

# Notre cerveau à tous les niveaux

École des profs – Collège de Rosemont

**18 mai 2022**

12h30 à 15h30



# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + bloqué

[www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca)

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

un site web interactif sur les comportements humains

[www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca)

# 20 ANS

**Le niveau débutant** s'adresse à ceux qui n'ont aucune connaissance scientifique particulière. C'est le cerveau "pour les nuls" pour "tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le cerveau sans oser le demander".

**Le niveau social** examine les codes et les normes qui régissent les rapports entre les individus, de même que les institutions qui en résultent.

**Le niveau psychologique** explore les différentes impressions subjectives qui amènent un individu à adopter tel ou tel comportement.

**Le niveau cérébral** présente les différentes régions du cerveau qui sont impliquées lors de tel ou tel comportement.

**Le Cerveau à tous les niveaux** est un site web de vulgarisation scientifique qui se veut autant une passerelle entre les chercheurs et le public qu'un outil pour mieux se comprendre.

L'originalité du site réside en son mode de navigation qui s'ajuste à vos connaissances grâce à ses trois niveaux d'explication : débutant, intermédiaire et avancé. Vous déterminez ensuite vous-même lesquels des différents niveaux d'organisation du vivant vous voulez explorer, du moléculaire jusqu'au social !

Vous pouvez aussi consulter nos capsules **Expérience, Histoire, Outil et Recherche** qui présentent différents aspects concrets de la science et de ceux qui la font. Les capsules **Lien**, en pointant vers d'autres sites pertinents, vous ouvrent enfin les portes sur les connaissances infinies d'internet...



médiaire avancé

oire  
entissage

oise  
ement

gaje  
des mots

meil - rêve  
iques

conscience  
soi

pr  
aco-dépression  
x  
e Alzheimer

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- **English**

Recherche -> site + blogue

[www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca)

## Principes fondamentaux



### Du simple au complexe

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



### Le bricolage de l'évolution

- ➔ Notre héritage évolutif



### Le développement de nos facultés

- ➔ De l'embryon à la morale



### Le plaisir et la douleur

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



### Les détecteurs sensoriels

- ➔ La vision



### Le corps en mouvement

- ➔ Produire un mouvement volontaire

**Nouveau!** "L'école des profs"

## Fonctions complexes



### Au coeur de la mémoire

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



### Que d'émotions

- ➔ Peur, anxiété et angoisse
- ➔ Désir, amour, attachement



### De la pensée au langage

- ➔ Communiquer avec des mots



### Dormir, rêver...

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



### L'émergence de la conscience

- ➔ Le sentiment d'être soi

## Dysfonctions



### Les troubles de l'esprit

- ➔ Dépression et maniaque-dépression
- ➔ Les troubles anxieux
- ➔ La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

Recherche -> blogue

Billets par catégorie



Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU



Lundi, 5 septembre 2016

### « La cognition incarnée », séance 1 : Survol historique des sciences cognitives et présentation du cours



Comme promis il y a deux semaines, voici donc un bref aperçu du premier cours sur la

« cognition incarnée » que je donnerai mercredi à 18h au local A-1745 du pavillon Hubert-Aquin de l'UQAM. Et

## Faire un don

nous permet de continuer

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, des resserrements budgétaires ont forcé l'INSMT à interrompre le financement du Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la reconnaissance de notre travail par les organismes approchés), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

[Retour à l'accueil](#)

## Niveau d'explication

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé



## Niveau d'organisation

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

### Thème

#### Le plaisir et la douleur



### Sous-thème

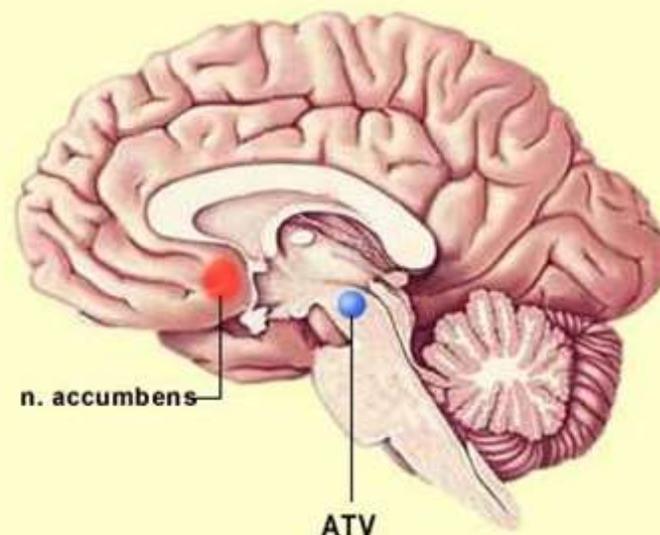
- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur



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

## LES CENTRES DU PLAISIR

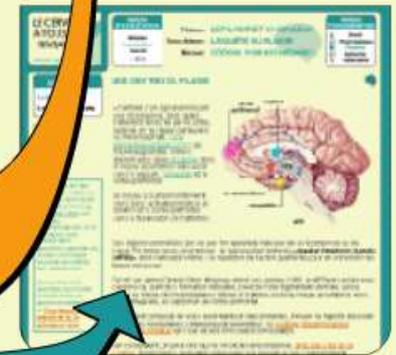
Pour qu'une espèce survive, ses individus doivent en premier lieu assurer leurs fonctions vitales comme se nourrir, réagir à l'agression et se reproduire. L'évolution a donc mis en place dans notre cerveau des régions dont le rôle est de "récompenser" l'exécution de ces fonctions vitales par une sensation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



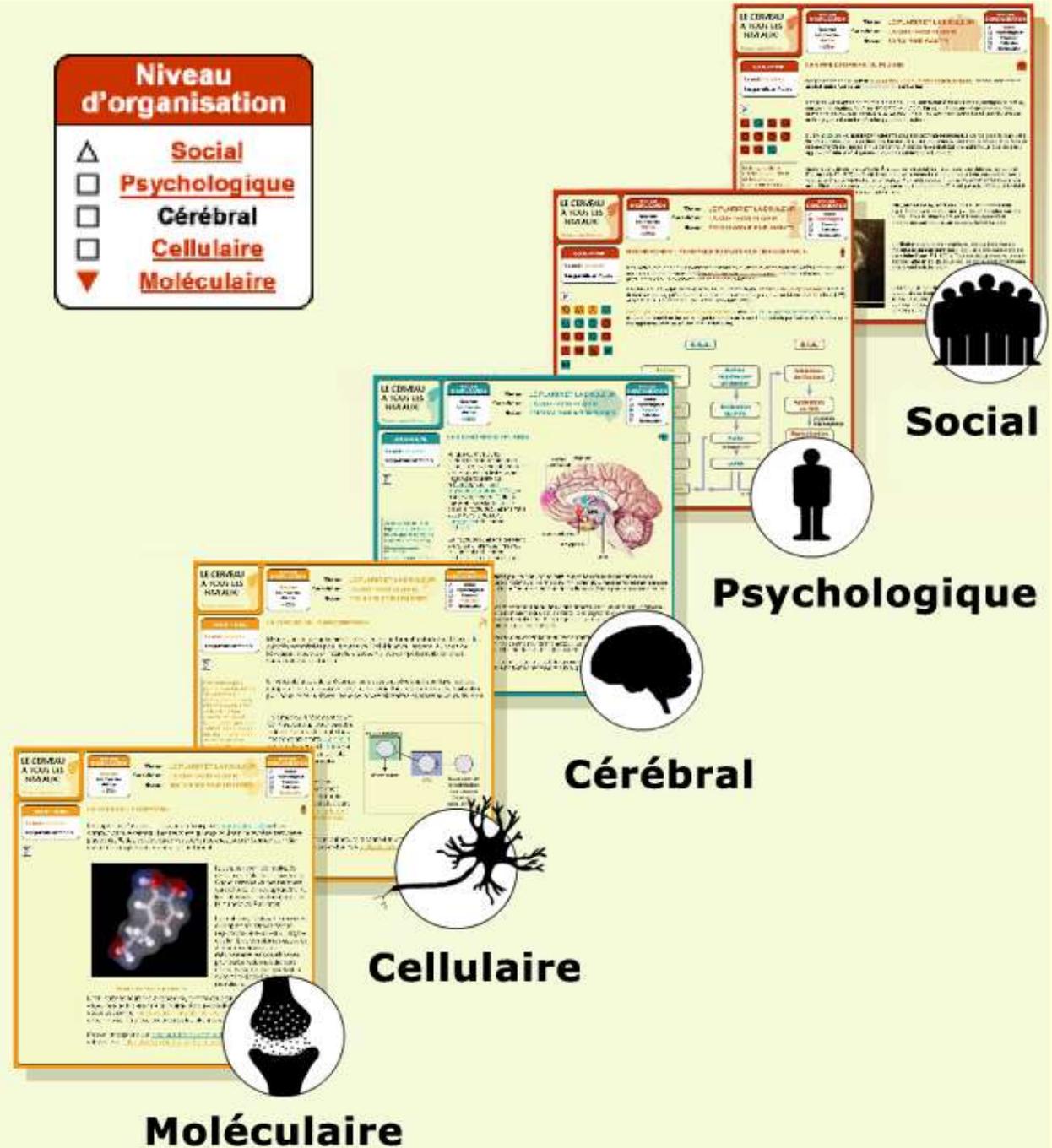
Ce sont ces régions, interconnectées entre elles, qui forment ce que l'on appelle le **circuit de la récompense**.

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

# 3 niveaux d'explication



# 5 niveaux d'organisation

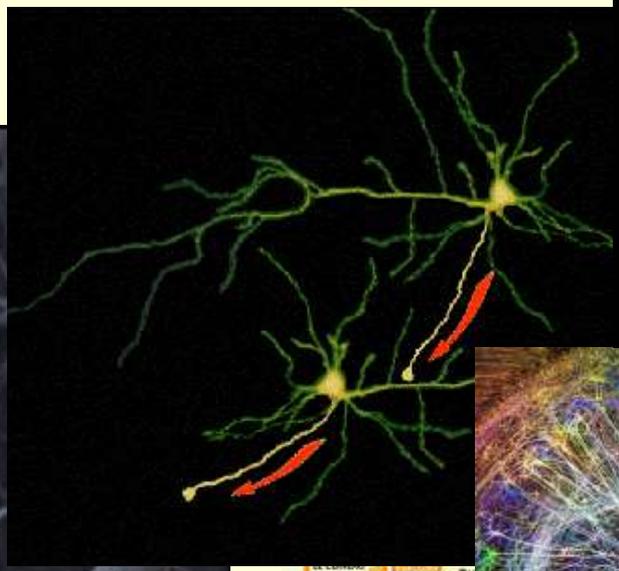




LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS

LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS

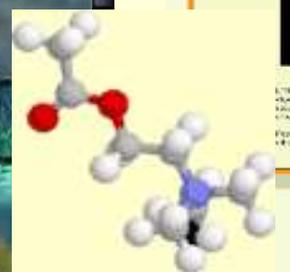
LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS



LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS

LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS

LE CERVEAU  
A JOUR LES  
NEURONS



Molécule

SCIENCEPHOTOLIBRARY

# Grands thèmes de la présentation

**Niveaux** d'organisation / perspective **évolutive**

Apprentissage, mémoire, généralisation et **prédiction**

Cognition orientée vers **l'action** et comme création de **sens**

## OFFRES DE PRÉSENTATIONS SUR LE CERVEAU

Cliquez ici pour une sélection de conférences que je peux présenter dans votre école.



[Dix cours gratuits sur le « cerveau-corps » avec du contenu publié sur ce blogue !](#)



# "L'école des profs"

## Cours intensifs de perfectionnement en neurosciences cognitives

2014

École des profs  
École des profs  
Université du

(cliquez ici pour les détails)

2015

École des profs  
École des profs  
École des profs  
École des profs  
Université du  
École des profs

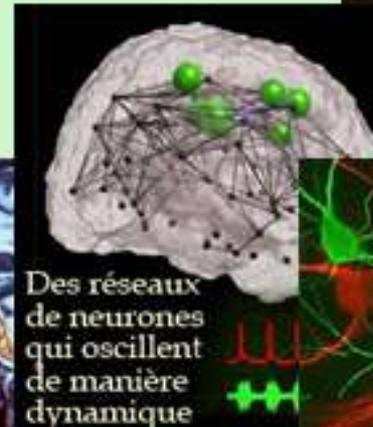
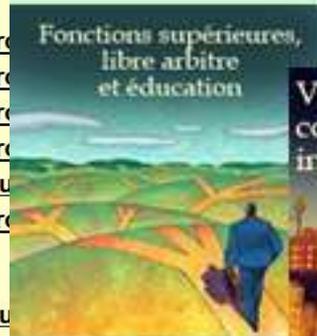
2016

Université du  
École des profs  
École des profs  
École des profs  
École des profs

2017

Université du troisième âge de Vaudreuil-Dorion (14 février - 4 avril 2017)  
École des profs du centre d'ostéopathie du Québec (17 février 2017)  
UPop Montréal : Pourquoi le cerveau a besoin du corps et de l'environnement pour penser (6 juin 2017)  
École des profs du cégep Édouard-Montpetit (6 juin 2017)  
Université du troisième âge de St-Bruno et Longueuil (18 septembre - 13 novembre 2017)

2018



Des réseaux de neurones qui oscillent de manière dynamique



Recherche -> blogue

**Billets par catégorie**



Abonnez-vous !

**NOUVELLES  
RÉCENTES  
SUR LE CERVEAU**



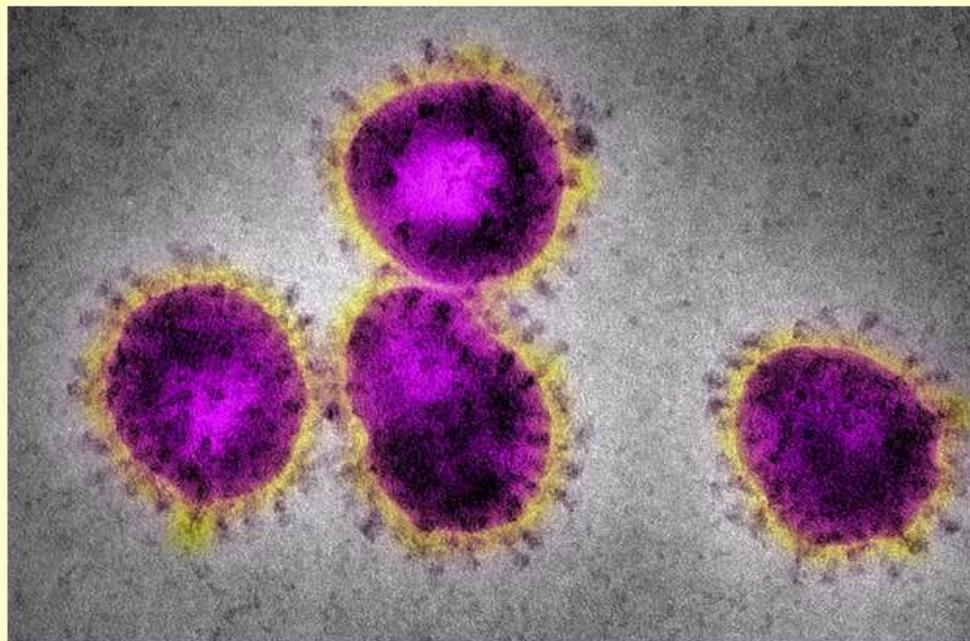
Deric Bownds'  
Mindblog



Music can be infectious  
like a virus - the same  
mathematical model  
works for both

lundi, 16 mars 2020

## Ces très petits êtres qui bouleversent nos vies



lundi, 16 mars 2020

## Ces très petits êtres qui bouleversent nos vies

Recherche -> blogue

Billets par catégorie



Abonnez-vous !

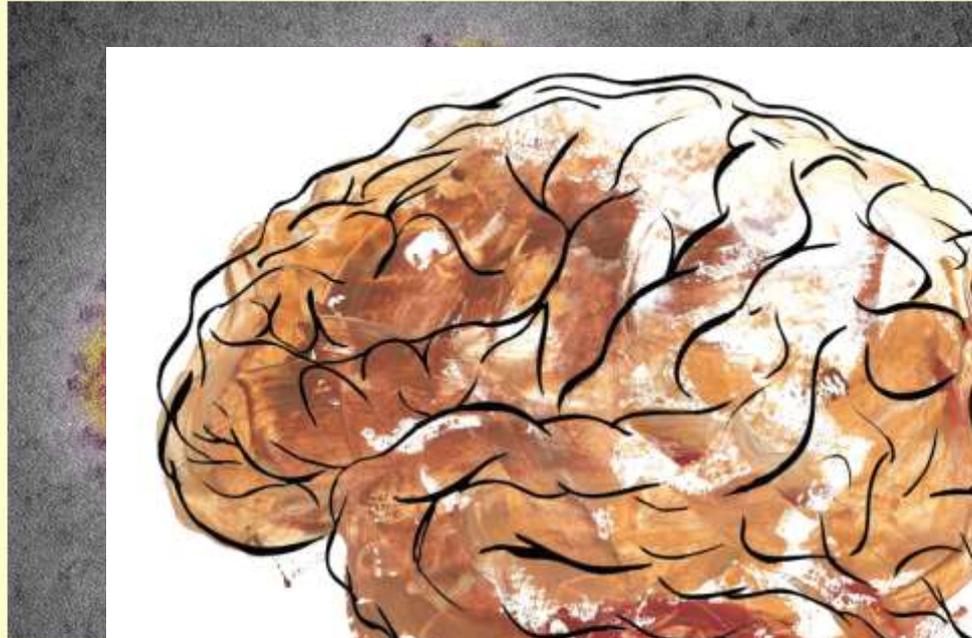
NOUVELLES  
RÉCENTES  
SUR LE CERVEAU



Deric Bownds'  
Mindblog



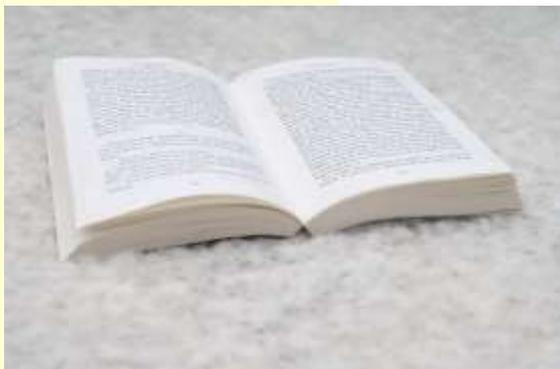
Music can be infectious  
like a virus - the same  
mathematical model  
works for both



Dessin :  
Rémy Guenin



écosociété



# Notre cerveau à tous les niveaux

lundi, 16 mars 2020

## Ces très petits êtres qui bouleversent nos vies

Recherche -> blogue

Billets par catégorie



Abonnez-vous !

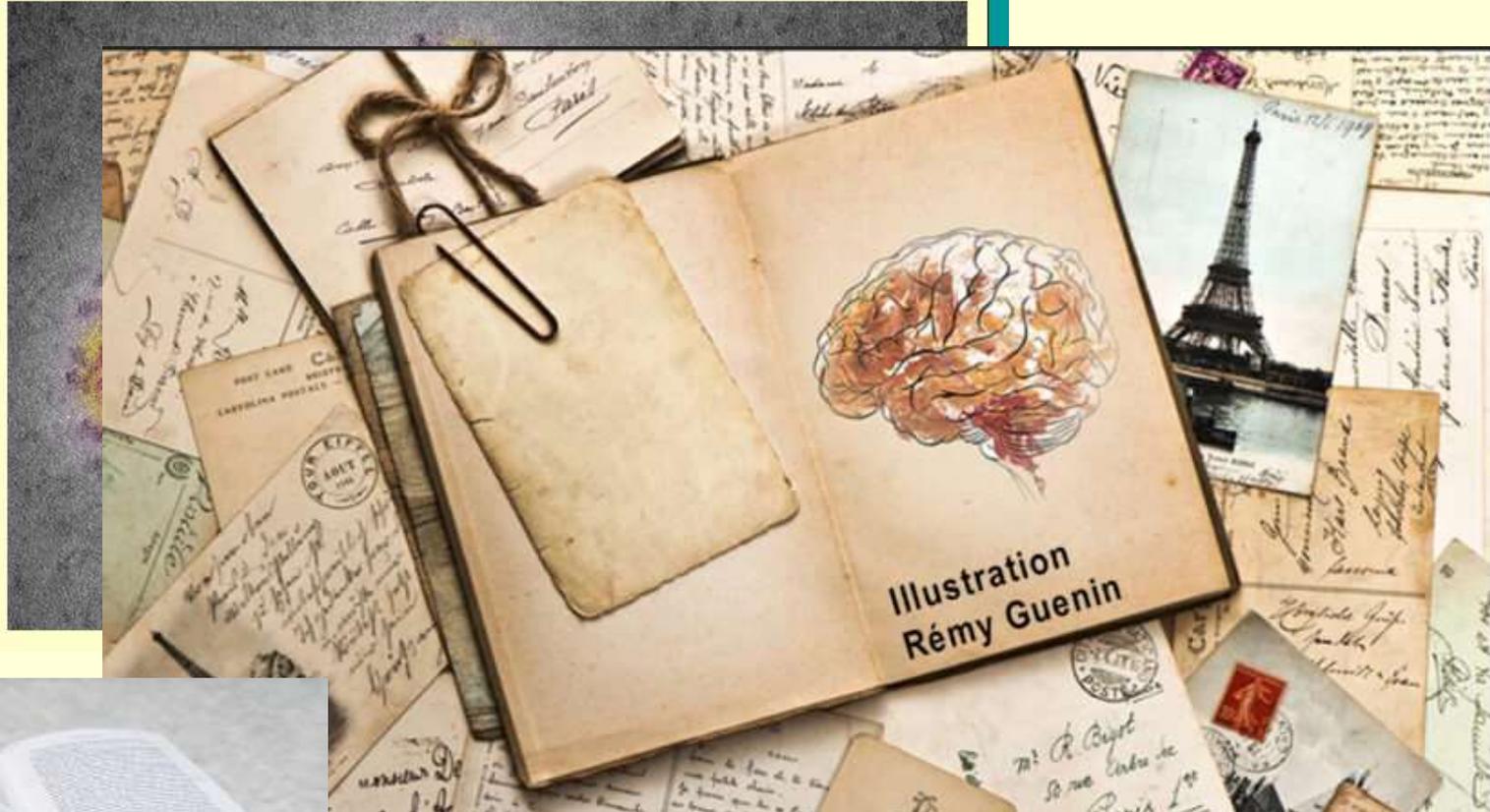
NOUVELLES  
RÉCENTES  
SUR LE CERVEAU



Deric Bownds'  
Mindblog



Music can be infectious  
like a virus - the same  
mathematical model  
works for both



lundi, 17 janvier 2022

## Journal de bord de Notre cerveau à tous les niveaux : Vue d'ensemble du livre

<https://www.blog-lecerveau.org/blog/2022/01/17/journal-de-bord-de-notre-cerveau-a-tous-les-niveaux-1-vue-densemble-du-livre/>

Séance 10 : « **Moi** »  
**conscient versus**  
**inconscientes :**  
**notre espèce a-t-**  
**elle de l'avenir ?**



Séance 1 :  
**Le « connais-toi**  
**toi-même » de**  
**Socrate à l'heure**  
**des sciences**  
**cognitives**



Séance 2 :  
**De la « poussière**  
**d'étoile »**  
**à la vie :**  
**l'évolution qui fait**  
**qu'on est ici**  
**aujourd'hui**



Séance 3:  
**L'humain**  
**découvre la**  
**grammaire de**  
**base de son**  
**système nerveux**



Séance 4 :  
**Des circuits de**  
**millions de**  
**neurones :**  
**plaisir, douleur,**  
**apprentissage,**  
**mémoire**



Séance 5 :  
**Cartographier des**  
**réseaux de milliards**  
**de neurones**  
**à l'échelle du**  
**cerveau entier**



Séance 6 :  
**Les rythmes**  
**cérébraux :**  
**se synchroniser**  
**pour mieux**  
**régner**



Séance 7 :  
**Tout ce qui**  
**précède permet**  
**de simuler le**  
**monde pour**  
**décider quoi faire**



Séance 8 :  
**Cerveau et corps**  
**ne font qu'un :**  
**origine et**  
**fonction**  
**des émotions**

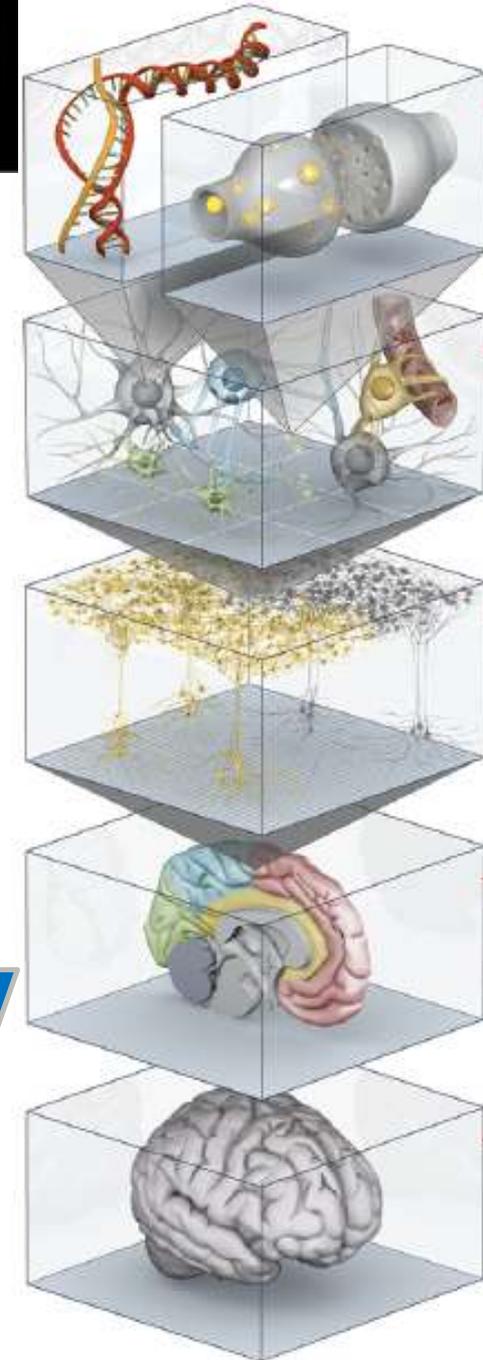
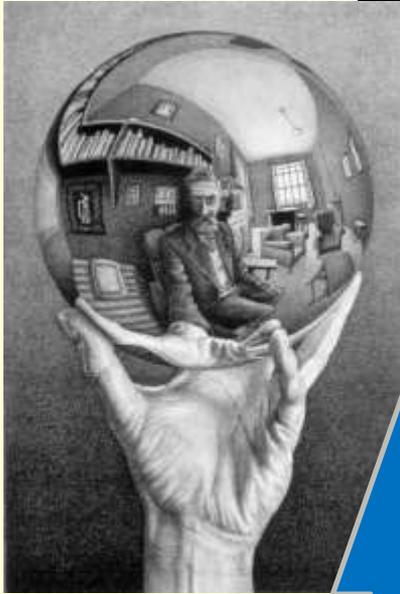


Séance 9 :  
**Le langage : une**  
**propriété**  
**émergente de la**  
**vie sociale chez**  
**les humains**



Automne 2019 -  
Hiver 2020

5 séances à l'automne  
5 séances à l'hiver



Séance 10 : « Moi »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « connais-toi  
toi-même » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives ++



Séance 2 :  
De la « poussière  
d'étoile »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui +++



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux +



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire ++++



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Automne 2019 -  
Hiver 2020

5 séances à l'automne  
5 séances à l'hiver

Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions +



Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire ++++



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner +



Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier +

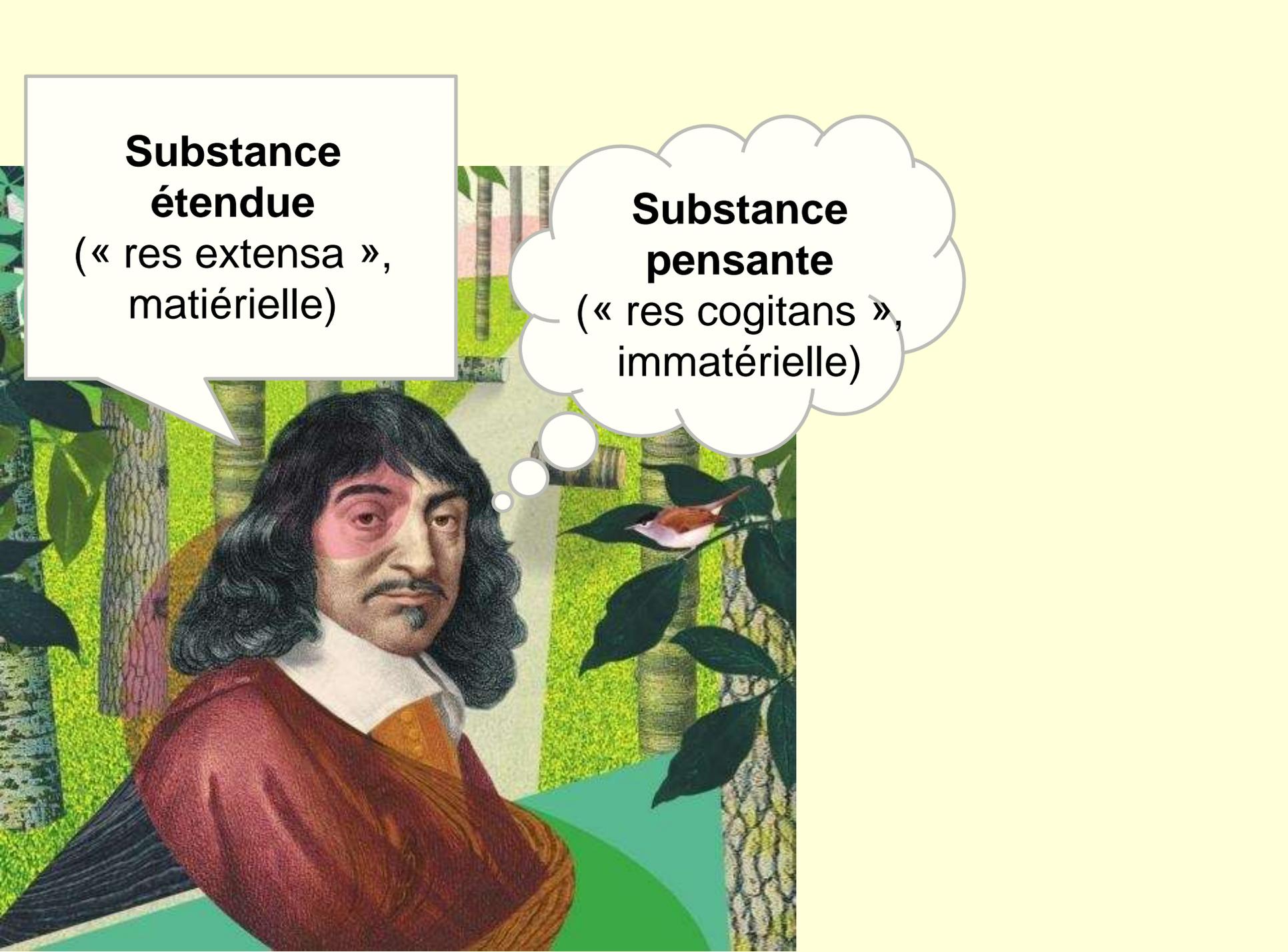




Séance 1 :  
Le « connais-toi  
toi-même » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Petite intro historique :

rappel des **approches classiques** en sciences cognitives,  
et comment elles ont évolué depuis une ou deux décennies  
vers un « **tournant pragmatique** ».



**Substance  
étendue**  
(« res extensa »,  
matérielle)

**Substance  
pensante**  
(« res cogitans »,  
immatérielle)

Mon cerveau contribue  
bien sûr à ma pensée,  
mais je la sens d'une  
autre nature !

**Comme elle a  
une belle  
âme...**

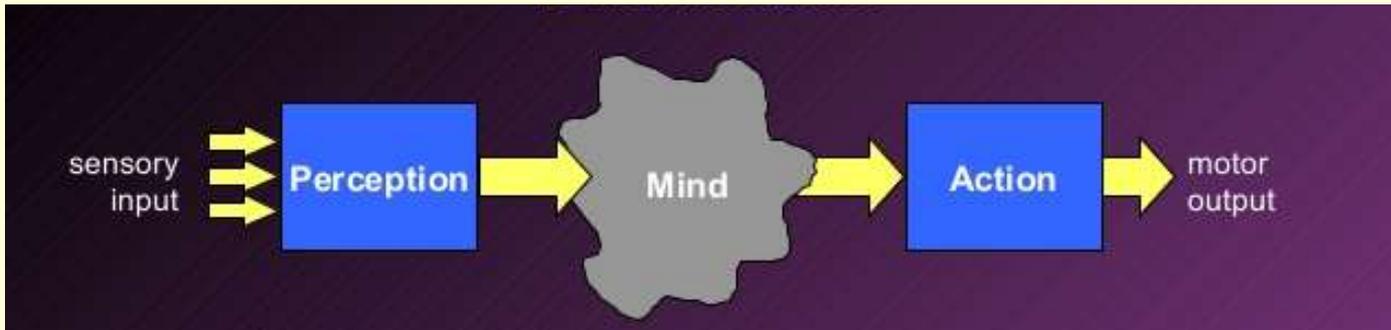


Depuis  
des siècles  
les philosophes  
se butent sur cette **dualité**  
Esprit / corps (mind / body)



L'idée qu'on a deux vies distinctes, **somatique** et **psychique**, est au cœur de la psychanalyse freudienne.

# Le modèle **cartésien (dualiste)** de la pensée :

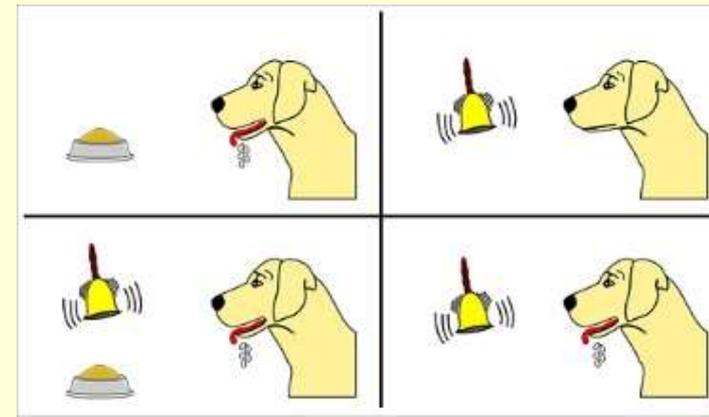


(Source : Paul Cisek  
<http://www.slideshare.net/BrainMoleculeMarketing/uqam2012-cisek> )

## À partir des années 1920 : **Behaviorisme**

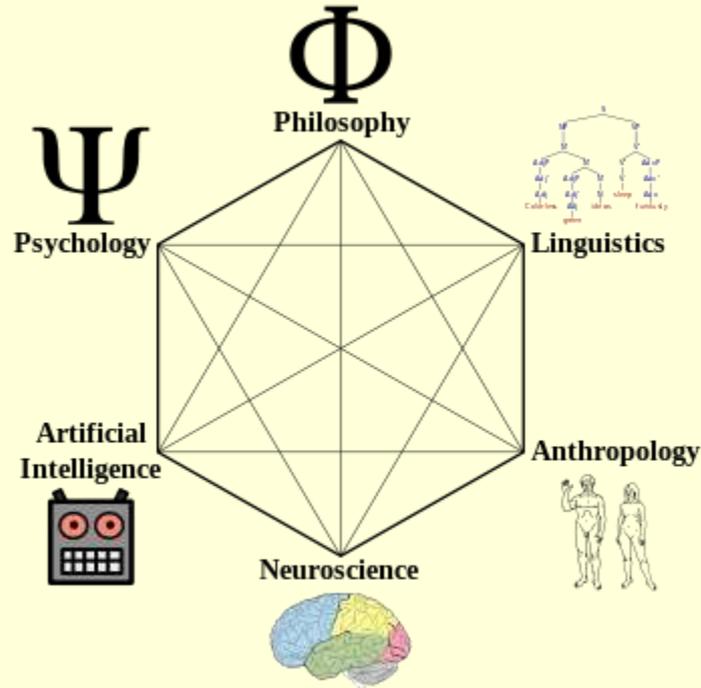


**Lois**



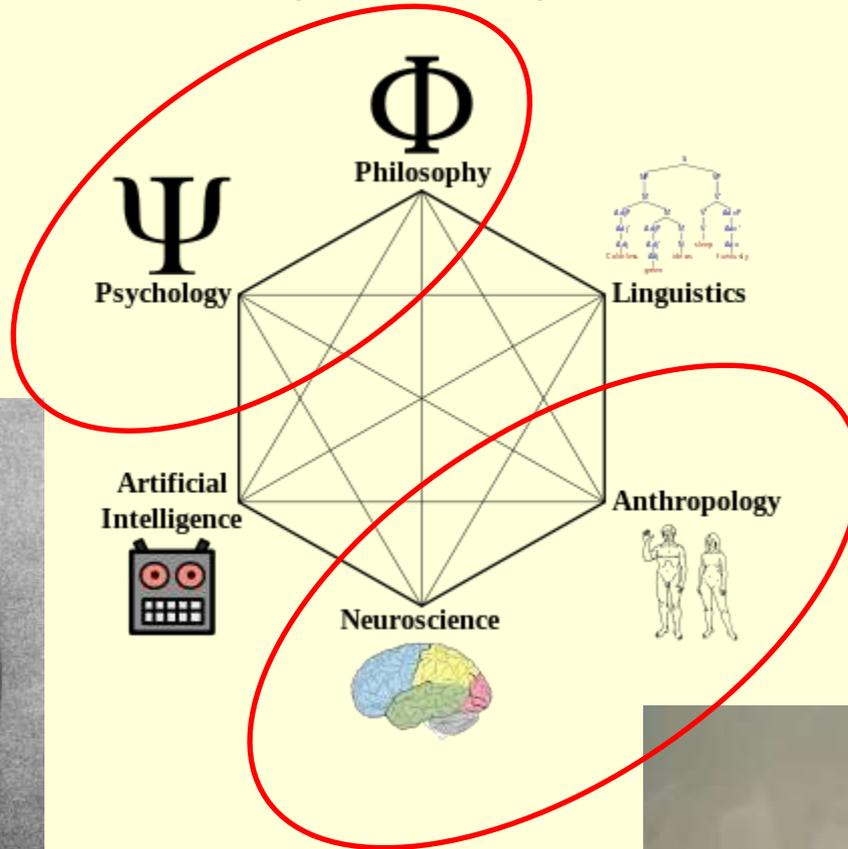
Vers le début des années 1960, les « **sciences cognitives** » se sont constituées pour s'attaquer à cette « boîte noire ».

**Mais encore  
une fois...**



Vers le début des années 1960, les « **sciences cognitives** » se sont constituées pour s'attaquer à cette « boîte noire ».

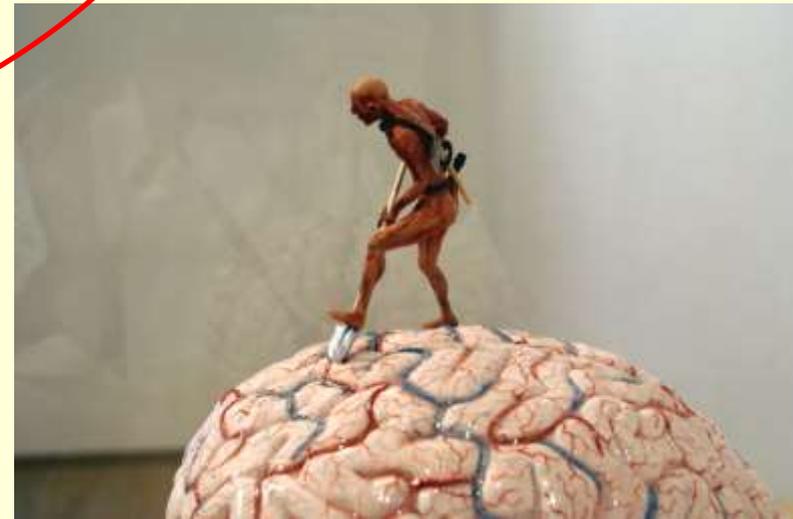
l'aspect « subjectif »  
ou à la 1<sup>ère</sup> personne

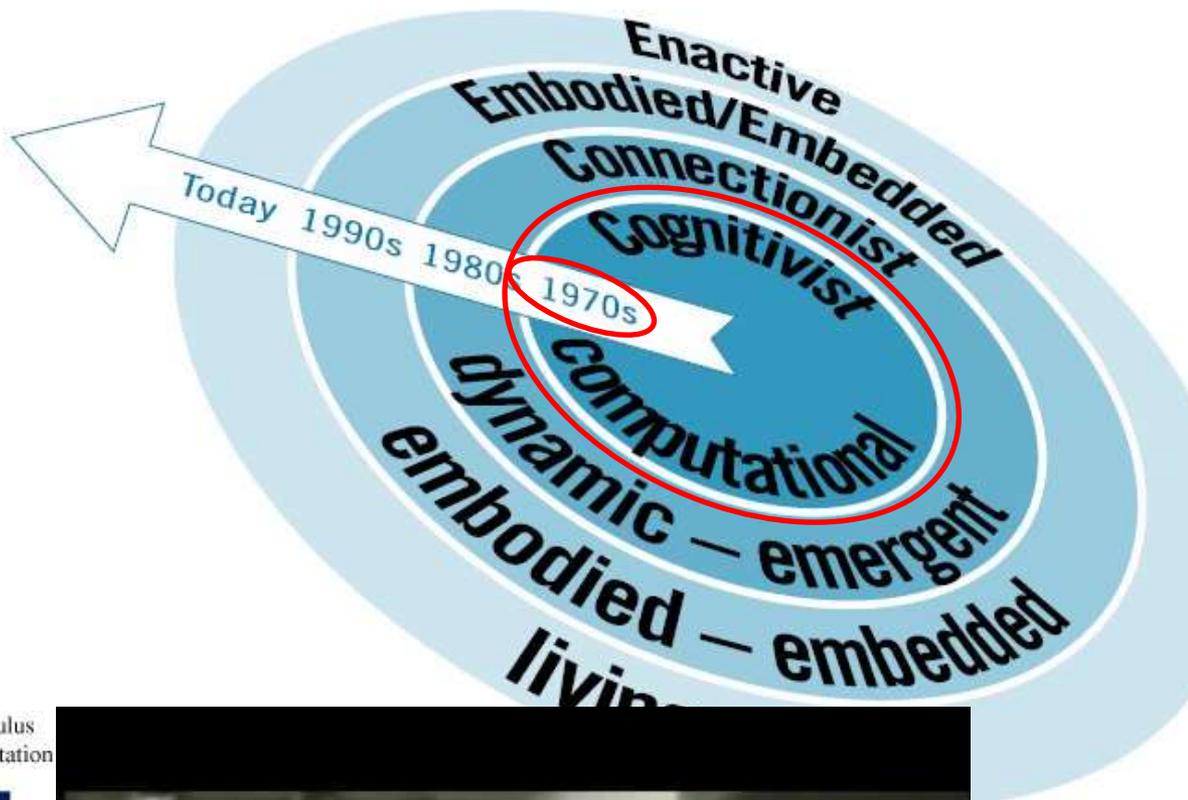
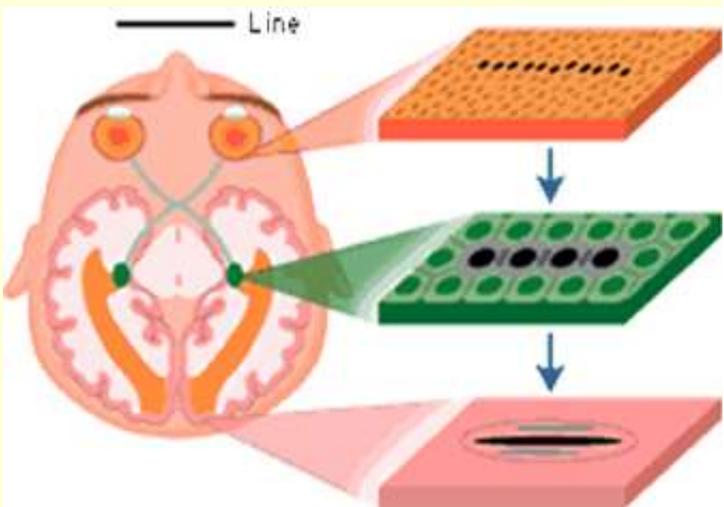


l'aspect « objectif »  
ou à la 3<sup>e</sup> personne

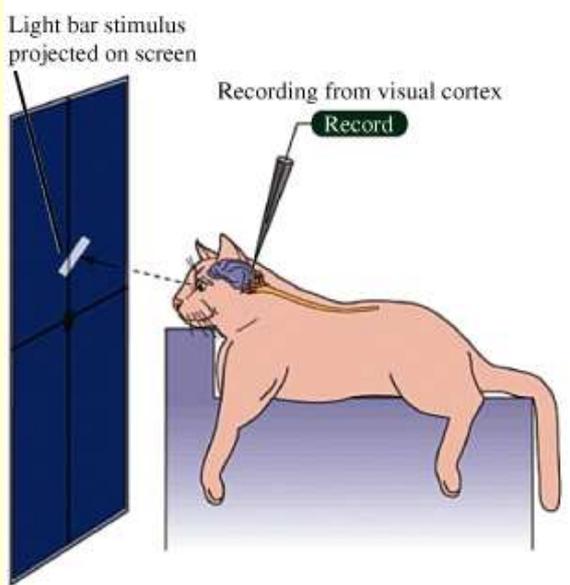


Et c'est pas facile  
de concilier les  
deux !



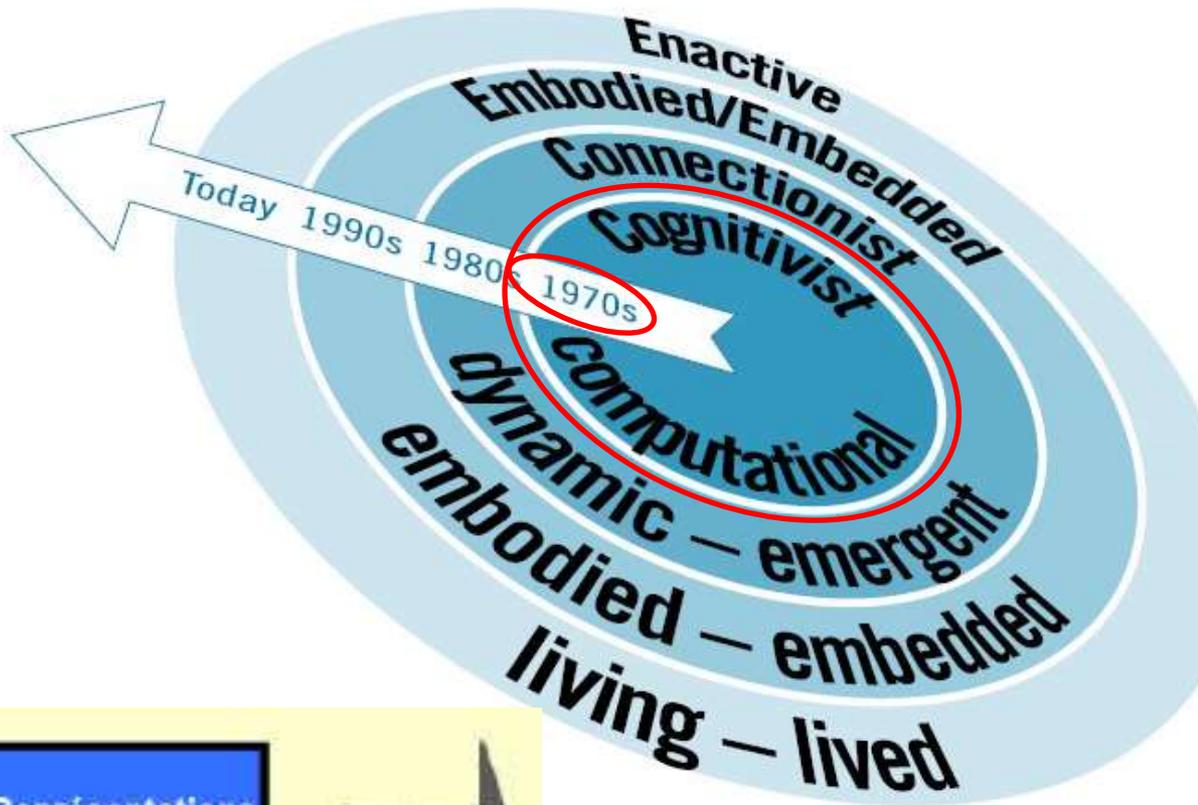
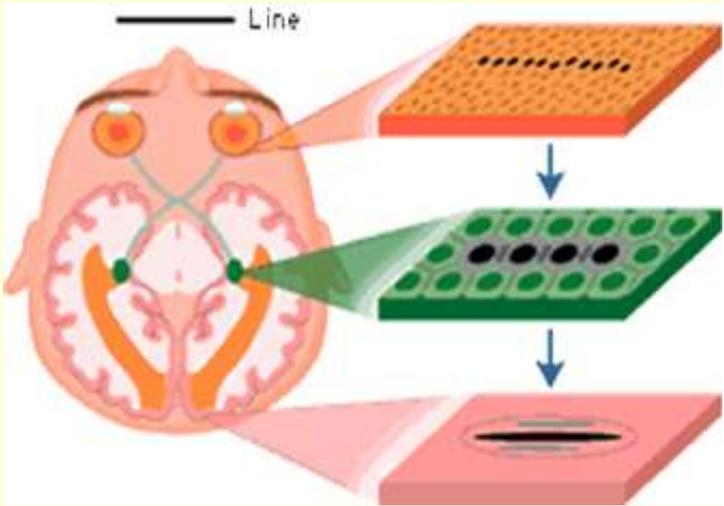


A Experimental setup

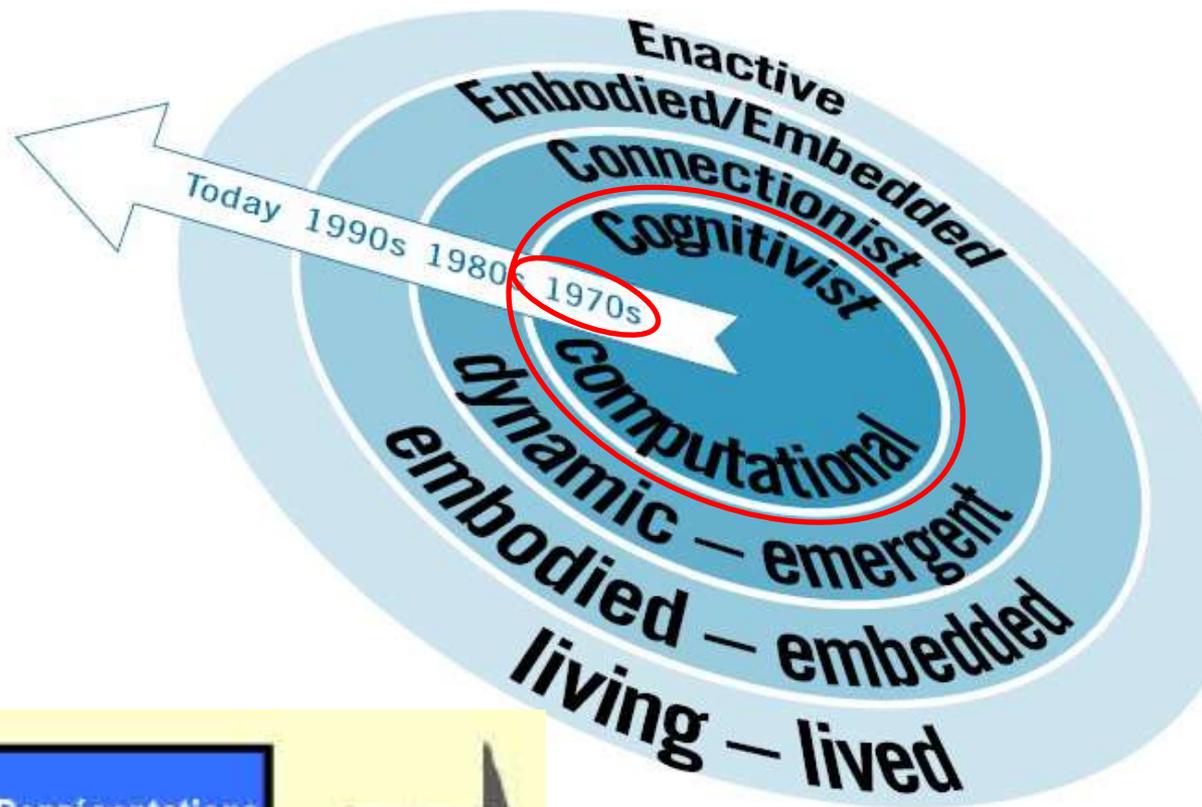


B Stimulus orientation





**Cognition**



# Software



Sistema Operativo



MS Word



Antivirus

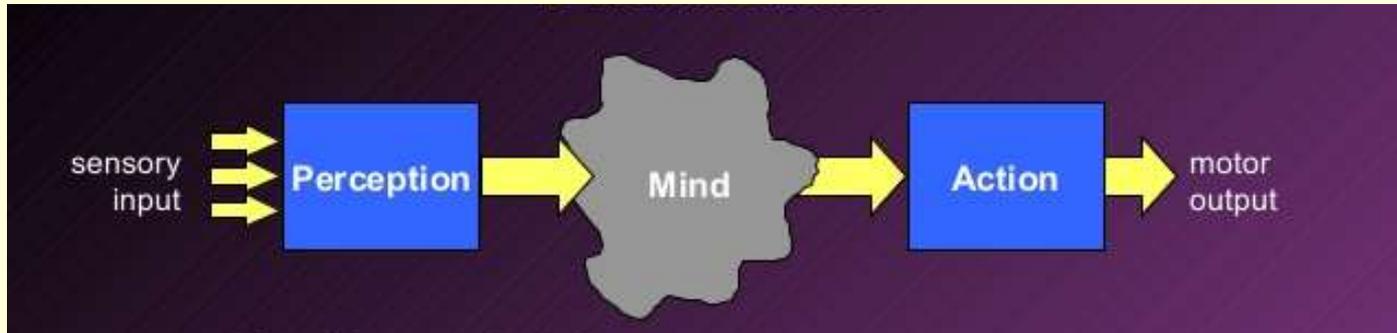
# Hardware



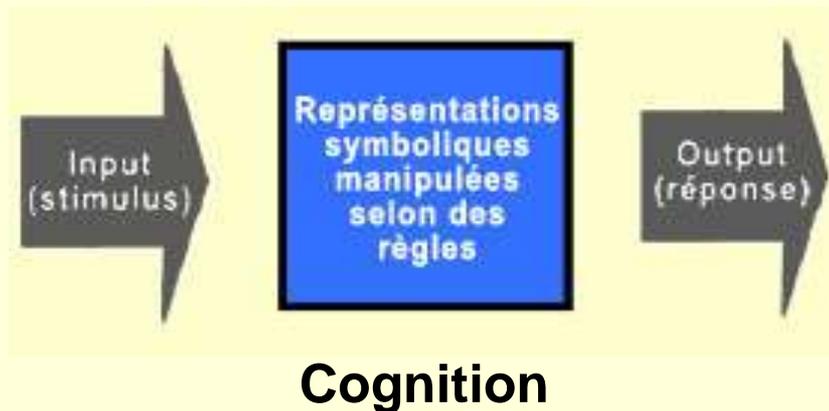
« **L'esprit** » humain qui « roule » sur le **cerveau** humain.



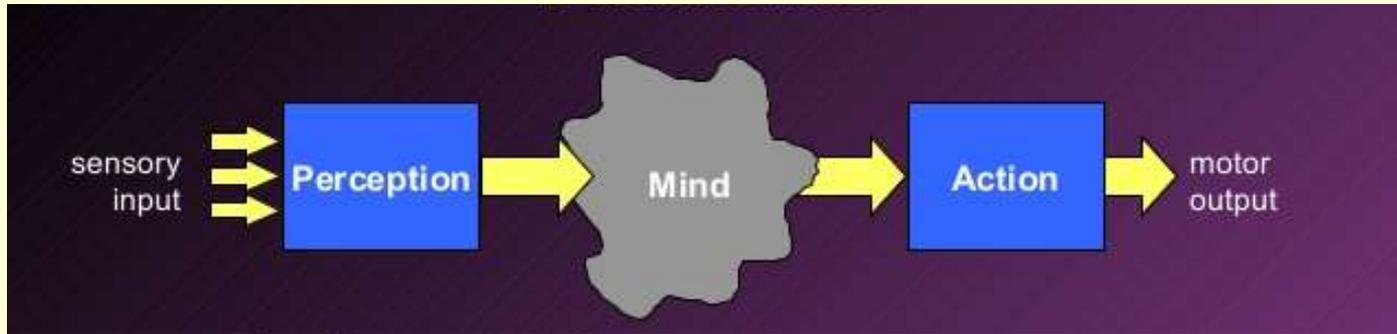
Le modèle **cartésien (dualiste)** de la pensée :



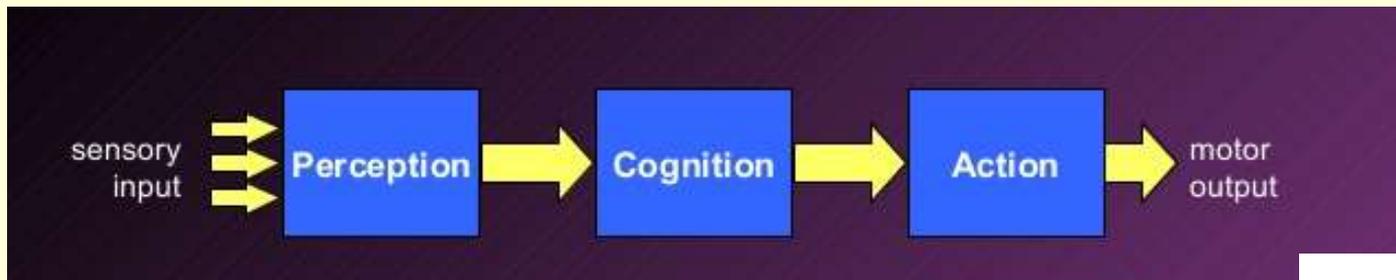
Le modèle **cognitivist** :



Le modèle **cartésien (dualiste)** de la pensée :



Le modèle **cognitiviste** :



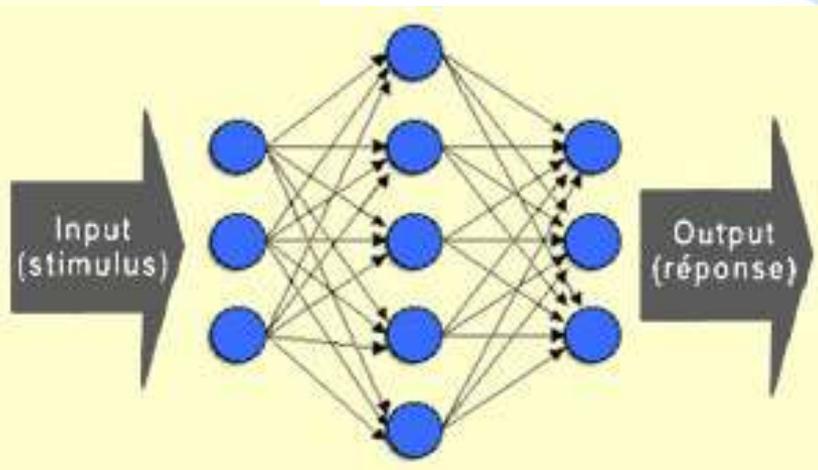
“the classical **sandwich** model of the mind”  
- Susan Hurley



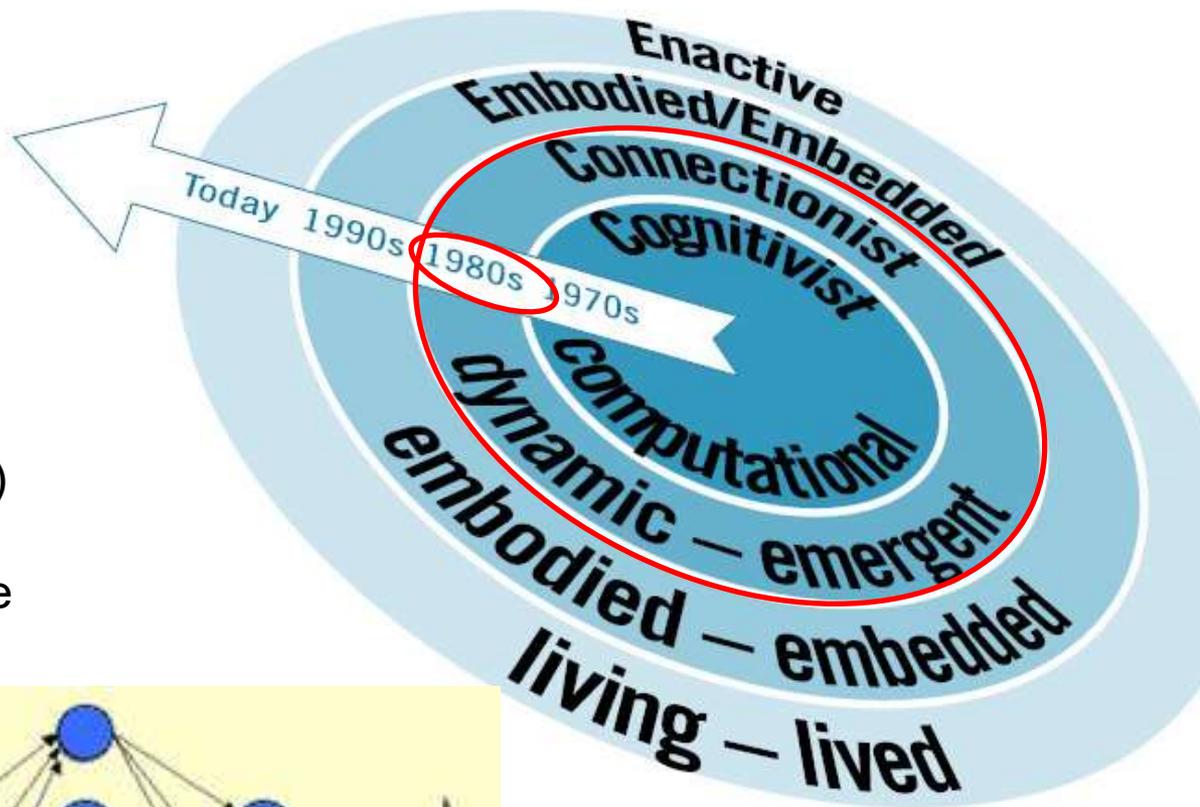
## Le « connexionnisme »

Des **composantes simples** (neurones, neurones virtuels...) dont l'efficacité des connexions peut varier avec l'apprentissage

Le réseau se reconfigure au fil d'un apprentissage pour faire **émerger** une action efficace.



**Cognition**

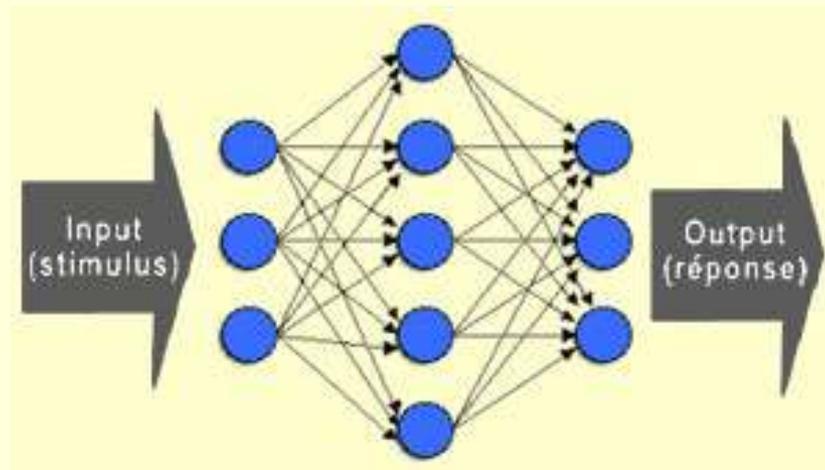


→ Donc on se rapproche de l'organisation physique du **cerveau** avec l'influence grandissante des **neurosciences** à la fin du XXe siècle.

Tant pour le modèle **cognitivist** que **connexionniste** :



Inputs et outputs **désincarnés** :

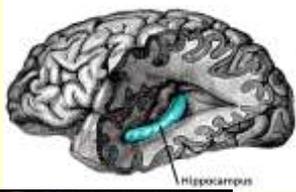


on ne tient pas compte du **corps** où se trouve le cerveau.

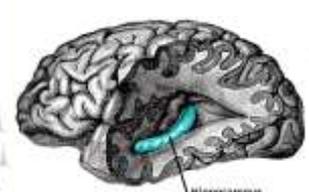
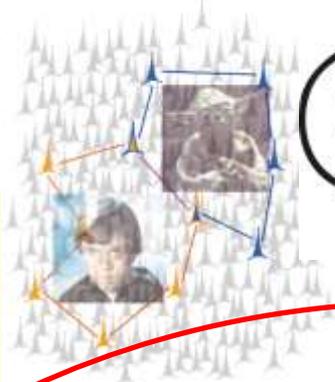
**Cognition**

**Et pourtant, pourtant...**

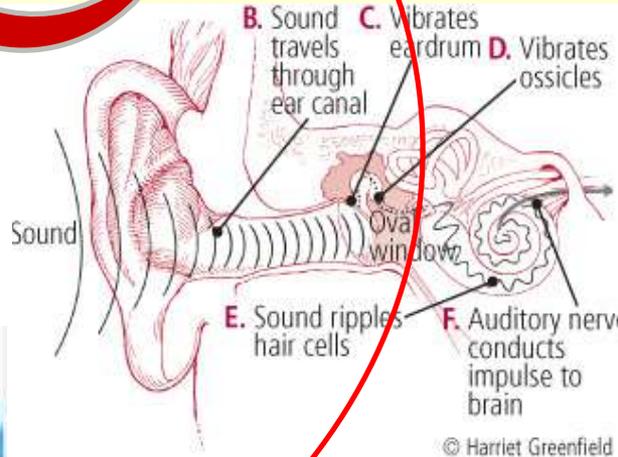
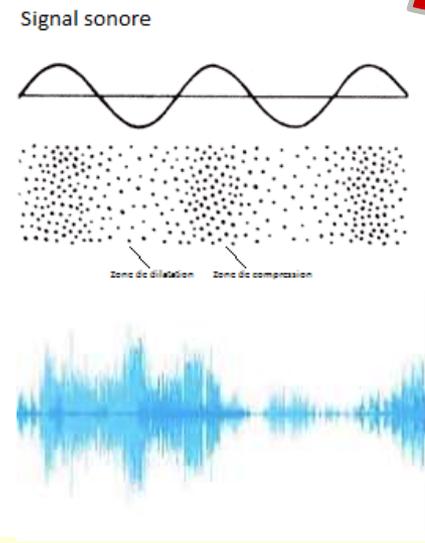
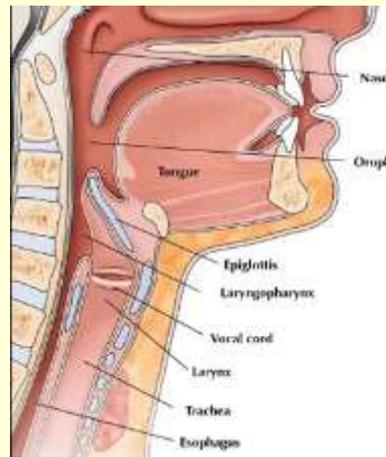
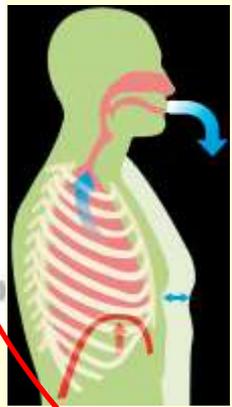
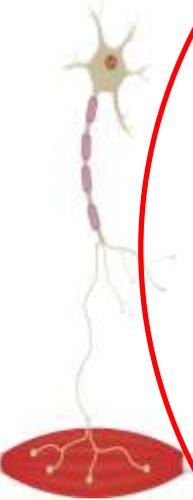
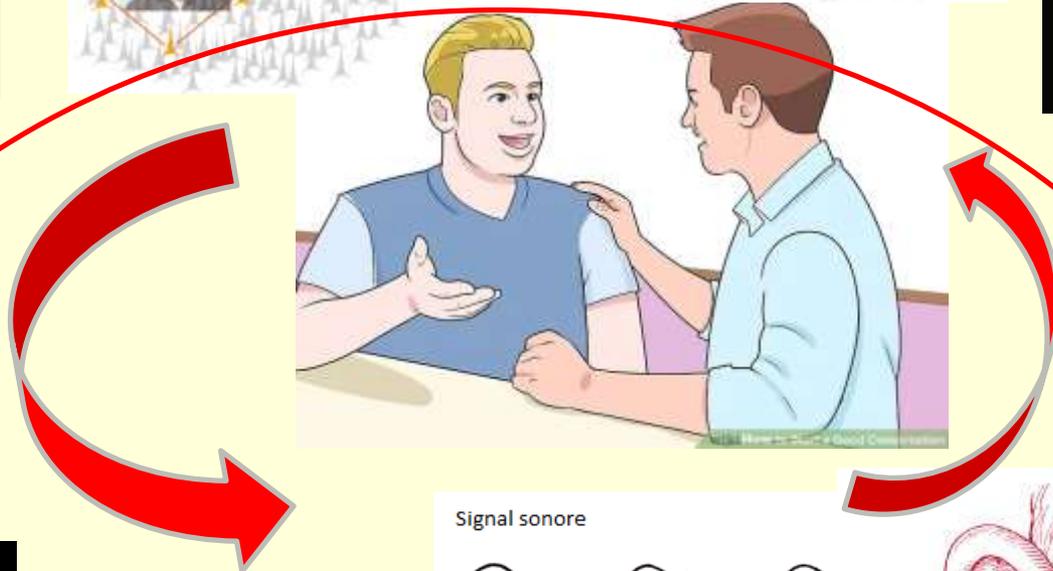
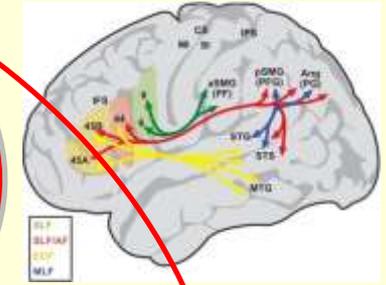
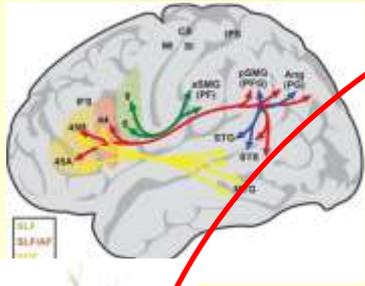
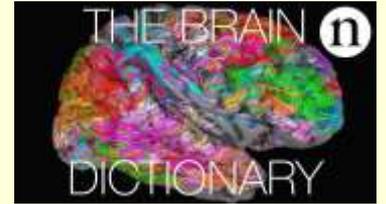




Hippocampus

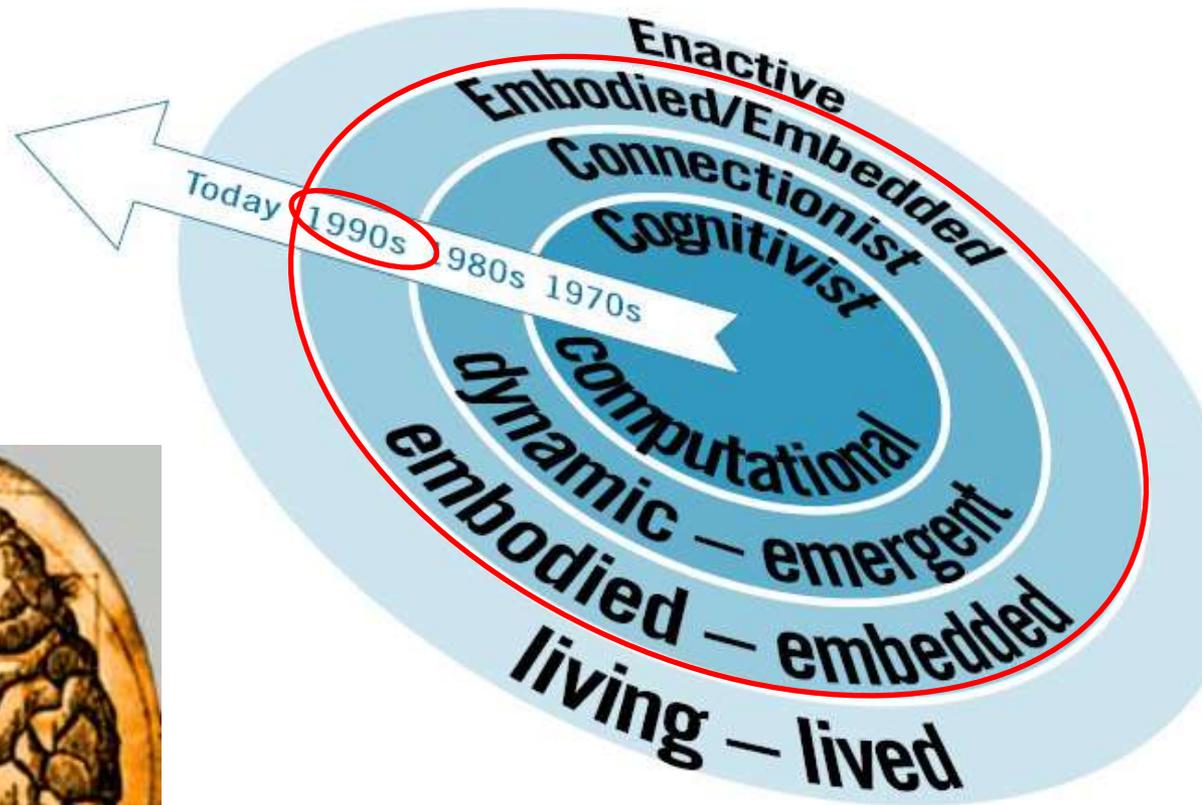
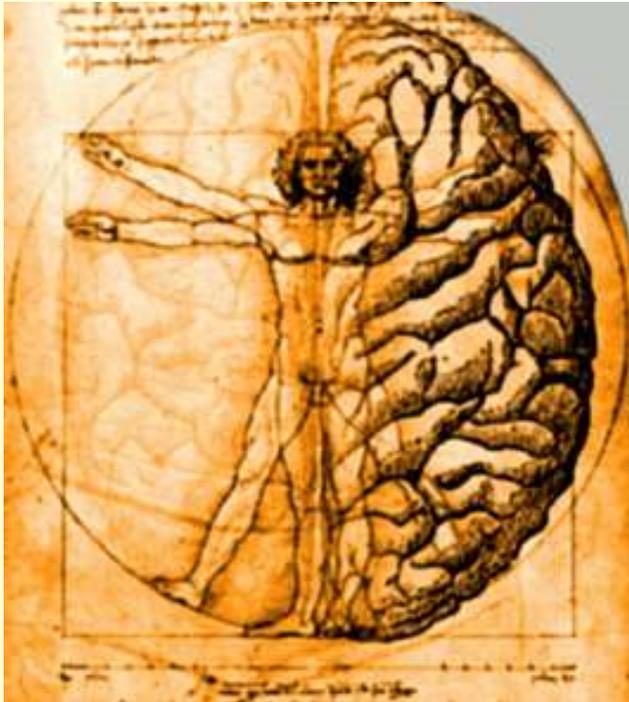


Hippocampus



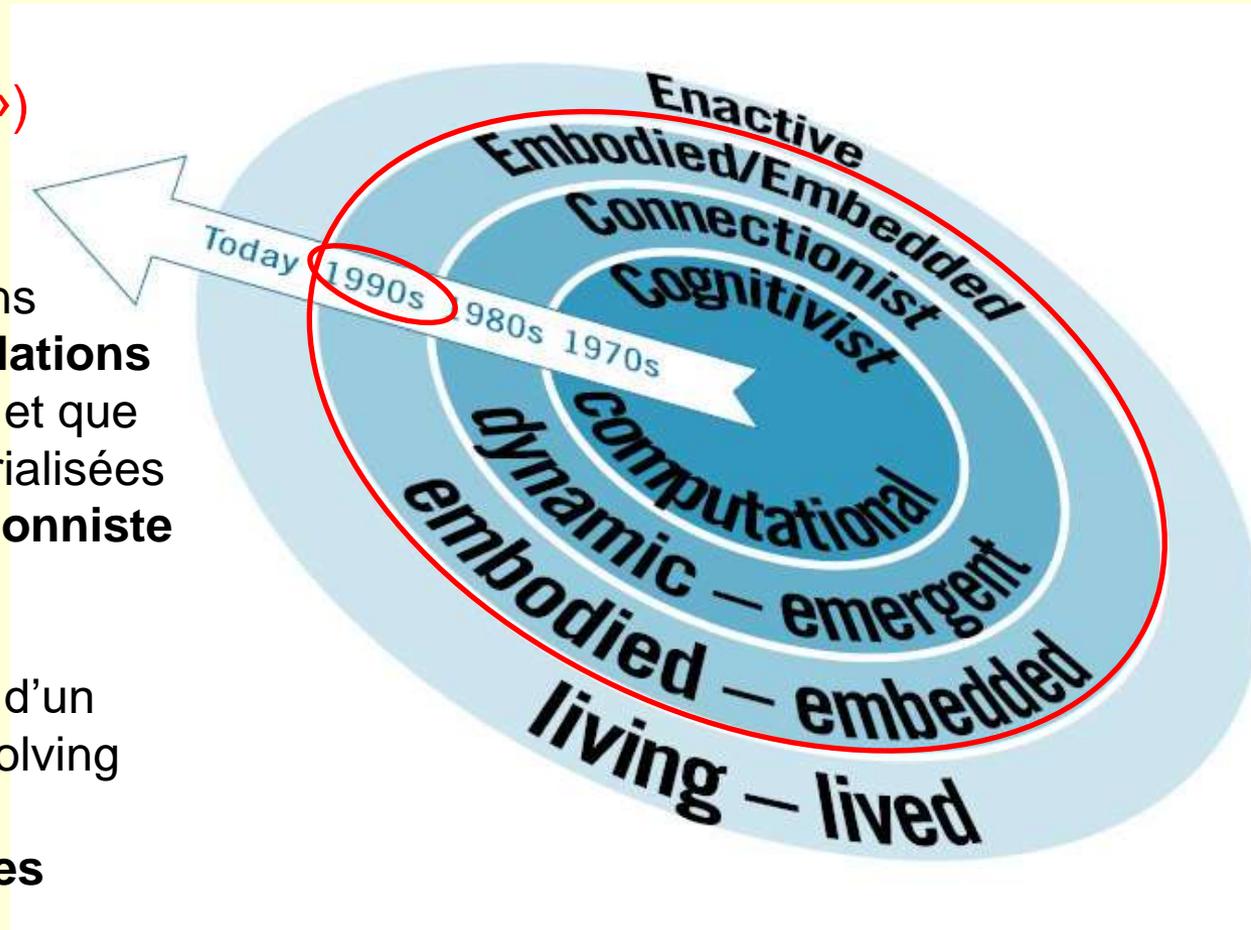
© Harriet Greenfield

Cognition  
« incarnée »  
et située :



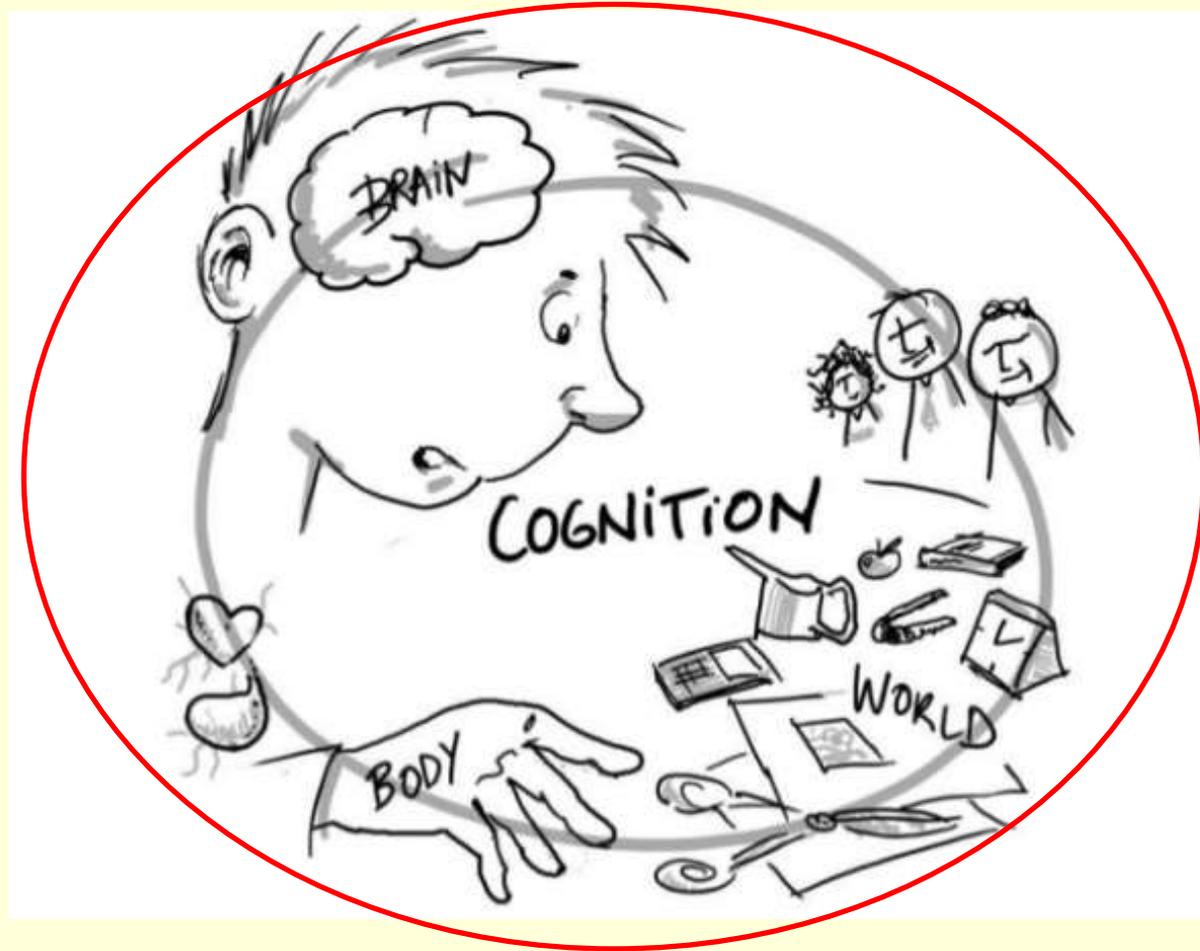
## Incarnation radicale (« Embodied cognition »)

- Ne nie pas que les humains peuvent faire des **manipulations symboliques abstraites**, et que celles-ci se trouvent matérialisées dans un système **connexionniste** sous-jacent.
- Mais **rejette** la vue étroite d'un "mind" comme "problem-solving machine" où dominent les **représentations abstraites**
- Vont aussi tenir compte de **l'environnement** où se trouve l'organisme et des possibilités d'action qu'il lui offre ("**affordances**")



Cognition située  
(« Embedded cognition »)

**Incarnation radicale**  
(« Embodied cognition »)



**Cognition située**  
(« Embedded cognition »)

## Incarnation **radicale** (« Embodied cognition »)

- Certaines approches s'inspirent de la **psychologie écologique de Gibson.** (“affordances”)
- D'autres, comme **l'énaction**, découlent des travaux de Varela et ses collègues. (autopoïèse)

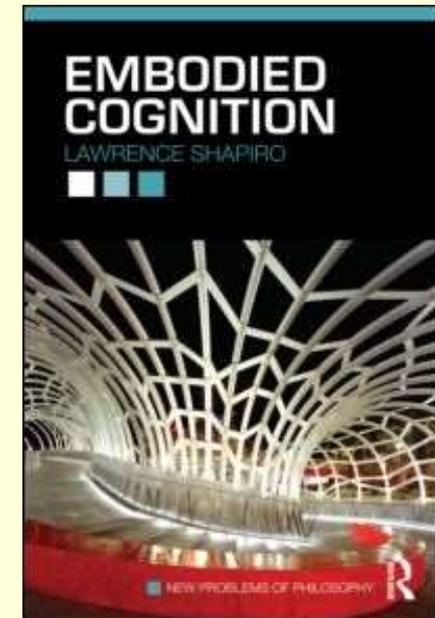
Activité de formation précolloque -  
L'énaction en perspective et en  
prospective (16 juin 2021)

### « Embodiement et énaction 101 »

[https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop\\_pres/Presentation%20atelier%20Embodiment%20et%20Enaction%20101%20-%20L%20Enaction%20en%20perspective%20et%20en%20prospective%20-%20v%20finale%20-%20pour%20pdf.pdf](https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop_pres/Presentation%20atelier%20Embodiment%20et%20Enaction%20101%20-%20L%20Enaction%20en%20perspective%20et%20en%20prospective%20-%20v%20finale%20-%20pour%20pdf.pdf)



2009



2011

La cognition est donc comprise en termes **d'interactions** maîtrisées avec l'environnement (« skillful environmental interaction »)

guidées par les **opportunités d'action** offertes par l'environnement (« **affordances** »)

ce qui permet d'éviter beaucoup de manipulations mentales de représentations descriptives

en les remplaçant par ce que d'autres ont appelé des **représentations pragmatiques**.

**Flashback...**

**James J. Gibson**, qui travaille sur la perception visuelle durant les années 1970, a mis l'emphasis sur ce qu'il va nommer les "**affordances**",



c'est-à-dire les **occasions d'interactions** potentielles avec l'environnement.

« **L'approche écologique** » de la perception visuelle que Gibson va développer avait commencé à remettre en question tout le traitement symbolique abstrait du paradigme cognitiviste dominant.



Figure 5: Tree affordance to bird, person, monkey, and squirrel

**James J. Gibson**, qui travaille sur la perception visuelle durant les années 1970, a mis l'emphasis sur ce qu'il va nommer les "**affordances**",



c'est-à-dire les **occasions d'interactions** potentielles avec l'environnement.

« **L'approche écologique** » de la perception visuelle que Gibson va développer avait commencé à remettre en question tout le traitement symbolique abstrait du paradigme cognitiviste dominant.

L'aphorisme :

"Ask not what's inside your head, but what your head's inside of"

renvoie à l'importance qu'il accorde à **l'environnement** ou la **niche écologique** d'un organisme.

# Affordance



[Source: raftfurniture.co.uk](http://raftfurniture.co.uk)



[Source: blackrocktools.com](http://blackrocktools.com)

Affordance refers to the **actual** and **perceived** attributes of a product or process that suggest its uses

Design for ALL

50

Car pour Gibson ce ne sont pas tant les sensations en provenance des objets qui importent, mais les **possibilités d'action**, ou “**affordances**”, que suggèrent à un organisme donné tel ou tel objet ou aspect de son environnement.

# Affordance



[Source: raftfurniture.co.uk](http://raftfurniture.co.uk)

[Source: blackrocktools.com](http://blackrocktools.com)

Affordance refers to the **actual** and **perceived** attributes of a product or process that suggest its uses

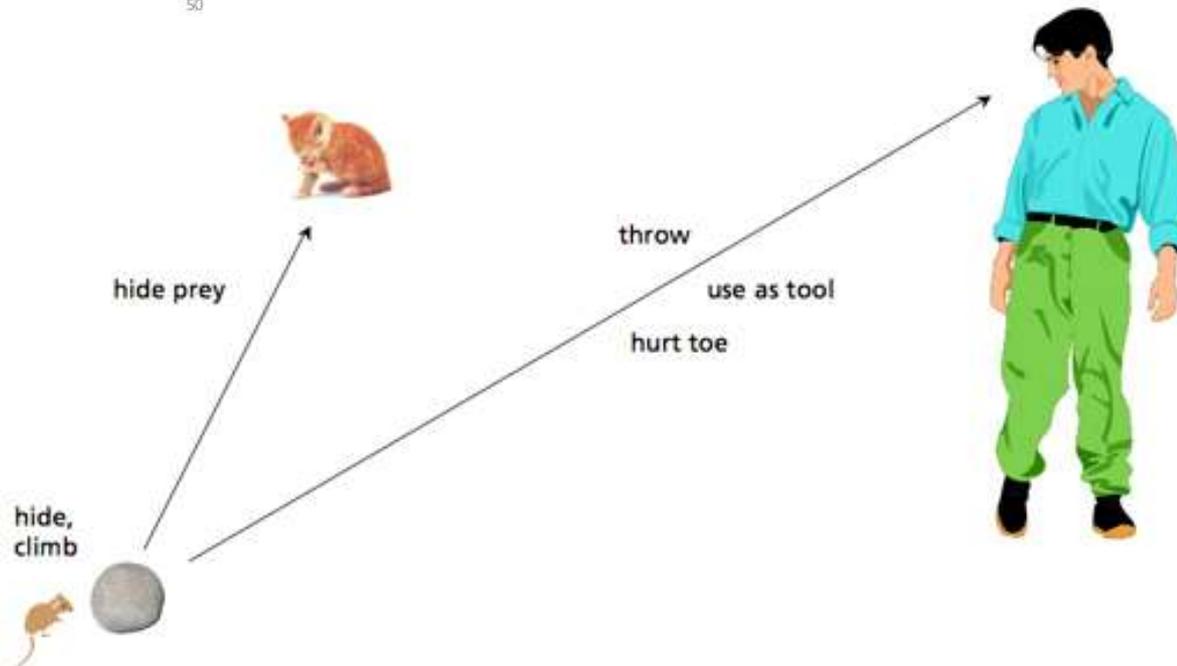
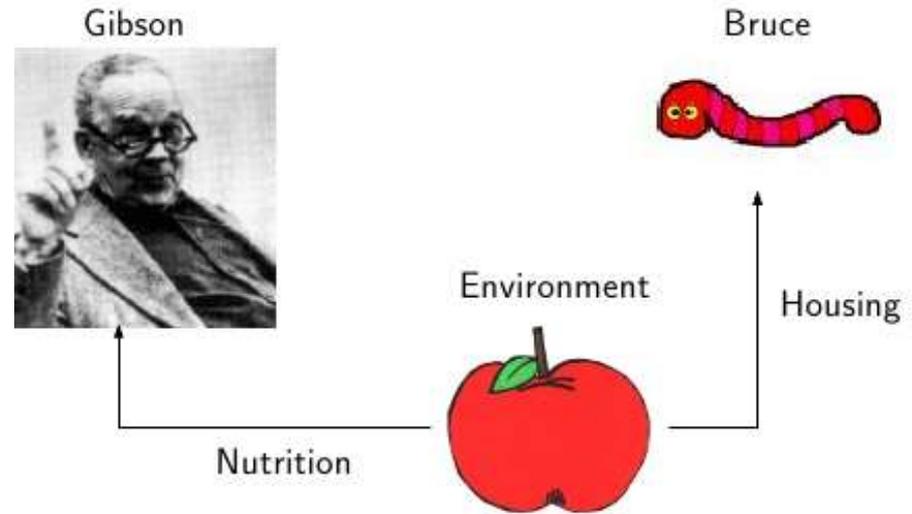
Design for ALL

50

Une affordance dépend donc **à la fois** d'un objet et d'un organisme.

Elle est forcément **relationnelle**

(ne dépend pas seulement des propriétés physiques de l'objet).



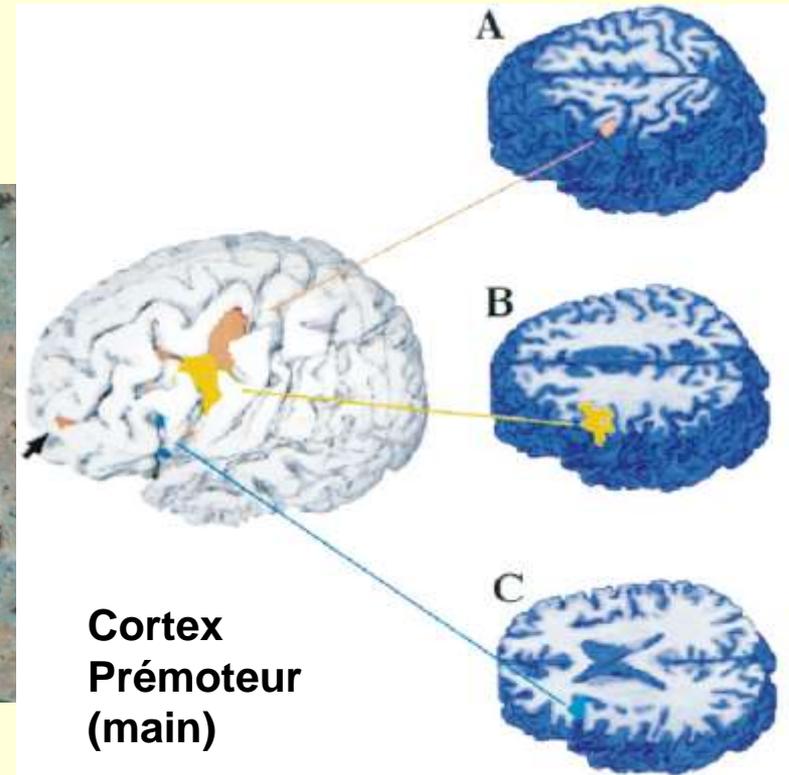


FIG. 1. Cortical anatomy of tool observation. Significant is  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Premotor-cortex-activation-during-observation-and-Grafton-Fadiga/73f6e125c380b28fc6bd0e826b93803d67dcacc0>

**Tucker & Ellis (1998)**  
La simple perception de l'anse d'une tasse  
**simule** sa préhension

en activant les systèmes moteurs  
correspondants à l'action de prendre la tasse

Et **simuler**, c'est un peu comme « **prédire** ce qu'on pourrait faire avec »...

Bref, les sciences cognitives du XXI<sup>e</sup> siècle ont amorcé un « **tournant pragmatique** » orienté vers **l'action**

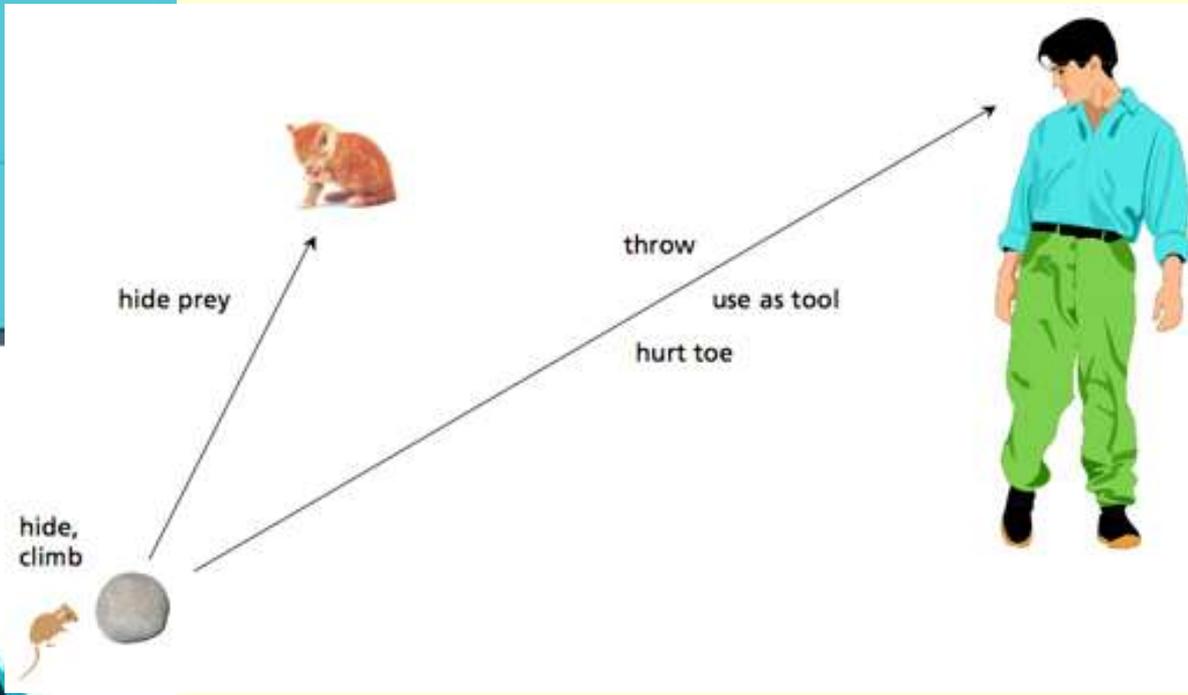
et qui tiennent compte du **corps** (et donc du système nerveux) particulier d'un organisme.

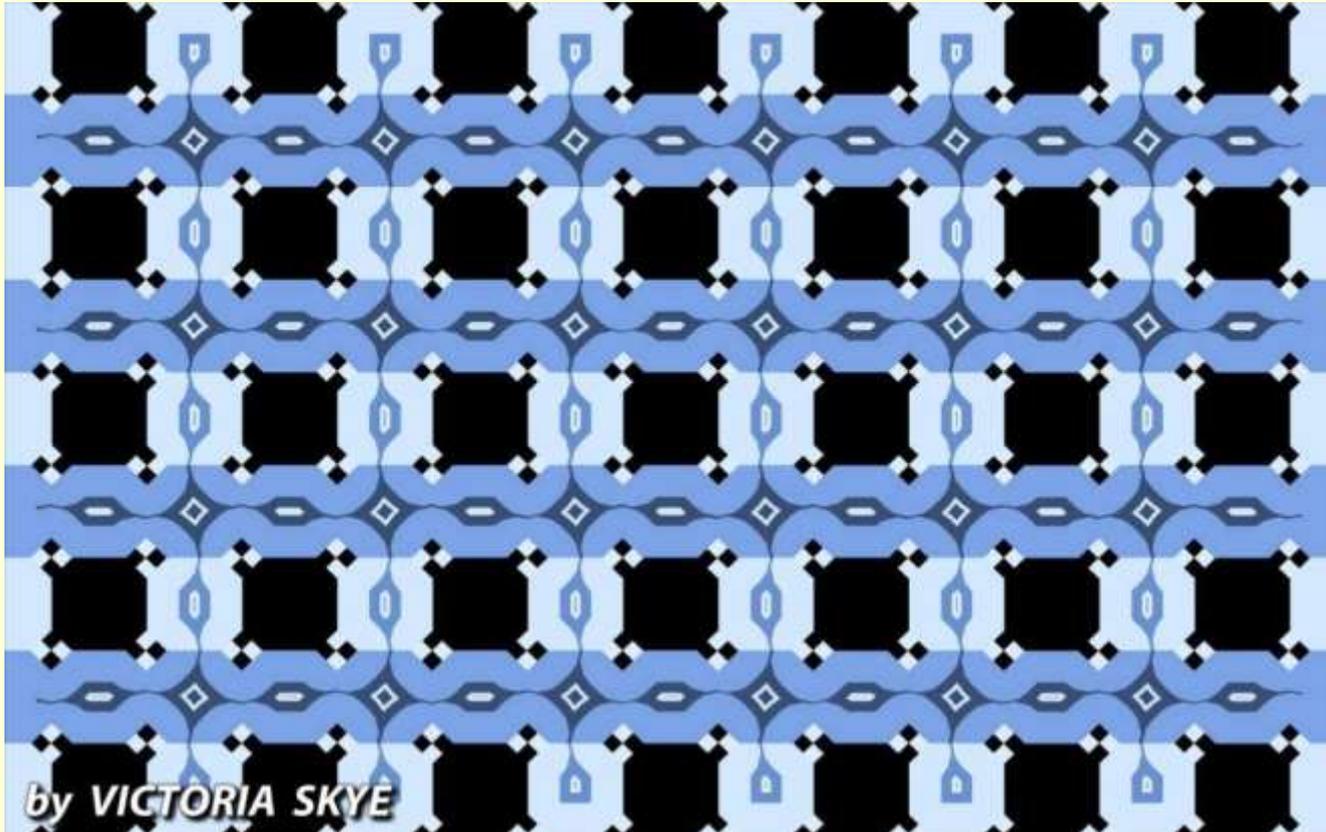
## The Pragmatic Turn

Toward Action-Oriented Views in  
Cognitive Science

EDITED BY  
Andreas K. Engel,  
Karl J. Friston, and  
Danica Kragic

2016





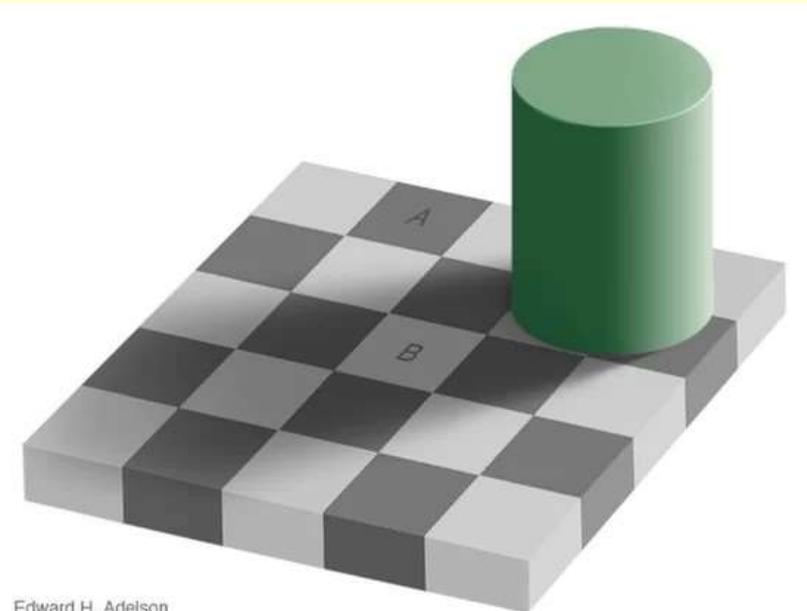
Mais devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que  
« **nos sens peuvent nous tromper** ».

C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un  
« miroir » du monde extérieur

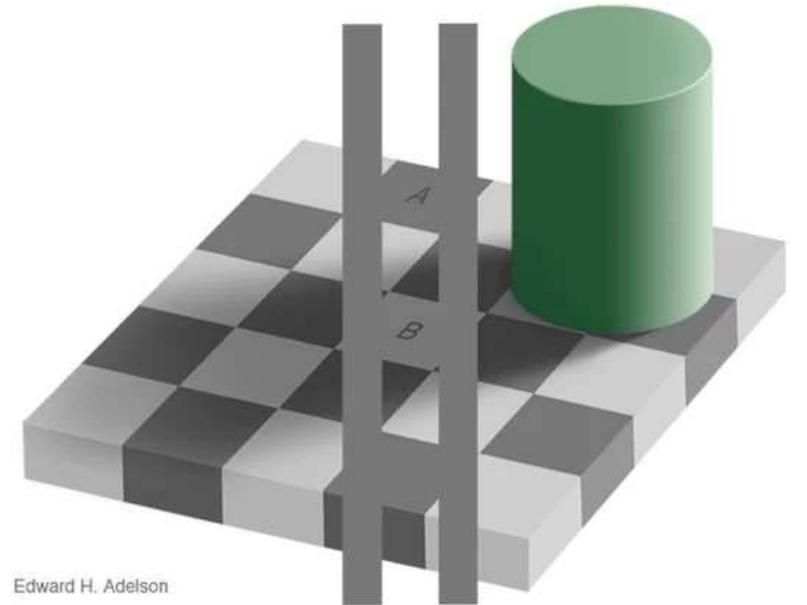
mais bien une **interprétation**, une **construction**, ou une **simulation**, faite par notre système nerveux à partir de ce que nos sens peuvent capter du monde.

Et l'on doit alors reconnaître que **la structure particulière de notre corps** (et en particulier de notre système nerveux) **détermine ce qui pourra être connaissable pour nous.**

Or **cette structure est le fruit d'une très longue évolution...**



Edward H. Adelson



Edward H. Adelson

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



La notion **d'auto-organisation**  
et d'événements **contingents**

**Qu'est-ce que la vie ?**

Le comportement  
comme **boucle de contrôle**

La cognition comme création de **signification**

Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

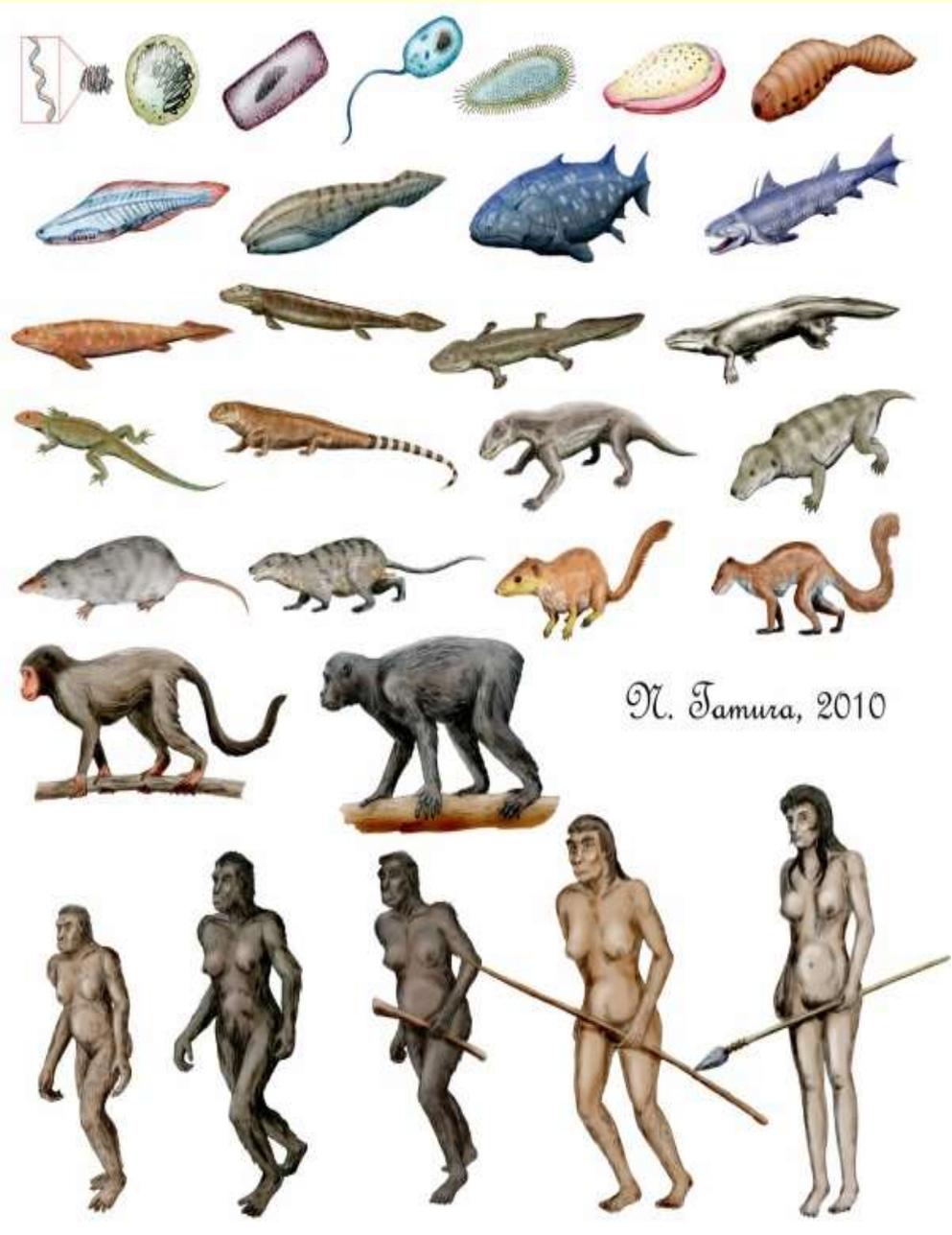




Live from the Flight Deck | golfcharlie232







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

- Theodosius Dobzhansky  
(1900-1975)





# Croissance de complexité

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

Vous êtes nés il y a  
13,8 milliards  
d'années

**Évolution cosmique, chimique et biologique**



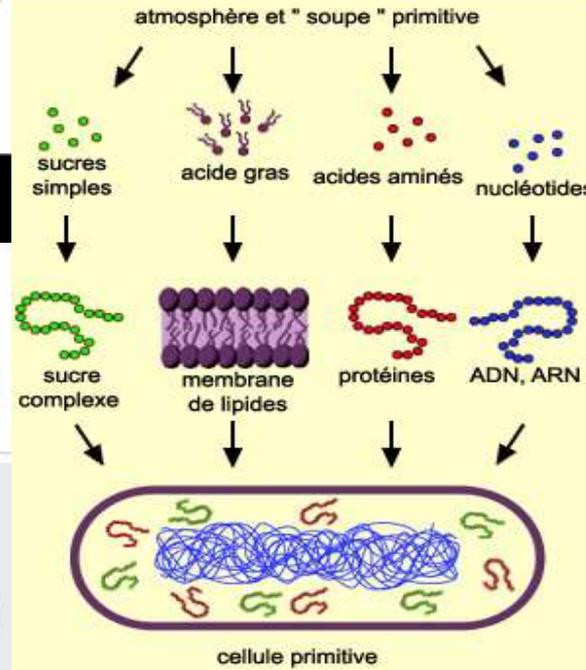
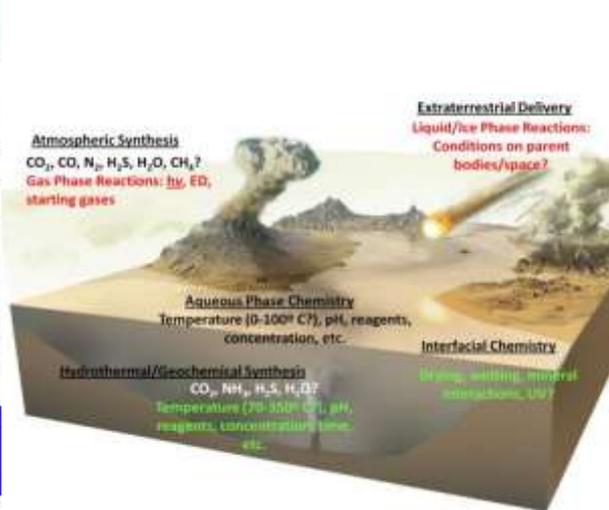
(Crédit : modifié de Robert Lamontagne)



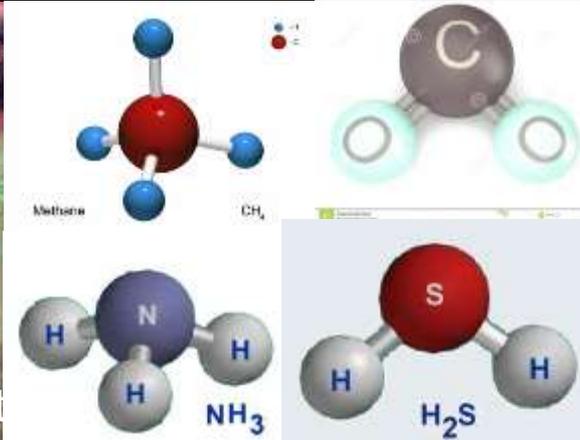
# Croissance de complexité

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

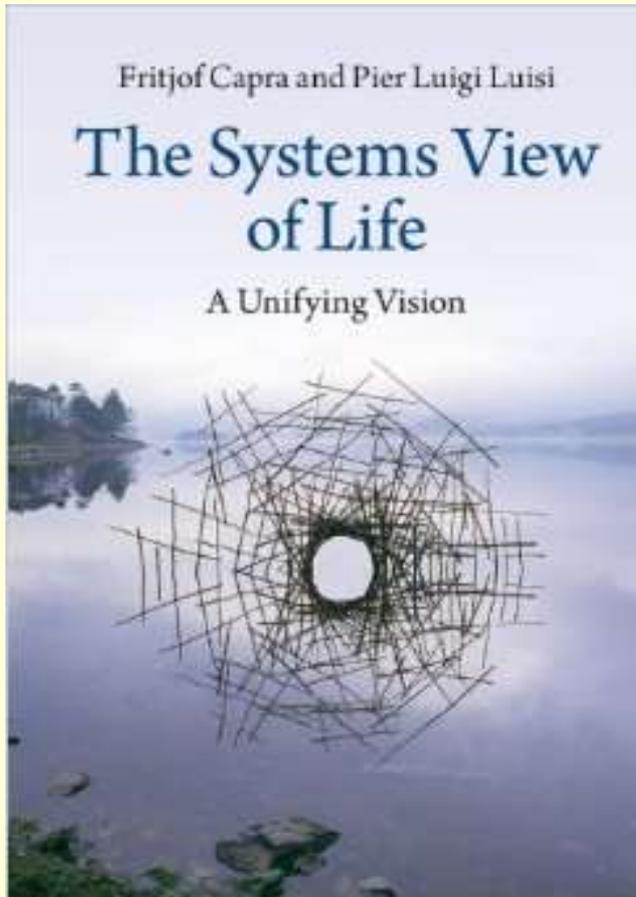
## Tableau Périodique des Éléments



## Évolution cosmique, chimique



(Crédit : modifié de Robert Lamont)



Durant l'histoire occidentale de la science et de la philosophie, il y a eu une tension entre 2 quêtes :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

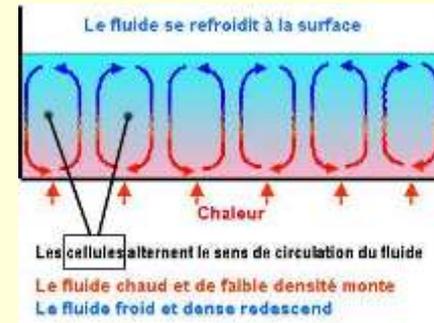
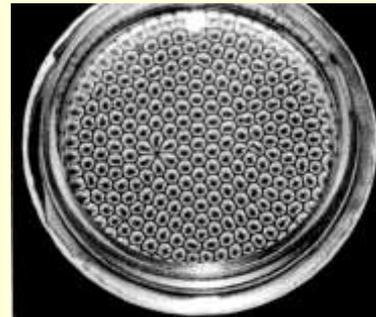
La notion d'**auto-organisation** permet de comprendre comment **de l'ordre peut apparaître spontanément au sein du désordre [...]**

et amener **l'émergence spontanée d'une structure**

(grâce aux propriétés et interactions de la matière explicables par des lois naturelles, et aucune autre « volonté » extérieure)

Exemples :

- l'apparition de **motifs périodiques** dans un liquide chauffé par le dessous (cellules de convection)



- la formation des **dunes** (par l'interaction du sable et du vent)



- un nuage de gaz et de poussière qui va former, grâce à la gravité, une **étoile**



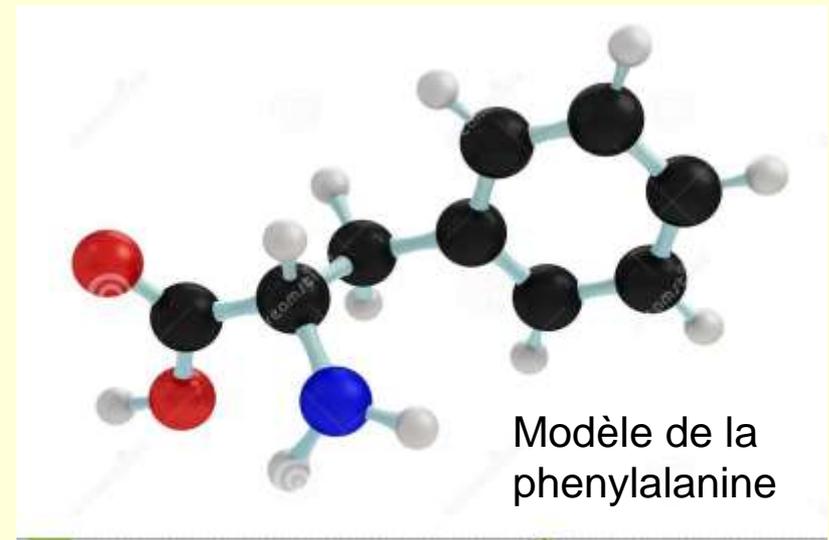
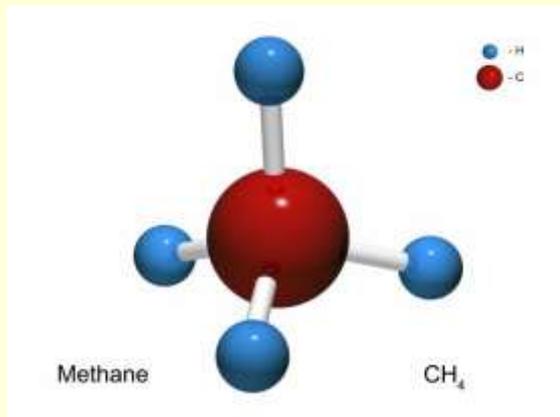
- Les interactions moléculaires qui vont donner lieu à des molécules plus complexes...

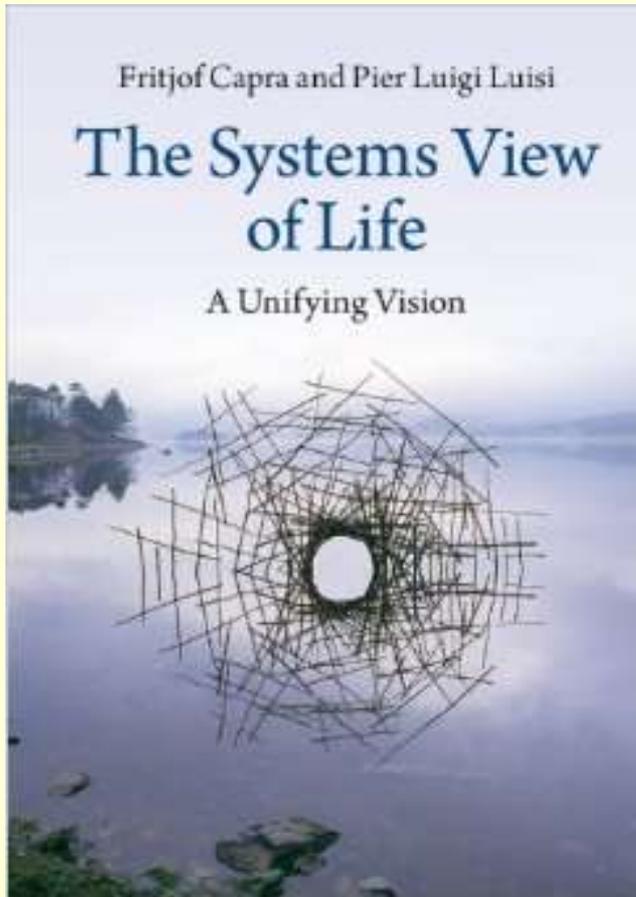
On peut dire que le passage de molécules simples vers des molécules organiques comme les acides aminés s'accompagne d'une **croissance de la complexité**.

On parle aussi "**d'auto-organisation**" pour désigner un tel processus.

Et de tels processus chimiques d'auto-organisation sont "**sous contrôle thermodynamique**",

c'est-à-dire qu'ils vont former "**spontanément**", sans l'intervention de forces extérieures, les formes moléculaires **les plus stables** pour les conditions physico-chimiques qui sont réunies.





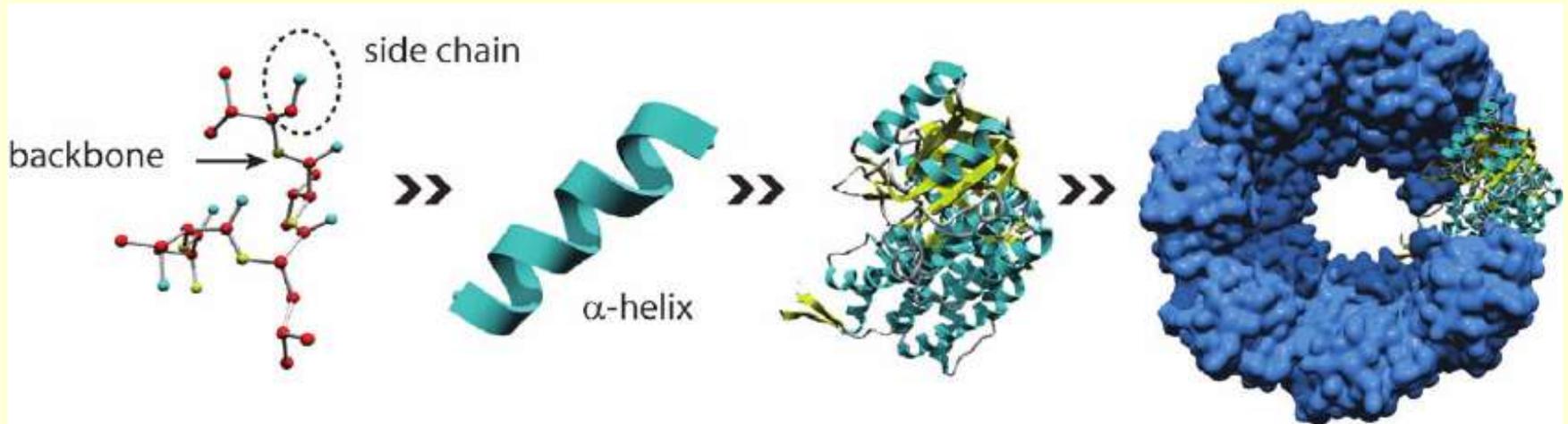
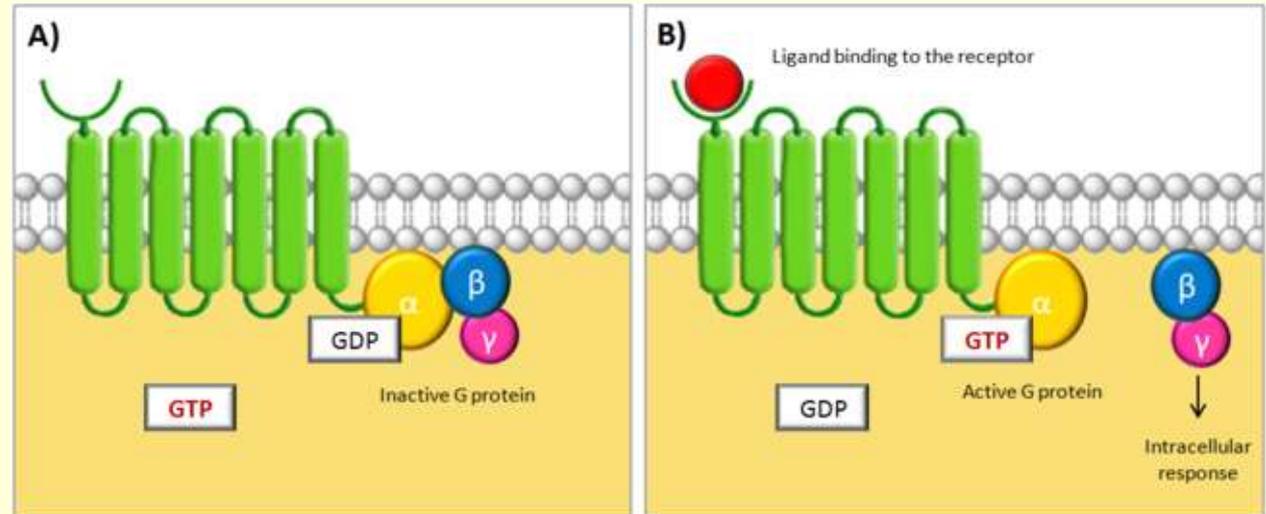
Durant l'histoire occidentale de la science et de la philosophie, il y a eu une tension entre 2 quêtes :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

Parce que ça commence à devenir important avec le **repliement des protéines**.

# Récepteur à 7 domaines membranaire couplé à une protéine G

- rôle important dans la communication intercellulaire (par ex.: récepteur de neurotransmetteurs) et la transduction de signaux sensoriels (par ex.: la rhodopsine des photorécepteurs, récepteurs aux odeurs, etc.)
- la cible de la moitié des médicaments sur le marché !

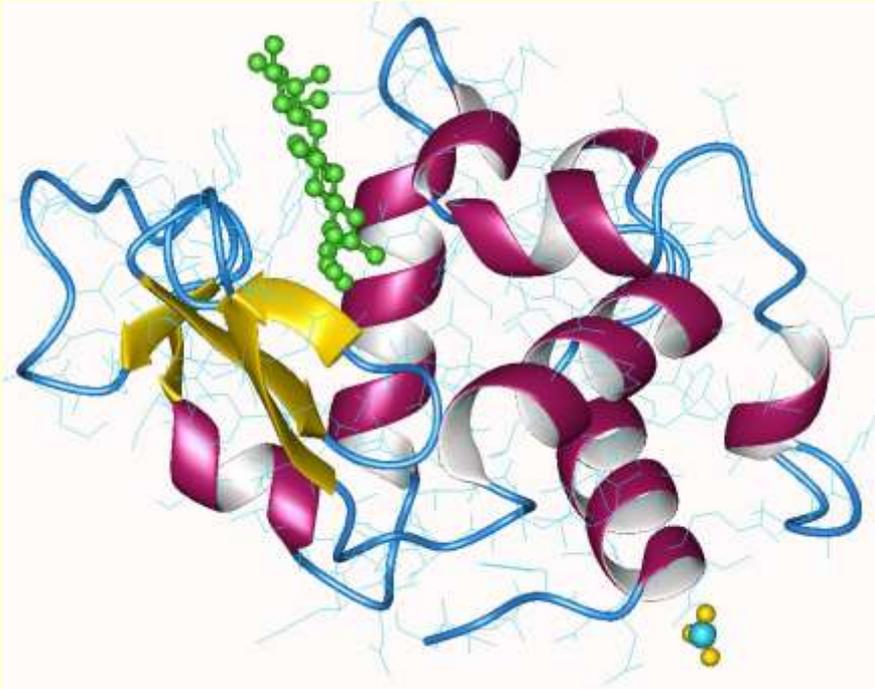


# The protein folding problem: a major conundrum of science

Ken Dill at TEDxSBU

<https://www.youtube.com/watch?v=zm-3kovWpNQ> [ 5:30 à 6:00 ]





De combien de façons une suite de 129 acides aminés, comme celle de l'enzyme **lysozyme**, peut-elle exister?

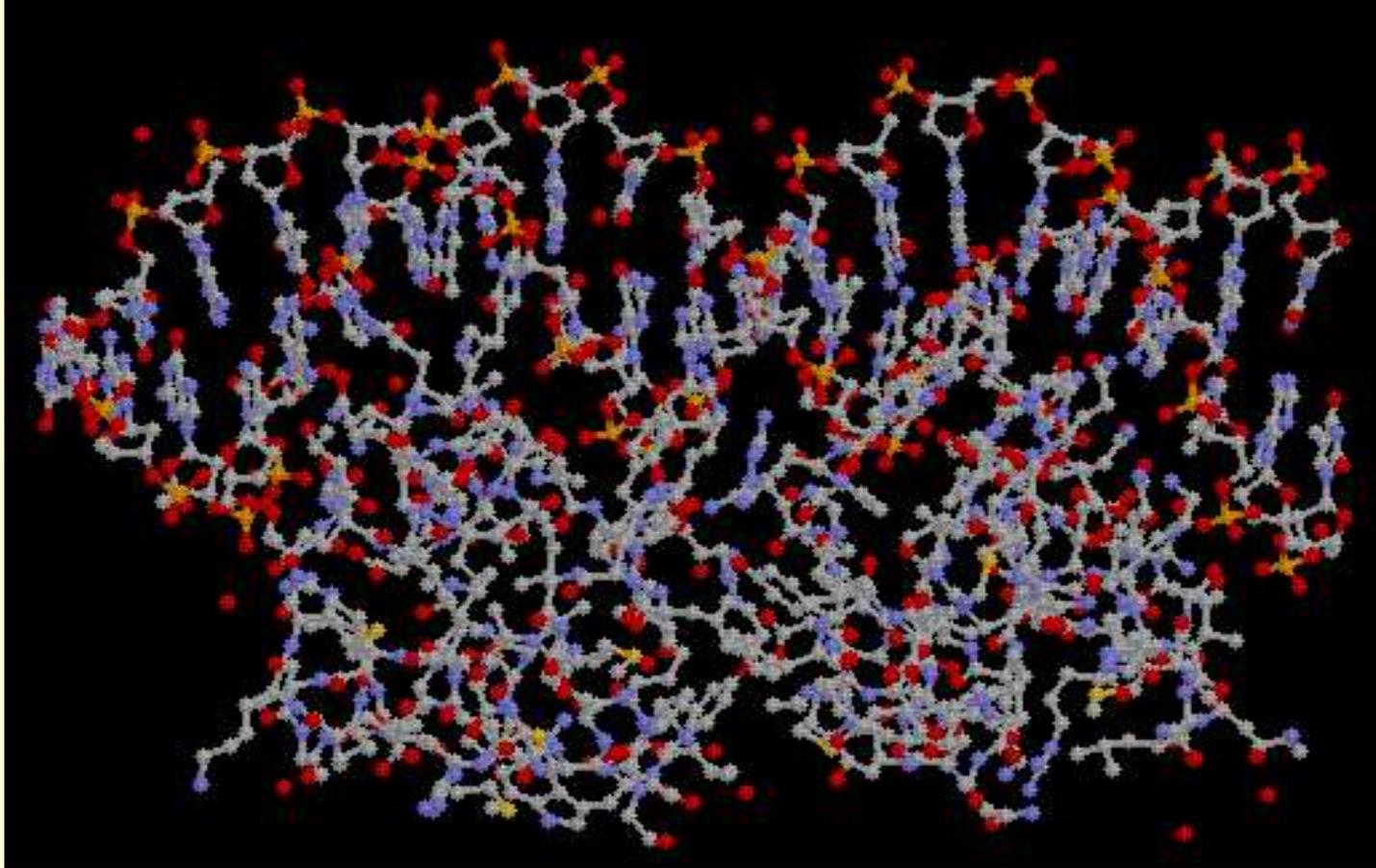
Comme il existe 20 acides aminés différents, cela donne  $20^{129}$ ,  
ou encore  $10^{168}$  (10 suivi par 168 zéros).

Donc rendu à ce niveau de complexité, il semble y avoir des événements « **accidentels** »

qui font en sorte que si on « rejouait le film de l'évolution » une autre fois, on n'obtiendrait pas le même résultat... (S. J. Gould)

Ce n'est plus seulement la forme la « plus stable », mais toutes sortes de conditions **contingentes** qui ont déterminé la suite des acides aminés

(conditions contingentes que l'on ne connaîtra jamais...)



On peut donc dire que le **repliement des protéines est le fait de l'auto-organisation** (toujours sous contrôle thermodynamique) **ET** d'événements **contingents**.

Et cela amène « **l'émergence** » de nouvelles propriétés fonctionnelles au niveau de la structure 3D de la protéine

(site de liaison d'un enzyme, le pore d'un canal membranaire, etc...)





Ces chaînes de lipides vont donner lieu à des phénomènes **d'auto-organisation** mais cette fois-ci au niveau **supra-moléculaires** :

par exemple, des **couches bi-lipidiques**

qui vont former à leur tour des **vésicules** qui deviendront les futures membranes des cellules vivantes...

**Mais qu'est-ce que la vie ?**

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

La notion d'**auto-organisation**  
et d'événements **contingents**

**Qu'est-ce que la vie ?**

Le comportement  
comme **boucle de contrôle**

La cognition comme création de **signification**

Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
**Cerveau et corps  
ne font qu'un** :  
origine et  
fonction  
des émotions



Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 5 :  
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**

**Les définitions** de la vie sont souvent des listes de critères comprenant des éléments comme :

Développement ou croissance  
Métabolisme  
Motilité  
Reproduction  
Réponse à des stimuli  
Etc.

Le biologiste Radu Popa a listé plus de 300 définitions de la vie...  
dont aucune ne fait l'unanimité !



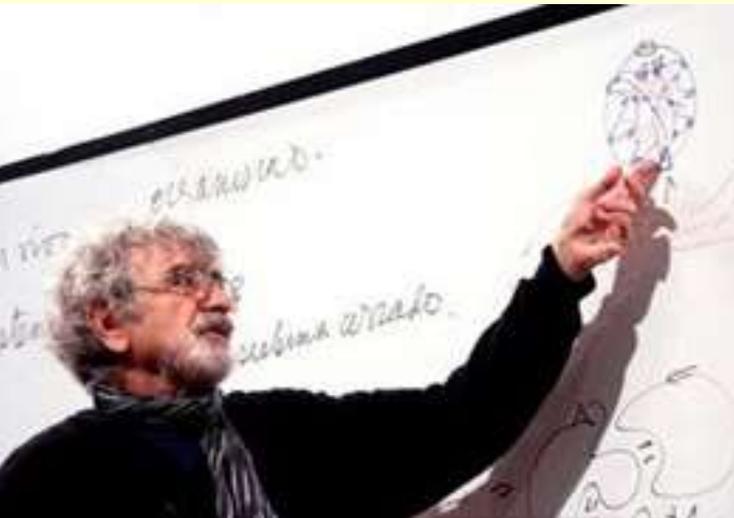
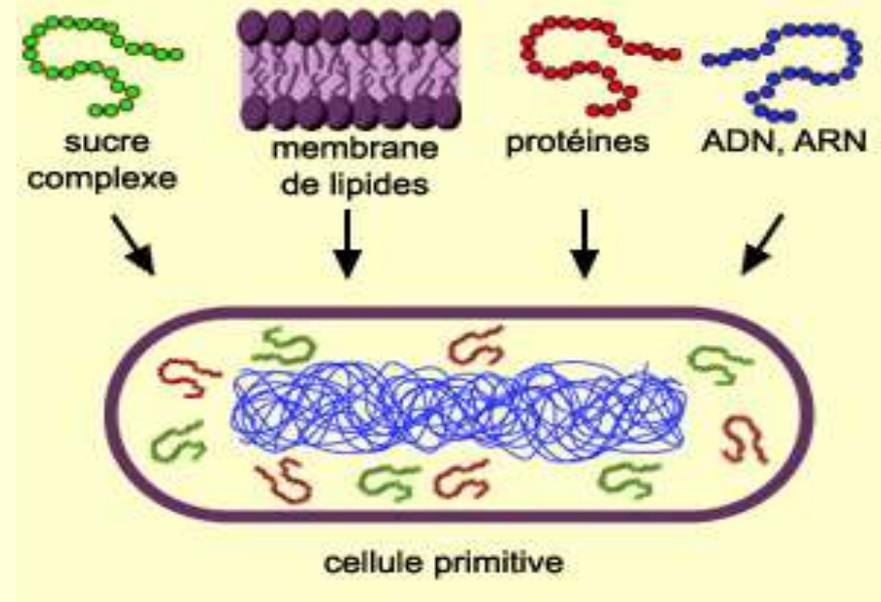
atmosphère et " soupe " primitive

Pour comprendre ce qu'est une **cellule vivante**,

une notion très utile est celle **d'autopoïèse**,

élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela

dans les années 1970.

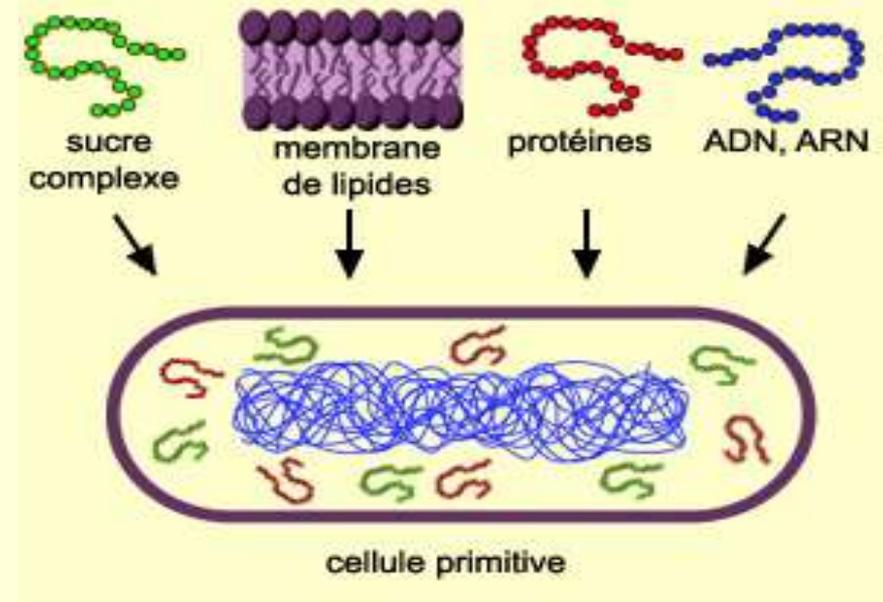


Pour comprendre ce qu'est une **cellule vivante**,

une notion très utile est celle **d'autopoïèse**,

élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela

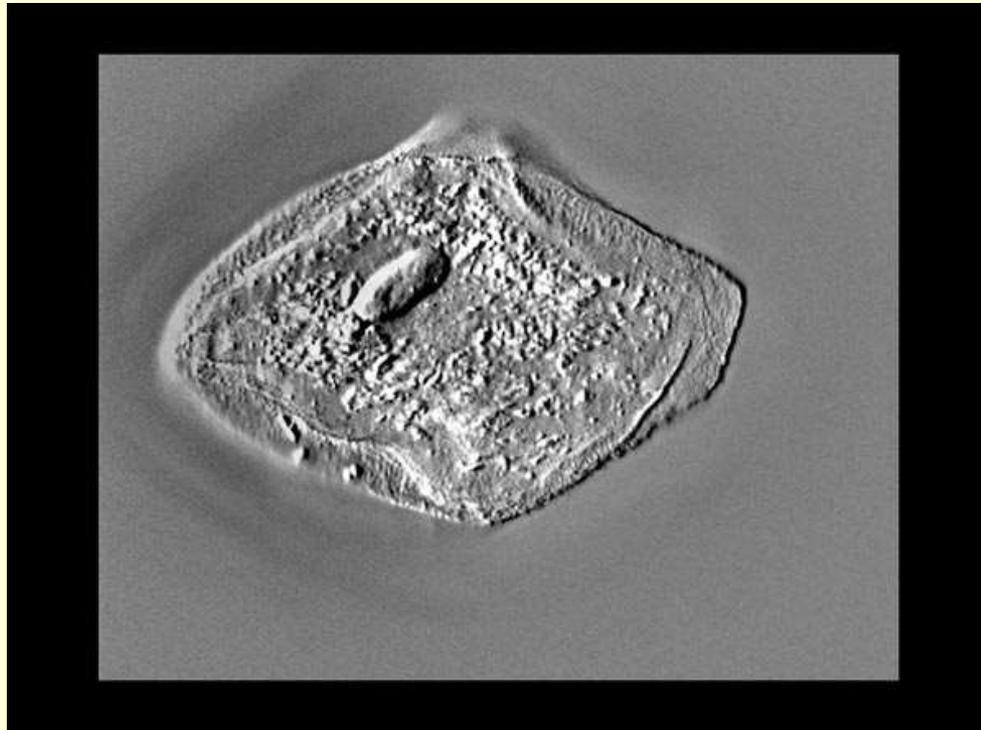
dans les années 1970.



« Notre proposition est que les êtres vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de **s'auto-produire**. »

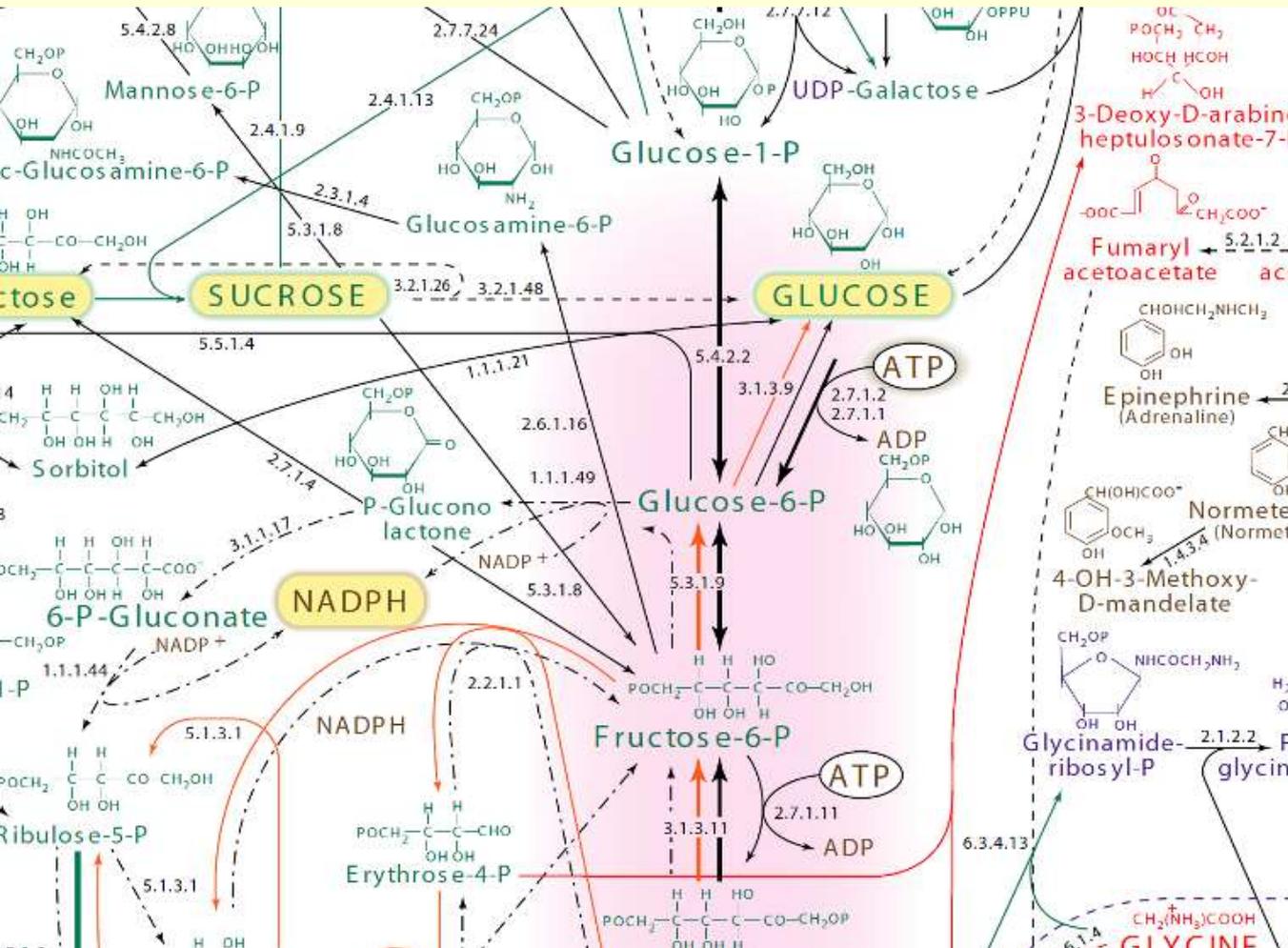
- Maturana & Varela, *L'arbre de la connaissance*, p.32

« Un système autopoïétique est un **réseau complexe d'éléments** qui, par leurs interactions et transformations, **régénèrent constamment le réseau** qui les a produits. »

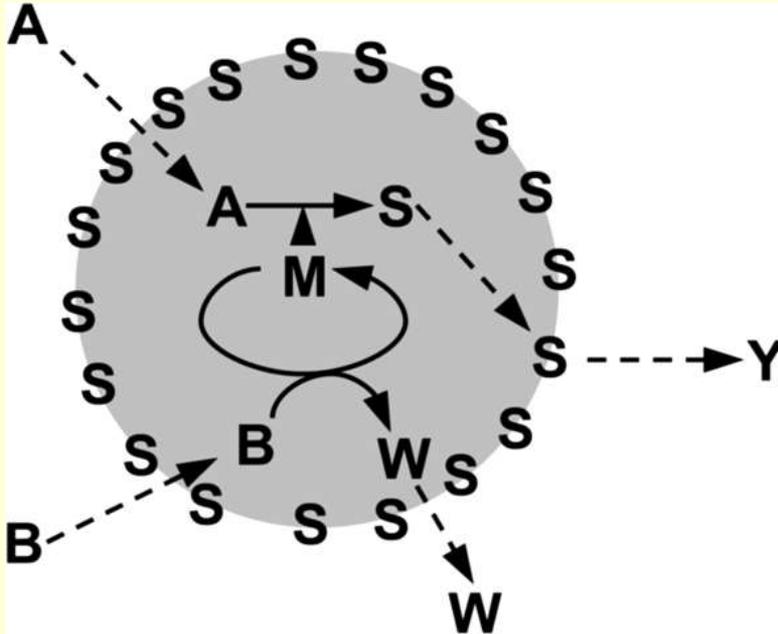


An image of a human buccal epithelial cell obtained using Differential Interference Contrast (DIC) microscopy  
([www.canisius.edu/biology/cell\\_imaging/gallery.asp](http://www.canisius.edu/biology/cell_imaging/gallery.asp))

« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.



..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.



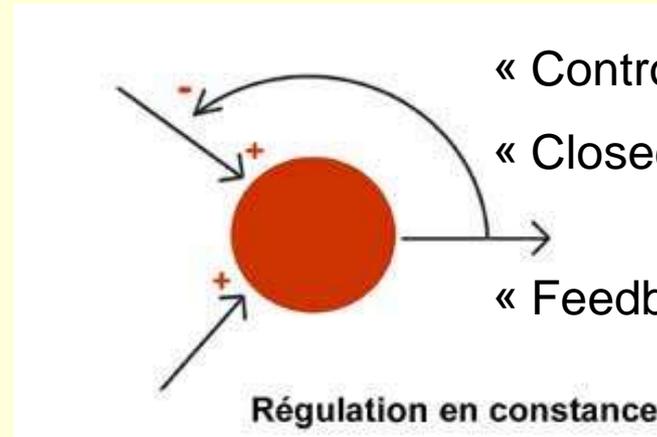
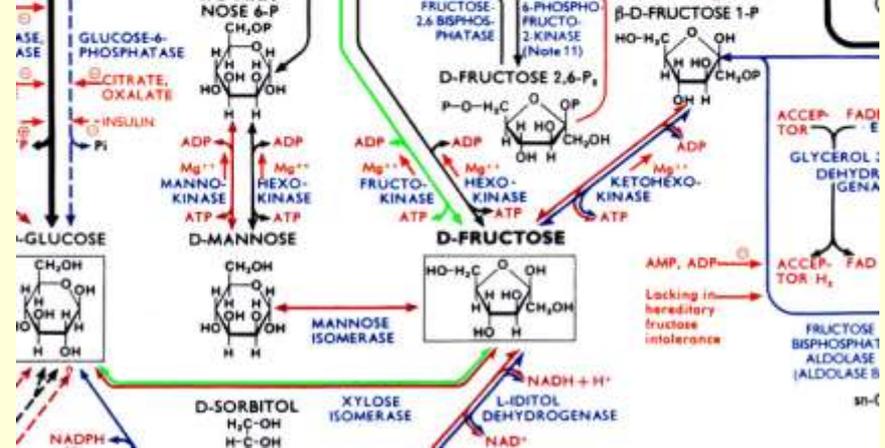
<http://www.humphath.com/spip.php?article17459>

Toute cellule est donc un **système ouvert** (du point de vue thermodynamique) qui :

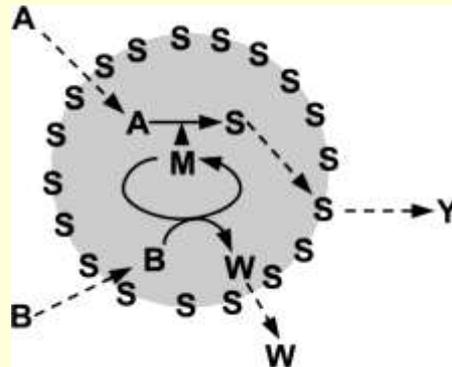
- a besoin de nutriments
- rejette des déchets
- construit sa propre **frontière** et tous ses **composants internes**.

Un système autopoïétique subit donc constamment des **changements** au niveau de ses **éléments structuraux** tout en **préservant son pattern général d'organisation**.

# « Physiologie »

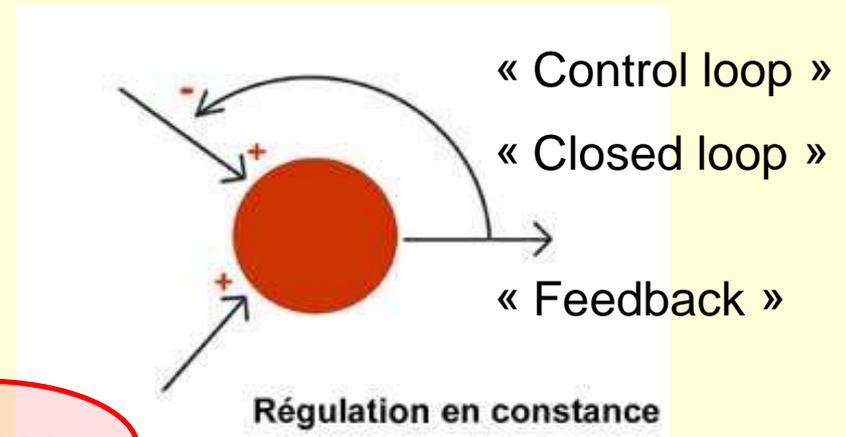


L'autopoïèse permet le maintien de la vie et l'autonomie.



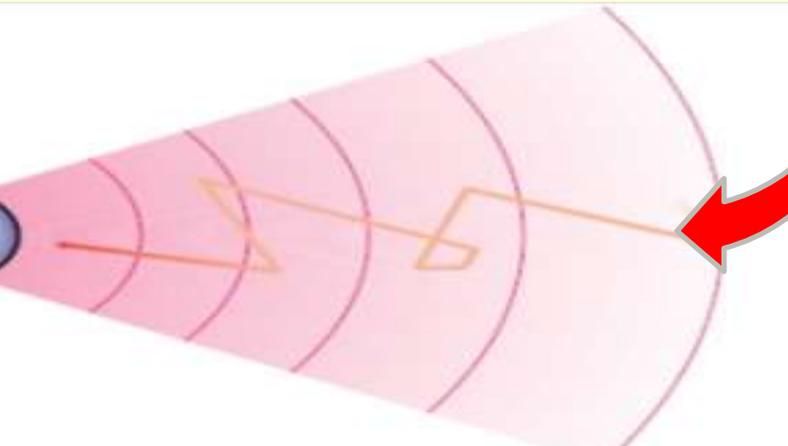
Mais tout être vivant est situé dans un environnement et a avantage à « tirer parti » de cet environnement (pas seulement le maintien interne)

# « Comportement » !



sucrose

Mais tout être vivant est situé dans un environnement et a avantage à « **tirer parti** » **de cet environnement** (pas seulement le maintien interne)



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

La notion d'**auto-organisation**  
et d'événements **contingents**

**Qu'est-ce que la vie ?**

Le **comportement**  
comme **boucle de contrôle**

La cognition comme création de **signification**

Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
**Cerveau et corps  
ne font qu'un** :  
origine et  
fonction  
des émotions

Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner

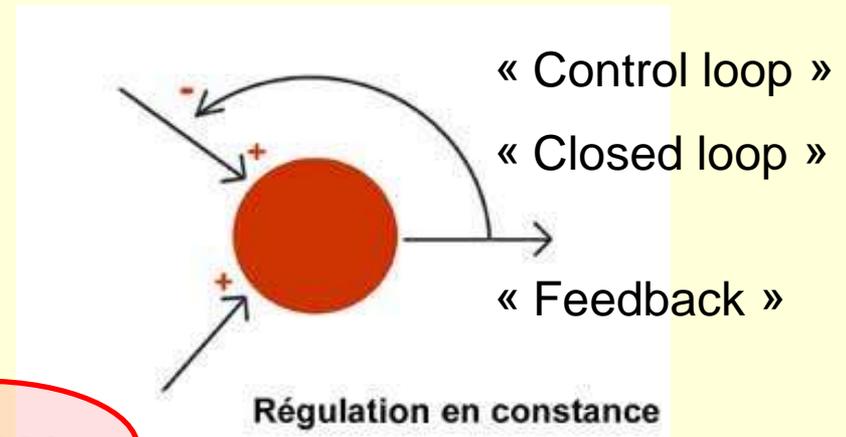


Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

# « Comportement » :

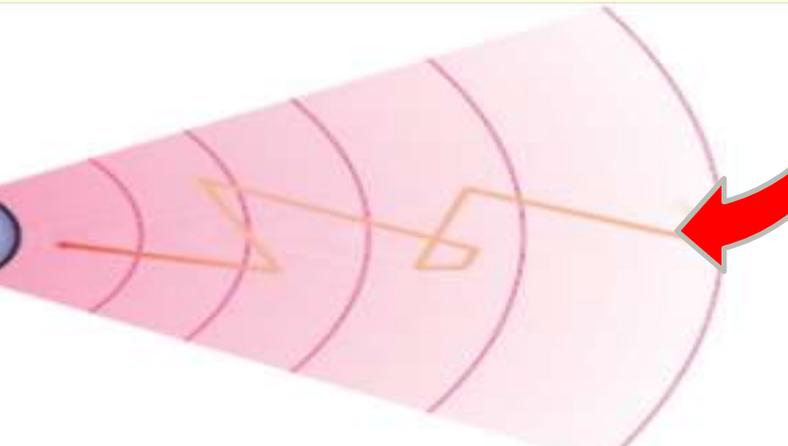
peut être repensé comme une autre **boucle de contrôle**,  
mais à l'extérieur de l'organisme cette fois !

(plutôt que comme un « input-output process »)



sucrose

Mais tout être vivant  
est situé dans  
un environnement  
et a avantage à « **tirer parti** »  
**de cet environnement**  
(pas seulement le maintien interne)



## « Comportement » :

peut être repensé comme une autre **boucle de contrôle**,  
mais à l'extérieur de l'organisme cette fois !

(plutôt que comme un « input-output process »)



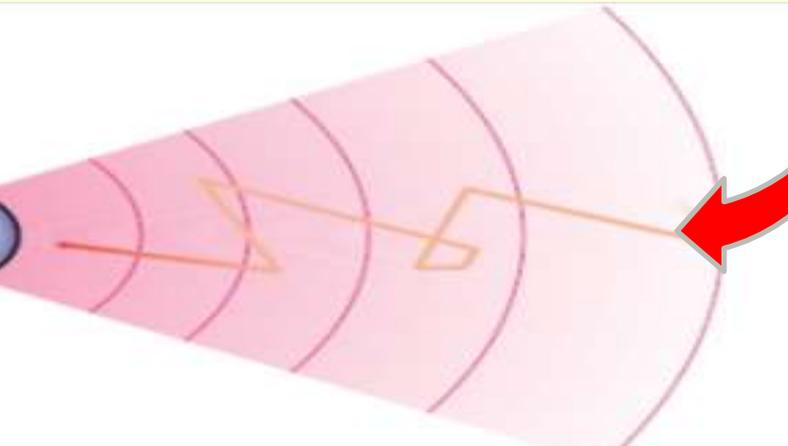
« behaviour as **control mechanism** » (Cisek)

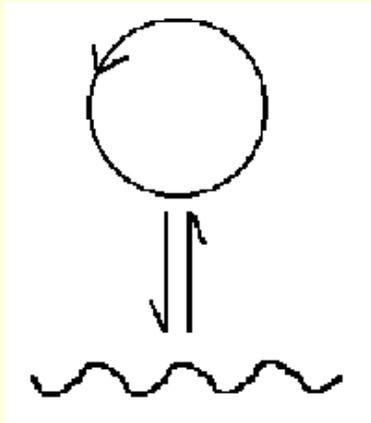
« **adaptivity** » (Di Paolo)

“ a property that allows organisms to regulate themselves with respect to their conditions of viability”

« **active inference** » (Friston)

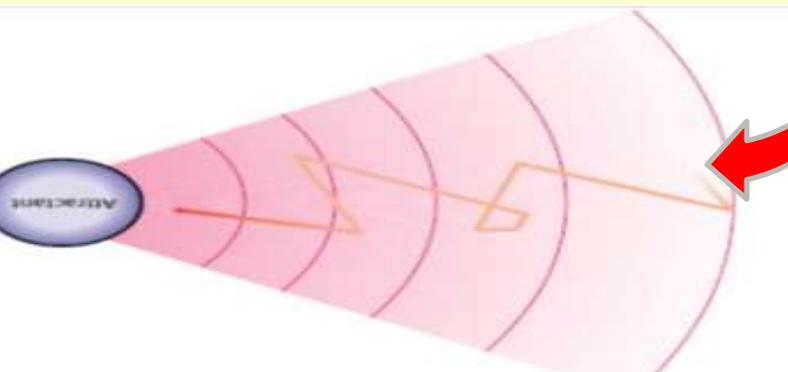
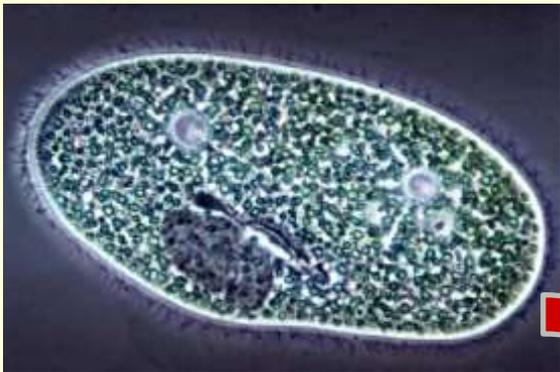
“an upper bound on the entropy or dispersion”

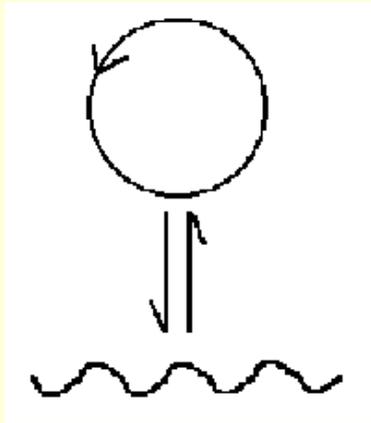




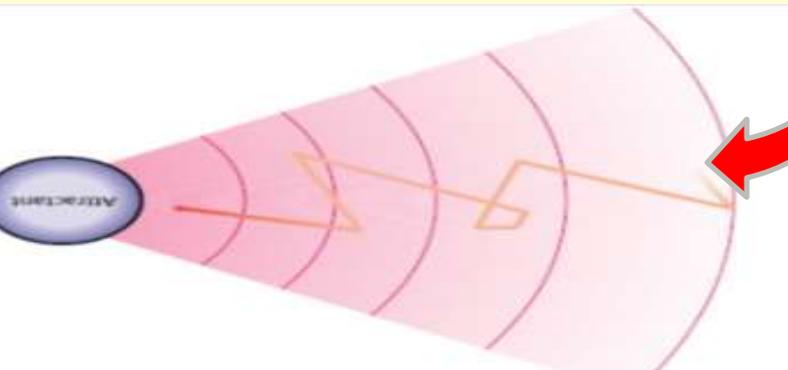
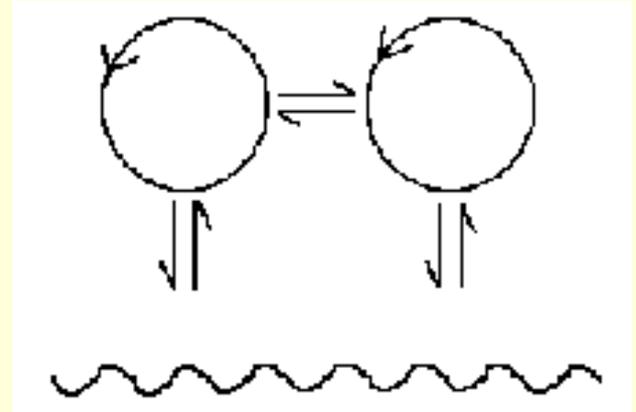
On a donc une **cellule vivante** (ou autopoïétique)

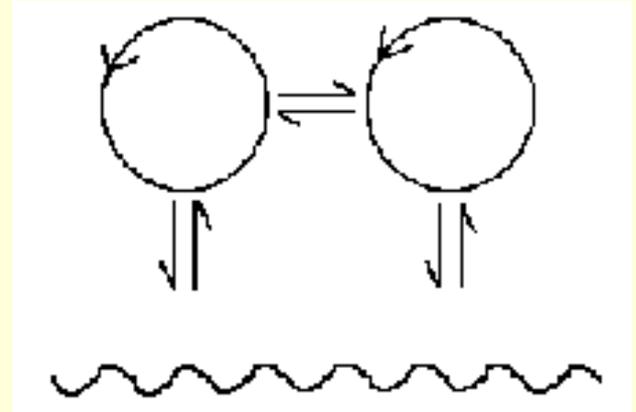
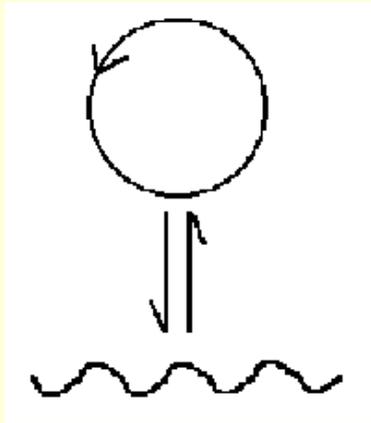
**couplée** à son **environnement** de façon **dynamique** grâce à ses **boucle sensori-motrices**



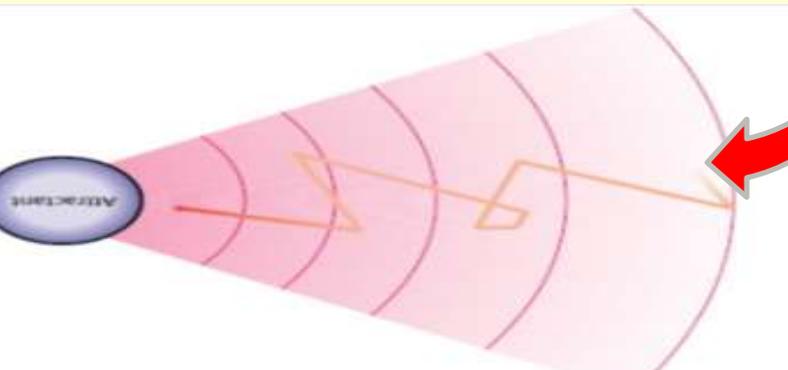
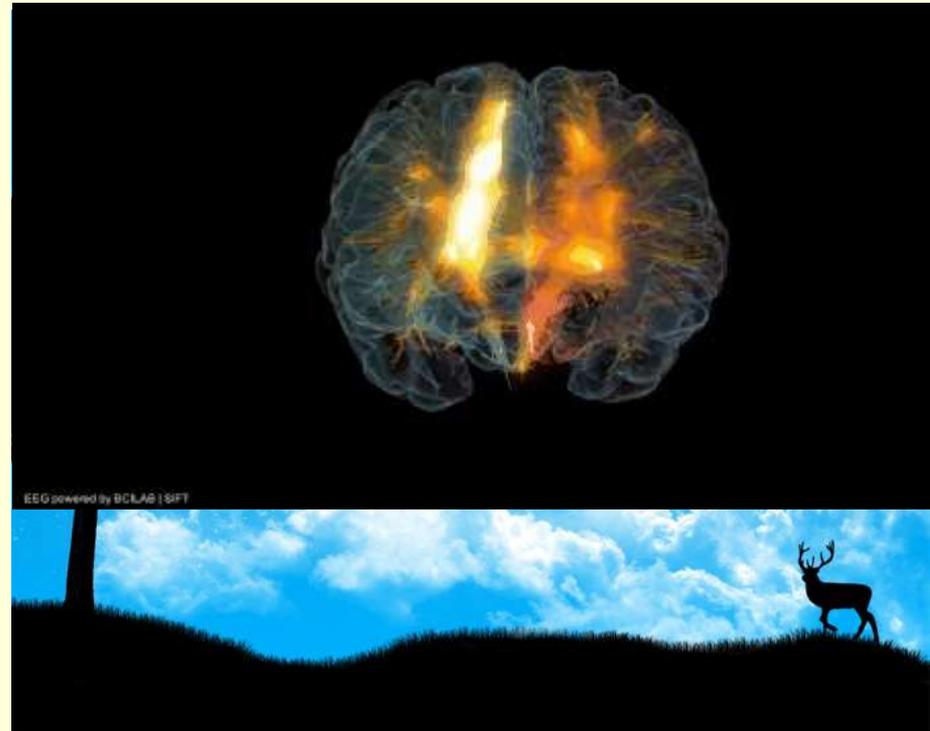
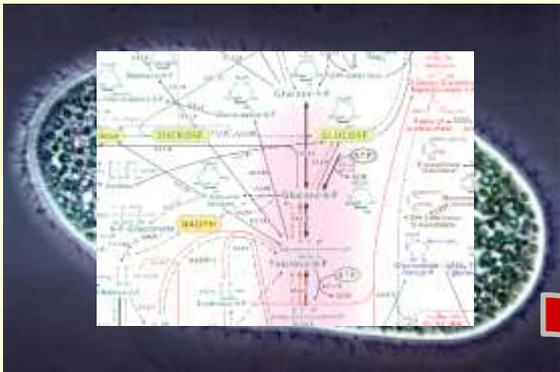


Même chose  
pour les  
**multicellulaires!**





...de façon **dynamique**



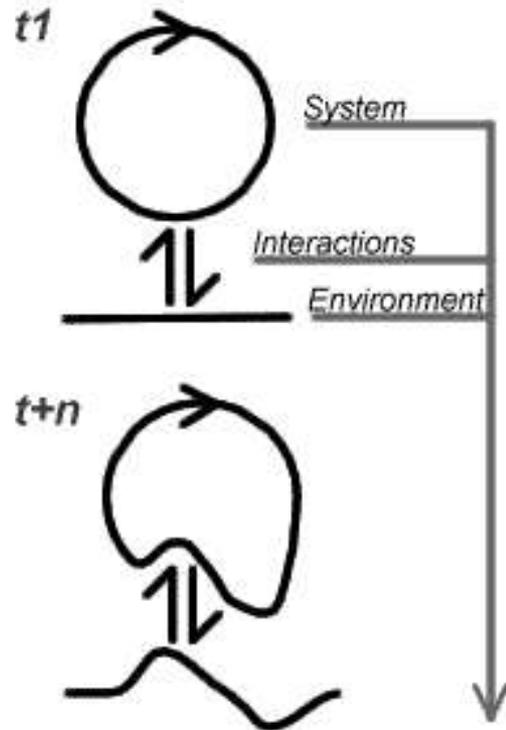
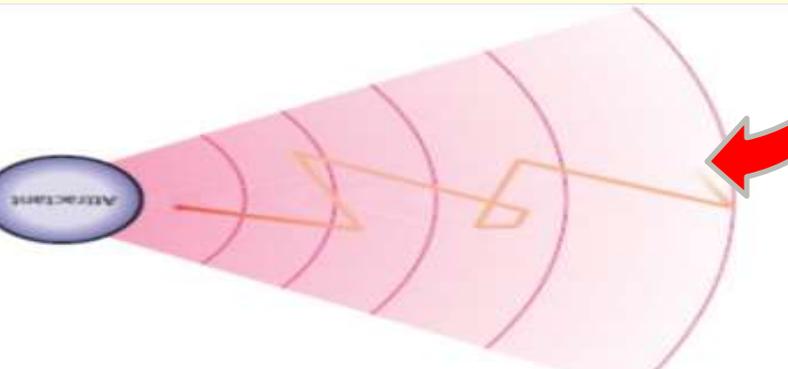
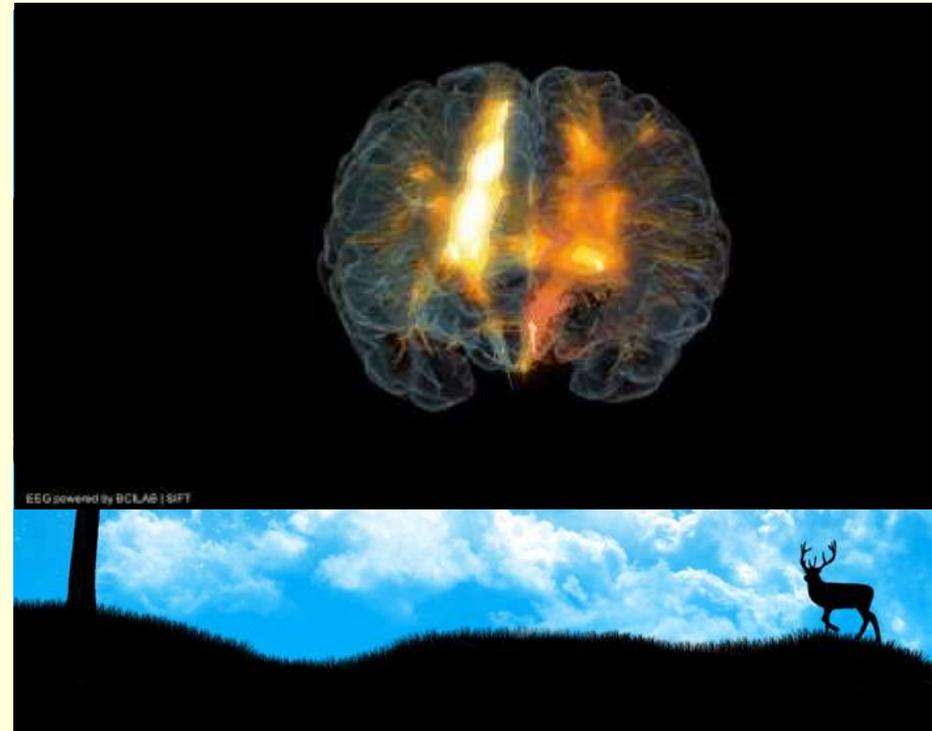


Figure 1: System - environment coupling

Ce couplage sensori-moteur **module ou perturbe**, mais ne détermine pas, la formation de patterns dynamiques d'activité **endogène**.



Qu'est-ce que ça va changer dans notre façon de définir la cognition ?

Je vous “spoile” déjà le punch ! :

Elle n'est plus vue comme une capacité à “résoudre des problèmes”

mais bien comme création de **signification** (**sense-making**)

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

La notion d'**auto-organisation**  
et d'événements **contingents**

**Qu'est-ce que la vie ?**

Le comportement  
comme **boucle de contrôle**

La cognition comme création de **signification**

Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



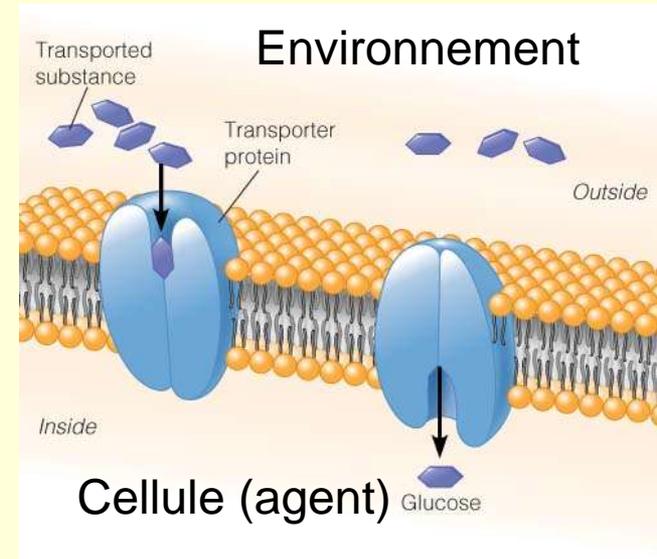
Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



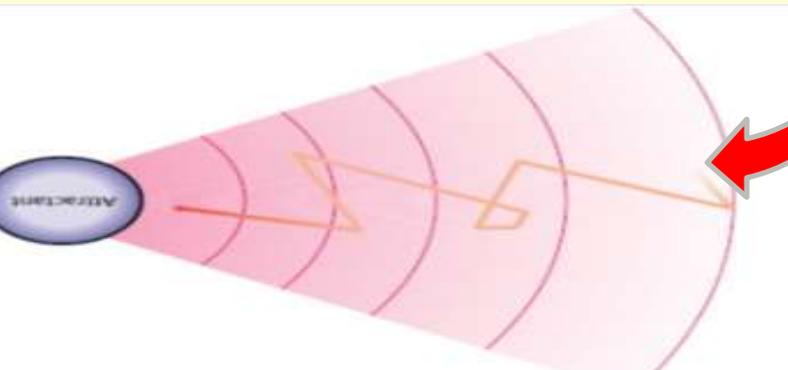
Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

Prenons une bactérie mobile qui nage dans un milieu aqueux en remontant un **gradient de sucrose**.

La bactérie nage au hasard jusqu'à ce qu'elle sente le gradient de molécules de sucre, grâce à un « **couplage** » de récepteurs sur sa membrane avec cette molécule.



Puis la bactérie va se mettre naturellement à remonter ce gradient pour avoir plus de sucre **parce qu'elle a les enzymes pour en soutirer de l'énergie !**



Le point important ici :

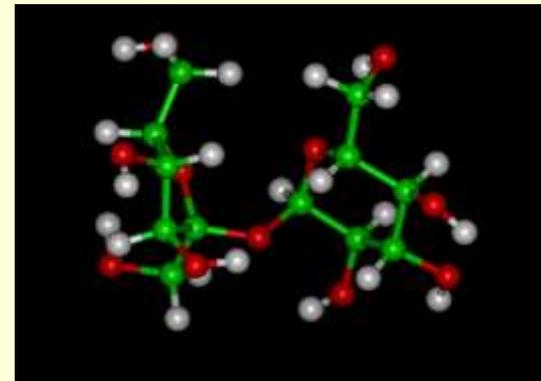
Le sucrose est une **molécule physicochimique** de l'environnement.

Son statut en tant **qu'aliment** n'est cependant **pas intrinsèque** au statut de sucrose en tant que molécule.

C'est plutôt une caractéristique « **relationnelle** », liée au métabolisme de la bactérie (qui peut l'assimiler et en soutirer de l'énergie).

Le sucrose n'a donc **pas de signification ou de valeur** comme nourriture **en soi**, mais seulement dans ce monde particulier que le corps (et le métabolisme) de la bactérie va « énoncer ».

Varela résume ceci en disant que grâce à l'autonomie de l'organisme, certains éléments de son environnement acquièrent un « **surplus de signification** » comparé au monde physicochimique.



Pour tous les organismes, uni ou multicellulaires, ce sense-making implique que des choses de notre environnement vont acquérir un **sens positif, négatif** ou **neutre**.

Et cela va déclencher en nous ce qu'on appelle des **émotions** qui peuvent être agréables ou désagréables.

« Sense-making is **affective** »

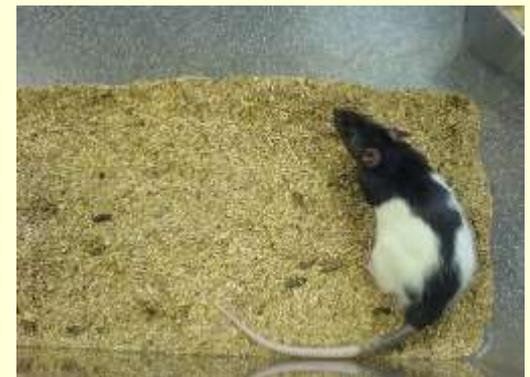
→ Cette dimension émotionnelle du sense-making amène donc un aspect **motivationnel**

c'est-à-dire une disposition à **agir**.

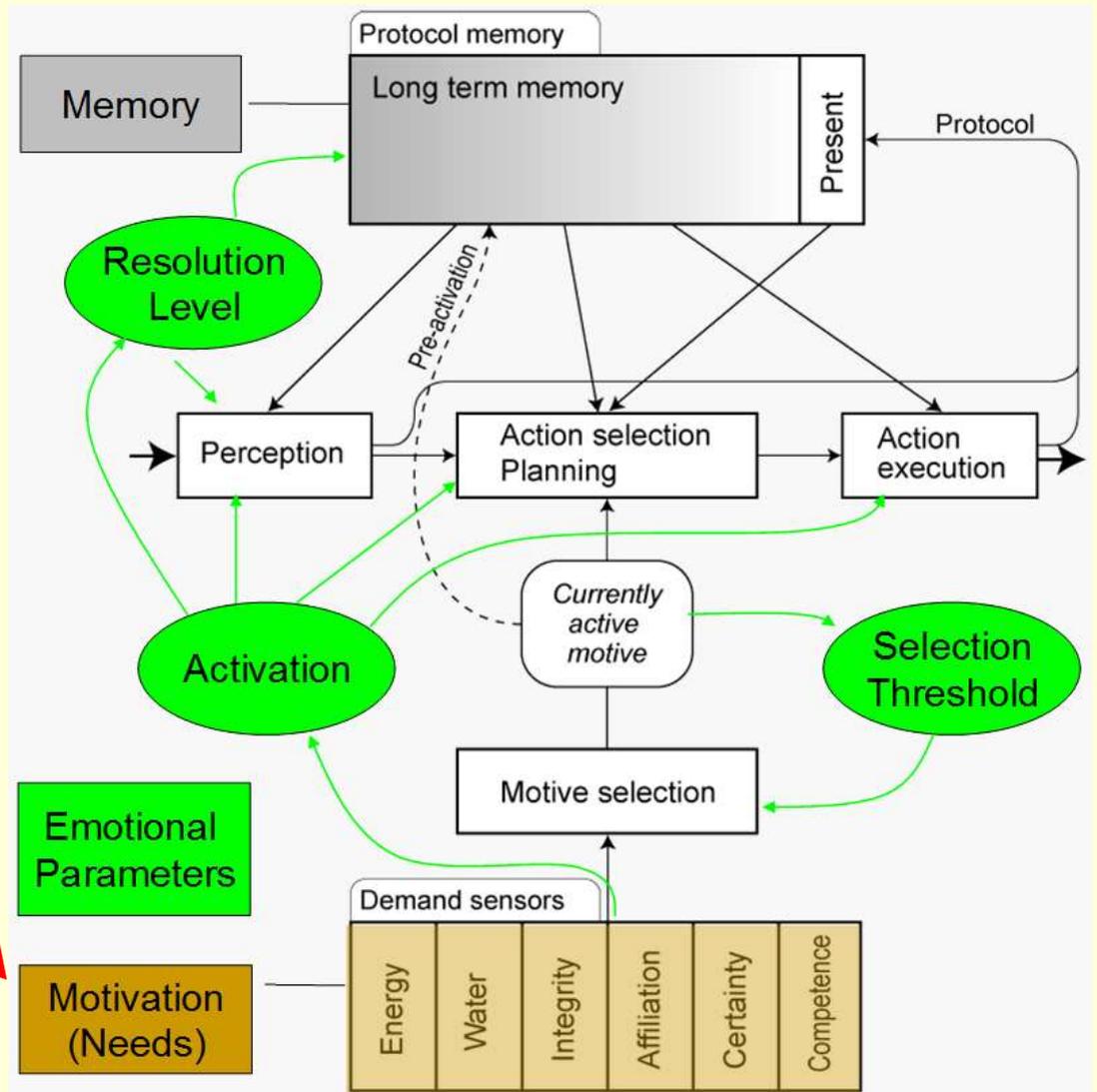
Les êtres vivants sont intrinsèquement **concerné par la monde**

et ont cette curiosité **d'explorer leur espace vital**

parce qu'ils ont besoin de trouver des éléments pour renouveler leur structure.



Alors que dans le cas des architectures fonctionnalistes cognitivistes, on est toujours obligé de leur adjoindre une petite boîte étiquetée “**motivation**” pour déclencher leur action.



Alors que pour un animal, le comportement **exploratoire** est sans doute le plus fondamental.

Dans un environnement **hétérogène**, se déplacer permet de découvrir des **ressources**.



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



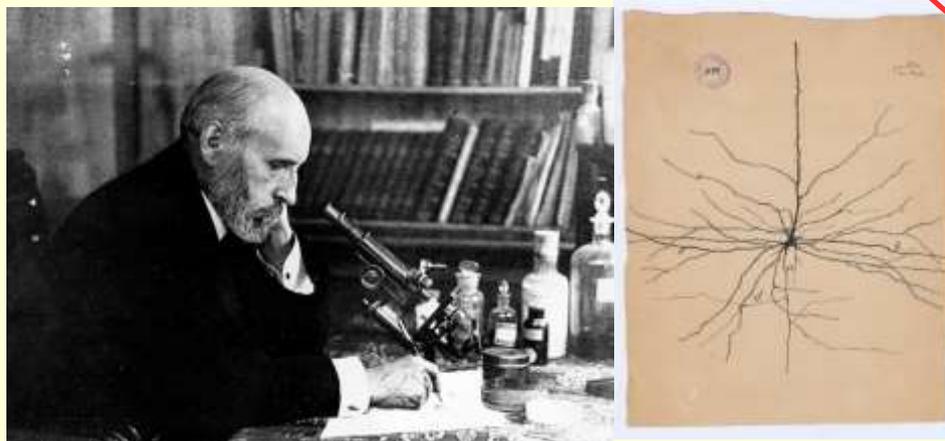
Séance 3:  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier



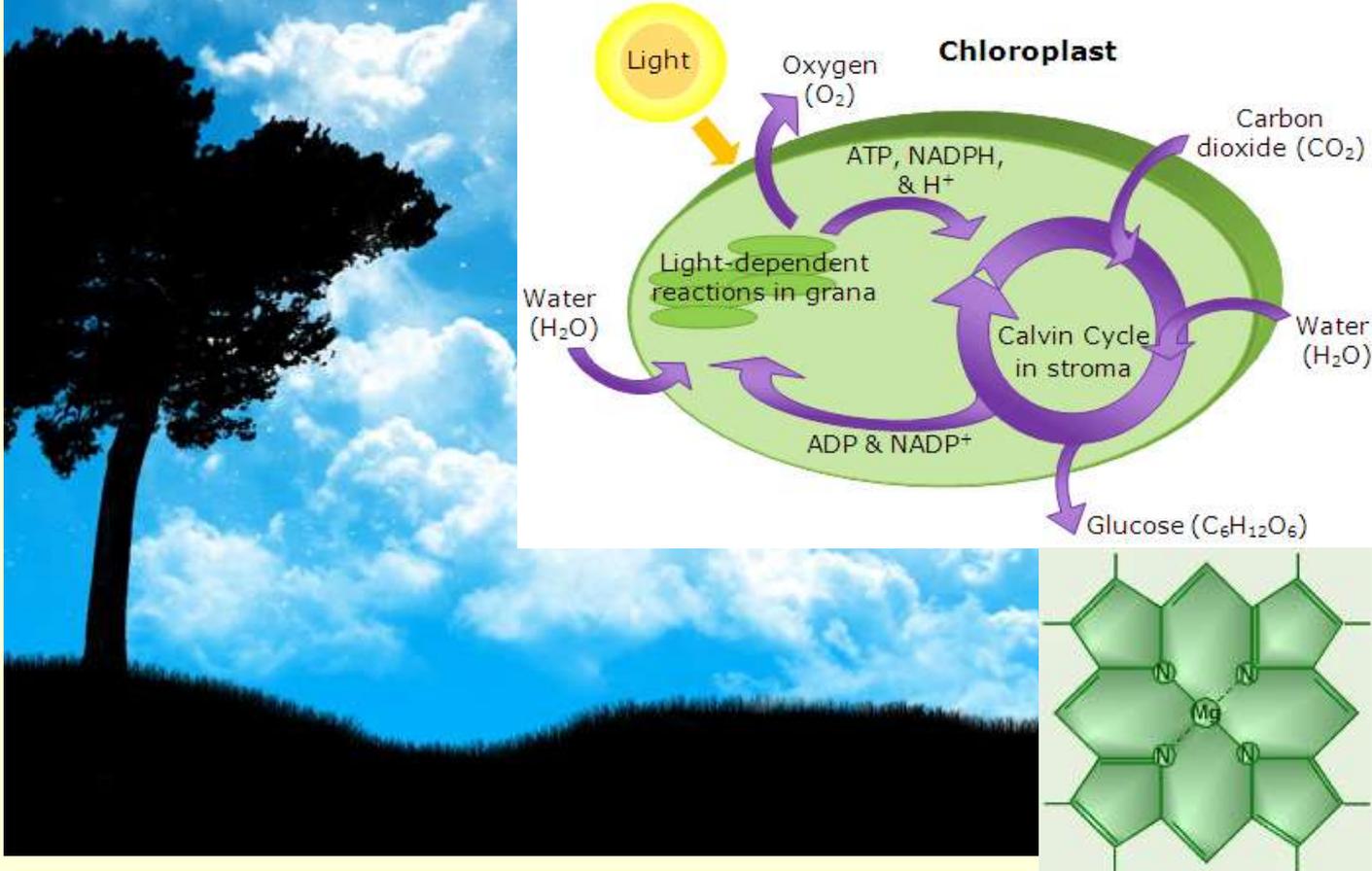
Dans un monde où prévaut  
le 2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique





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

- Henri Laborit



Plantes :

photosynthèse

grâce à l'énergie du soleil

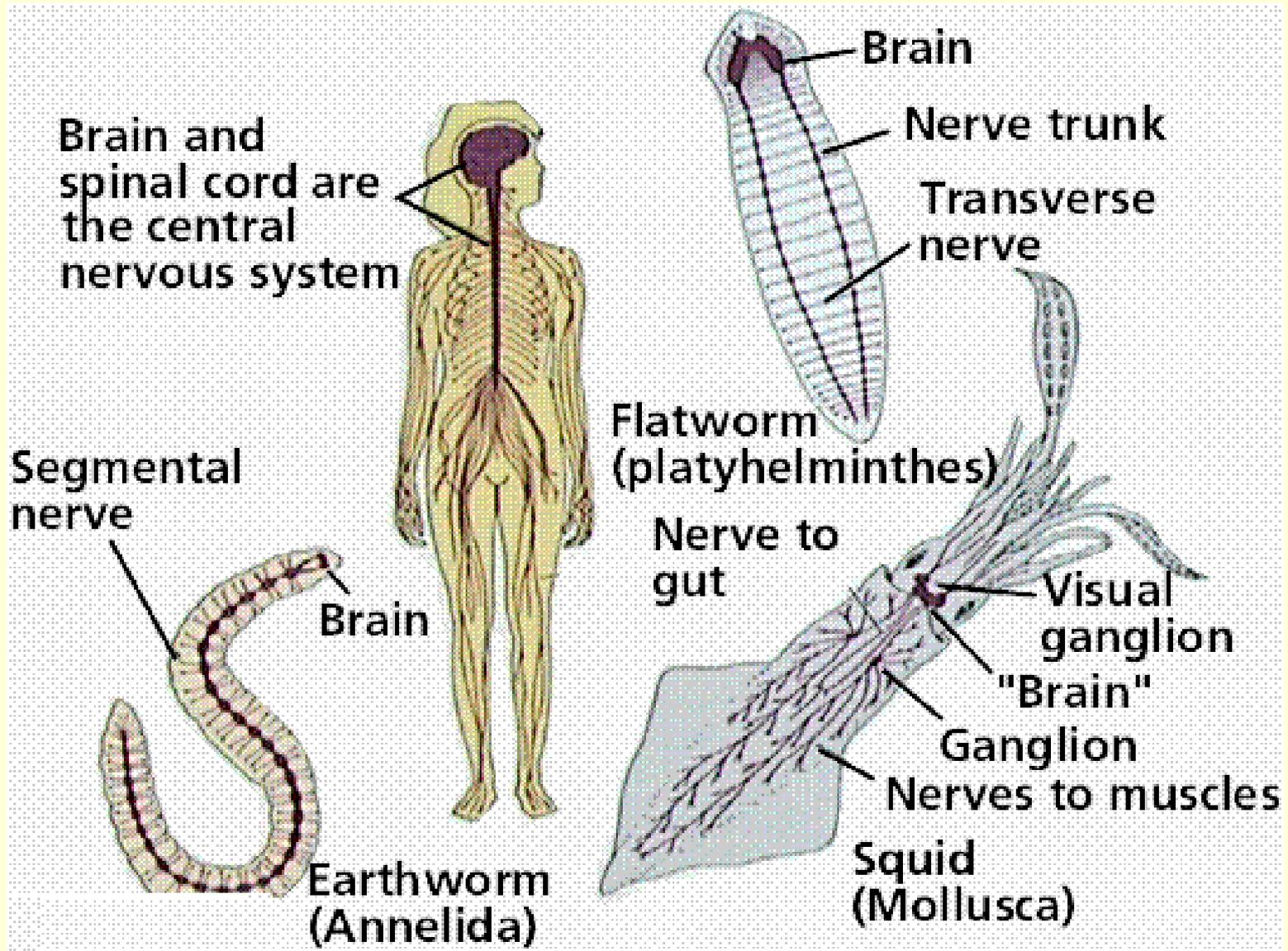




## Animaux :

**autonomie motrice**  
pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

# Systemes nerveux !



# Un système nerveux !

Faire ressortir du **sens** du chaos du monde,

**prévoir** ce qui va s'y passer,

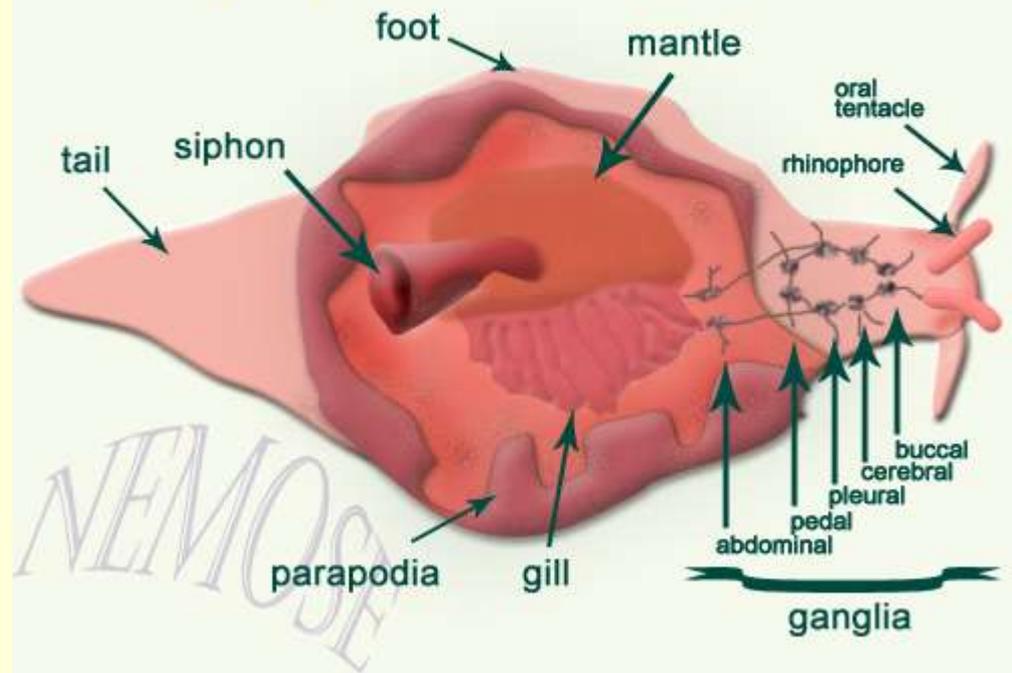
et y **réagir** promptement,

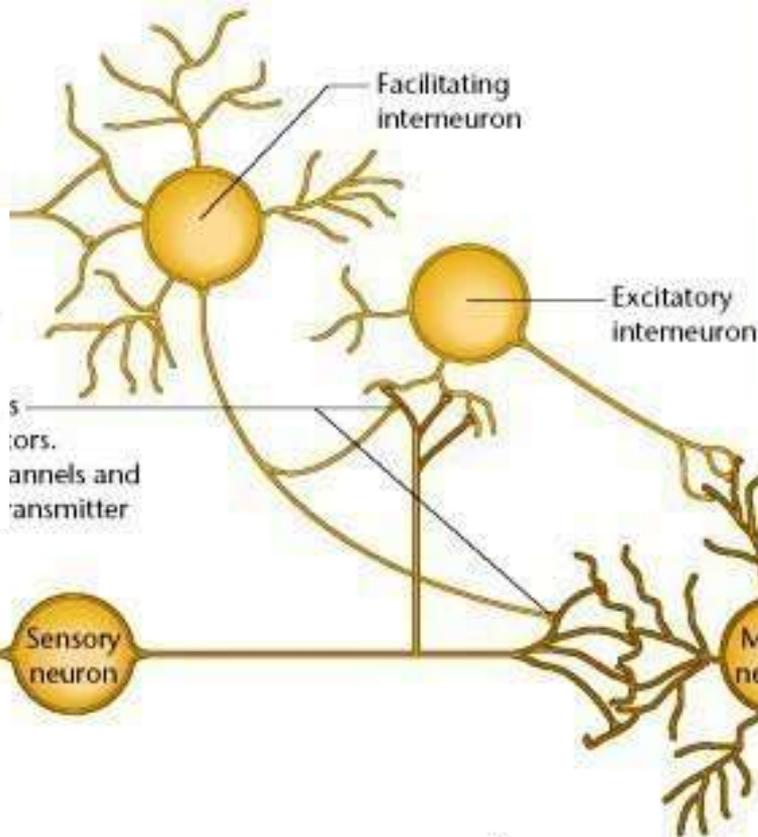
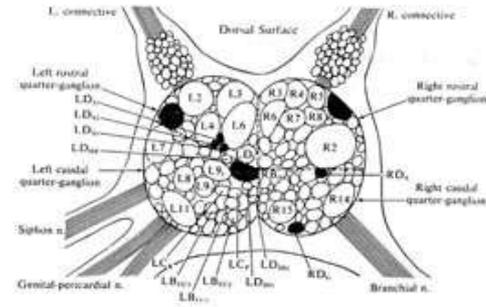
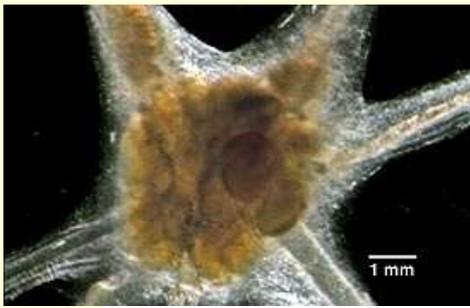
voilà le rôle du  
**système nerveux.**





**Aplysie**  
(mollusque marin)

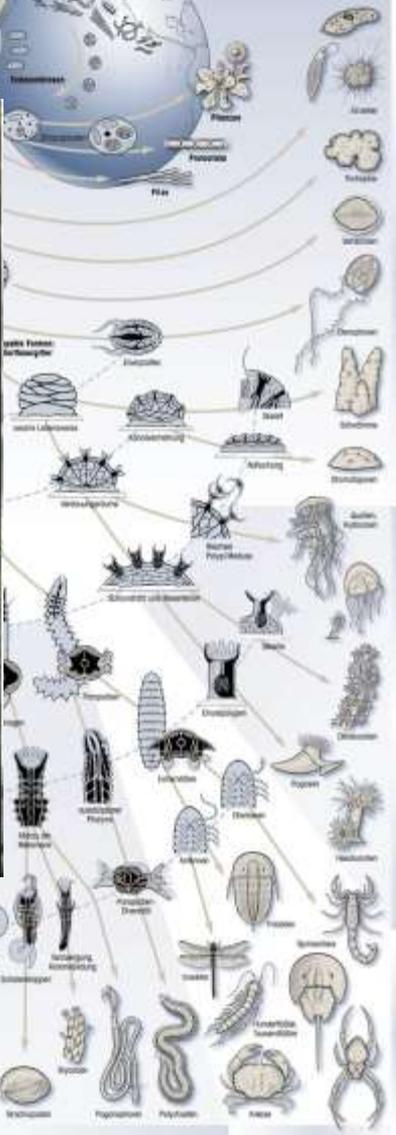
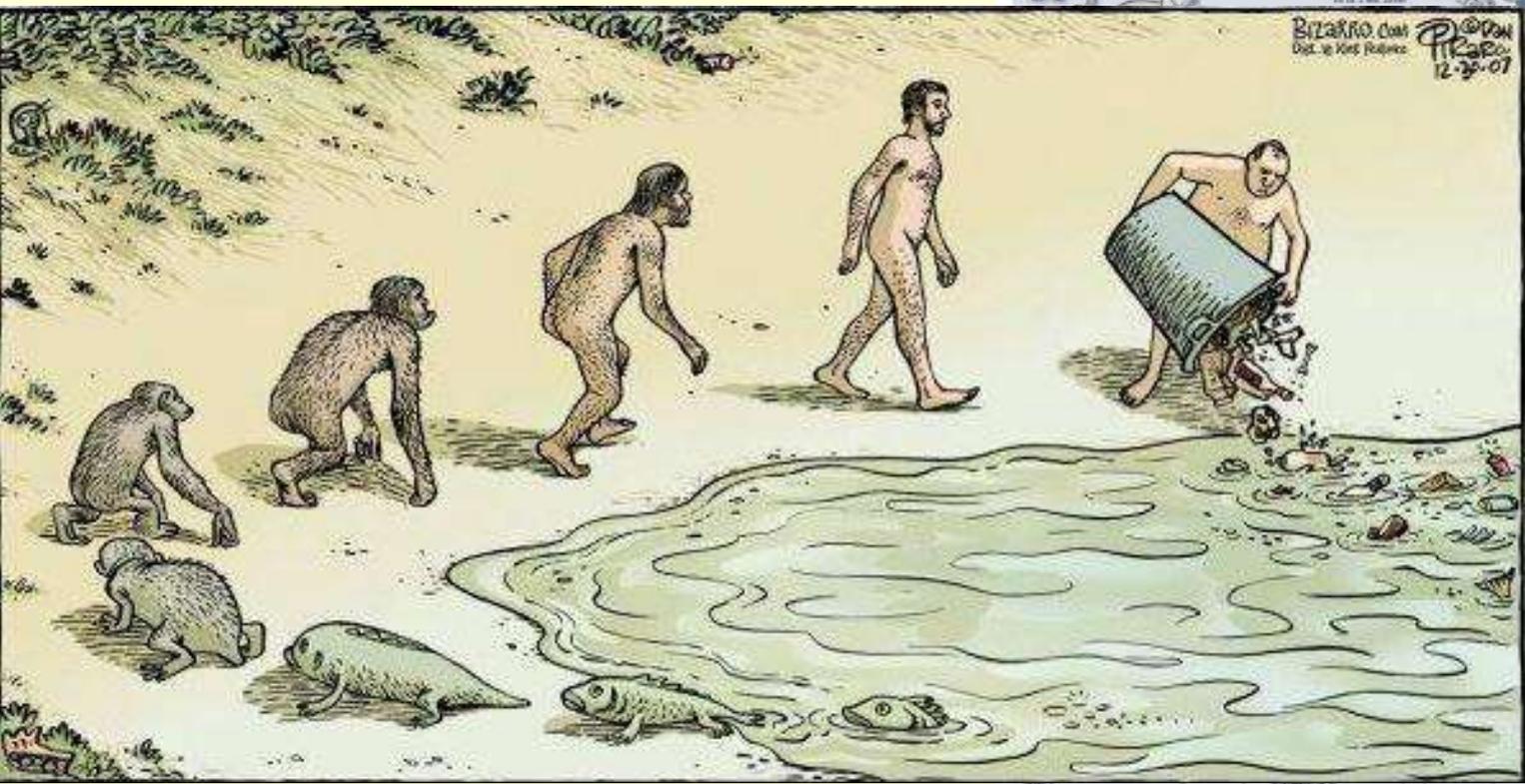
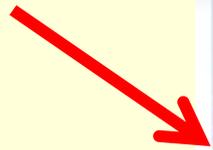




Une boucle sensori - motrice



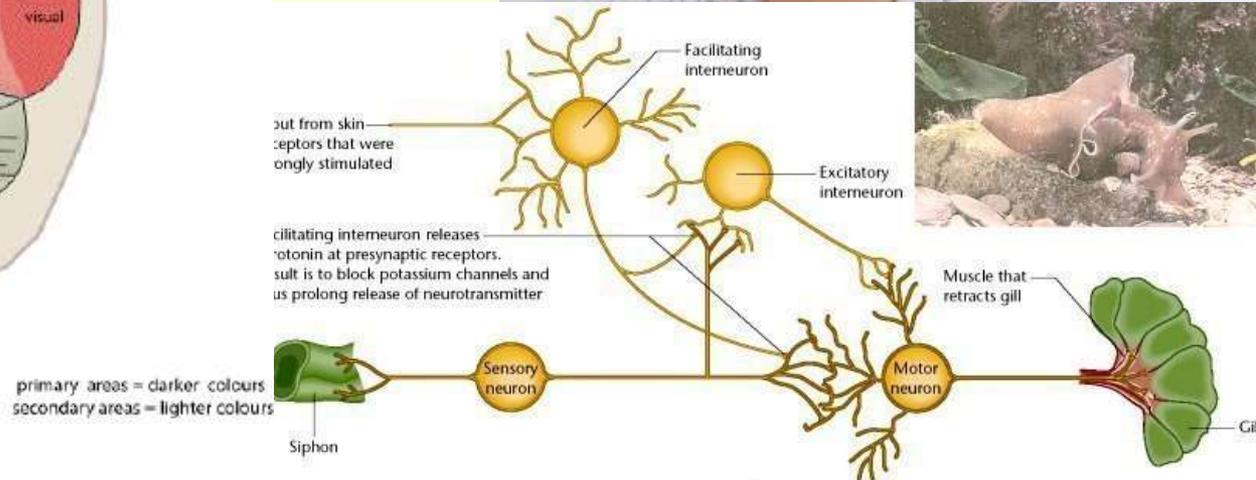
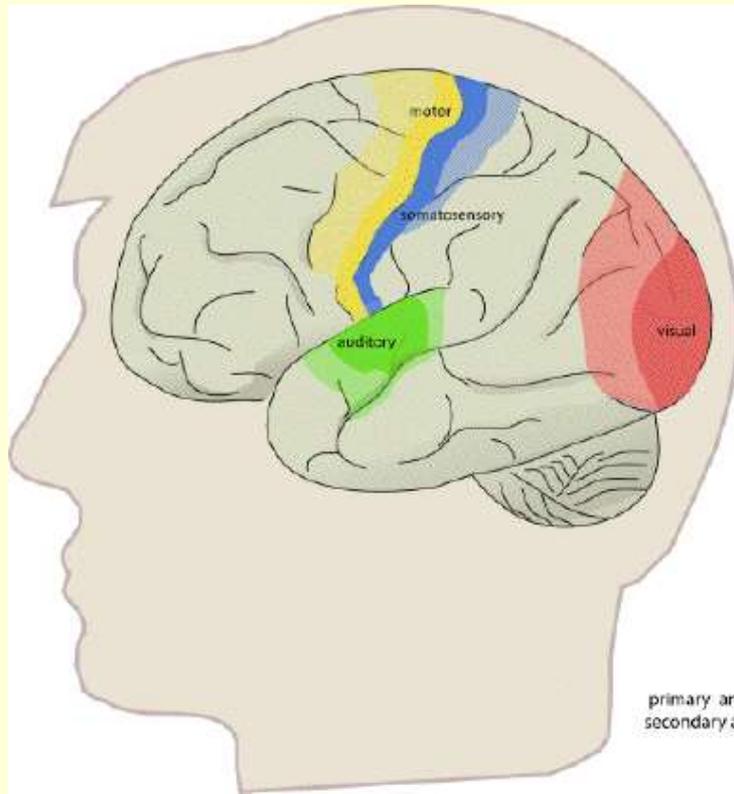
...et l'une des variantes sera nous !



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

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

comme les inter-neurones de l'aplysie.



## Cognition incarnée

une forme sensori-motrice  
("Sensorimotor Enactivism")

La cognition est vue comme **un flux continu** qui va du monde, passe à travers nos systèmes sensoriels, et ensuite dans notre corps pour finalement retourner au monde à nouveau sous forme d'action.

Donc pas de « point de départ ».

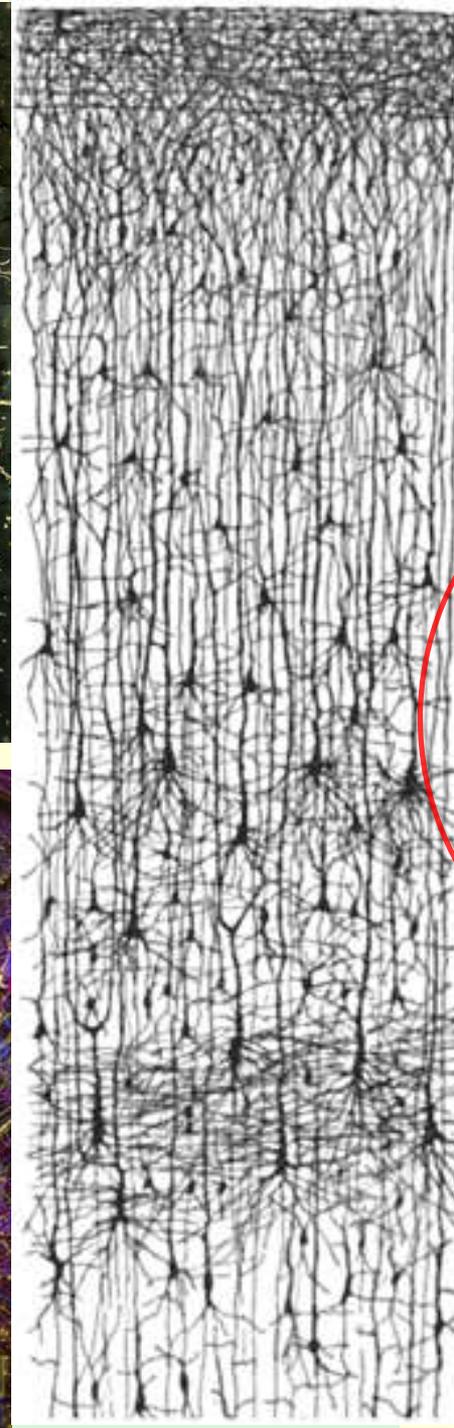
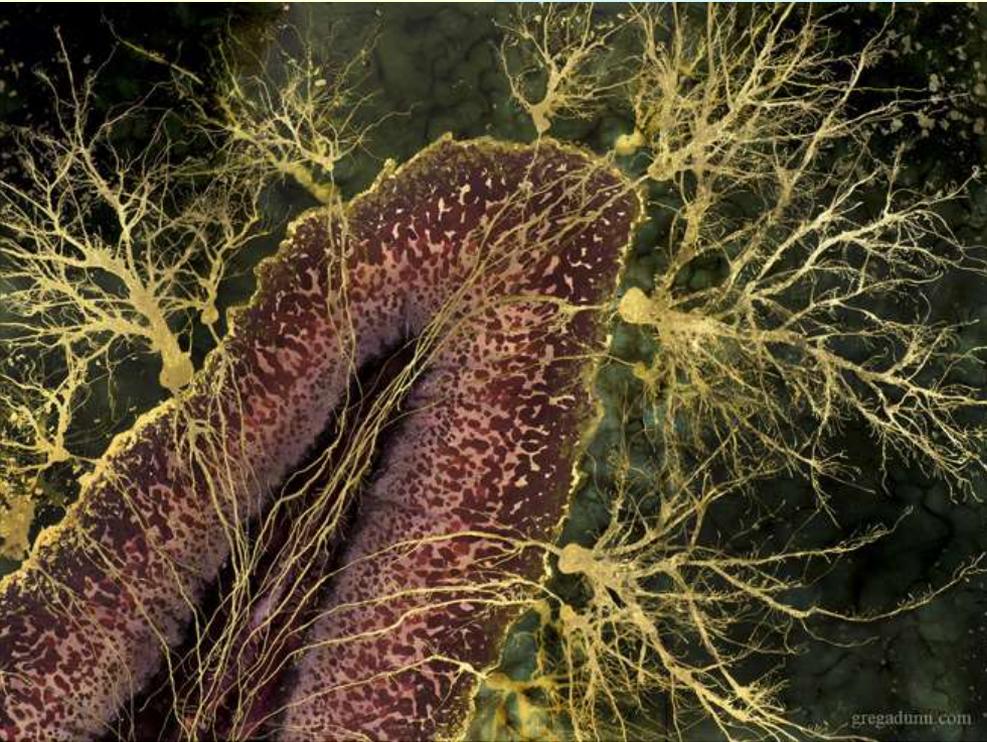
Avec le temps, des **couplages émergent** (qu'on appelle aussi des **contingences sensori-motrices**).

i.e. des **patterns sensorimoteurs** à travers lesquels le corps « gets a grip » sur l'environnement.

**Par exemple :**

lancer des dards et s'améliorer; aller à vélo ou jongler : à un moment donné, on sent que le couplage sensori-moteur s'effectue.





Séance 3 :

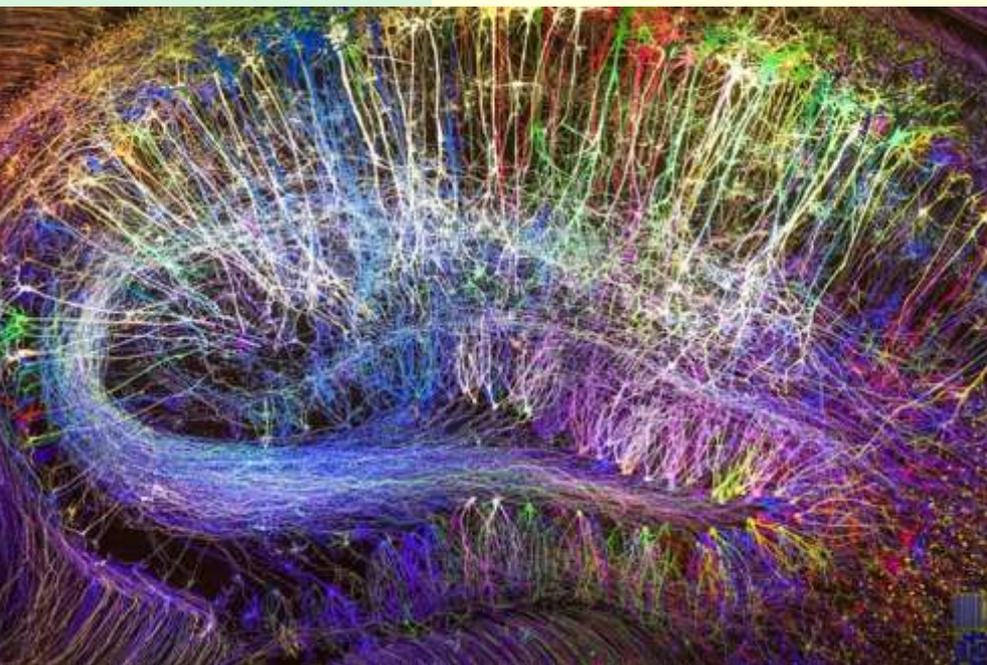
➤ L'humain découvre la grammaire de base de son système nerveux

⬇ Séance 4 :

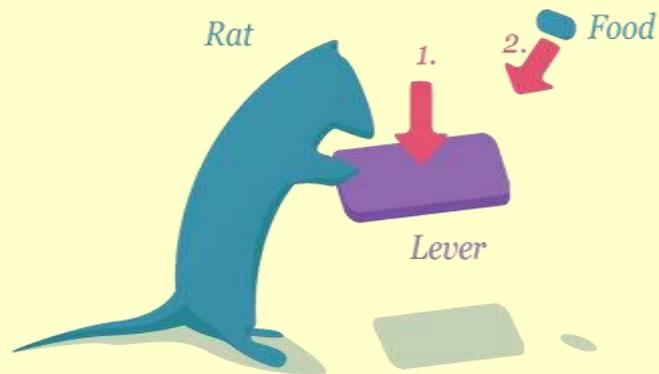
Des circuits de millions de neurones : **plaisir, douleur, apprentissage, mémoire**

⬇ Séance 5 :

Cartographier des réseaux de milliards de neurones à l'échelle du cerveau entier



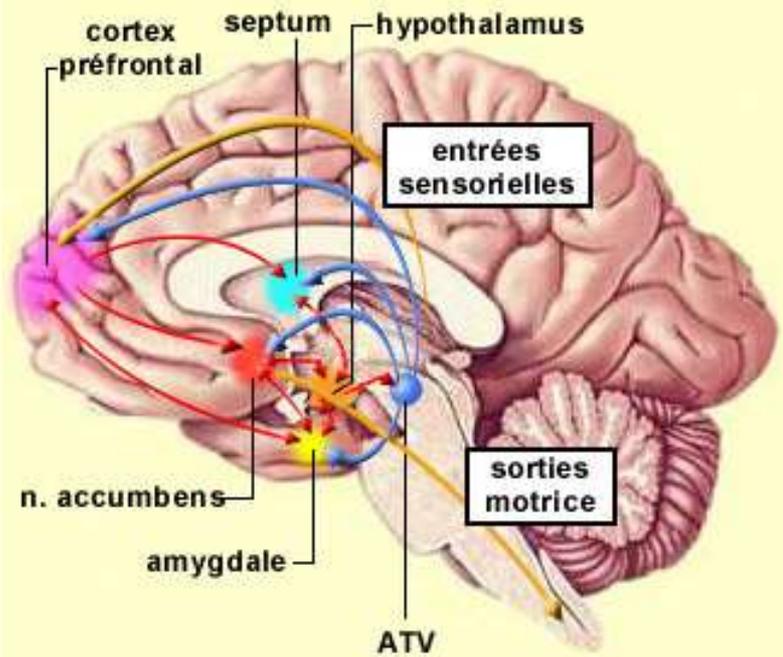
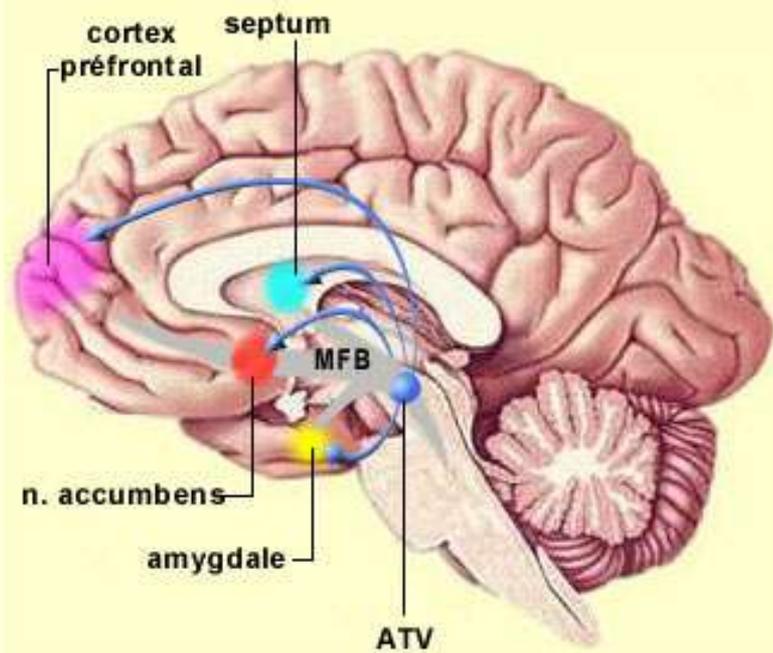
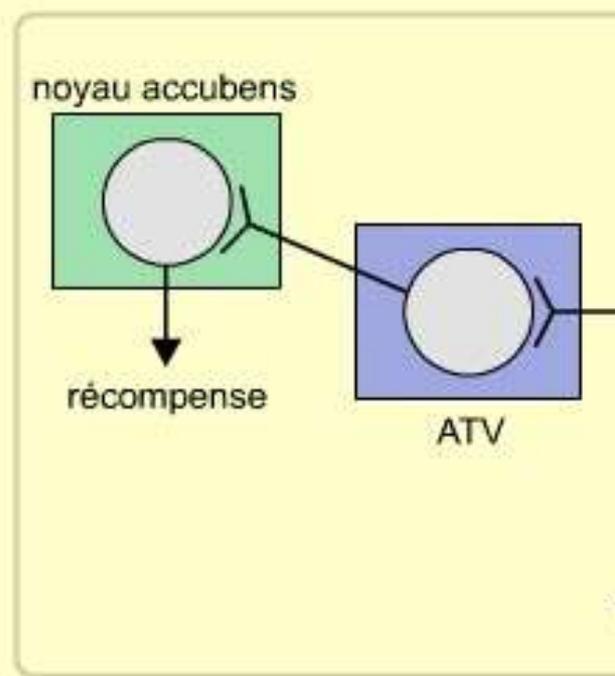
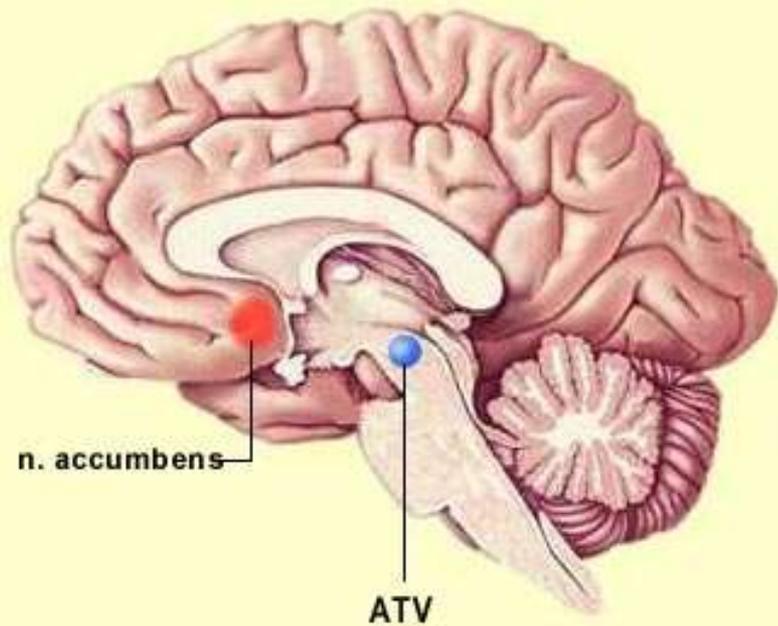
**Approche  
(recherche de plaisirs)**

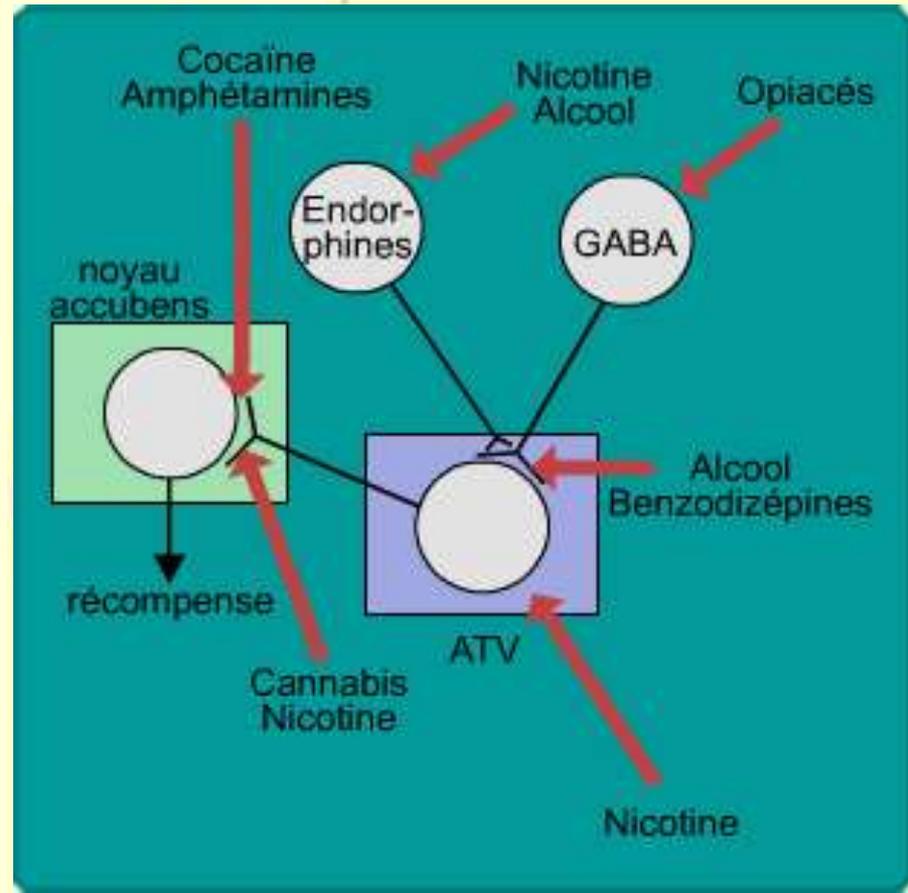
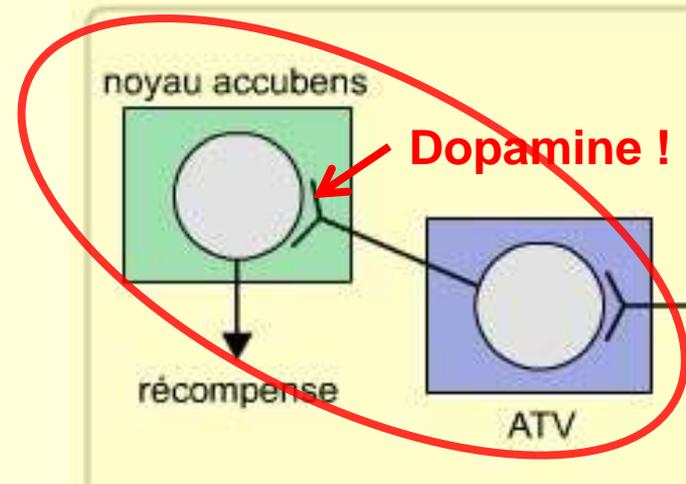
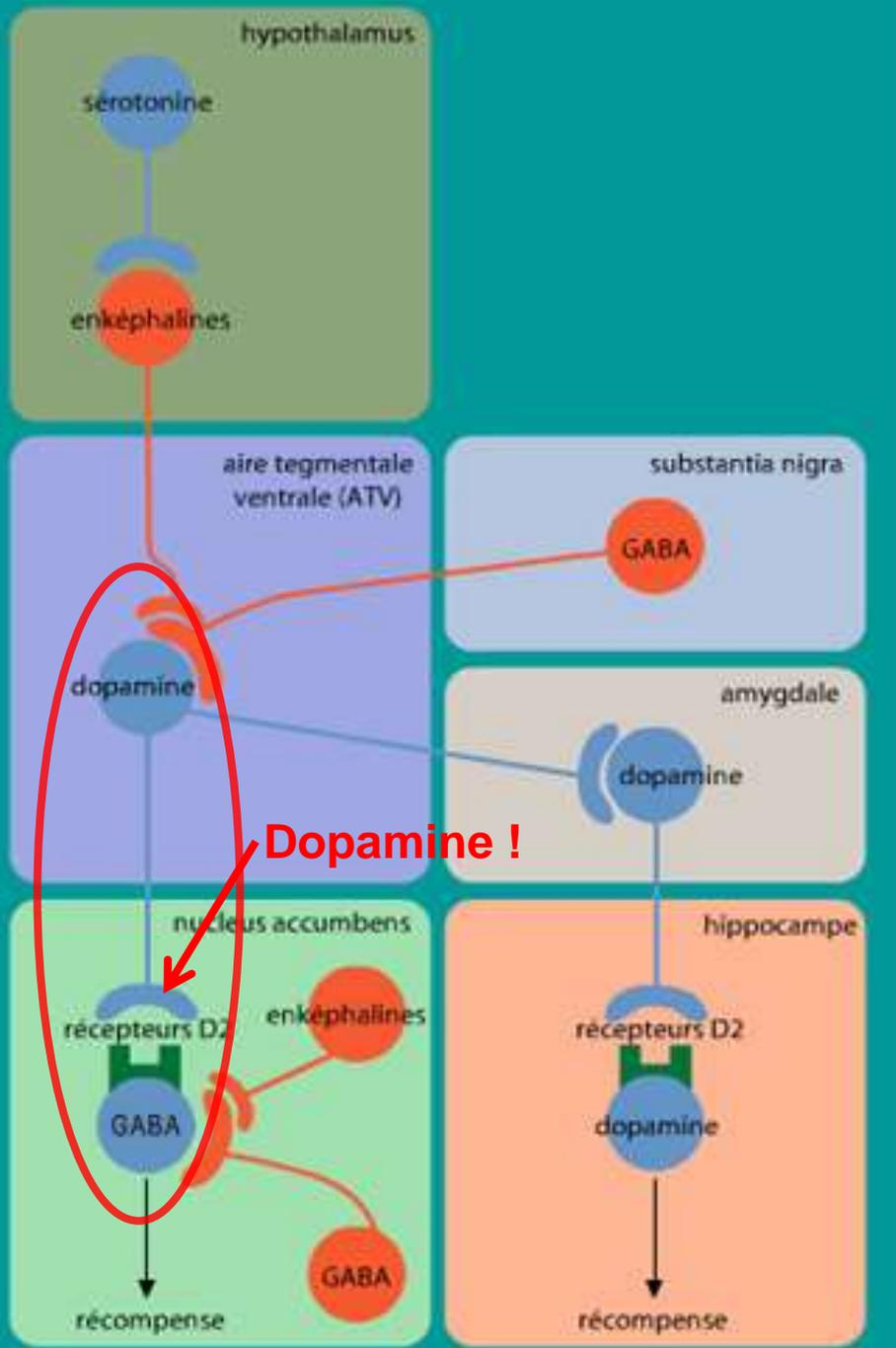


**Succès:**

**Échec:  
poursuite  
de la recherche  
ailleurs**









**Unexpected rewards induce dopamine-dependent positive emotion-like state changes in bumblebee\_s.**

Perry C, Baciadonna L, Chittka L.  
*Science* **2016**, 353:1529-31.

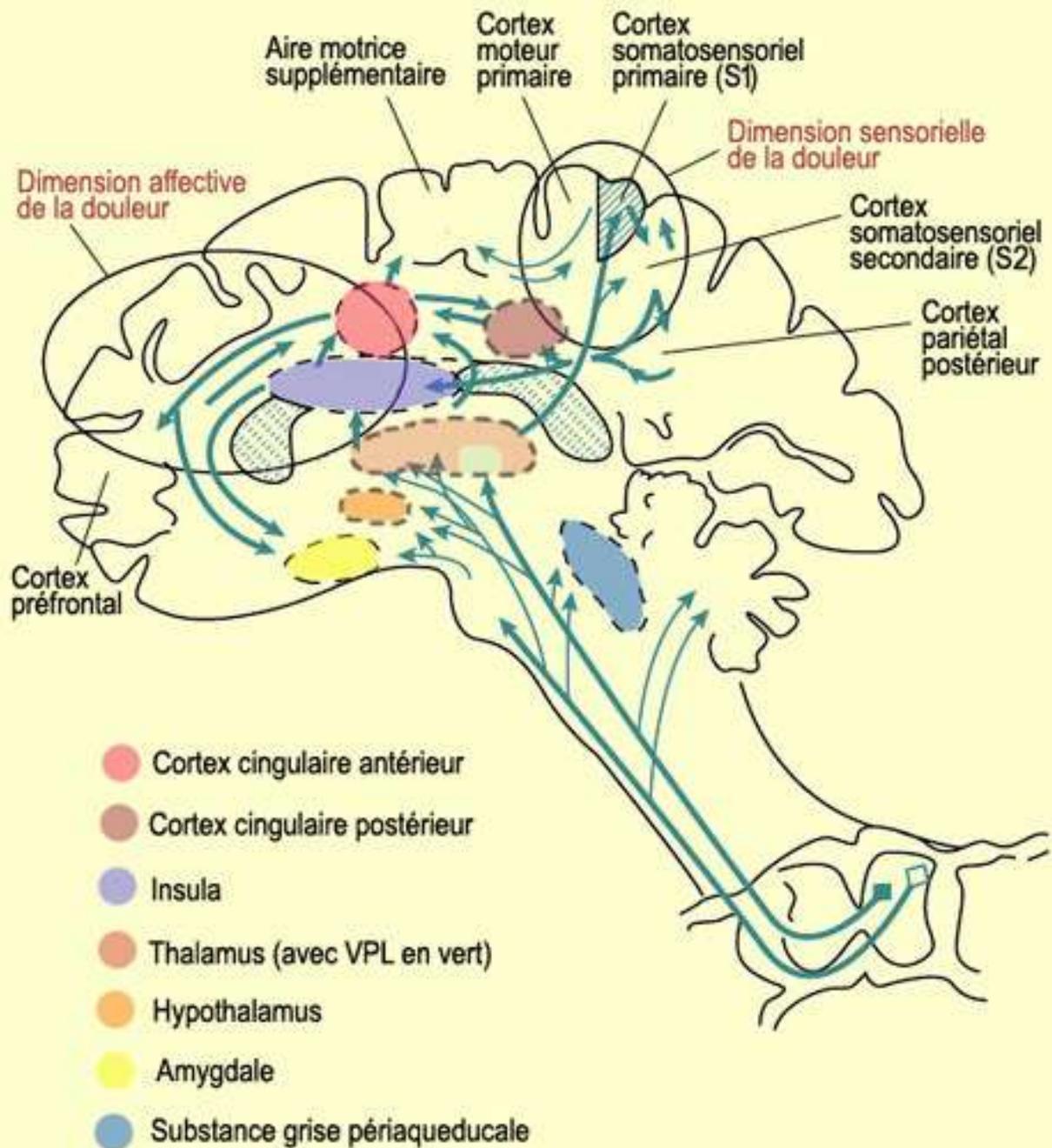
<https://science.sciencemag.org/content/353/6307/1529>

Dans : **Ressentir, innover et transmettre**  
Sur les épaules de Darwin, 11 août **2018**

<https://www.franceinter.fr/emissions/sur-les-epaules-de-darwin/sur-les-epaules-de-darwin-11-aout-2018>

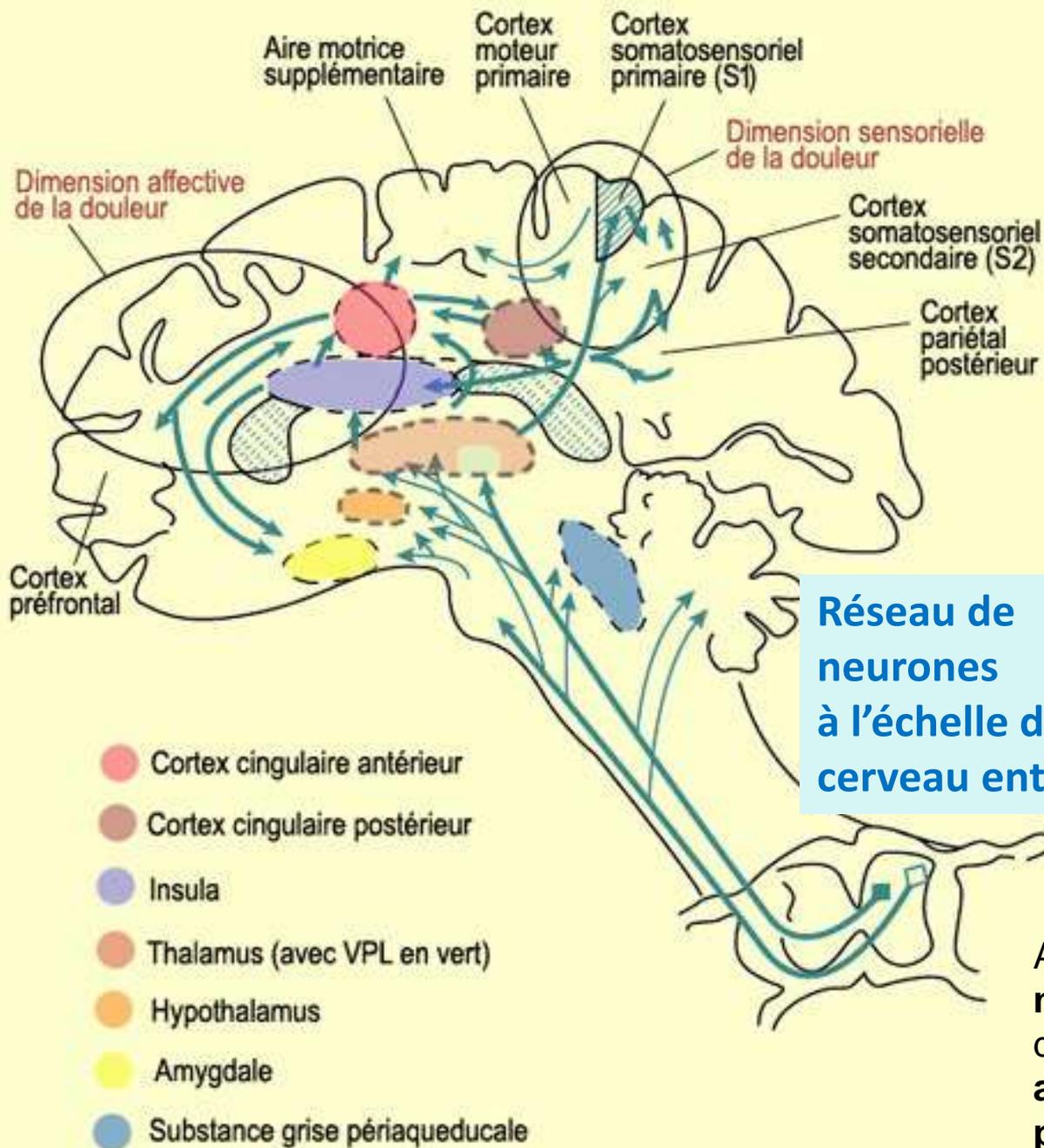


**protéger son  
intégrité physique**

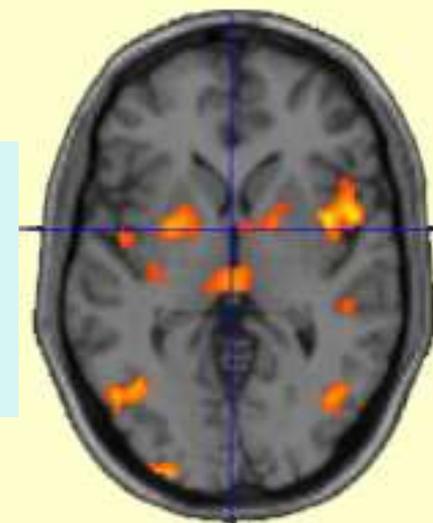
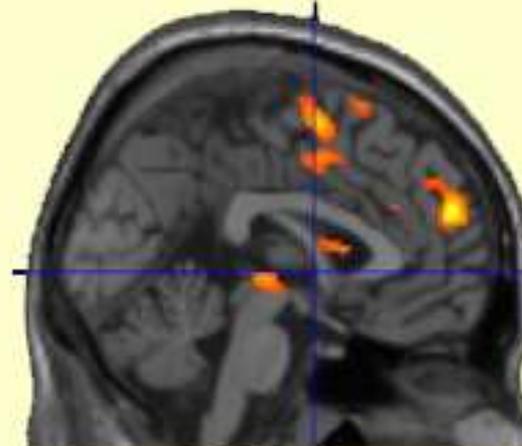


## LA NEUROMATRICE DE LA DOULEUR

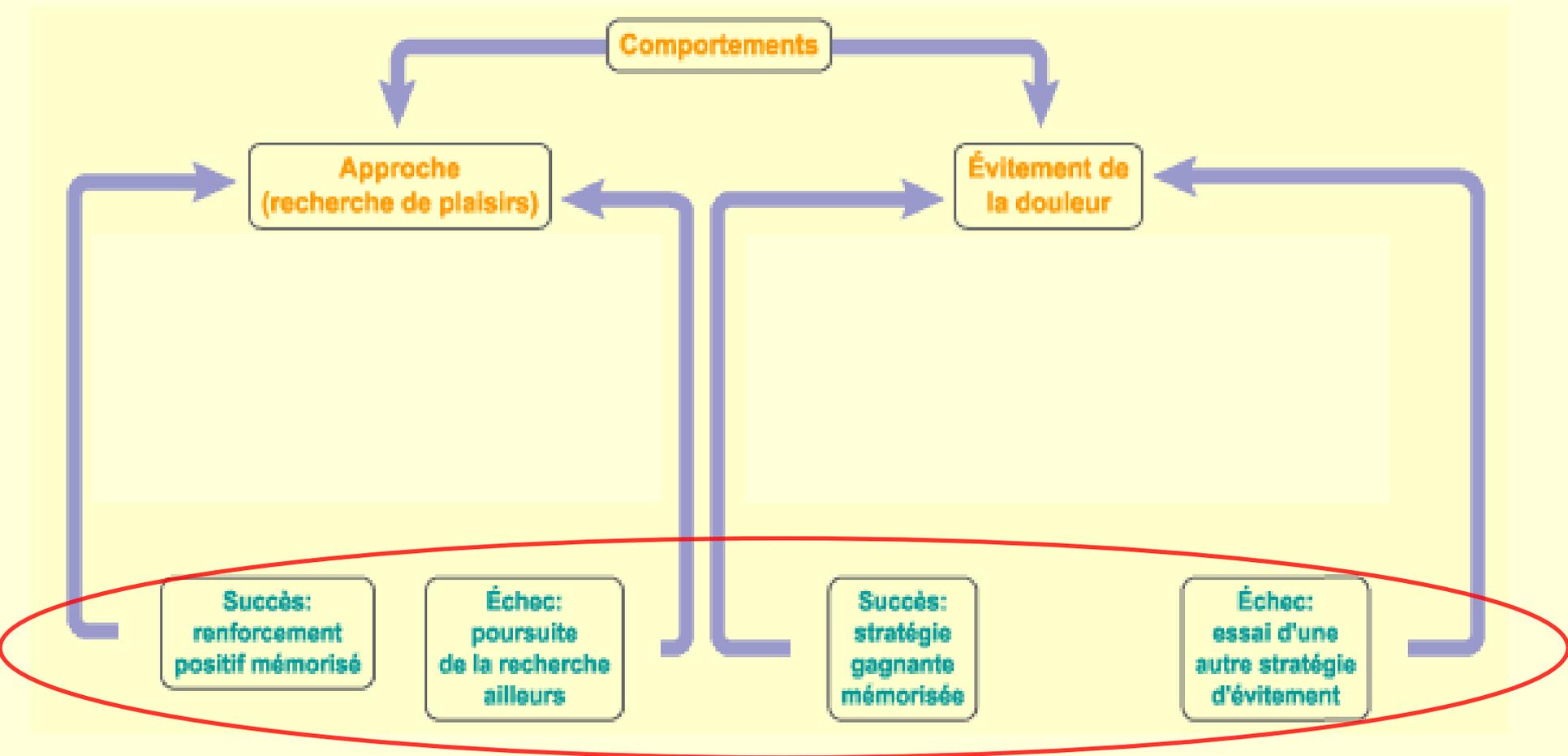
[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a\\_03/a\\_03\\_cr/a\\_03\\_cr\\_dou/a\\_03\\_cr\\_dou.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/a/a_03/a_03_cr/a_03_cr_dou/a_03_cr_dou.html)



Réseau de neurones à l'échelle du cerveau entier



Activation de régions de la **neuromatrice de la douleur**, dont l'**insula**, le **cortex cingulaire antérieur**, la **substance grise périaqueducule**, le **cortex préfrontal médian** et l'**aire motrice supplémentaire**.



# Apprentissage et mémorisation des « bons et mauvais coups »

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



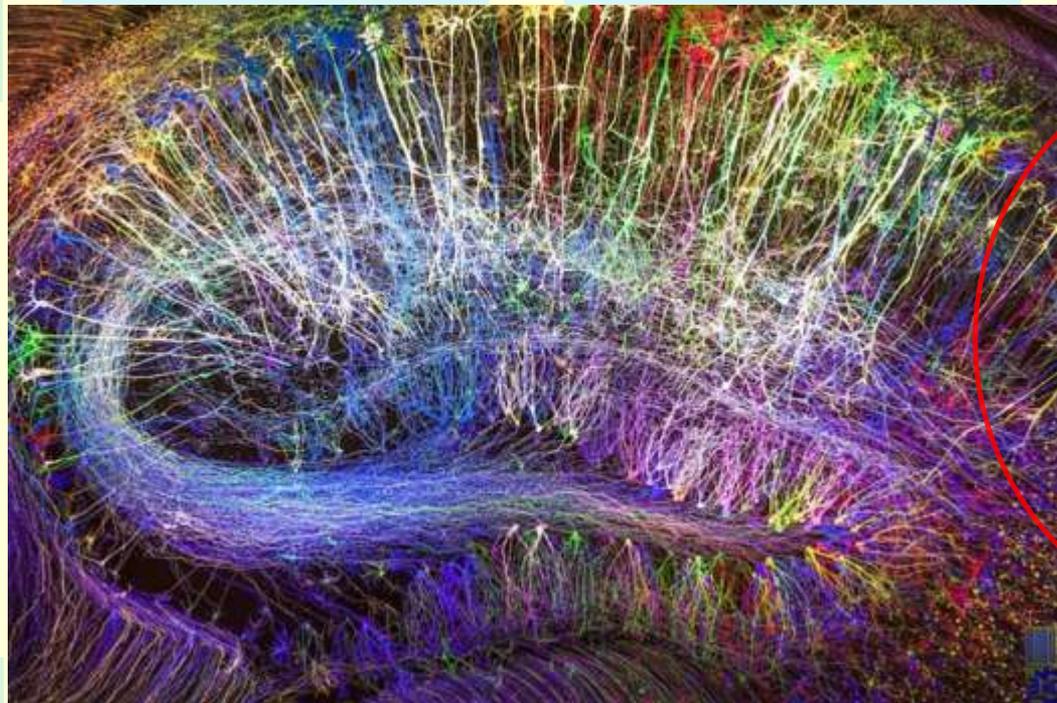
Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
**apprentissage,**  
**mémoire**



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire

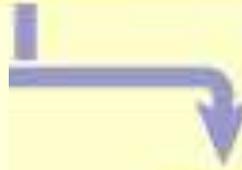


Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

Mémoire à long terme



« on apprend sans  
s'en rendre compte »

Implicite (Non-déclarative)

**"La cognition incarnée"** - Séminaire d'introduction aux sciences cognitives : éléments et méthodologies (ISC8001) (Automne 2016, UQAM)

[https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop\\_pres/pop\\_pres\\_ecole\\_profs.html#isc8001](https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop_pres/pop_pres_ecole_profs.html#isc8001)

Séance 4 (28 septembre) : Plasticité et mémoires : l'inévitable hippocampe

[https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop\\_pres/4-Plasticit%E9%20et%20m%E9moires%20%20!%92in%20E9vitable%20hippocampe%20-%20v%20finale%20-%20pour%20pdf.pdf](https://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop_pres/4-Plasticit%E9%20et%20m%E9moires%20%20!%92in%20E9vitable%20hippocampe%20-%20v%20finale%20-%20pour%20pdf.pdf)

(p.63-113)

# Mémoire à long terme

« on apprend sans s'en rendre compte »

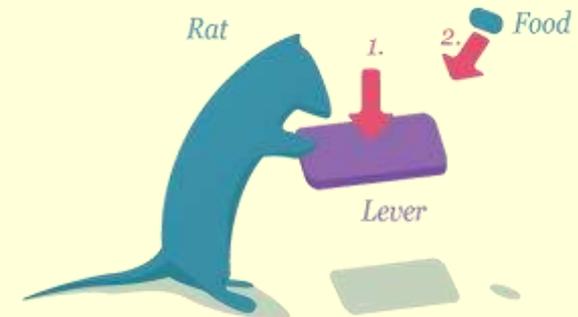
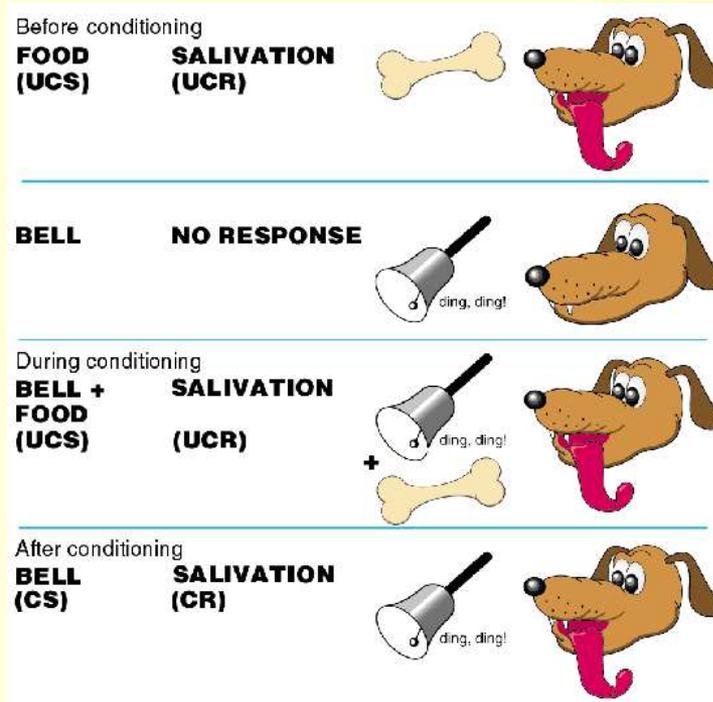
Implicite (Non-déclarative)

Non associatives

**Habituation**  
**Sensibilisation**

Associatives

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



## Mémoire à long terme

« on apprend sans  
s'en rendre compte »

**Implicite (Non-déclarative)**

Non associatives

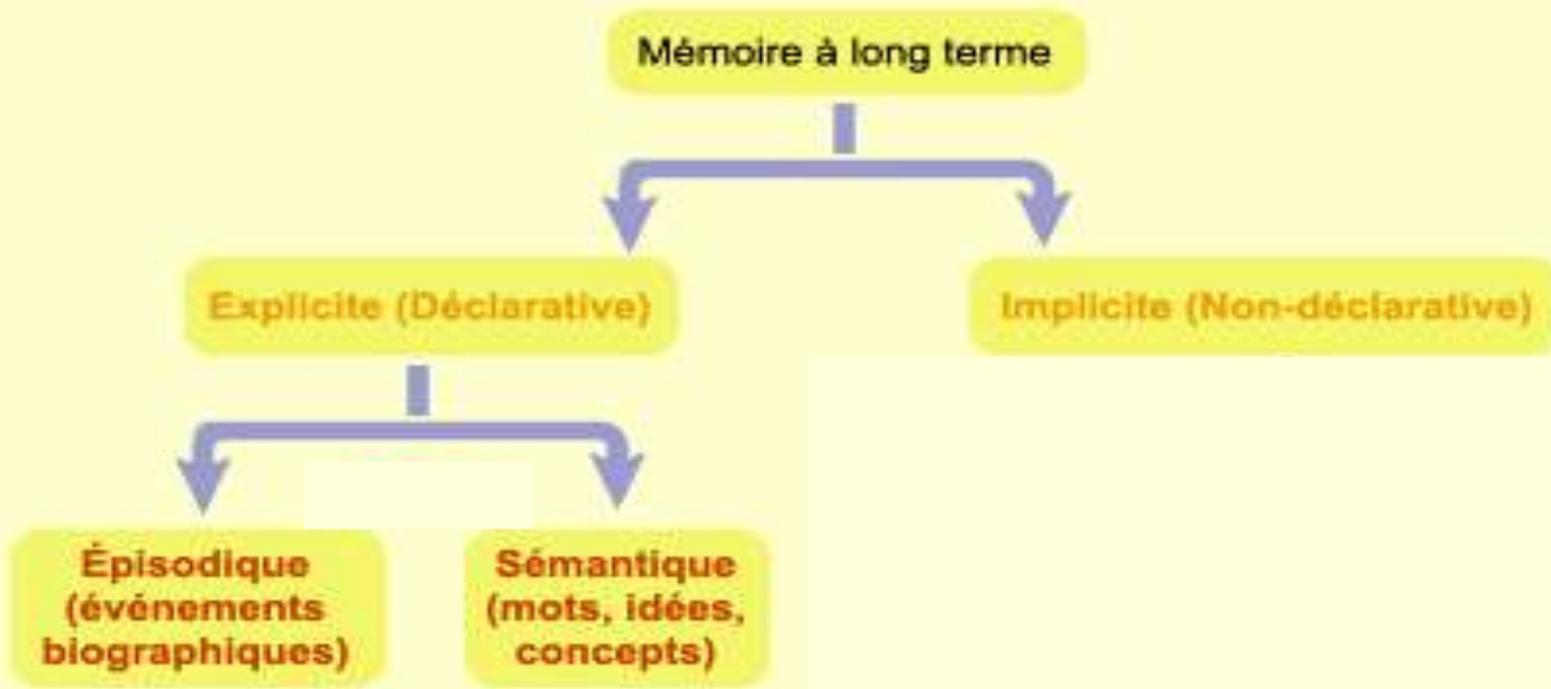
**Habitude**  
**Sensibilisation**

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.

**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

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

Cet oubli « positif » nous permet  
de **forger des concepts, des catégories et des analogies**

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

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

22 janvier 2019

**Pourquoi l'oubli peut vous sauver la vie**

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2019/01/22/7844/>

**« Nos souvenirs deviennent indépendants du  
contexte spatio-temporel de leur acquisition. »**

**→ petite parenthèse avant d'y revenir...**



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?

Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

Séance 8 :  
**Cerveau et corps**  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui

Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

### Mécanismes moléculaires

Assemblées de **neurones** (engrammes)

Structures **cérébrales** :  
hippocampe – cortex

Modèles **psychologiques** :  
Consolidation – rappel  
Orientation – mémoire déclarative

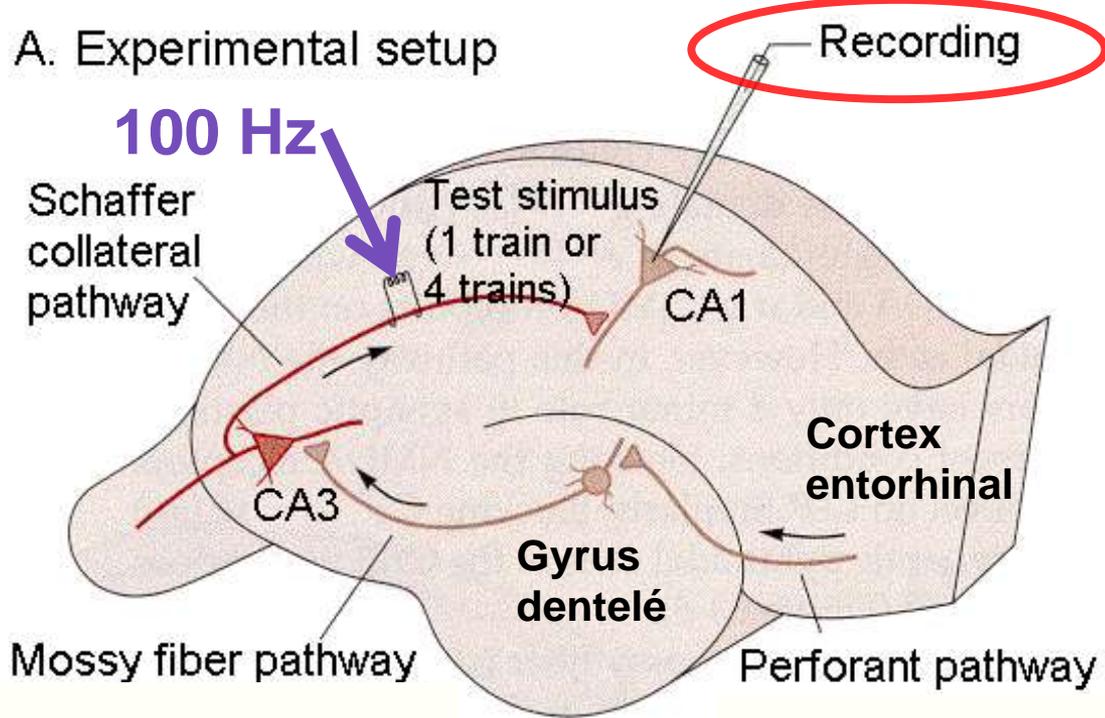
Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**

Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner**

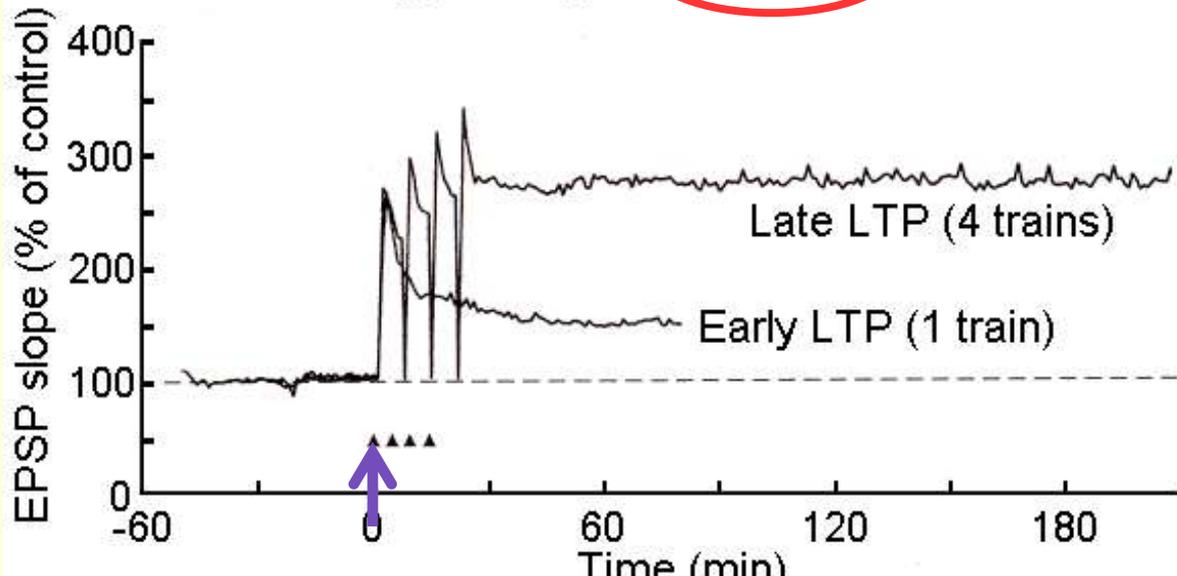
Séance 5 :  
**Cartographe des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**

Séance 4 :  
**Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
**apprentissage,  
mémoire****

### A. Experimental setup



### B. LTP in the hippocampus CA1 area



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

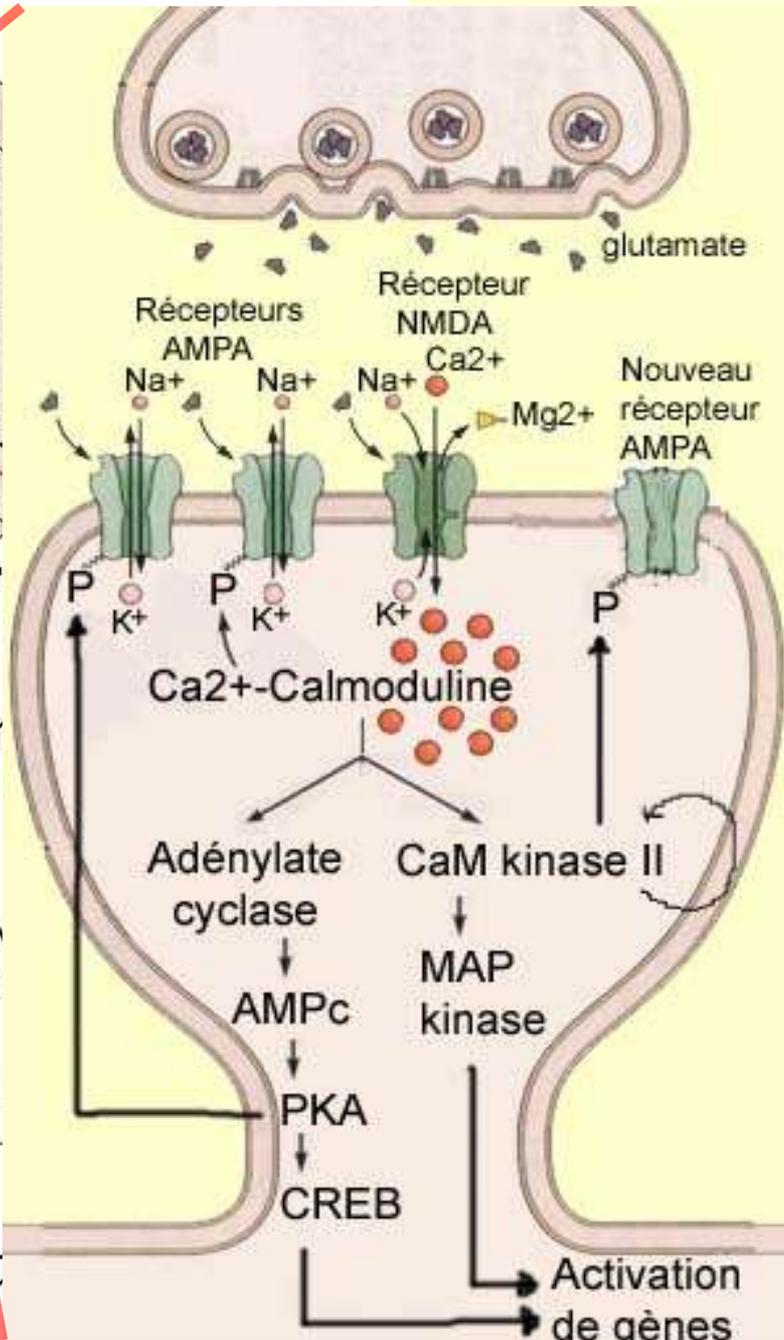
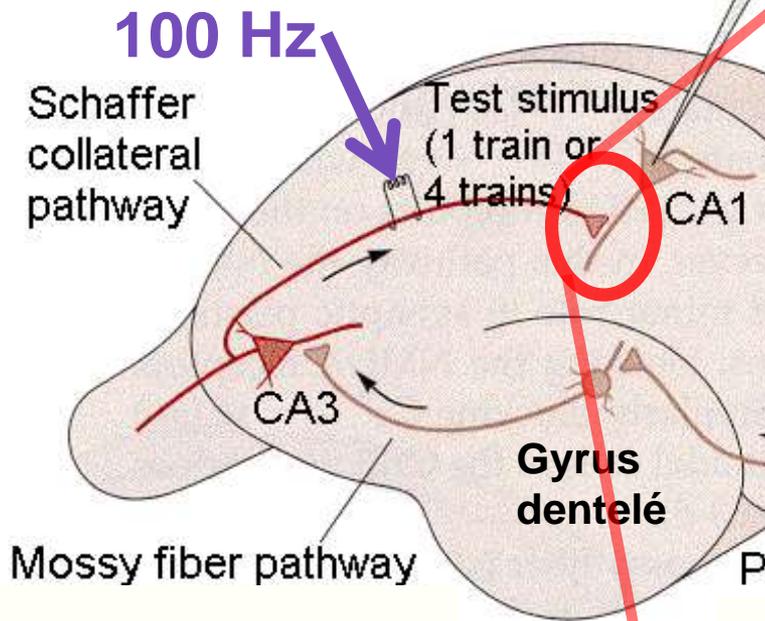
en stimulant à haute-  
fréquence les  
collatérales de Schaffer

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

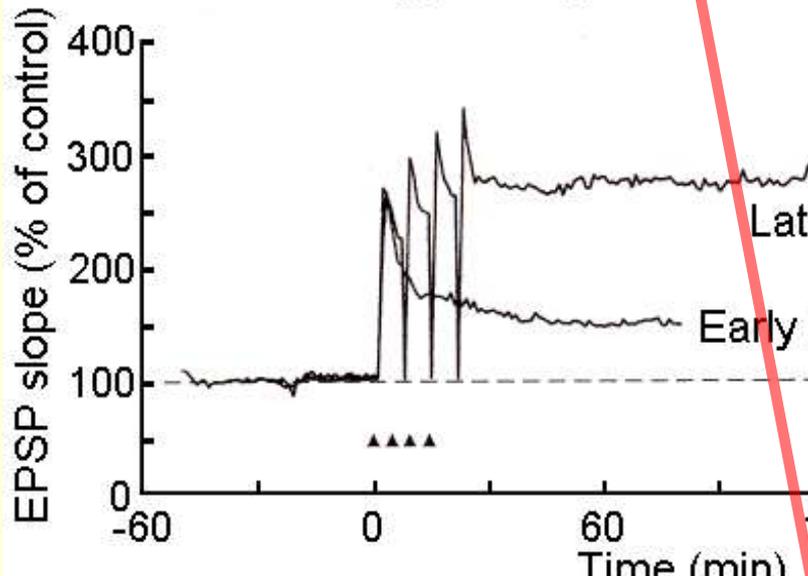
[https://www.youtube.com/watch?v=vso9jgfp1\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=vso9jgfp1_c)

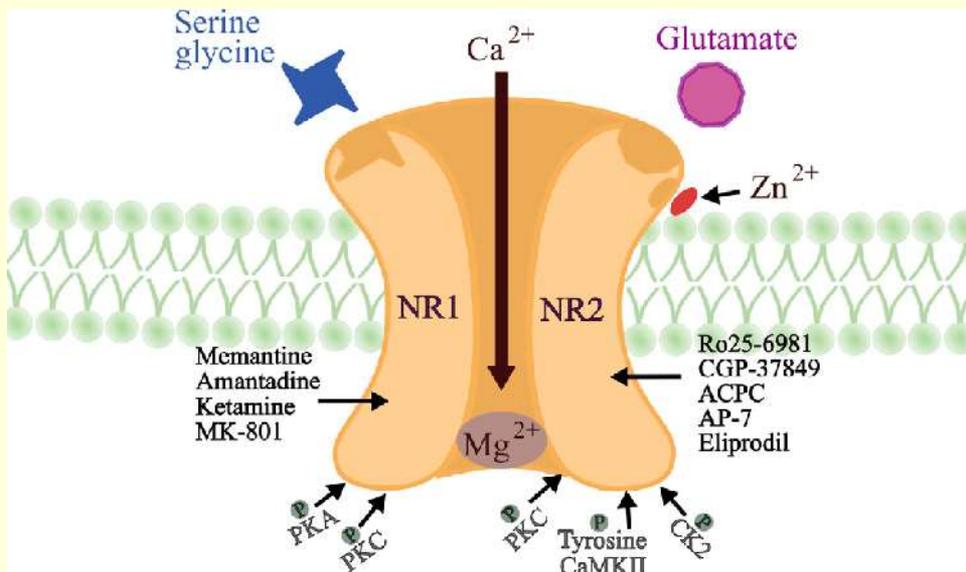
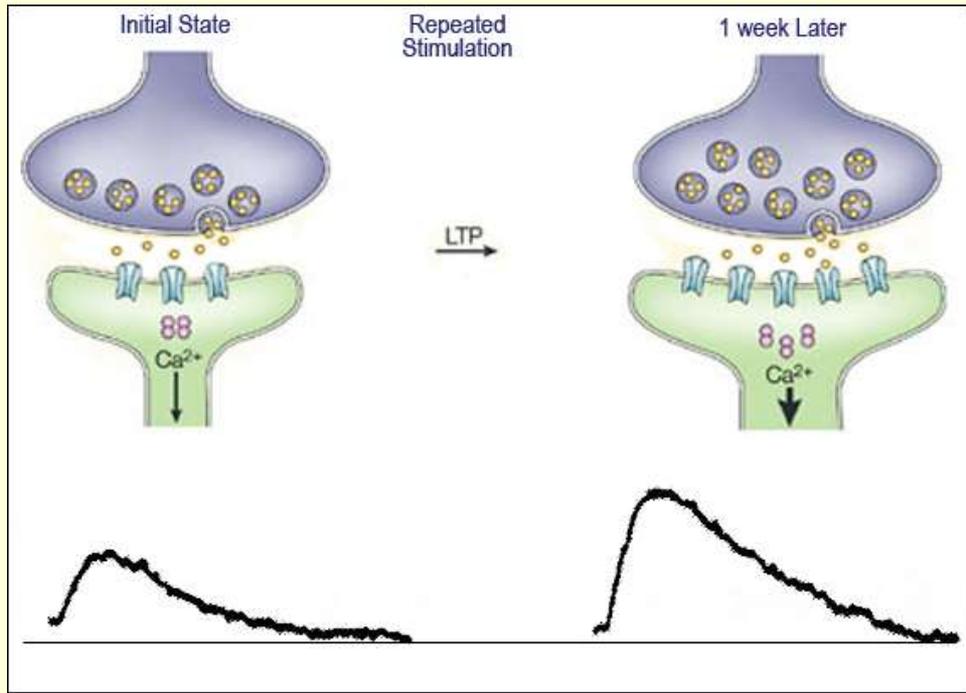
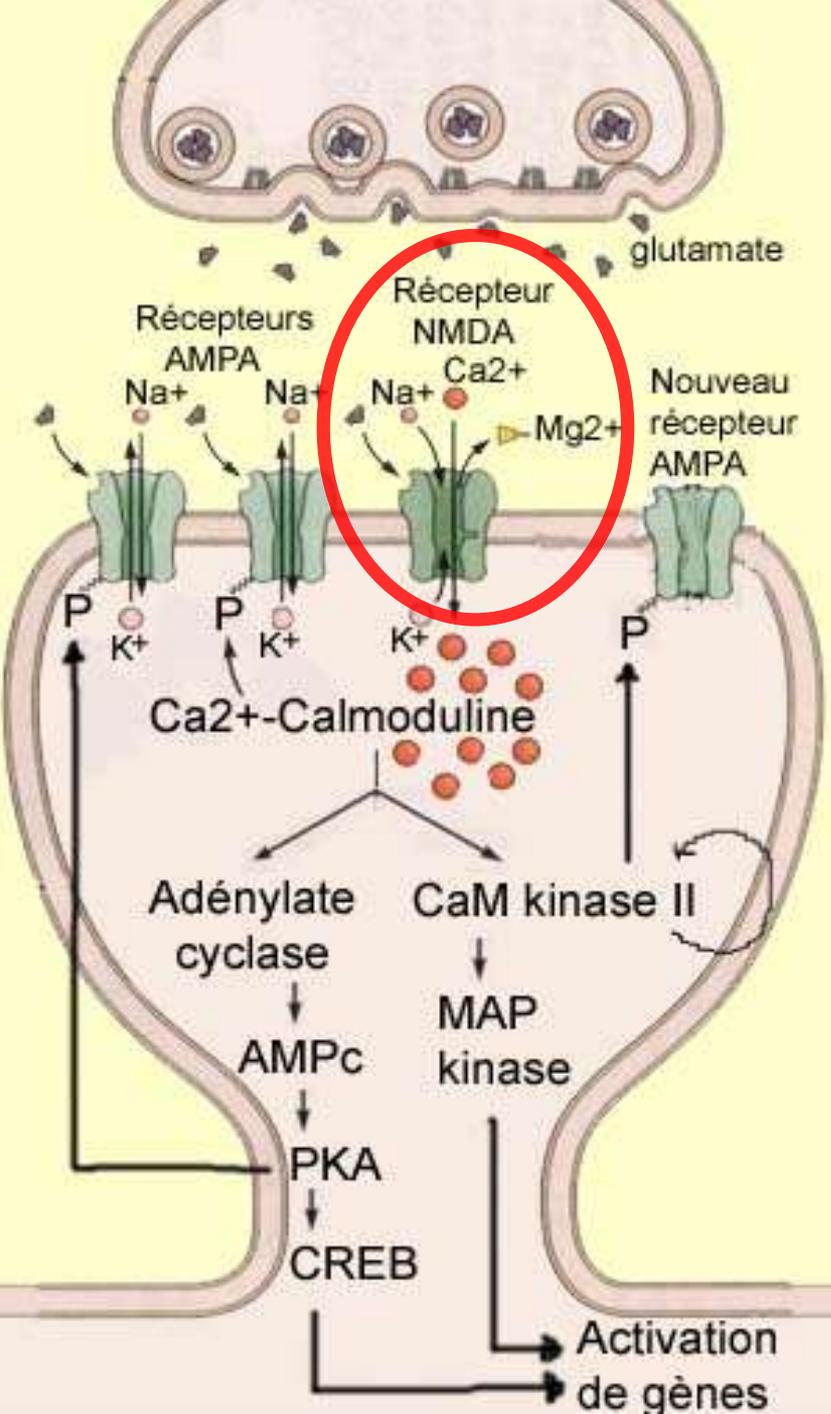
2:40 à 6:30

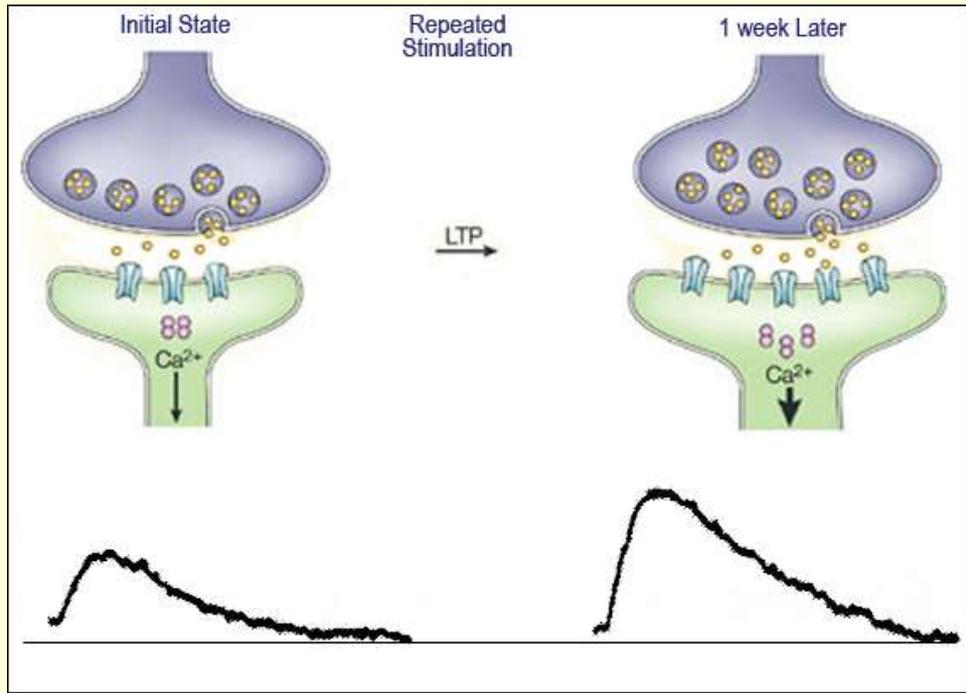
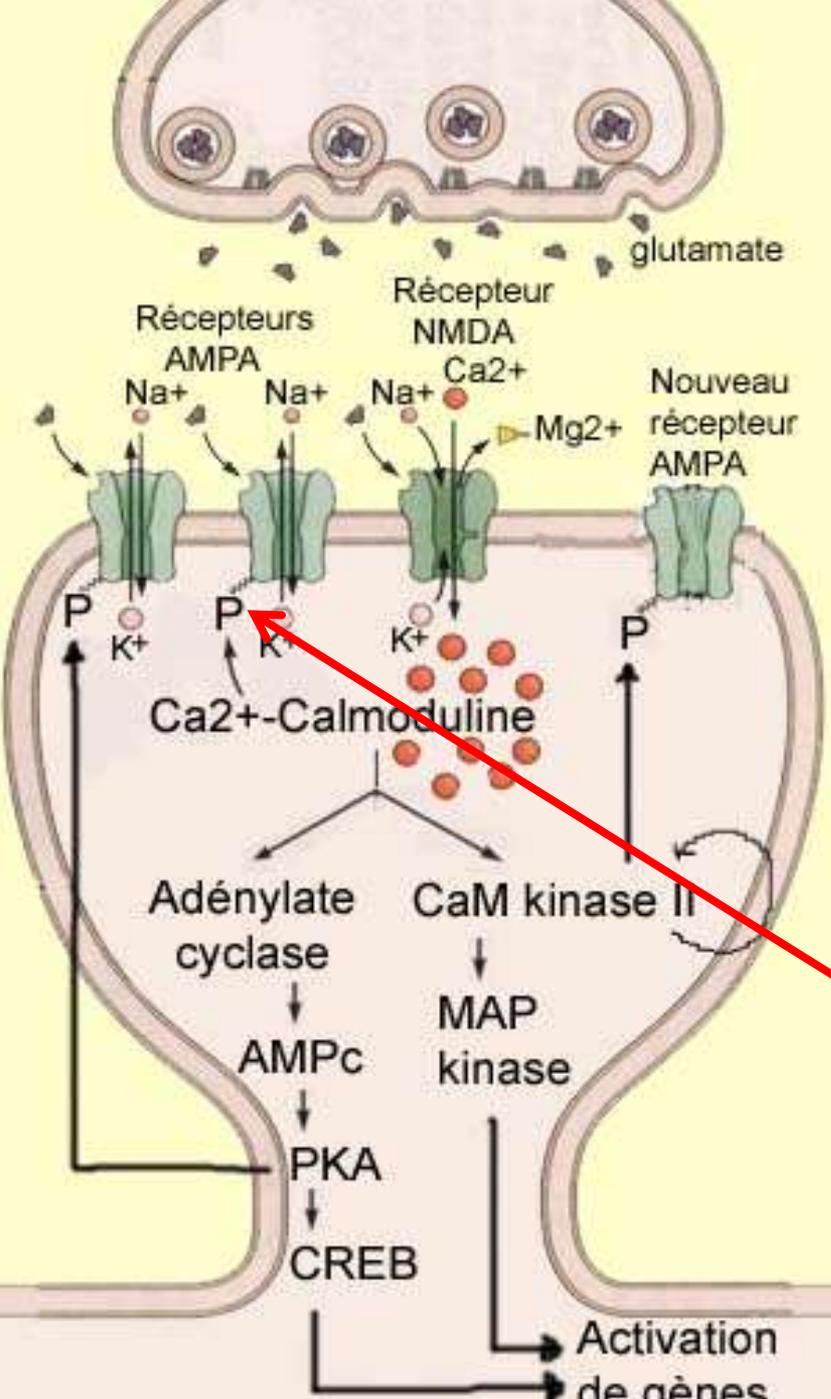
### A. Experimental setup



### B. LTP in the hippocampus CA1 area



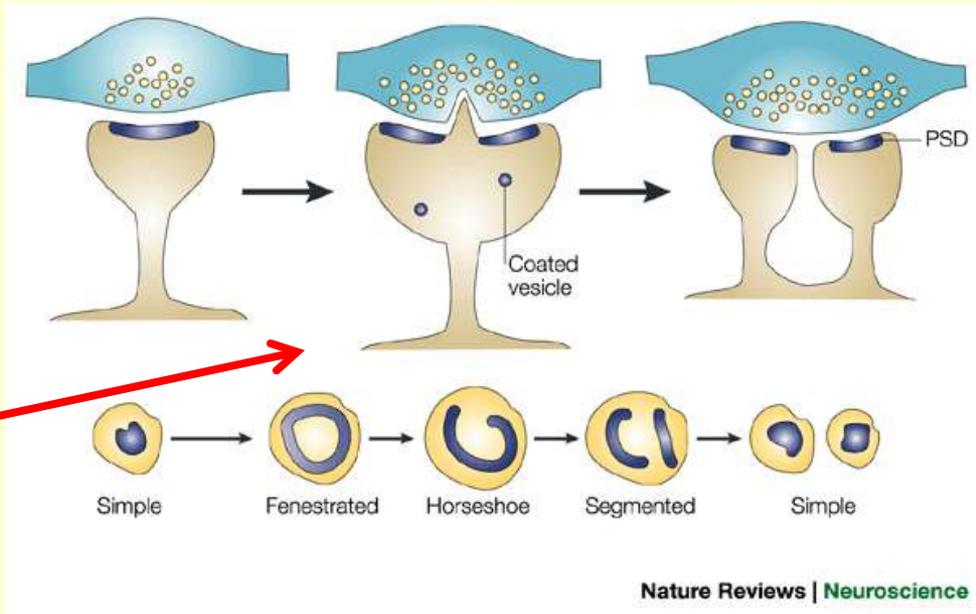
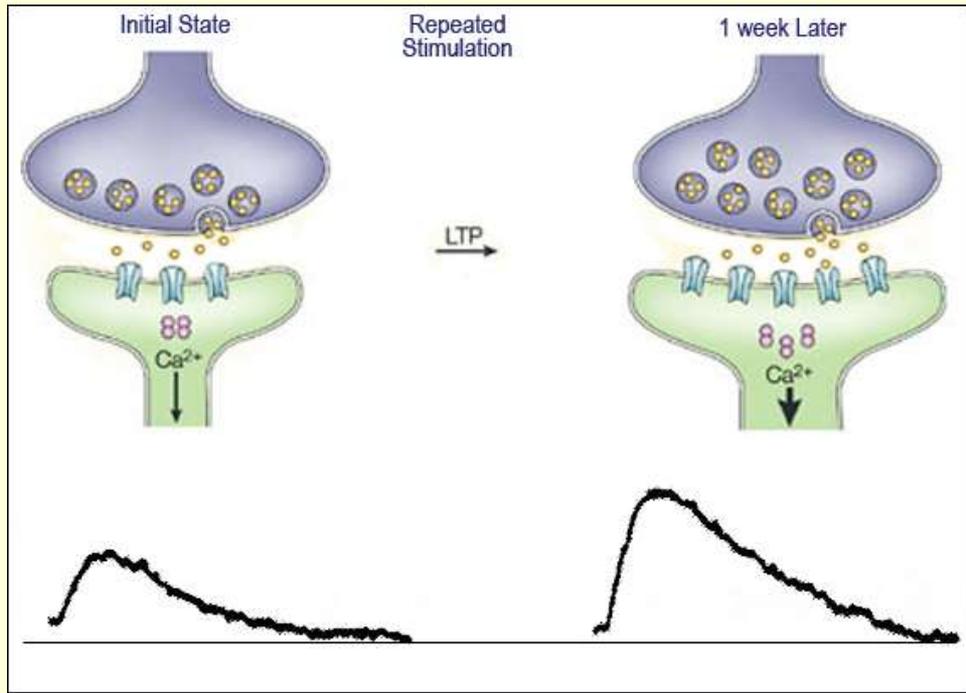
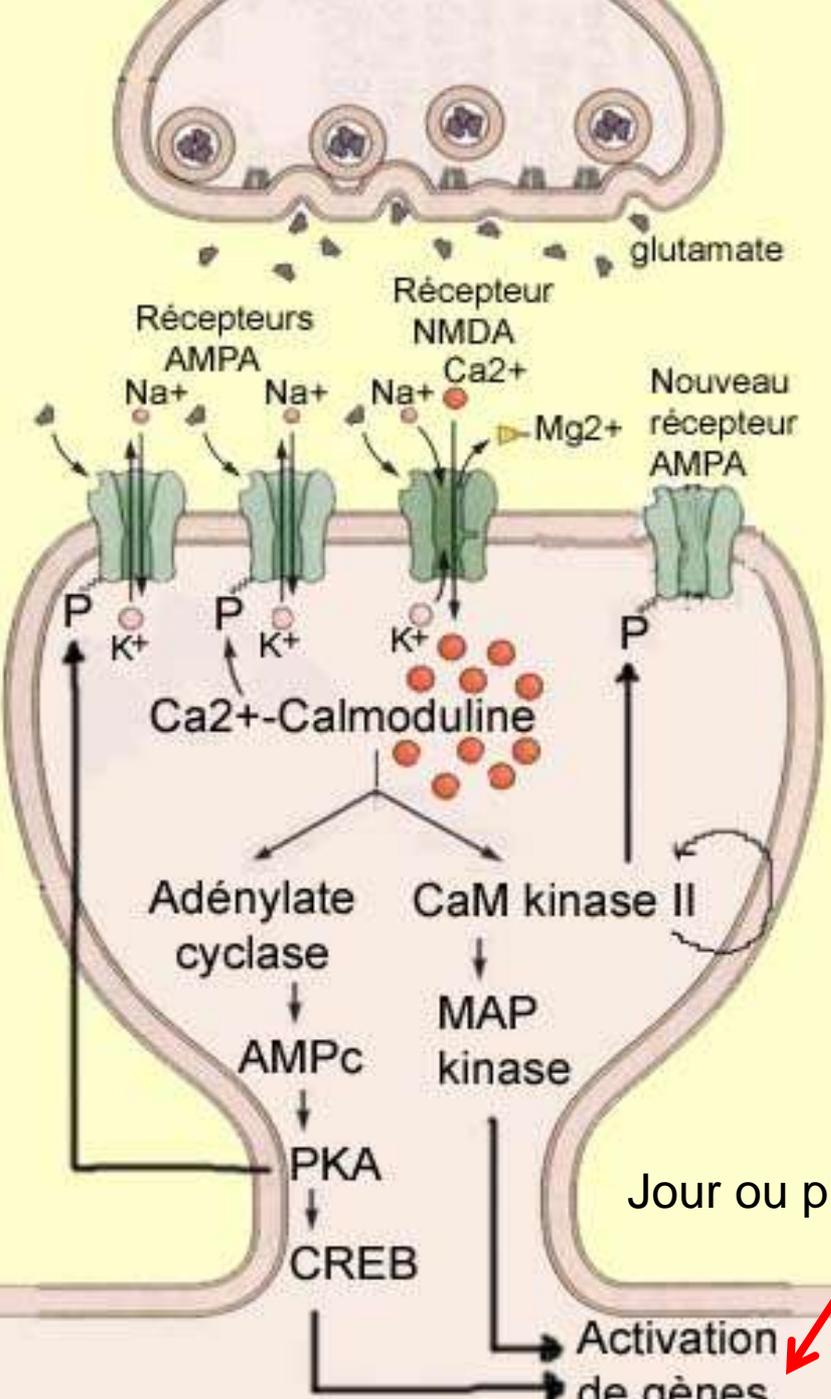




**Ordre de grandeur temporelle :**

Minutes ou heures

Activation de gènes

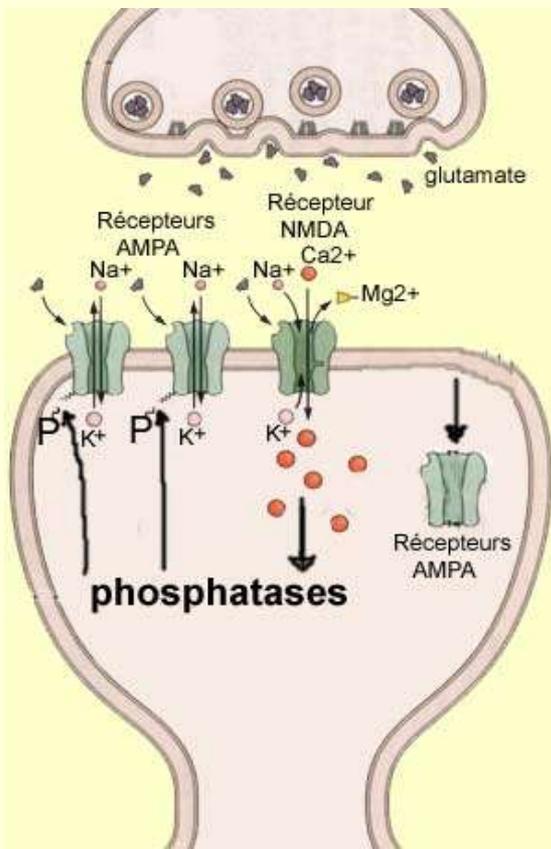


Jour ou plus

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 !

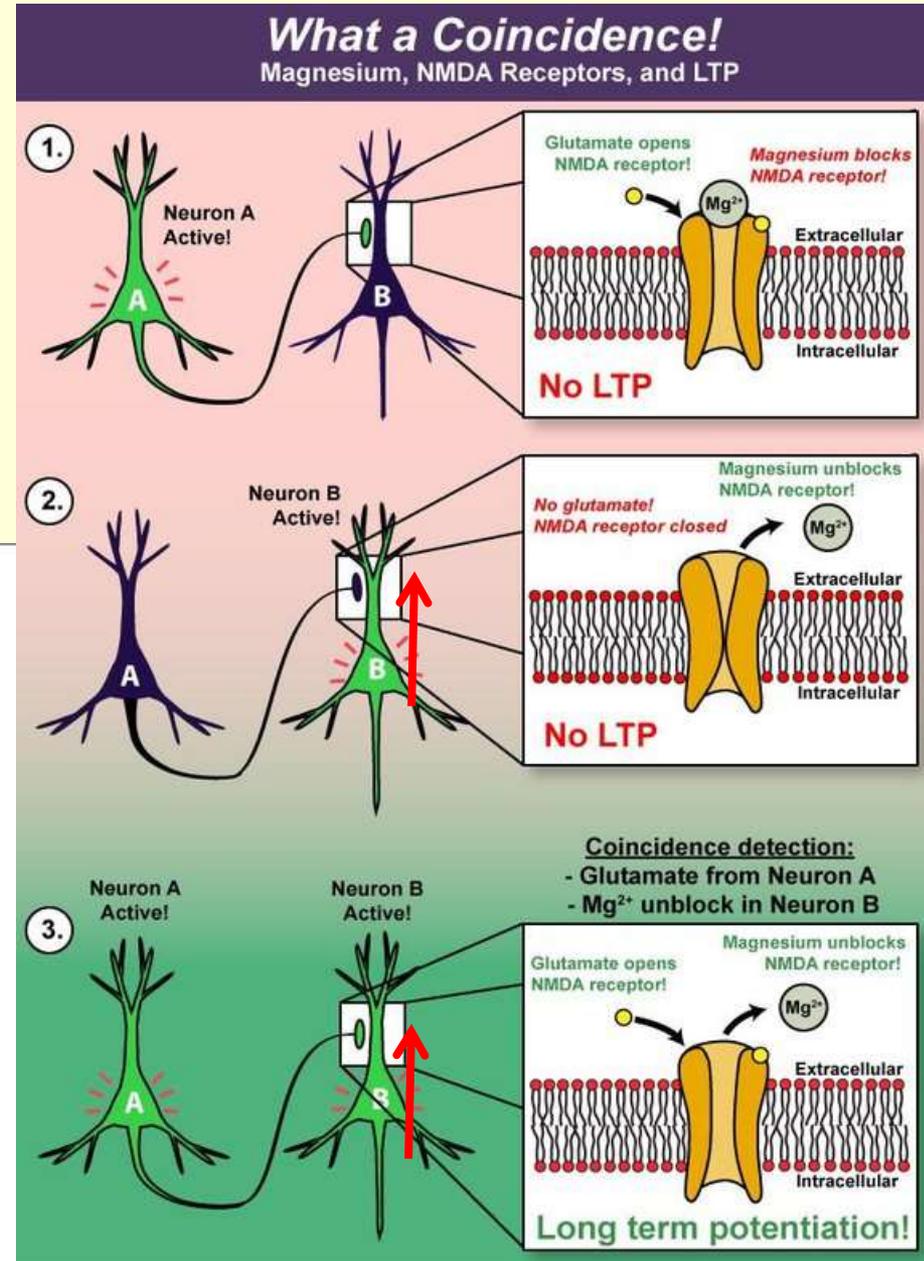
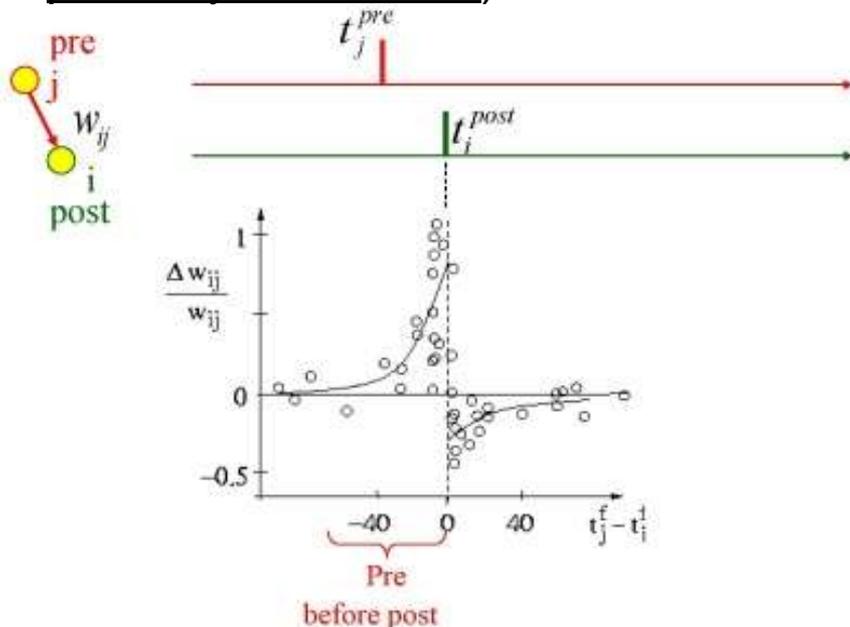
- La **dépression à long terme (DLT)**



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 !

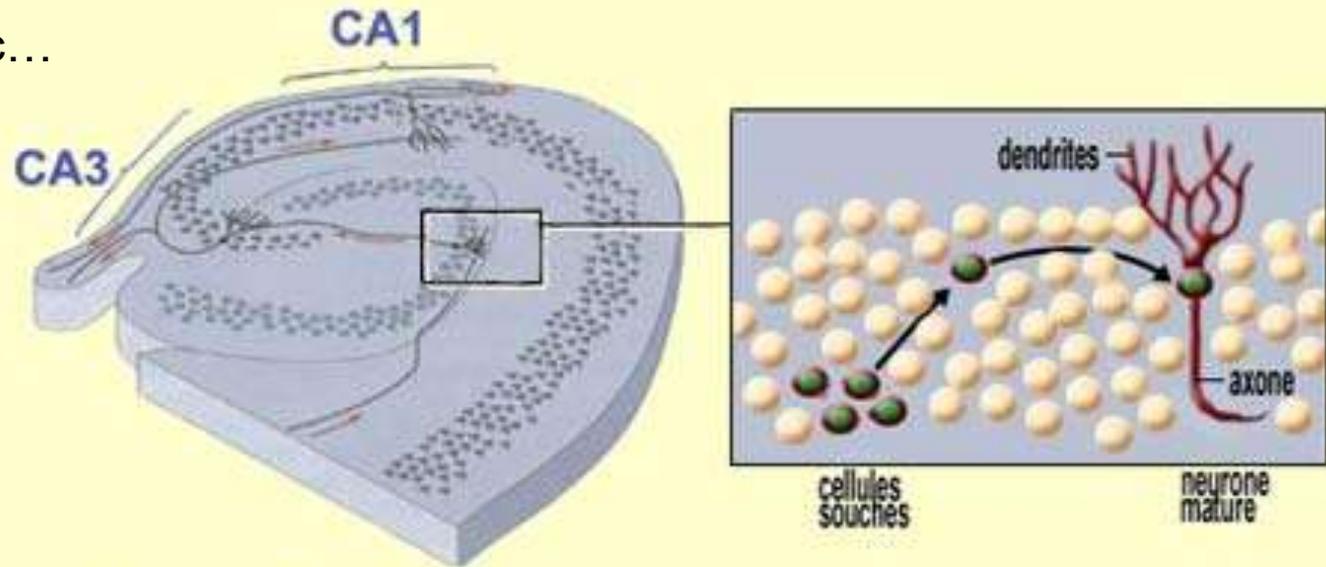
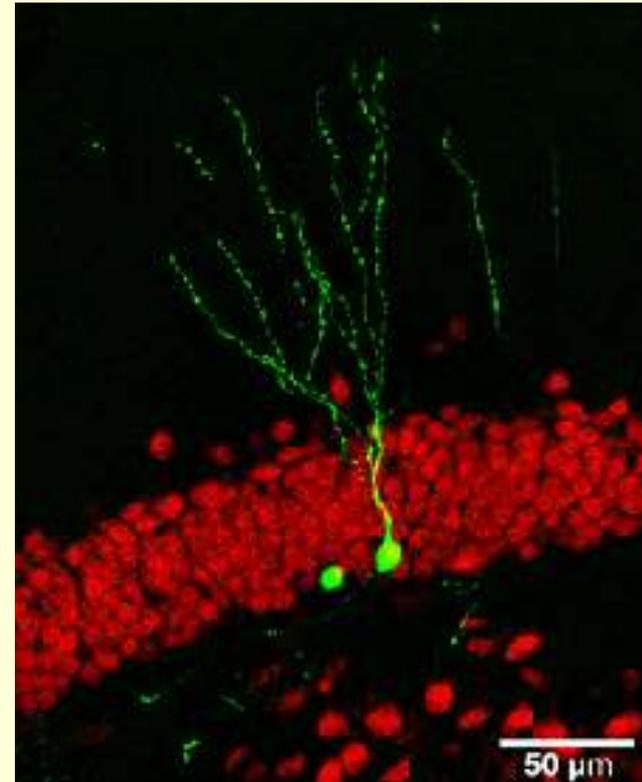
- La **dépression à long terme (DLT)**
- La **plasticité dépendante du temps d'occurrence des impulsions** (« Spike-timing-dependent plasticity » ou STDP)



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...



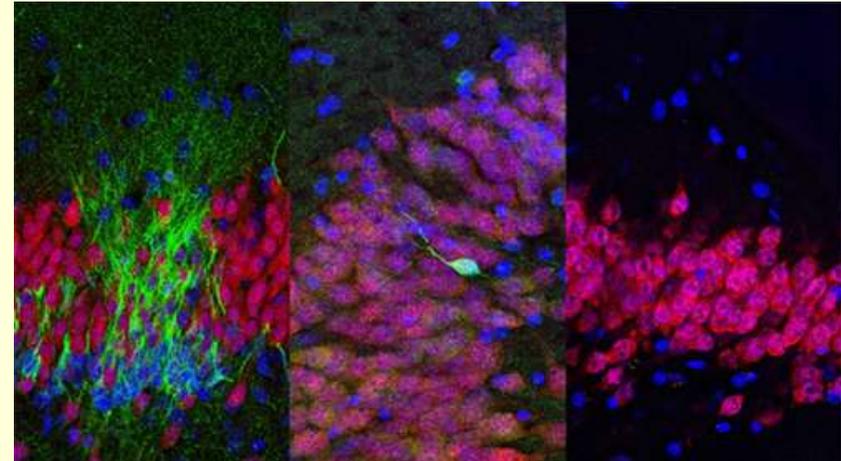
# Débat / Controverse :

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

27 mars 2018

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

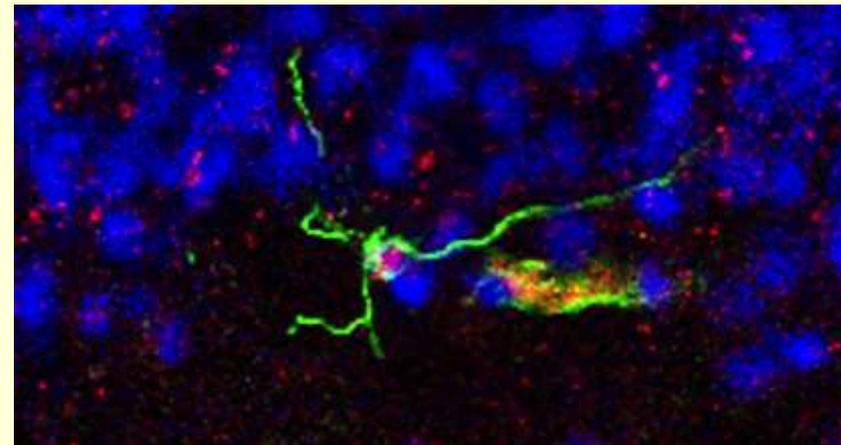
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/03/27/la-neurogenese-dans-le-cerveau-humain-adulte-remise-en-question/>



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/>



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?

Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

Séance 8 :  
**Cerveau et corps**  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

Séance 1 :  
**Le « connais-toi  
toi-même »** de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Séance 2 :  
**De la « poussière  
d'étoile »**  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui

Séance 3 :  
**L'humain**  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

## Mécanismes **moléculaires**

**Assemblées de neurones** (engrammes)

Structures **cérébrales** :  
hippocampe – cortex

Modèles **psychologiques** :  
Consolidation – rappel  
Orientation – mémoire déclarative

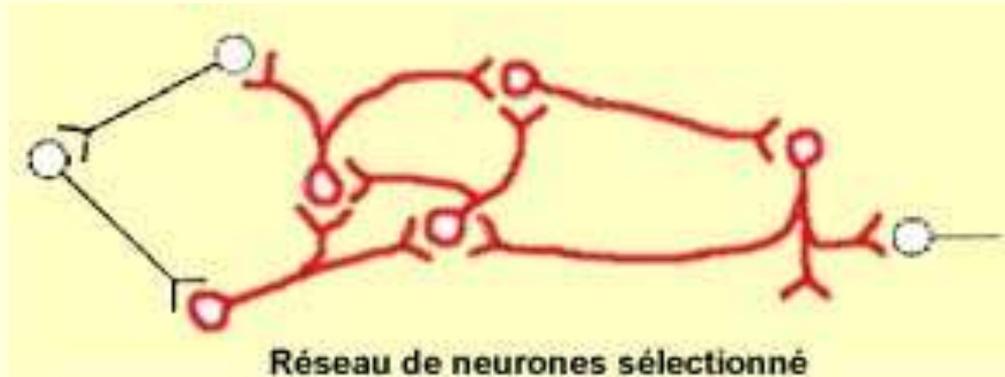
Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**

Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :**  
se synchroniser  
pour mieux  
régner

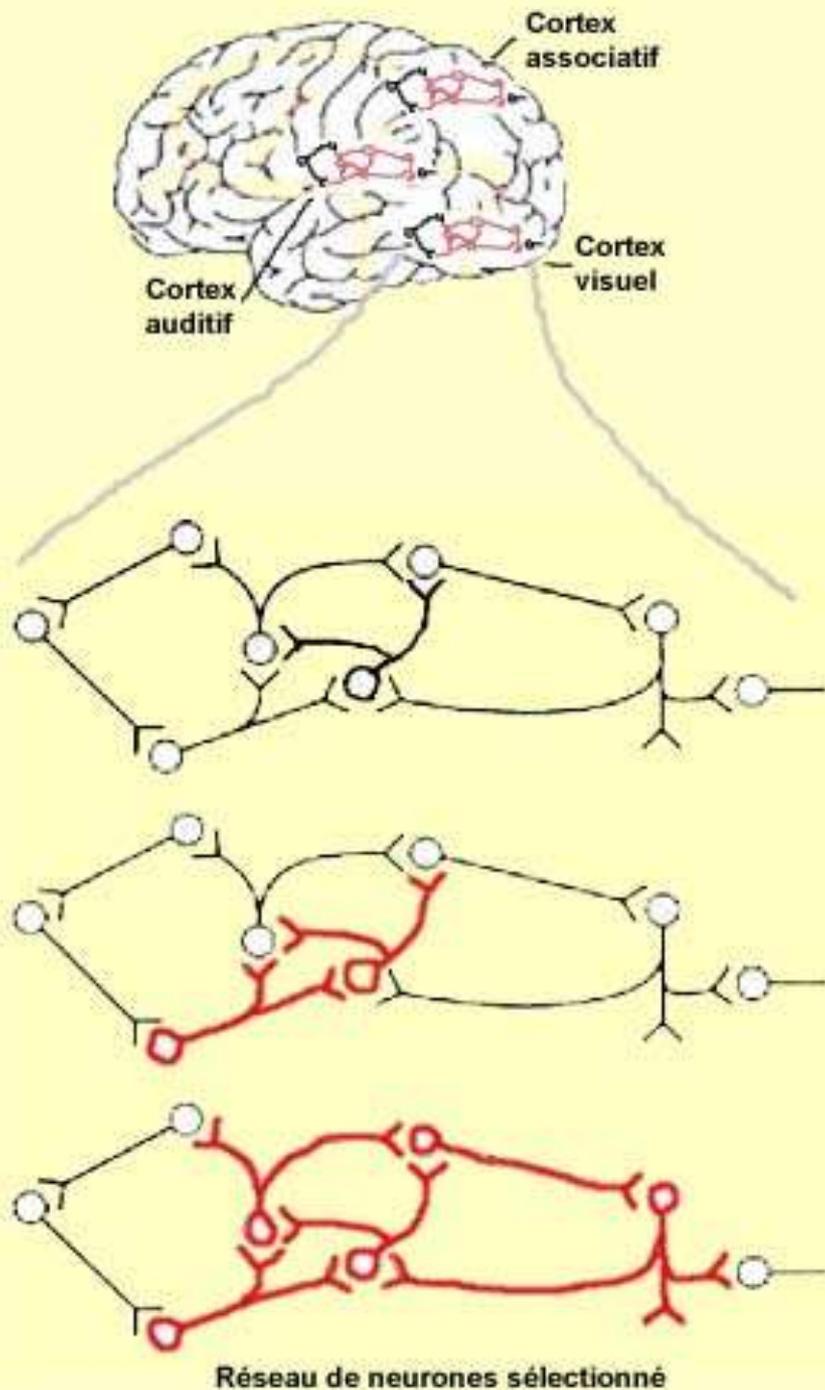
Séance 5 :  
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**

Séance 4 :  
**Des circuits de  
millions de  
neurones :**  
plaisir, douleur,  
**apprentissage,**  
**mémoire**

# Assemblées de neurones



Étudier, s'entraîner, apprendre...

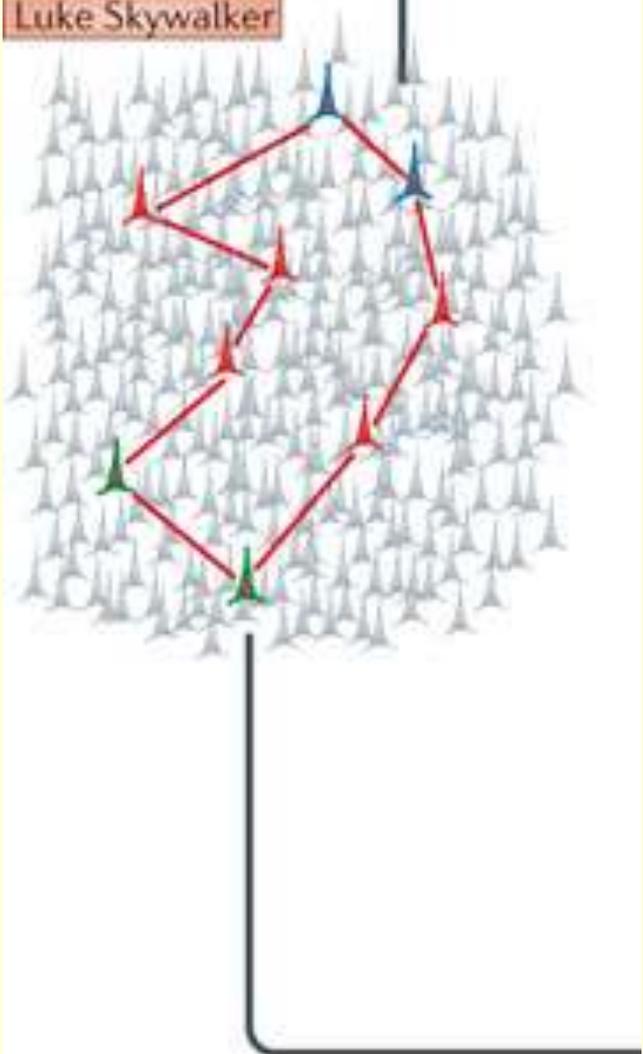


...c'est renforcer des connexions neuronales.

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



Luke Skywalker



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

Plusieurs expériences ont récemment confirmé que ces réseaux de neurones sélectionnés constituent « **l'engramme** » d'un souvenir.

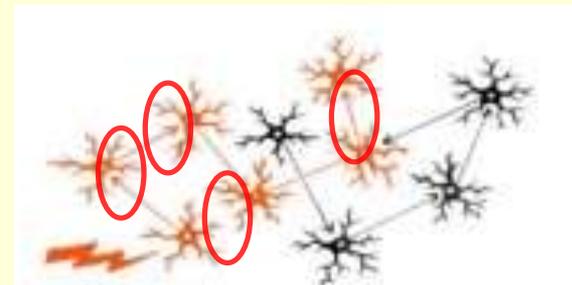
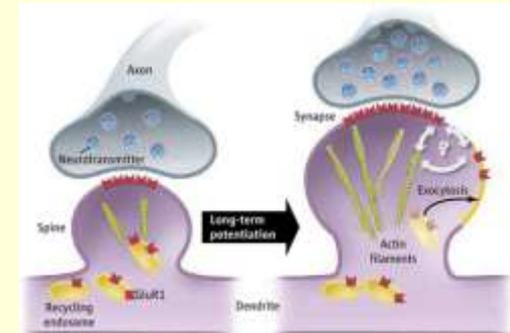
**Identification and Manipulation of Memory Engram Cells (2014)**  
[Xu Liu](#), [Steve Ramirez](#), [Roger L. Redondo](#) and [Susumu Tonegawa](#)  
<http://symposium.cshlp.org/content/79/59.full>

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

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

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

→ Le “poids synaptique” (l’efficacité d’une synapse)  
contrôlerait l’**accessibilité** de l’information encodée

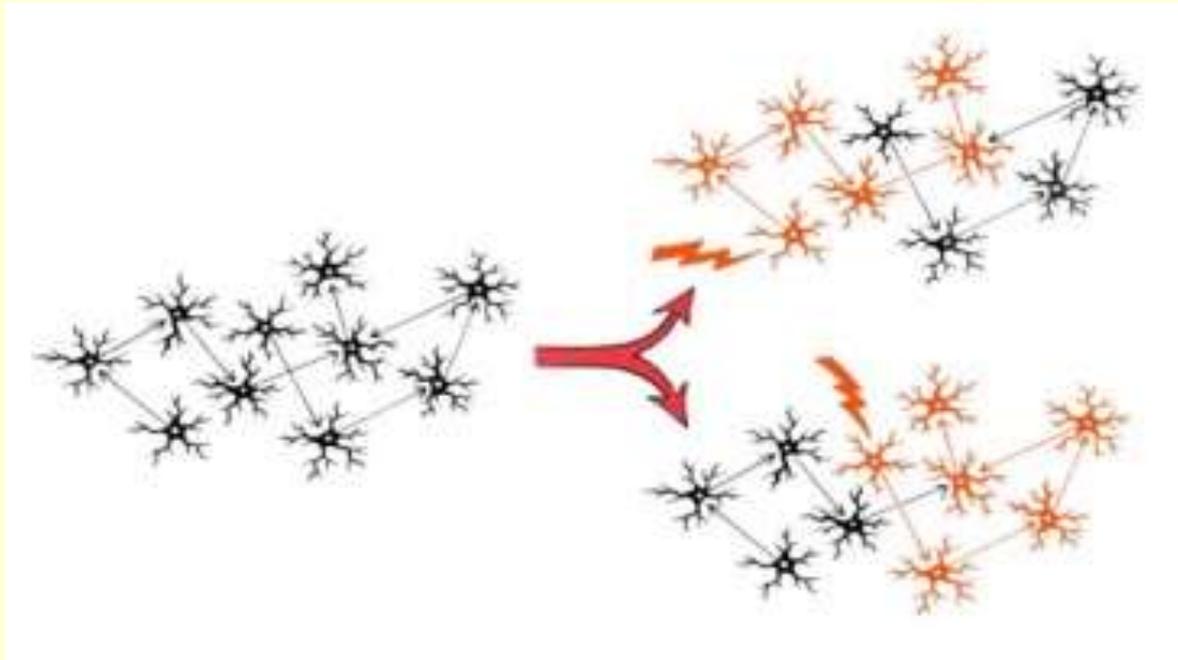


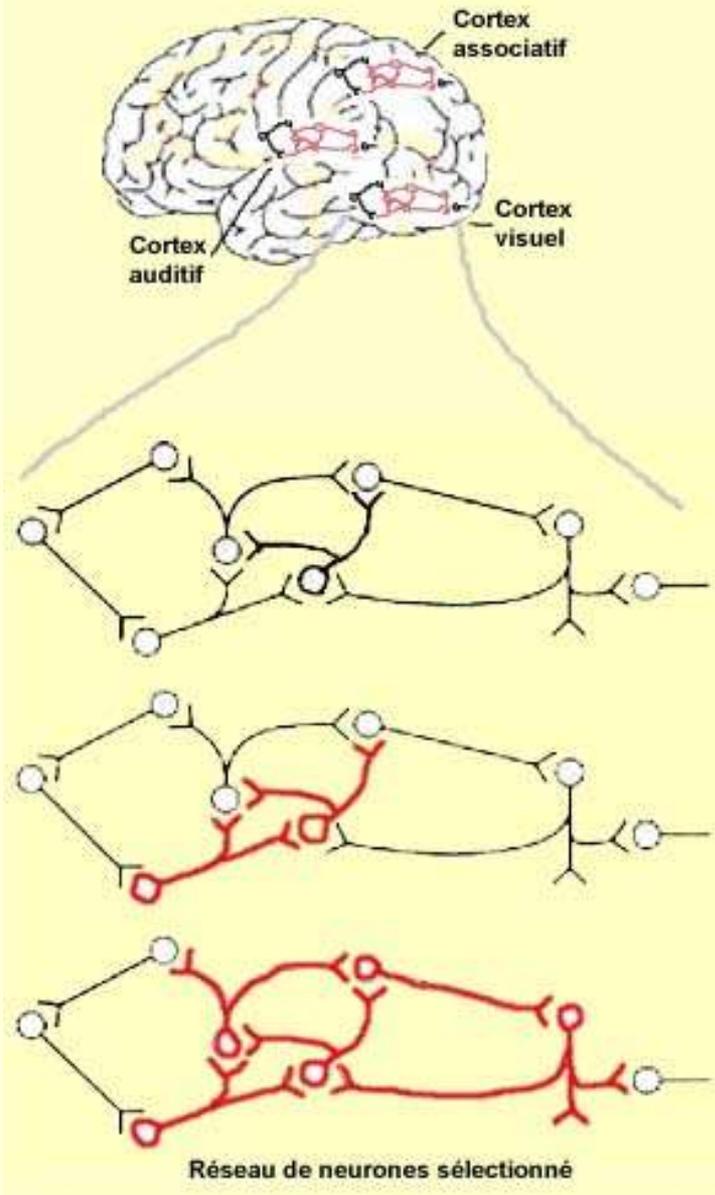
BMC Biol. 2016; 14: 40. Published online [2016](#) May 19.

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

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

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





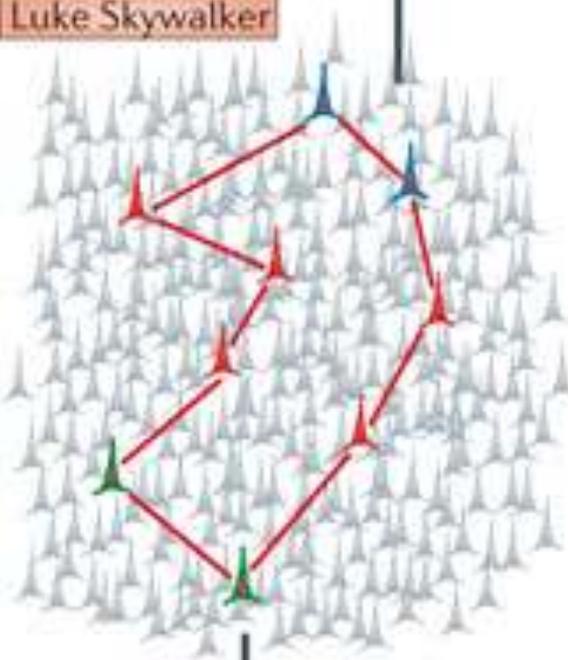
La théorie de Semon contenait implicitement l'idée d'un mécanisme de rappel appelé **“pattern completion”**

“**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.**”

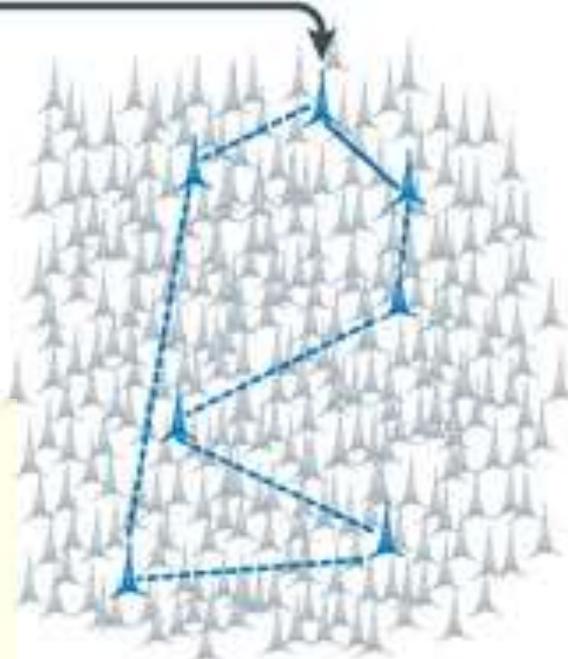


Luke Skywalker

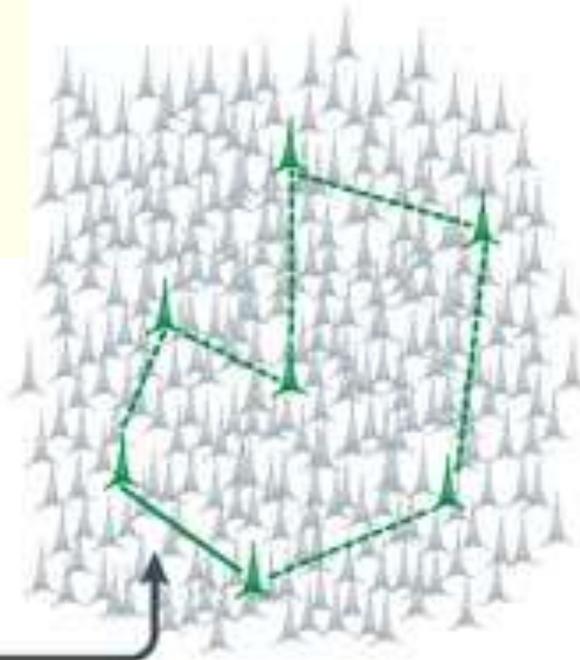


C'est aussi de cette façon qu'un concept ou un souvenir

peut en évoquer d'autres...



Yoda



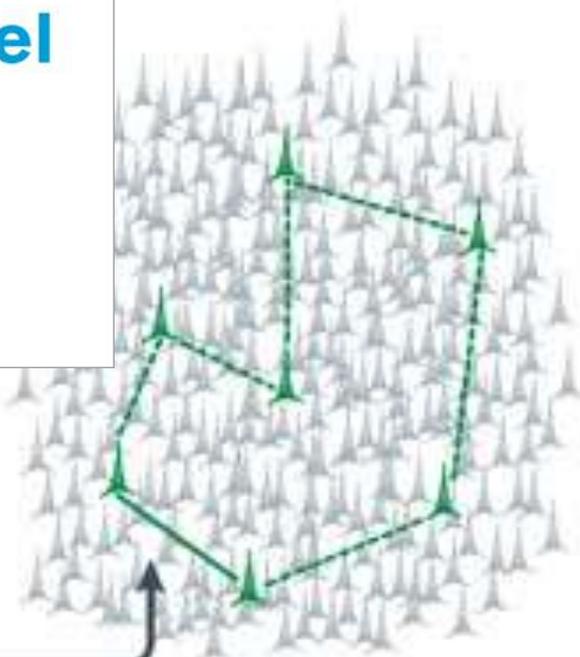
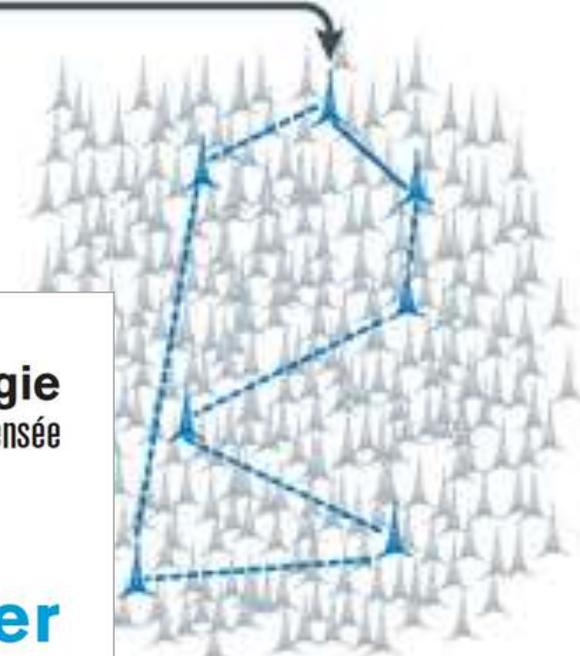
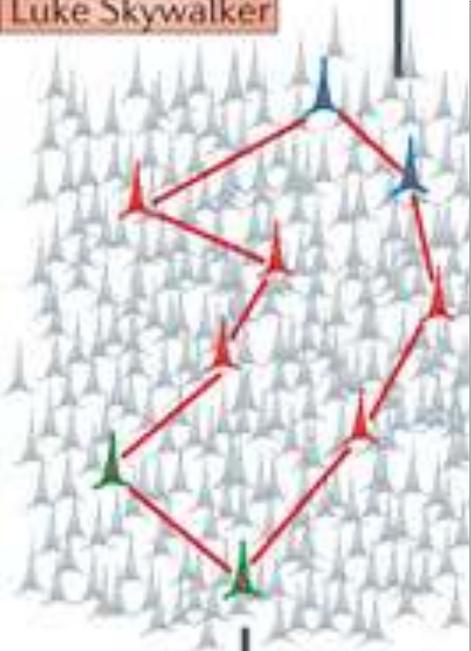
Darth Vader



Luke Skywalker



Yoda



Darth Vader

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

**Douglas  
Hofstadter  
Emmanuel  
Sander**



(2013)

# Consolidation



**STM**

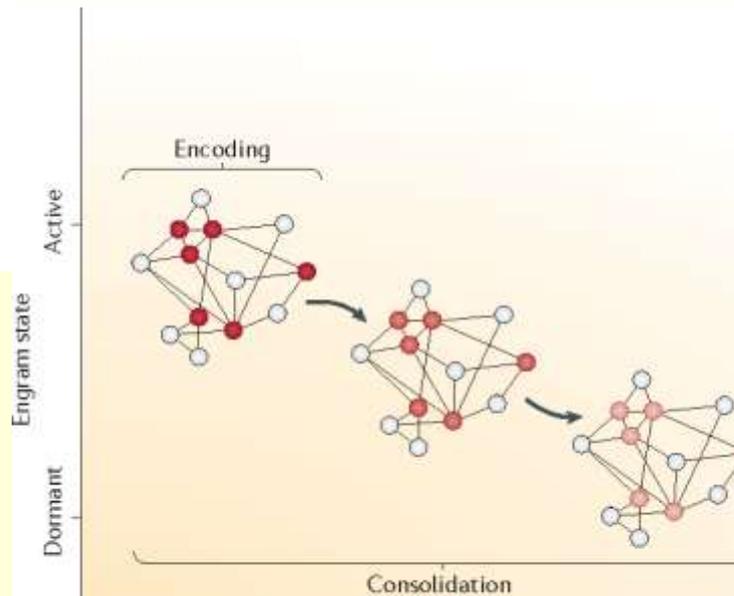
Short-term memory

**LTM**

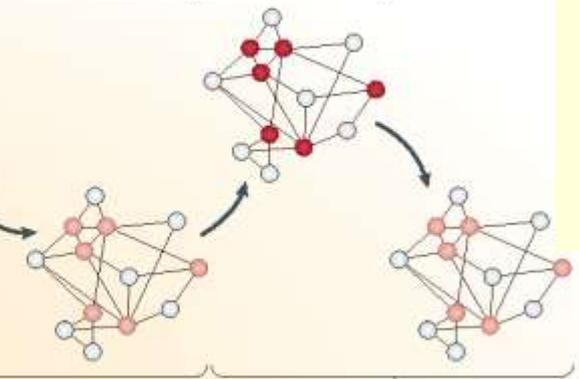
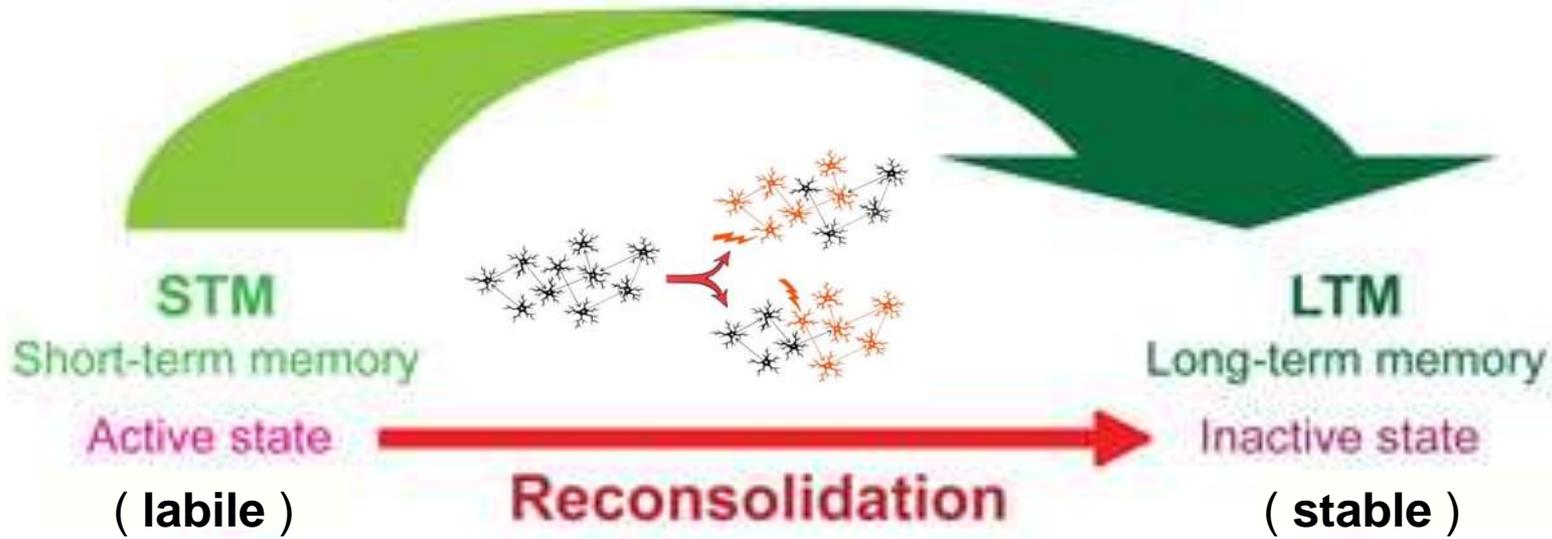
Long-term memory

Inactive state

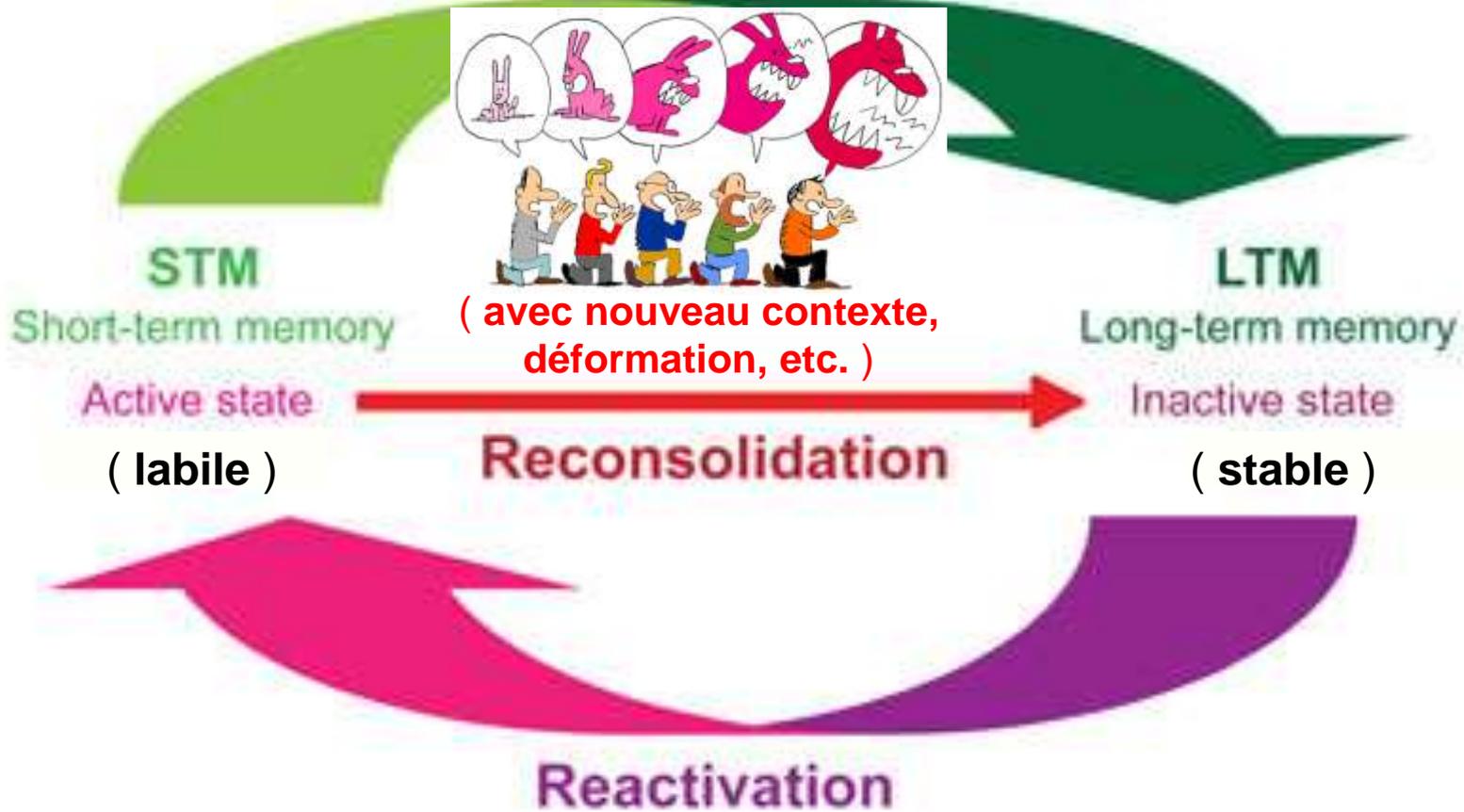
( stable )



# Consolidation



# Consolidation

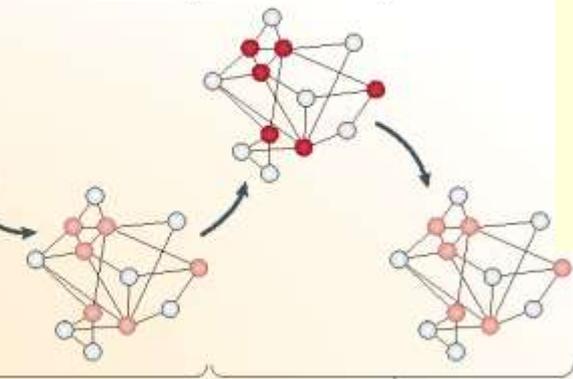


[http://knowingneurons.com/2017/02/01/mandela-effect/?ct=t\(RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN\)](http://knowingneurons.com/2017/02/01/mandela-effect/?ct=t(RSS_EMAIL_CAMPAIGN))

**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>



## Multiple levels of analysis of an engram

Récapitulons :  
**elle est où la trace  
d'un souvenir dans  
notre cerveau ?**

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

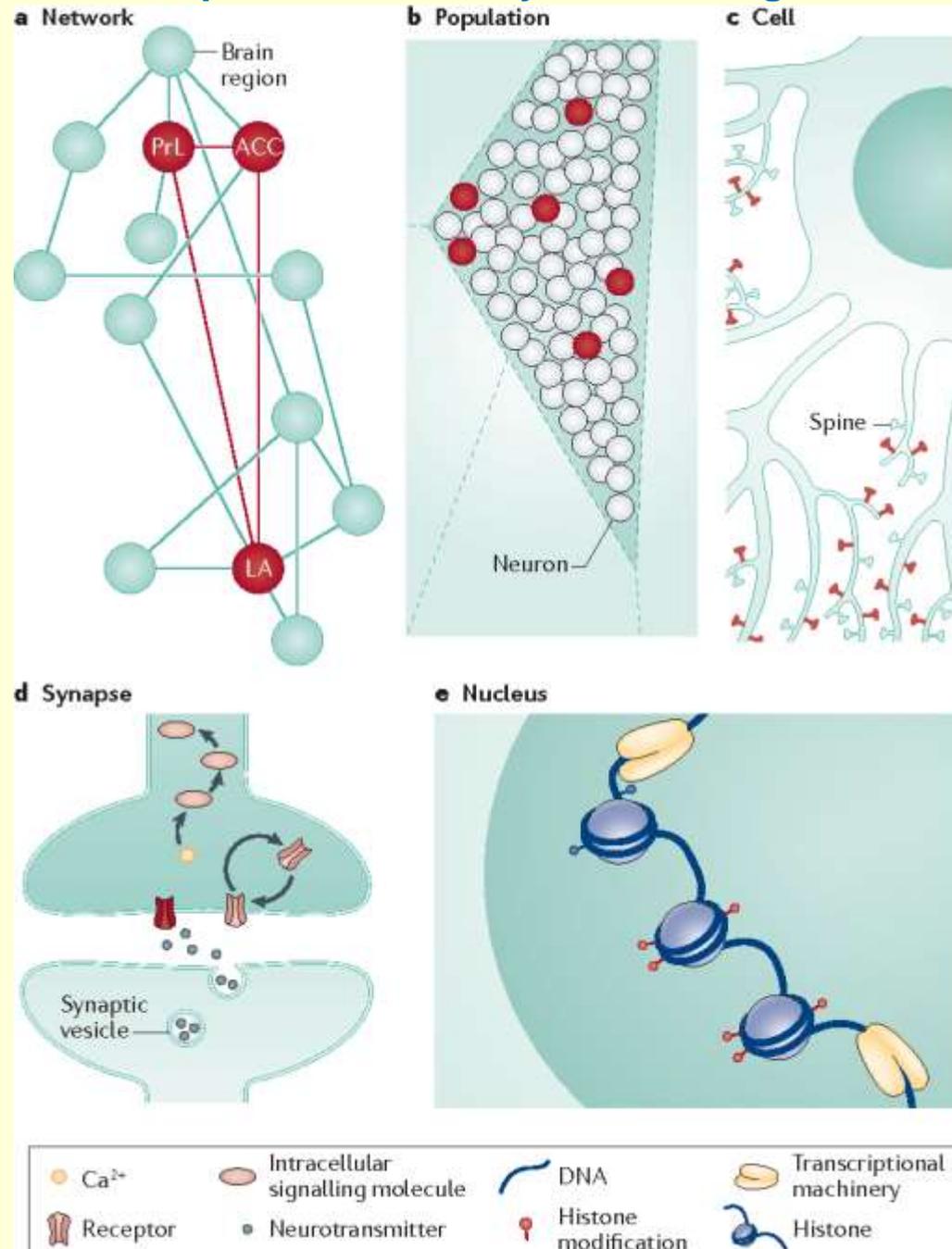
30 avril 2019

Les multiples niveaux  
d'organisation du vivant, plus  
que jamais au cœur des  
sciences cognitives

## Finding the engram

•Sheena A. Josselyn, Stefan  
Köhler, Paul W. Frankland  
**2015** in Nature Reviews  
Neuroscience

<https://www.semanticscholar.org/paper/Finding-the-engram-Josselyn-K%C3%B6hler/269657152b4666ebd489ee54c2ab17534bb72496>



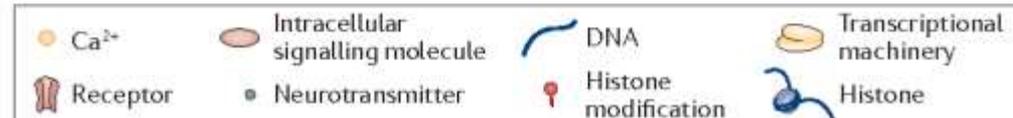
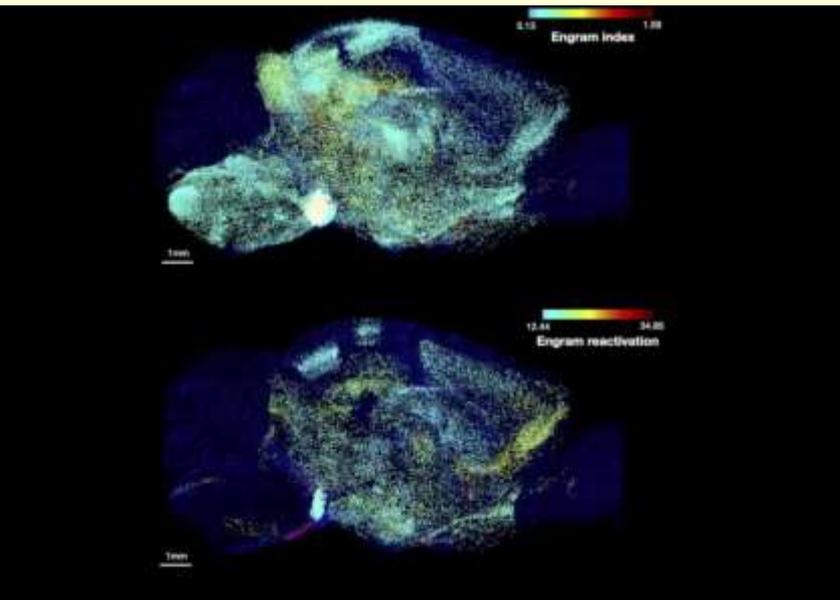
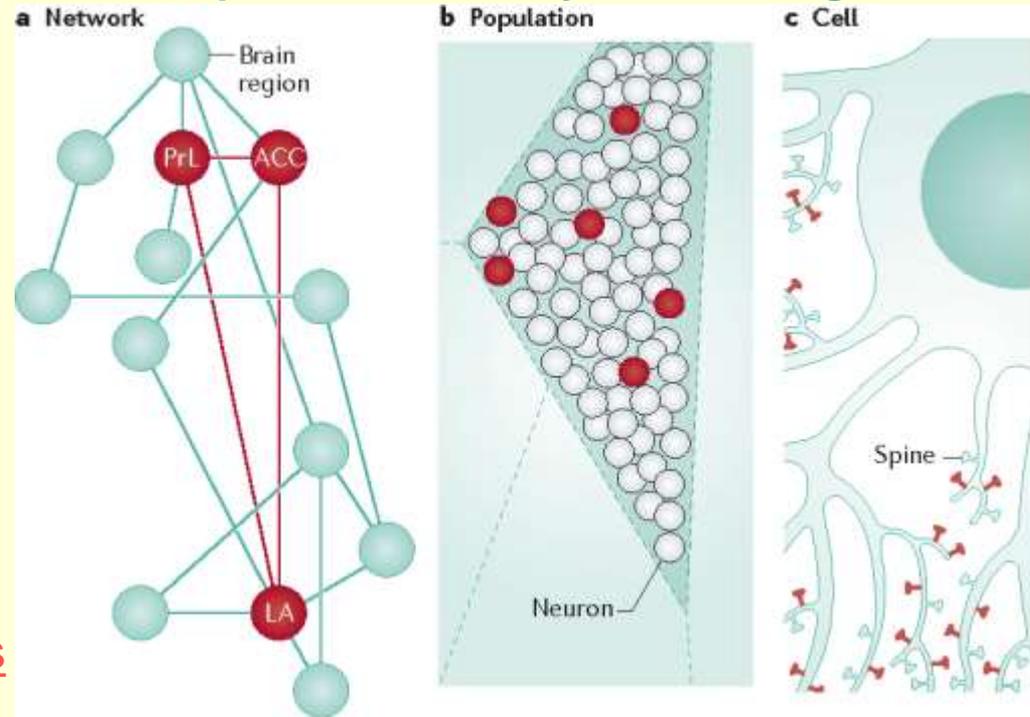
# Multiple levels of analysis of an engram

Récapitulons :  
**elle est où la trace  
d'un souvenir dans  
notre cerveau ?**

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

lundi, 16 mai 2022

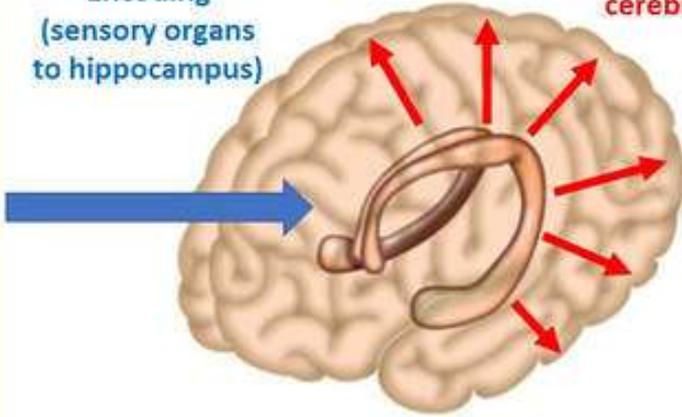
L'engramme d'un souvenir distribué à  
travers de multiples régions cérébrales



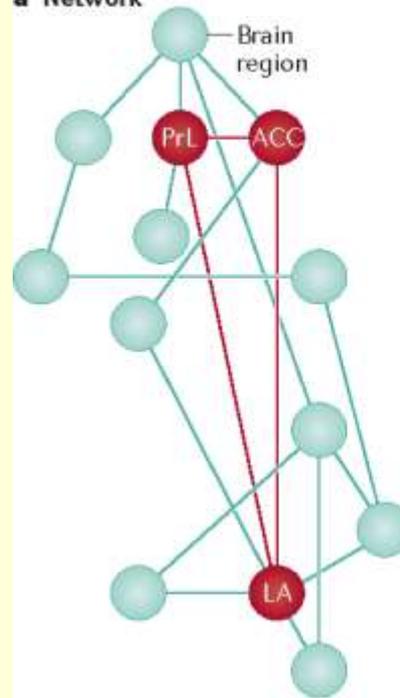
# Multiple levels of analysis of an engram

Encoding  
(sensory organs  
to hippocampus)

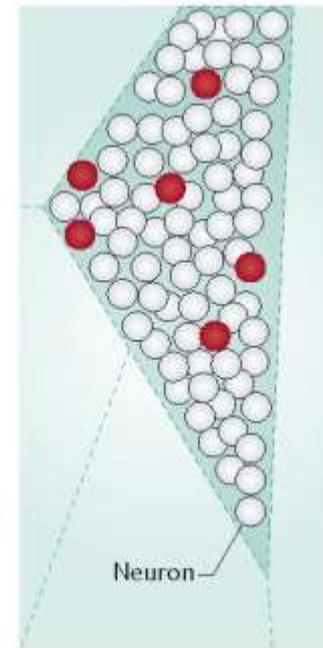
Consolidation  
(hippocampus to  
cerebral cortex)



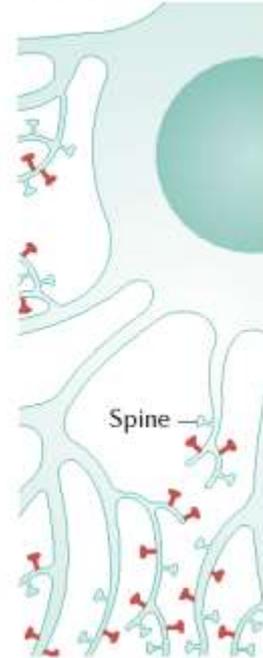
a Network



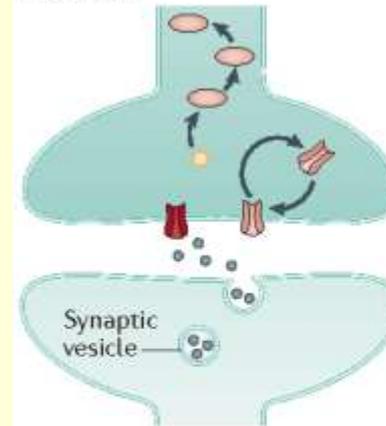
b Population



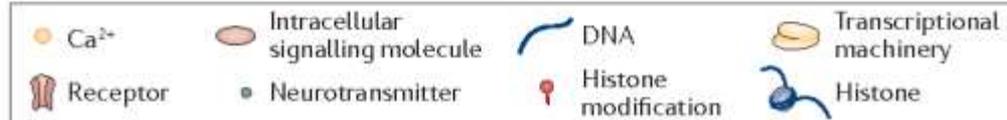
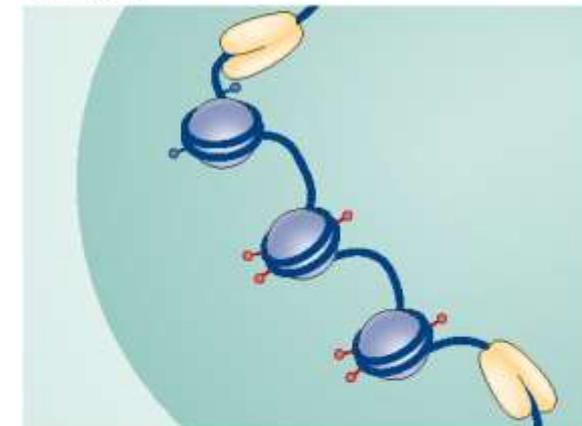
c Cell



d Synapse



e Nucleus



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
**Le « connais-toi  
toi-même »** de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
**De la « poussière  
d'étoile »**  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
**L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux**



Séance 9 :  
**Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains**



Mécanismes **moléculaires**

Assemblées de **neurones** (engrammes)

**Structures cérébrales :**  
hippocampe – cortex

Modèles **psychologiques :**

Consolidation – rappel

Orientation – mémoire déclarative

Séance 4 :  
**Des circuits de  
millions de  
neurones :**  
plaisir, douleur,  
**apprentissage,  
mémoire**



Séance 8 :  
**Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions**



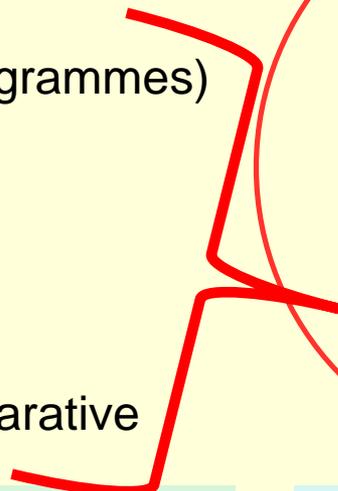
Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**



Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :**  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 5 :  
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**



Unimodal and polymodal association areas  
(frontal, temporal, and parietal lobes)

Parahippocampal cortex

Perirhinal cortex

Entorhinal cortex

Perforant pathway

Dentate gyrus

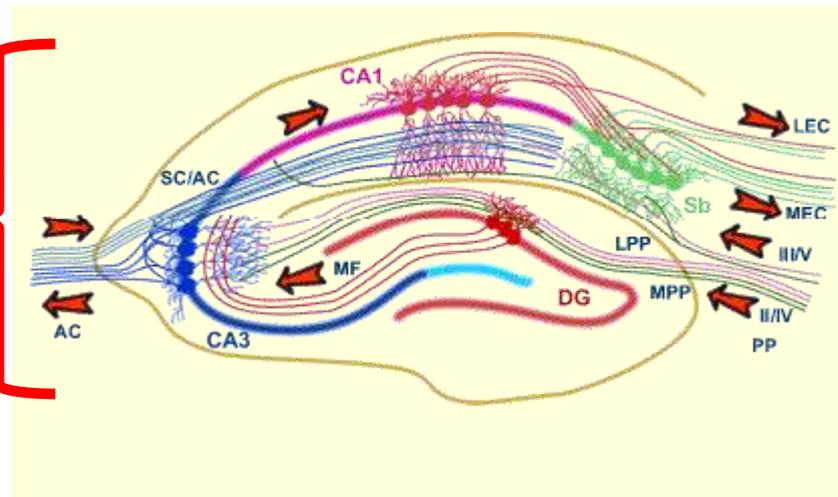
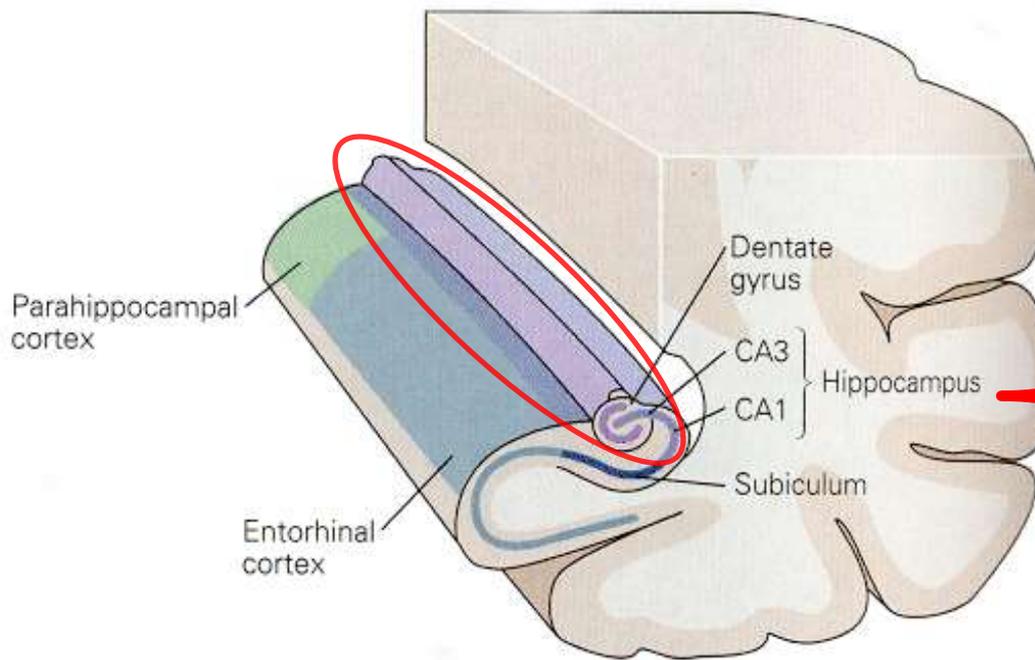
Hippocampus CA3

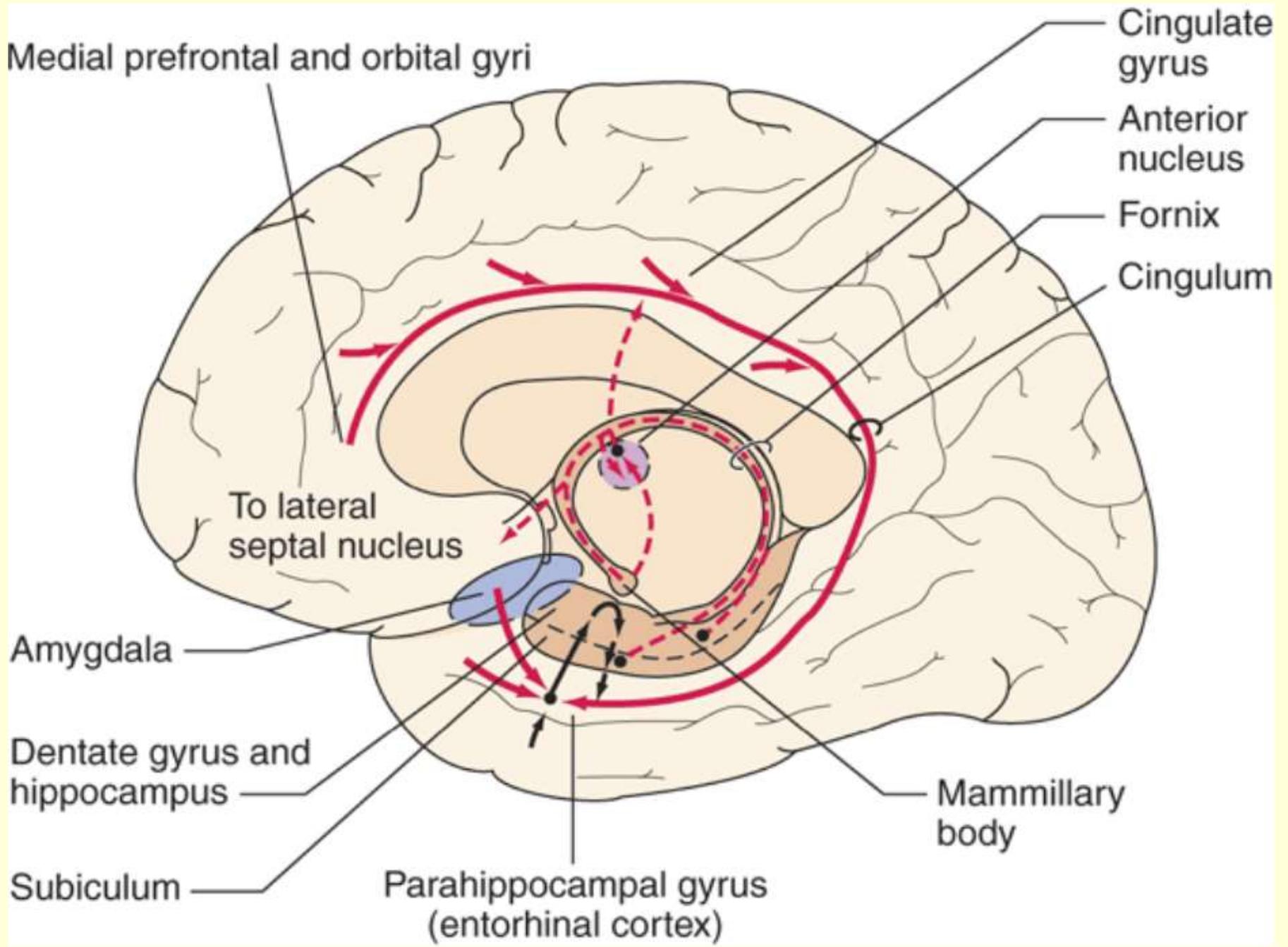
Hippocampus CA1

Subiculum

Mossy fiber pathway

Schaffer collateral pathway





Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?

Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

Séance 8 :  
**Cerveau et corps**  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

Séance 1 :  
Le « **connais-toi**  
**toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Séance 2 :  
De la « **poussière**  
**d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui

Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

### Mécanismes **moléculaires**

Assemblées de **neurones** (engrammes)

Structures **cérébrales** :  
hippocampe – cortex

### Modèles **psychologiques** :

Consolidation – rappel

Orientation – mémoire déclarative

Séance 7 :  
**Tout ce qui**  
**précède permet**  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire

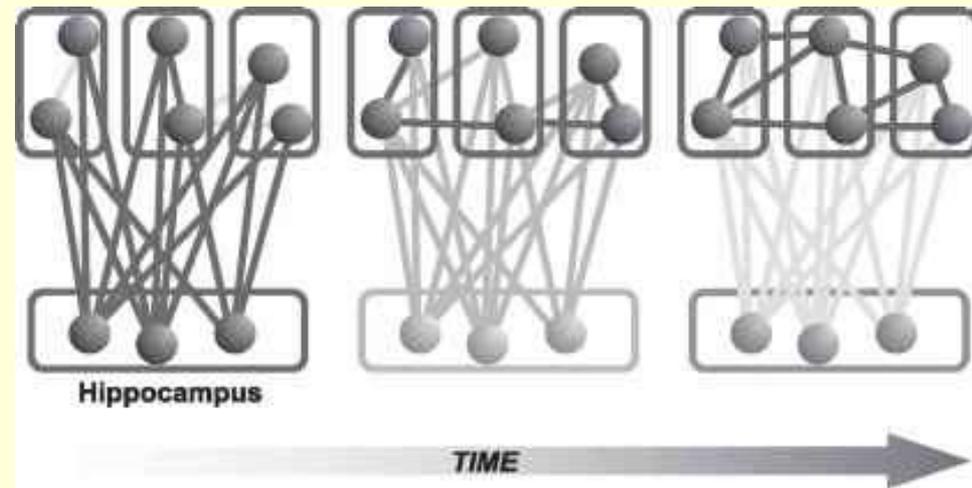
Séance 6 :  
**Les rythmes**  
**cérébraux** :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner

Séance 5 :  
**Cartographe** des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

Séance 4 :  
**Des circuits de**  
millions de  
neurones :  
**plaisir, douleur,**  
**apprentissage,**  
**mémoire**

## 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



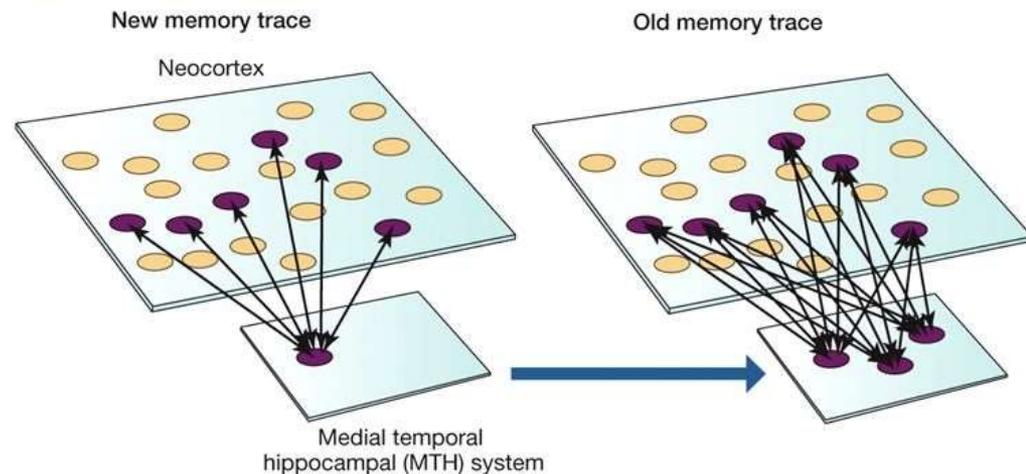
<https://www.alpfmedical.info/remote-memory/the-standard-model-of-memory-consolidation-versus-the-multiple-trace-theory-two-divergent-views-of-the-same-process.html>

## La « théorie des traces multiples » (« multiple memory trace theory »)

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

### Multiple Trace Theory

- 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** « demeurent » dans l'hippocampe

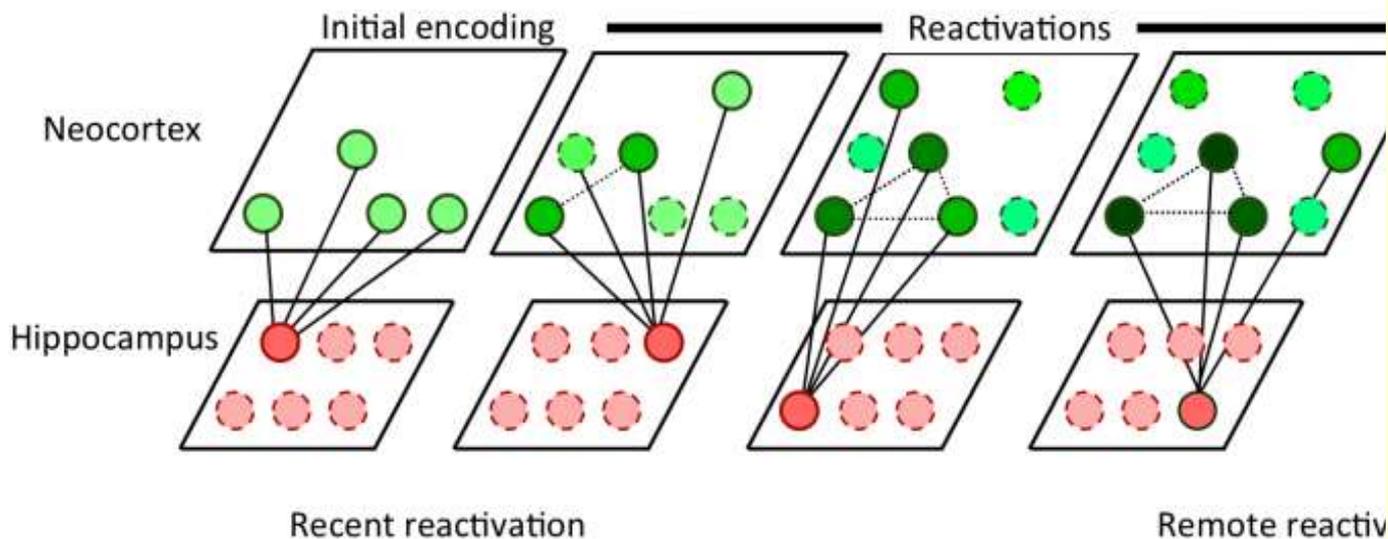


## La théorie des traces compétitives

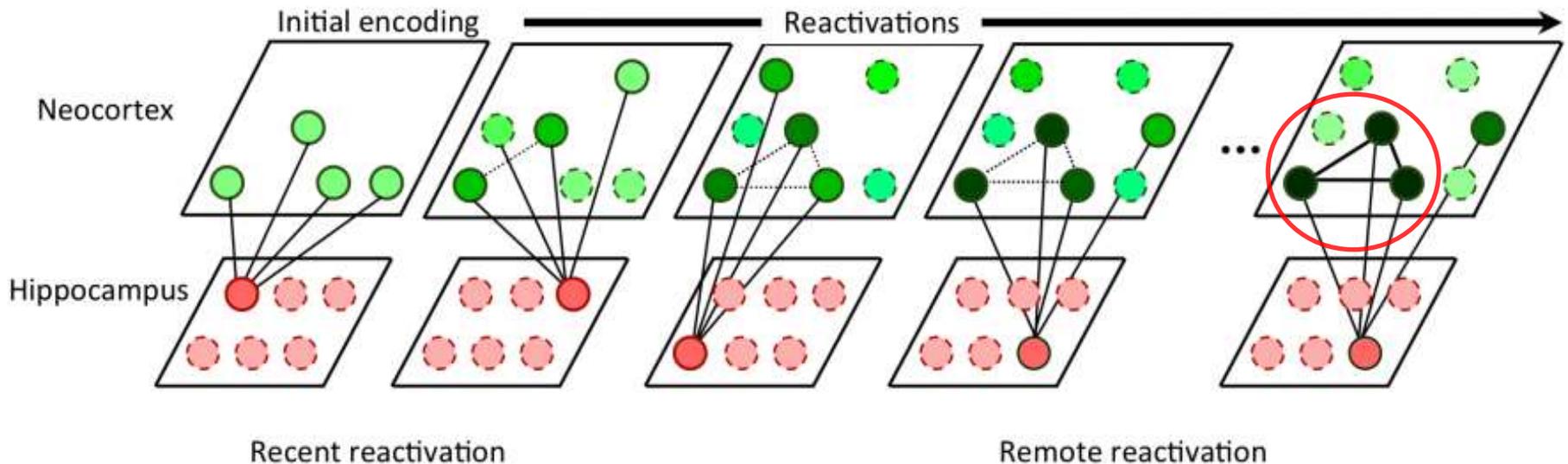
- considère la distinction entre souvenirs épisodiques et sémantiques comme trop tranchée et simpliste
- fonction de l'hippocampe : "recontextualisation".
- Chaque fois qu'on se rappelle un souvenir, l'hippocampe le réencoderait dans le cortex de manière similaire mais non identique.



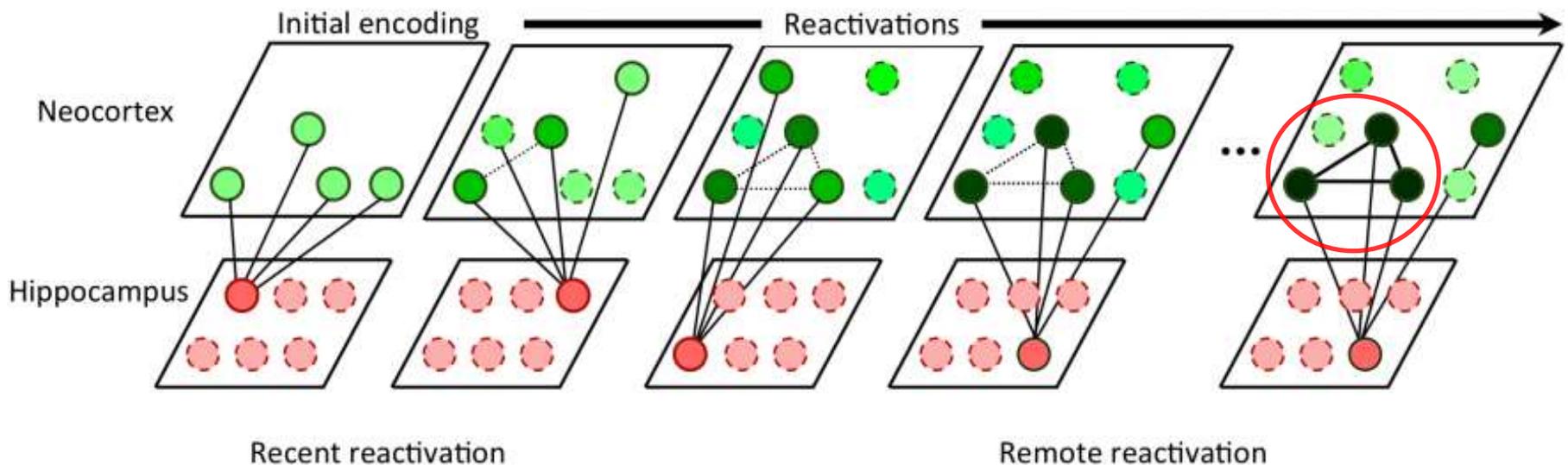
**« Nos souvenirs deviennent indépendants du contexte spatio-temporel de leur acquisition. »**



- Avec le temps, le rappel répété d'un souvenir dans différents contextes produit entre les engrammes corticaux correspondant une « interférence compétitive », phénomène qui va solidifier à la longue ce qui constitue le **cœur de cet engramme** au détriment de ses régions plus variables.
- Autrement dit, augmenter la teneur **conceptuelle** du souvenir en effaçant progressivement les détails contextuels.
- Et en faire par le fait même de plus en plus une connaissance **sémantique** et de moins en moins un souvenir **épisodique**.



- Il y a donc ici un **continuum** entre les deux types de mémoire, la reconsolidation répétée au fil du temps faisant pencher la balance de plus en plus vers une représentation plus **sémantique**.
- Cela veut dire aussi que les **détails** exacts d'un souvenir épisodiques ne seront vraiment accessibles que pour un souvenir **récent**.



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?

Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains

Séance 8 :  
**Cerveau et corps**  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui

Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

### Mécanismes **moléculaires**

Assemblées de **neurones** (engrammes)

Structures **cérébrales** :  
hippocampe – cortex

### Modèles **psychologiques** :

Consolidation – rappel

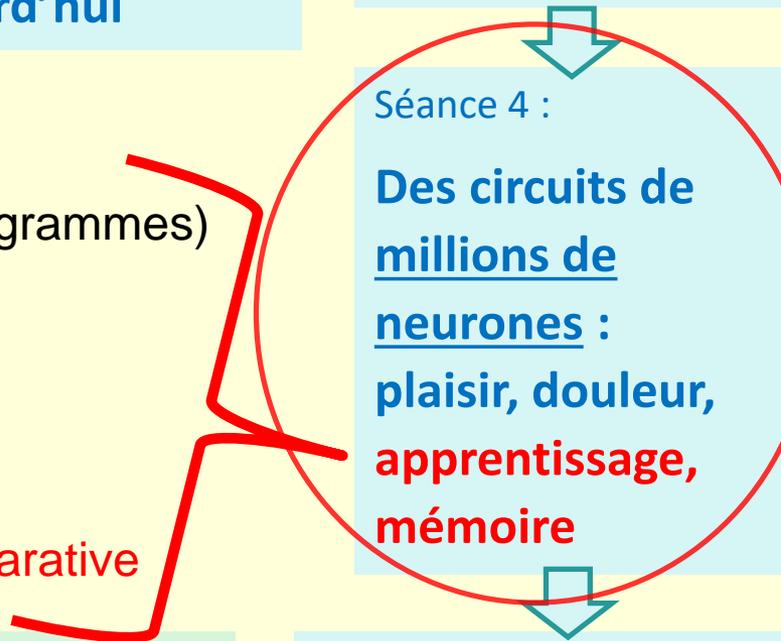
**Orientation** – mémoire déclarative

Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**

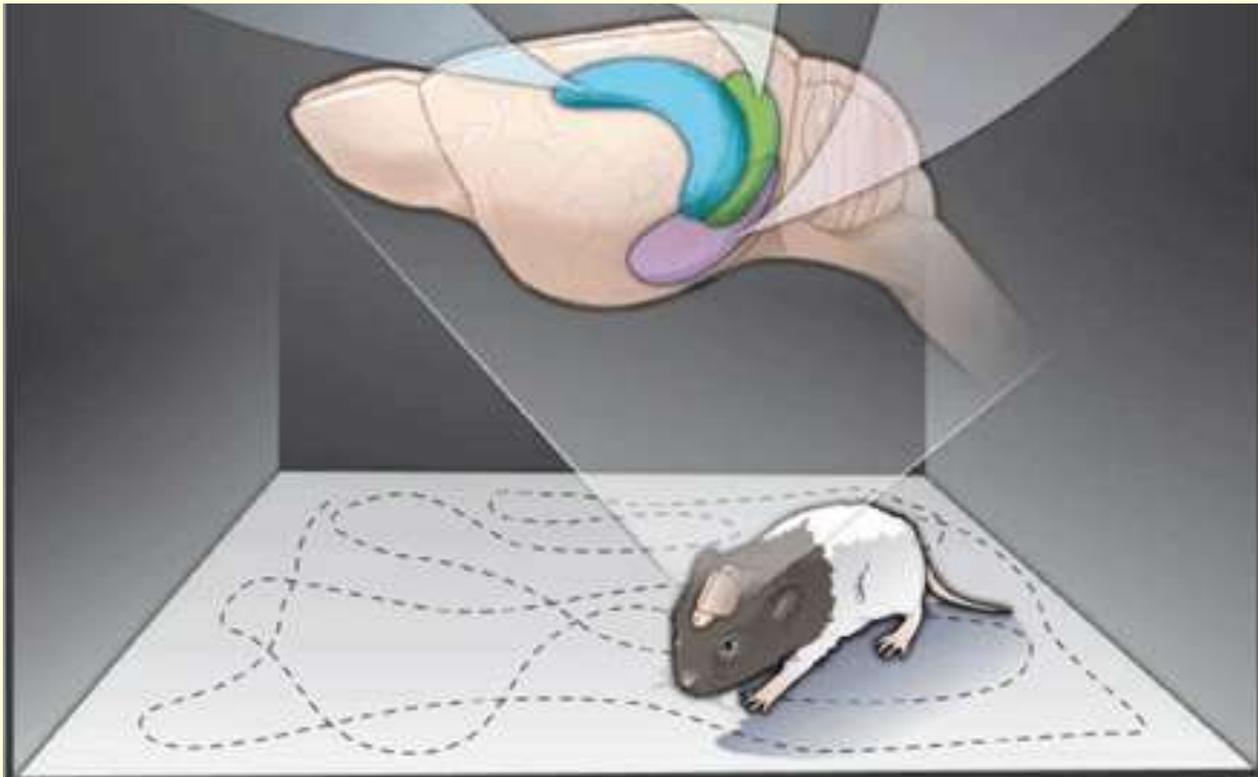
Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner**

Séance 5 :  
**Cartographe des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**

Séance 4 :  
**Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
**apprentissage,  
mémoire****



La mémoire **spatiale** est importante chez le rat et sollicite beaucoup l'**hippocampe** et les structures associées.



## Cellules de lieu :

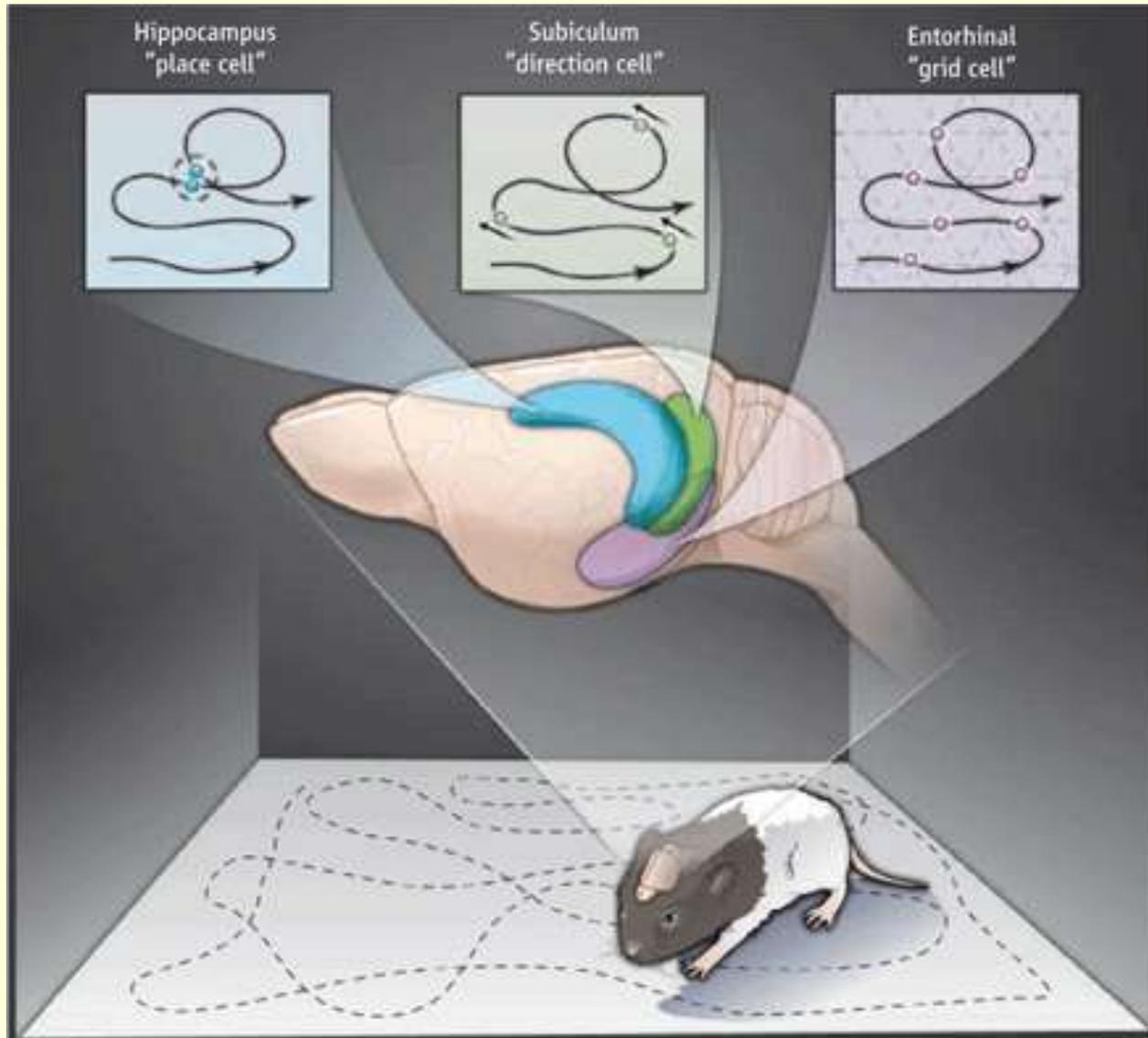
O'Keefe and Dostrovsky,  
début 1970

## Les cellules de direction de la tête

J. B. Ranck Jr.,  
Milieu 1980

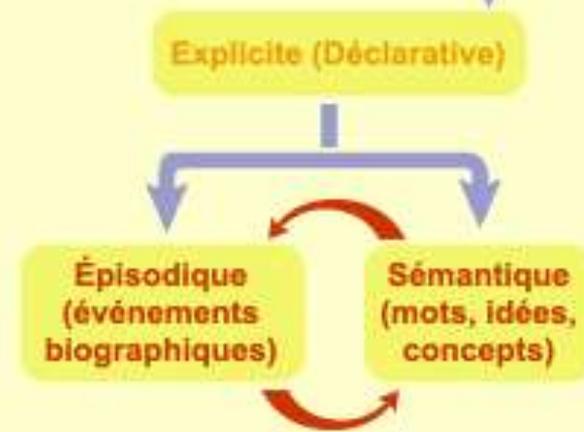
## « Grid cells » :

Edvard and May-Britt Moser  
Milieu 2000



Chez l'humain,

L'hippocampe s'active aussi durant la navigation spatiale...



...mais aussi pour la mémoire déclarative !

**Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal-entorhinal system**

**György Buzsáki & Edvard I Moser**  
Published online 28 **January 2013**

[http://www.nature.com/neuro/journal/v16/n2/full/nn.3304.html?WT.ec\\_id=NEURO-201302](http://www.nature.com/neuro/journal/v16/n2/full/nn.3304.html?WT.ec_id=NEURO-201302)

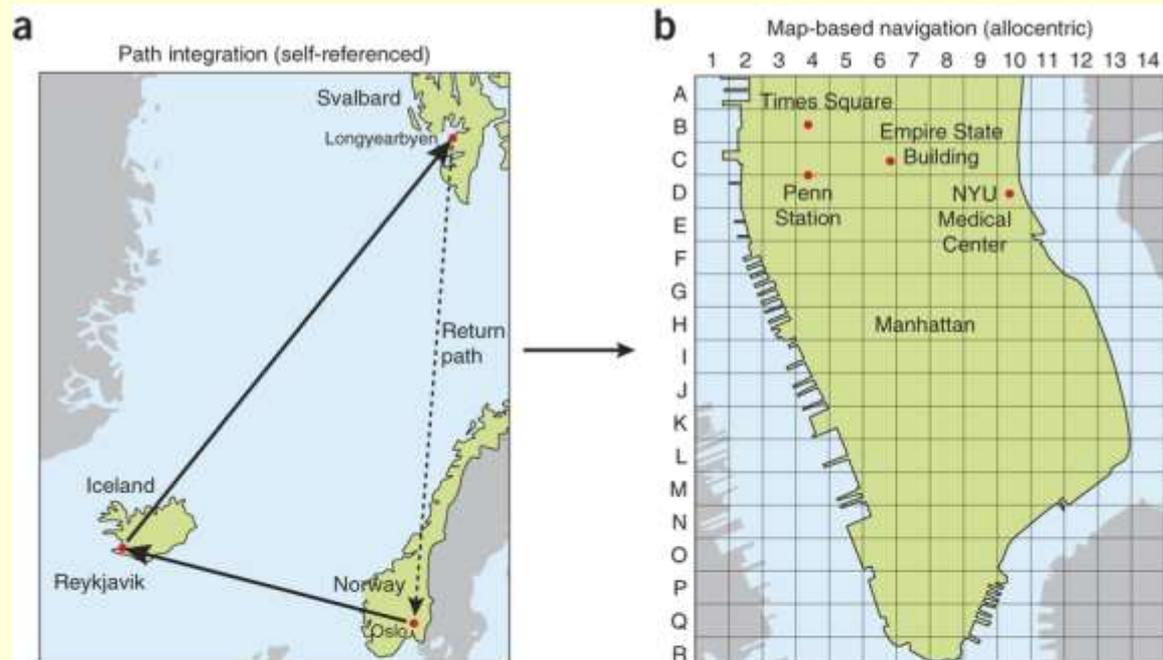
Les auteurs rappellent que pour naviguer dans l'espace, on dispose de **deux mécanismes interreliés** qui fonctionnent normalement ensemble :

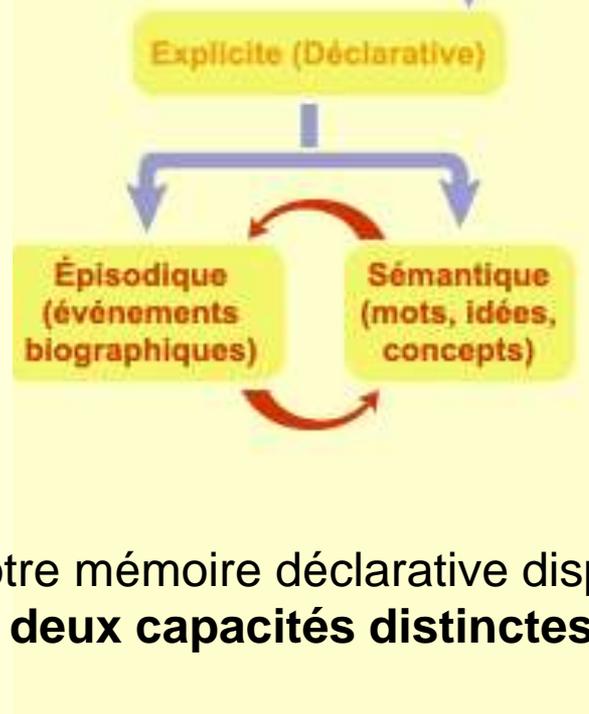
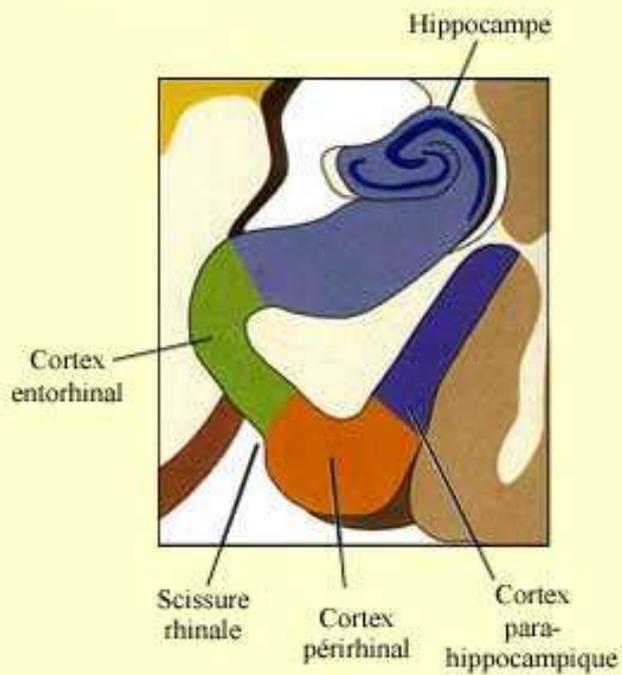
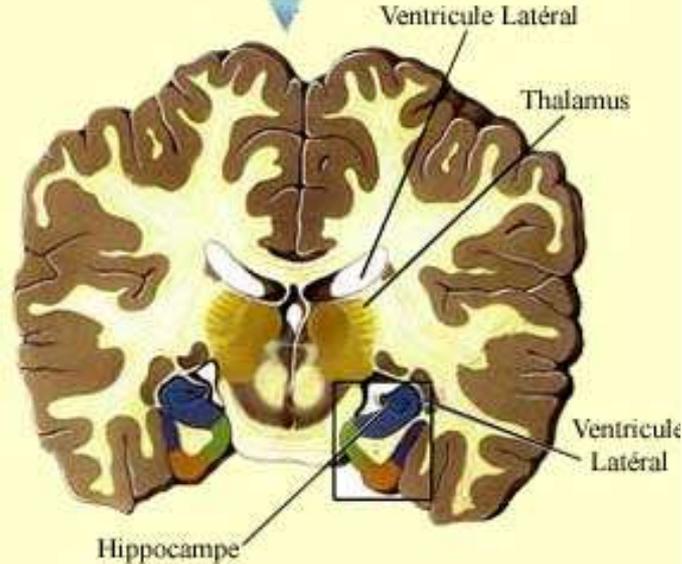
1) la “**navigation mentale**”,  
basé sur l'intégration des  
déplacements préalables

- 2) la “**navigation à vue**”,  
basée sur les relations  
spatiales entre les indices  
dans l'environnement);

La **disponibilité**  
plus ou moins  
grande d'indices  
extérieurs peut  
toutefois **favoriser**  
plus ou moins l'une  
des deux stratégies

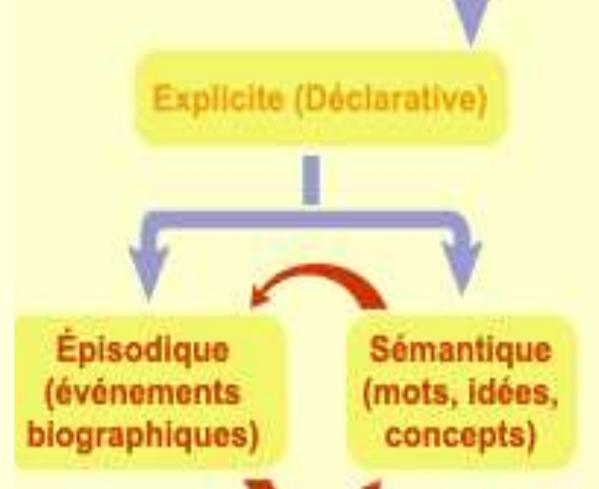
(peu d'indices ou  
l'obscurité  
favorisant par  
exemple le système  
egocentrique).





Notre mémoire déclarative dispose de **deux capacités distinctes...**

...qui dépendent aussi de **l'hippocampe.**



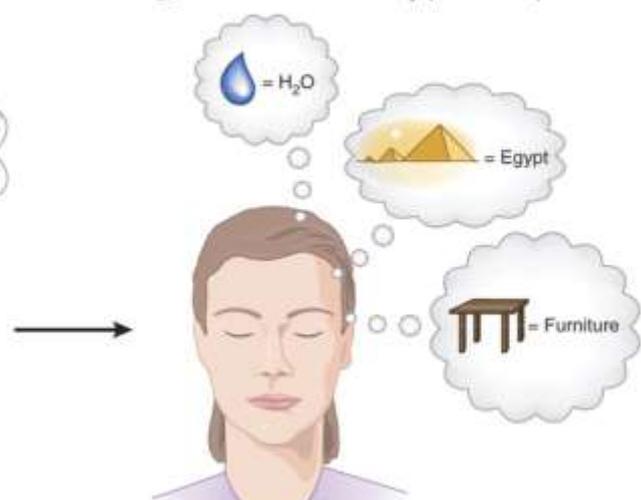
On pense que notre mémoire **épisodique** dériverait des capacité de parcours mental de nos cellules de gille.

Et notre mémoire **sémantique** des capacités de navigation « à vue » de nos cellules de lieu.

**c** Episodic memory (self-referenced)



**d** Semantic memory (allocentric)



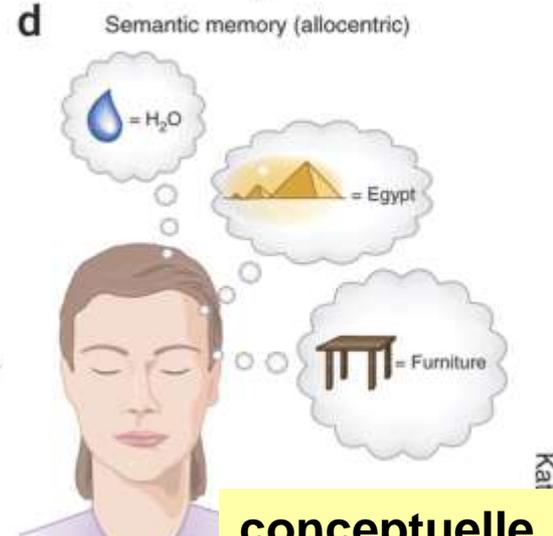
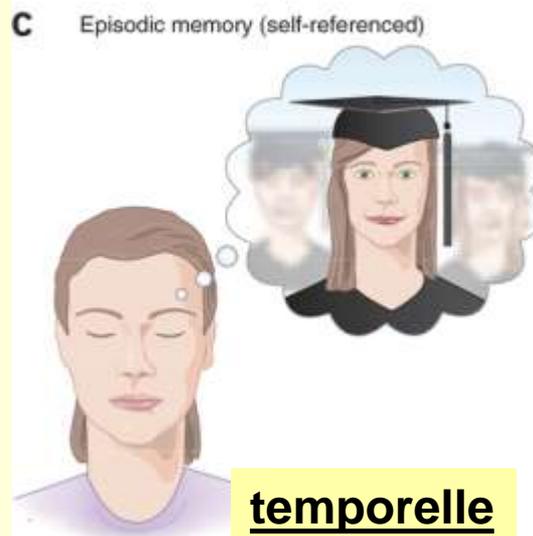
mais aussi encore spatiale :

navigation mentale

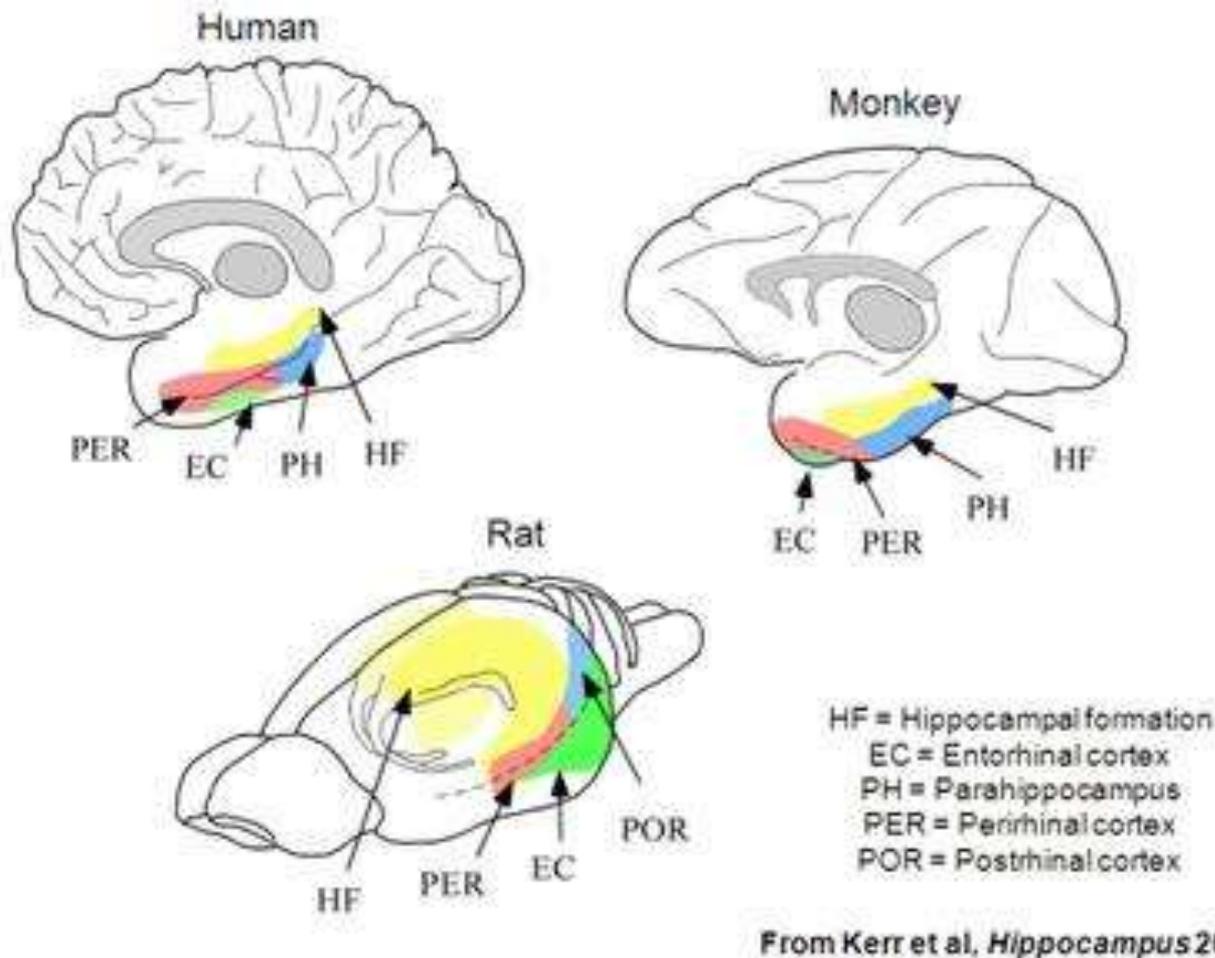
+

navigation « à vue »

Chez l'humain, les mêmes réseaux de neurones supporteraient donc **différentes formes de navigation :**



## Le bricolage de l'évolution



D'où leur **hypothèse d'une continuité phylogénétique de la navigation spatiale et de la mémoire** chez les mammifères, y compris chez l'humain :

« *we propose that **mechanisms of memory and planning have evolved from mechanisms of navigation** in the physical world* »

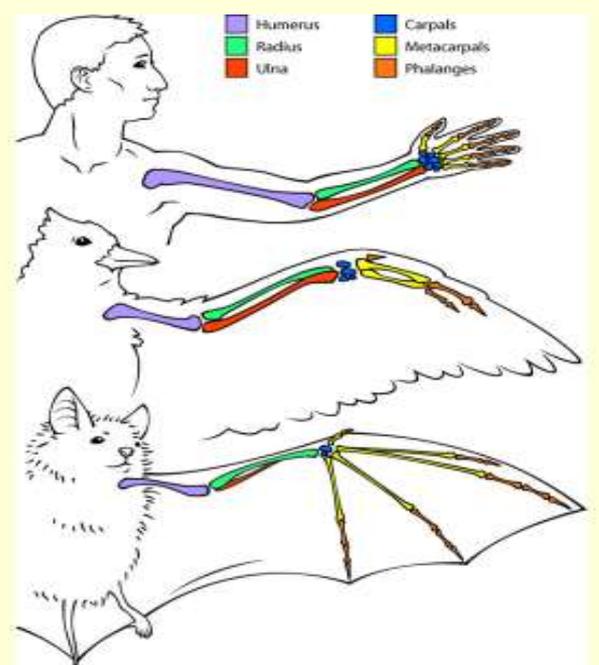
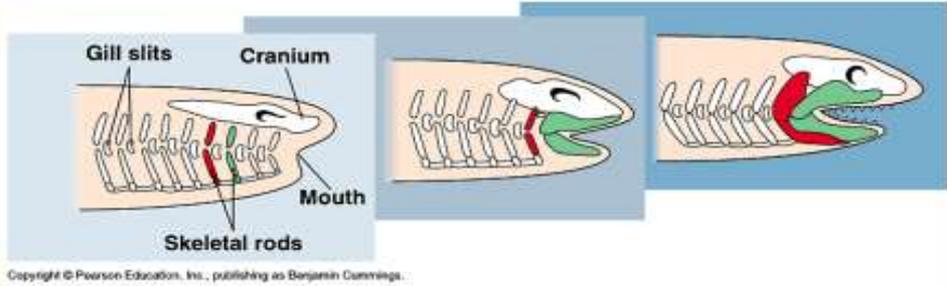
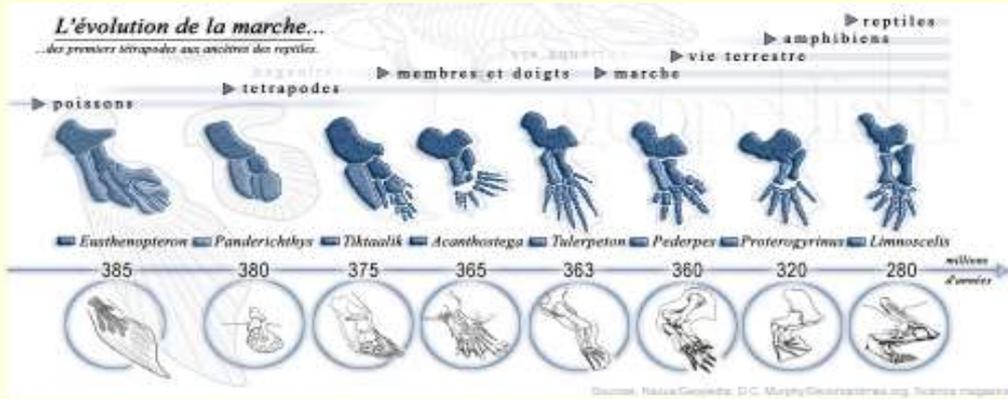
Le bricolage  
de l'évolution



« L'évolution travaille sur ce qui existe déjà. [...]

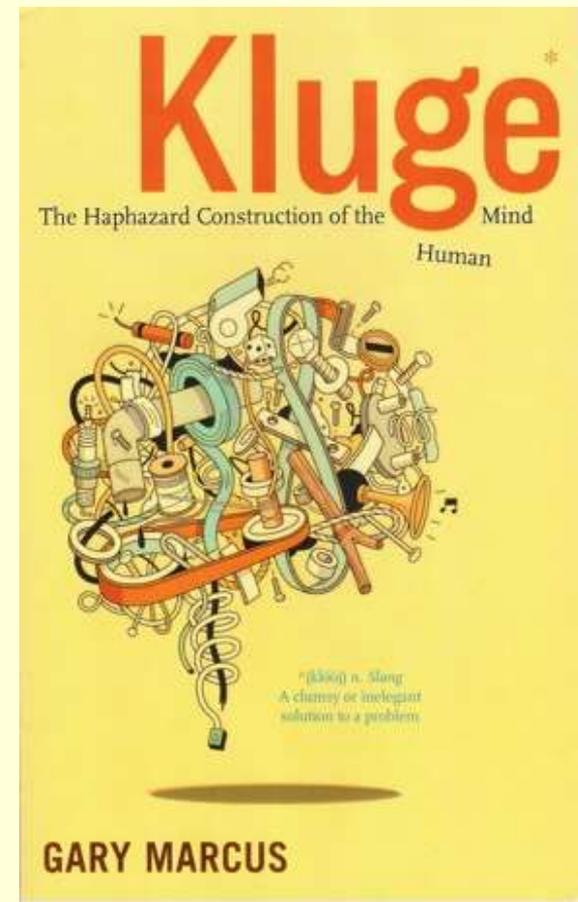
La sélection naturelle opère à la manière **non d'un ingénieur, mais d'un bricoleur**; un bricoleur qui ne sait pas encore ce qu'il va produire, mais **recupère** tout ce qui lui tombe sous la main. »

- François Jacob  
(Le Jeu des possibles, 1981)



Cette idée était discutée autour des années 2000 avec ce que certains ont regroupé sous l'appellation générale de “cognition empruntée”, ou “borrowed cognition”, en anglais :

- la “neural exploitation hypothesis », de Gallese et Lakoff, en 2005.
- les “shared circuits model” de Hurley, en 2005
- Gary Marcus et son livre Kluge paru en 2008

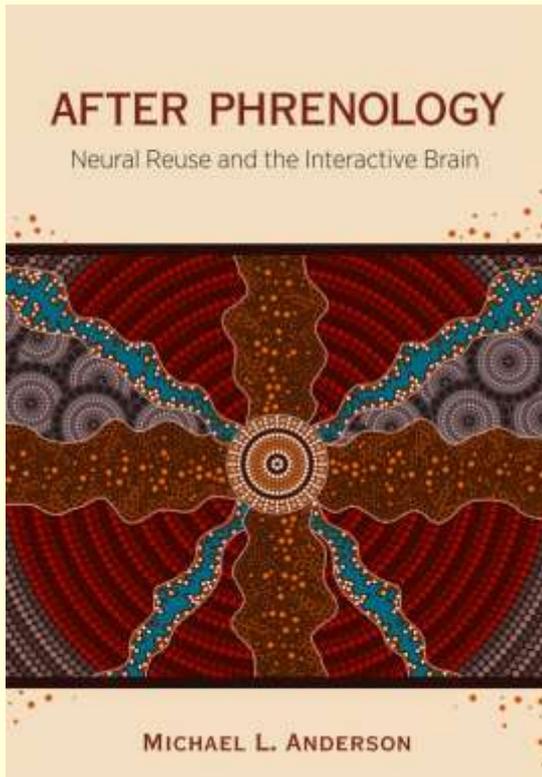




**Le BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Lundi, 9 mars 2015

## La « réutilisation neuronale » pour enfin sortir de la phrénologie ?



Dans son livre *After Phrenology :  
Neural Reuse and the Interactive Brain,*

**Michael Anderson** nous propose  
d'aller au-delà de la phrénologie

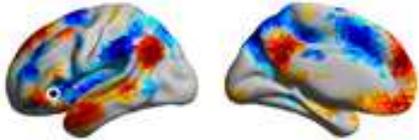
avec une approche alternative  
fondée sur ce qu'il appelle  
la « **réutilisation neuronale** »

(« neural reuse », en anglais,  
un cas de recyclage neuronal).

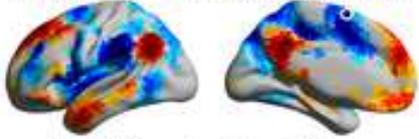
Séance 1 :

Left Hemisphere Hubs

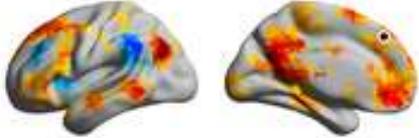
Broca's Area (Br)



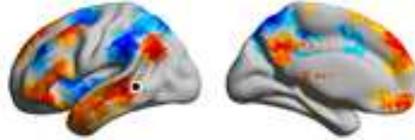
Left Supplementary Motor Area (I-S)



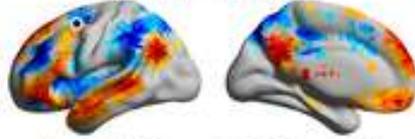
Medial Superior Frontal (SF)



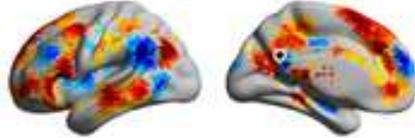
Wernicke's Area (We)



Lateral Premotor (LP)

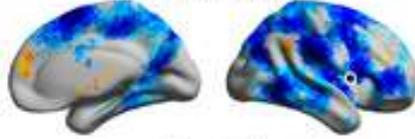


Posterior Cingulate Cortex (PC)

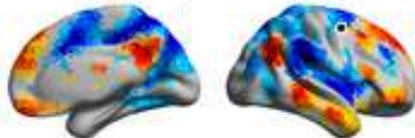


Right Hemisphere Hubs

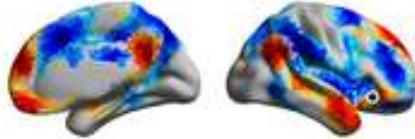
Mid Insula (MI)



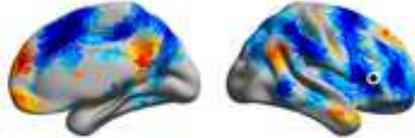
Frontal Eye Fields (FE)



Broca's Homologue (Bh)

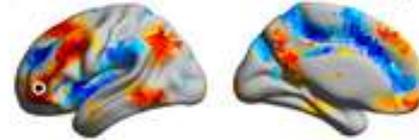


Anterior Insula (AI)



Séance 2 :

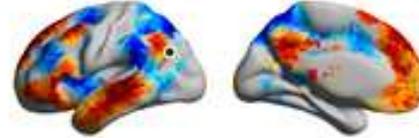
Inferior Dorsolateral Prefrontal Cortex (DP)



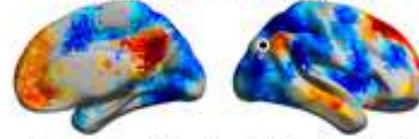
Medial Prefrontal Cortex (MP)



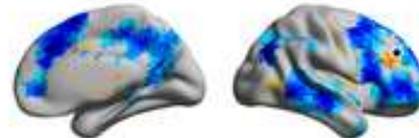
Lateral Temporoparietal Junction (TP)



Parietooccipital Cortex (PO)



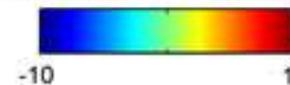
Dorsolateral Prefrontal Cortex (DL)



Mid Cingulate Cortex (MC)



Right-Lateralized Left-Lateralized



Séance 3 :

L'humain découvre la grammaire de base de son système nerveux

Séance 4 :

Des circuits de millions de neurones : plaisir, douleur, apprentissage, mémoire

Séance 5 :

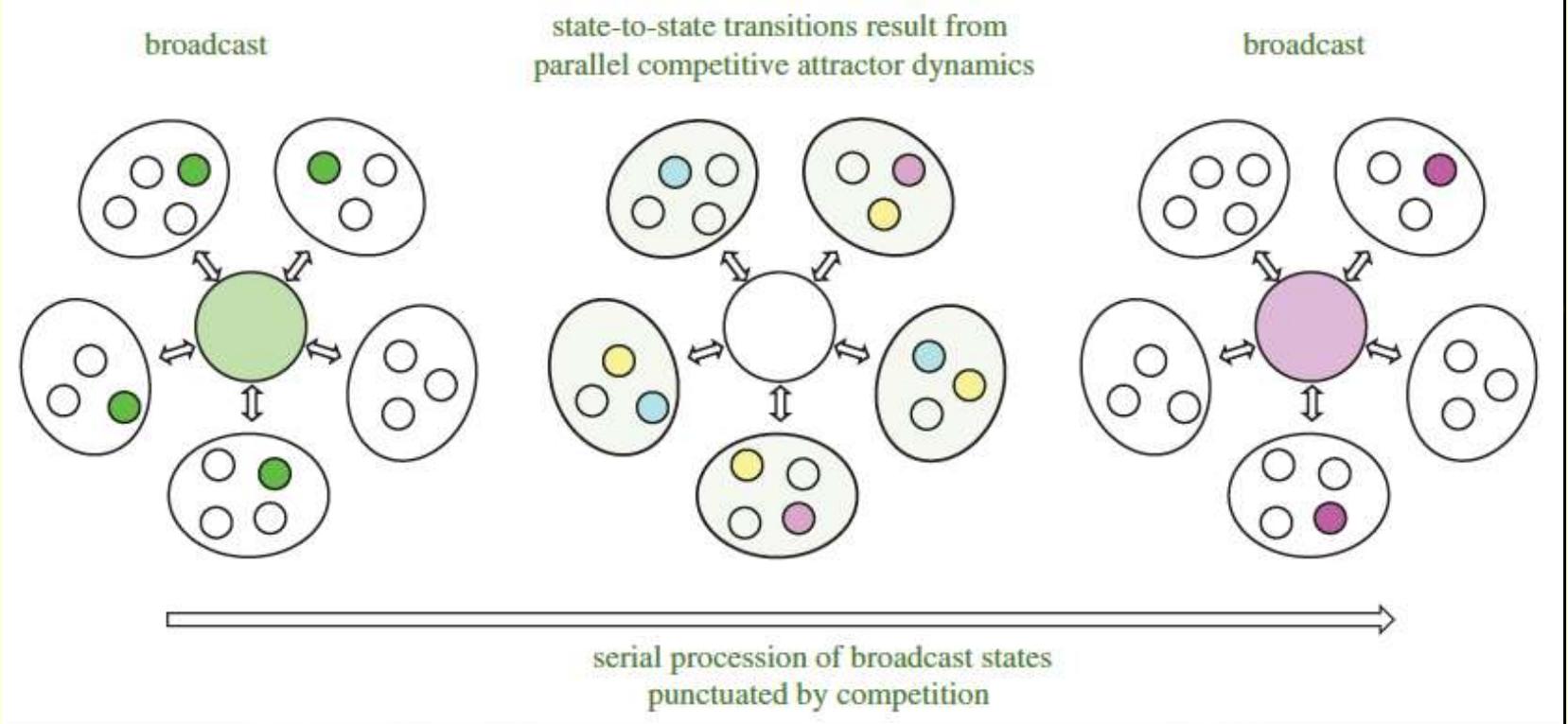
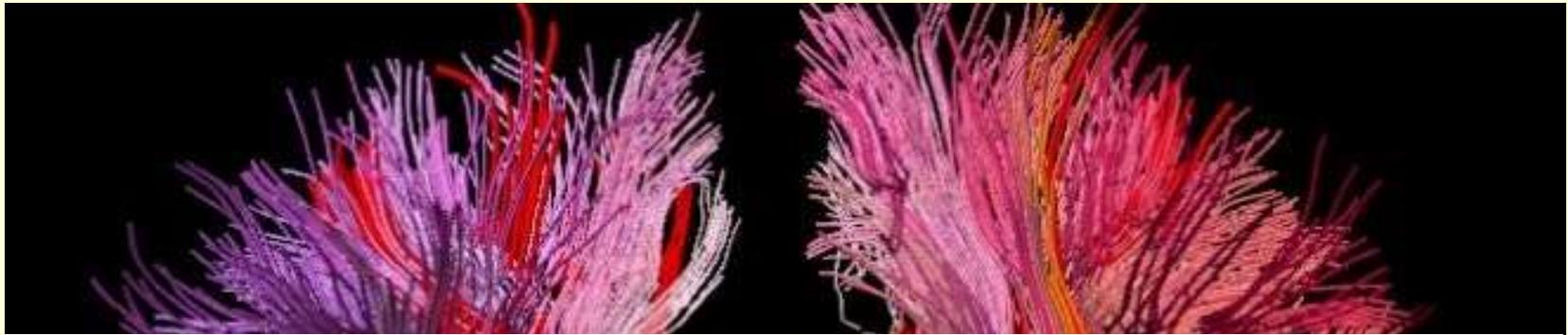
Cartographier des réseaux de milliards de neurones à l'échelle du cerveau entier



On se rend compte que le cerveau est anatomiquement « surconnecté » .







et on doit trouver à tout moment une façon de **mettre en relation** (de « synchroniser ») les meilleures « assemblées de neurones » pour faire face à une situation.



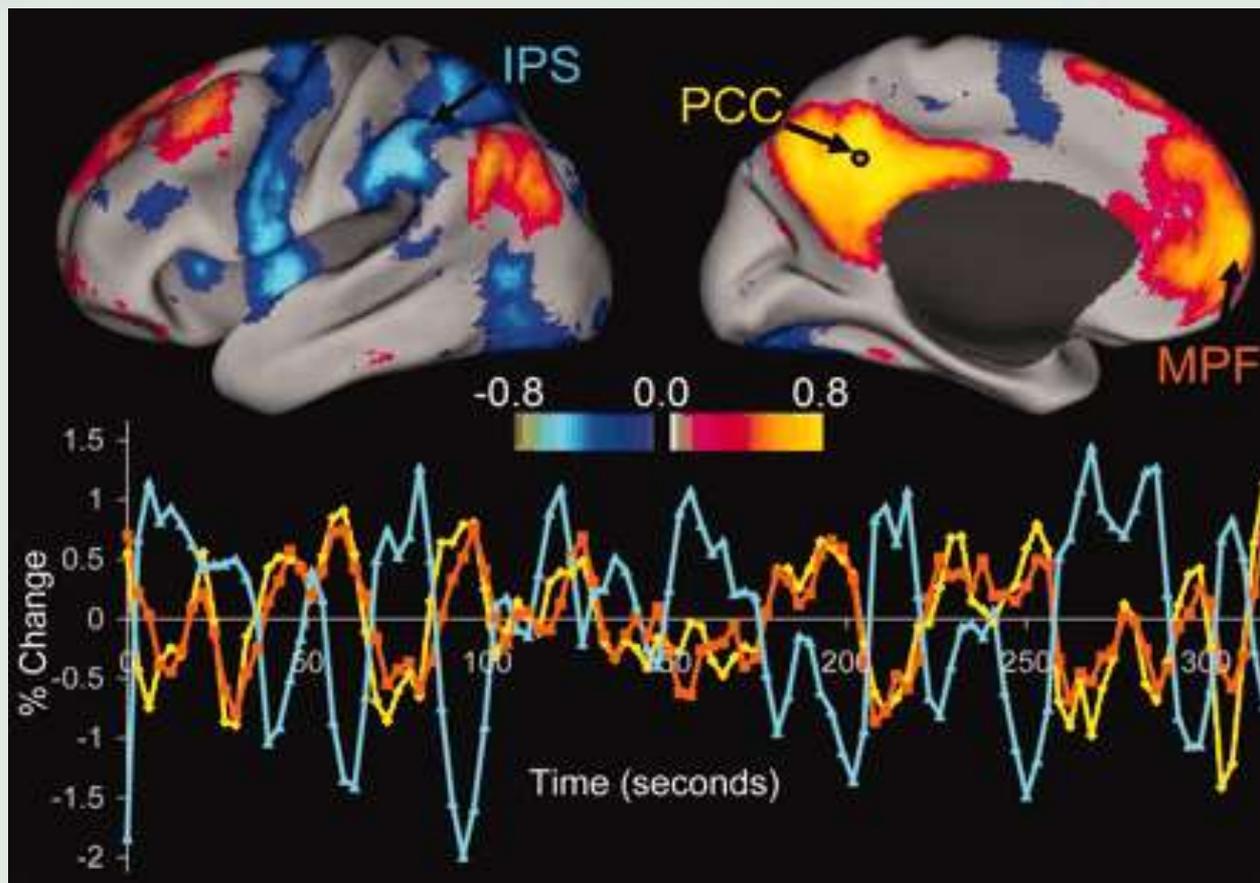


© Can Stock Photo

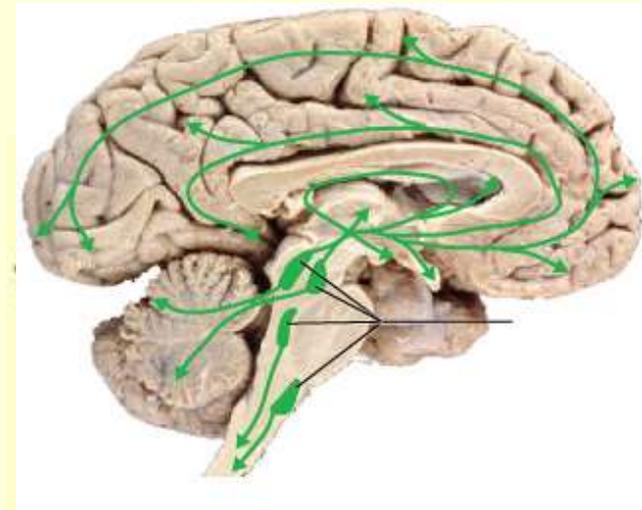


Dorsal Attention Network

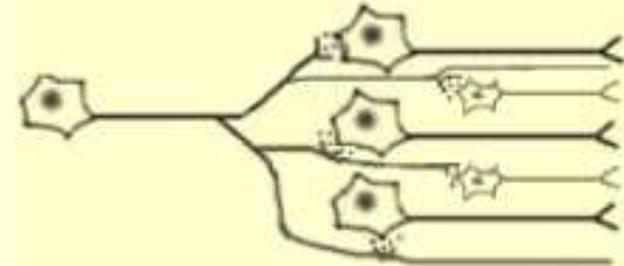
Default Mode Network



Il devient alors nécessaire de postuler l'existence de mécanismes capables de faire en sorte que ces différentes régions différenciées **se trouvent** et puissent **collaborer ensemble** pour former des **réseaux** fonctionnels.

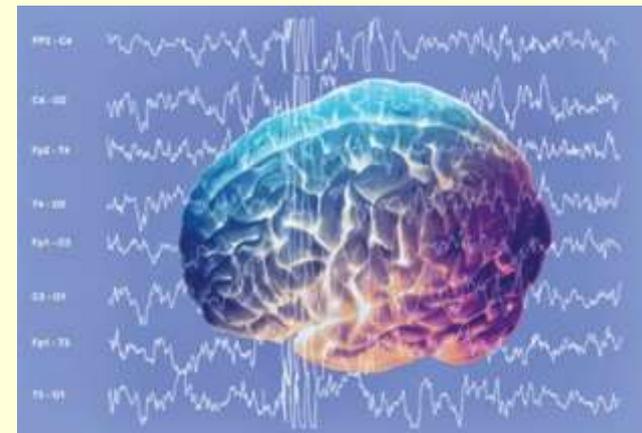


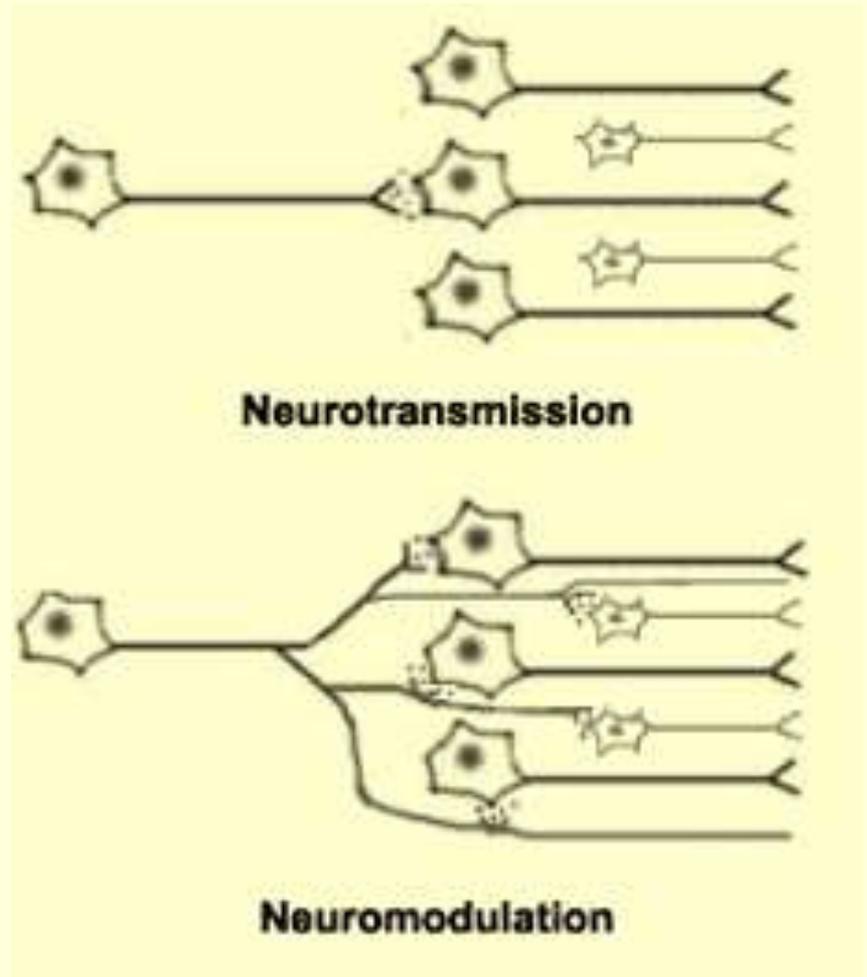
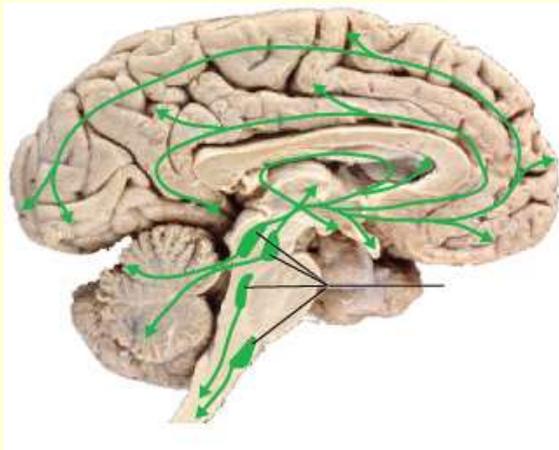
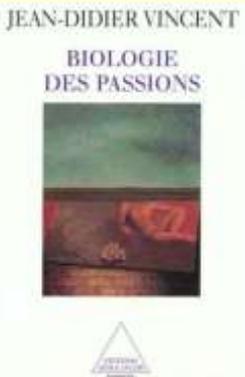
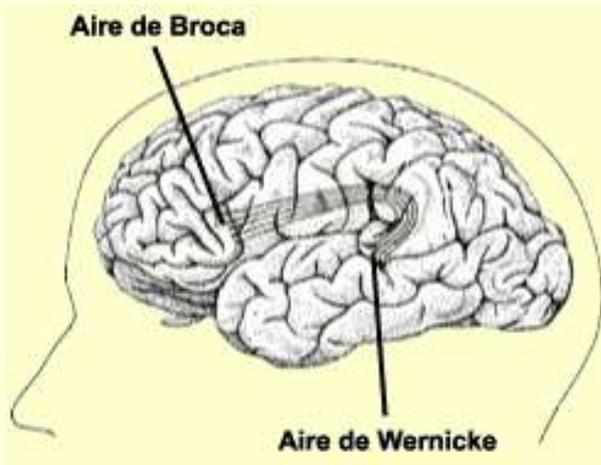
Parmi les mécanismes de recherche de coalitions, Anderson mentionne par exemple la sélection de circuits latents grâce à la **neuromodulation** qui vont permettre d'aller chercher le bon sous-ensemble de régions pour une situation donnée.



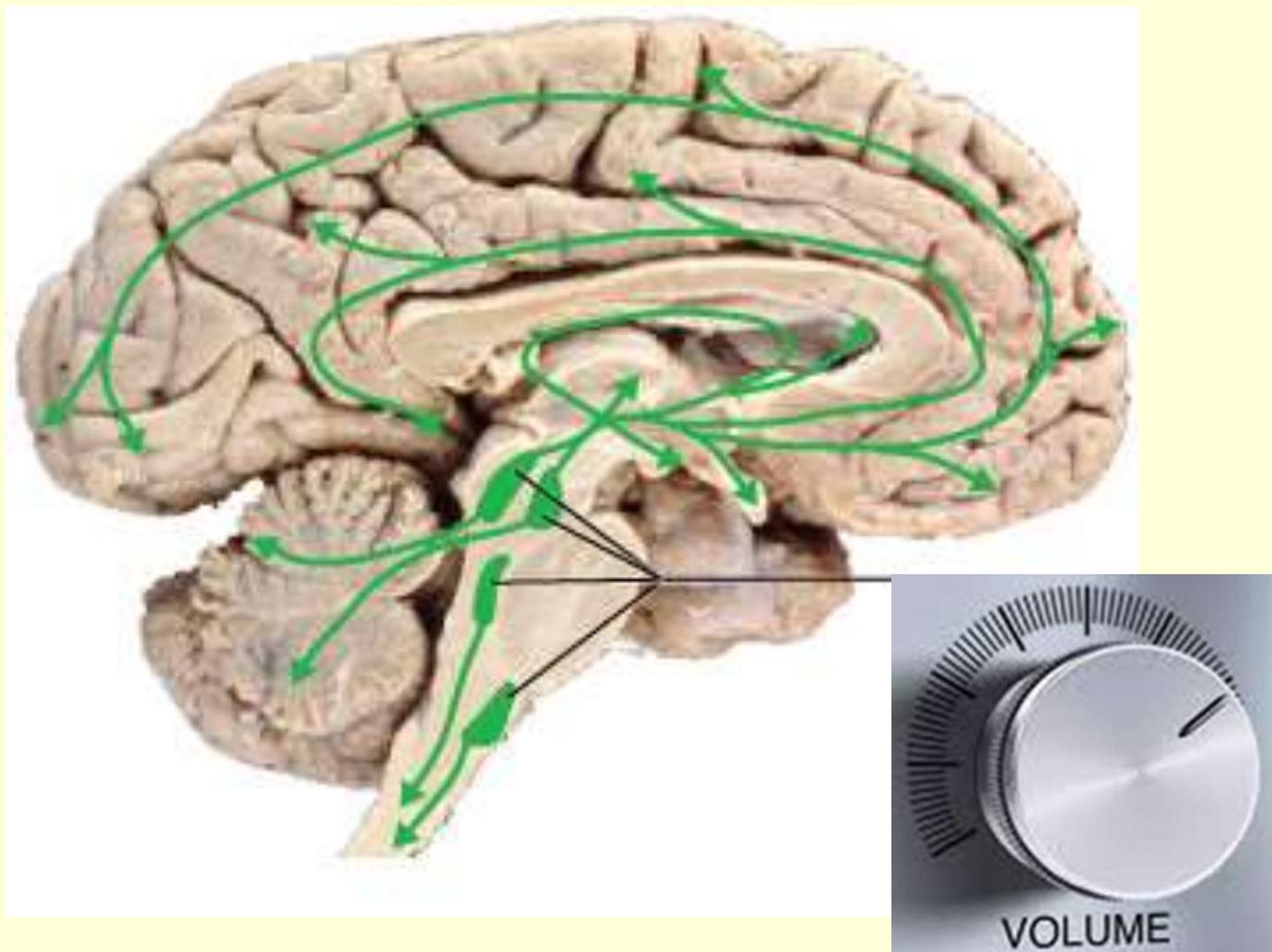
**Neuromodulation**

On pense aussi clairement ici à des phénomènes comme la **synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones.

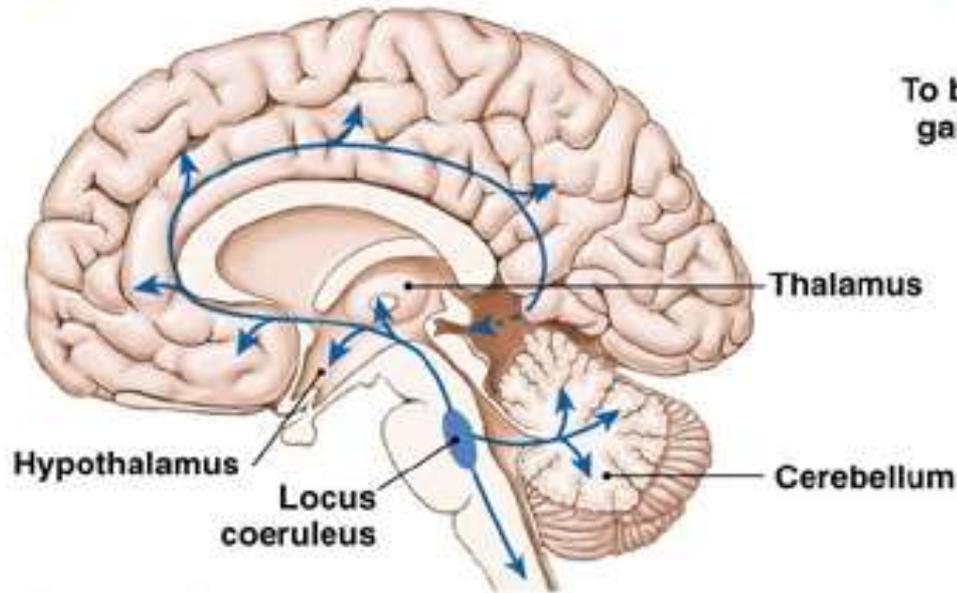




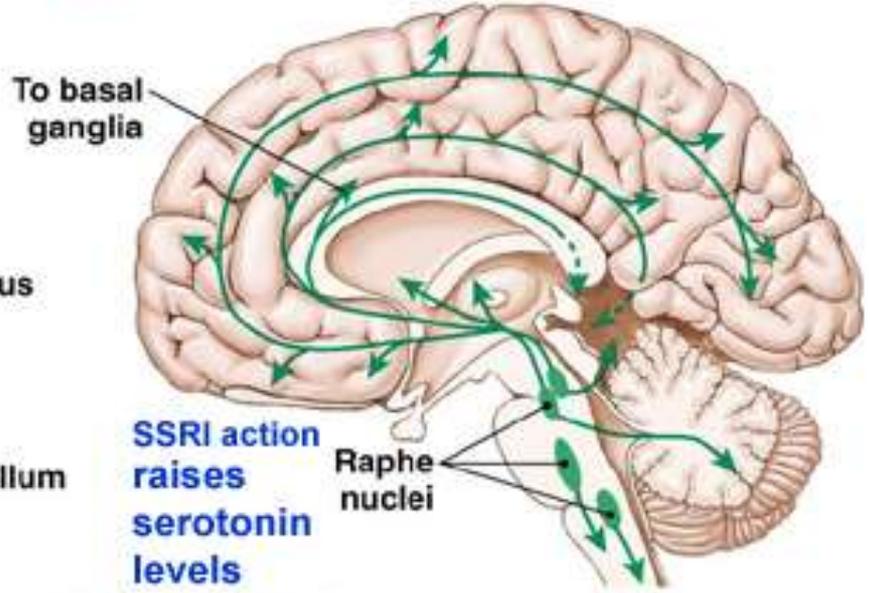
# “cerveau hormonal”



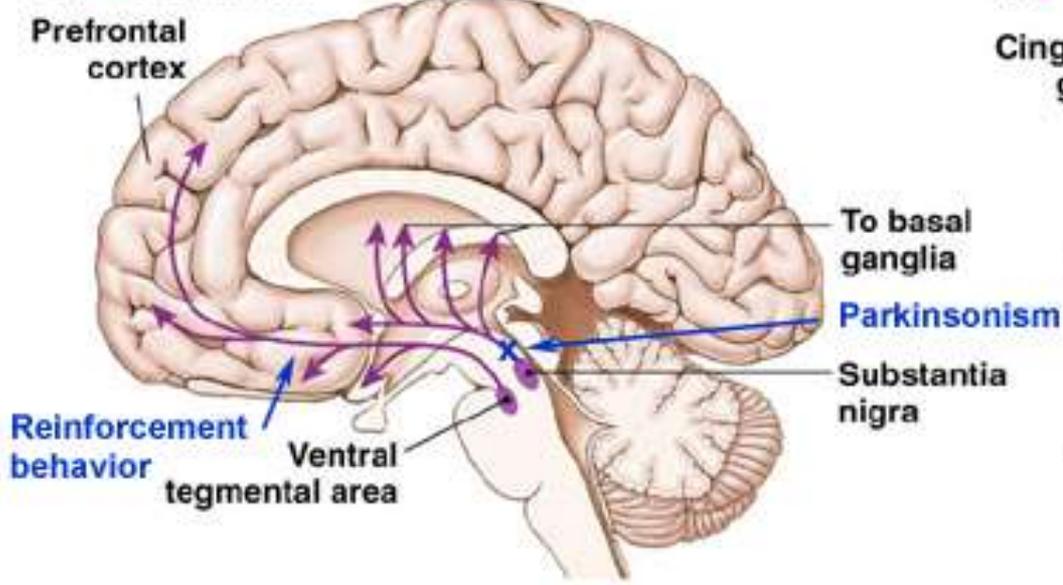
**(a) ● Norepinephrine**



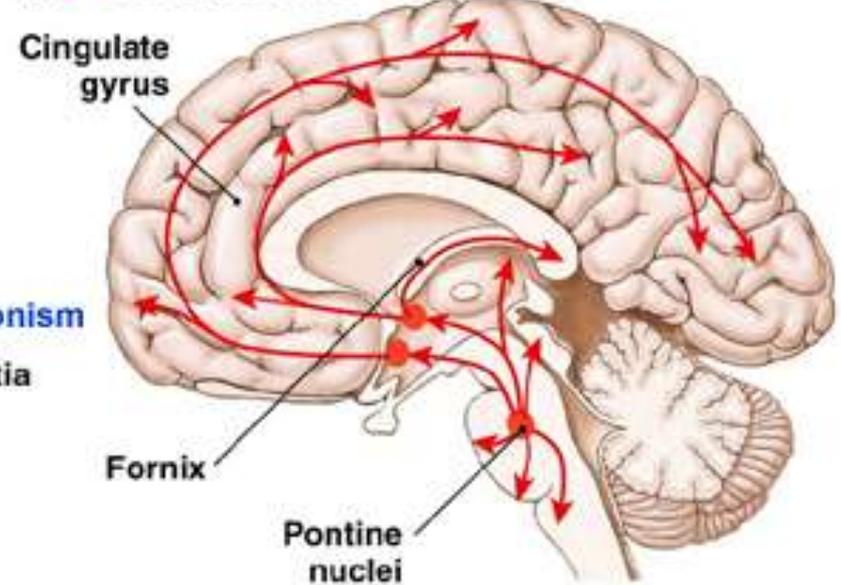
**(b) ● Serotonin**



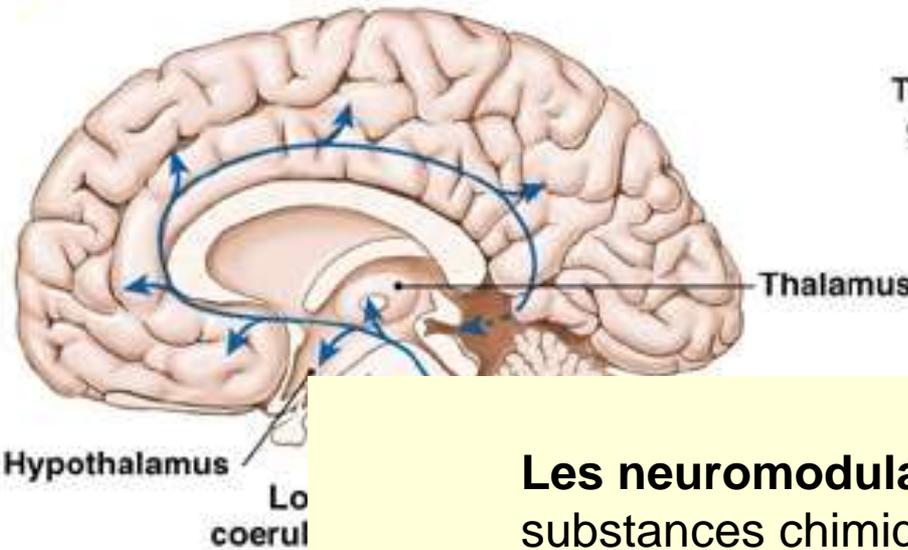
**(c) ● Dopamine**



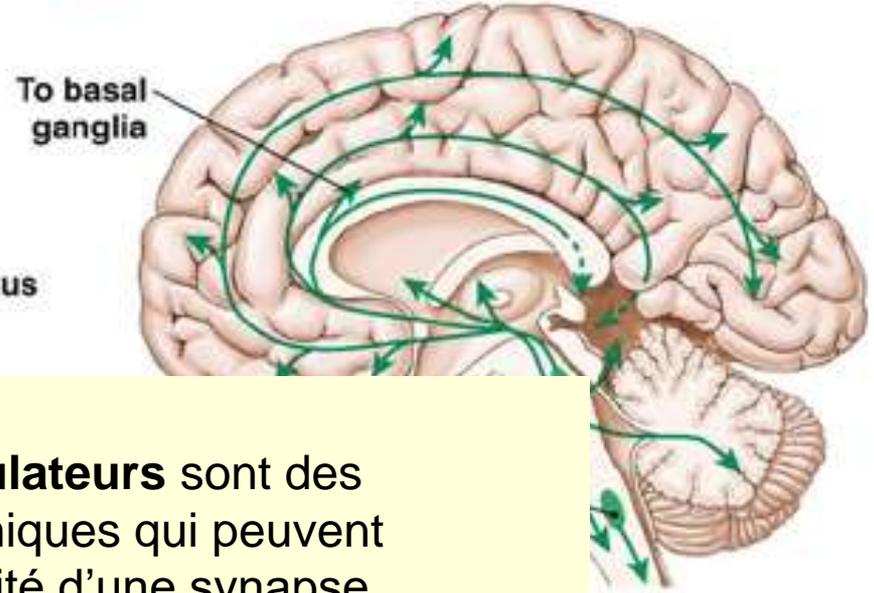
**(d) ● Acetylcholine**



(a) ● Norepinephrine

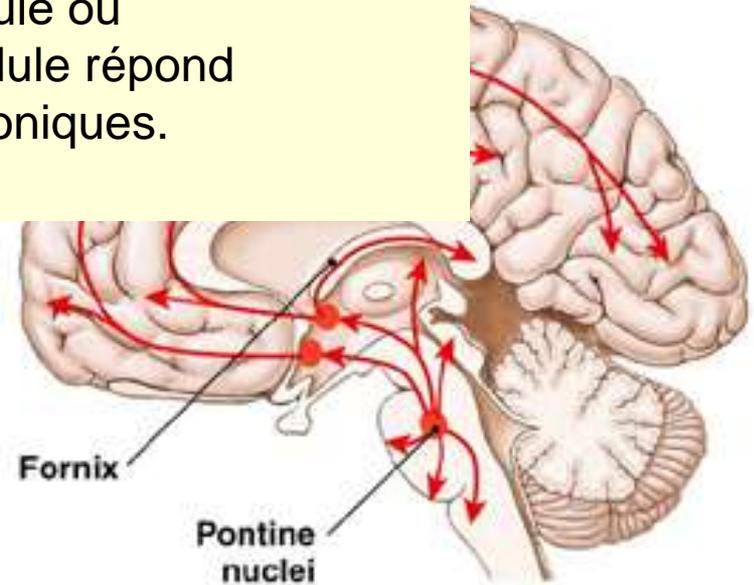
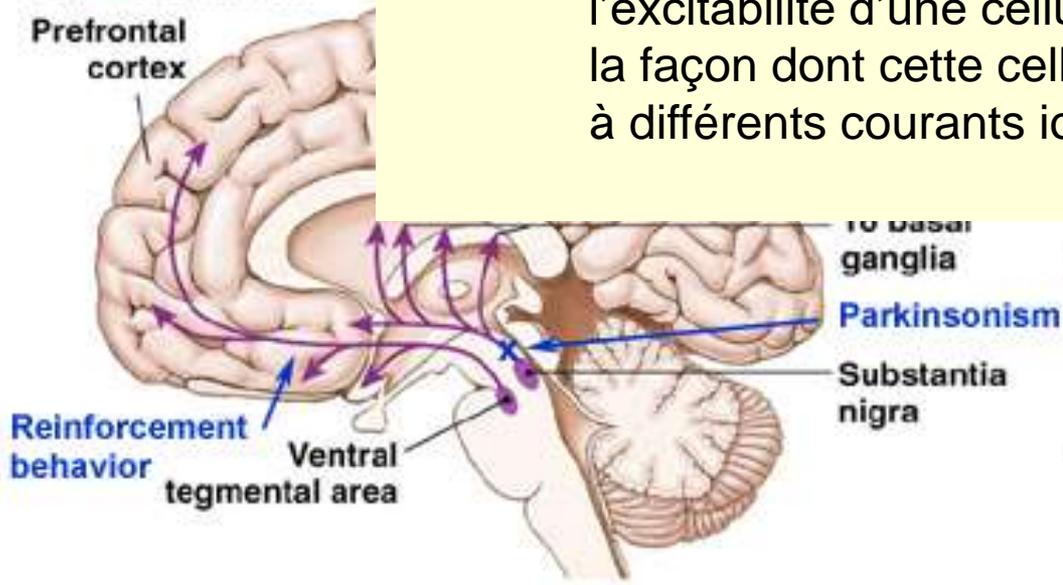


(b) ● Serotonin



**Les neuromodulateurs** sont des substances chimiques qui peuvent changer l'efficacité d'une synapse, l'excitabilité d'une cellule ou la façon dont cette cellule répond à différents courants ioniques.

(c) ● Dopamine

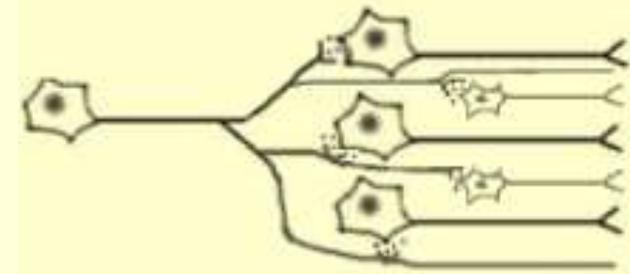


La **neuromodulation** peut avoir plusieurs effet, dont deux fréquents :

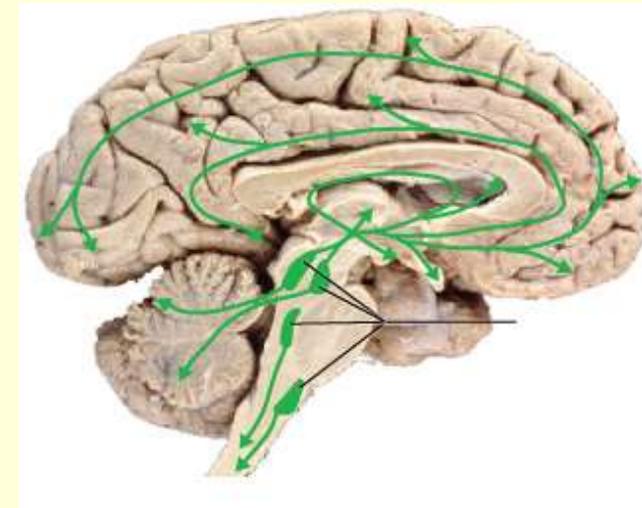
- l'**ajustement du gain** d'un stimulus sensoriel



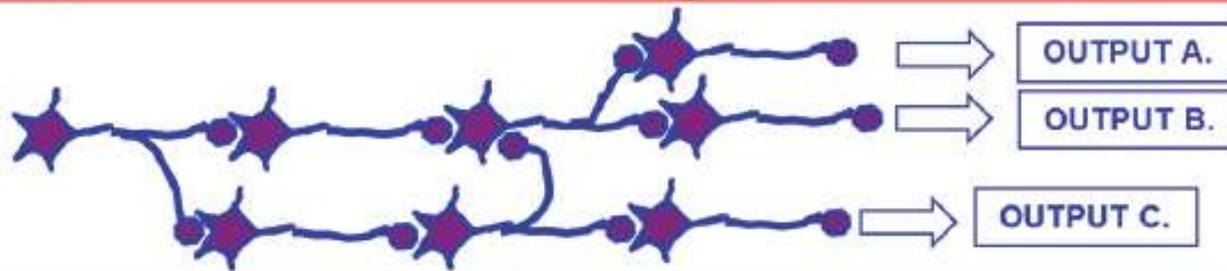
- permettre ou non l'entrée d'un input ("**gating**")



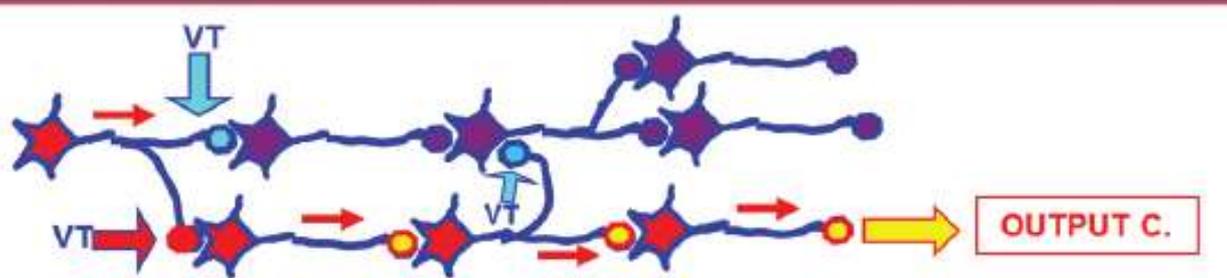
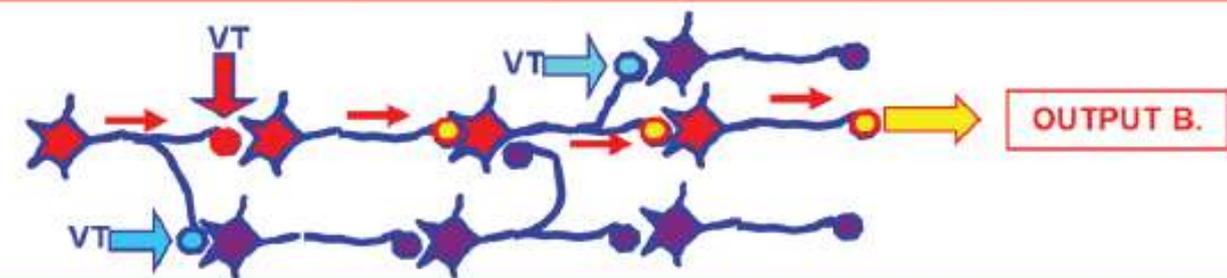
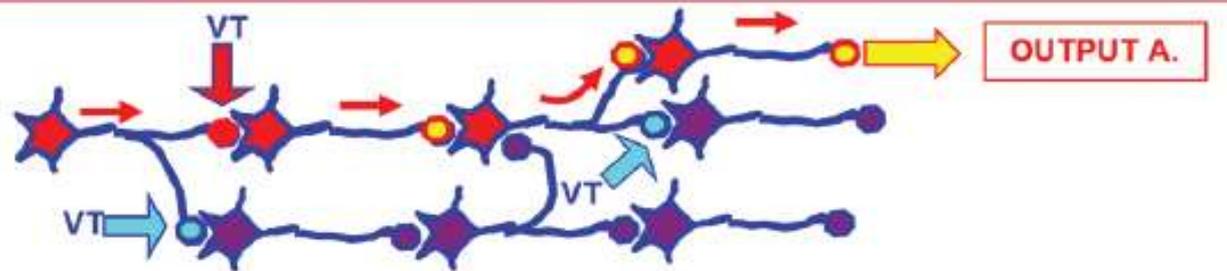
**Neuromodulation**



A NEW MECHANISM FOR THE UNDERSTANDING OF THE INTEGRATIVE ACTIONS OF NEURAL NETWORKS  
CAN BE DEDUCED FROM THE **CONCEPT OF VT** AND FROM THE **EXISTENCE OF POLYMORPHIC NETWORKS**



- UPREGULATING VT SIGNAL
- DOWNREGULATING VT SIGNAL**
- UPREGULATED SYNAPSE
- DOWNREGULATED SYNAPSE
- ACTIVE SYNAPSE
- INACTIVE SYNAPSE
- INFORMATION FLOW



THREE DIFFERENT  
OUTPUTS  
**A. B. C.**  
FROM THE SAME  
NEURONAL NETWORK  
THANKS TO THE  
MODULATORY ACTIONS OF  
VT SIGNALS

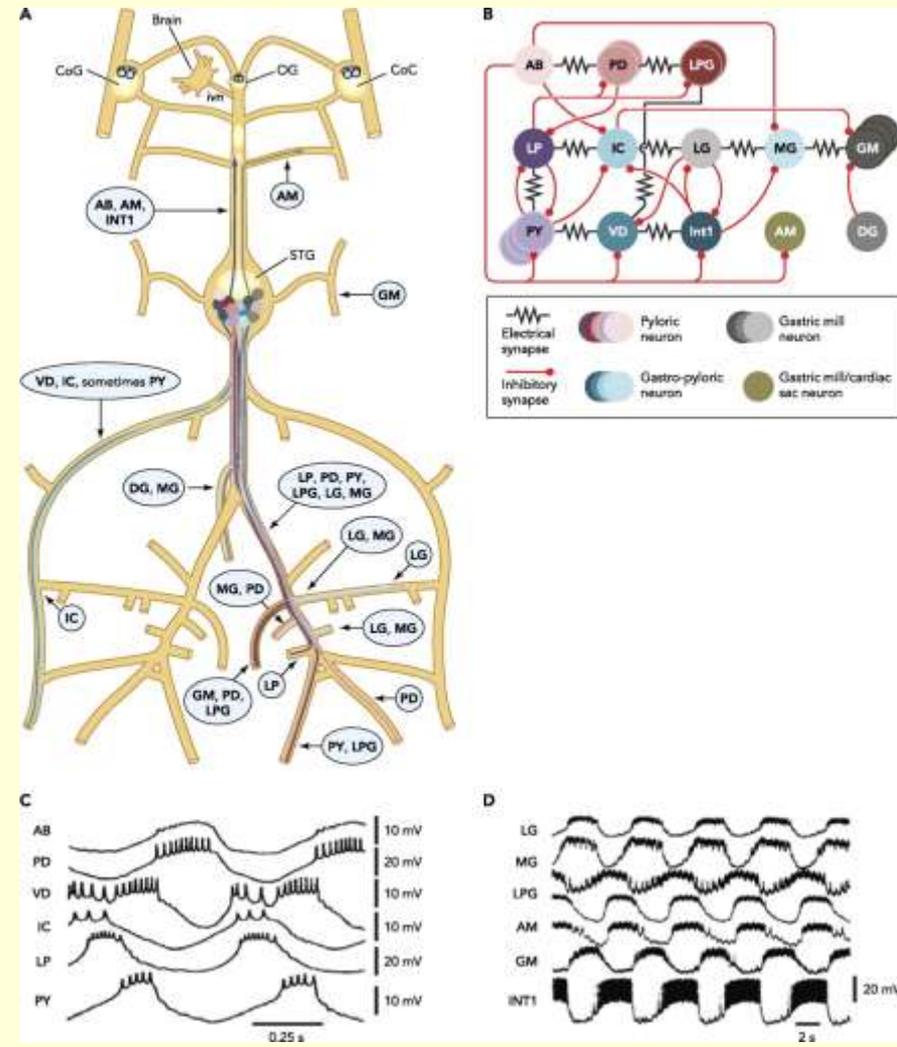
“Quand on a commencé à étudier les neuromodulateurs sur les ganglions somatogastriques du homard, on a réalisé que **le même circuit pouvait avoir plusieurs types d’outputs différents dépendamment des neuromodulateurs qu’on lui appliquait.**

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

Et cette idée s’applique aujourd’hui quand on considère des phénomènes comme les états émotionnels ou les troubles mentaux. »

Brain Science Podcast 56 :  
Eve Marder

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



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

ce qui permet de tirer de ressources neuronales restreintes le maximum de comportements possibles (pour mieux s'adapter à son environnement).

## AFTER PHRENOLOGY

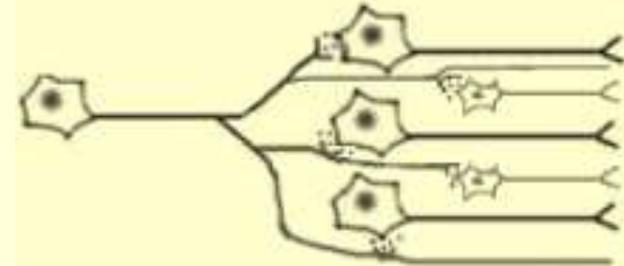
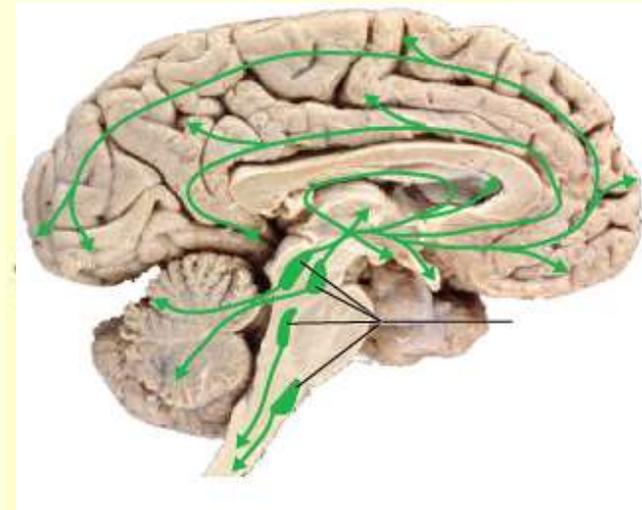
Neural Reuse and the Interactive Brain



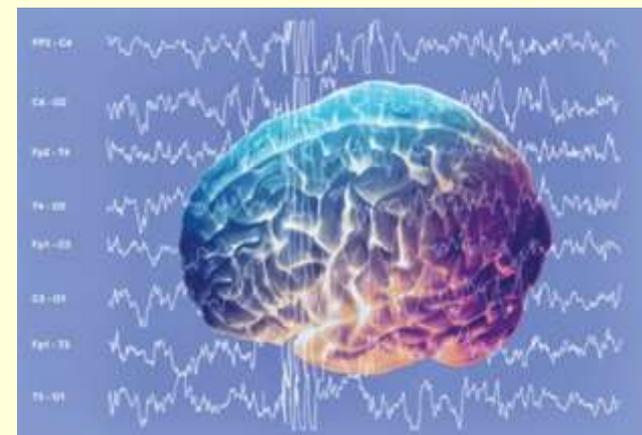
MICHAEL L. ANDERSON

Parmi les mécanismes de recherche de coalitions, Anderson mentionne par exemple la sélection de circuits latents grâce à la **neuromodulation** qui vont permettre d'aller chercher le bon sous-ensemble de régions pour une situation donnée.

On pense aussi clairement ici à des phénomènes comme la **synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones.



**Neuromodulation**



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « connais-toi  
toi-même » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « poussière  
d'étoile »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire

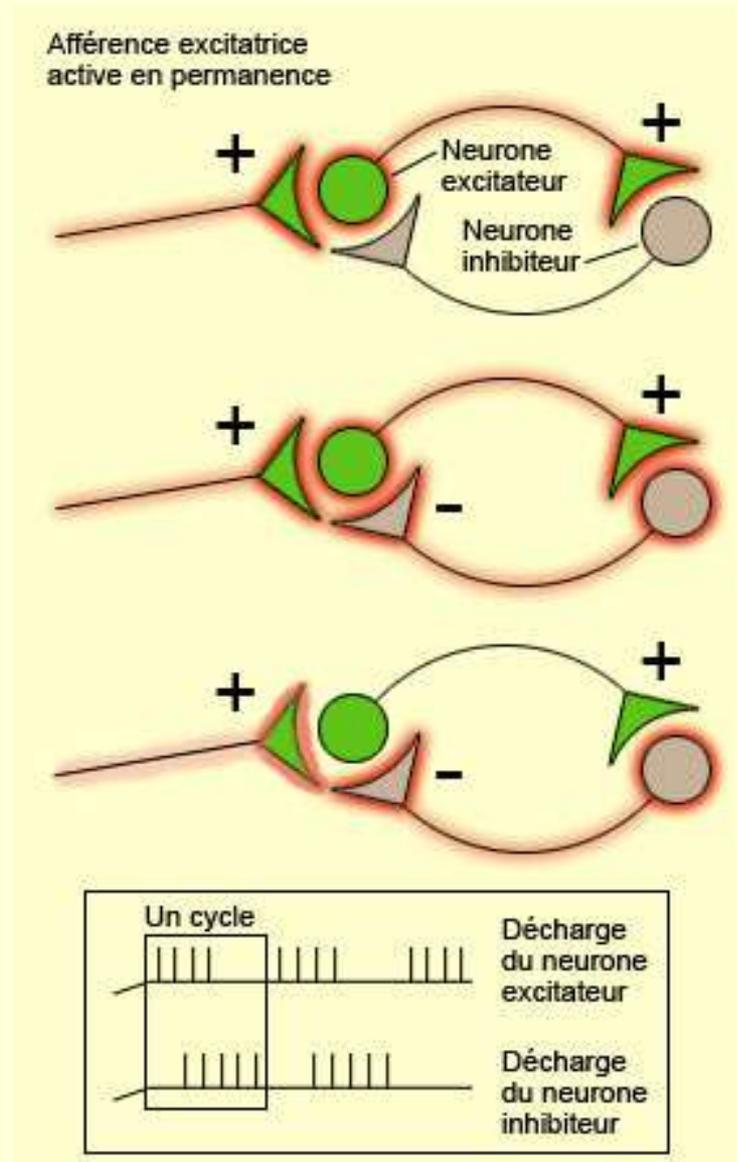
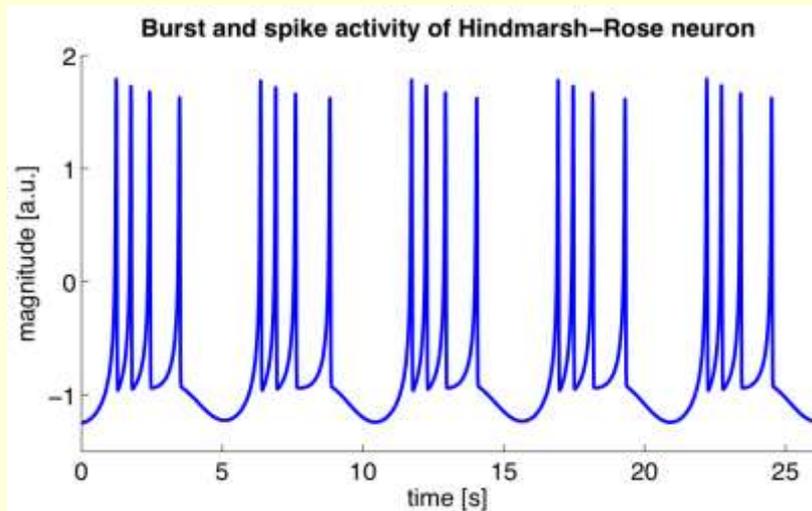
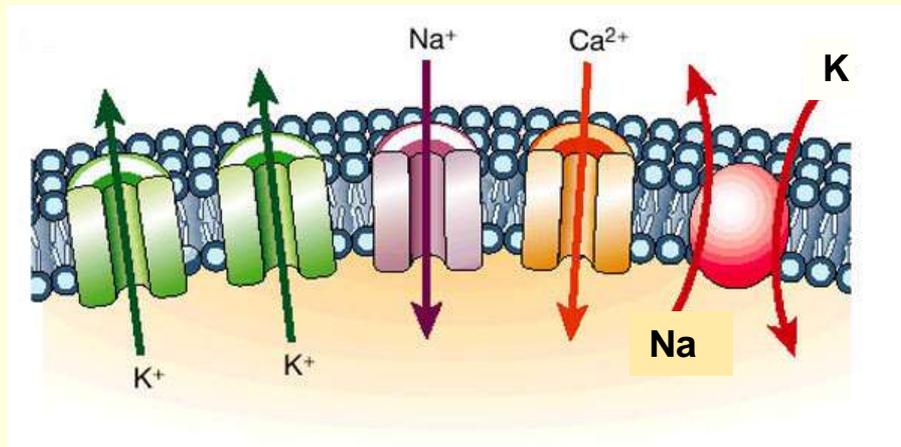


Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner

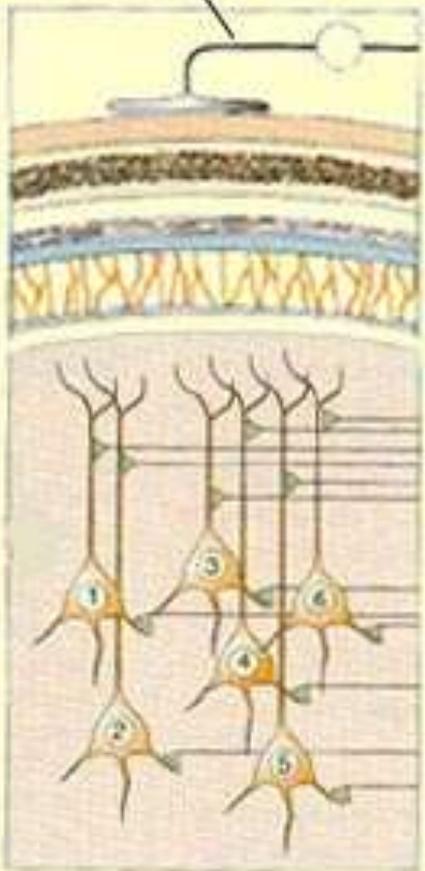


Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

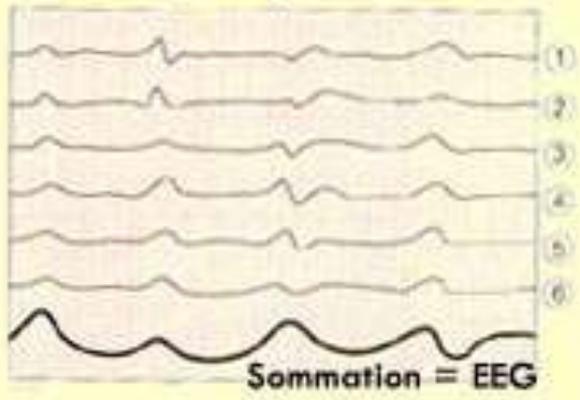




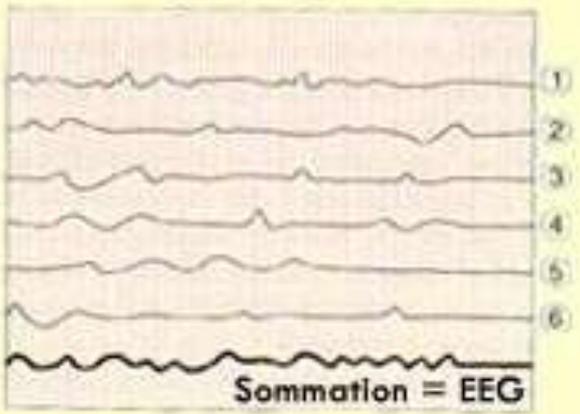
# Électrode d'EEG



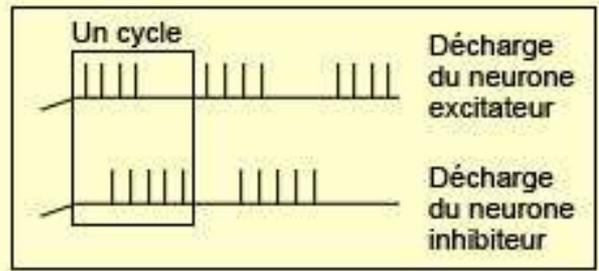
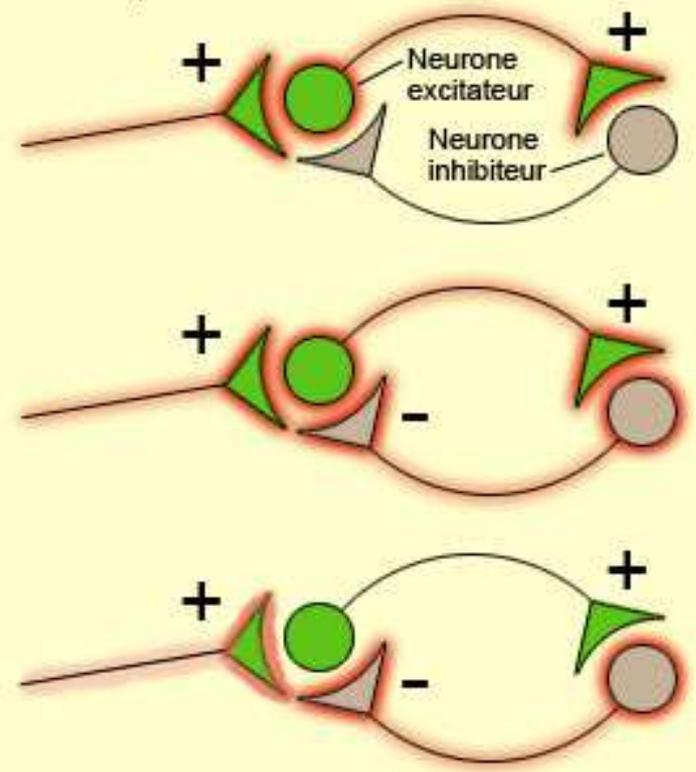
# Décharges synchronisées



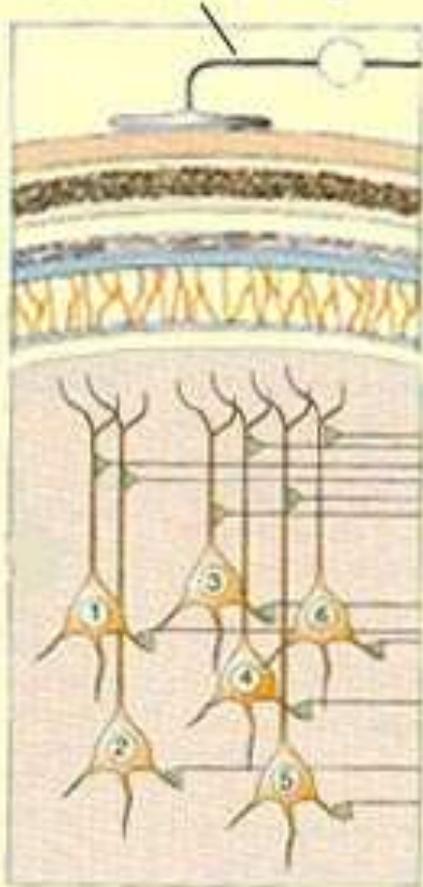
# Décharges irrégulières



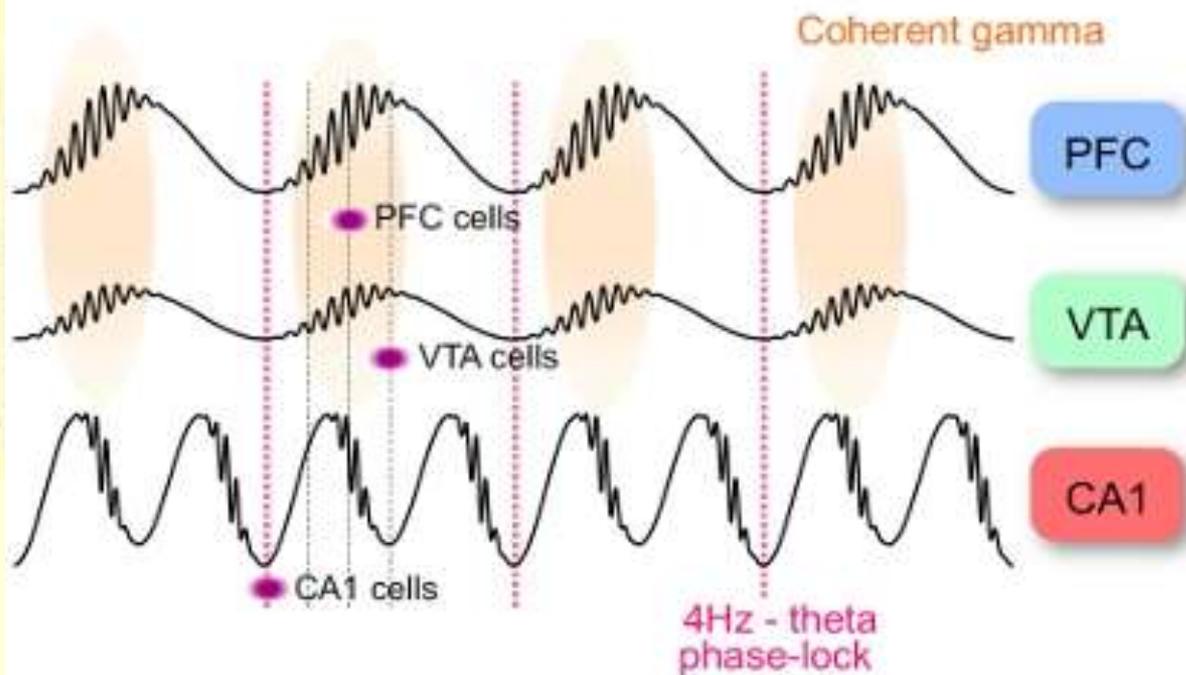
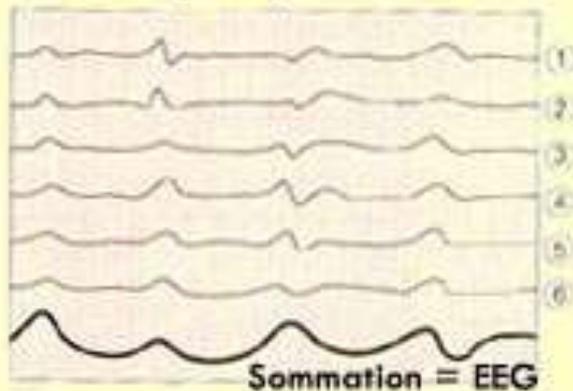
Afférence excitatrice active en permanence

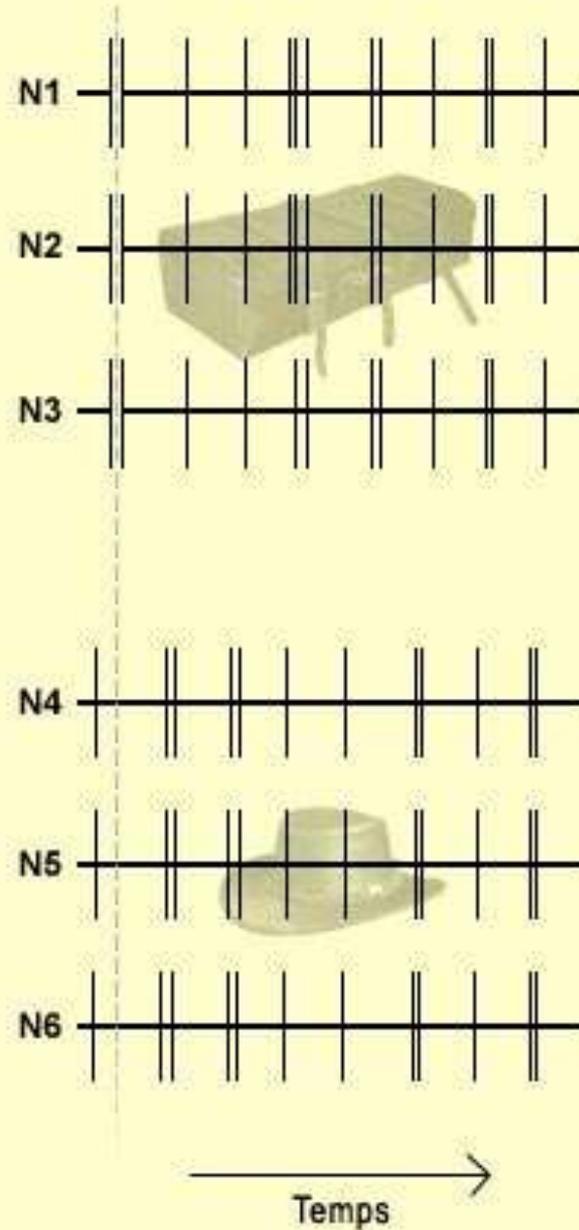
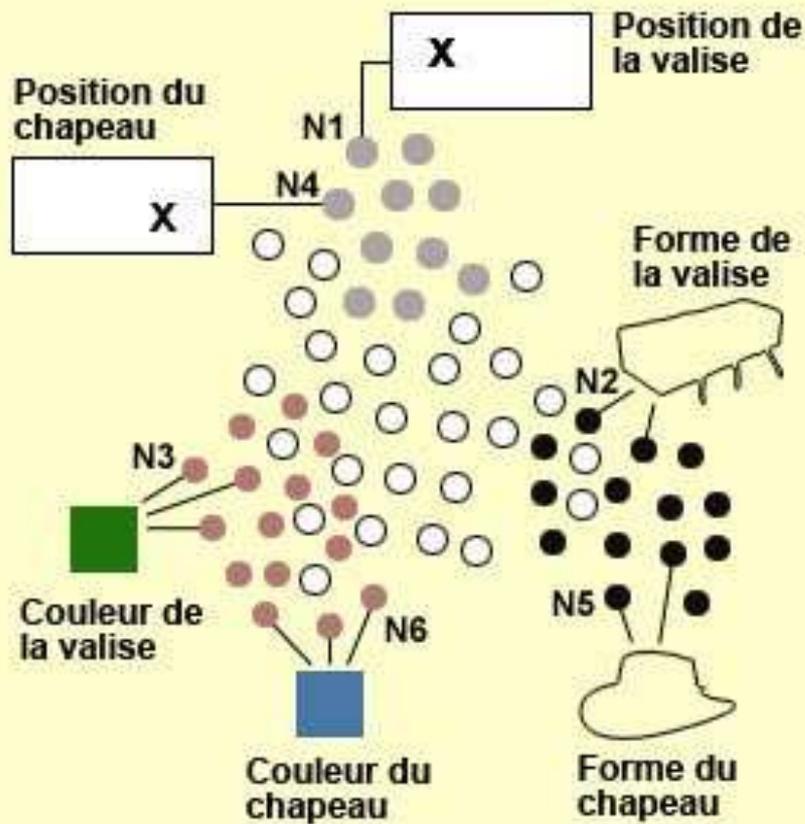


## Électrode d'EEG



## Décharges synchronisées





Séance 10 : « **Moi** »  
**conscient versus motivations  
inconscientes :**  
**notre espèce a-t-elle de l'avenir ?**



Séance 1 :  
**Le « connais-toi  
toi-même » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives**



Séance 2 :  
**De la « poussière  
d'étoile »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui**



Séance 3:  
**L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux**



Séance 4 :  
**Des circuits de  
millions de  
neurones :**  
**plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire**



Séance 5 :  
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**



Séance 6 :  
**Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner**



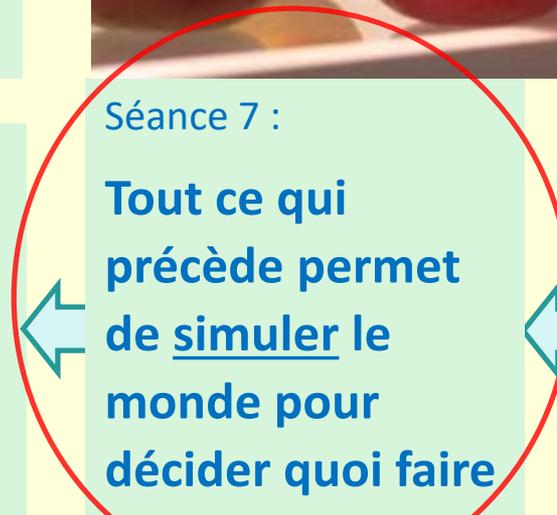
Séance 7 :  
**Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire**

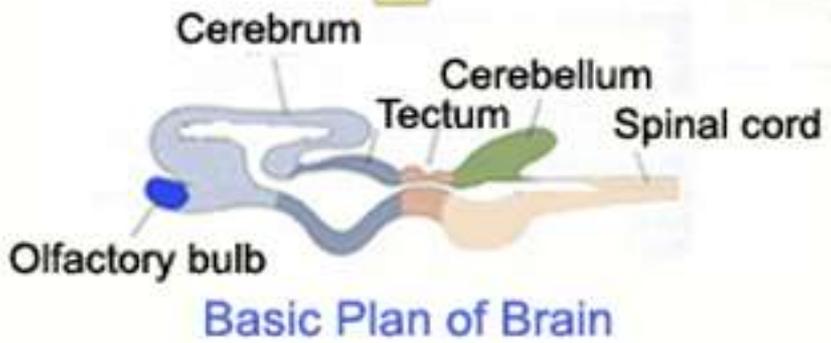
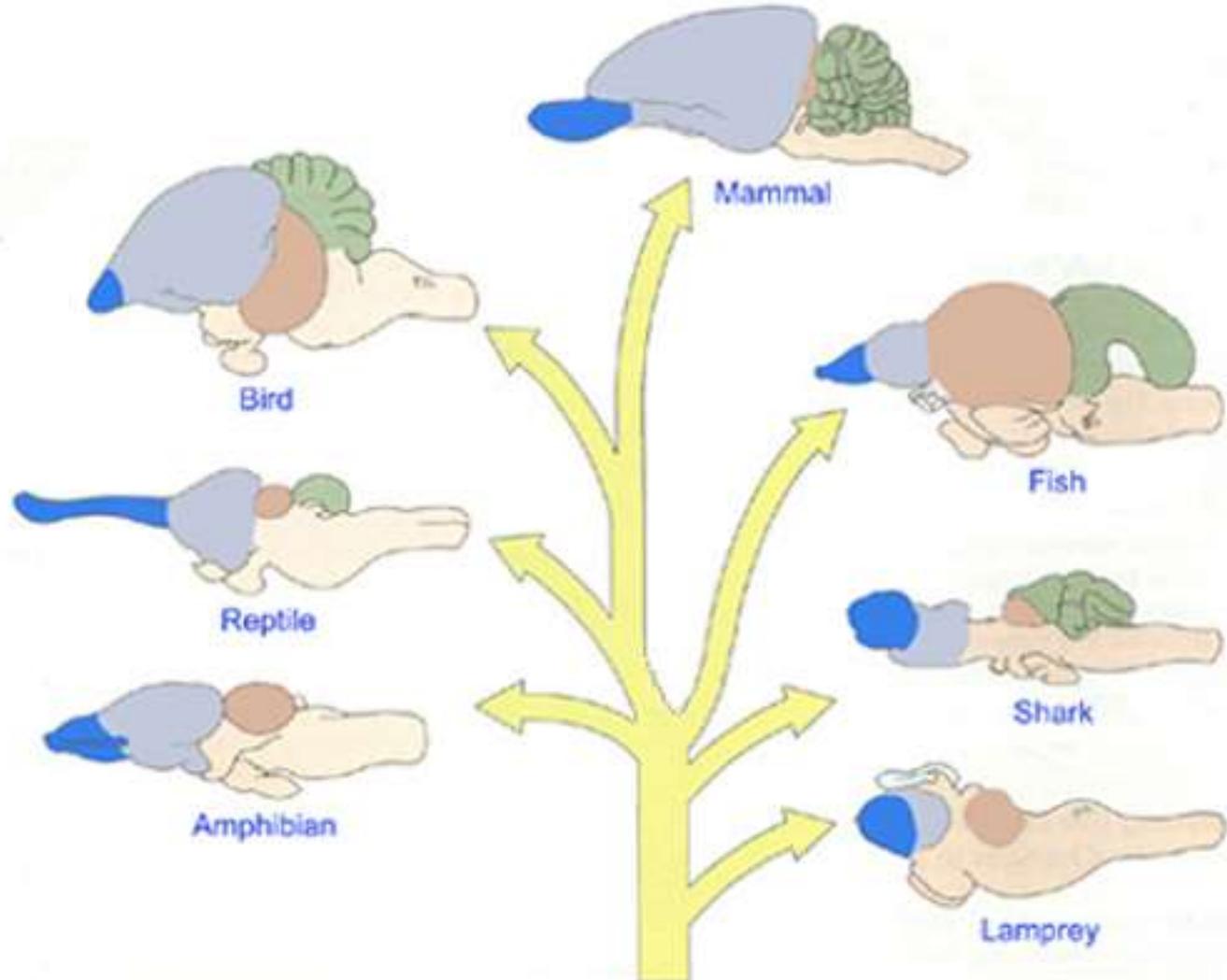


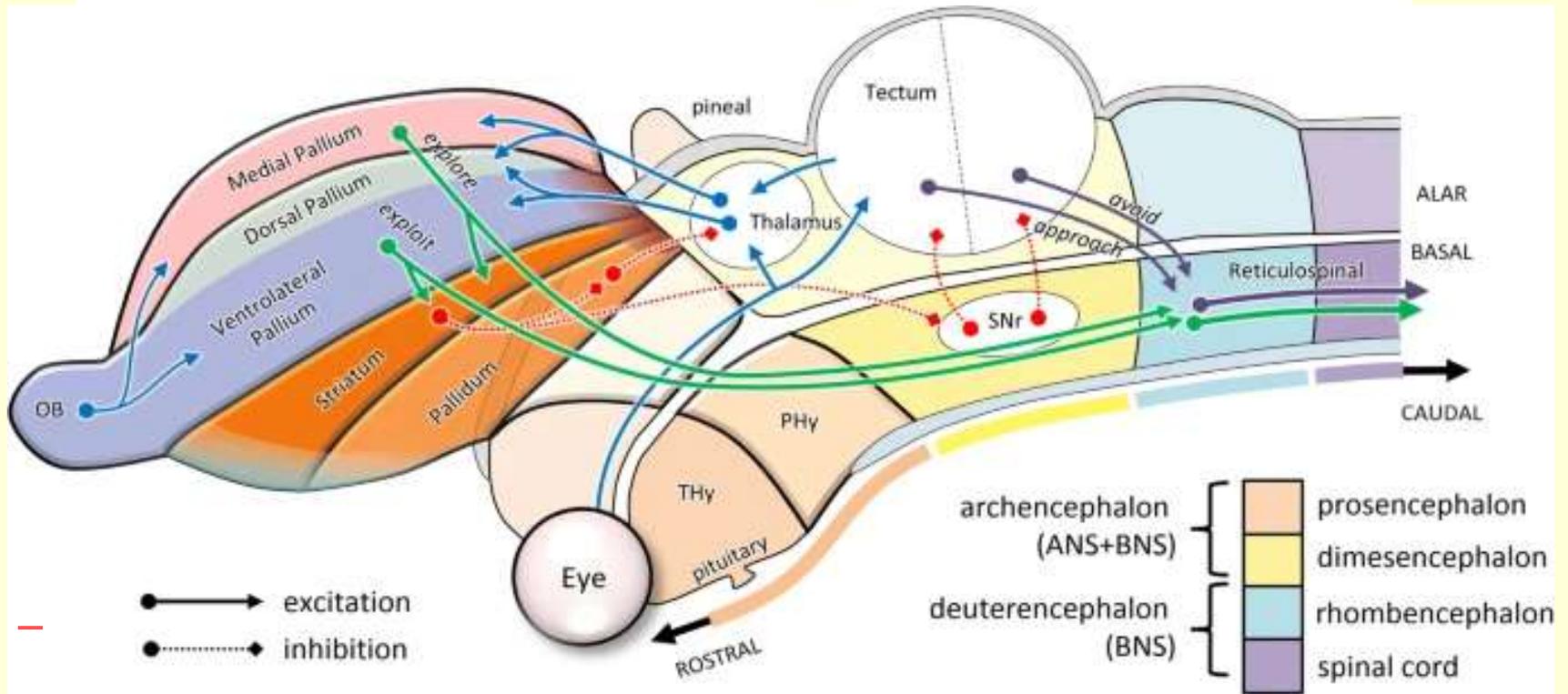
Séance 9 :  
**Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains**



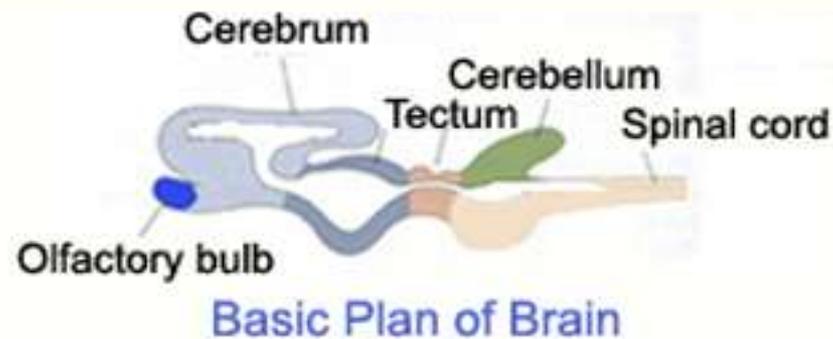
Séance 8 :  
**Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions**

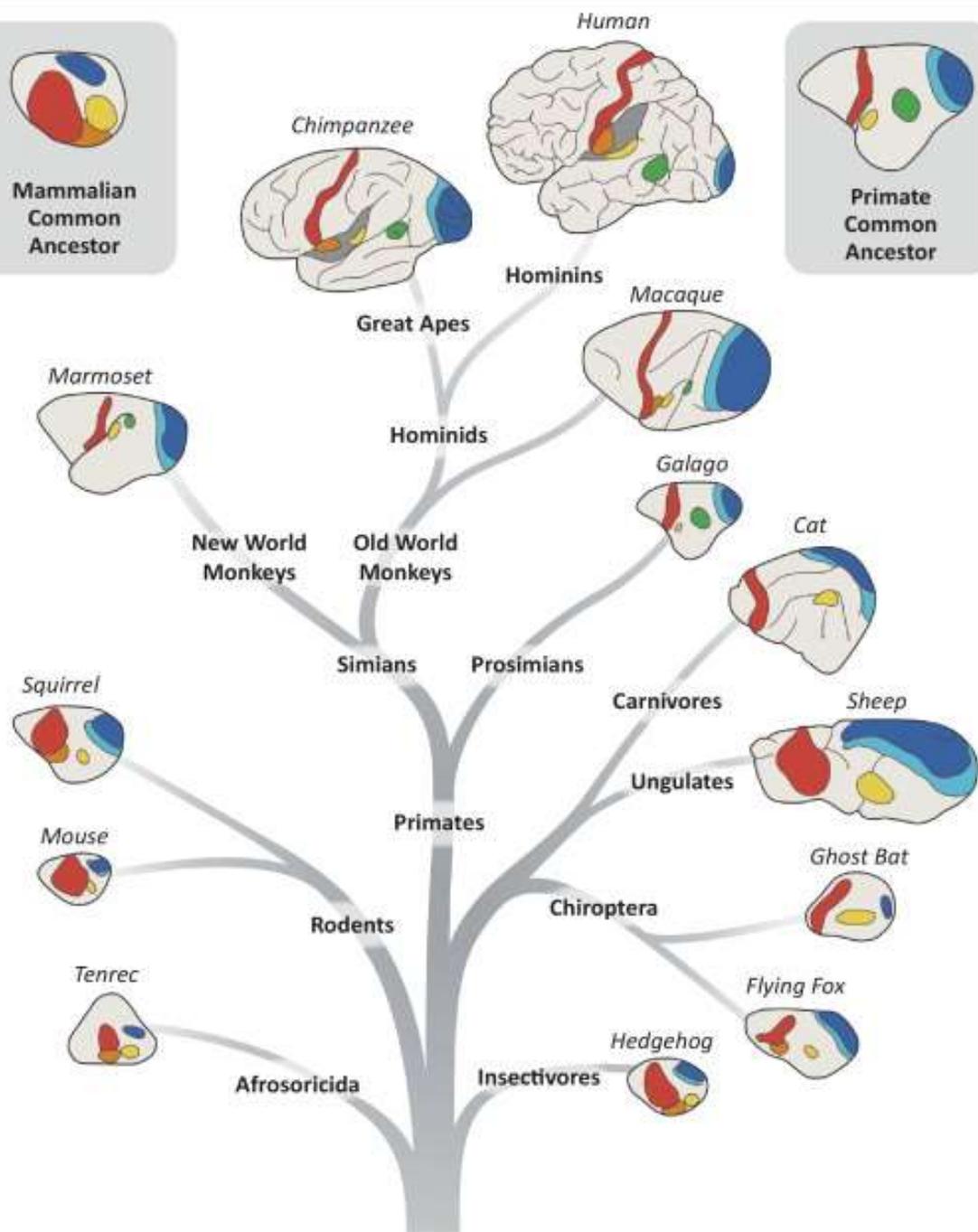
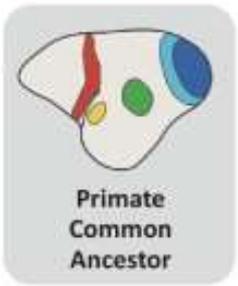


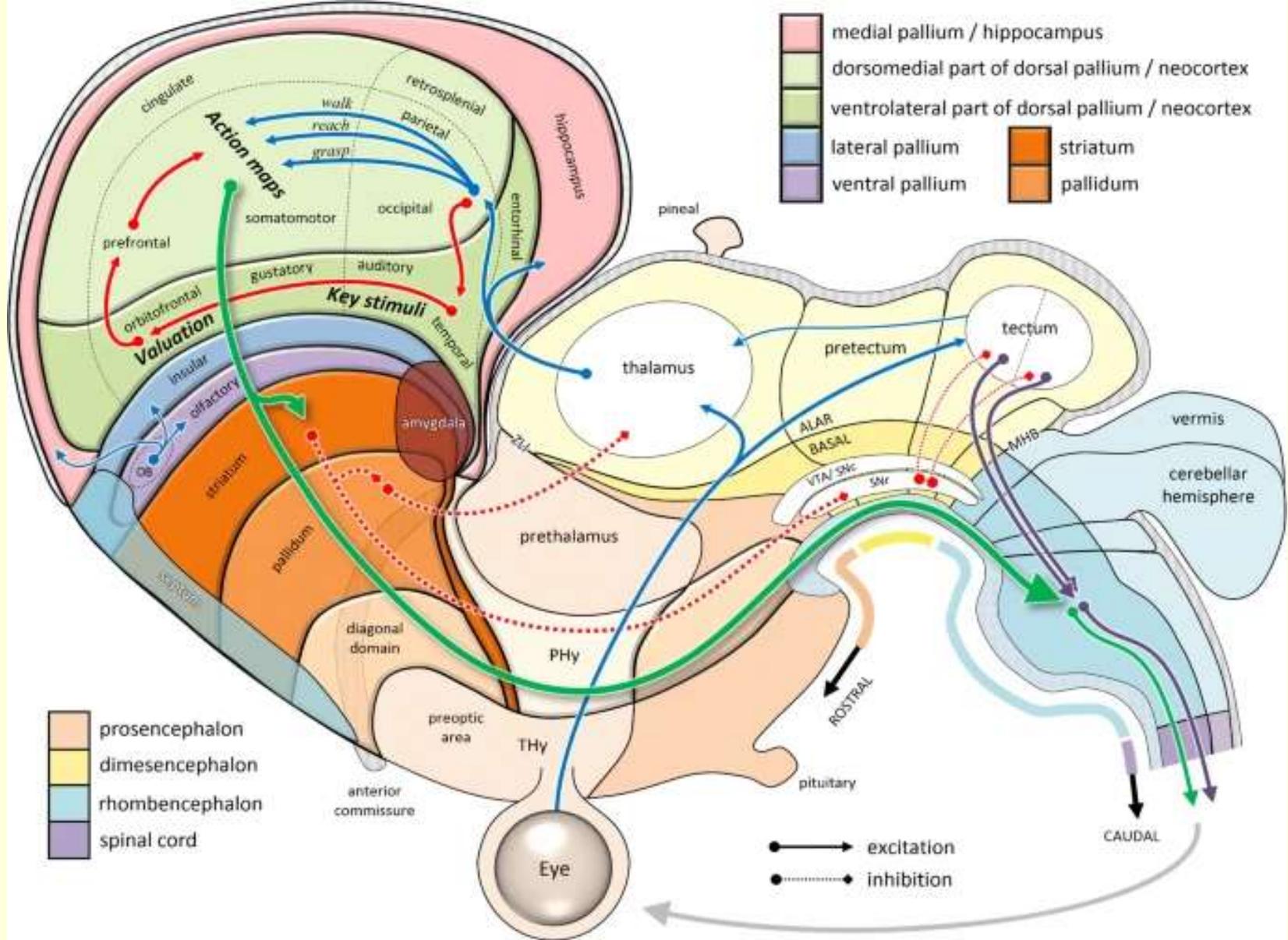




Sagittal view of the basic organization of the ancestral **vertebrate brain**.





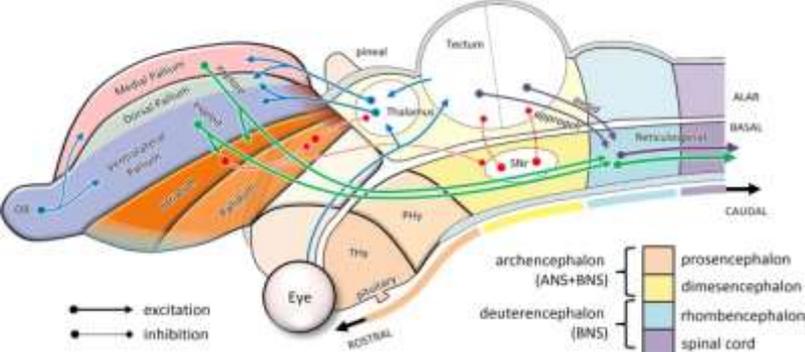


Schematic organization of the **mammalian brain**, based on Puelles et al. (2013)

# Resynthesizing behavior through phylogenetic refinement

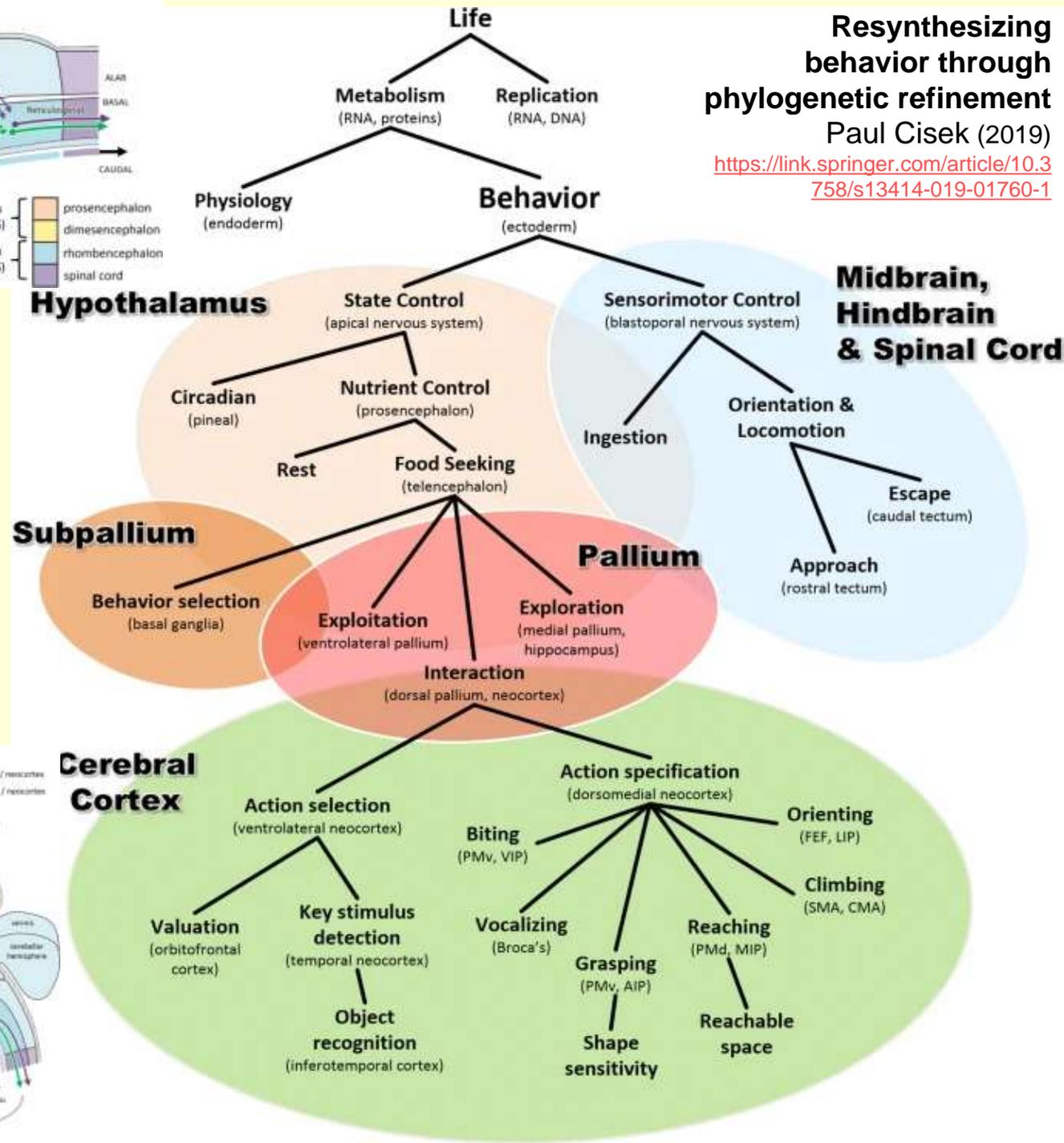
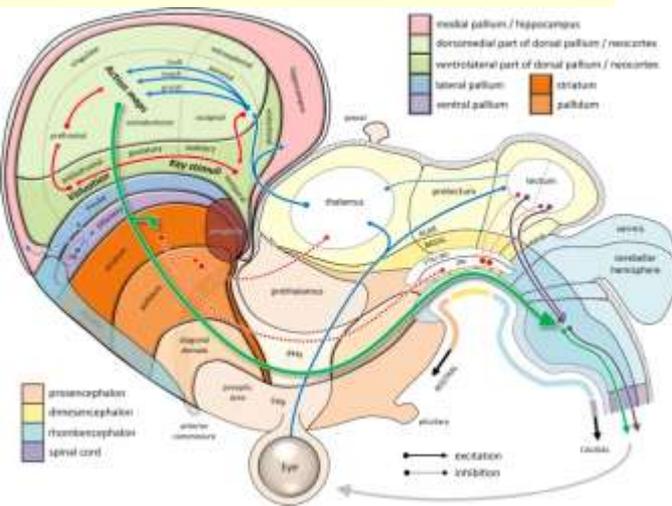
Paul Cisek (2019)

<https://link.springer.com/article/10.3758/s13414-019-01760-1>



Sagittal view of the basic organization of the ancestral **vertebrate brain**.

Schematic organization of the **mammalian brain**, based on Puelles et al. (2013)



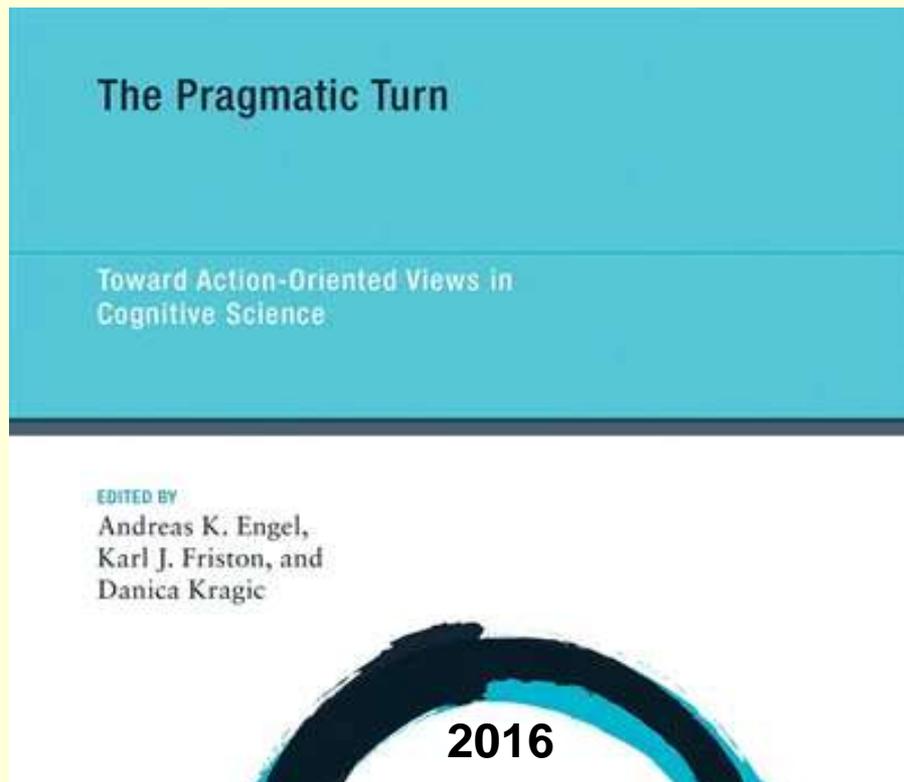
Deux façons d'organiser les processus cognitifs :  
 d'abord la taxonomie classique perception-cognition-action...



et celle qui découle du tournant pragmatique »



Les sciences cognitives du XXI<sup>e</sup> siècle ont amorcé un « **tournant pragmatique** » orienté vers **l'action**



Et cela amène à revoir complètement certaines questions comme celle de **la prise de décision.**

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 5 :  
Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



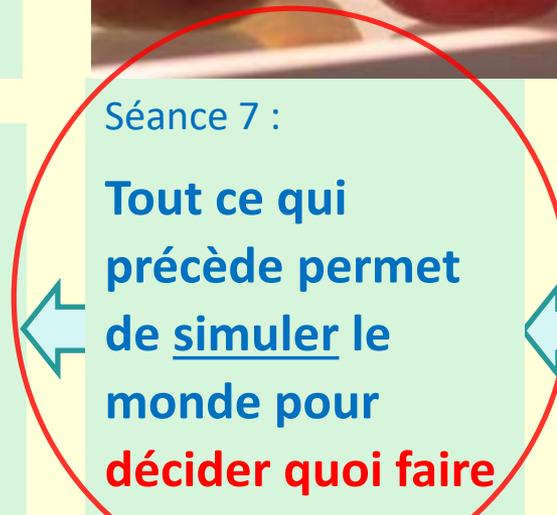
Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
**décider quoi faire**



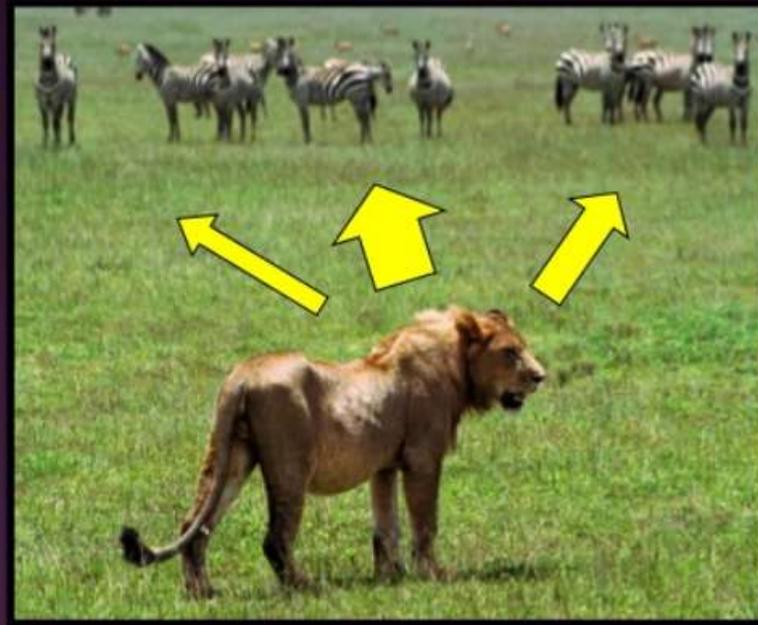
Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



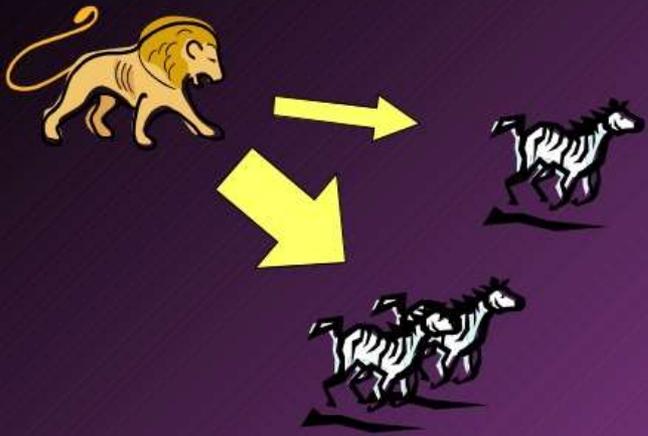
Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



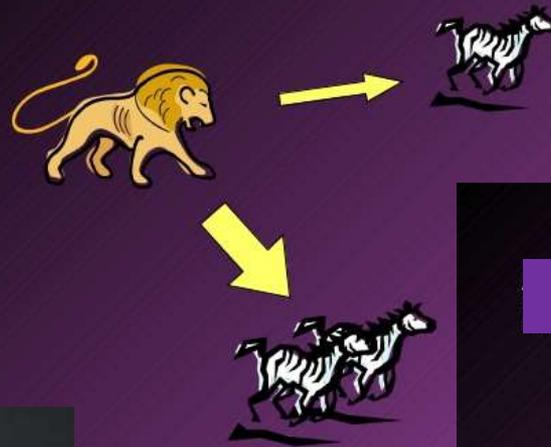
# Decision-making in the wild



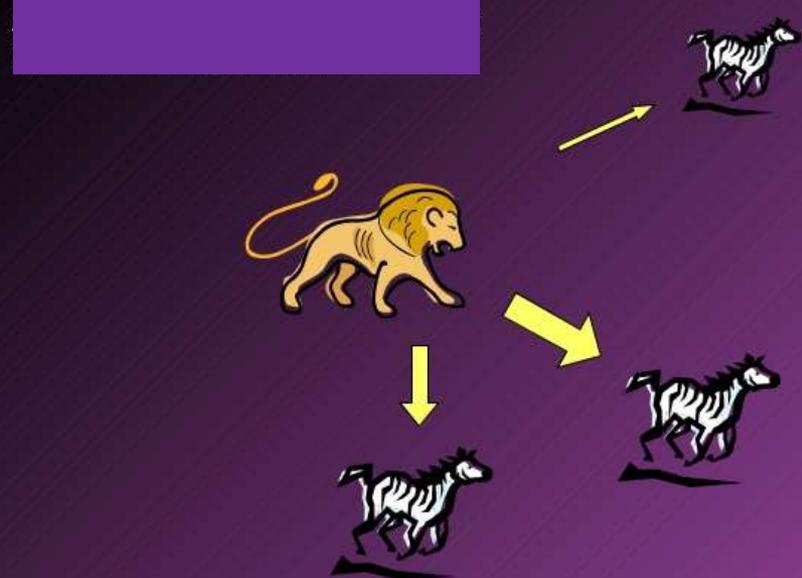
- The world presents animals with multiple opportunities for action ("affordances")



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



...et pas ça !



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

Quoi faire ?

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

Comment le faire ?

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



→ Peut prendre plusieurs minutes



→ Ou même des jours  
ou des mois...



→ Peut prendre quelques secondes



→ Ou dizaines de secondes



→ Peut prendre une seconde

→ Ou une fraction de seconde



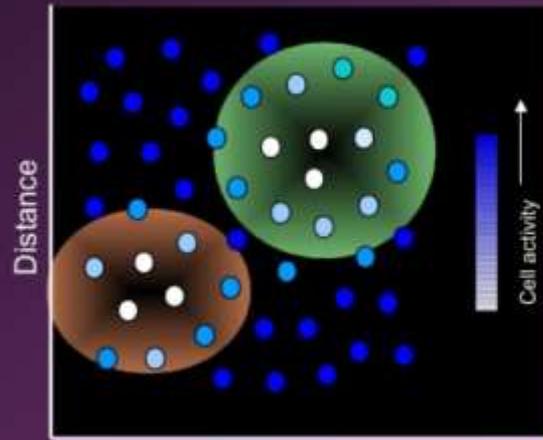
Pour nombre de décisions simples et rapides,  
les données expérimentales  
**n'appuient pas le schéma classique :**

« décision →  
préparation du bon  
mouvement →  
action »

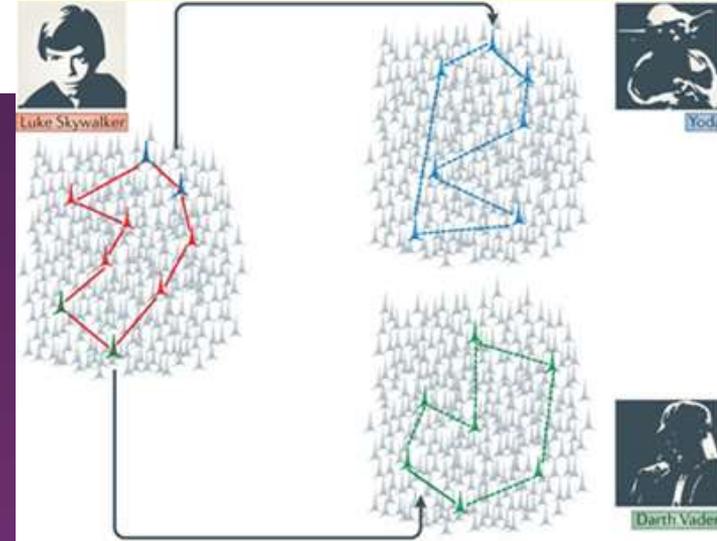




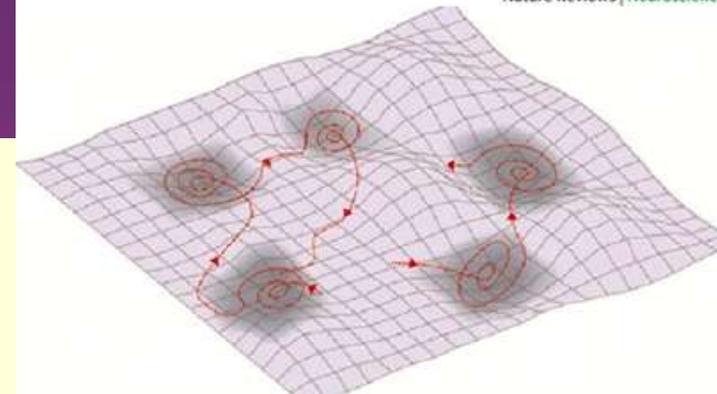
A population of tuned neurons



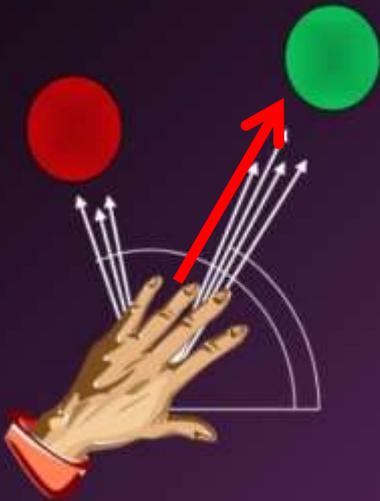
Direction



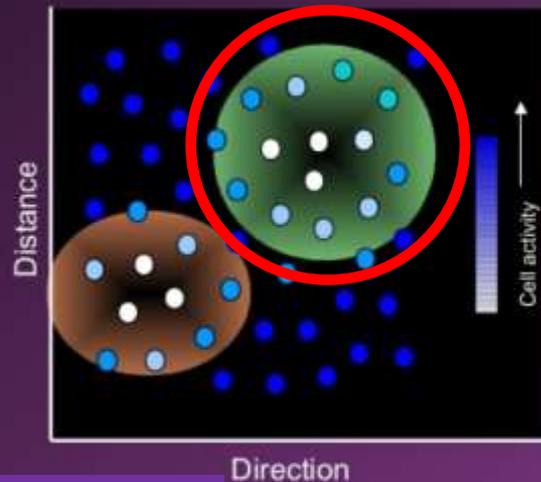
Nature Reviews | Neuroscience



# Specification and selection in parallel



A population of tuned neurons



## 1) Spécification d'actions possibles :

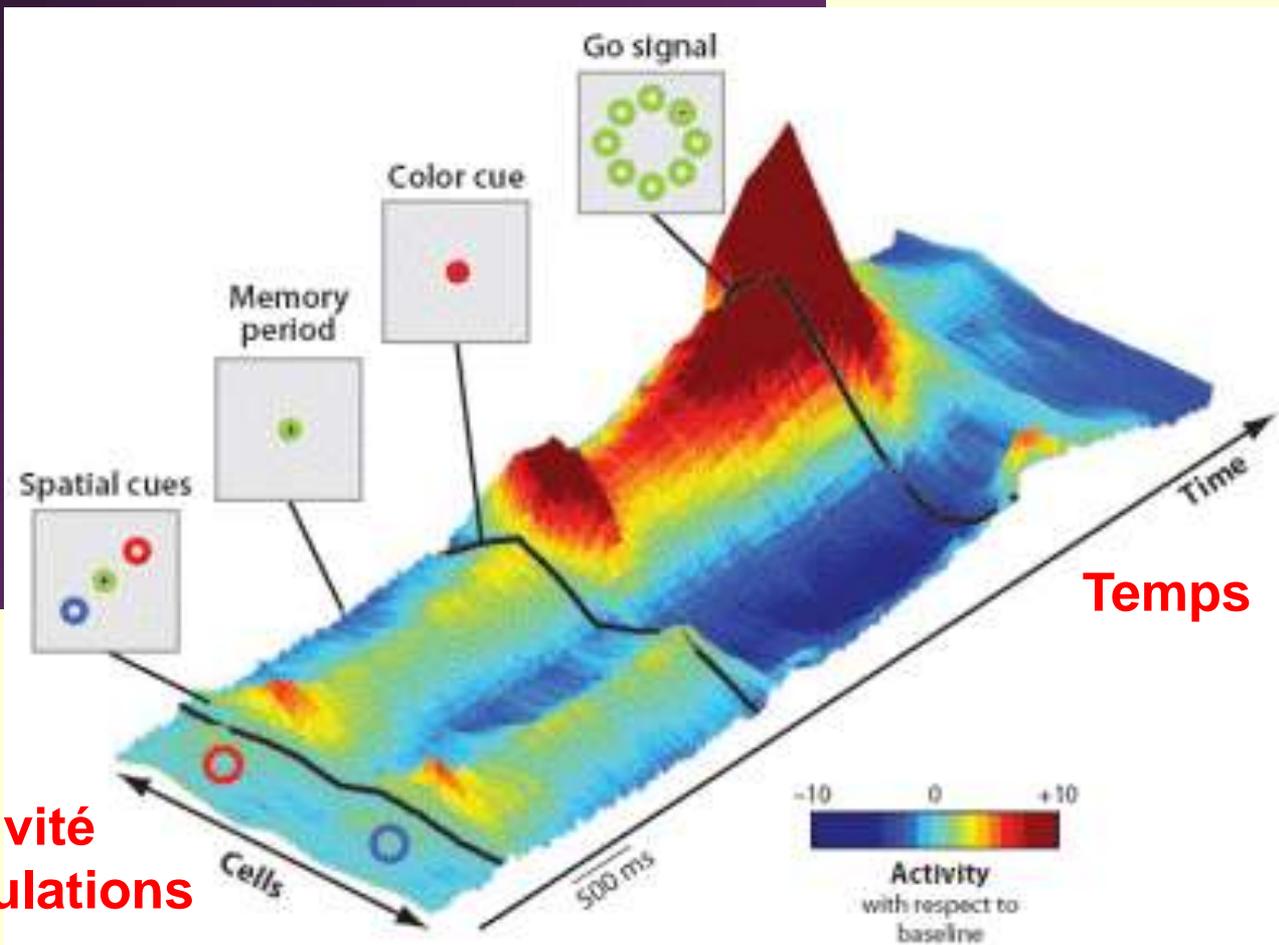
Deux groupes de neurones augmentent leur activité en fonction des deux directions intéressantes ici (les deux affordances)

## 2) Sélection d'une action :

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

**Donc spécification d'actions possibles d'abord,  
sélection (ou décision)  
ensuite (ou en parallèle).**

# Specification and selection in parallel

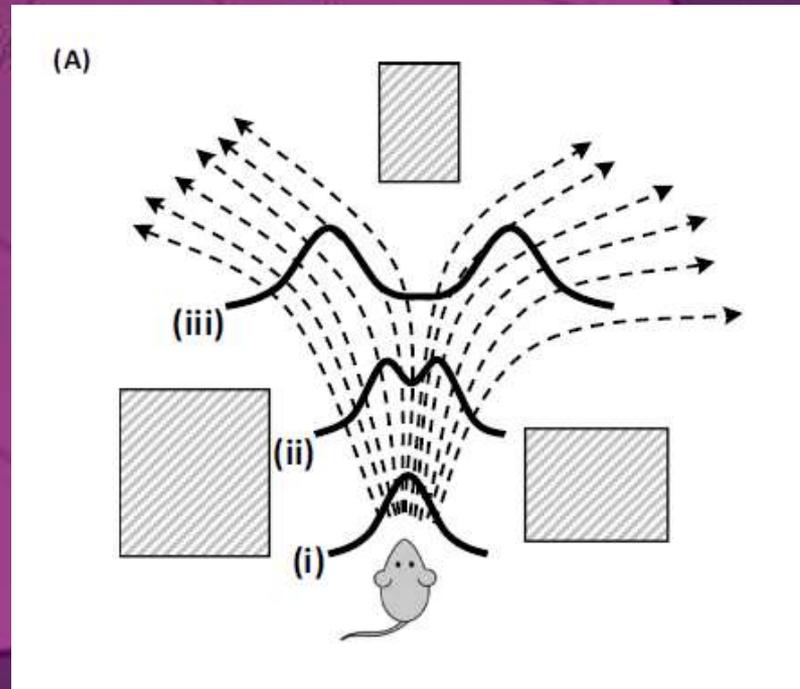
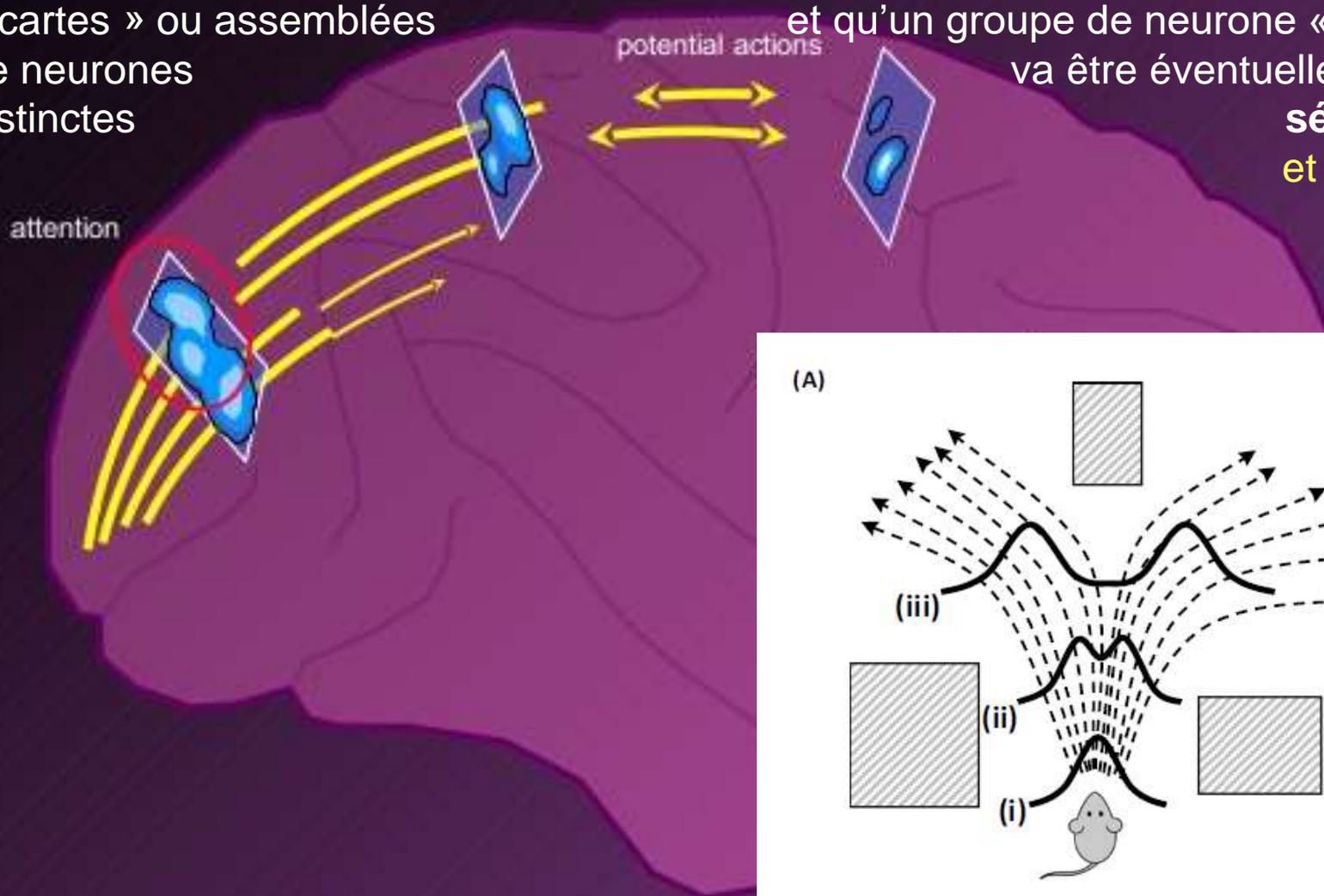


Niveau d'activité  
de deux populations  
de neurones

# Comment cela pourrait se passer à l'échelle du cerveau entier ?

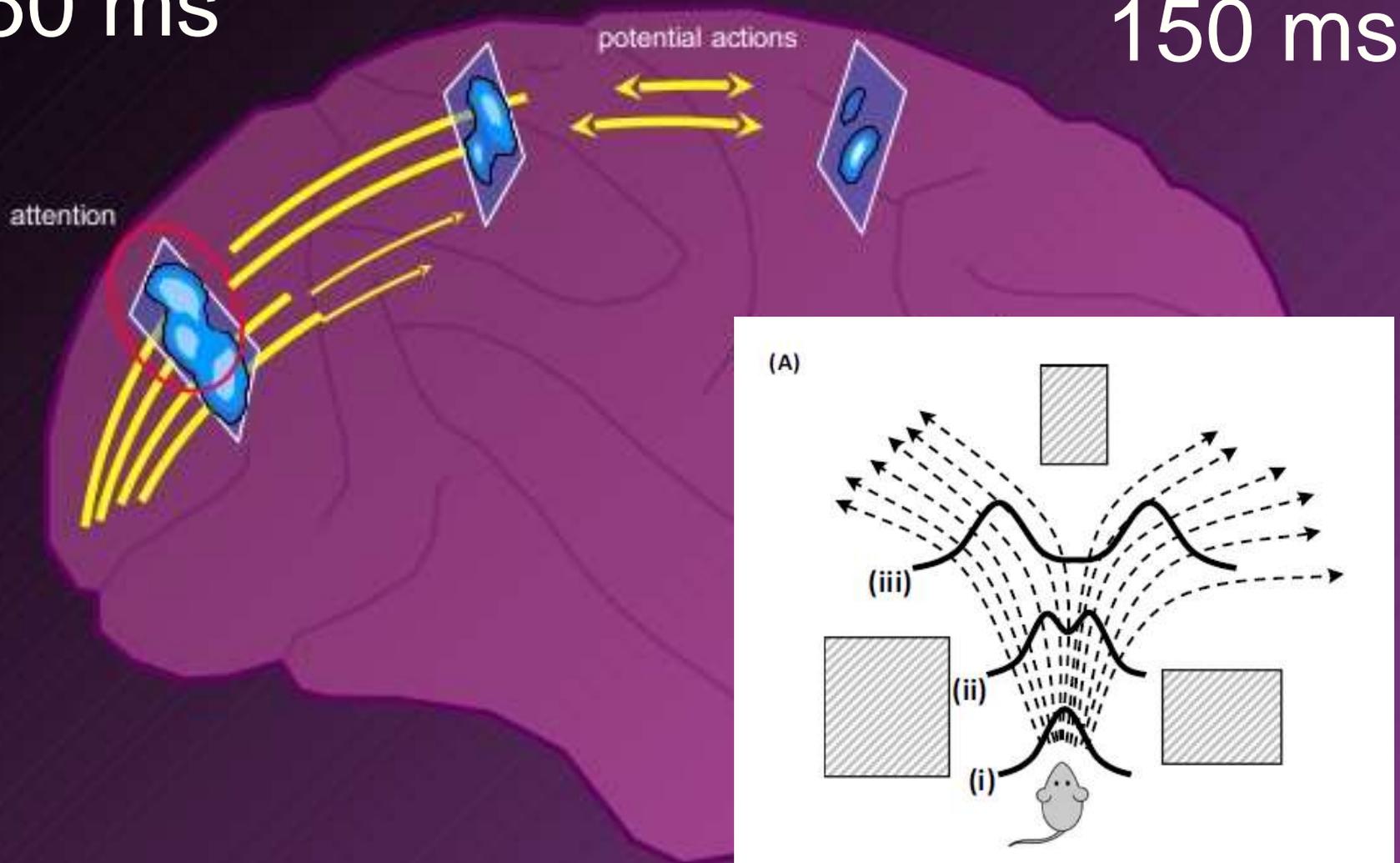
Des processus d'attention aident à **spécifier** des « cartes » ou assemblées de neurones distinctes

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

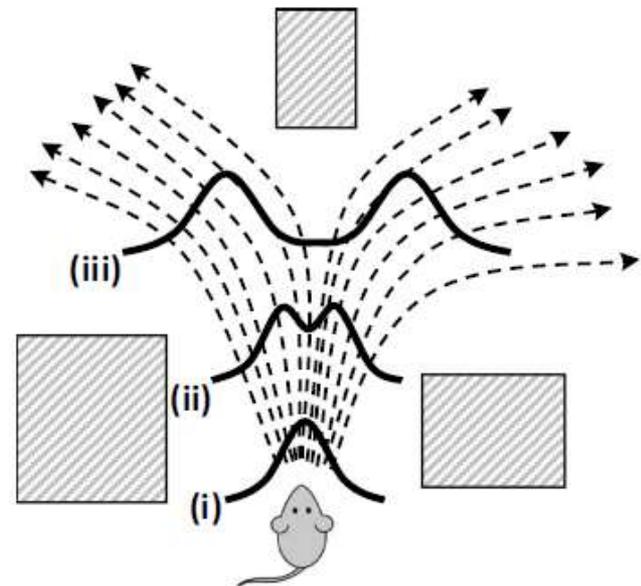


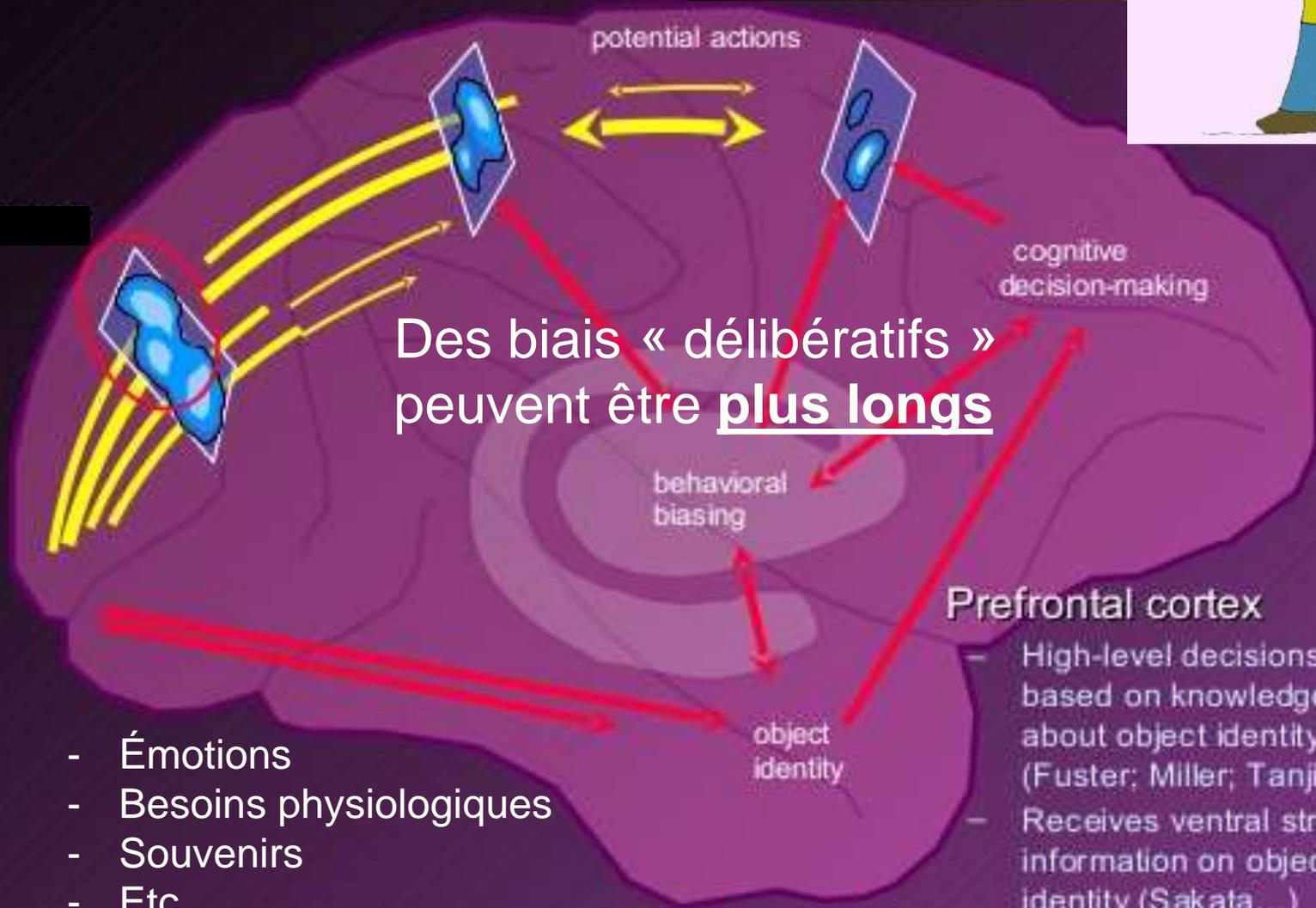
50 ms

150 ms



(A)

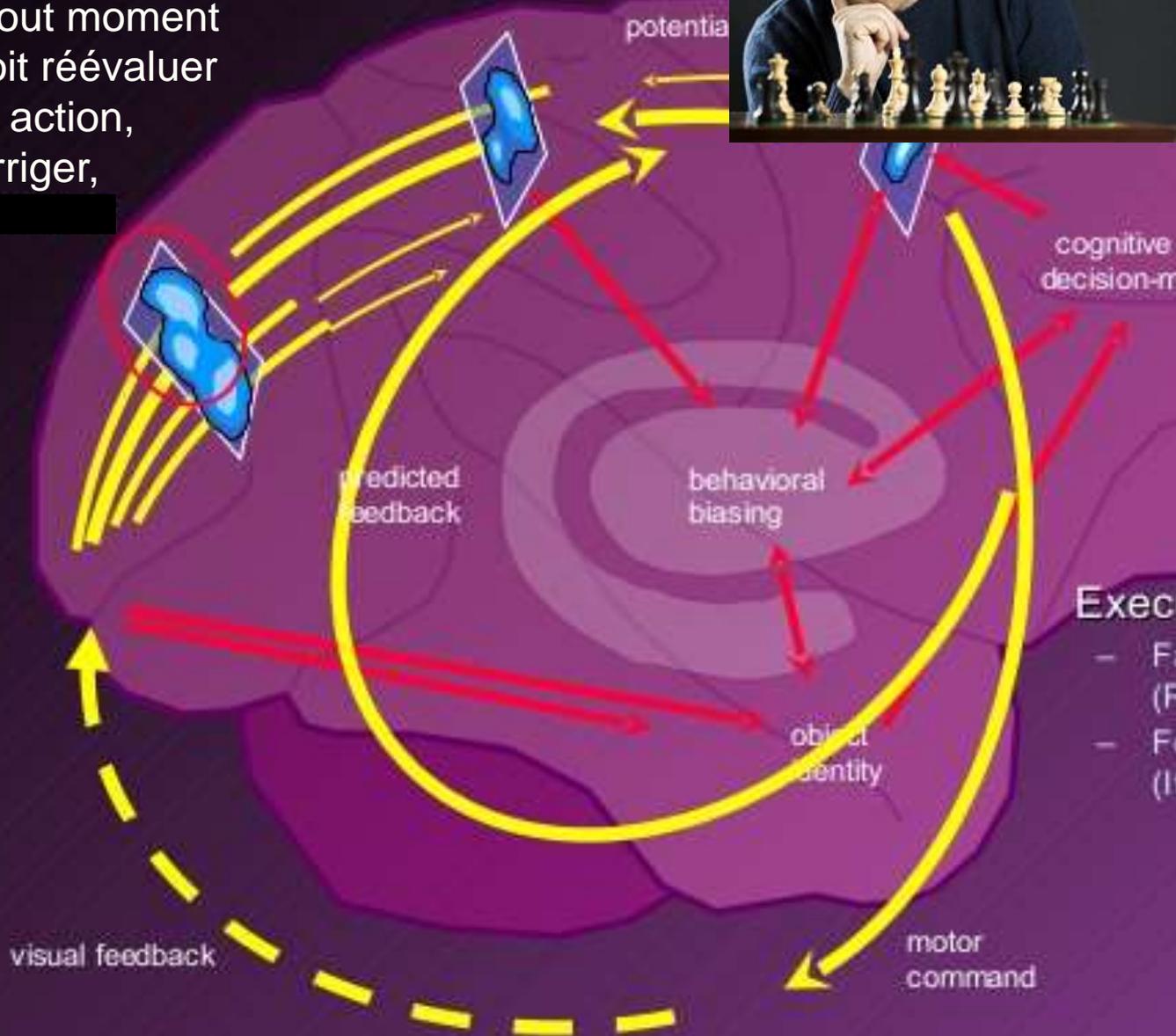




- Émotions
- Besoins physiologiques
- Souvenirs
- Etc.

- High-level decisions based on knowledge about object identity (Fuster; Miller; Tanji...)
- Receives ventral stream information on object identity (Sakata...)

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



### Execution

- Fast visual feedback (Prablanc; Desmurget)
- Forward models (Ito; Wolpert; Miall)

Dans l'exemple ci-contre, on peut imaginer que le singe a, à portée de main, la possibilité de cueillir les petits fruits de cet arbre.



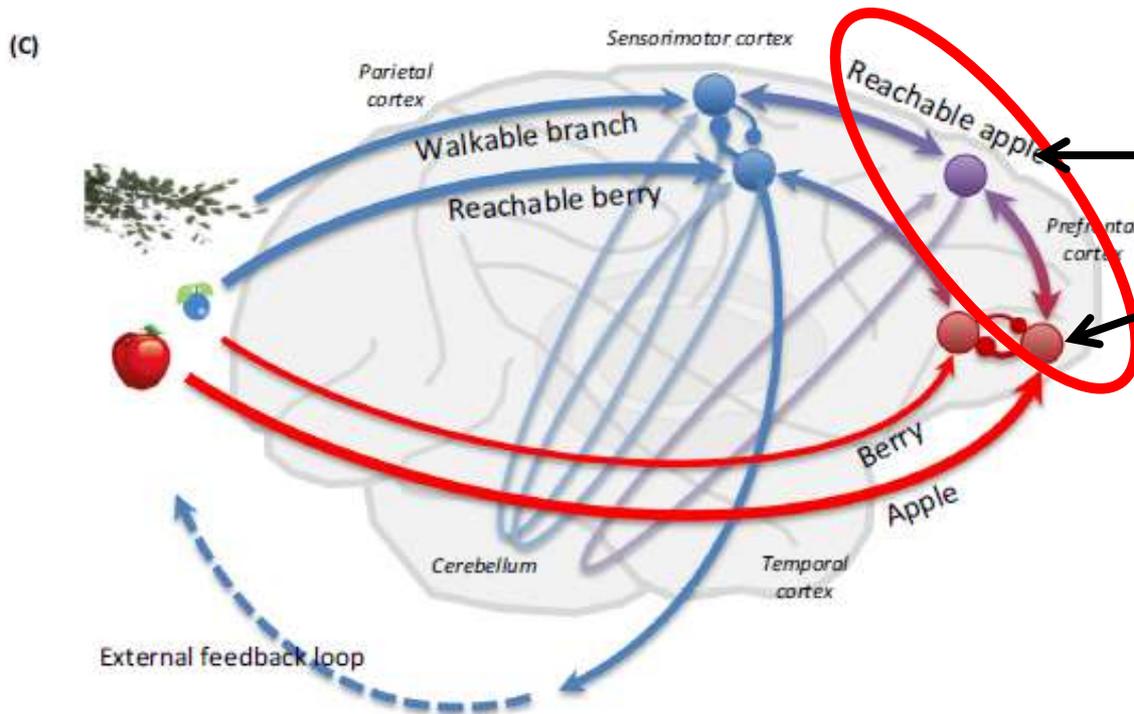
**Mais en même temps**, il voit aussi une pomme plus désirable pour lui un peu plus loin, et une branche où il semble pouvoir s'aventurer pour l'atteindre (a '**walkable**' tree branch).

Éléments de :

Pezzulo G., Cisek P. (2016). **Navigating the Affordance Landscape: Feedback Control as a Process Model of Behavior and Cognition.**

Parce que la **pomme** est plus désirable pour le singe, cette affordance peut être biaisée de façon **“top down”**

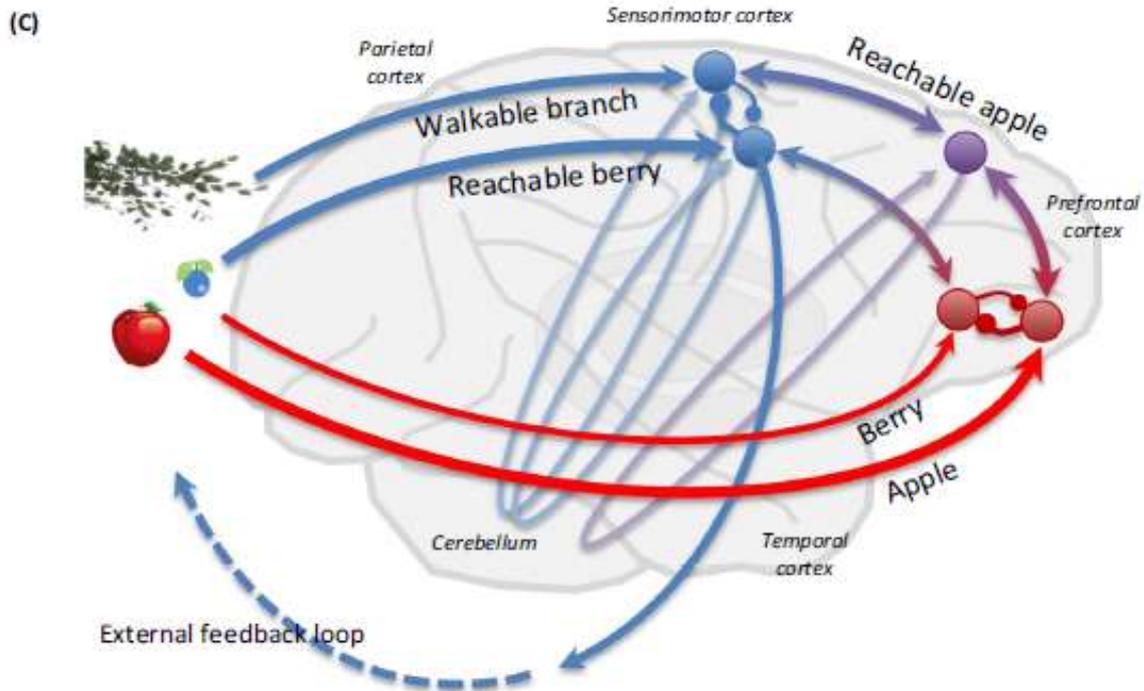
et favoriser la sélection de l'action de marcher sur la **branche** au détriment de celle de cueillir les petits fruits.



La pomme remporte la « compétition »

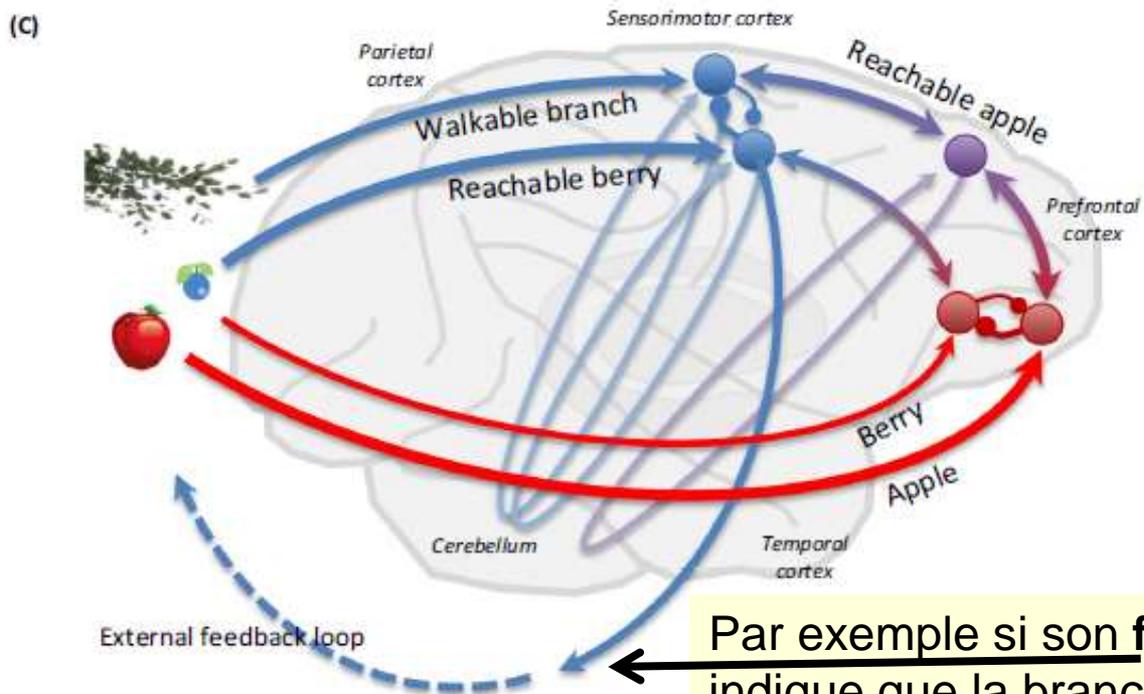
Donc le singe se met à marcher sur la branche vers la pomme

Cependant, des **contraintes locales** peuvent amener la compétition à pencher en faveur d'un plan moteur plus économe et/ou moins risqué



Donc le singe se met à marcher sur la branche vers la pomme

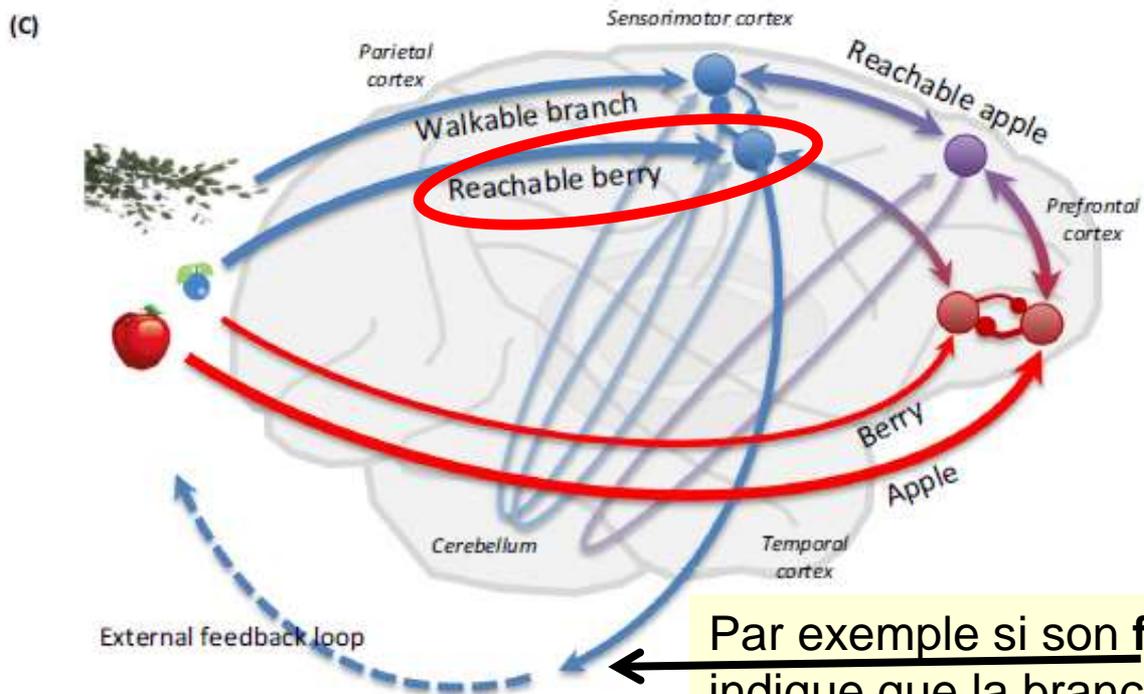
Cependant, des **contraintes locales** peuvent amener la compétition à pencher en faveur d'un plan moteur plus économe et/ou moins risqué



Par exemple si son **feedback sensoriel** lui indique que la branche ne supporte pas son poids.

Donc le singe se met à marcher sur la branche vers la pomme

Cependant, des **contraintes locales** peuvent amener la compétition à pencher en faveur d'un plan moteur plus économe et/ou moins risqué



Il se ravise alors et prend le petit fruit bleu.

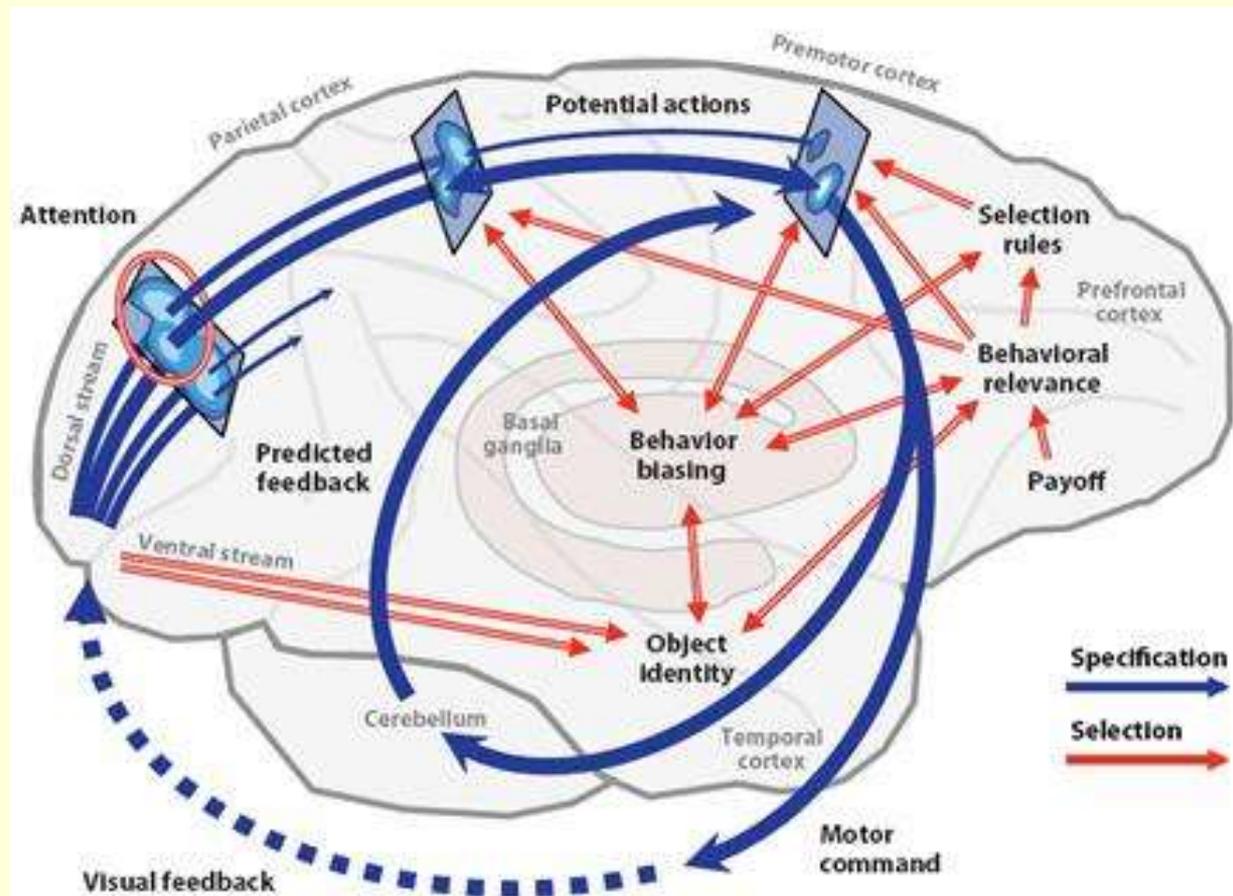
Par exemple si son **feedback sensoriel** lui indique que la branche ne supporte pas son poids.

On voit que différentes régions cérébrales peuvent être sollicitées par l'environnement à un moment donné, de sorte qu'on ne peut associer la prise de décision à une structure cérébrale particulière.

Autrement dit, **la compétition peut se gagner à différents endroits dans le cerveau.**

C'est, en gros, l'« **Affordance competition hypothesis** » de Paul Cisek et al.

Et donc **plus l'on aura de temps pour prendre une décision**, plus il y aura **d'interactions possibles entre plusieurs régions cérébrales.**

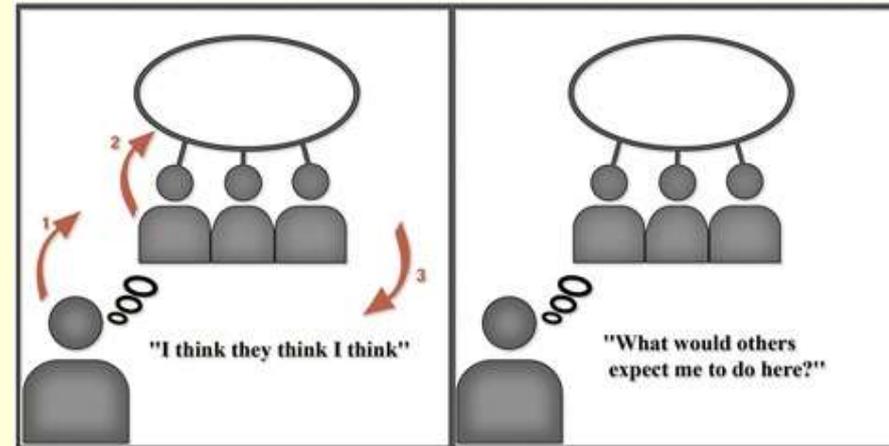


Pour trouver nos ressources et éviter les dangers pour notre intégrité physique, on a donc autant besoin de réagir aux **possibilités d'action immédiates** que nous suggère notre environnement

que de faire des **planifications abstraites** plus élaborés

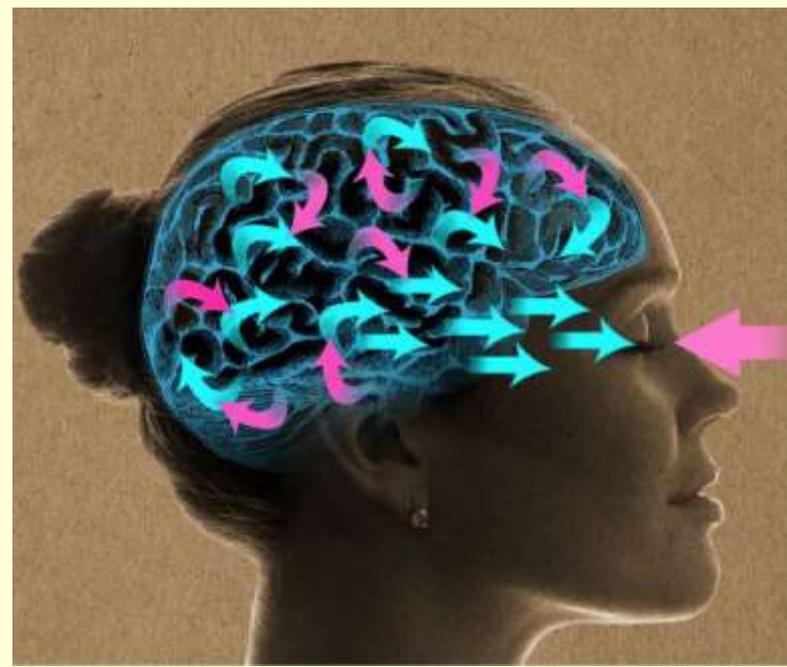
impliquant souvent une **connaissance approfondie du comportement des autres** dans la culture particulière qui est la nôtre.

(B)



Ce tournant pragmatique se fait en parallèle avec l'intérêt croissant pour le rôle des **influences** « **top down** » qui feraient des **prédictions** à propos des événements sensoriels à venir.

Ce qui nous amène à parler du grand cadre théorique du « **cerveau prédictif** ».



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 5 :  
Cartographe des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



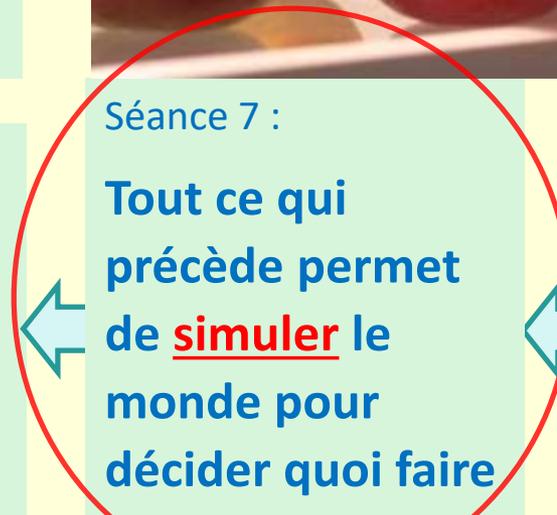
Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

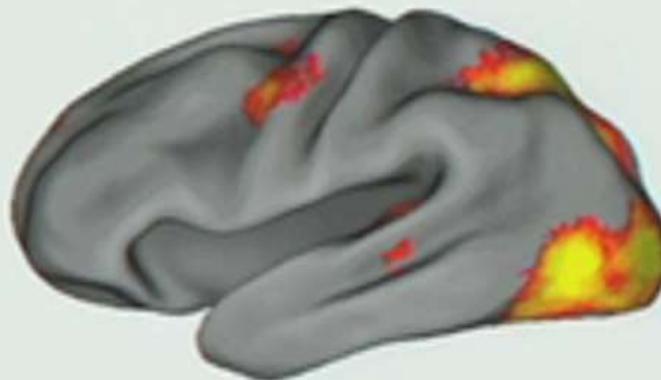


# An Historical View

## Reflexive

(Sir Charles Sherrington)

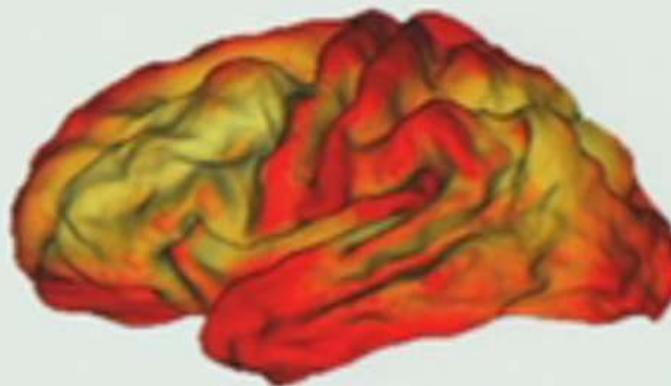
On est passé d'une conception **passive** d'un cerveau qui attend ses inputs de l'environnement pour y réagir...



## Intrinsic

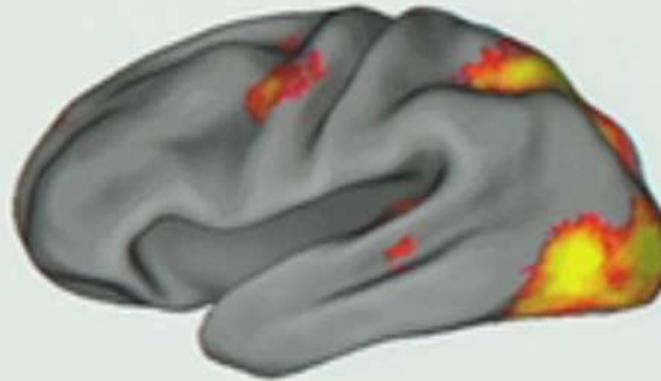
(T. Graham Brown)

à une conception d'un cerveau **actif** ayant toujours une activité endogène dynamique



# An Historical View

**Reflexive**  
(Sir Charles Sherrington)



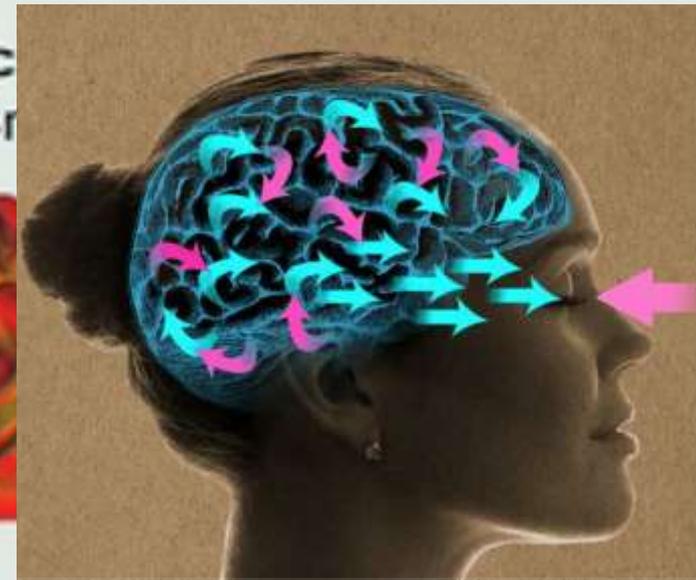
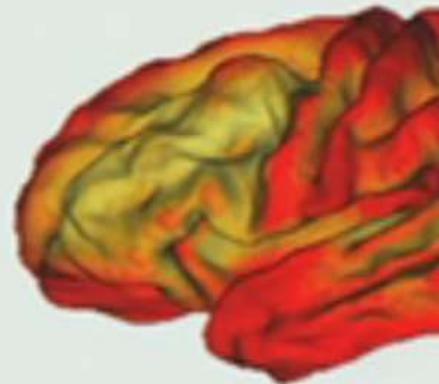
Cerveau = 2% du poids du corps

Mais 20-25% de l'oxygène et du glucose consommé en permanence !

Que fait-il tant tout le temps ?



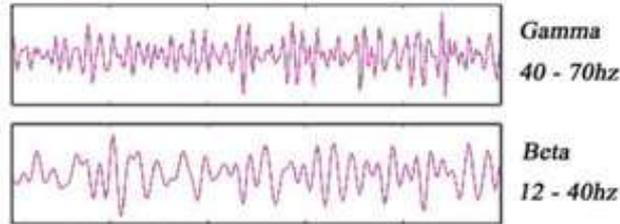
**Intrinsic**  
(T. Graham Brown)



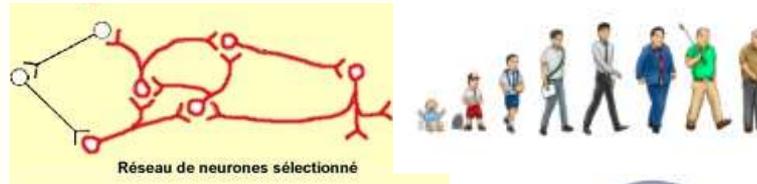
Raichle: Two Views of Brain Function

# Des processus dynamiques à différentes échelles de temps :

Perception  
et action



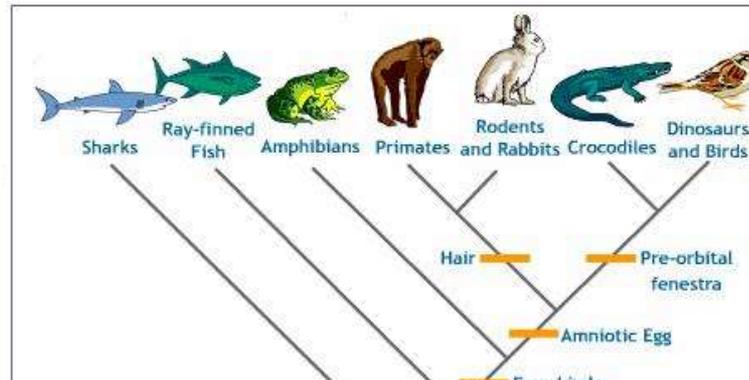
Apprentissage



Développement



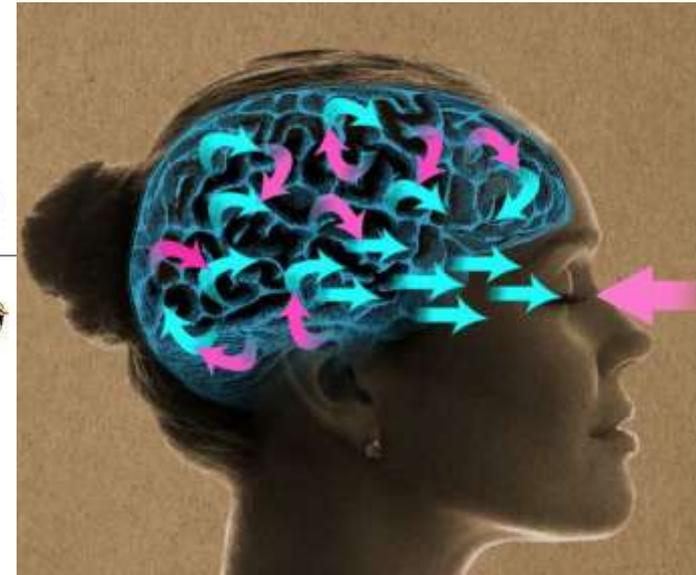
Évolution  
biologique

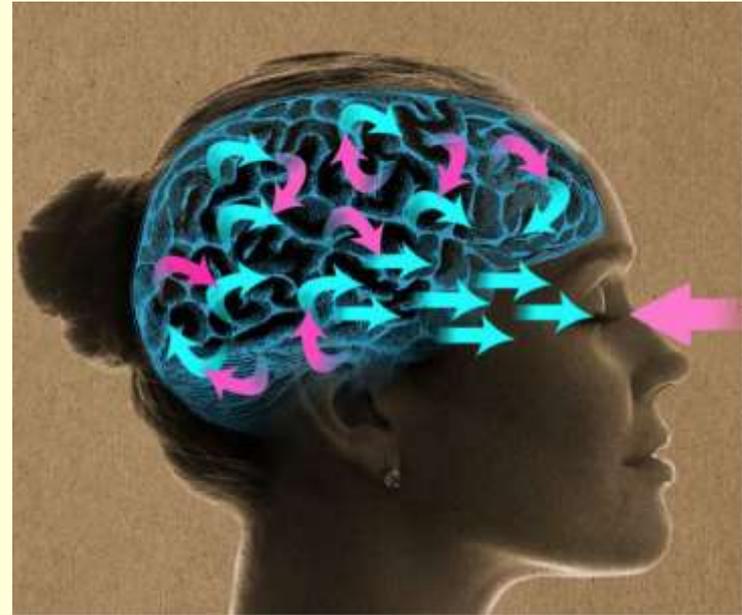


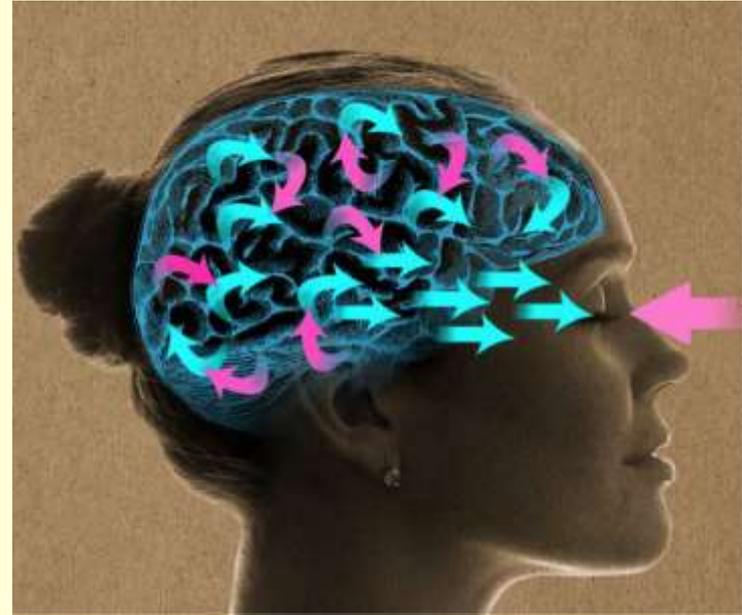
Nous sommes  
une **machine à faire  
des prédiction**

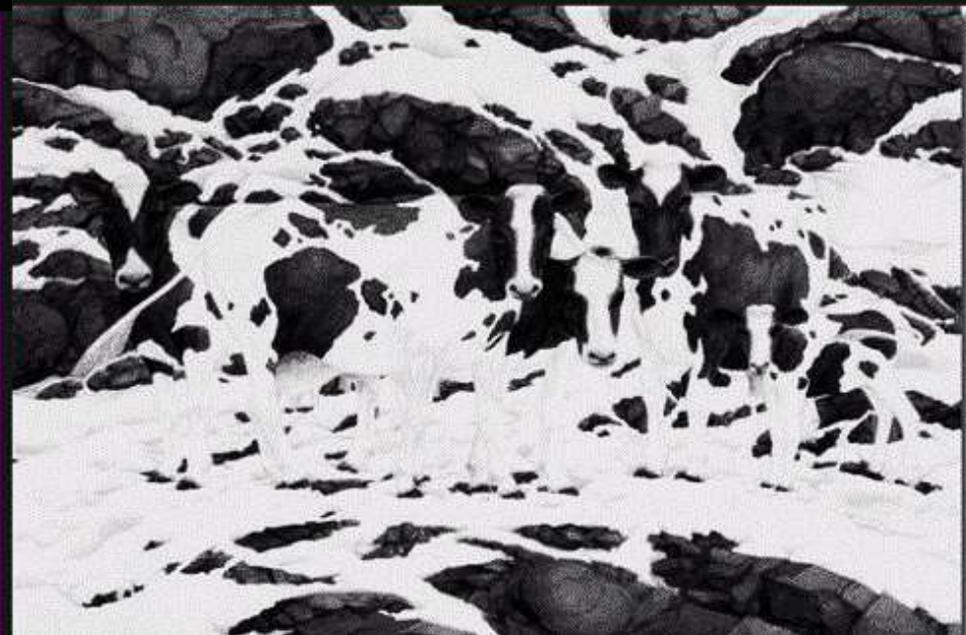
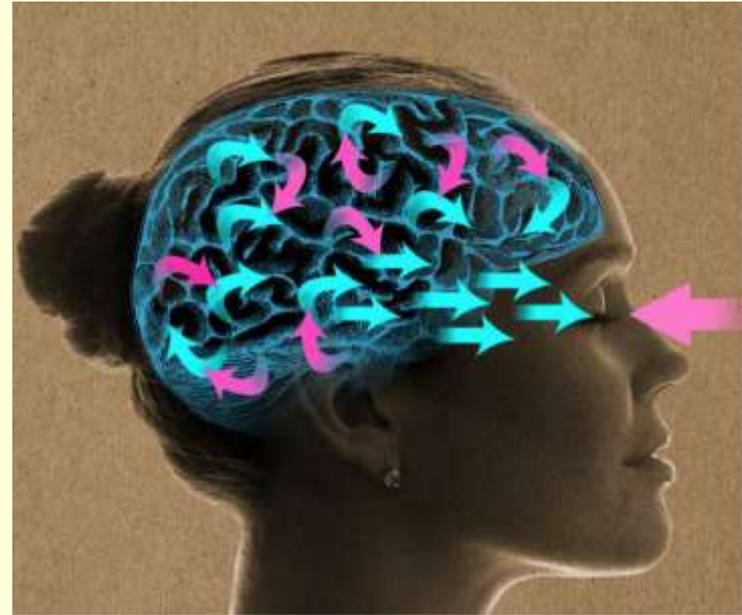
qui se base sur des  
**modèles internes**  
construits tout au long de  
notre **longue** histoire !

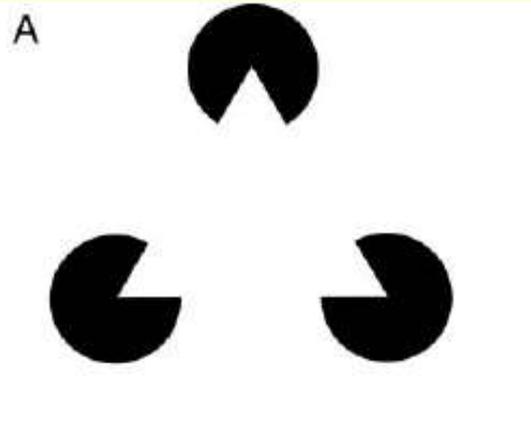
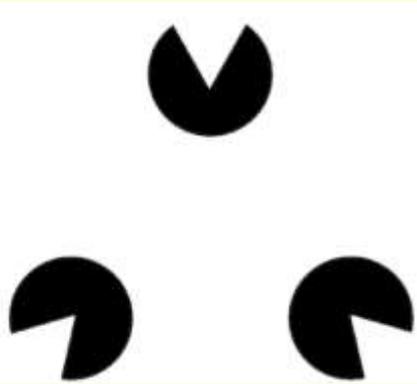
(innée et acquise)







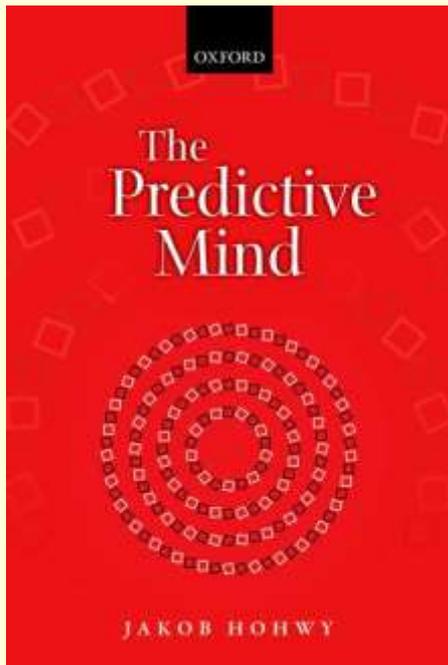




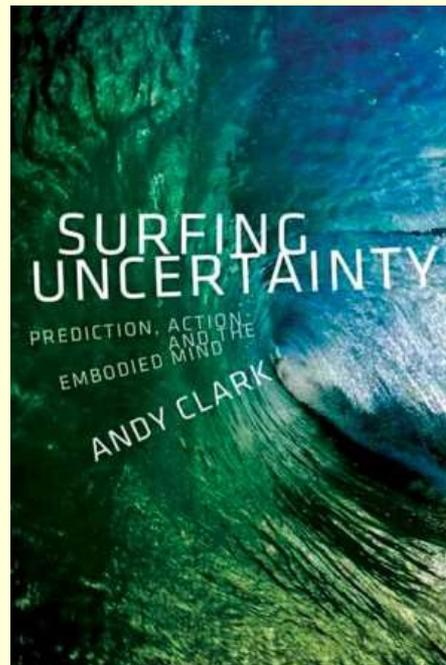
Caractéristiques fondamentale de notre identité :  
celle de **projeter des hypothèses**  
sur le monde pour mieux agir et... mieux **survivre** !

« Predictive processing »

« the Bayesian Brain »



2014



2015



Karl Friston

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

décembre 2016

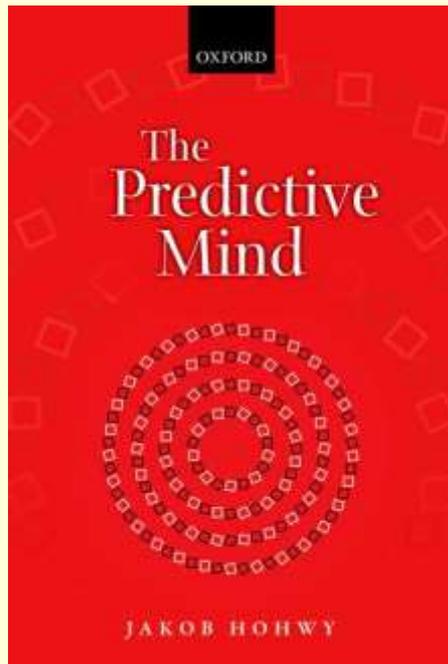
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2016/12/12/6120/>

**L'erreur forge le cerveau**

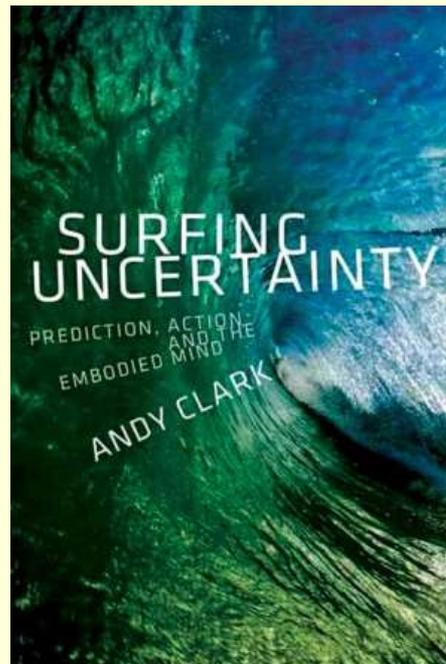
Cerveau&Psycho

avril 2017

[http://www.cerveauetpsycho.fr/ewb\\_pages/a/article-l-erreur-forge-le-cerveau-38272.php](http://www.cerveauetpsycho.fr/ewb_pages/a/article-l-erreur-forge-le-cerveau-38272.php)



2014



2015



Karl Friston



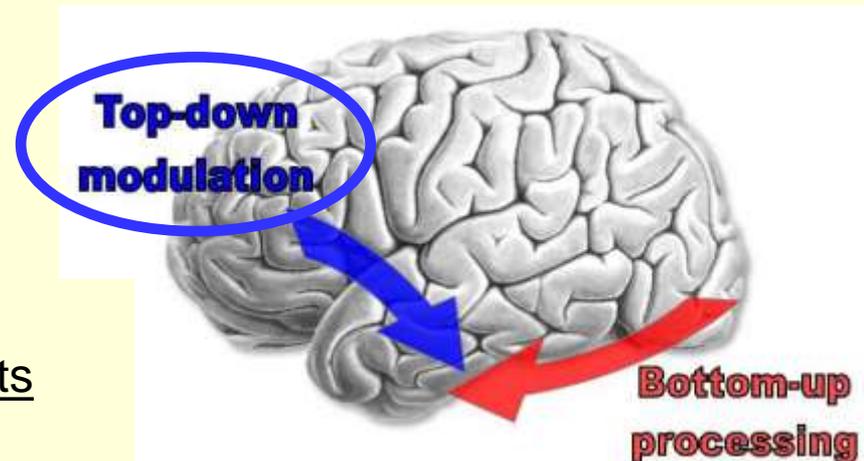
## « Attentes »

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

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

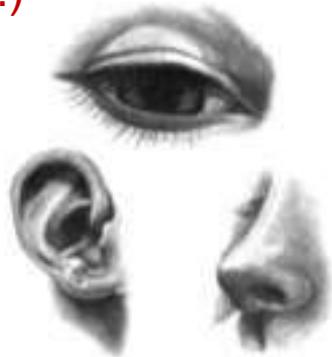
Autrement dit, c'est un **organe statistique générant constamment des hypothèses** qui sont testées par rapport aux évidences fournies par les sens.

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

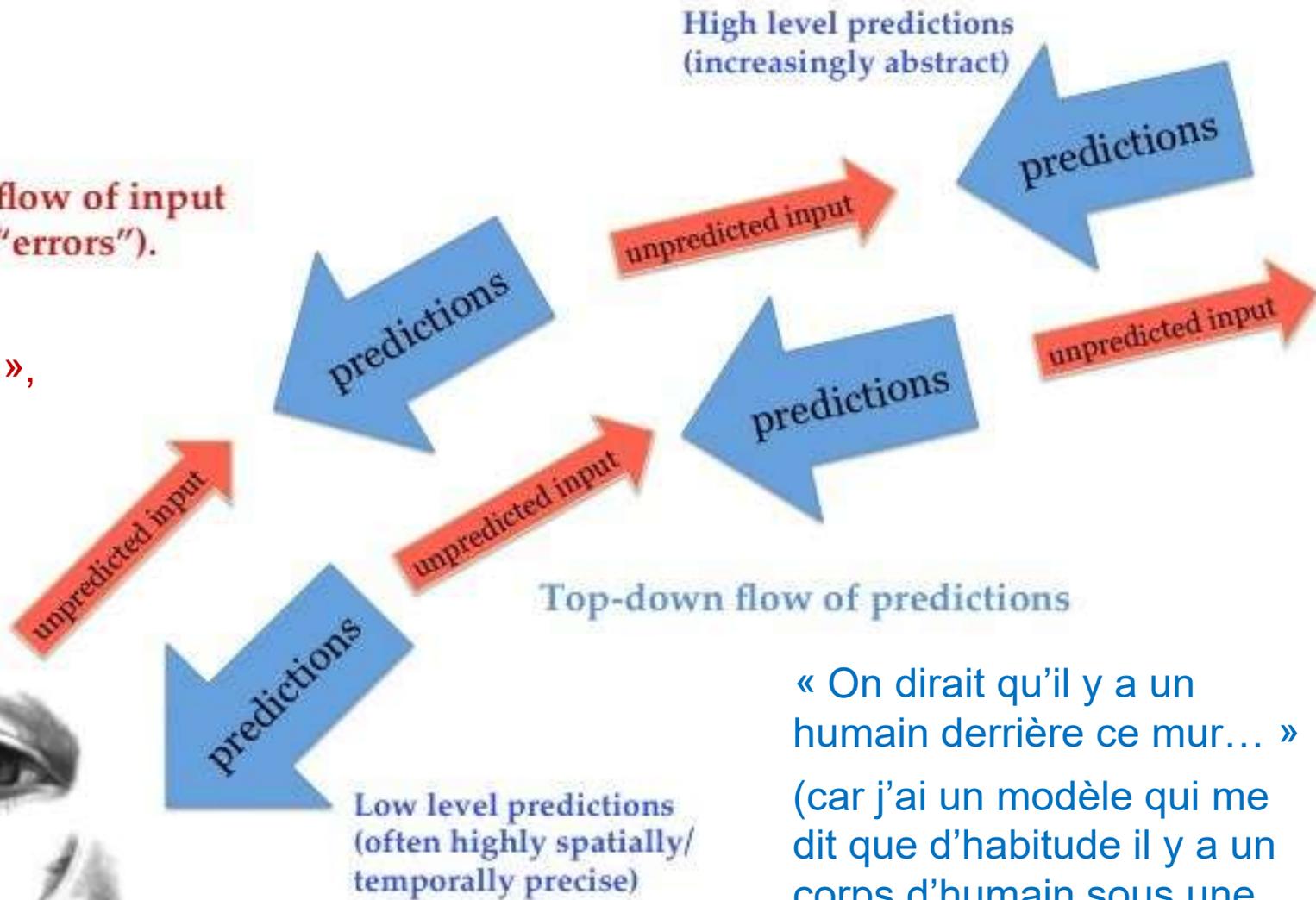


Bottom up flow of input  
(residuals, "errors").

Ce qui « monte »,  
ce n'est que ce  
qui s'écarte  
des prédictions  
(plus économe  
que tout faire  
monter !)



**Input**



High level predictions  
(increasingly abstract)

predictions

unpredicted input

predictions

unpredicted input

predictions

unpredicted input

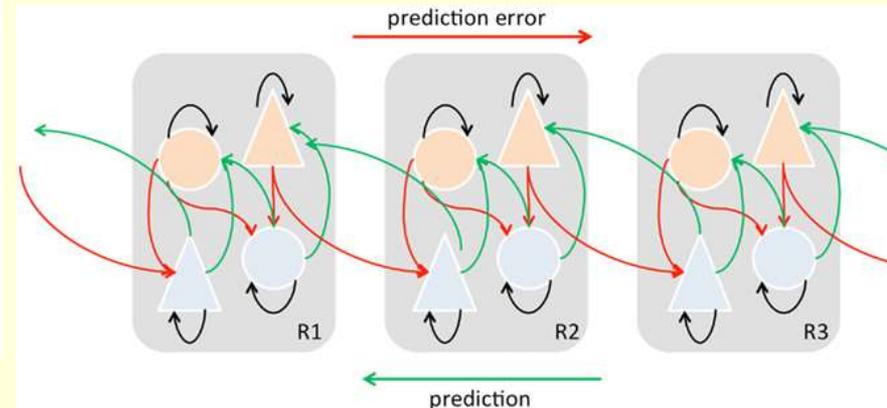
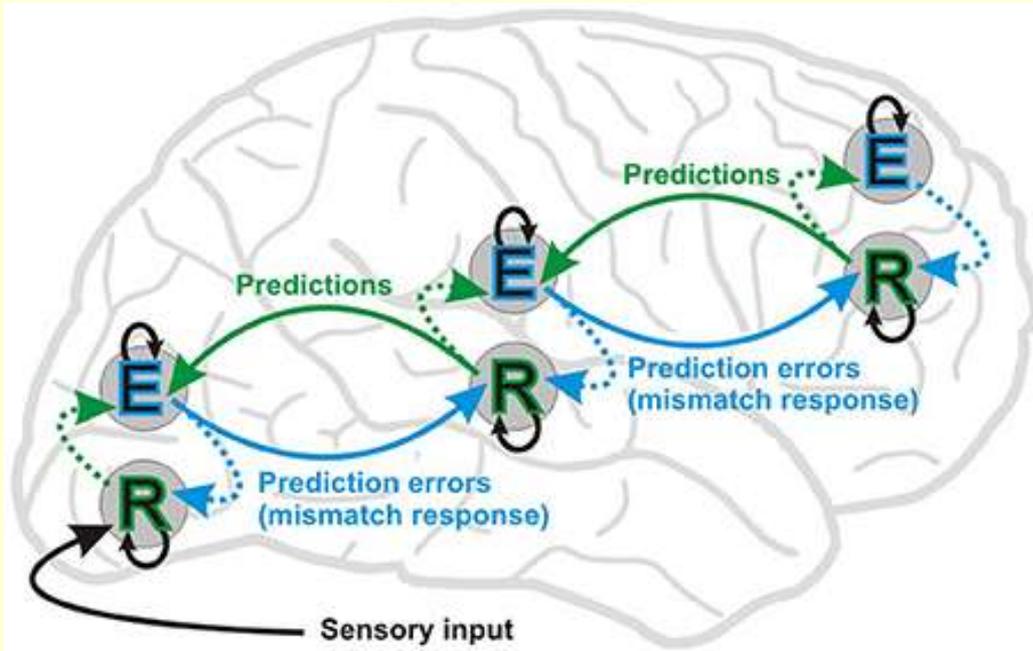
Top-down flow of predictions

Low level predictions  
(often highly spatially/  
temporally precise)

« On dirait qu'il y a un  
humain derrière ce mur... »  
(car j'ai un modèle qui me  
dit que d'habitude il y a un  
corps d'humain sous une  
tête d'humain...)



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



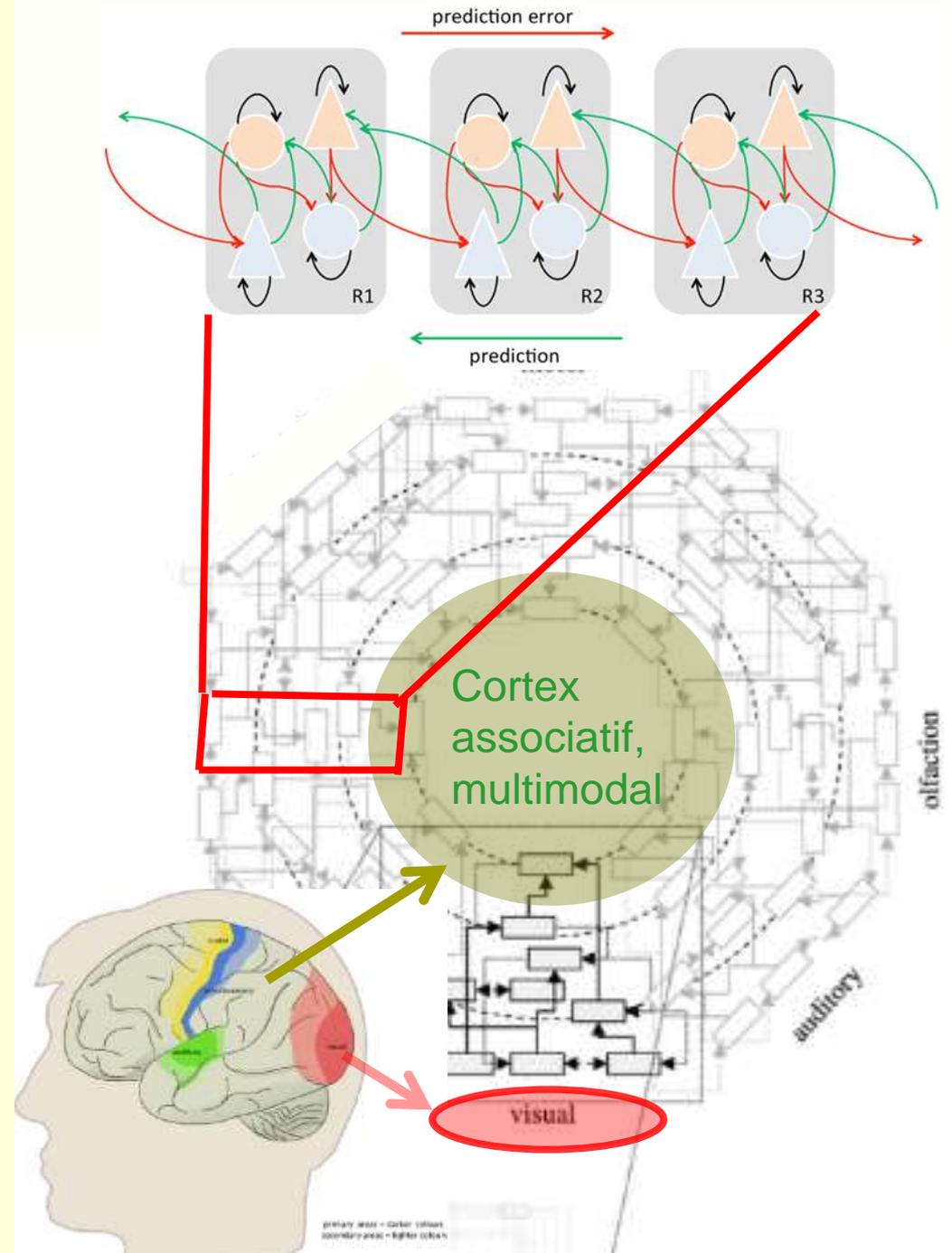
**Simplified scheme of the  
hierarchical predictive coding  
framework**

([Friston, 2005](#), [2008](#), [2010](#)).

<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2014.00666/full>

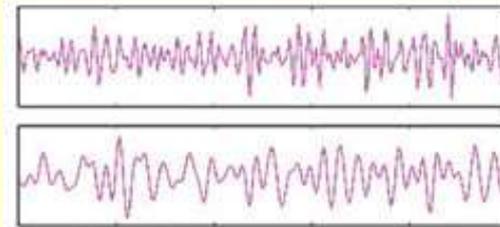
une architecture aux  **multiples  
niveaux** où chaque niveau essaie  
de prédire l'état du niveau  
en-dessous de lui  
(i.e. vers le monde extérieur).

Et donc à chaque niveau,  
ce que le système nerveux  
va chercher à faire, c'est de  
**minimiser l'erreur** qui vient  
d'en bas par rapport à la  
prédiction qui vient d'en haut.



Pour minimiser continuellement l'erreur de ses modèles prédictifs, le cerveau peut :

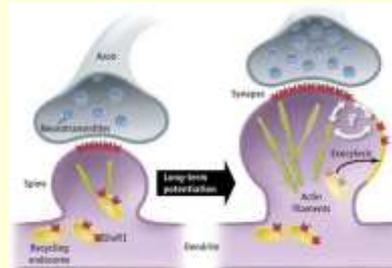
- soit **choisir un autre modèle** (recherche d'une **autre coalition** de régions cérébrales pertinente)



### Perception

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

- ou améliorer les modèles existants lorsqu'il ne correspond pas bien à la réalité (**plasticité** cérébrale);



### L'apprentissage

Modifier / améliorer les modèles existants

- ou soit **changer le monde** pour qu'il corresponde davantage à notre modèle si l'on est par exemple convaincu qu'il est le bon (par une **action** sur ce monde, autrement dit par nos comportements).  
C'est ce que Friston appelle « **active inference** ».

“...**active inference** [...] describes how living systems are able to maintain themselves within a limited range of phenotypic states;

i.e., within the set of states in which they expect to find themselves, on average and over time. ( = **autopoïèse** = **homéostasie** )

It explains how biological systems appear to resist the natural tendency to dissipate into their environment by fulfilling biologically instantiated [...] **prior beliefs**, or **expectations** about the ways the world should unfold (Friston 2010).

In short, organisms are driven by the biological imperative to **maintain homeostasis** via **action-perception loops** that actively **minimise ‘surprise’**.”

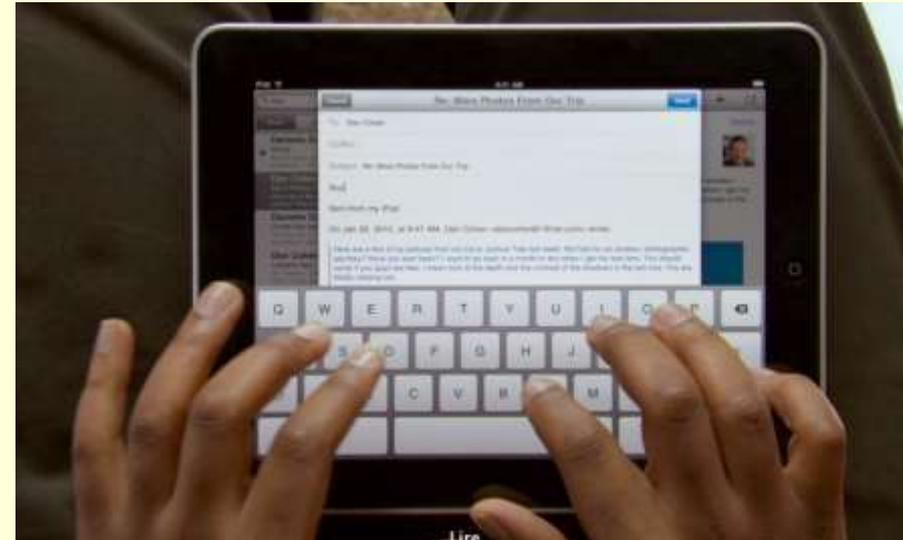
→ Et la **conscience** se manifeste dans toutes les situations où les prédictions de notre cerveau se révèlent erronées. Il s’agit alors de cet état de **surprise** qui se manifeste quand les prédictions implicites du cerveau tombent dans le vide.

How and why consciousness arises: some considerations from physics and physiology, M. Solms et K. Friston, *Journal for Consciousness Studies*, vol. 25, pp. 202-237, **2018**.

Tinkering with Cognitive Gadgets: Cultural Evolutionary Psychology meets Active Inference. Commentary on Cecilia Heyes (2018), *Cognitive Gadgets: The Cultural Evolution of Thinking* P. Badcock, A. Constant, M. Ramstead.

**Behavioral and Brain Sciences** · **January 2019**

[https://www.researchgate.net/publication/330727697\\_Tinkering\\_with\\_Cognitive\\_Gadgets\\_Cultural\\_Evolutionary\\_Psychology\\_meets\\_Active\\_Inference\\_Commentary\\_on\\_Cecilia\\_Heyes\\_2018\\_Cognitive\\_Gadgets\\_The\\_Cultural\\_Evolution\\_of\\_Thinking?fbclid=IwAR2ccTFksGijQdAjzUGN\\_SJQvItASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0uo](https://www.researchgate.net/publication/330727697_Tinkering_with_Cognitive_Gadgets_Cultural_Evolutionary_Psychology_meets_Active_Inference_Commentary_on_Cecilia_Heyes_2018_Cognitive_Gadgets_The_Cultural_Evolution_of_Thinking?fbclid=IwAR2ccTFksGijQdAjzUGN_SJQvItASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0uo)



Dans une journée, on prend énormément de « **décisions** » **automatiquement** sans en être conscient...



Mais parfois, un événement **surprenant** **s'écartant de nos prédictions habituelles** nous force à une délibération plus **consciente**.



En résumé, on peut **minimiser l'erreur de prédiction**

soit en changeant le modèle par rapport au monde (**plasticité**)

ou soit en changeant le monde par rapport à nos modèles (**action**).



C'est en ce sens qu'on peut dire que **le modèle est distribué à travers tout le cerveau ET le corps :**

les actions elles-mêmes participent autant aux computation que le cerveau ("active inference" de Friston)

Et la morphologie d'un organisme devient elle-même une sorte de "**modèle**" prédisant au mieux les types de sensations et d'actions de cet organisme dans sa niche écologique.



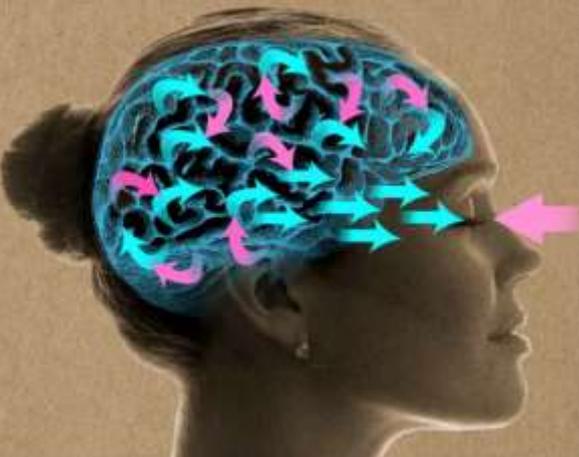
Figure 5: Tree affordance to bird, person, monkey, and squirrel



Predictive coding and how the dynamical Bayesian brain achieves specialization and integration (2015)

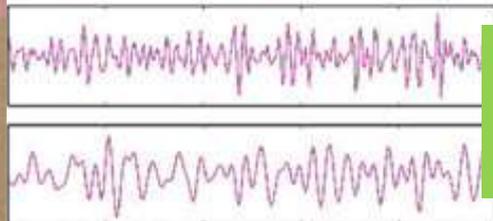
<http://neuroconscience.com/2015/12/24/predictive-coding-and-how-the-dynamical-bayesian-brain-achieves-specialization-and-integration/>

# Pour l'approche prédictive :



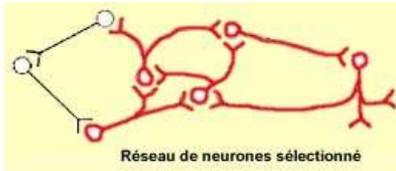
## Perception et action

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



## L'apprentissage

Modifier / améliorer les modèles existants



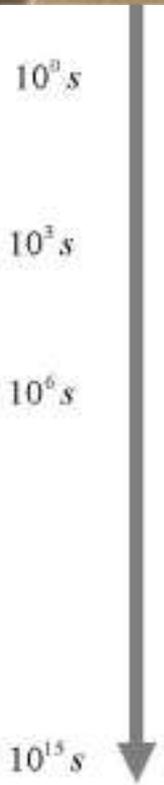
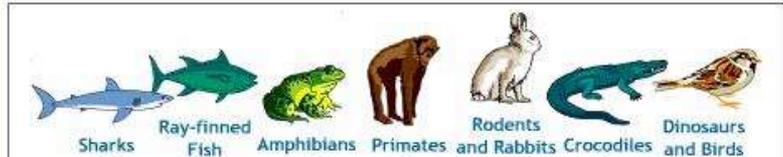
## Développement

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



## Évolution

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



Exemple :

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

- Maxwell Ramstead

“[...] **living systems**, over time and on average, **tend to revisit the same set of attracting or characteristic states.**”

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

Variational ecology and the physics of sentient systems

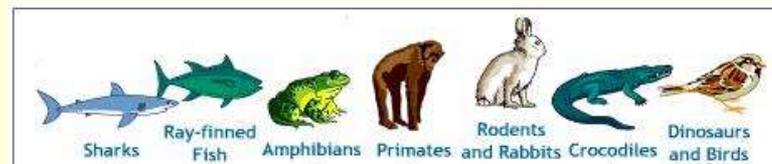
[Maxwell J.D.Ramstead<sup>ab</sup>](#)

<sup>1</sup>[AxelConstant<sup>c1</sup>](#) [Paul B.Badcock<sup>def</sup>](#) [Karl](#)

[J.Friston<sup>9</sup>](#)

[Physics of Life Reviews](#)

Available online 7 January 2019



Évolution

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

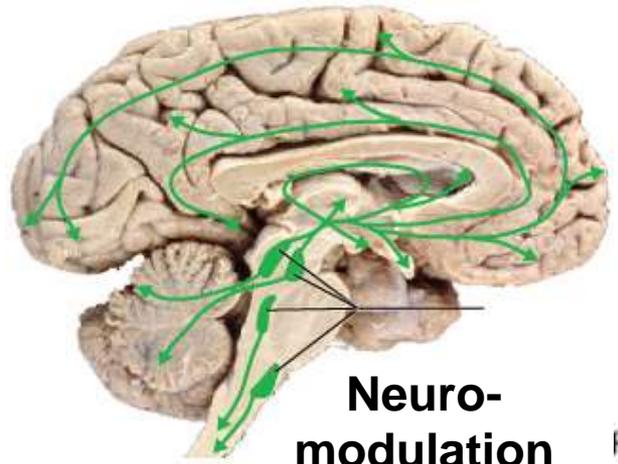
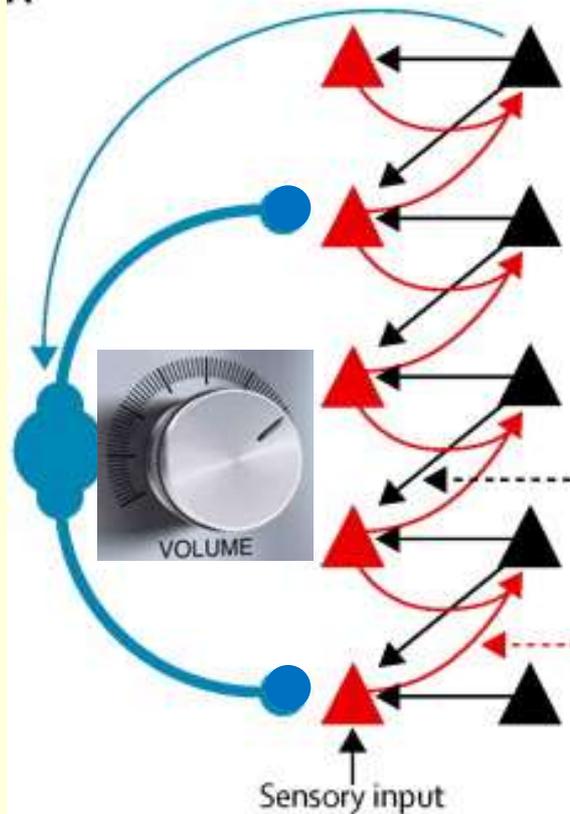
**L'attention**, les émotions, l'imagination et la compréhension sous l'angle du « cerveau prédictif » !

Dans cette perspective, **l'attention** est modélisée en tant que 'precision-weighting', c'est-à-dire un échantillonnage favorisant des données sensorielles de **haute précision**.

Autrement dit, les "prediction error" avec **un ratio "signal / bruit" élevé** (Feldman & Friston, 2010).

En se basant sur cette information, le système cognitif **balance le gain** (ou '**volume**') de ce qui est transmis entre les différents niveaux **en fonction de la précision du signal**.

A

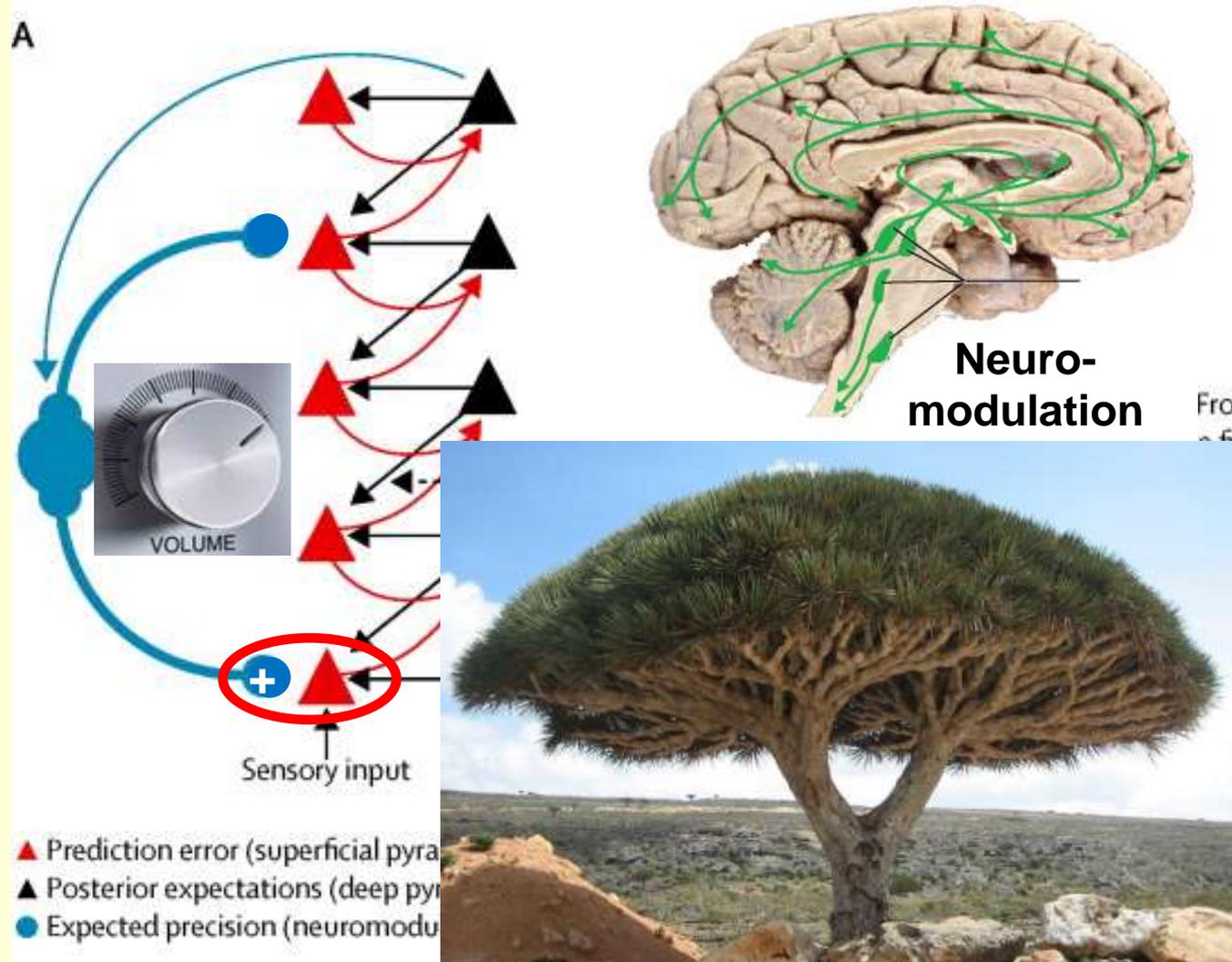


**Neuro-modulation**

Top-down or descending predictions

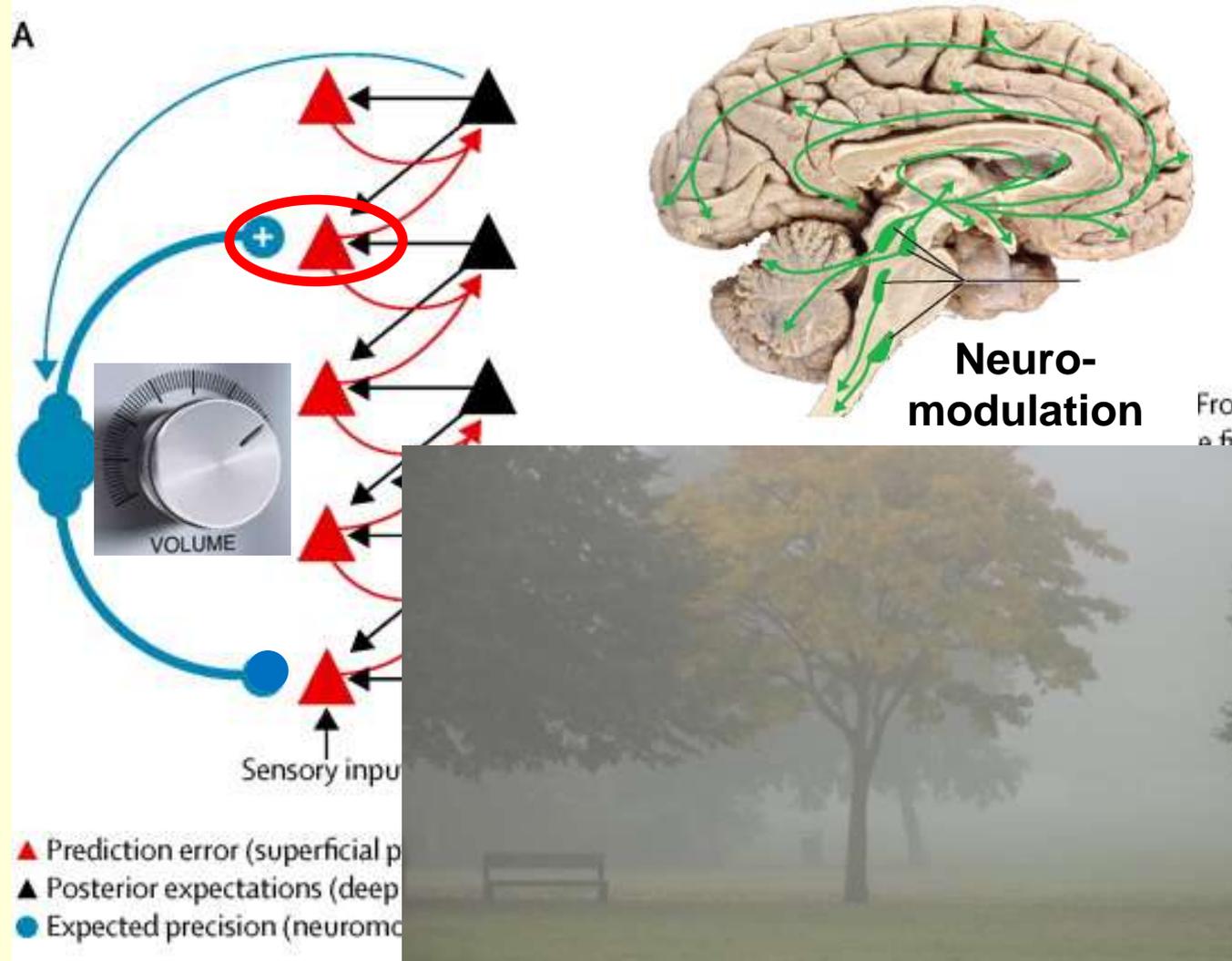
Bottom-up or ascending prediction error

- ▲ Prediction error (superficial pyramidal cells)
- ▲ Posterior expectations (deep pyramidal cells)
- Expected precision (neuromodulatory cells)



Dans certains cas, on pourra par exemple complètement **couper les influences de haut niveau** et avoir une stratégie quasiment 100% bottom up.

Une belle journée où l'air sec offre une bonne visibilité : on s'en remet alors en toute confiance à notre vision, donc à une source d'information très bottom up.



Dans des situations où il y a une **grande incertitude** en provenance de l'environnement, un poids plus grand pourra être apporté aux **modèles internes** (« prior probabilities »).

Même chose au niveau **sonore** : dans un party bruyant où l'on entend à peine la personne qui nous parle, on va s'en remettre beaucoup à des **connaissances implicites (donc au top down, aux « priors »...)** pour compléter les mots qu'on manque et comprendre ses phrases.



On voit donc que notre cerveau est prédictif, mais pas d'une manière absolue. Il est très bon pour donner du sens aux signaux **incomplets** ou **ambigus** – qui sont la norme dans la vie de tous les jours – mais peut aussi également dans d'autres circonstances laisser monter un signal bottom up clair qui pourra mettre à jour nos modèles internes du monde s'ils en ont besoin.

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives



Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie :  
l'évolution qui fait  
qu'on est ici  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux



Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 5 :  
Cartographe des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier



Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner



Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions



Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



L'attention, les **émotions**,  
l'imagination et la compréhension  
sous l'angle du « **cerveau  
prédictif** » !

Séance 10 : « Moi »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?



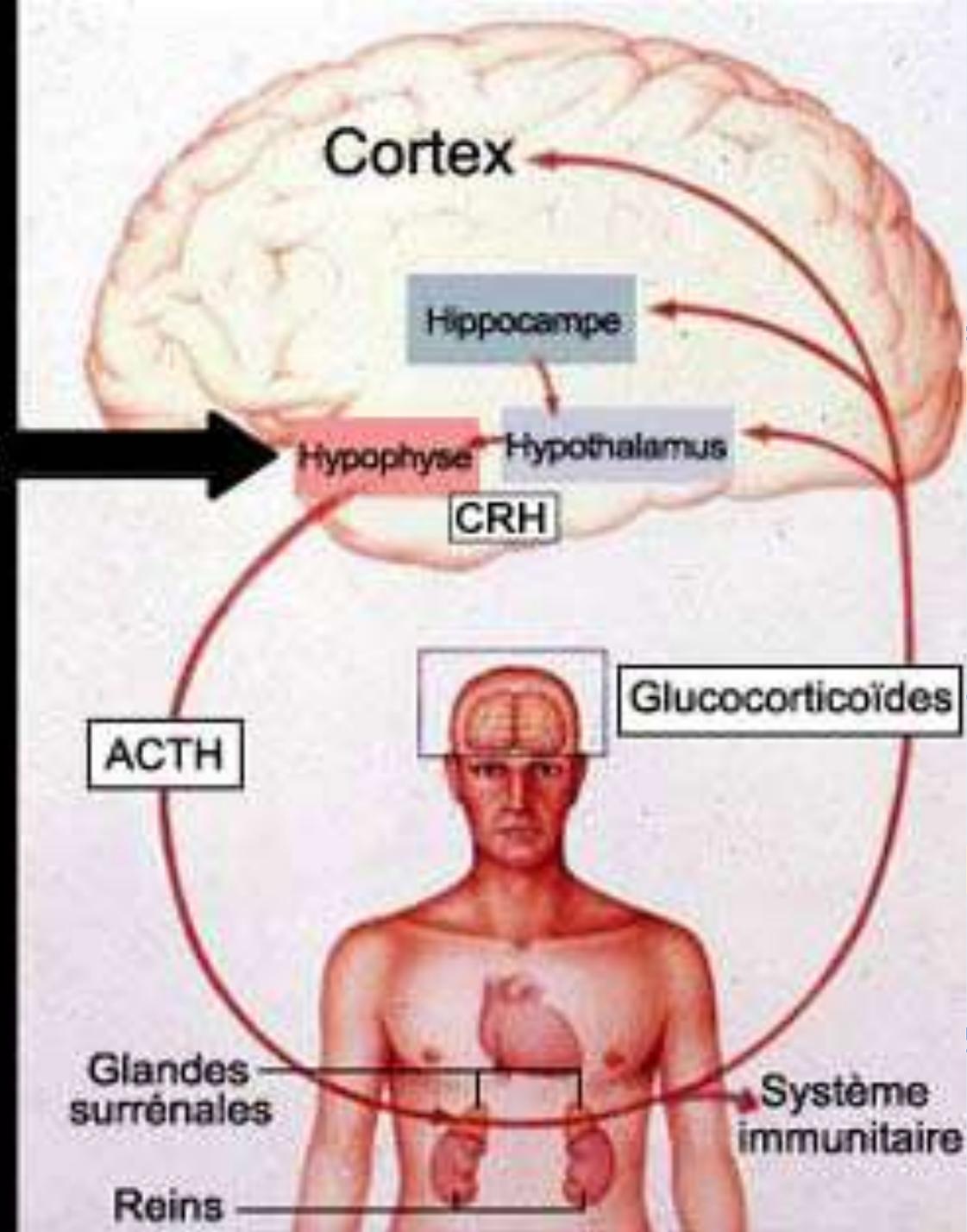
Séance 9 :  
Le langage : une  
propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

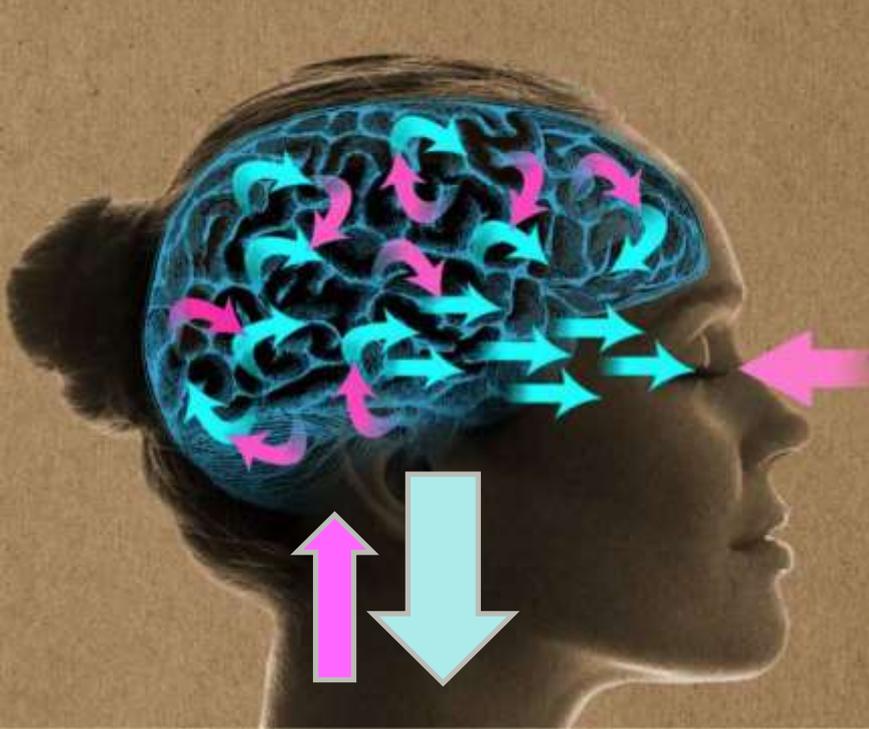


Stress



IX

ds



Il devient même possible de reconsidérer les émotions à la lumière du grand cadre théorique du cerveau prédictif,

mais avec des prédictions tournées vers l'intérieur du corps.

## **Interoceptive inference, emotion, and the embodied self**

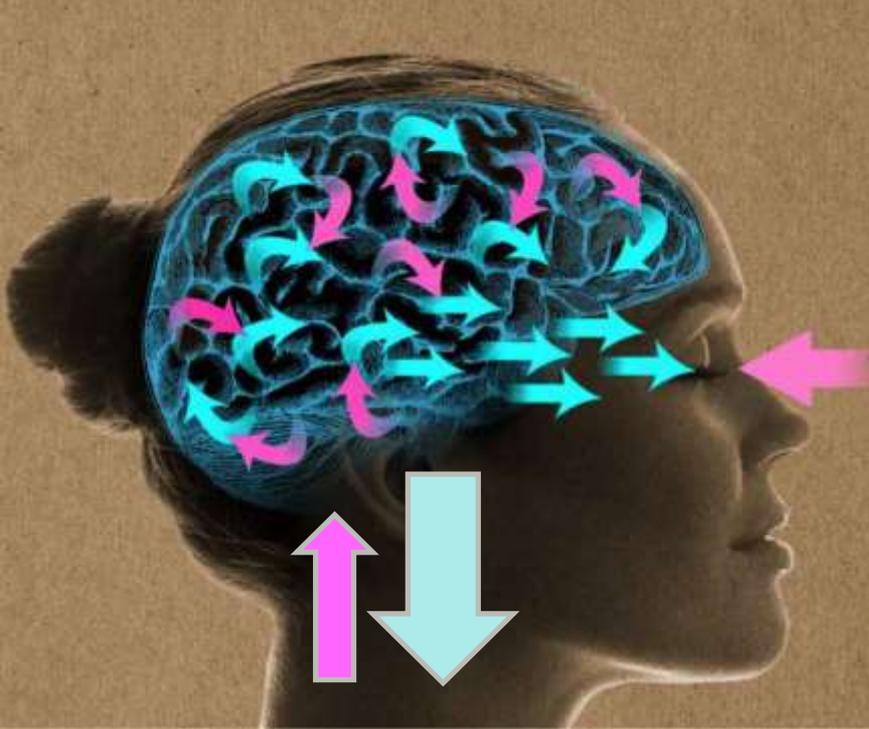
AnilK.Seth, Trends in Cognitive Sciences, November 2013, Vol.17, No.11

<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/~karl/Interoceptive%20inference%20emotion%20and%20the%20embodied%20self..pdf>

...**'interoceptive inference'** conceives of subjective feeling states (emotions) as **arising from actively-inferred generative (predictive) models of the causes of interoceptive afferents.**

It generalizes 'appraisal' theories that view emotions as emerging from cognitive evaluations of physiological changes.

It is hypothesised to engage an extended autonomic neural substrate with emphasis on the anterior insular cortex (AIC) as a comparator.

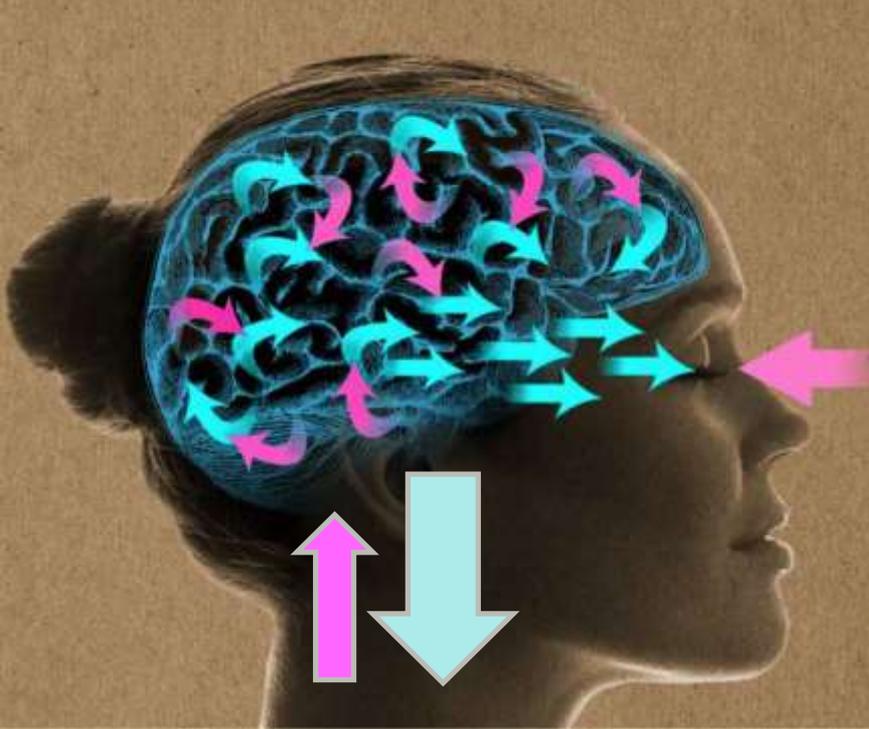


“We create our emotions from bodily sensations, past experiences, and from learning emotional concepts from our parents and cultural upbringing.

In short, our emotions are not reactions to the world, but **an invention of our brain to explain the cause of our sensations and actions.**”

- Lisa Feldman Barrett,  
director of Northeastern University's  
Interdisciplinary Affective Science Laboratory

- Notre cerveau peut donner **différentes significations** aux changements sensoriels qu’il perçoit dans notre corps **dépendamment du contexte** : si vous sentez votre cœur battre fort pendant que vous courez, ce n’est pas aussi alarmant que la même chose en lisant cette phrase, par exemple.
- L’anecdote de Barrett qui devient attirée par un garçon qui ne l’attirait pas trop durant leur premier rendez-vous suite à toutes sortes de sensations somatiques... qui s’avéreront le soir les premiers symptômes d’une grippe!



“We create our emotions from bodily sensations, past experiences, and from learning emotional concepts from our parents and cultural upbringing.

In short, our emotions are not reactions to the world, but **an invention of our brain to explain the cause of our sensations and actions.**”

- Lisa Feldman Barrett,  
director of Northeastern University's  
Interdisciplinary Affective Science Laboratory

→ Notre cerveau peut donner **différentes significations** aux changements sensoriels qu’il perçoit dans notre corps **dépendamment du contexte** : si vous sentez votre cœur battre fort pendant que vous courez, ce n’est pas aussi alarmant que la même chose en lisant cette phrase, par exemple.

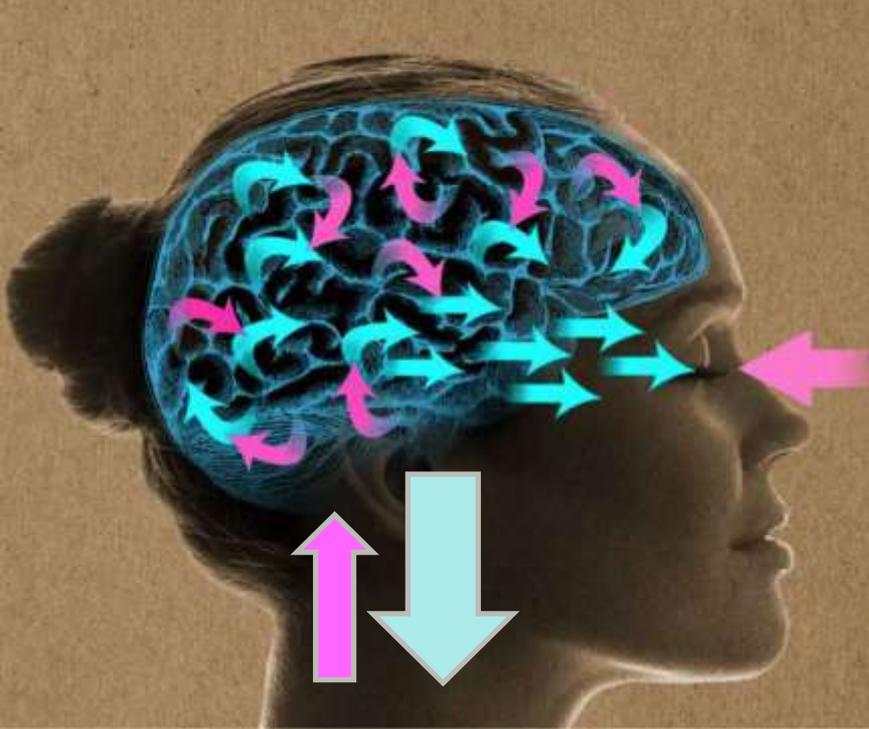
### **Emotion forte et prédisposition amoureuse**

<https://www.psychologie-sociale.com/index.php/fr/experiences/influence-engagement-et-dissonance/248-emotion-forte-et-predisposition-amoureuse>

### **Some evidence for heightened sexual attraction under conditions of high anxiety.**

Dutton, D. G.; Aron, A. P. 1974 <https://psycnet.apa.org/record/1975-03016-001>





**"From your brain's perspective,  
your body is just another source  
of sensory input,"**

**- L. F. Barrett**

[https://tonic.vice.com/en\\_us/article/qvpae5/would-someone-born-and-raised-in-solitary-have-any-emotions?utm\\_campaign=sharebutton](https://tonic.vice.com/en_us/article/qvpae5/would-someone-born-and-raised-in-solitary-have-any-emotions?utm_campaign=sharebutton)

En résumé, **tout ce qui se passe dans notre corps,  
le cerveau va en être informé en retour.**

**Et les simulations mentales que notre cerveau génère  
constamment affectent le reste du corps par toutes  
sortes de « processus descendants » bien concrets...**

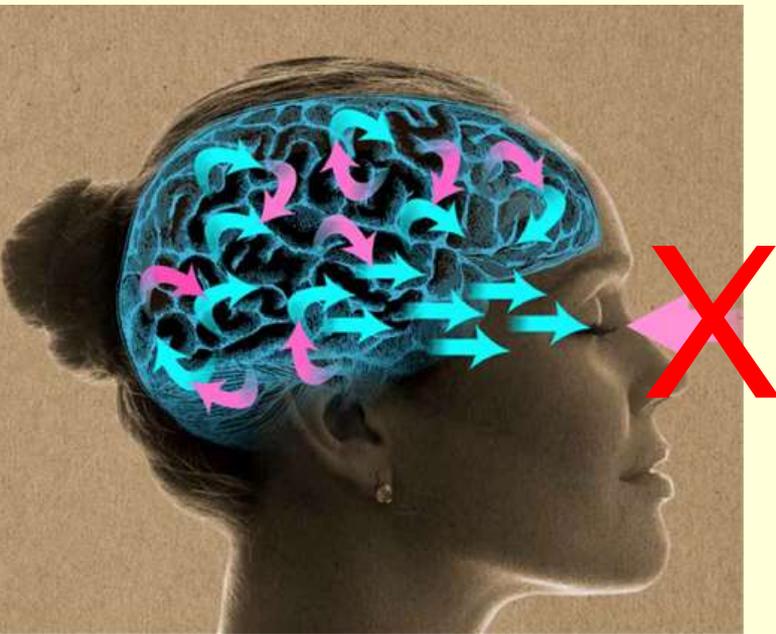
**...comme l'effet placebo !**

L'attention, les émotions, **l'imagination** et la compréhension sous l'angle du « cerveau prédictif » !

12 décembre 2016

« La cognition incarnée », séance 14 :

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



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

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

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

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

L'attention, les émotions, l'imagination et la **compréhension** sous l'angle du « cerveau prédictif » !

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

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

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



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

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

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

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



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



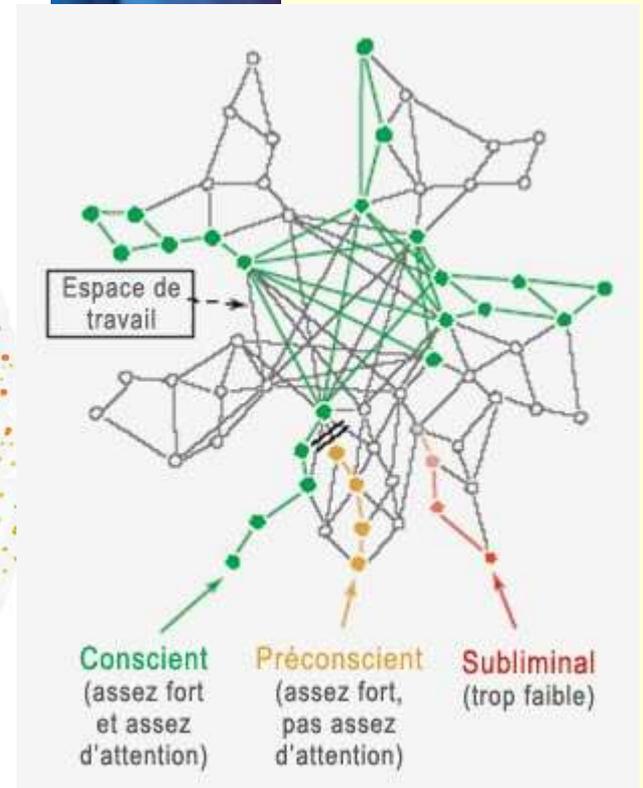
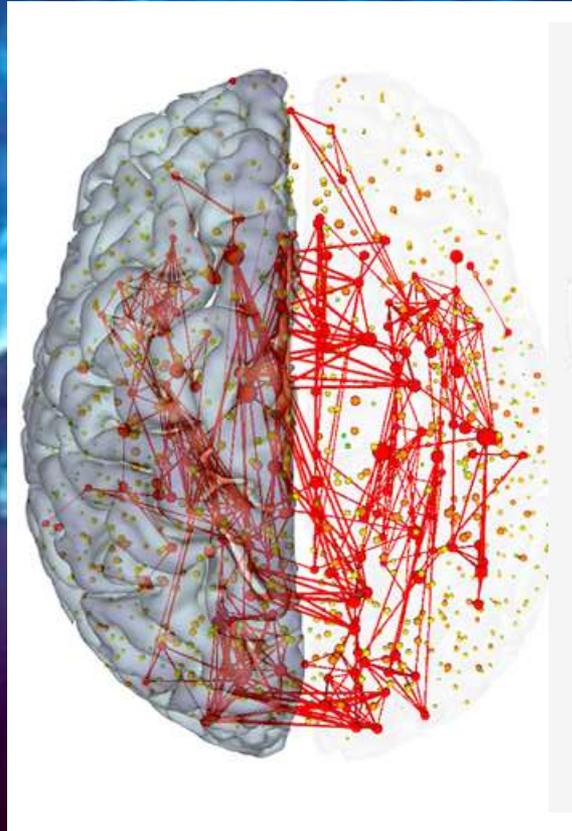
Séance 9 :

**Le langage :**

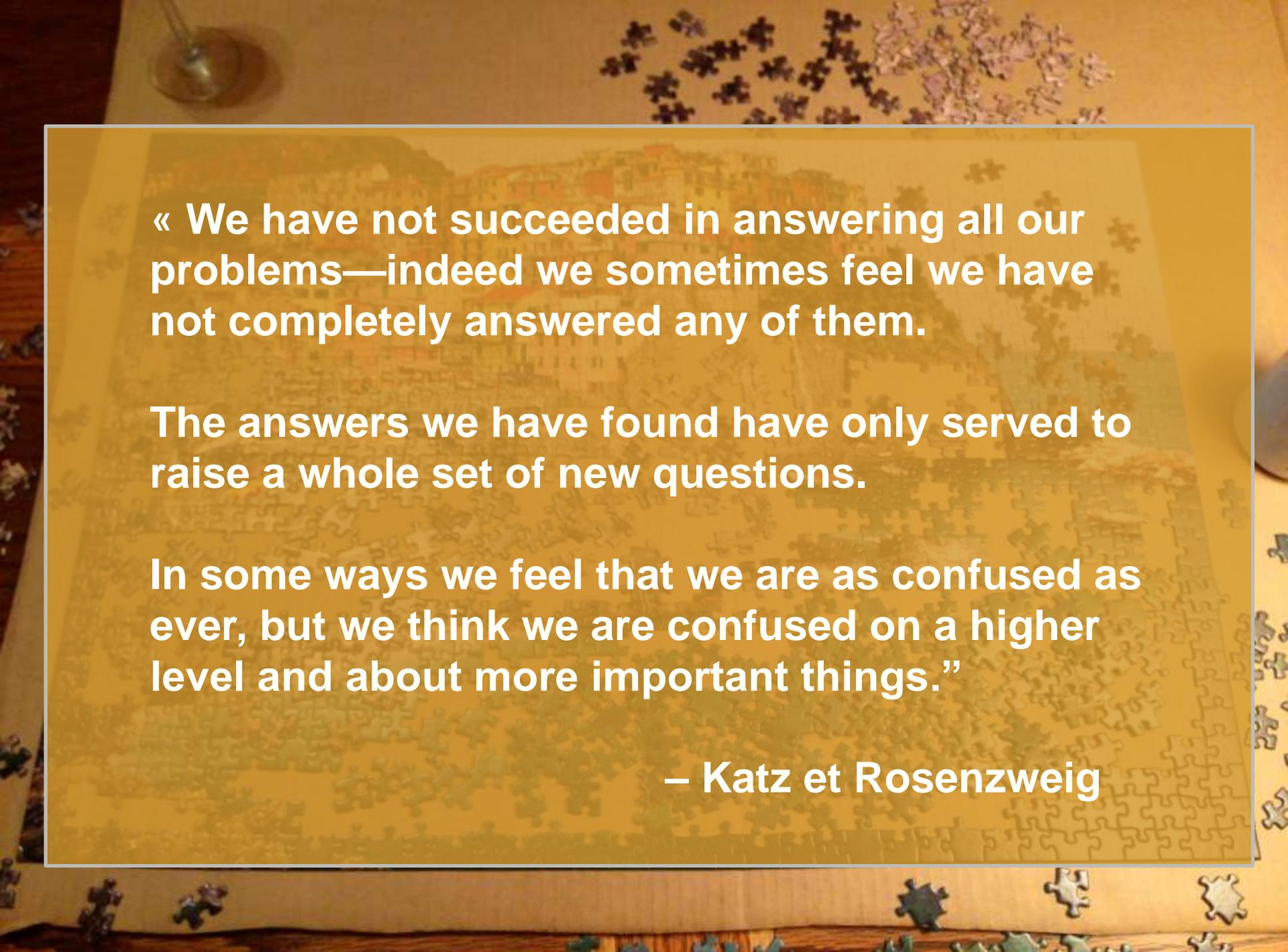
**une propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains**



Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle de l'avenir ?





A photograph of a wooden table with a puzzle. The puzzle features a cityscape with buildings and a road. Some puzzle pieces are missing, and a few are scattered on the table. A small glass object is visible in the top left corner.

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

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

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

**– Katz et Rosenzweig**

Merci pour votre présence et votre participation !



[www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca)



[www.elogedelasuite.net](http://www.elogedelasuite.net)



[www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)