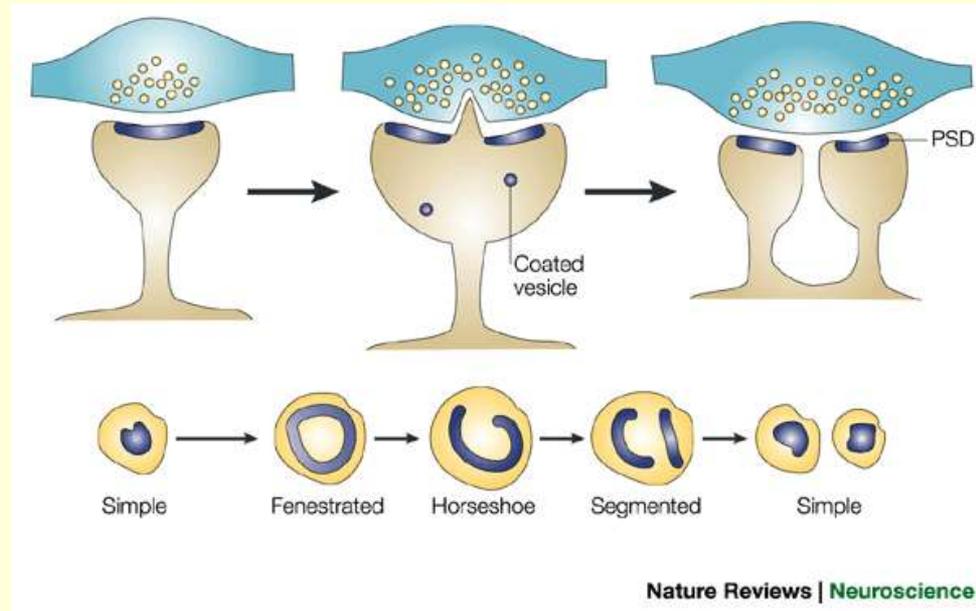
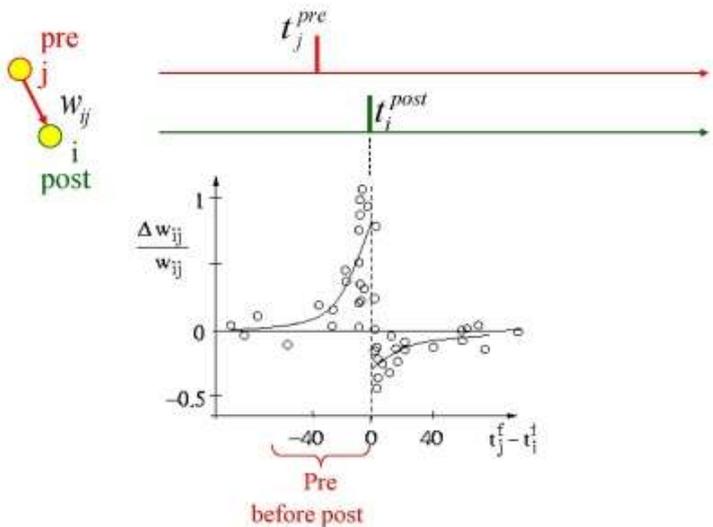
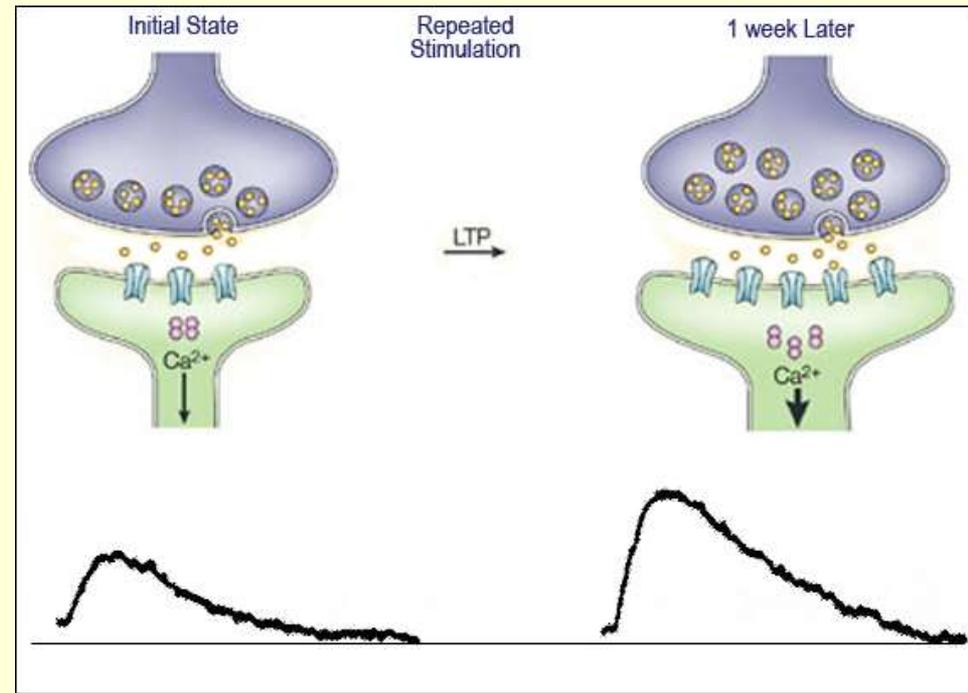
- La **dépression à long terme (DLT)**



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)

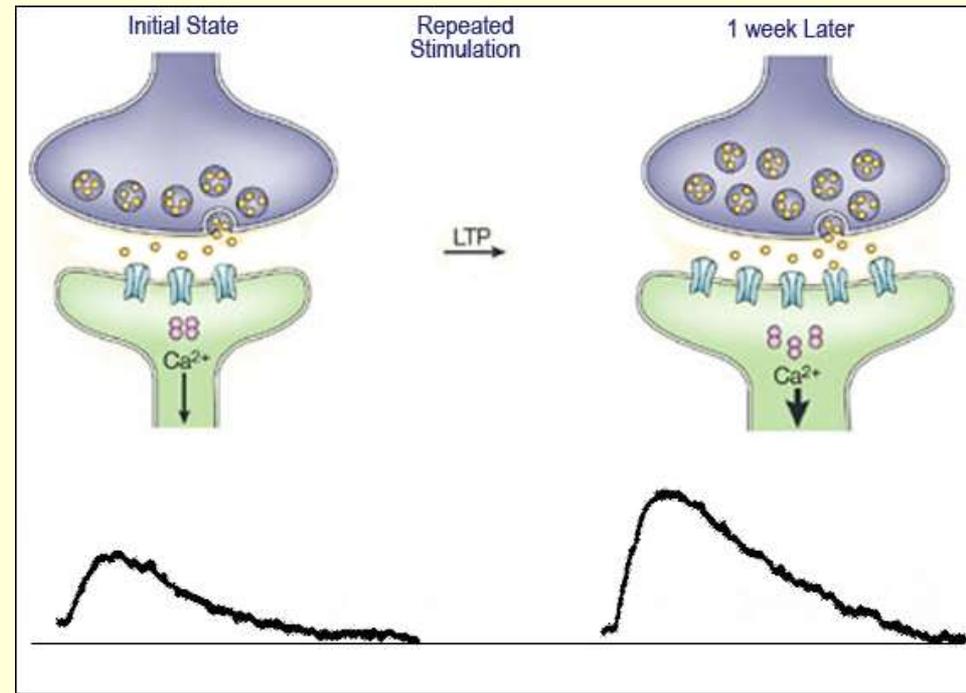
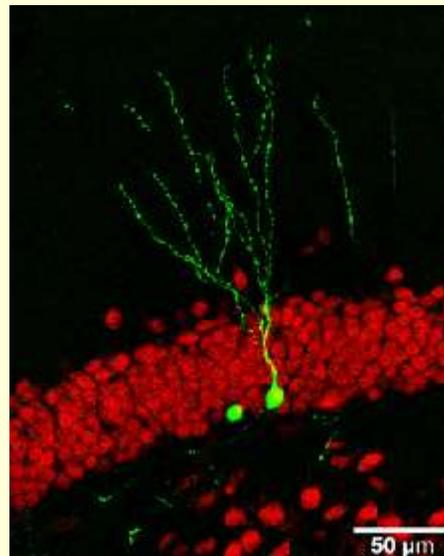
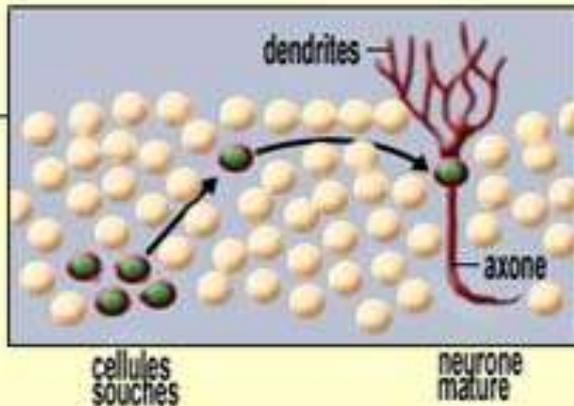


La **potentialisation à long terme (PLT)** est l'un des mécanismes les plus documentés derrière les phénomènes d'apprentissage et de mémoire.

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...



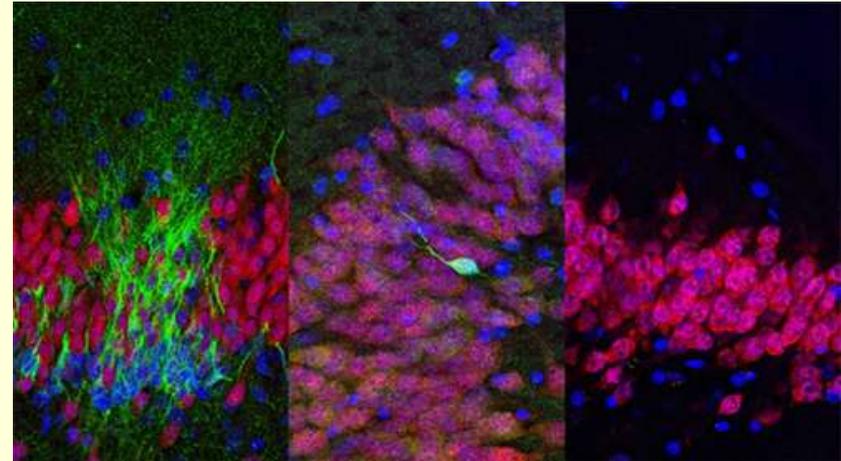
# Débat / Controverse :

**Le BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

27 mars 2018

## La neurogenèse dans le cerveau humain adulte remise en question

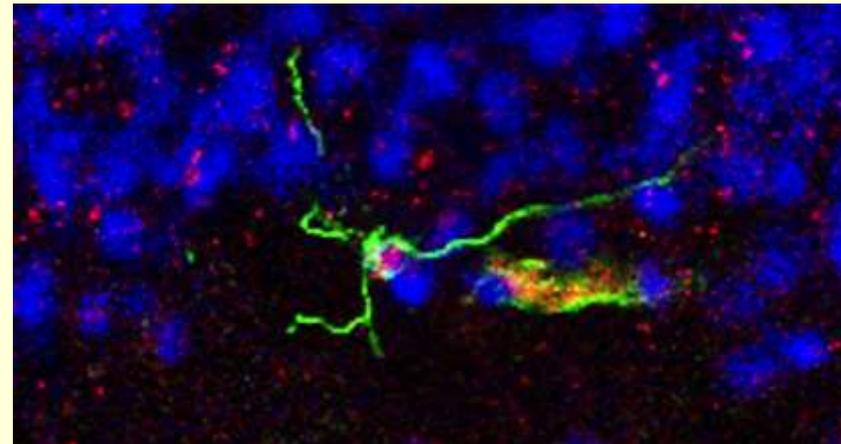
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/03/27/la-neurogenese-dans-le-cerveau-humain-adulte-remise-en-question/>



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/>



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

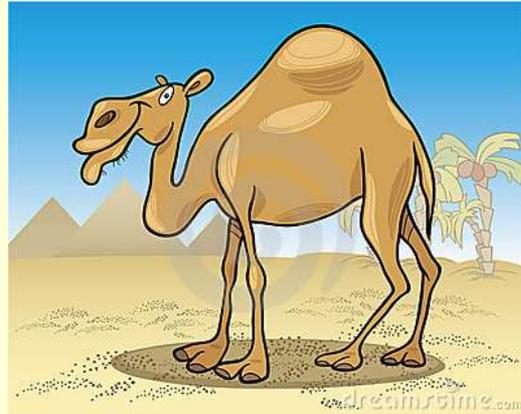
Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

2 petits tests de mémoire pour après la pause.

Il s'agit de retenir dans l'ordre les duos d'objets suivants.





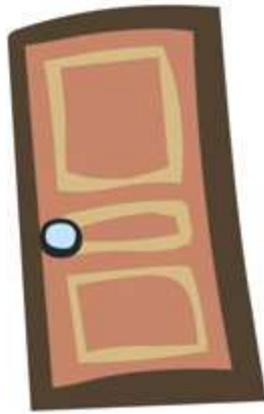






Fin du test 1

Début du test 2











Fin du test 2

On se revoit après la pause...

;-)



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

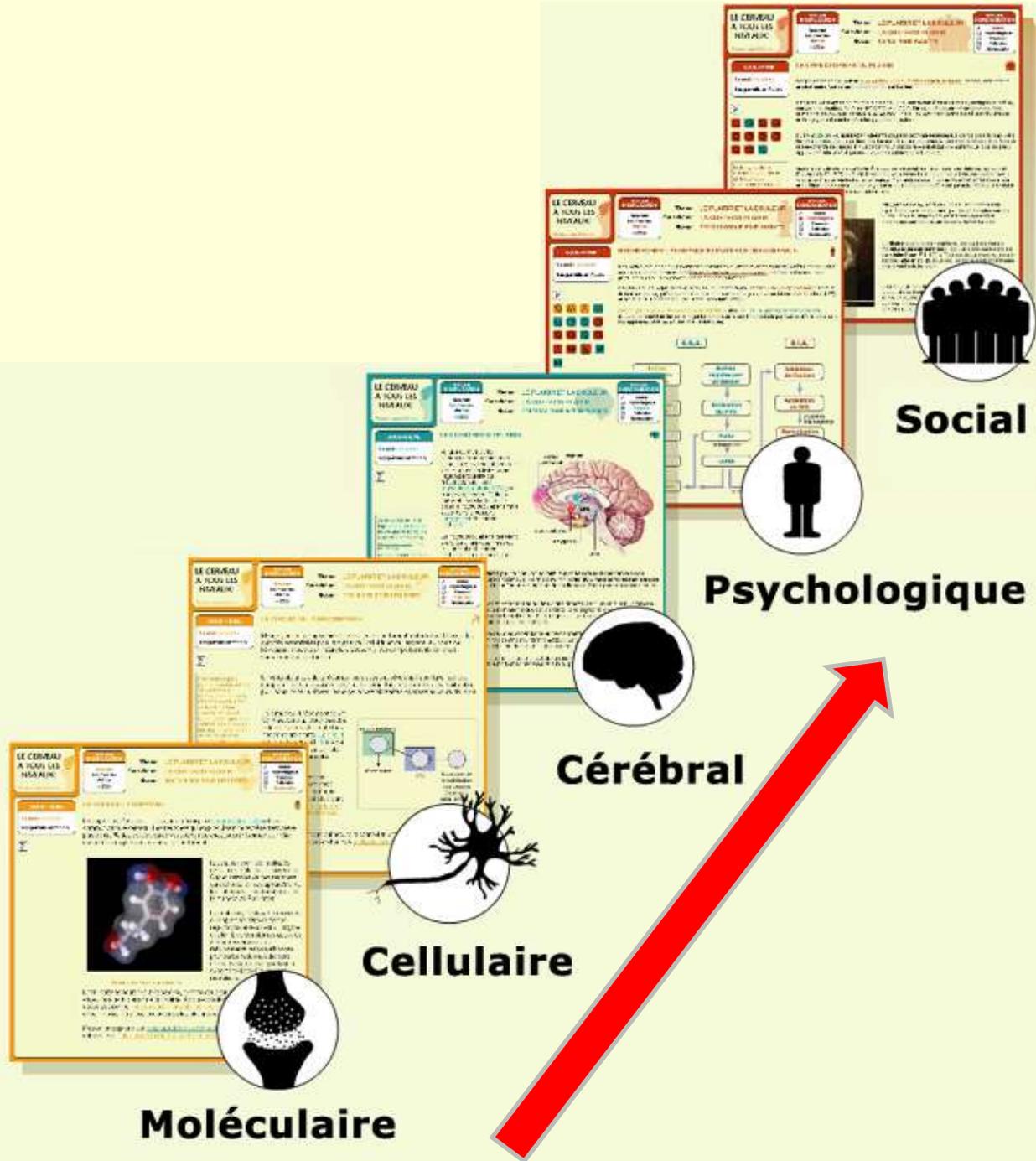
### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?



**Moléculaire**

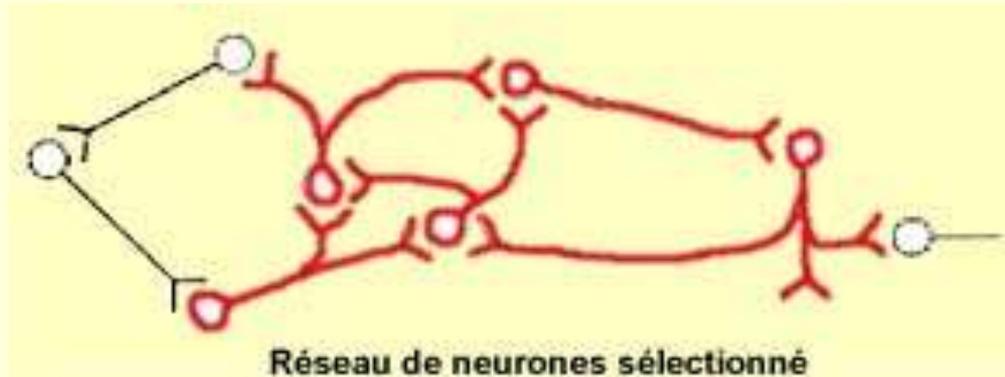
**Cellulaire**

**Cérébral**

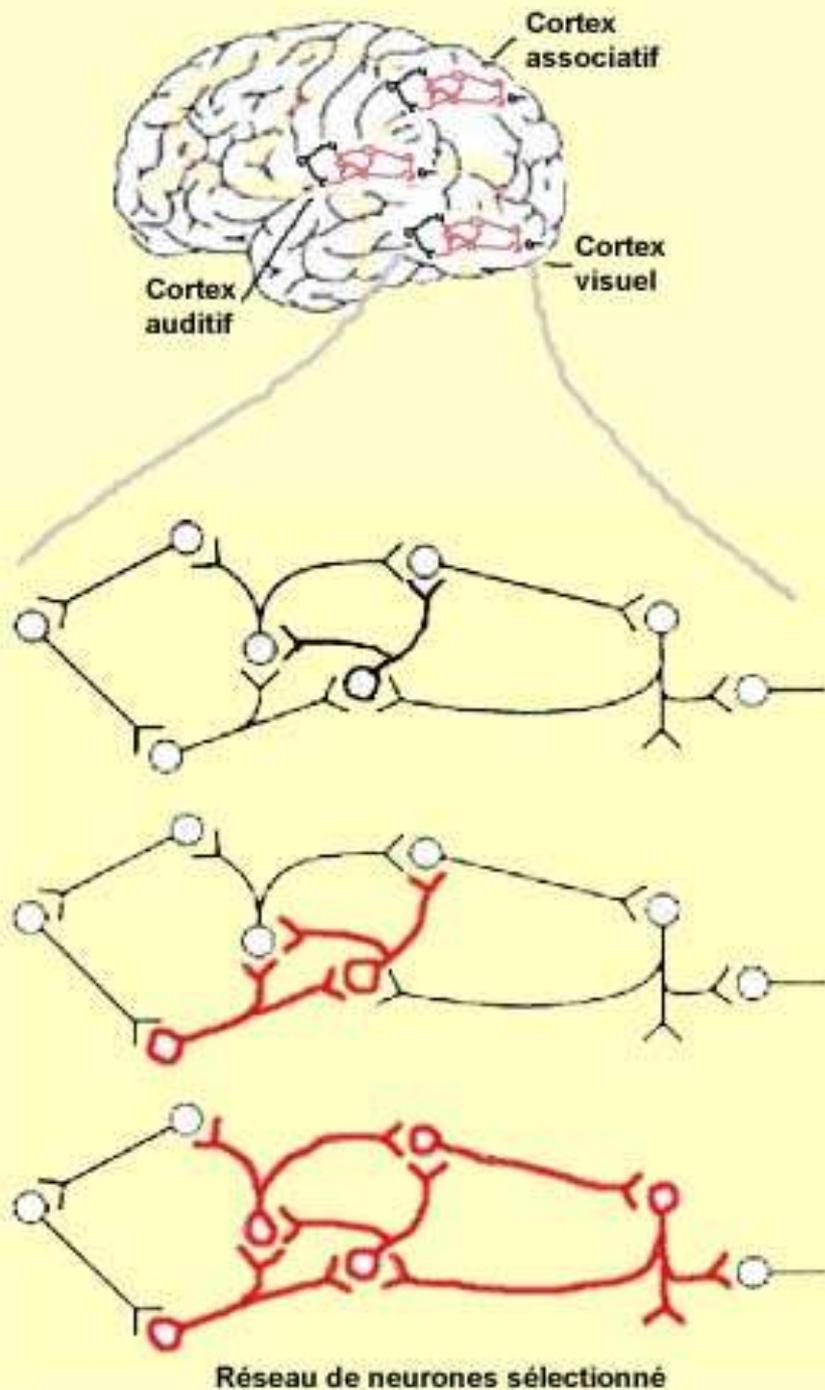
**Psychologique**

**Social**

# Assemblées de neurones

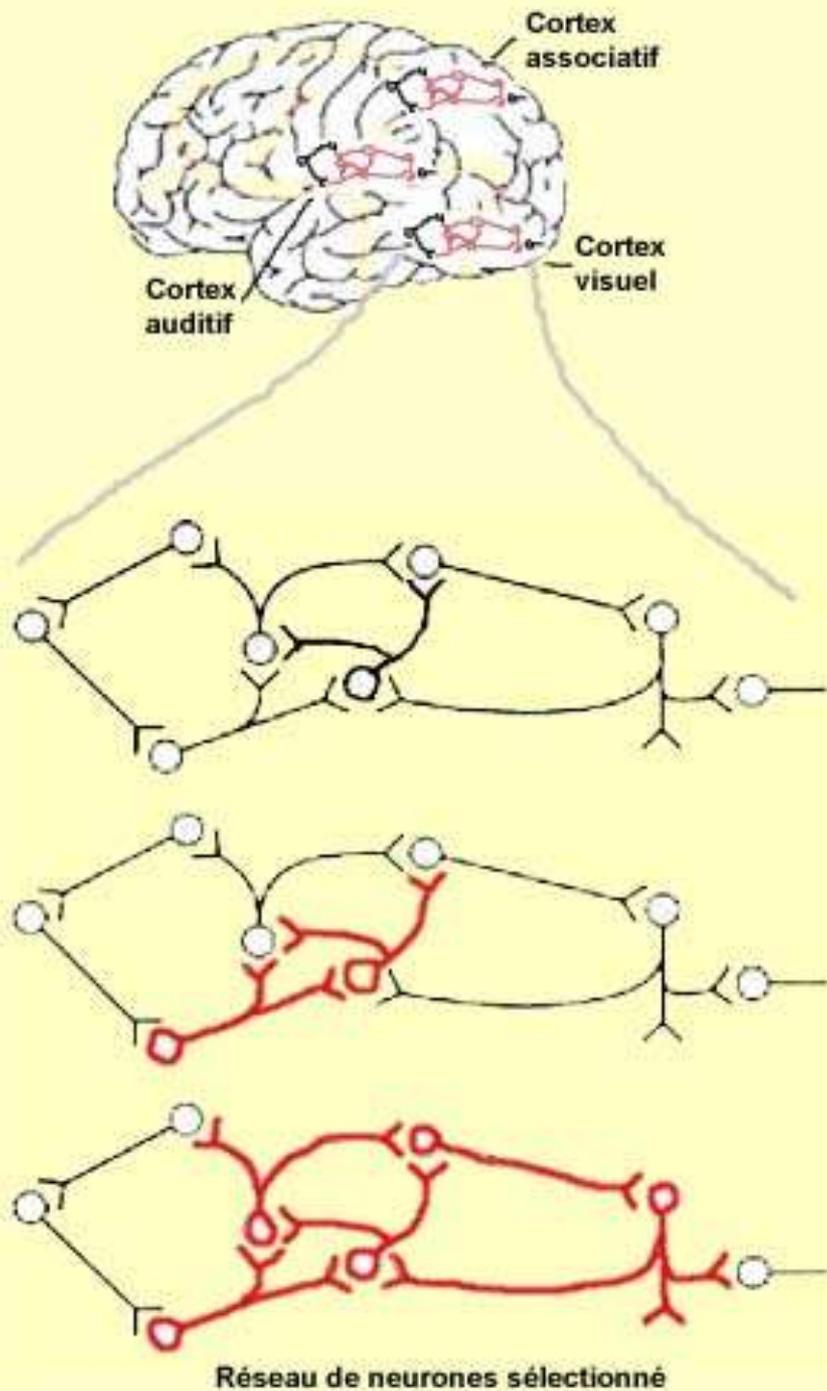


Étudier, s'entraîner, apprendre...



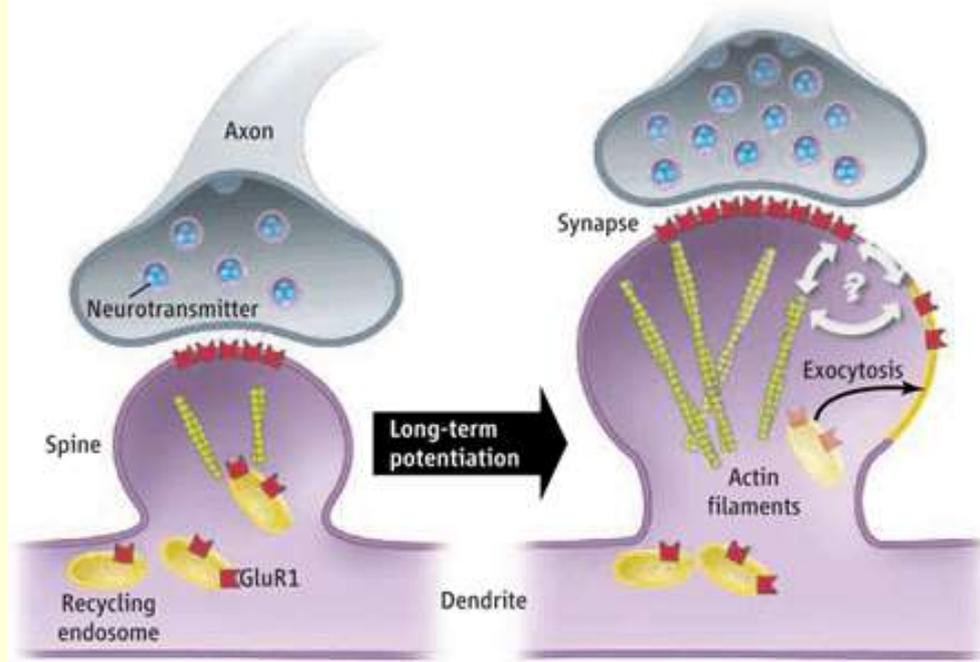
...c'est renforcer des connexions neuronales.

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



Comment ?

Grâce aux synapses qui varient leur efficacité !





BMC Biol. 2016; 14: 40. Published online [2016](#) May 19.

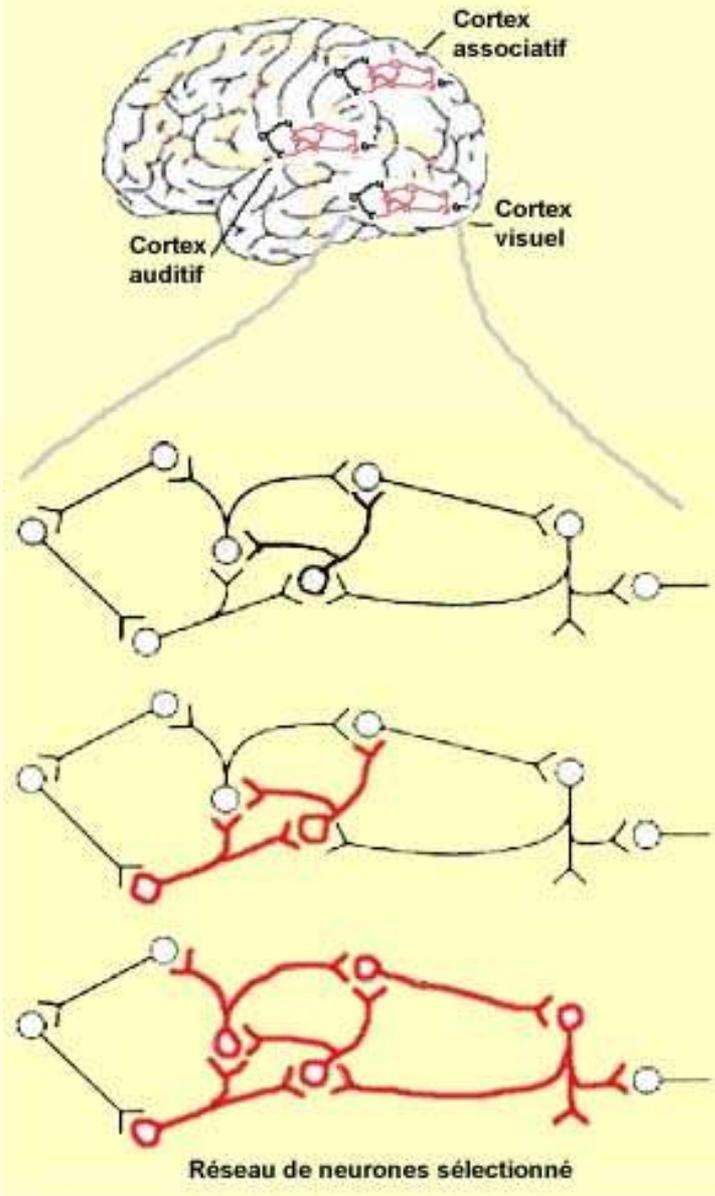
## What is memory? The present state of the engram

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

→ Il y a consensus que la modification de l'efficacité synaptique par des mécanismes comme la PLT ou la DLT représente un mécanisme fondamental pour la formation **d'engrammes mnésiques** distribués dans de multiples régions cérébrales

→ 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



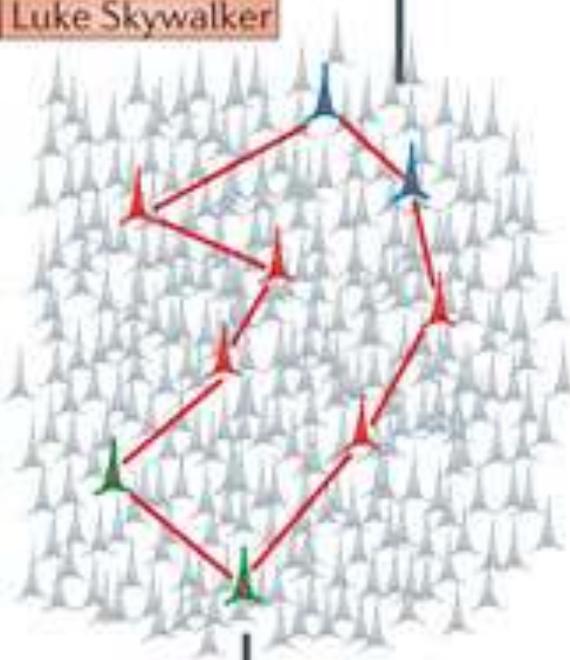
La théorie de Semon contenait implicitement l'idée d'un mécanisme de rappel appelé **“pattern completion”**

“si une partie des stimuli originaux sont rencontrés à nouveau,

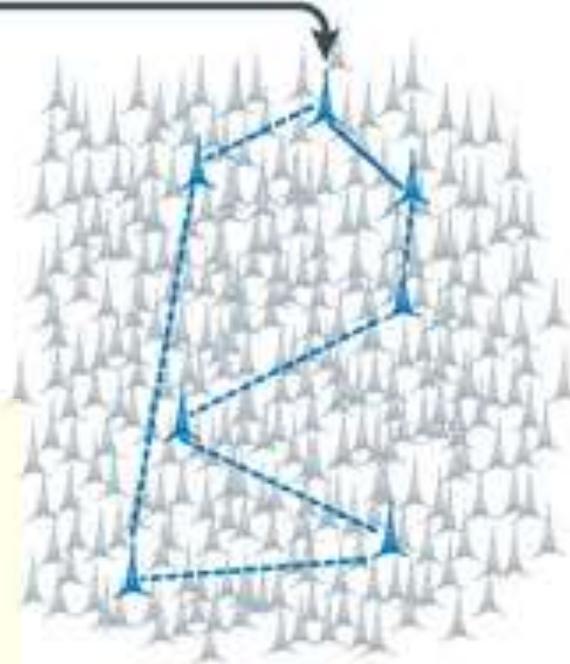
ces neurones constituant l'engramme sont **réactivés** pour évoquer **le rappel de ce souvenir spécifique.**”



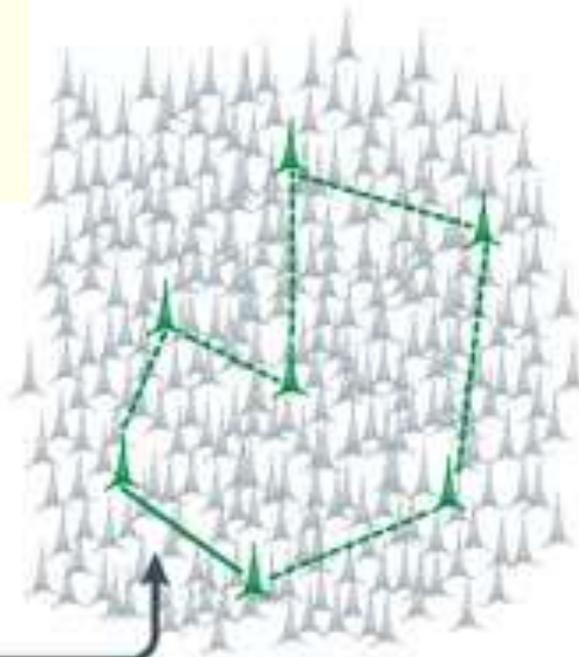
Luke Skywalker



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



Yoda



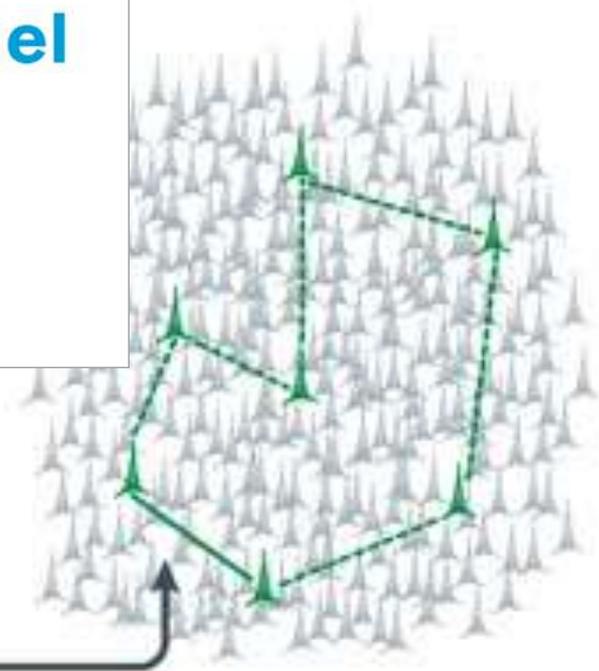
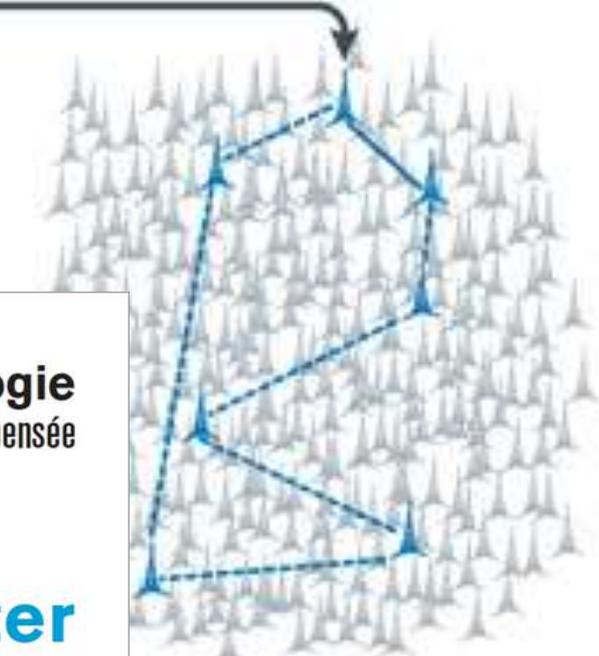
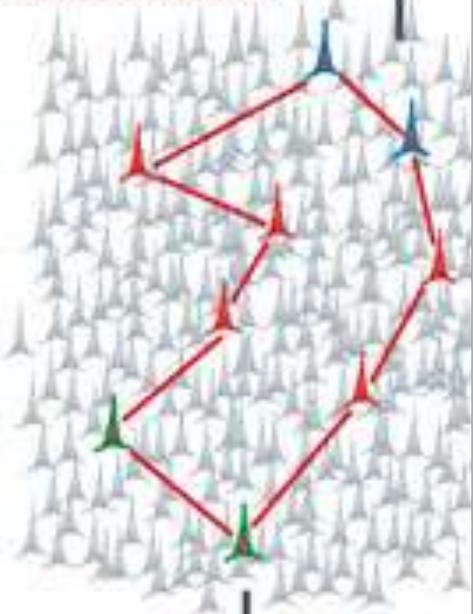
Darth Vader



Luke Skywalker



Yoda



*A* **L'Analogie**  
Cœur de la pensée

**Douglas  
Hofstadter  
Emmanuel  
Sander**

  
Odile  
Jacob  
sciences

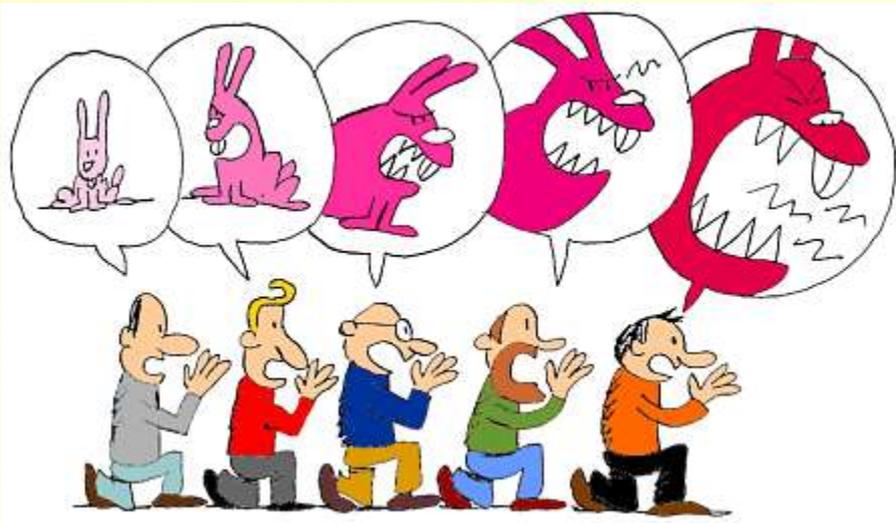
(2013)



Darth Vader

Question quiz :

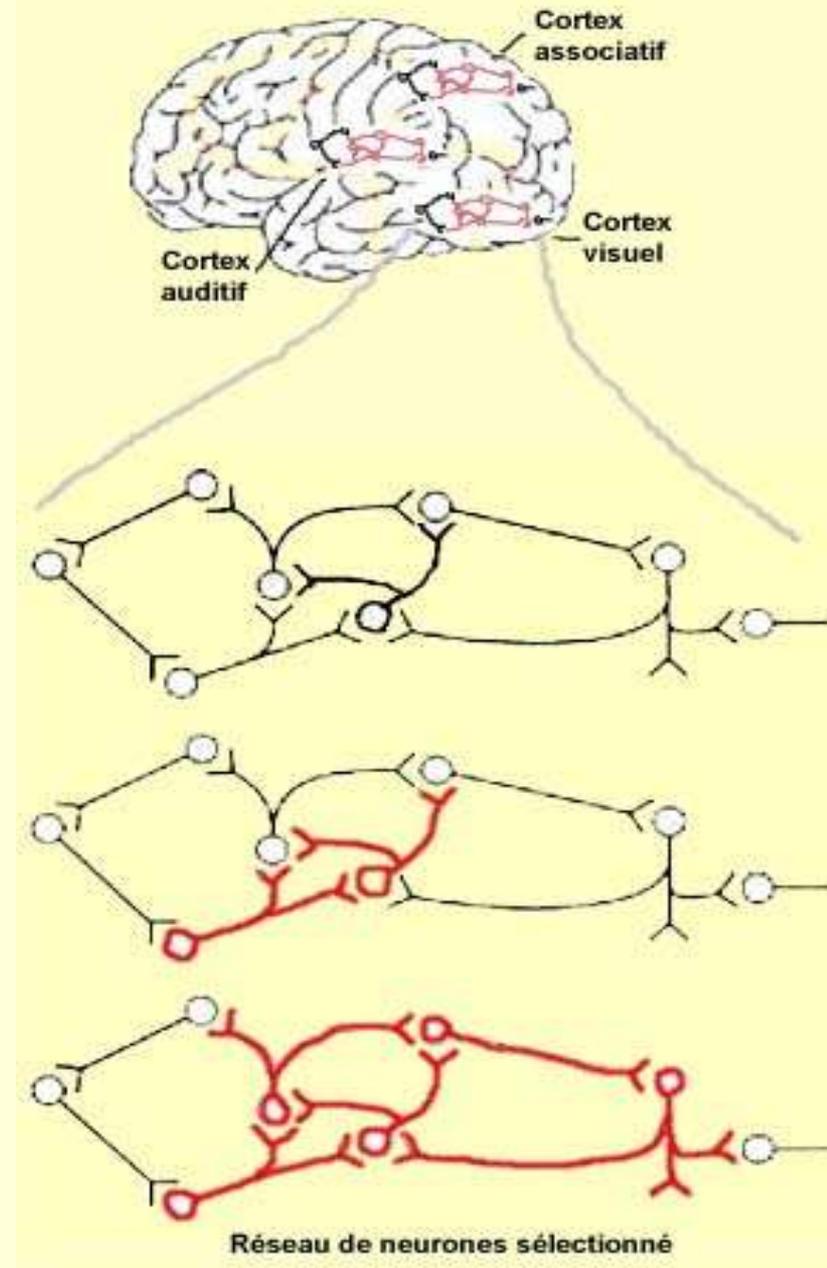
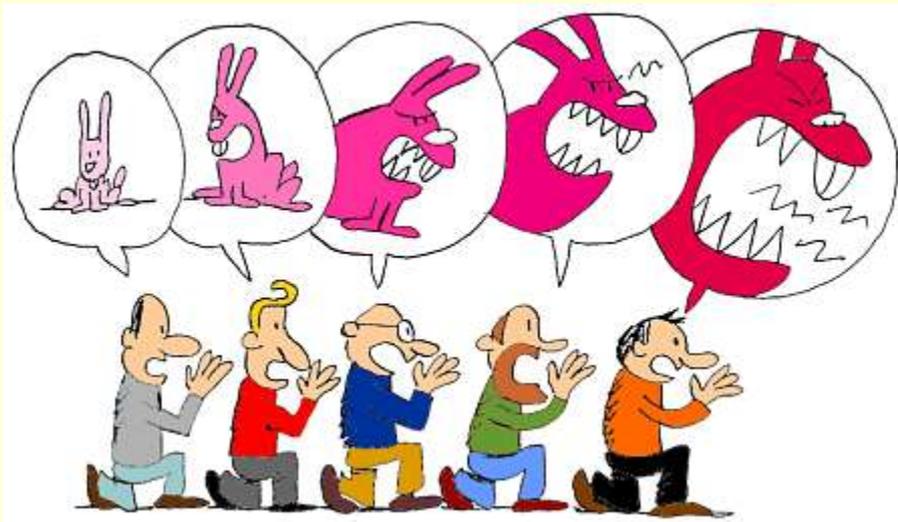
Sachant cela, quelle  
serait la meilleure  
**métaphore**  
pour la mémoire  
humaine ?



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 !



En **2006**, Carol Dweck a démontré qu'expliquer aux jeunes (ici de 5<sup>e</sup> année) que leur cerveau est **plastique** (et peut donc développer de nouvelles habiletés avec la pratique et l'effort) a des effets positifs sur leur apprentissage futur :

- meilleure attitude après des erreurs ou des échecs;
- motivation plus forte pour atteindre la maîtrise d'une compétence.

## Social Cognitive and Affective Neuroscience

Soc Cogn Affect Neurosci. 2006 September; 1(2): 75–86.  
doi: [10.1093/scan/nsl013](https://doi.org/10.1093/scan/nsl013)

PMCID: PMC1838571  
NIHMSID: NIHMS16001

### Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model

[Jennifer A. Mangels](#),<sup>1</sup> [Brady Butterfield](#),<sup>2</sup> [Justin Lamb](#),<sup>1</sup> [Catherine Good](#),<sup>3</sup> and [Carol S. Dweck](#)<sup>4</sup>

[Author information](#) ▶ [Article notes](#) ▶ [Copyright and License information](#) ▶

This article has been [cited by](#) other articles in PMC.

#### Abstract

Go to:

Students' beliefs and goals can powerfully influence their learning success. Those who believe intelligence is a fixed entity (entity theorists) tend to emphasize 'performance goals,' leaving them vulnerable to negative feedback and likely to disengage from challenging learning opportunities. In contrast, students who believe intelligence is malleable (incremental theorists) tend to emphasize 'learning goals' and rebound better from occasional failures. Guided by cognitive neuroscience models of top-down, goal-directed behavior, we use event-related potentials (ERPs) to understand how these beliefs influence attention to information associated with successful error correction. Focusing on waveforms associated with conflict detection and error correction in a test of general knowledge, we found evidence indicating that entity theorists oriented differently toward negative performance feedback, as indicated by an enhanced anterior frontal P3 that was also positively correlated with concerns about proving ability relative to others. Yet, following negative feedback, entity theorists demonstrated less sustained memory-related activity (left temporal negativity) to corrective information, suggesting reduced effortful conceptual encoding of this material—a strategic approach that may have contributed to their reduced error correction on a subsequent surprise retest. These results suggest that beliefs can influence learning success through top-down biasing of attention and conceptual processing toward goal-congruent information.

**Keywords:** Dm, episodic memory, P3a, TOI, achievement motivation

## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou

« l'engramme » d'un souvenir

**Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire**

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

- Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire :

- l'**attention**

- la mémoire de travail

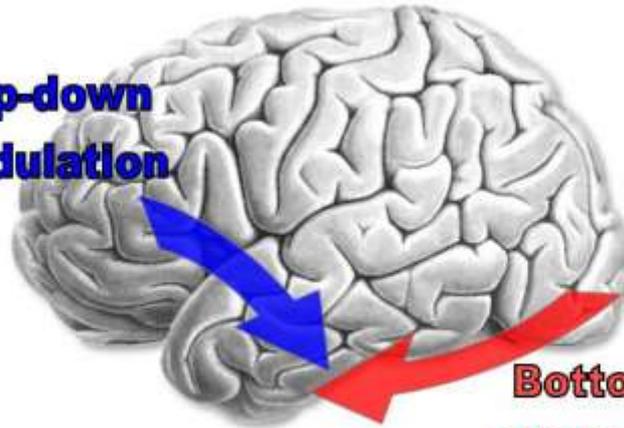
- le contexte (& émotionnel)

- reconsolidation (sommeil et espacement des apprentissages)

- la mémoire associative et les trucs mnémotechniques



**Top-down  
modulation**



**Bottom-up  
processing**



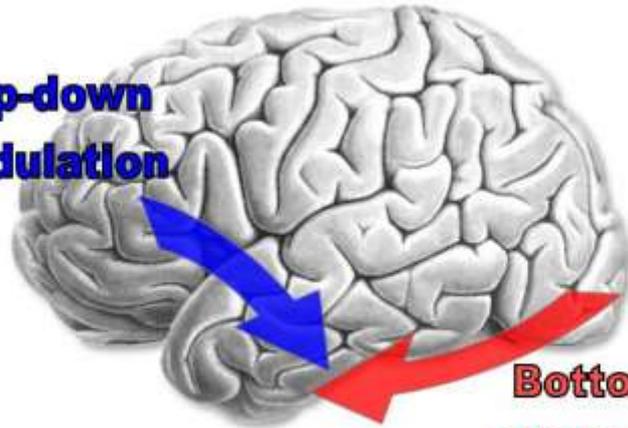
**"L'attention est le burin de la mémoire".**

Vous ne serez pas surpris d'apprendre que le degré de vigilance, d'éveil, ou de concentration améliore les capacités mnésiques.

L'**attention** fait partie de ce que l'on appelle les « fonctions exécutives » qui sont une famille de processus typiquement « **top down** ». [ **cours #7** ]



**Top-down  
modulation**



**Bottom-up  
processing**

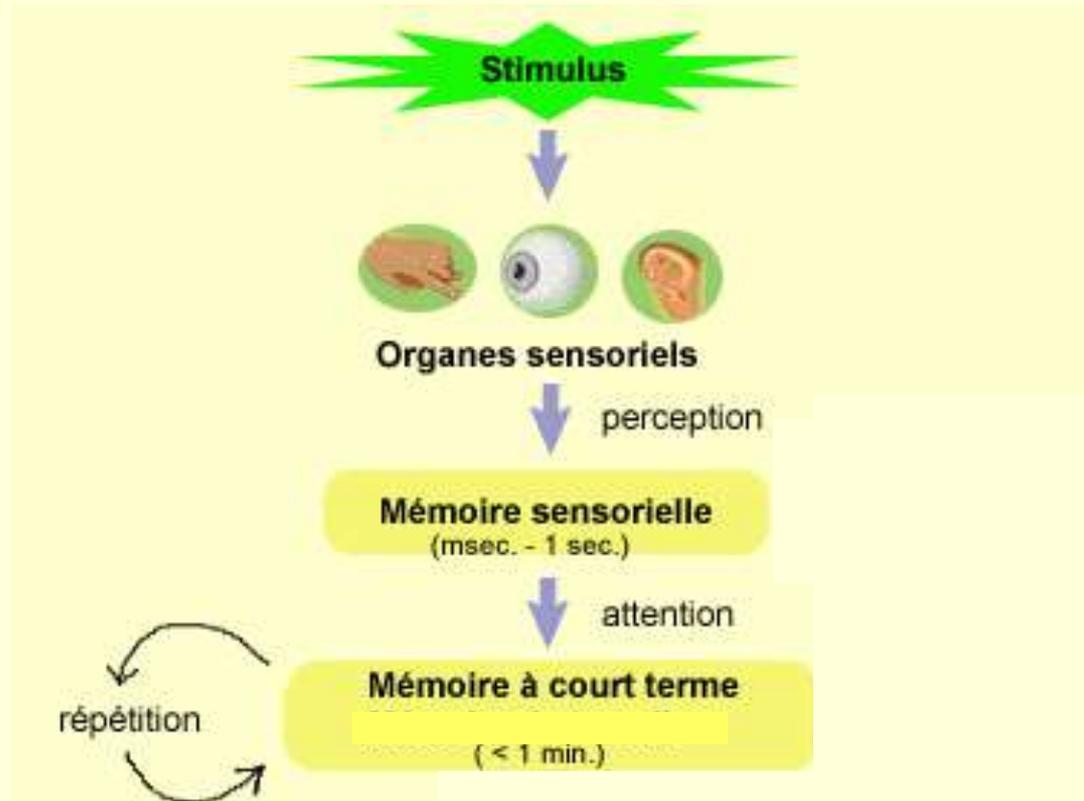


- Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire :
  - l'attention
  - la mémoire de travail
  - le contexte (& émotionnel)
  - reconsolidation (sommeil et espacement des apprentissages)
  - la mémoire associative et les trucs mnémotechniques

On peut utiliser notre

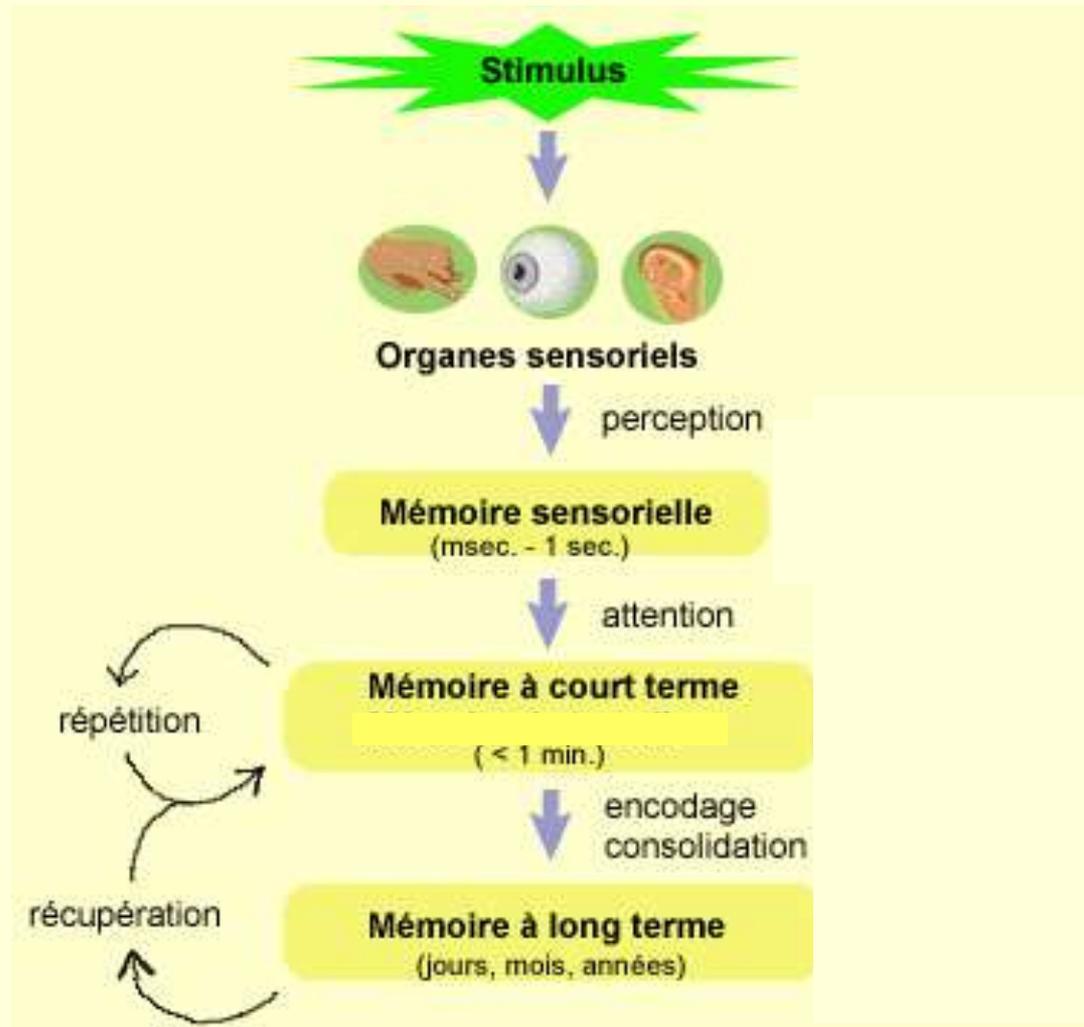
## Mémoire de travail

pour garder accessible  
des images ou des  
mots en se les répétant.



La bonne vieille **répétition** constitue donc toujours un bon truc pour **encoder** nos apprentissages.

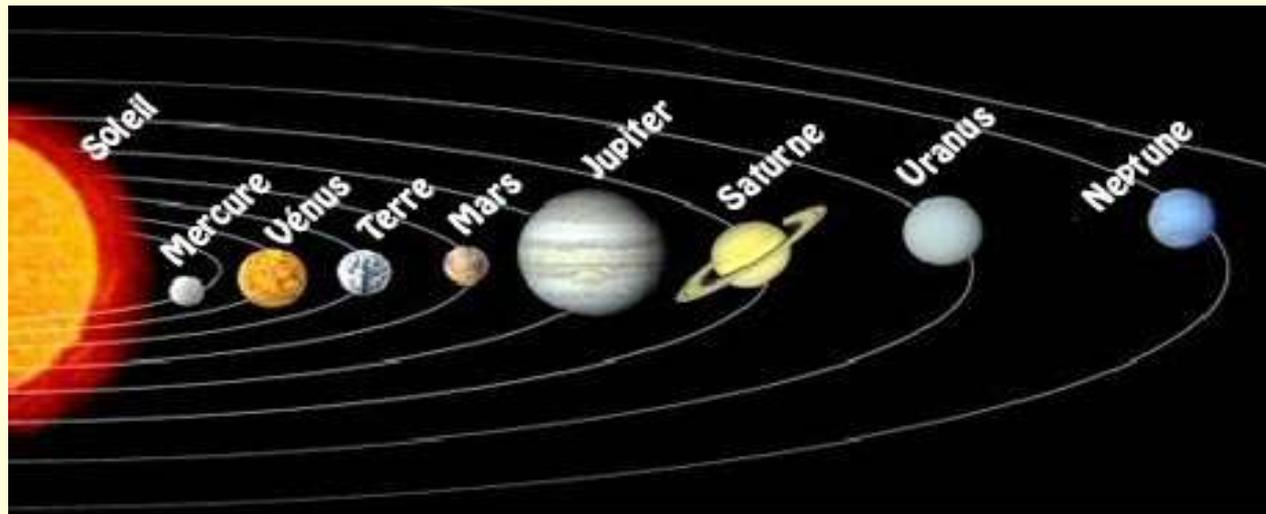
(réactivation)



Devant la **capacité limitée** de notre mémoire de travail, on a découvert certains « trucs mnémotechniques ».

### **Combiner plusieurs éléments en un seul**

En regroupant plusieurs items dans un tout qui fait du sens, on réduit le nombre d'items à mémoriser, ce qui facilite la rétention.



Ex. : "Mon Vieux Tu Me Jette Sur Un Nuage."

Autre exemple :

"Mais où est donc Carnior ?"

Pour retenir les conjonctions de coordination  
(Mais, Où, Et, Donc, Car, Ni, Or).

Ou encore :

Les numéros de téléphone

514 279-8763 (Amérique du nord)

01 84 95 36 48 33 (France)

« chunking » : mémoire court terme limitée

- Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire :
  - l'attention
  - la mémoire de travail
  - le contexte (& émotionnel)
  - reconsolidation (sommeil et espacement des apprentissages)
  - la mémoire associative et les trucs mnémotechniques

Le **contexte** (le lieu, l'éclairage, l'odeur, les bruits, etc.) présent lors de la mémorisation est donc important et s'enregistrent fréquemment avec les données à mémoriser.

Pour démontrer l'importance du **contexte** dans l'apprentissage, des chercheurs américains ont formé deux groupes.

Le premier devait enfile un maillot, un masque et un tuba, puis mémoriser une liste de mots **sous l'eau.**

Le deuxième devait mémoriser la même liste **à l'extérieur** de l'eau.

Les participants du premier groupe avaient plus de facilité à se rappeler des mots lorsque le test de rappel se faisait sous l'eau qu'à l'extérieur de l'eau.

Et vice-versa pour le second groupe.

## Le contexte peut être aussi émotionnel

" Ce qui touche le coeur se grave dans la mémoire ", disait déjà Voltaire...

→ l'effet du **stress** : c'est compliqué...

- un stress moyen **diminue** les résultats à des tests de mémoire de mots **neutres**, mais pas les mots chargés émotionnellement (positif ou négatif)

- un stress élevé (via injection de cortisol) induisent une **meilleure mémorisation** des matériaux **chargés émotionnellement**

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167876005002886>

« **Flashbulb memory** » :

fait intervenir la noradrénaline, neurotransmetteur libéré en plus grande quantité lorsque nous sommes excités ou tendus.

Il y a, derrière tout cela, comme pour toutes les émotions, des « **valeurs de survie** » inconscientes.



- Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire :
  - l'attention
  - la mémoire de travail
  - le contexte (& émotionnel)
  - reconsolidation (sommeil et espacement des apprentissages)
  - la mémoire associative et les trucs mnémotechniques

# Consolidation



**STM**

Short-term memory

**LTM**

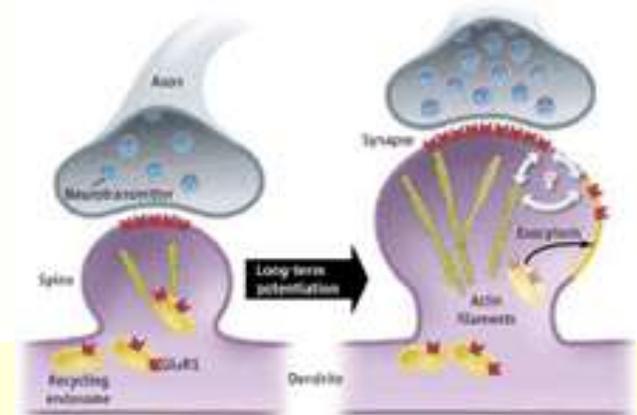
Long-term memory

Inactive state

( **stable** )

Au début de l'apprentissage, le traitement est **explicite, conscient, avec effort.**

Progressivement, l'automatisation transfère les connaissances sous une forme **implicite**, libérant la mémoire à court terme et de travail pour autre chose.



**D'où l'importance d'automatiser certaines connaissances** (lecture, calcul, etc.)

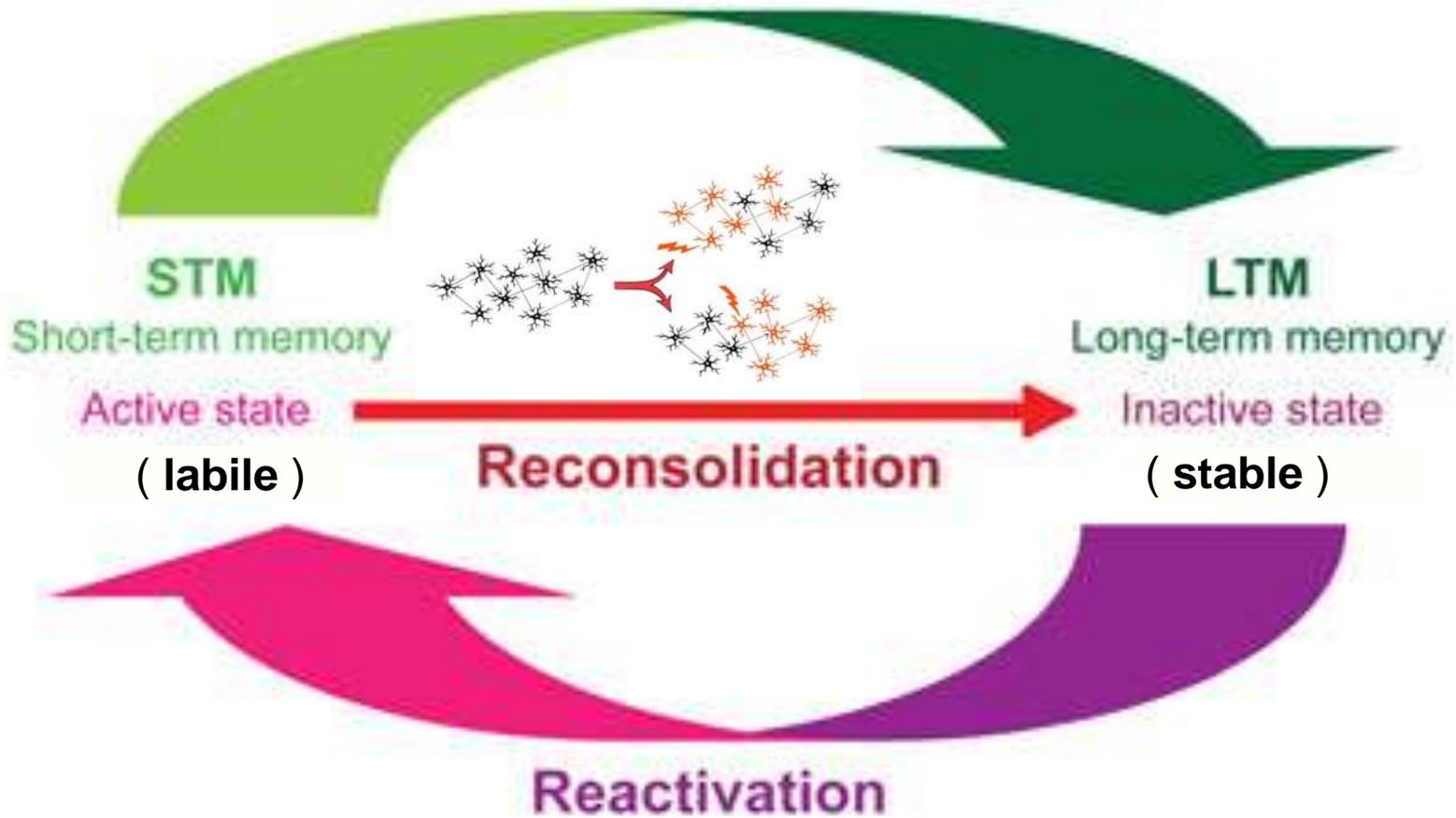
Exemple :

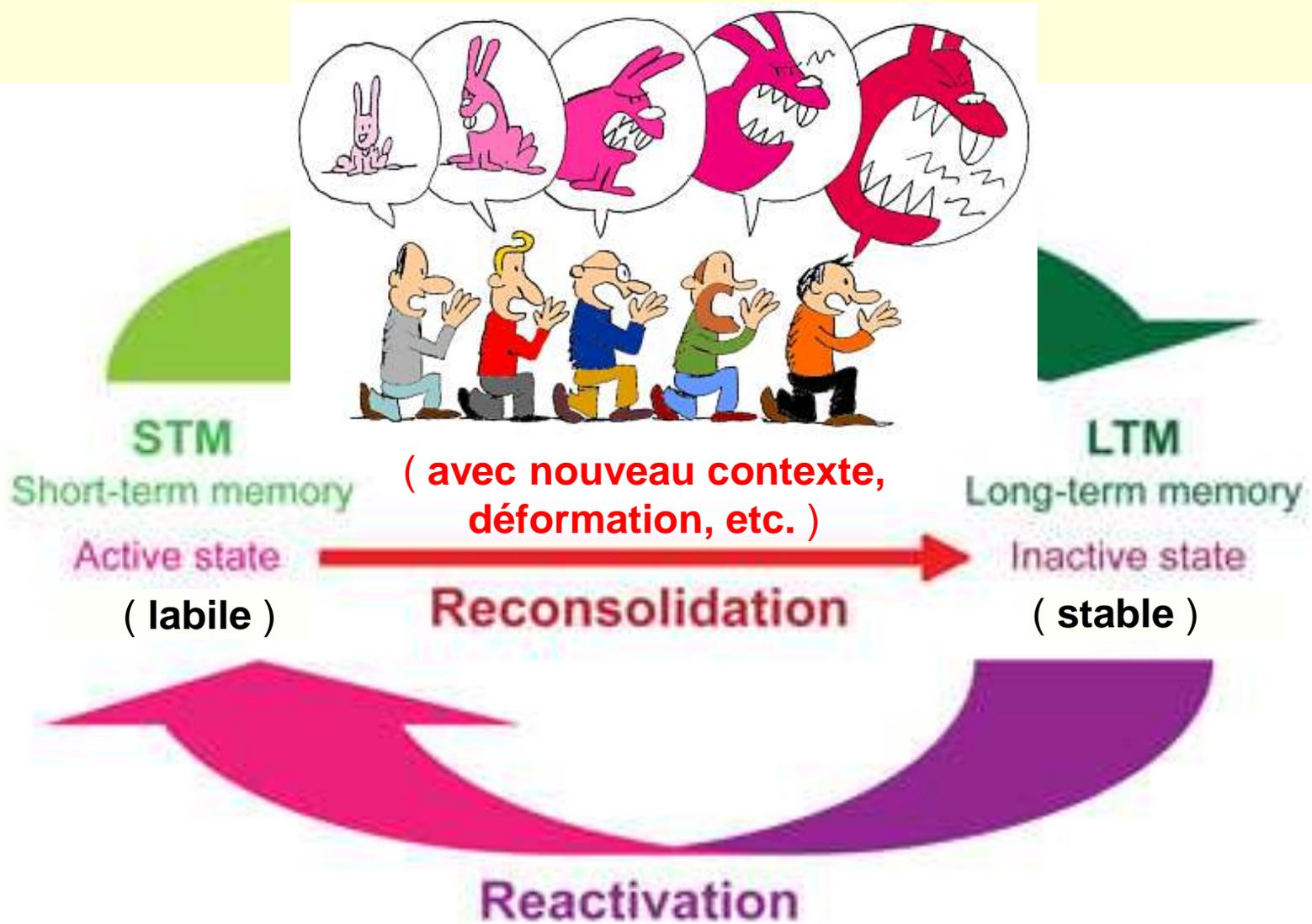
Le temps de lecture est proportionnel au nombre de lettre dans un mot chez jeune enfant (qui applique encore les correspondances graphème-phonème sous forme de règles **explicites** qu'il applique une par une),

Mais plus chez l'adulte où le décodage devient routinier, **implicite**, rapide et non-conscient.

L'automatisation est essentielle, car elle **permet de se concentrer sur autre chose**, le sens du texte, par exemple.

# Consolidation





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

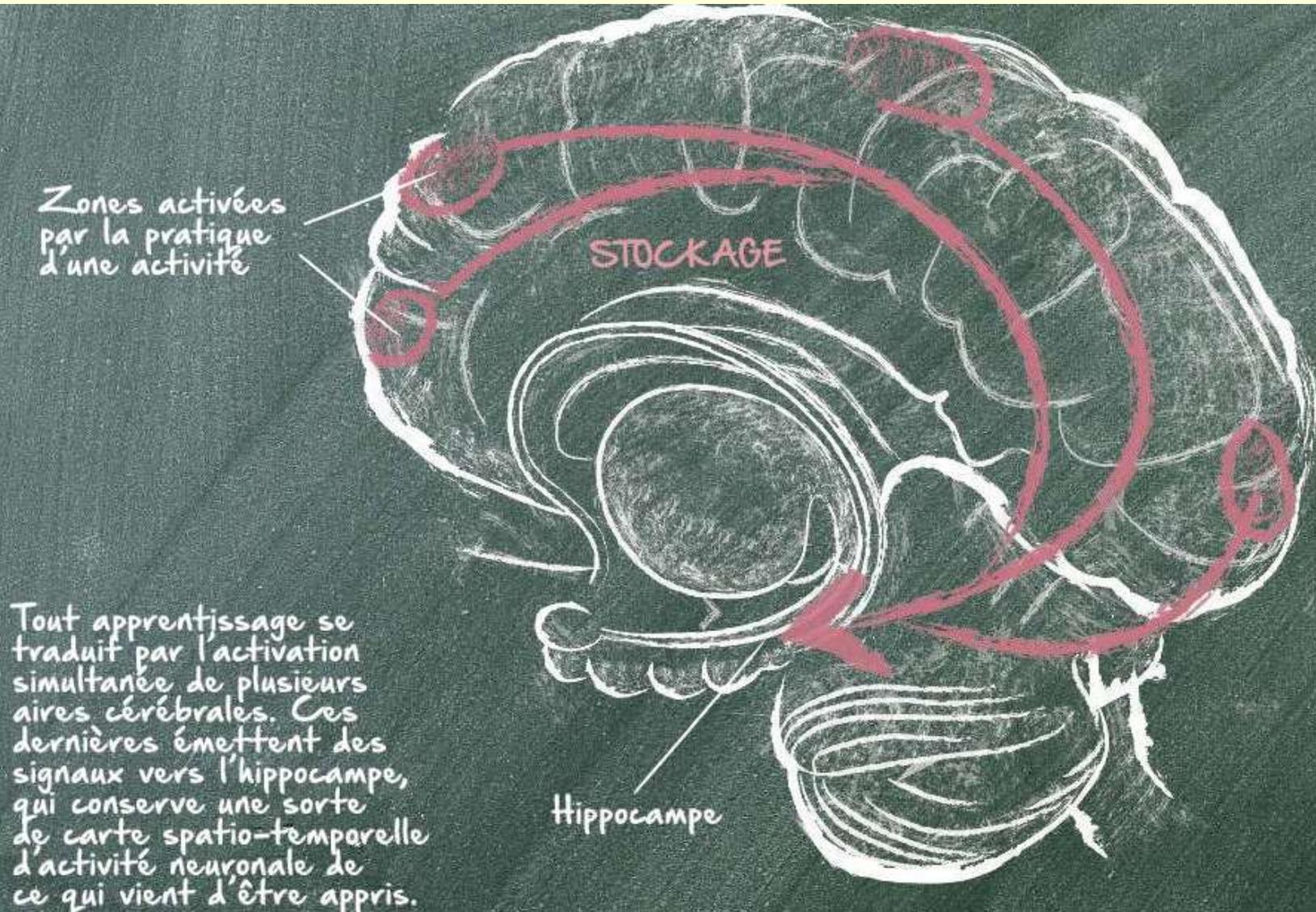
Inda MC, Muravieva EV, Alberini CM. Journal of Neuroscience 2011 Feb 2; 31(5):1635-43.

<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))

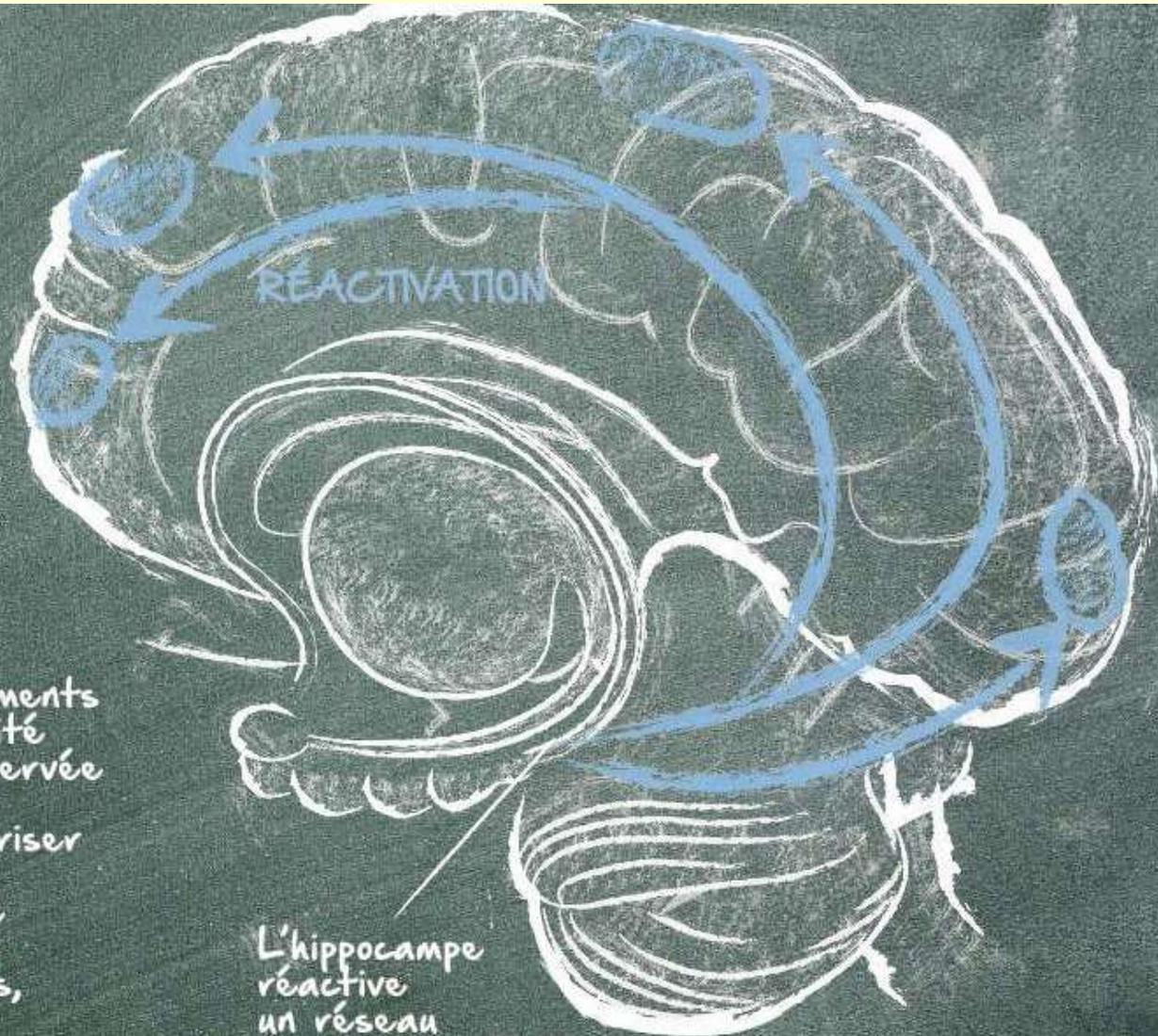
Le **sommeil** intervient dans la **consolidation** des apprentissages.

Les apprentissage du jour...



Le **sommeil** intervient dans la **consolidation** des apprentissages.

Les apprentissage du jour... sont **réactivés 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

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)
- et revenir sur les contenus appris il y a longtemps

Dossier

## Aider les élèves à transformer leur cerveau en espaçant les périodes d'apprentissage



**Steve Masson**

Professeur et Directeur du Laboratoire de recherche en neuroéducation  
Université du Québec à Montréal  
masson.steve@uqam.ca

<http://www.labneuroeducation.org/publications/>

Dans cet article, il sera question de l'un des principes pédagogiques les plus efficaces pour aider les élèves à apprendre : l'espacement des périodes d'apprentissage. Après avoir présenté les effets de l'espacement sur les apprentissages et le cerveau des élèves, des stratégies seront suggérées à la fin de l'article pour faciliter la mise en application du principe d'espacement en classe.

La ligne bleue de la figure 1 montre quant à elle ce qui se produit lorsqu'on espace les périodes d'apprentissage. Si, au lieu d'être regroupées, les quatre mêmes heures d'enseignement sont étalées sur quelques jours, deux phénomènes sont observables. Le premier concerne le niveau d'apprentissage des élèves qui est plus élevé à la suite des quatre heures d'enseignement espacées qu'à la suite des quatre heures regrou-

Pour contrer l'oubli, il y a certains principes qui semblent faire consensus (mais des débats subsistent sur leur degré d'efficacité respectif)

L'apprentissage est optimal lorsque l'enfant **alterne apprentissage et test immédiat et répété** de ses connaissances.

→ Il y a alors un **engagement actif** qui favorise la mémorisation (davantage que la lecture passive)

Cela permet à l'enfant d'apprendre à **savoir quand il ne sait pas** (métacognition)

### **The critical importance of retrieval for learning.**

Karpicke JD, Roediger HL 3rd.

Science. **2008**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18276894>

Groupe 1 : 4 study, 4 test (ST ST ST ST)

Groupe 2 : 6 study, 2 test (ST SS ST SS)

Groupe 3 : 8 study, 0 test (SS SS SS SS)

**Les meilleurs résultats de rappel deux jours plus tard** sont : groupe 1, puis 2 et 3.

## En résumé :

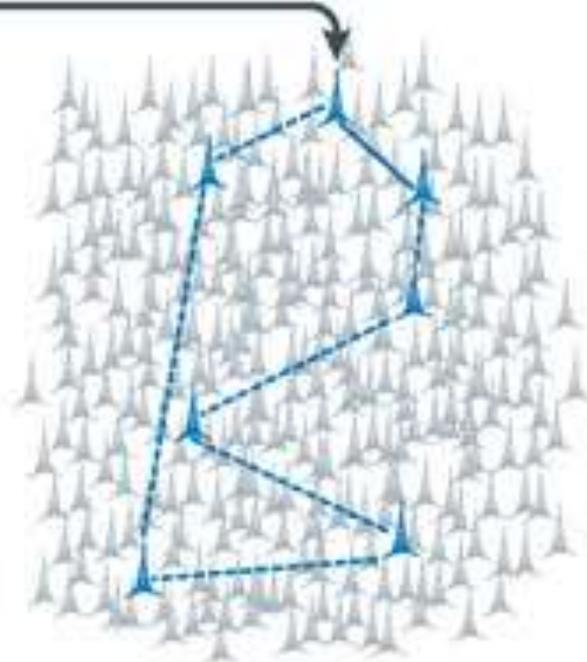
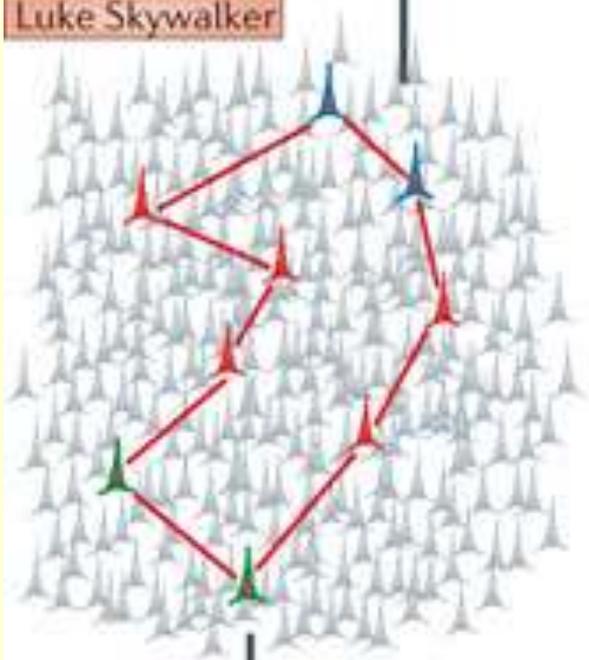
- **Poser souvent des questions** aux élèves permet à l'enseignant de vérifier la compréhension de la matière enseignée (et pas seulement demander au groupe s'ils ont des questions).
- Faire des **tests de révision fréquents** force l'étudiant.es à récupérer en mémoire une information récemment apprise
- Ce rappel est suivi d'une **reconsolidation** qui permet le **stockage plus profond** de cette information en mémoire à long terme.

- Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire :
  - l'attention
  - la mémoire de travail
  - le contexte (& émotionnel)
  - reconsolidation (sommeil et espacement des apprentissages)
  - la mémoire associative et les trucs mnémotechniques

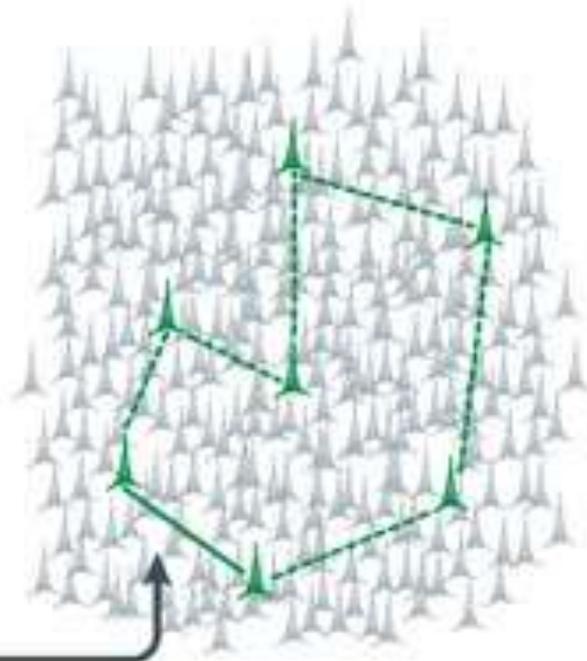




Luke Skywalker

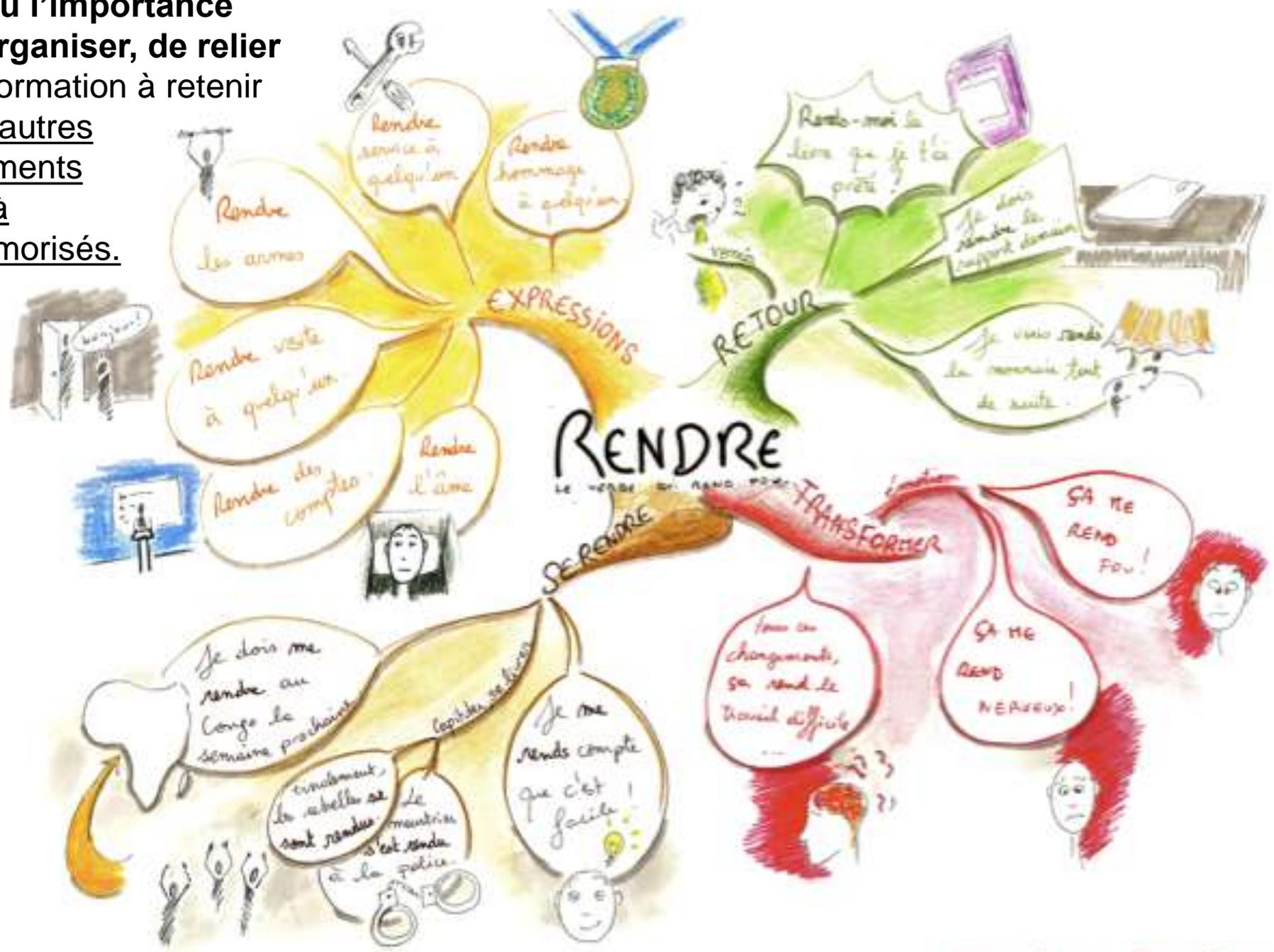


Yoda



Darth Vader

**D'où l'importance  
d'organiser, de relier  
l'information à retenir  
à d'autres  
éléments  
déjà  
mémorisés.**



Ce qui est important et efficace, c'est **l'organisation** et la **transformation** des données, que l'on peut obtenir par différents moyens comme le résumé ou la synthèse.

Dès qu'il y a **personnalisation** d'un stimulus, il y a **appropriation** dudit stimulus, donc **apprentissage**.

Donc, oui, la **carte mentale** est efficace pour apprendre, mais peut-être pas tant parce que c'est une carte mentale, mais parce qu'elle oblige à faire un travail de transformation.



Des participants à un jeu de questions-réponses de culture générale, **retiennent mieux les questions où ils avaient des connaissances préalables sur le sujet,**

mais n'en savaient pas assez pour donner la réponse, de sorte qu'ils étaient très curieux de la connaître.

(Min Jaeng Kang et al., **2009**)

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

- Hélène Trocme Fabre,

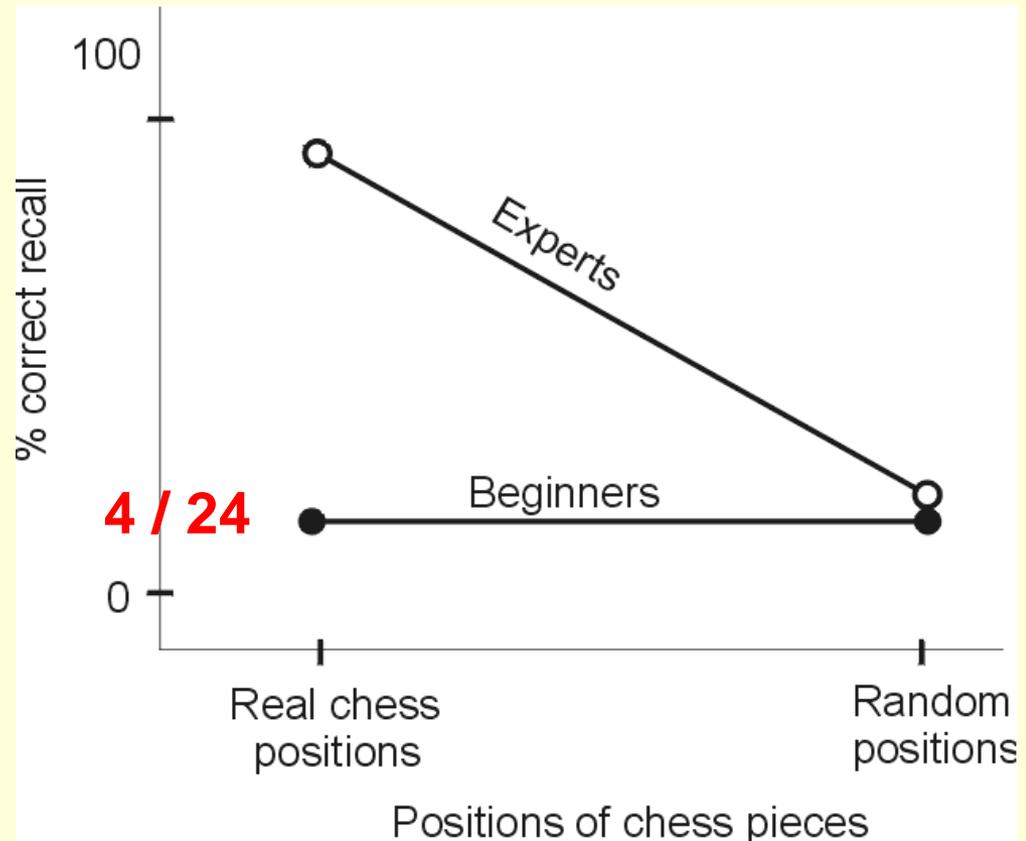
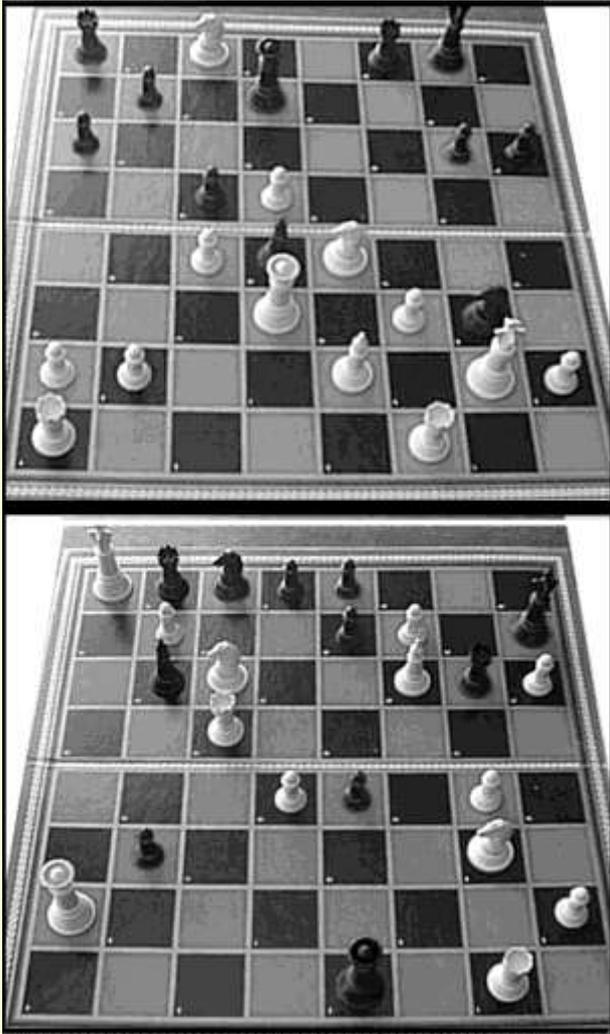


# How experts recall chess positions

By Daniel Simons, on February 15th, 2012

<http://theinvisiblegorilla.com/blog/2012/02/15/how-experts-recall-chess-positions/>

5 s.



A **meaningful** configuration (**top**)  
and a random configuration (bottom)

# Trucs mnémotechniques – en résumé...

1) Répéter

2) Combiner plusieurs éléments en un seul

Avec l'aspect **associatif** de nos mémoires

3) Organiser

4) Associer à des lieux connus

On sait depuis très longtemps  
qu'associer de nouvelles choses  
à des choses connues  
(comme un lieu familier)  
aide à les retenir.

Cette méthode est utilisée depuis plus de deux mille ans !

La première mention d'une association lieux/objets remonterait au poète grec **Simonides de Céos** né en 556 av. J.-C.



## Un Art de la Mémoire

13 mai 2017

<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-13-mai-2017>

27 mai 2017

**Le Mnémoniste (sur le patient de A. Luria)**

<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-27-mai-2017>



# Trucs mnémotechniques

1) Répéter

2) Combiner plusieurs éléments en un seul

Avec l'aspect **associatif** de nos mémoires

3) Organiser

4) Associer à des lieux connus

5) Associer à des images mentales fortes

Plus l'association est surprenante,  
plus on a de chance de s'en souvenir



## Liste d'épicerie :

- Yogourt grec
- Bagel
- Mangue
- Jus d'orange



# How to become a Memory Master : Idriz Zogaj at TEDxGoteborg

<https://www.youtube.com/watch?v=9ebJlcZMx3c>



Type normal avec une mémoire normale qui commence à s'intéresser par hasard aux techniques de mémorisation à l'âge de 25 ans.

Il affirme qu'avec un mois d'entraînement, on peut tous apprendre à mémoriser l'ordre des 52 cartes d'un paquet brassé en les regardant une fois en moins de 5 minutes !

[ mais il cherche sa voiture dans un stationnement s'il n'a pas porté attention à l'endroit où il l'avait stationné ! ]



« It's all about **having fun**.  
And letting the brain makes  
strong connections. »

« The next time you want to  
remember something,  
**make a fun story of it** »

**Les champions d'aujourd'hui  
ne font que les pousser les  
trucs découverts dans la  
Grèce Antique.**

# Championnat de mémorisation: un sport extrême

Publié le 29 mars 2009

<http://www.lapresse.ca/vivre/sante/200903/29/01-841335-championnat-de-memorisation-un-sport-extreme.php>

Parviennent par exemple à mémoriser **l'ordre exact d'un jeu de 52 cartes mélangées en 1 minutes 37 secondes** et

**à retenir une séquence de 167 chiffres aléatoires en 5 petites minutes.**

« Pour les nombres, l'un des systèmes couramment employés par les mnémonistes pour se préparer aux championnats du monde de mémoire consiste à représenter chaque nombre de 0 à 99 par une personne dans une action.

Le 07 peut être incarné par James Bond qui tire au pistolet.

Pour le 66, on peut voir le diable embrochant des enfants avec sa fourche.

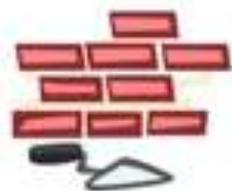
Pour le 98, on peut faire le lien avec la Coupe du monde de football et voir Zidane shootant dans un ballon.

Ainsi, n'importe quelle série de six chiffres peut être transformée en une image unique en combinant le **personnage du premier nombre** avec **l'action du second nombre**, sur une **tierce personne définie par le troisième nombre** : 986607 devient Zidane (98) qui embroche (66) James Bond (07).

Il suffit de placer cette scène dans un **palais de mémoire** et d'en ajouter d'autres sur le parcours pour retenir une longue suite de chiffres. »

- 1) Créer une image mentale flyée pour l'association
- 2) La situer dans l'espace (en un « trajet »)

Ça vous rappelle quelque chose ?





## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes structures cérébrales  
Nos structures cérébrales et leur multiples « noyaux »  
Évolution des différents types de mémoire;  
Structures cérébrales associées et « recyclage neuronal »  
L'hippocampe à la lumière du patient H.M.  
Quelques mécanismes mnésiques : LTP, DLT et STDP;  
Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou « l'engramme » d'un souvenir  
Les facteurs qui influencent l'apprentissage et la mémoire  
**L'influence de l'âge sur diverses capacités cognitives**  
Jusqu'où peut aller la plasticité cérébrale ?

# L'influence de l'âge sur diverses capacités cognitives

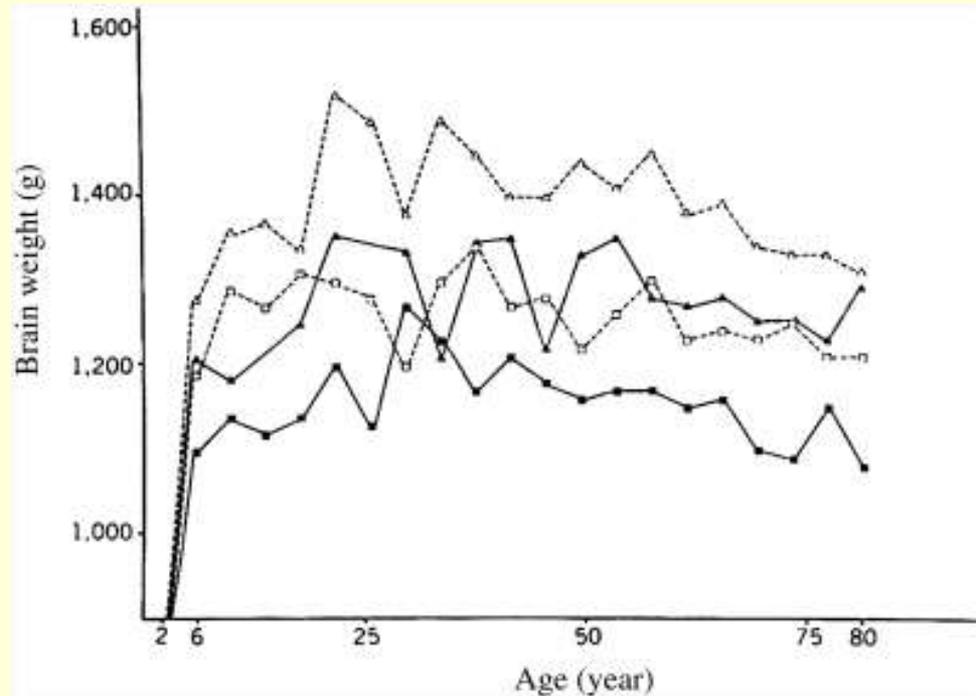


**Old age begins at 27 as mental powers start to decline, scientists find (2009)**

<http://www.telegraph.co.uk/news/newsttopics/howaboutthat/4995546/Old-age-begins-at-27-as-mental-powers-start-to-decline-scientists-find.html>



Int J Neurosci. 2009; 119(5):691-731. **Whole brain size and general mental ability: a review.** Rushton JP, Ankney CD.



**La perte de masse du cerveau est d'environ 2 grammes par année à partir de 26 ans jusqu'à 80 ans.**

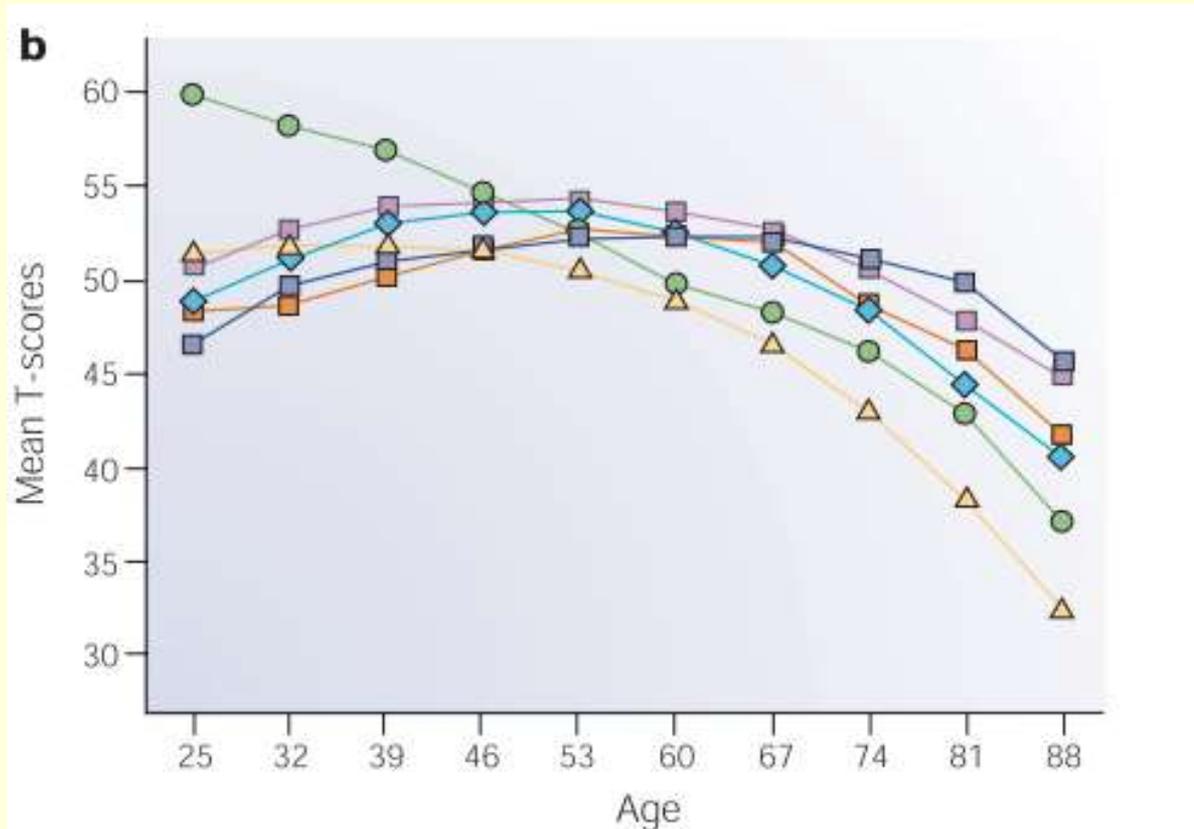
On perd donc environ 108 g de notre 1450 g initial pour descendre à 1342 g.

Une perte de 7,5% au total. Après l'âge de 80 ans, le taux de perte passe à 5 g par année environ.

Nat Rev Neurosci. **2004** Feb;5(2):87-96.

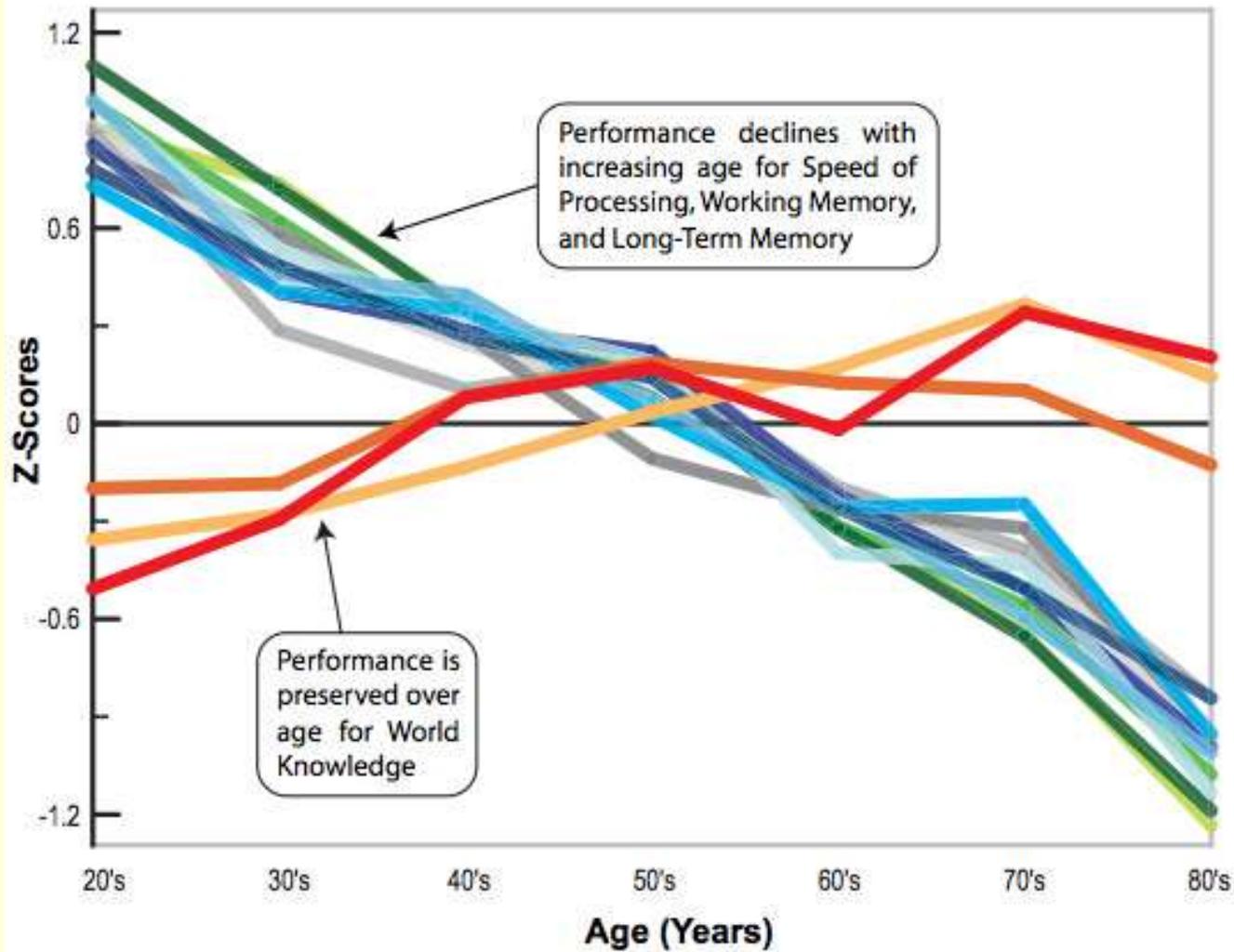
## Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience.

Hedden T, Gabrieli JD.



Alors que certaines fonctions cognitives ont leur maximum autour de l'âge de **25 ans** (ce qui correspond à la masse maximum du cerveau),

plusieurs autres n'atteignent leur maximum passé **50 ans** (comme le raisonnement inductif ou les habileté verbales).



## Cours 3: Des milliers et des millions de neurones (des structures cérébrales distinctes)

### A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe

Développement de nos différentes  
structures cérébrales

Nos structures cérébrales  
et leur multiples « noyaux »

Évolution des différents types de mémoire;

Structures cérébrales associées  
et « recyclage neuronal »

L'hippocampe à la lumière du patient H.M.

Quelques mécanismes mnésiques :  
LTP, DLT et STDP;

Deux petits tests de mémoire

### B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

La trace physique ou  
« l'engramme » d'un souvenir

Les facteurs qui influencent  
l'apprentissage et la mémoire

L'influence de l'âge sur diverses  
capacités cognitives

Jusqu'où peut aller  
la plasticité cérébrale ?

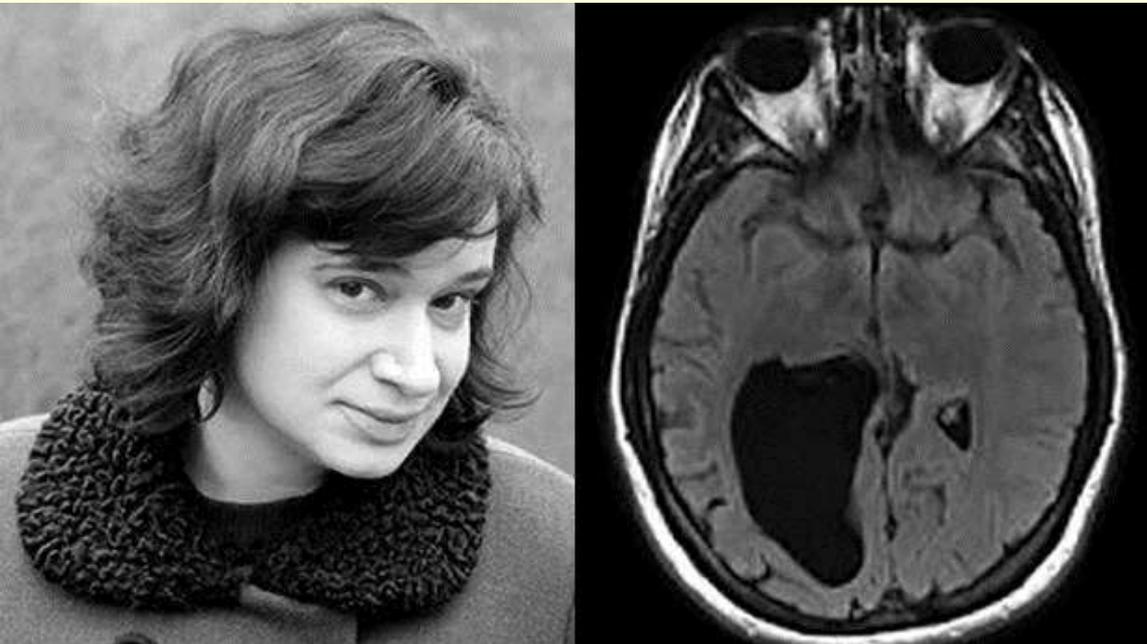
# The woman with a lemon-sized hole in her brain

<http://www.cbsnews.com/news/cole-cohen-woman-with-lemon-sized-hole-in-her-brain/>

May 21, 2015

Cole Cohen a grandi sans jamais savoir pourquoi elle ne pouvait pas comprendre le temps et l'espace. Elle n'était pas non plus capable de lire l'heure sur un cadran analogique, évaluer la vitesse d'une voiture qui approche dans la rue, ou encore savoir combien de temps faire une accolade à quelqu'un.

Les médecins se confondaient en diagnostics, incluant TDAH et dyslexie. Finalement, quand elle a eu 26 ans, quelqu'un lui suggéra de passer un scan d'IRM.



Les résultats furent renversants : elle avait un trou dans son cerveau de la taille d'un citron. Rempli de liquide cérébro-spinal, le trou se retrouvait où son **lobe pariétal** aurait dû être, une région du cerveau impliquée dans la navigation spatiale, la compréhension des nombres, certaines informations sensorielles, etc.

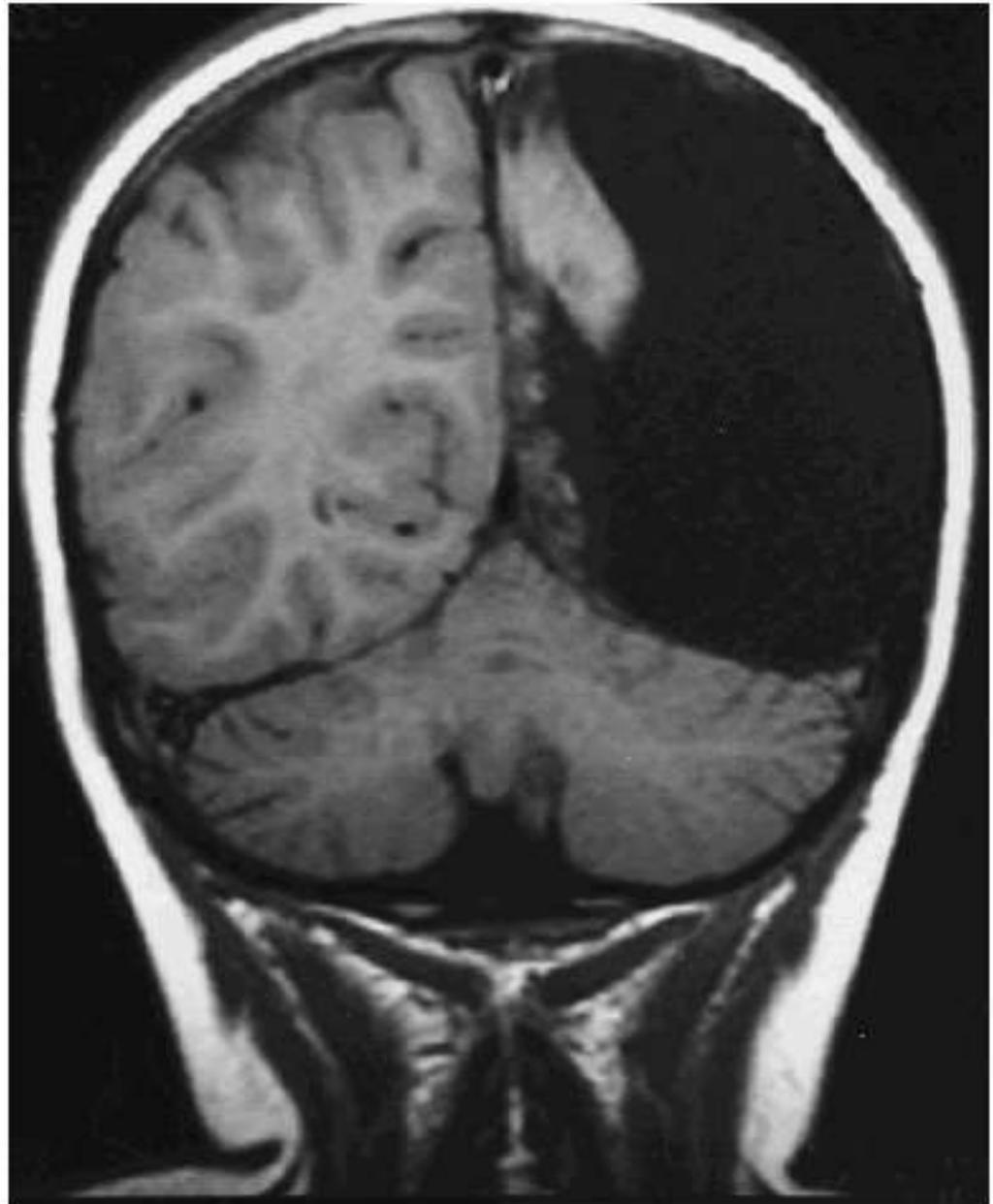
## Clinical picture

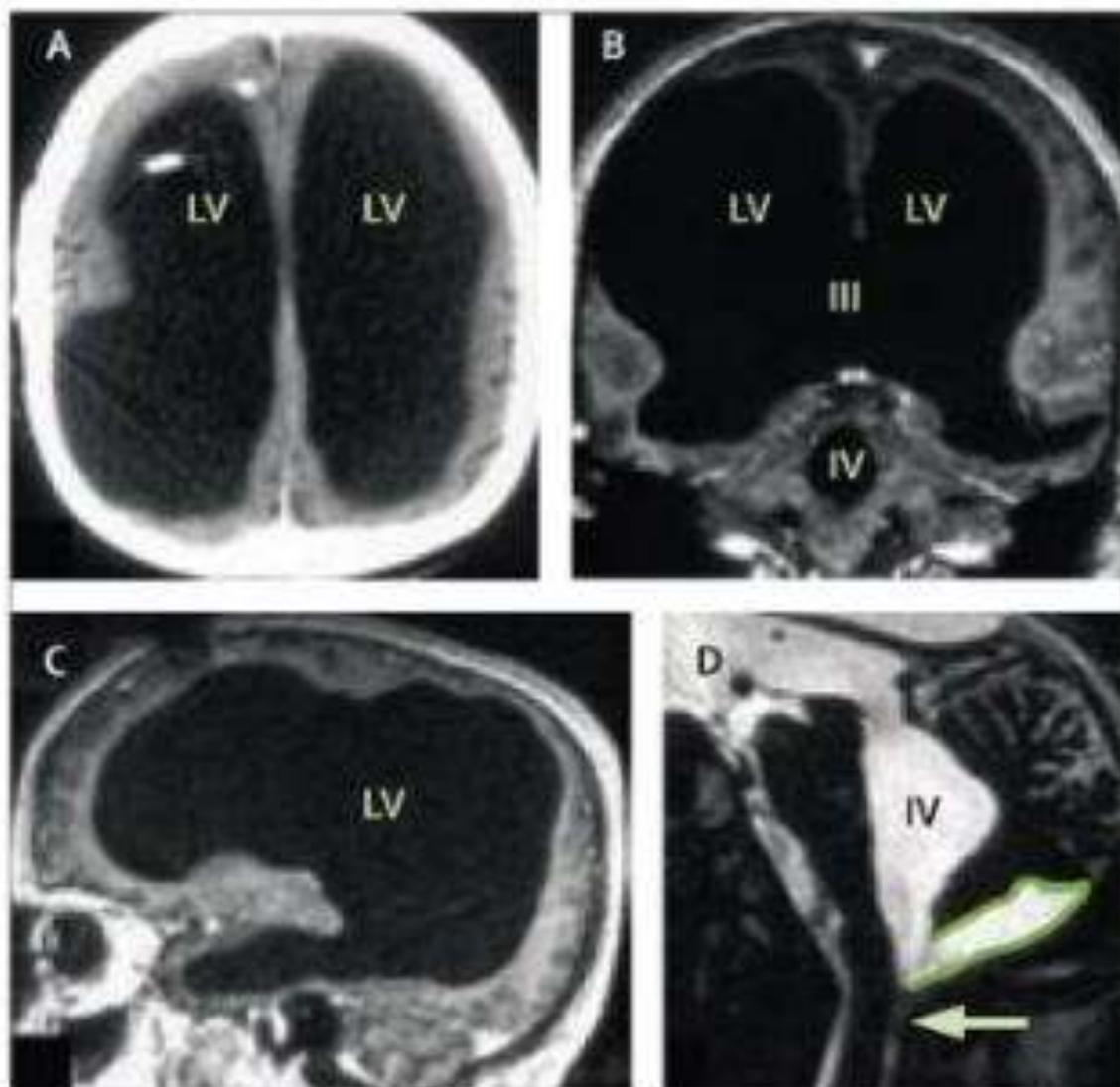
The Lancet, 359, February 6, 2002

### Half a brain

*Johannes Borgstein,  
Caroline Grootendorst*

This 7-year-old girl had a hemispherectomy at the age of 3 for Rasmussen syndrome (chronic focal encephalitis). Intractable epilepsy had already led to right-sided hemiplegia and severe regression of language skills. Though the dominant hemisphere was removed, with its language centres and the motor control for the left side of her body, the child is fully bilingual in Turkish and Dutch, while even her hemiplegia has partially recovered and is only noticeable by a slight spasticity of her left arm and leg. She leads an otherwise normal life.





**Figure: Massive ventricular enlargement, in a patient with normal social functioning**

(A) CT; (B, C) T1- weighted MRI, with gadolinium contrast; (D) T2-weighted MRI. LV=lateral ventricle. III=third ventricle. IV=fourth ventricle. Arrow=Magendie's foramen. The posterior fossa cyst is outlined in (D).

NEW YORK TIMES BESTSELLER  
NORMAN DOIDGE, M.D.  
*Author of*  
THE BRAIN THAT CHANGES ITSELF



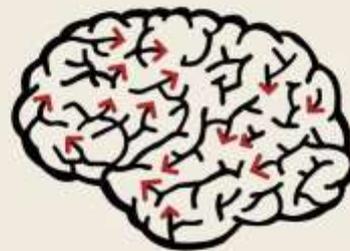
*The*  
BRAIN'S WAY  
*of* HEALING

REMARKABLE DISCOVERIES  
and RECOVERIES FROM  
FRONTIERS of NEUROPLASTICITY

2007

NORMAN DOIDGE

The Brain that  
Changes Itself



Stories of Personal Triumph from  
the Frontiers of Brain Science

'The power of positive  
credibility  
111

'Doidge has identified  
potential one in medicine  
115 N

2015

☆☆☆ l'Esprit d'ouverture ☆☆☆

NORMAN DOIDGE

Les étonnants  
pouvoirs  
de transformation  
du cerveau

Guérir grâce  
à la neuroplasticité

2008

PRÉFACE DE  
MICHEL CYMES

☆☆☆ l'Esprit d'ouverture ☆☆☆

NORMAN DOIDGE

Guérir  
grâce à  
la neuroplasticité



Découvertes remarquables  
à l'avant-garde de la recherche  
sur le cerveau

2016