

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

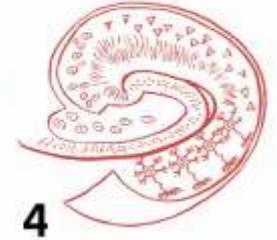
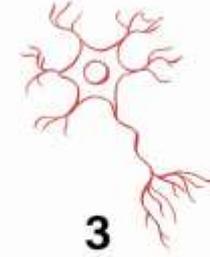
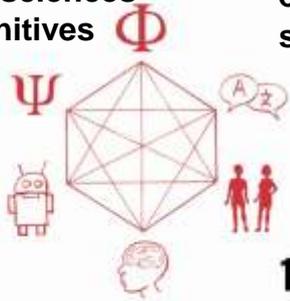
# Cours #1

L'histoire évolutive de notre système nerveux

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

B- La plasticité neuronale à la base de l'apprentissage et de la mémoire

Prologue



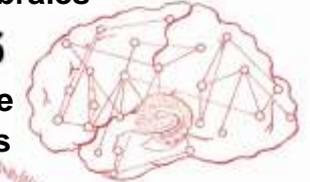
Épilogue



# Cours #2

A- Des structures cérébrales multiples et variées

Reliées en réseaux de milliards de neurones



B- L'activité dynamique de nos rythmes cérébraux

6

Durant l'éveil, le sommeil et le rêve

11



10



9



8



7



# Cours #3

B- Simuler le monde pour décider quoi faire : le cerveau prédictif

A- Cerveau et corps ne font qu'un : origine et fonction des émotions

## Cours #3

**A- Cerveau et corps ne font qu'un :  
origine et fonction des émotions**

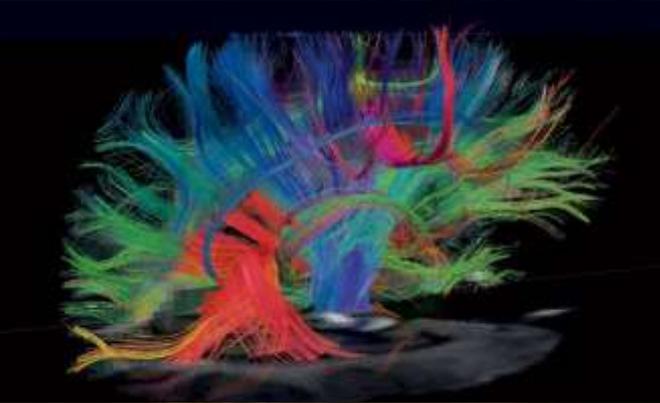


**B- Simuler le monde  
pour décider quoi faire :  
le cerveau prédictif**





On a beaucoup parlé de circuits et de câbles dans le cerveau jusqu'ici...

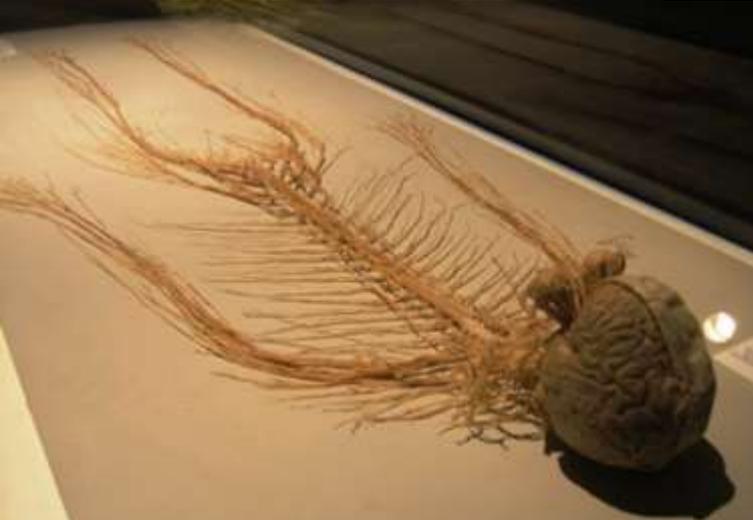
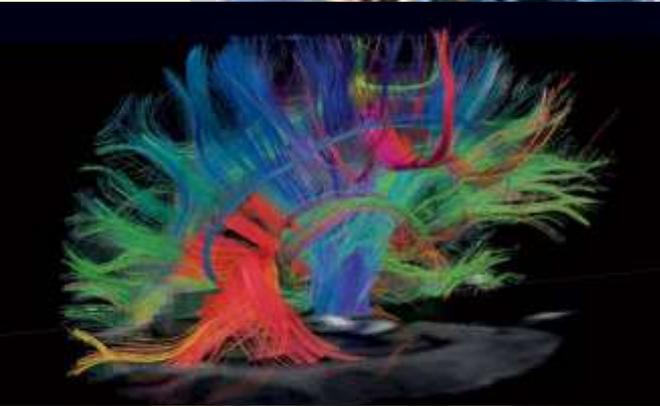


Mais ce cerveau est extrêmement connecté au corps par les nerfs spinaux et crâniens !

(toucher, proprioception, douleur, motricité...)



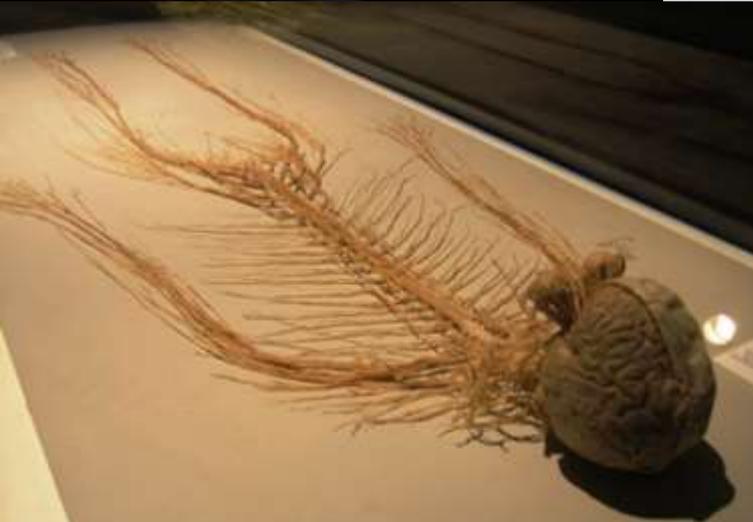
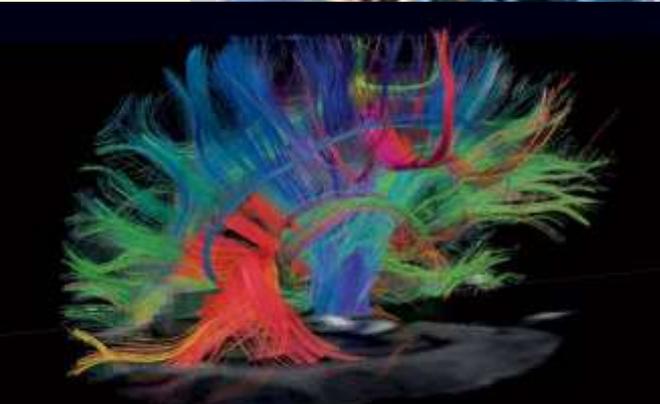
+



On va aussi devoir  
enfin parler un peu  
de la soupe !

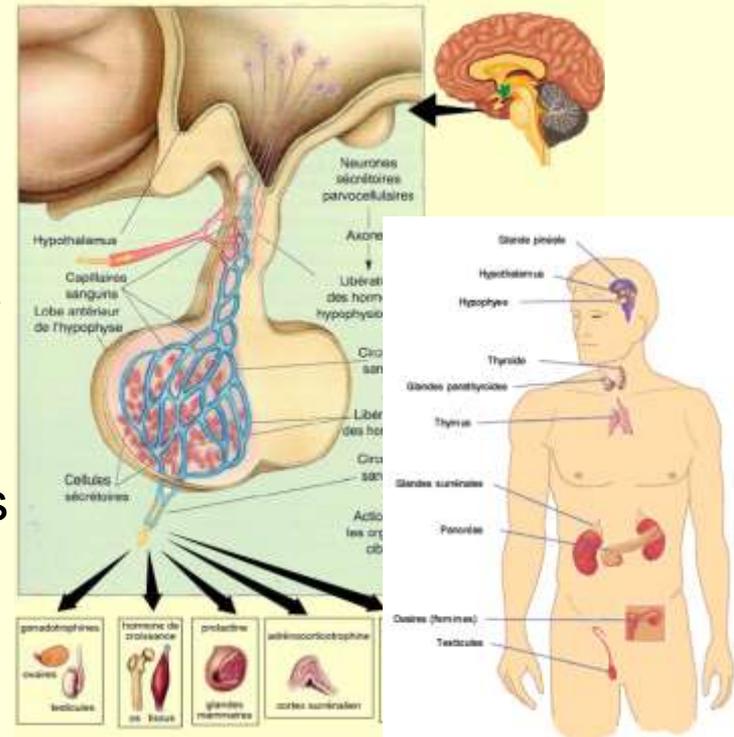


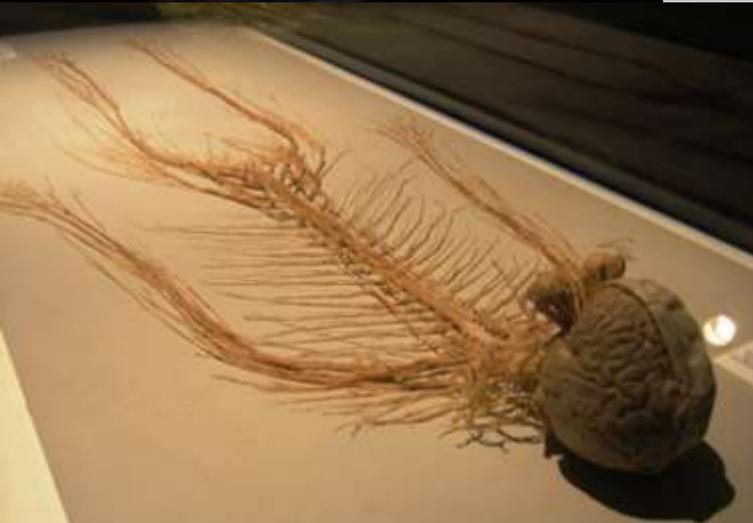
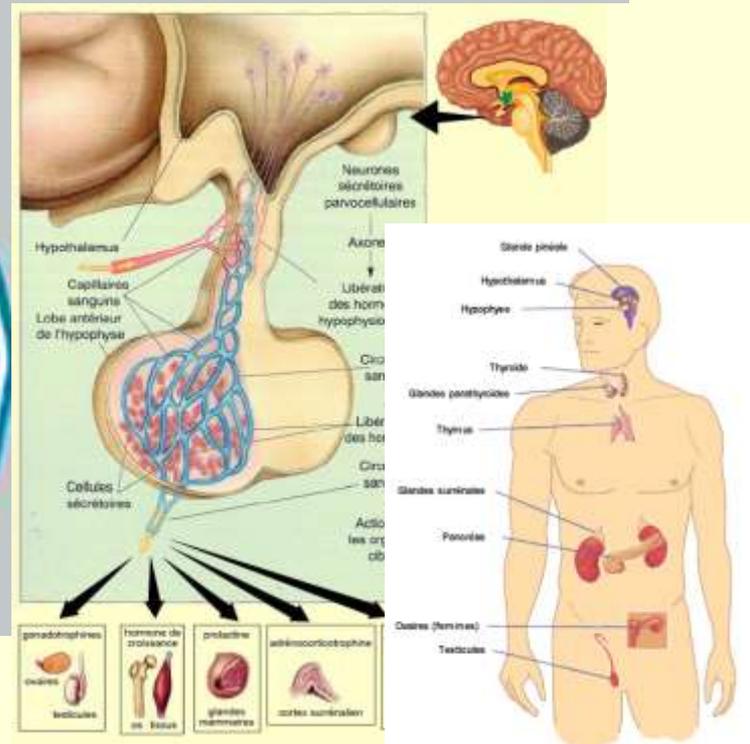
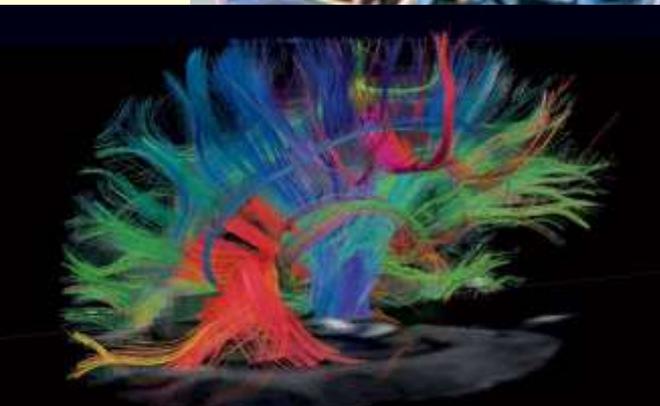
+



Et donc d'hormones !

Des hormones influencées par le cerveau mais qui se retrouvent dans tout le corps !





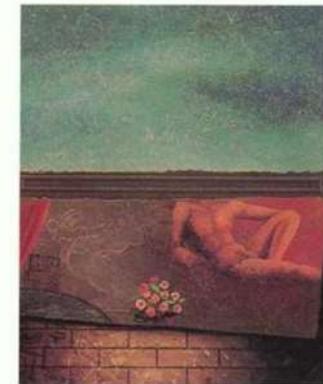
« **Je suis**  
parce que je suis ému  
et parce que tu le sais ! »



- Jean-Didier Vincent,  
*Biologie des passions* (1986)

JEAN-DIDIER VINCENT

**BIOLOGIE  
DES PASSIONS**



# Plan - Émotions

Deux grands systèmes pour deux types de contrôle :  
nerveux et endocrinien

La signification des choses dépend du corps  
particulier qu'on doit maintenir en vie

L'origine évolutive de différentes émotions :  
sentir la valeur des choses

Les effets néfastes du stress chronique sur le corps-  
cerveau

Pendant longtemps :

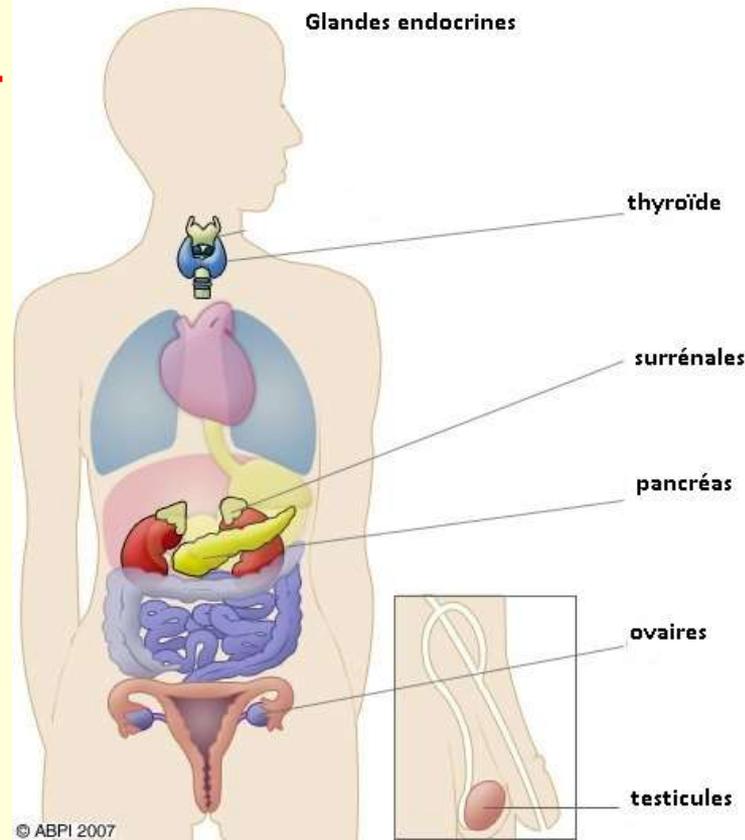
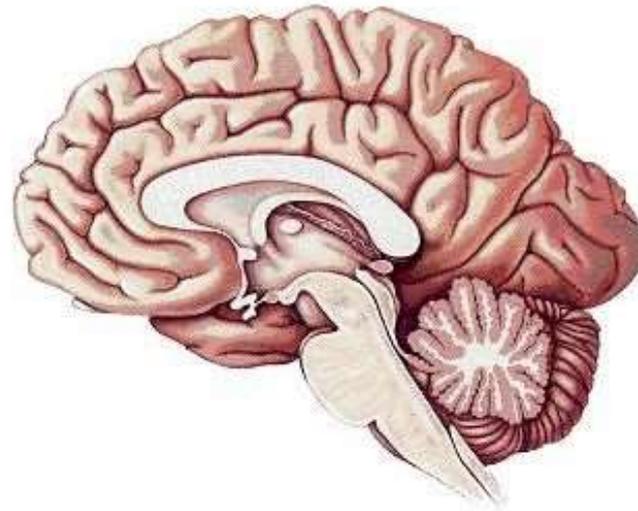
Cerveau

neurotransmetteurs

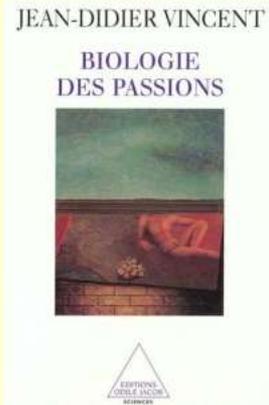


Corps

hormones



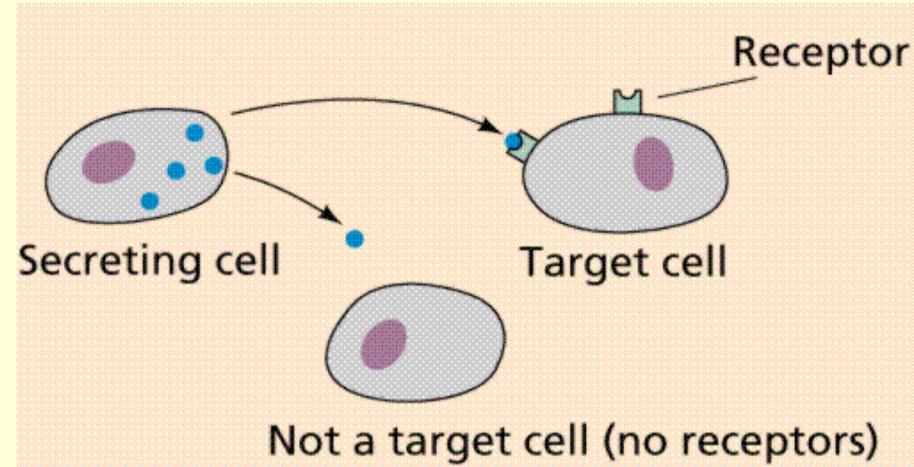
Ce qui n'est pas étonnant dans une perspective **évolutive**...



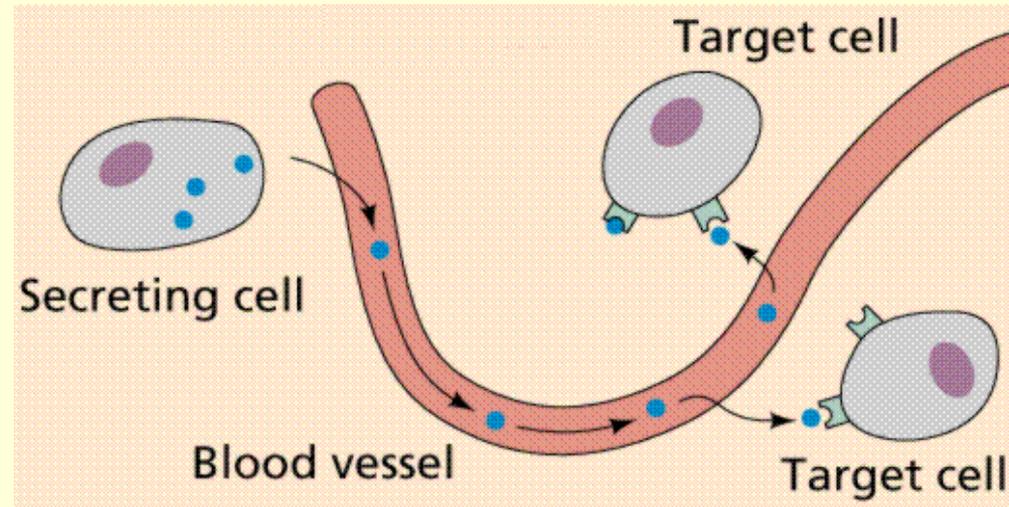
« *Les substances chargées de la communication sont présentes dans l'être vivant avant même que ne soient différenciés les [grands systèmes].*

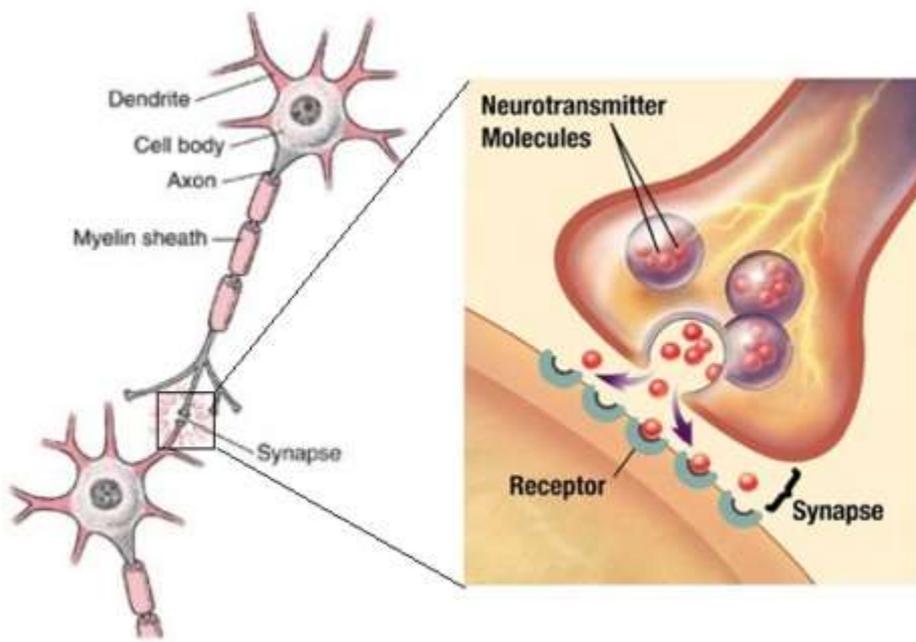
*Hormones et neurotransmetteurs **devancent** l'apparition des systèmes endocrines et nerveux. » (p.105)*



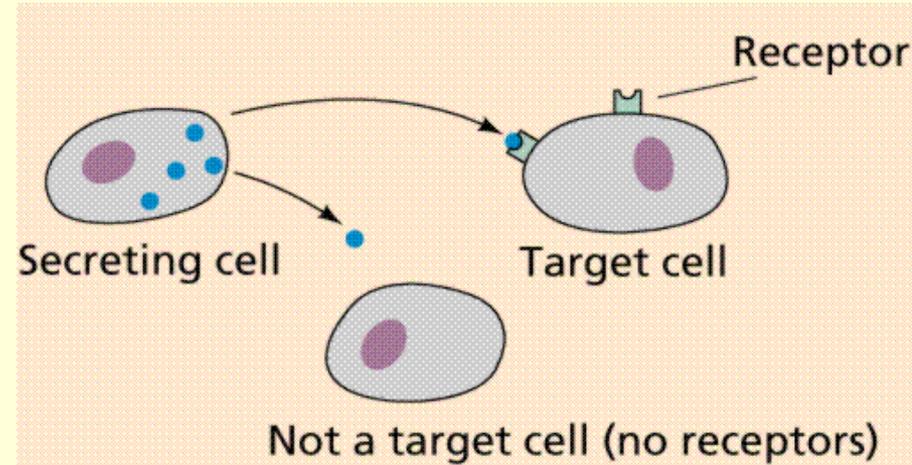


**Hormones !**  
(système endocrinien)



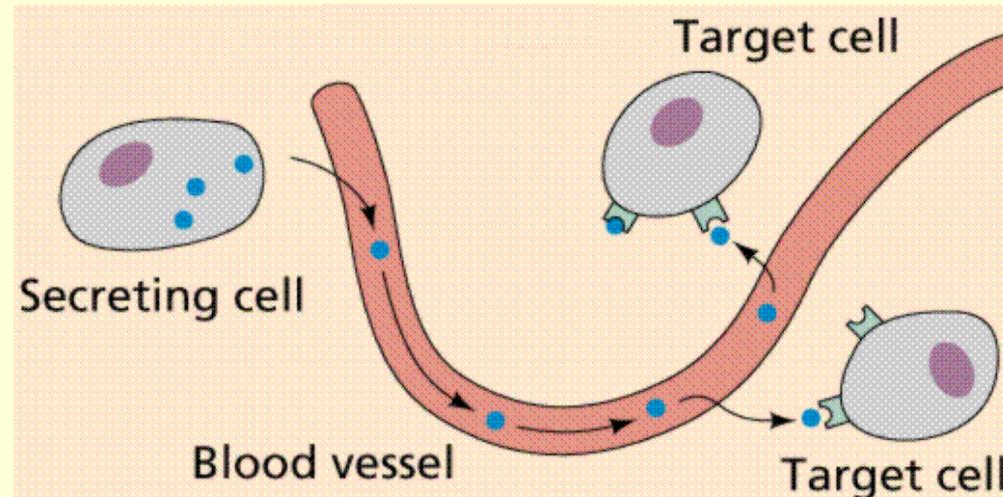


...mais aussi neurotransmetteurs et récepteur des neurones du **système nerveux !**

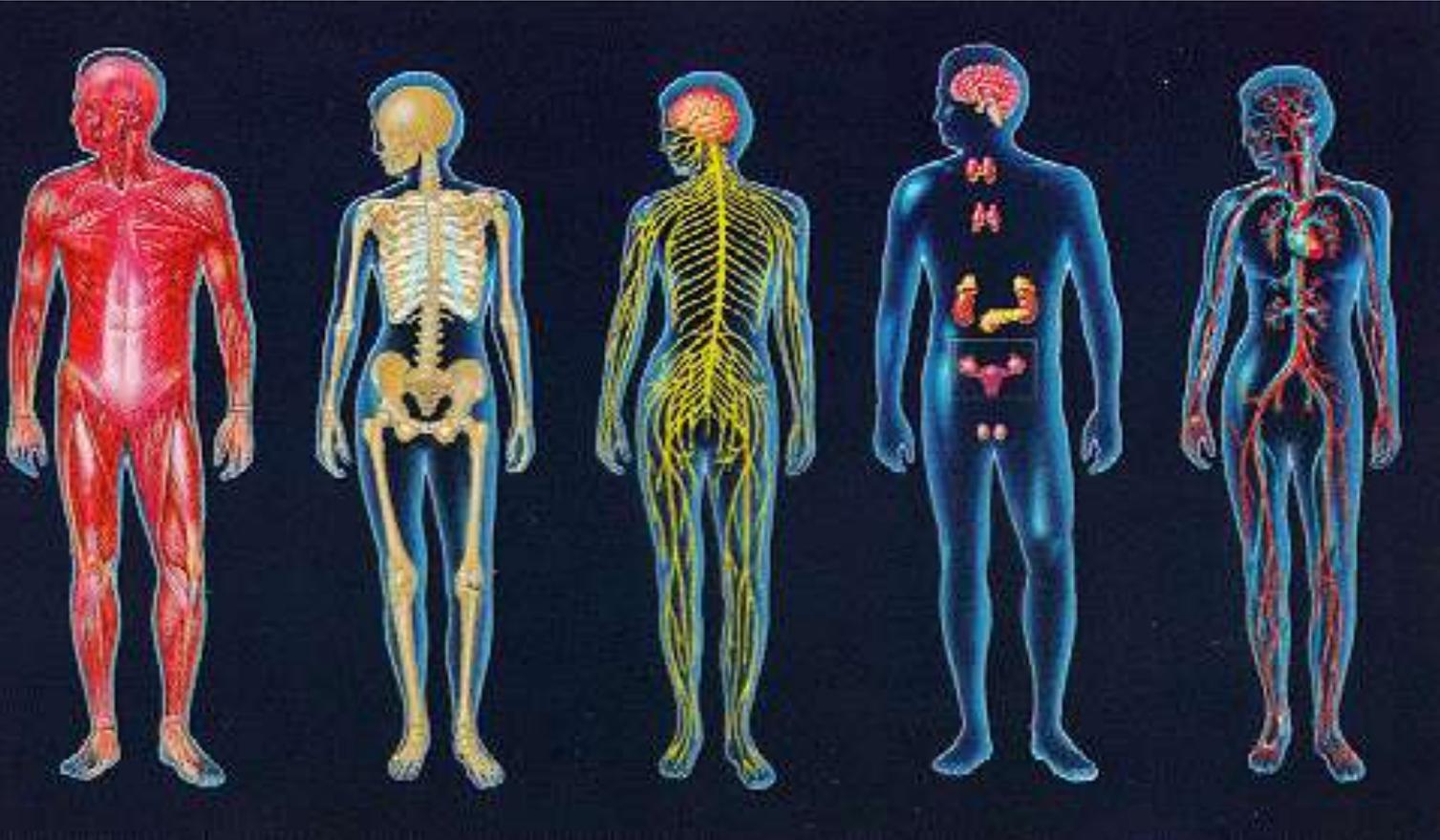


« Les mêmes substances sont **à la fois hormones et neurotransmetteurs** selon une confusion des rôles qui nous est maintenant familière. »

**Hormones !**  
(système endocrinien)



Et parmi tous les grands systèmes du corps humain,



Musculo-squelettique

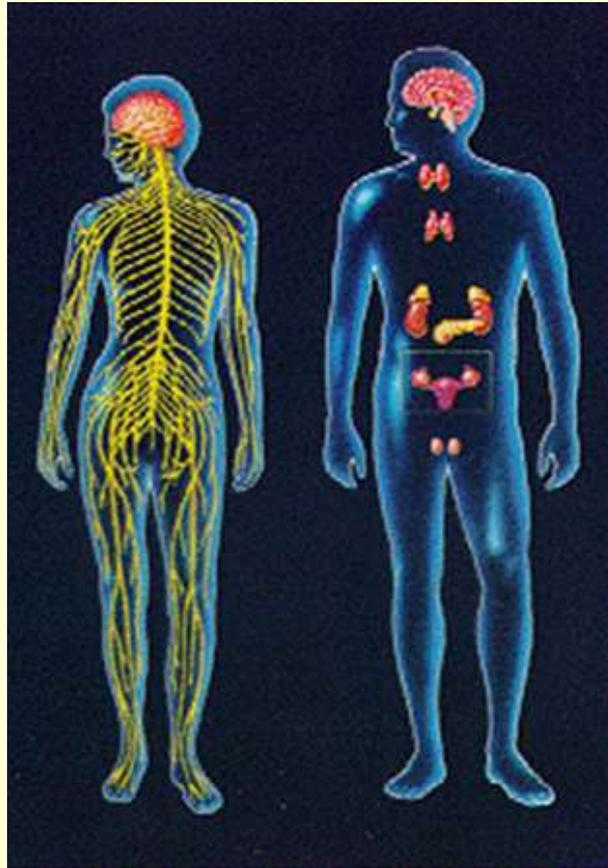
Nerveux

Endocrinien

Circulatoire

Immunitaire

Ces deux grands systèmes vont **collaborer** constamment **pour maintenir cette structure** chez les animaux.



**Nerveux**

**Endocrinien**

Éventuellement,  
va devoir être aidé par :

Système **nerveux**

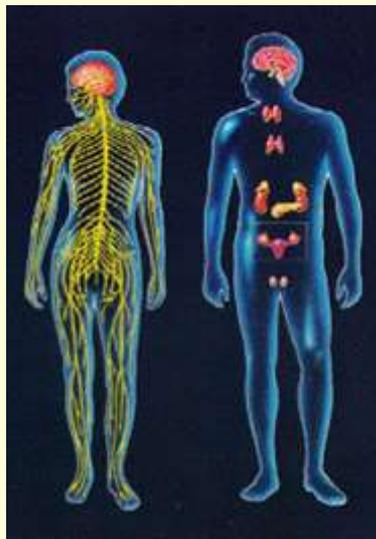
=

autonomie motrice

pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

Donc boucles sensori-motrices

Donc **comportements**



Système **endocrinien**

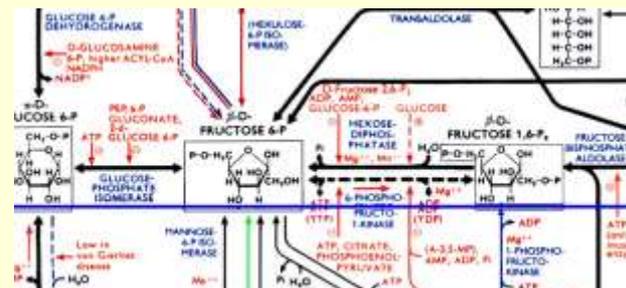
=

Équilibre métabolique

de l'environnement  
interne

Donc boucles de rétroaction  
biochimiques

Donc **régulations  
hormonales**



Éventuellement,  
va devoir être aidé par :

Système **nerveux**

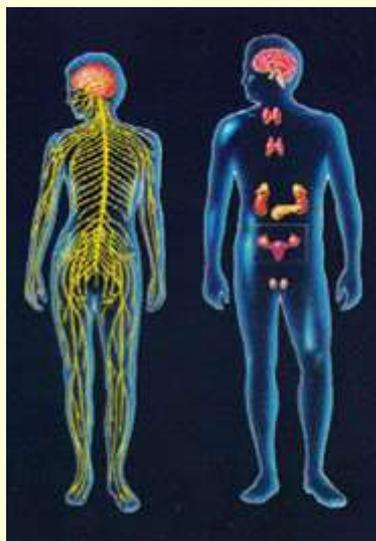
=

autonomie motrice

pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

Donc boucles sensori-motrices

Donc **comportements**



Système **endocrinien**

=

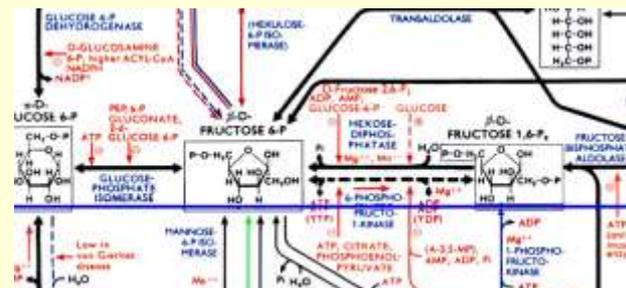
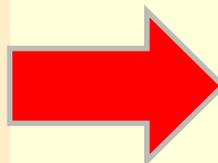
Équilibre métabolique

de l'environnement  
interne

Donc boucles de rétroaction  
biochimiques

Donc **régulations  
hormonales**

Et si les comportement échouent,  
le système endocrinien devra déclencher  
**d'autres remaniements métaboliques  
plus radicaux...**





**Par une réponse  
comportementale  
(système nerveux)**

**Par une réponse  
métabolique  
(système endocrinien)**

**FAIM**

Manger

Mobiliser ses réserves  
(lipides, etc...)

**SOIF**

Boire

Diminuer l'élimination d'eau  
(réabsorption par les reins,  
etc....)

**TEMPÉRATURE**

Se met à l'abri  
Hérissé ses poils

Augmente la production de  
chaleur par ses cellules

**REPRODUCTION**

Comportements de  
séduction  
Accouplement

Maturation des cellules  
sexuelles

**SOINS ENFANTS**

Comportements maternels

Production de lait

**Par une réponse  
comportementale  
(système nerveux)**



**Par une réponse  
métabolique  
(système endocrinien)**

**Les 2 systèmes travaillent donc  
toujours ensemble et en parallèle  
pour assurer « l'homéostasie ».**

Par une réponse  
comportementale  
(système nerveux)



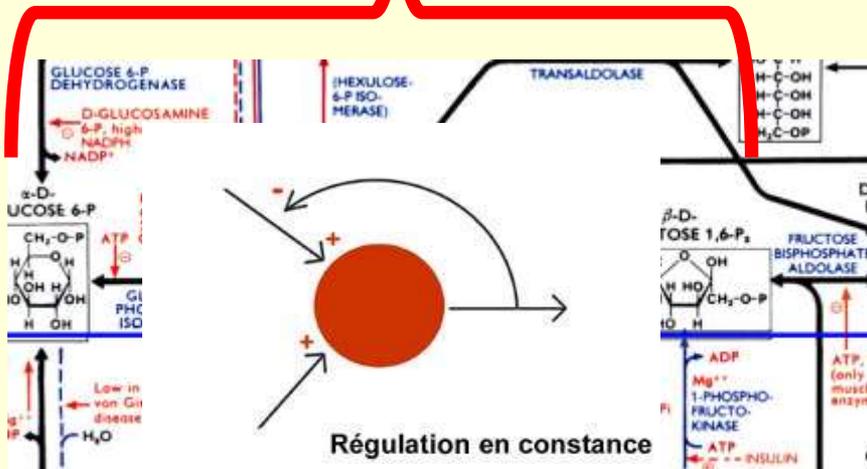
Par une réponse  
métabolique  
(système endocrinien)

## La réponse métabolique

= « l'homéostasie »

= équilibre du milieu intérieur

= la « physiologie »



Rappelons que le métabolisme d'une simple bactérie est soumis à d'innombrables mécanismes de contrôle

avec de nombreuses boucles de rétroaction.

Par une réponse  
comportementale  
(système nerveux)



Par une réponse  
métabolique  
(système endocrinien)

## La réponse métabolique

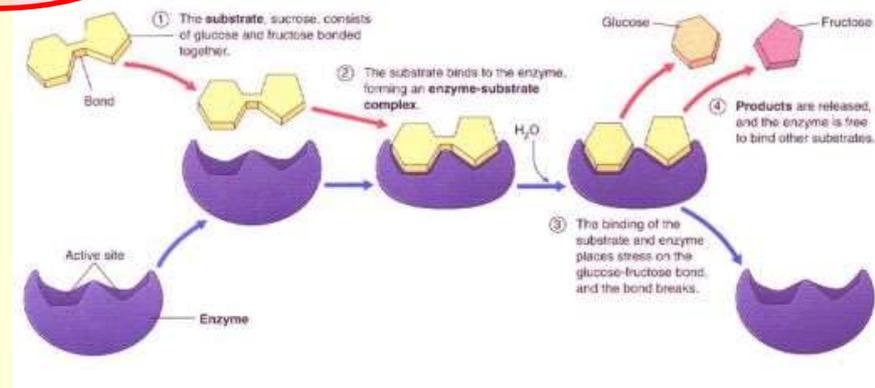
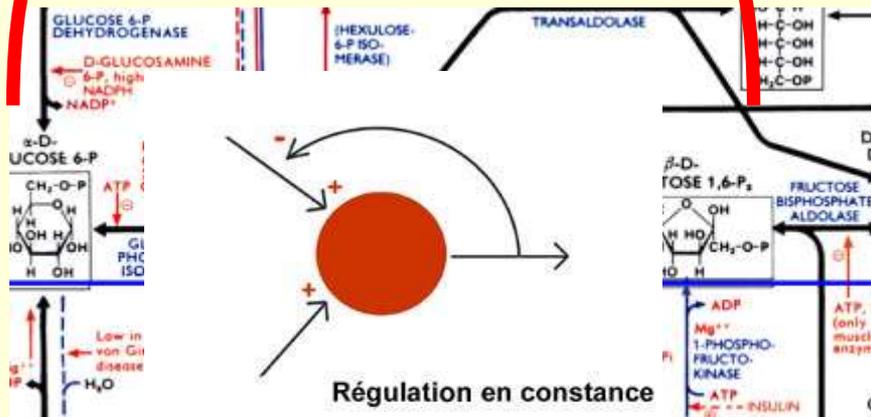
= « l'homéostasie »

= équilibre du milieu intérieur

= la « physiologie »



sucrose



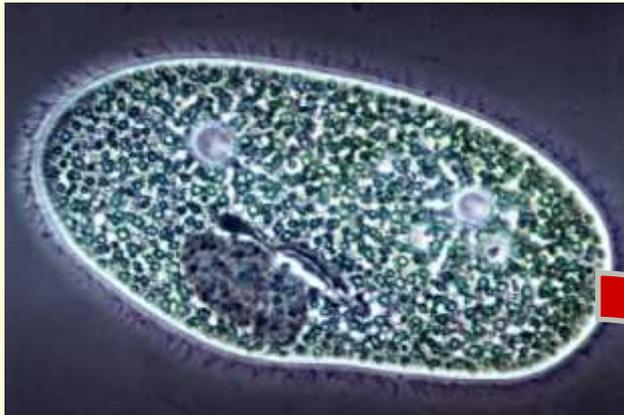
Par une réponse  
comportementale  
(système nerveux)



Par une réponse  
métabolique  
(système endocrinien)

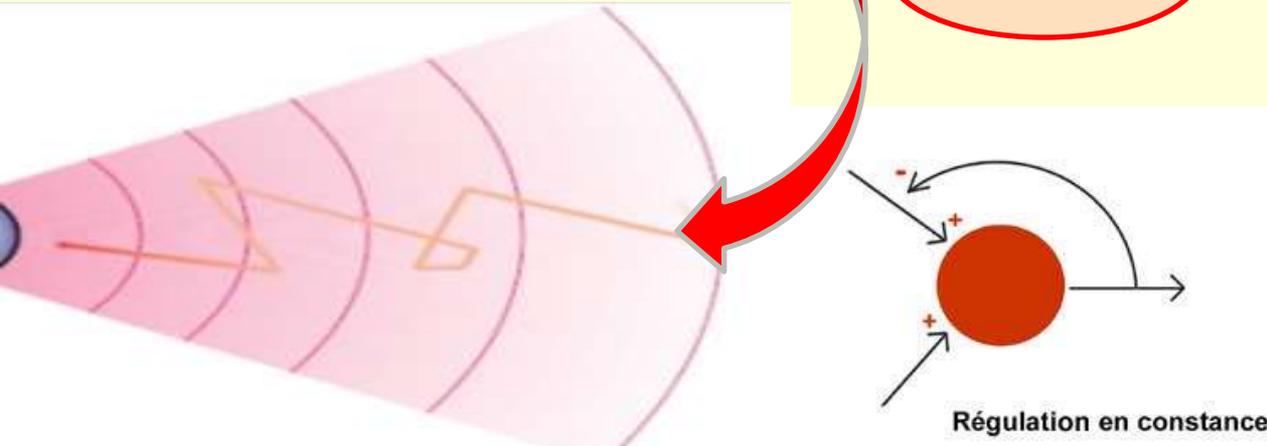
Mais comme on l'a vu,  
le **comportement** aussi participe à

« l'homéostasie »



sucrose

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



# Plan - Émotions

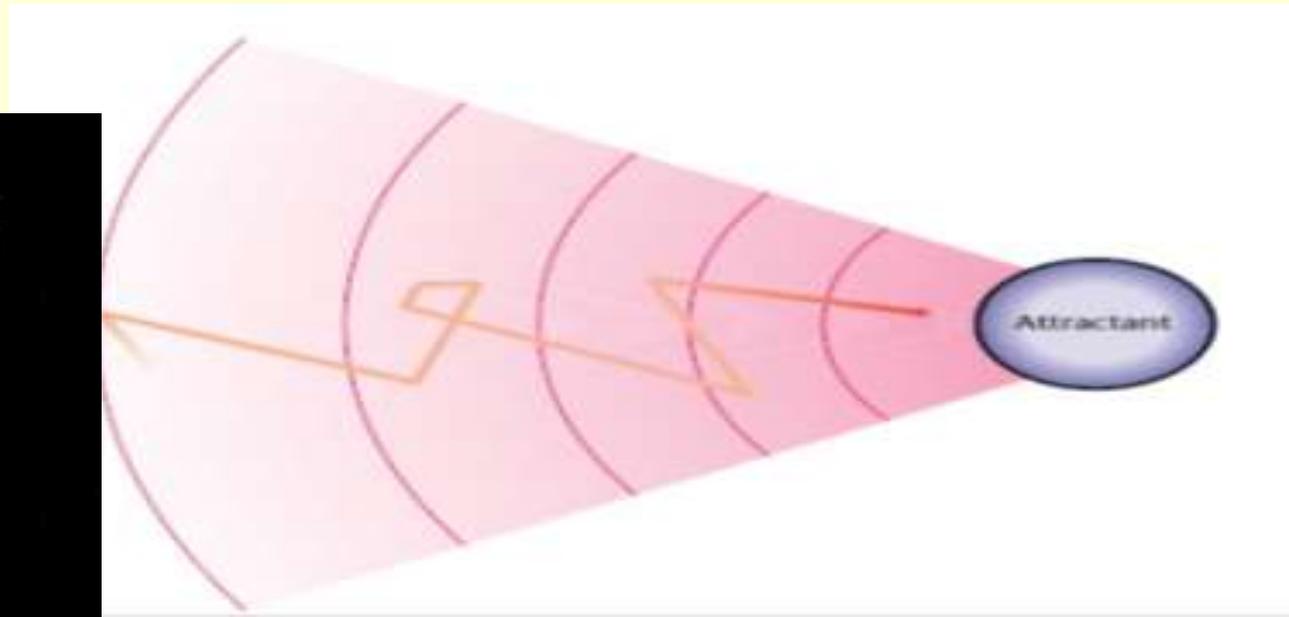
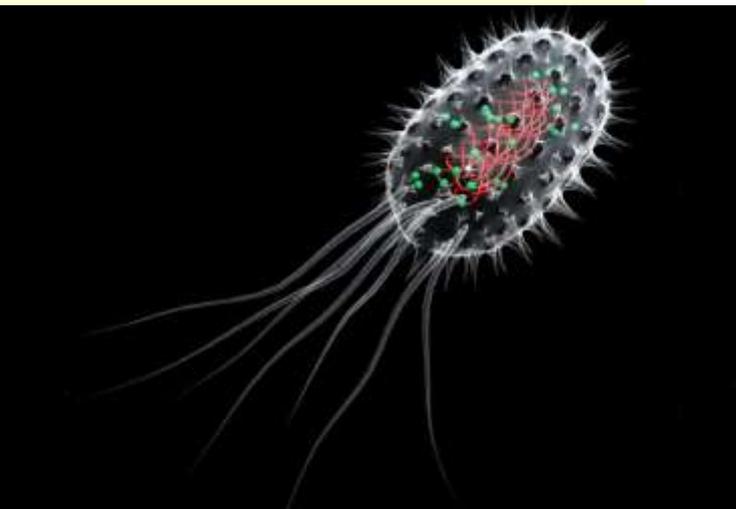
Deux grands systèmes pour deux types de contrôle :  
nerveux et endocrinien

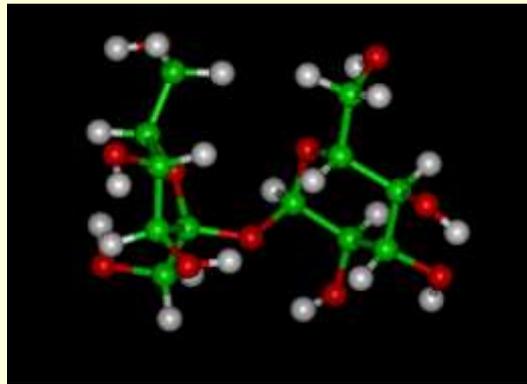
La signification des choses dépend du corps  
particulier qu'on doit maintenir en vie

L'origine évolutive de différentes émotions :  
sentir la valeur des choses

Les effets néfastes du stress chronique sur le corps-  
cerveau

Reprenons l'exemple d'une bactérie mobile qui nage dans un milieu aqueux en remontant un **gradient de sucrose**.





Le point important ici : bien que le **sucrose** est un réel élément de cet environnement physicochimique, son statut comme **aliment**, lui, ne l'est pas.

Le sucrose en tant qu'aliment **n'est 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 par rapport au corps particulier et au métabolisme de la bactérie.

Les significations particulières (valeurs positives ou négatives) que l'on retrouve dans ce monde sont donc le **résultat des actions d'un organisme particulier**.

La signification et la valeur des choses ne **préexiste donc pas** dans le monde physique, mais est mise de l'avant par des organismes particuliers.

Par conséquent, **vivre** est un **processus créateur de sens**.

Et cela rejoint certaines caractéristiques de la cognition, comme celle d'être **intrinsèquement concerné par la monde**, d'y chercher et d'y trouver de la **signification**.

En effet, les êtres vivants ont ce désir, **cette curiosité**, **d'explorer leur espace vital** parce qu'ils ont besoin de trouver des éléments pour renouveler leur structure.



# Plan - Émotions

Deux grands systèmes pour deux types de contrôle :  
nerveux et endocrinien

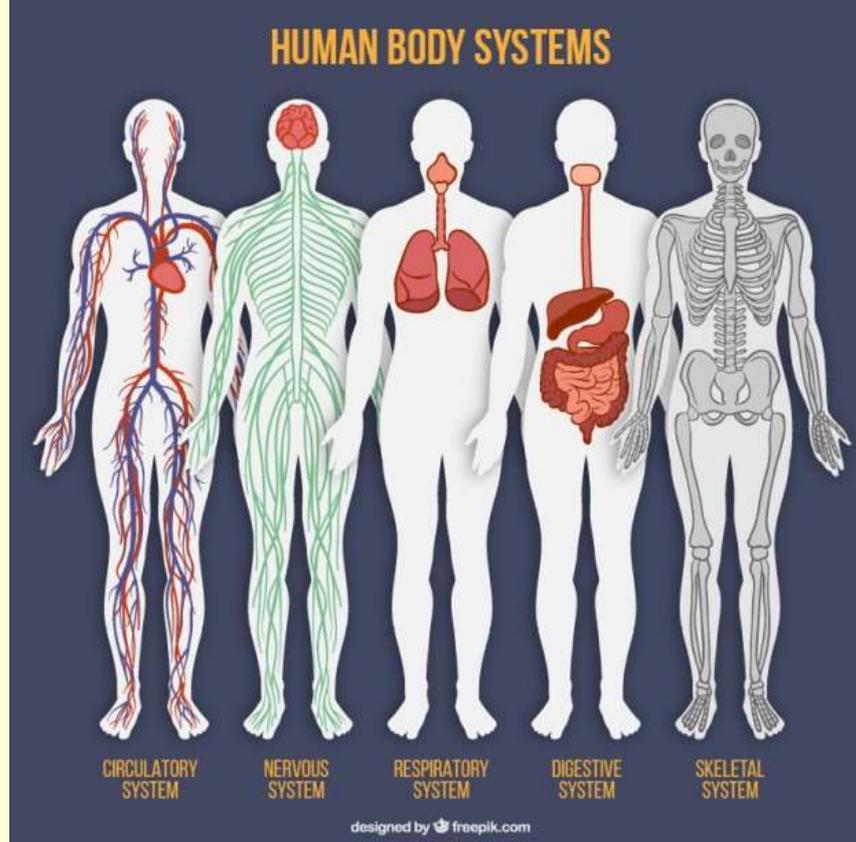
La signification des choses dépend du corps  
particulier qu'on doit maintenir en vie

L'origine évolutive de différentes émotions :  
sentir la valeur des choses

Les effets néfastes du stress chronique sur le corps-  
cerveau

On a des  
régulations **internes**  
dans le corps

et **externes** à  
l'extérieur du corps  
(nos comportements)



**L'origine des émotions :**

nous faire sentir la  
**valeur** des choses  
pour notre organisme;  
et nous inciter à **agir**  
en conséquence !



Signification positive

Signification négative



## Aux origines des émotions : les neurosciences affectives

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2012/12/03/2254/>

En **1998**, **Jaak Panksepp** publiait un ouvrage de référence qui a pour titre, “**Affective Neuroscience**” (les neurosciences affectives, en français).

Ces systèmes émotionnels, Panksepp les présente souvent **des plus anciens aux plus récents, évolutivement parlant.**

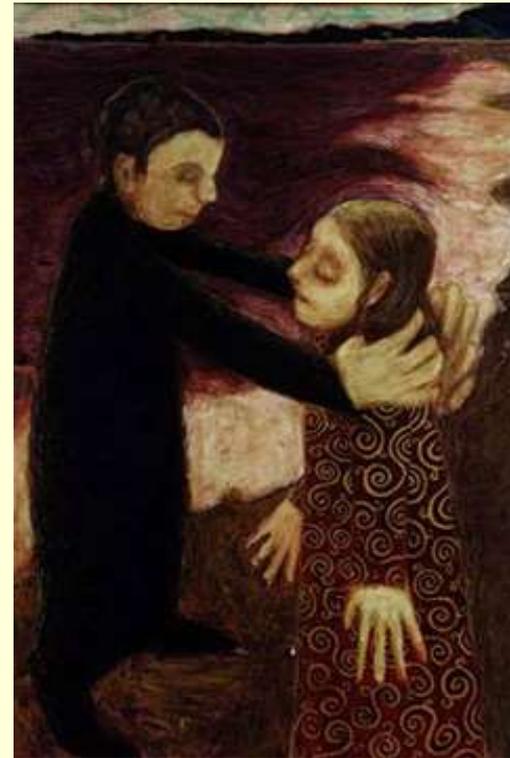
À commencer par la **RECHERCHE des ressources** nécessaire à la survie qui se traduit par un comportement exploratoire associé à ce qu'on a appelé le circuit de la récompense, avec une structure cérébrale importante appelée noyau accumbens.



À commencer par la **RECHERCHE des ressources** nécessaire à la survie qui se traduit par un comportement exploratoire associé à ce qu'on a appelé le circuit de la récompense, avec une structure cérébrale importante appelée noyau accumbens.

Puis vient le risque de rencontrer un prédateur durant cette exploration, d'où la **PEUR**, un second système émotionnel impliquant l'amygdale qui permet de mobiliser nos ressources pour prendre **la fuite**.

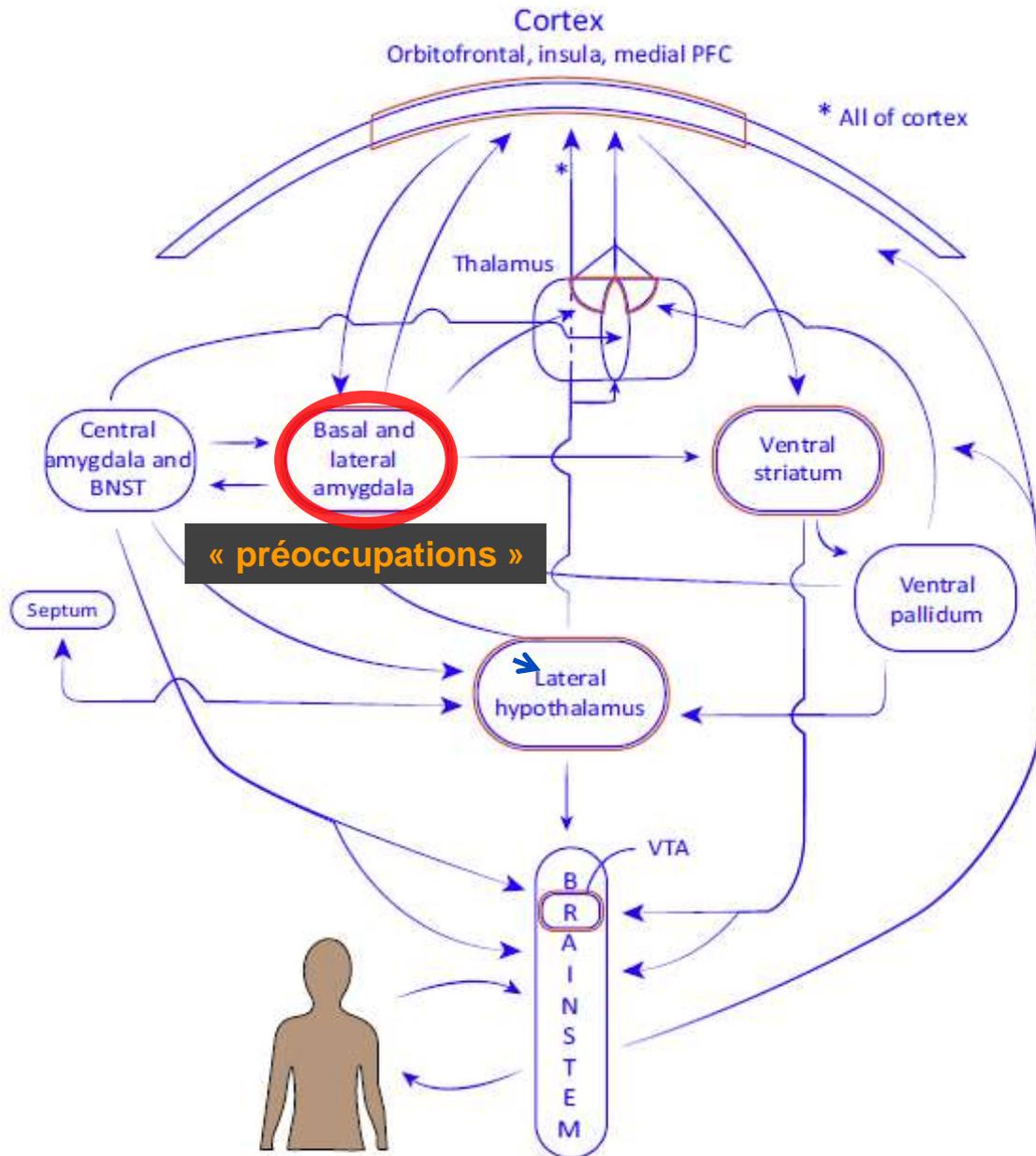




Amygdale ~~X~~ peur ?

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





## A Network Model of the Emotional Brain

Luiz Pessoa

Trends Cogn Sci. 2017

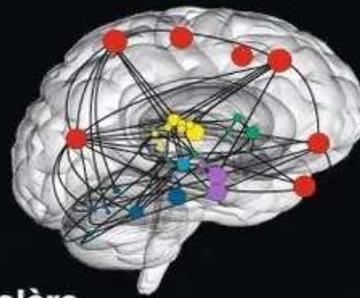
May; 21(5): 357–371

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

# Notre cerveau au crible de 5 grandes émotions

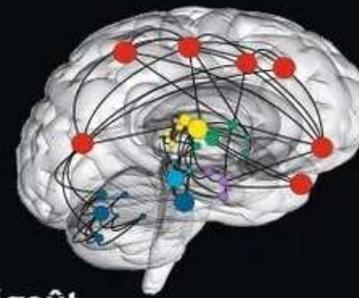
Exit la zone de la peur, de la joie ou du dégoût. Chaque émotion active une multitude de régions cérébrales distribuées aussi bien dans le cerveau profond que dans le cortex, sa partie supérieure.

- Cortex
- Thalamus
- Ganglions de la base
- Amygdale
- Cervelet
- Hippocampe
- Connexions neuronales



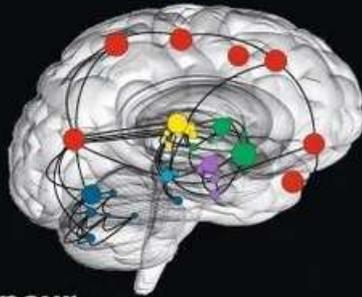
## La colère

Elle mobilise le cervelet central, ce qui suggère une attention tournée vers des objectifs. Mais sa signature est semblable à celle de la peur, au niveau du cortex et de l'amygdale.



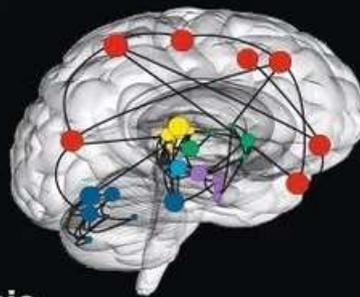
## Le dégoût

La co-activation du cortex et du striatum (cerveau profond) est cohérente avec la production d'une action immédiate et sans finesse. Signature partagée, au niveau du cortex, avec la joie.



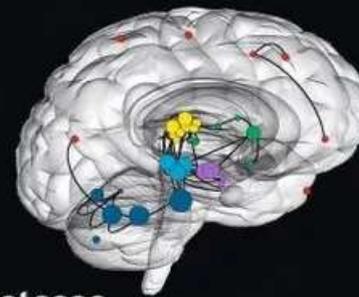
## La peur

La composante visuelle et sous-corticale est importante, avec l'activation de la partie de l'amygdale impliquée dans la mémoire associative. Les zones de la planification sont peu activées.



## La joie

Le "réseau limbique" (attribution de valeurs positives aux événements) est très activé. Les réseaux corticaux de la planification et l'amygdale (intégration de signaux extérieurs) sont peu activés.



## La tristesse

Elle coïncide avec une activité impliquant des boucles rétroactives du cervelet et du tronc cérébral (sans le cortex). Amygdale (stimuli externes) et réseaux de la planification sont en sommeil.

source : Tor Wager, University of Colorado

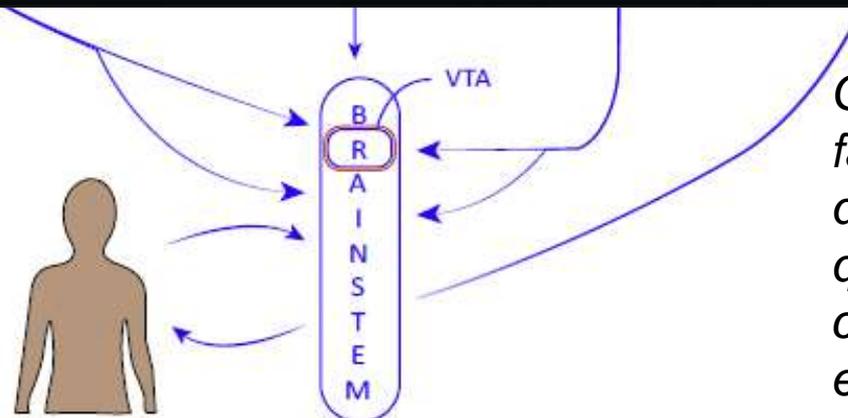
# A Bayesian Model of Category-Specific Emotional Brain Responses

Tor D. Wager et al.

PLoS Comput Biol. 2015 Apr; 11(4):

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4390279/>

<https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/existe-t-il-vraiment-un-siege-des-emotions-dans-le-cerveau-53072>

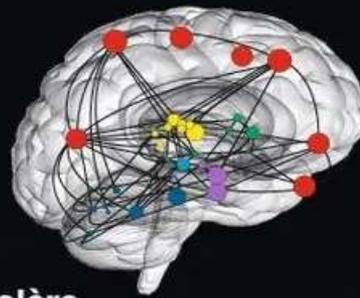


Chaque émotion correspondrait en fait à une recette composée à partir d'ingrédients **non spécifiques** que sont l'ensemble des processus cognitifs, affectifs, perceptifs et moteurs de base". - Tor Wager

# Notre cerveau au crible de 5 grandes émotions

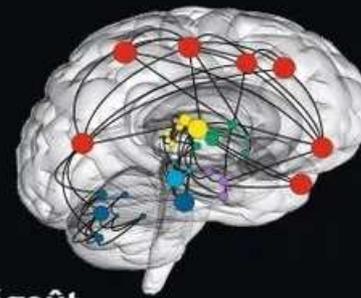
Exit la zone de la peur, de la joie ou du dégoût. Chaque émotion active une multitude de régions cérébrales distribuées aussi bien dans le cerveau profond que dans le cortex, sa partie supérieure.

- Cortex
- Thalamus
- Ganglions de la base
- Amygdale
- Cervelet
- Hippocampe
- Connexions neuronales



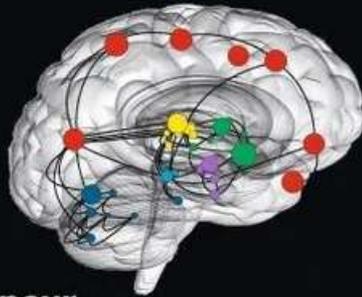
## La colère

Elle mobilise le cervelet central, ce qui suggère une attention tournée vers des objectifs. Mais sa signature est semblable à celle de la peur, au niveau du cortex et de l'amygdale.



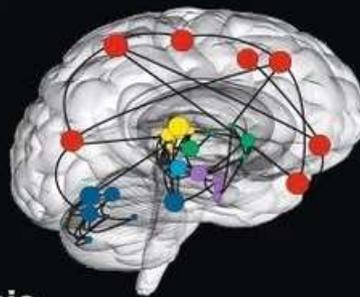
## Le dégoût

La co-activation du cortex et du striatum (cerveau profond) est cohérente avec la production d'une action immédiate et sans finesse. Signature partagée, au niveau du cortex, avec la joie.



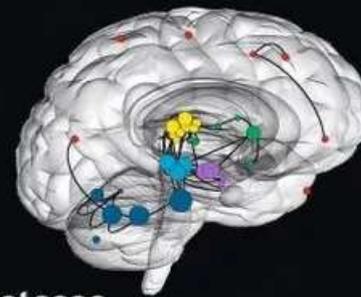
## La peur

La composante visuelle et sous-corticale est importante, avec l'activation de la partie de l'amygdale impliquée dans la mémoire associative. Les zones de la planification sont peu activées.



## La joie

Le "réseau limbique" (attribution de valeurs positives aux événements) est très activé. Les réseaux corticaux de la planification et l'amygdale (intégration de signaux extérieurs) sont peu activés.



## La tristesse

Elle coïncide avec une activité impliquant des boucles rétroactives du cervelet et du tronc cérébral (sans le cortex). Amygdale (stimuli externes) et réseaux de la planification sont en sommeil.

source : TOR WAGER, UNIVERSITY OF COLORADO

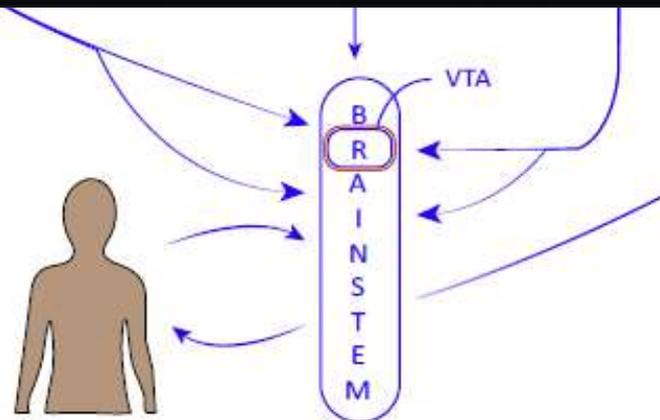
# A Bayesian Model of Category-Specific Emotional Brain Responses

Tor D. Wager et al.

PLoS Comput Biol. 2015 Apr; 11(4):

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4390279/>

<https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/existe-t-il-vraiment-un-siege-des-emotions-dans-le-cerveau-53072>



- l'amygdale montre des activations significatives pour chacune des cinq émotions testées (et s'active avec une égale intensité pour la peur et la colère)
- joie et dégoût présentent une signature très semblable au niveau du **cortex**

→ la **RECHERCHE** des **ressources** nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

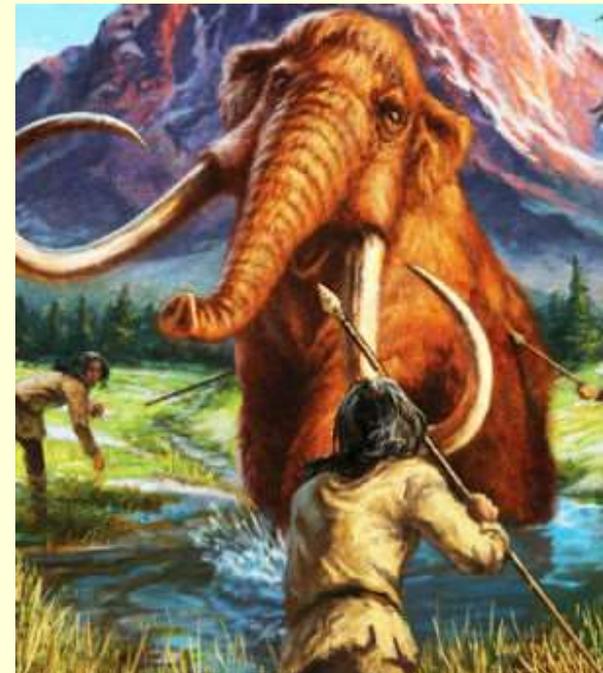
Si la fuite s'avère impossible devant une menace imminente, la **COLÈRE** permet d'agresser votre agresseur, de **le combattre**.

“**reactive aggression** is the ultimate behavioral expression of anger and thus we can begin to understand anger by understanding reactive aggression.”

**Considering anger from a cognitive neuroscience perspective**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3260787/>

R. J. R. Blair (2012)

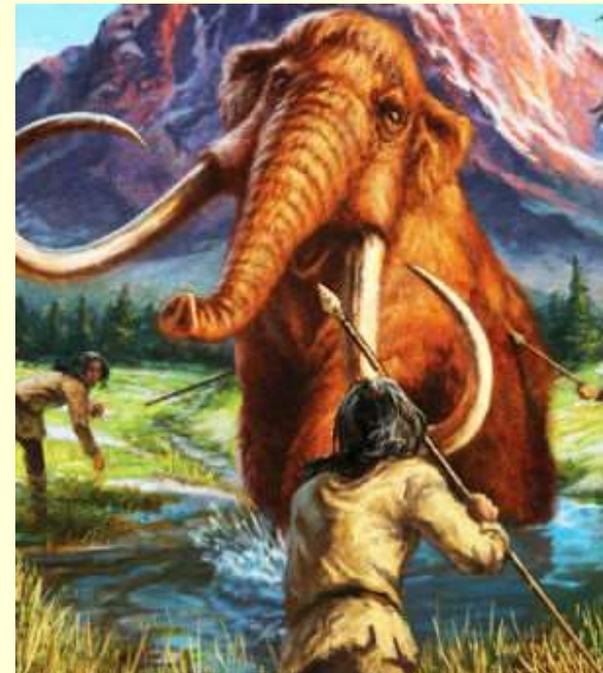


→ la **RECHERCHE** des **ressources** nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

Si la fuite s'avère impossible devant une menace imminente, la **COLÈRE** permet d'agresser votre agresseur, de **le combattre**.

Avec la **peur** et la **colère**, on a donc les deux composantes essentielles de la réponse dite « **fight or flight** » (la fuite ou la lutte)...



Car pendant longtemps, notre environnement a été **hostile**

et nos réactions physiologiques associées à la fuite  
ou à la lutte ont été une nécessité pour **sauver sa peau !**

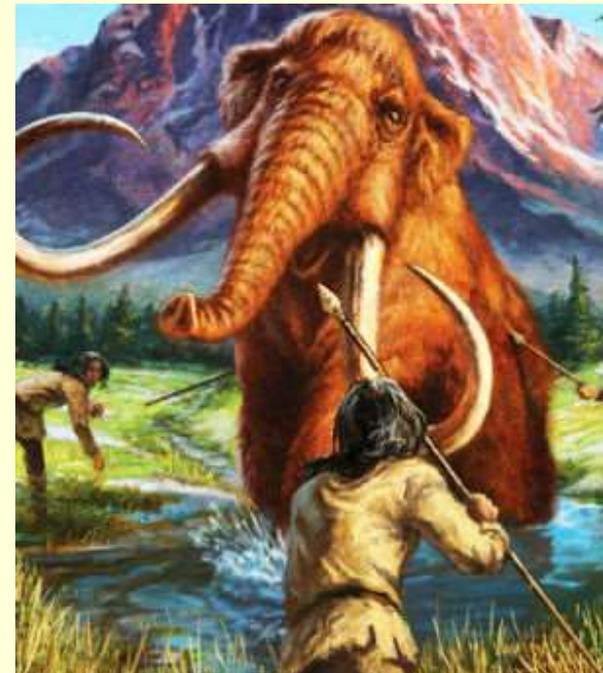


Action  
requisse par  
un danger

Fuite

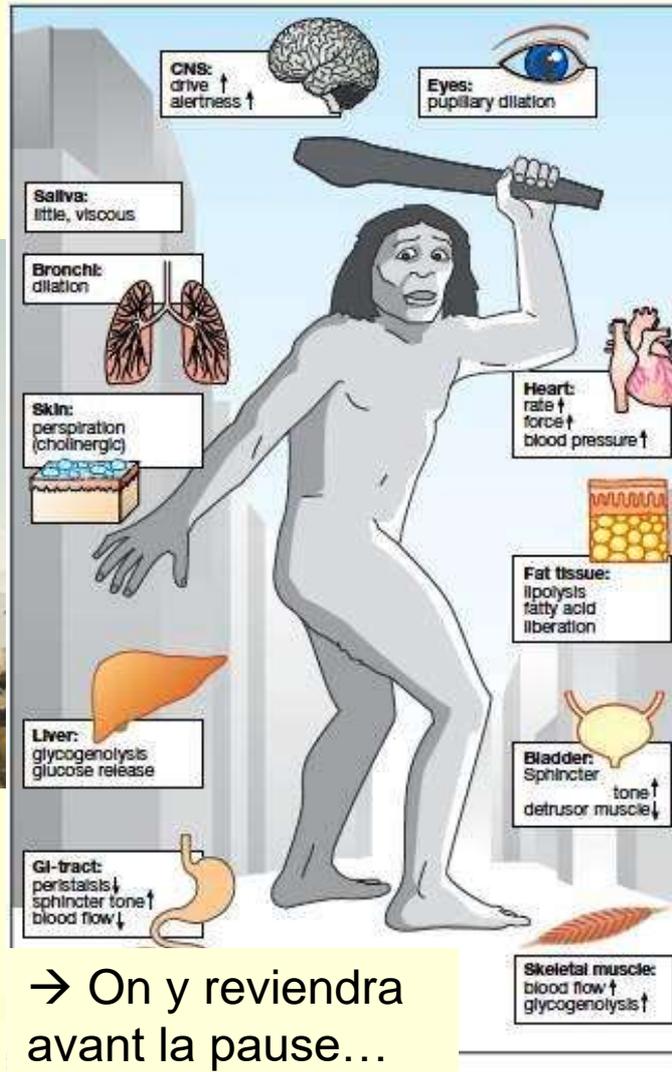
si impossible

Lutte

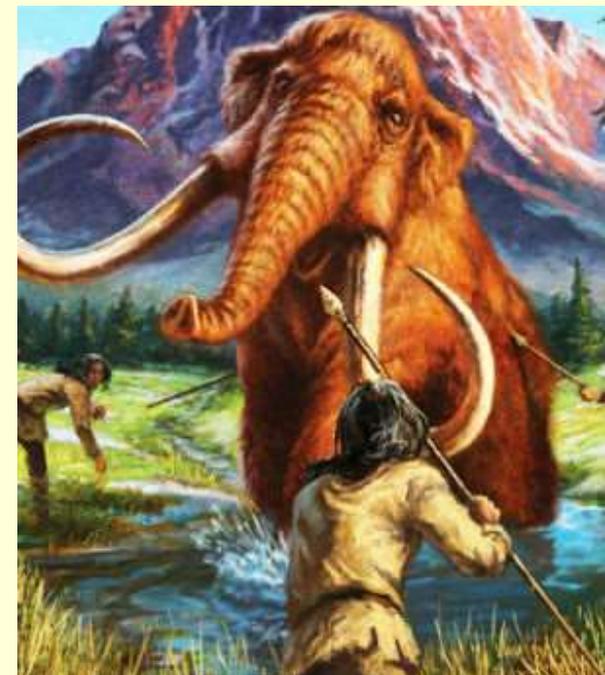


Car pendant longtemps, notre environnement a été **hostile**

et nos réactions physiologiques associées à la fuite ou à la lutte ont été une nécessité pour **sauver sa peau !**



La perception par le cerveau d'un danger met en branle dans **tout le corps** plusieurs mécanismes favorisant la **fuite ou la lutte**



dirigeant par exemple plus de ressources aux muscles et au système cardiorespiratoire.

→ On y reviendra avant la pause...

→ la **RECHERCHE** des ressources nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

→ la **COLÈRE**, pour se protéger...

...ou pour **protéger les objets gratifiants trouvés !**



Car n'étant pas seuls à chercher des ressources, **d'autres peuvent vouloir nous prendre** celles qu'on a trouvées.



La **COLÈRE** provoquée cette fois par la **frustration** (plutôt que par la menace) s'est aussi avérée une réponse adaptative dans ces situations.

→ la **RECHERCHE des ressources** nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

→ la **COLÈRE**, pour se protéger...

...ou pour **protéger les objets gratifiants trouvés !**

...ou encore suite à une autre sorte de **frustration** :

- quand quelqu'un ne fait pas ce qu'on voudrait qu'elle fasse



→ la **RECHERCHE des ressources** nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

→ la **COLÈRE**, pour se protéger...

...ou pour **protéger les objets gratifiants trouvés !**

...ou encore suite à une autre sorte de **frustration** :

- quand quelqu'un ne fait pas ce qu'on voudrait qu'elle fasse
- quand on fait quelque chose et qu'on s'attend à une récompense mais qu'on ne la reçoit pas.

### **Two Monkeys Were Paid Unequally:**

Excerpt from Frans de Waal's TED Talk

<https://www.youtube.com/watch?v=meiU6TxysCg>



→ la **RECHERCHE** des ressources nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

→ la **COLÈRE**, pour se protéger...

...ou pour **protéger les objets gratifiants trouvés !**

...ou encore suite à une autre sorte de **frustration** :

- quand quelqu'un ne fait pas ce qu'on voudrait qu'elle fasse
- quand on fait quelque chose et qu'on s'attend à une récompense mais qu'on ne la reçoit pas.



→ la **RECHERCHE des ressources** nécessaire à la survie

→ la **PEUR**, qui permet de mobiliser nos ressources pour faire face à la menace

→ la **COLÈRE**, pour se protéger, pour protéger les objets gratifiants trouvés, etc.

Une fois notre survie assurée,  
l'essentiel devient alors de transmettre nos gènes en nous **reproduisant**.

Plusieurs émotions vont agir comme moteur pour chercher un partenaire sexuel, en conquérir un, puis s'y attacher assez longtemps pour élever les enfants.

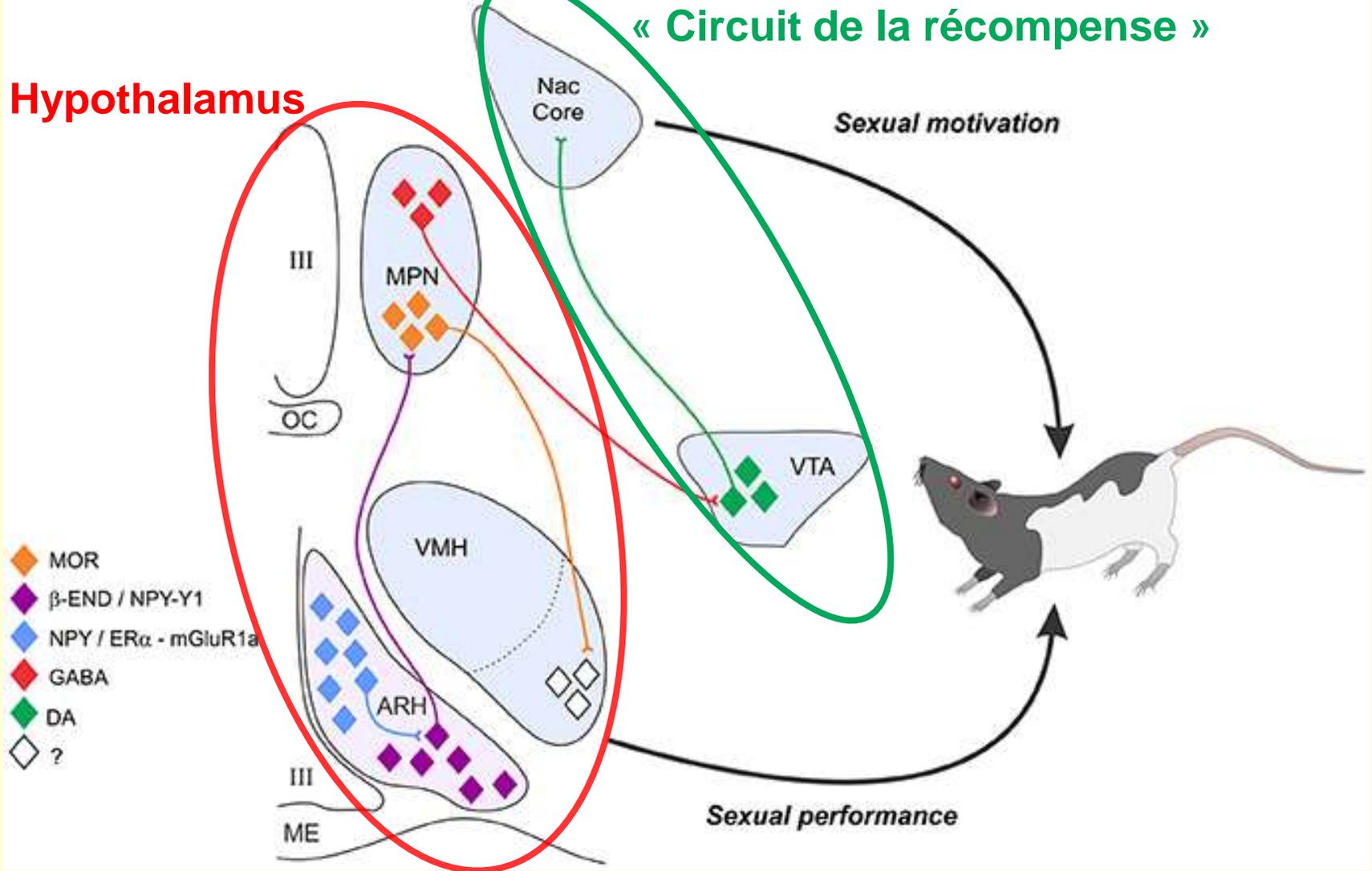
C'est la redoutable triade « **désir, amour romantique, attachement** », décrite par exemple dans les travaux de l'anthropologue Helen Fisher.

On retrouve sensiblement la même chose dans la séquence évolutive des émotions de Panksepp qui met l'emphase sur :

→ **le DÉsir SEXUEL**

# « Circuit de la récompense »

## Hypothalamus



**The estradiol induction of sexual receptivity in the female rat is indicated by lordosis behavior.**

In : Integrating Neural Circuits Controlling Female Sexual Behavior

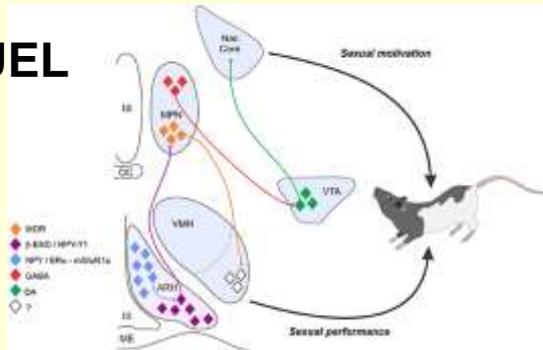
Paul E. Micevych<sup>1,2\*</sup> and Robert L. Meisel<sup>3</sup>

Front. Syst. Neurosci., 08 June 2017 |

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnsys.2017.00042/full>

On retrouve sensiblement la même chose dans la séquence évolutive des émotions de Panksepp qui met l'emphase sur :

→ le **DÉSIR SEXUEL**



→ le **SOIN à sa progéniture** (susceptible de générer panique-anxiété-dépression)



le « **JEU** » (qui est la répétition pour la recherche des ressources, etc.)

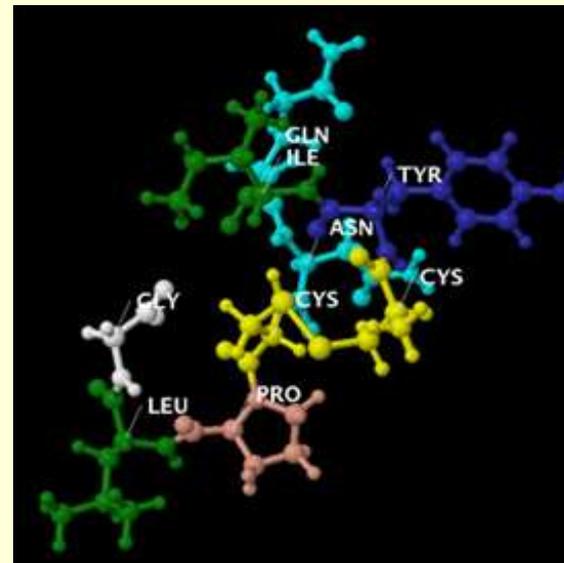




# L'ocytocine,

parfois appelée « l'hormone du lien »,  
est décrite au :

[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d\\_04/d\\_04\\_m/d\\_04\\_m\\_des/d\\_04\\_m\\_des.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_04/d_04_m/d_04_m_des/d_04_m_des.html)



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

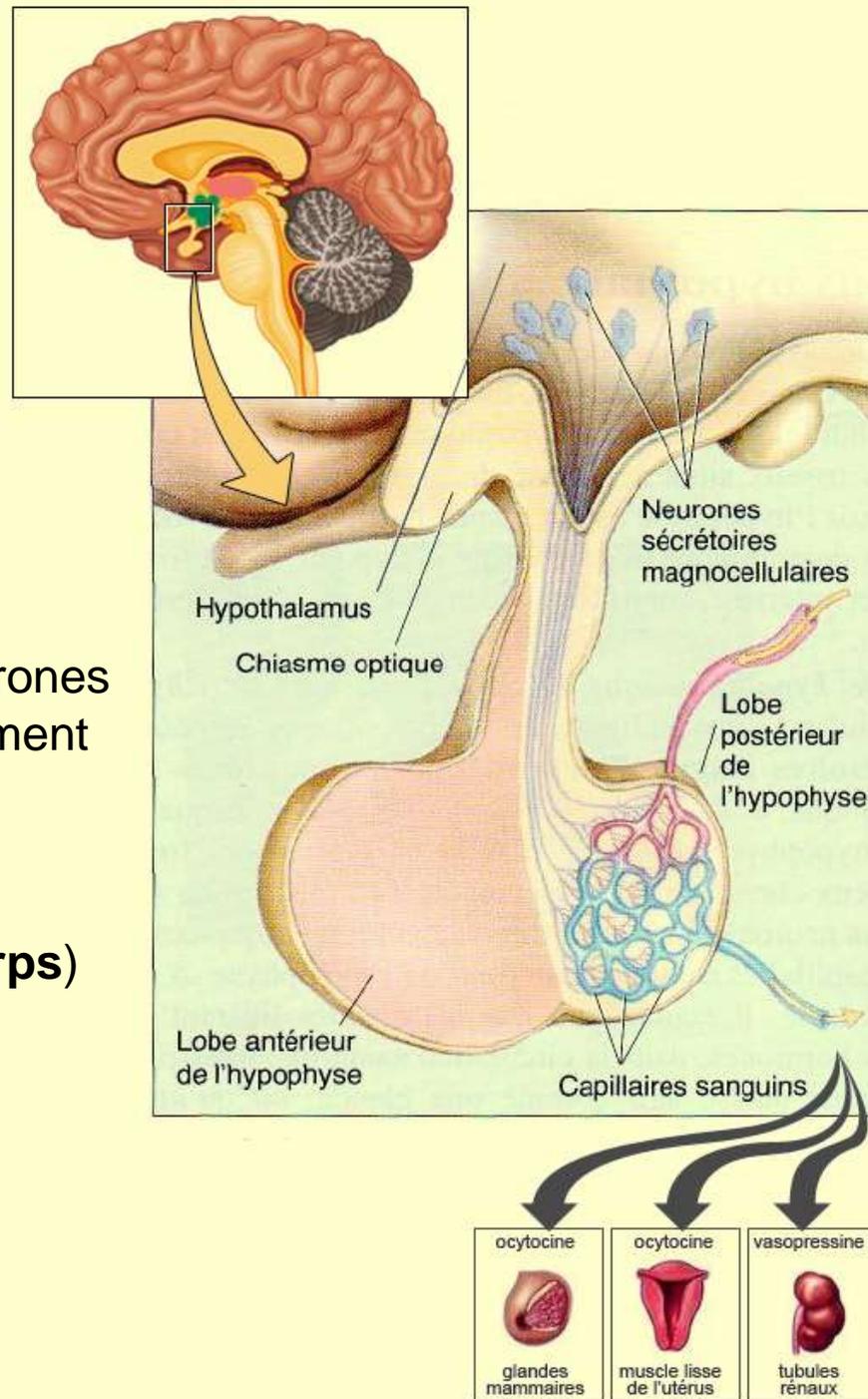
**Ocytocine et autres engouements : rien n'est simple**

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/02/11/ocytocine-et-autres-engouements-rien-nest-simple/>

# L'ocytocine

est sécrétée par des neurones hypothalamiques directement dans le lobe **postérieur** de l'hypophyse

(et donc **dans tout le corps**)



# Neuroscience: The hard science of oxytocin

[http://www.nature.com/news/neuroscience-the-hard-science-of-oxytocin-1.17813?WT.ec\\_id=NATURE-20150625](http://www.nature.com/news/neuroscience-the-hard-science-of-oxytocin-1.17813?WT.ec_id=NATURE-20150625)

24 June 2015

→ À mesure que les études avancent sur l'ocytocine, l'hormone est en train de perdre sa réputation de simple produit chimique favorisant les câlins.

**Par exemple**, on sait maintenant que l'ocytocine augmente la confiance, la générosité et la coopération envers « Nous » mais **plus d'agressivité envers « Eux »**.

(Behave, p.319)



# Plan - Émotions

Deux grands systèmes pour deux types de contrôle :  
nerveux et endocrinien

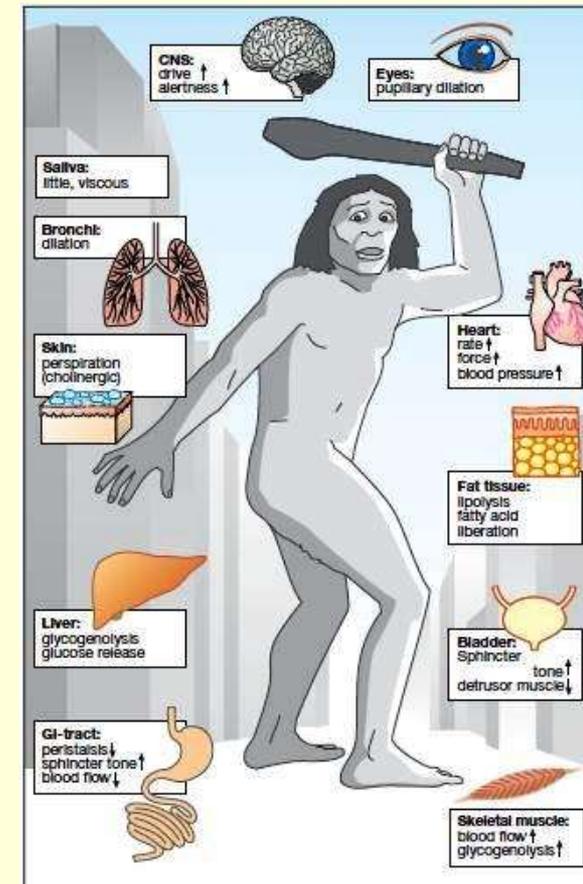
La signification des choses dépend du corps  
particulier qu'on doit maintenir en vie

L'origine évolutive de différentes émotions :  
sentir la valeur des choses

Les effets néfastes du stress chronique sur le corps-  
cerveau

Nos réactions physiologiques à une menace viennent de la nécessité de **sauver sa peau !**

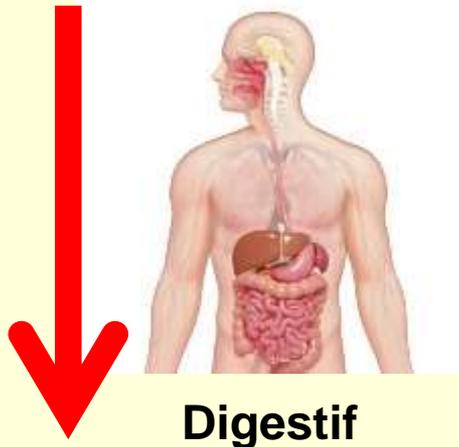
Que ce soit pour **fuir** ou, s'il ne peut pas, pour **se battre**, il y aura de vastes remaniements nerveux et hormonaux chez l'individu menacé pour allouer le plus de ressources possible aux muscles et au système cardiorespiratoire.



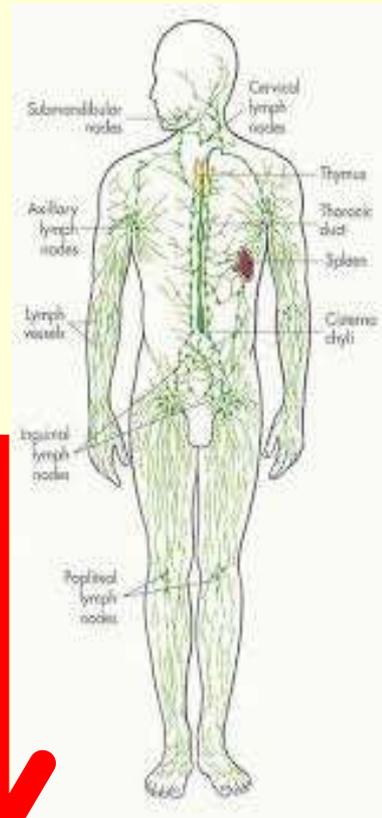
A. Responses to sympathetic activation

Mais qui dit plus de ressources à certains systèmes dit forcément **moins de ressources dans d'autres** : les systèmes digestif, reproducteur ou immunitaire pâtiront ainsi pendant un court instant de cette réallocation nécessaire pour assurer la survie de l'organisme.

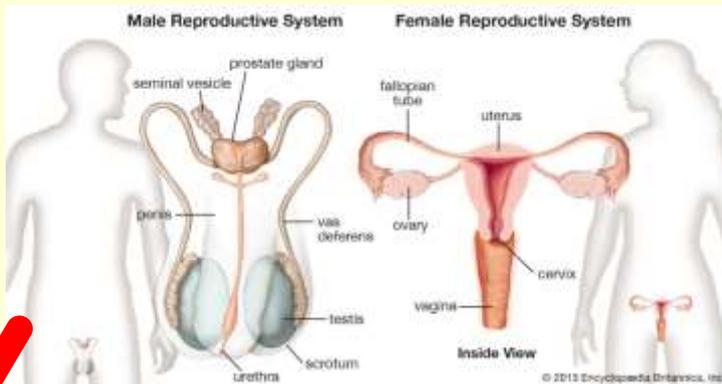
Cela aura peu d'effet si la fuite ou la lutte élimine la présence du prédateur et que tout revient à la normale après ce stress de **courte durée** (ou « stress aigu »).



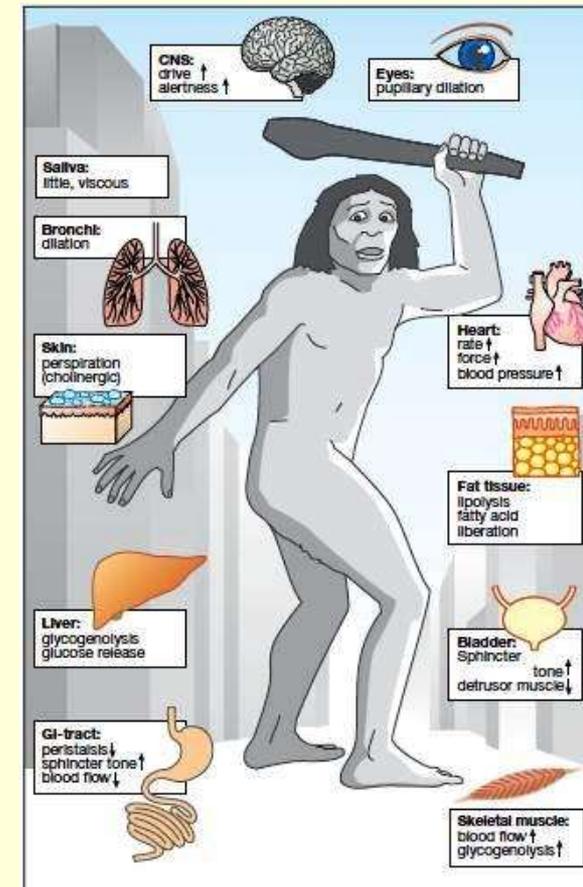
**Digestif**



**Immunitaire**



**Reproducteur**



A. Responses to sympathetic activation



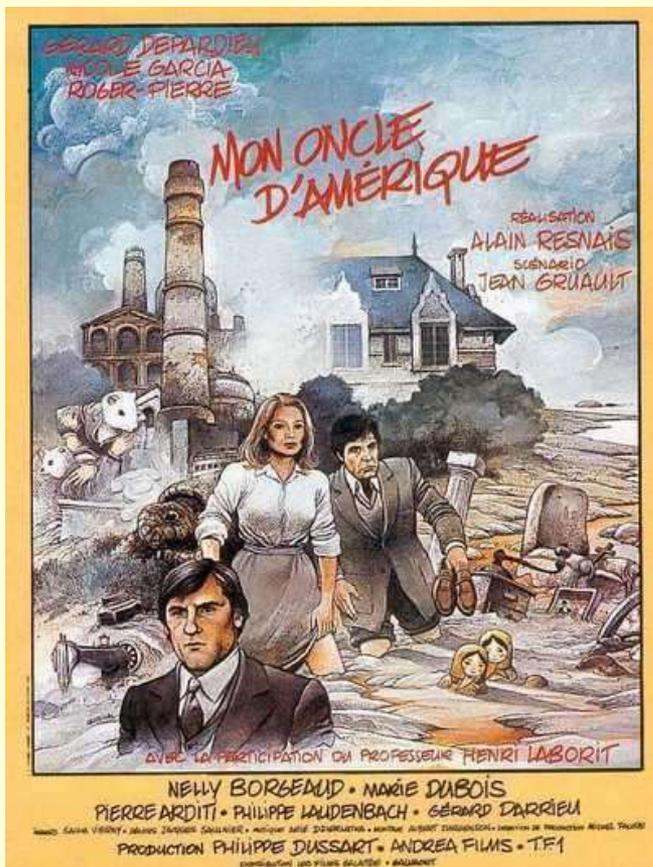
Même chose dans une troisième situation où un rongeur traversant un champ ouvert, par exemple, aperçoit un oiseau de proie au-dessus de lui.

Ne pouvant ni fuir ni lutter, **il reste figé sur place**, en espérant que l'oiseau ne le verra pas.

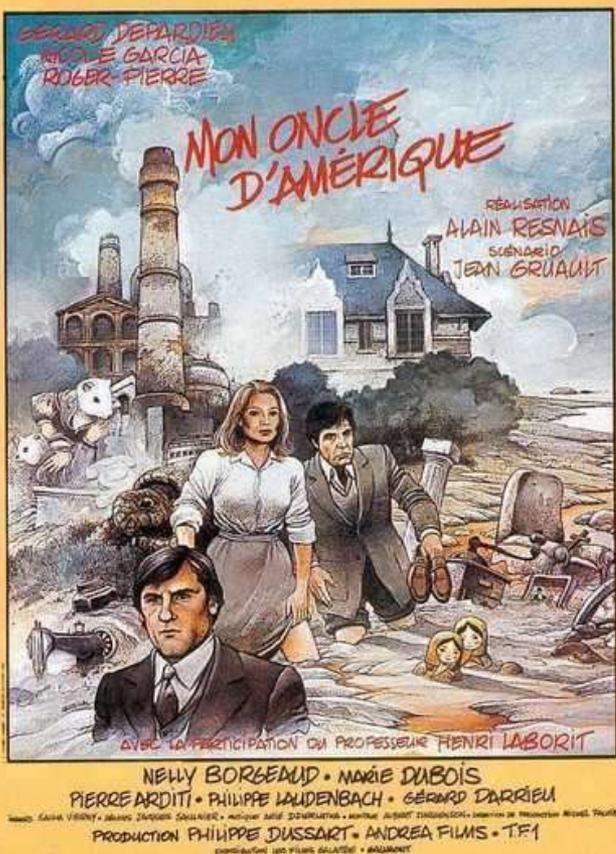
Si c'est le cas, encore une fois le stress **aigu** ne dure pas et le rongeur en est quitte pour une bonne frousse.

Mais qu'en est-il s'il dure, c'est-à-dire si le stress devient **chronique** ?  
C'est là que les choses **se compliquent...**





Pour illustrer ceci, une expérience de Laborit qu'il décrit dans le film *Mon oncle d'Amérique*.



Action  
requis  
par  
un danger

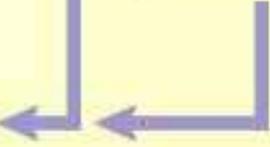


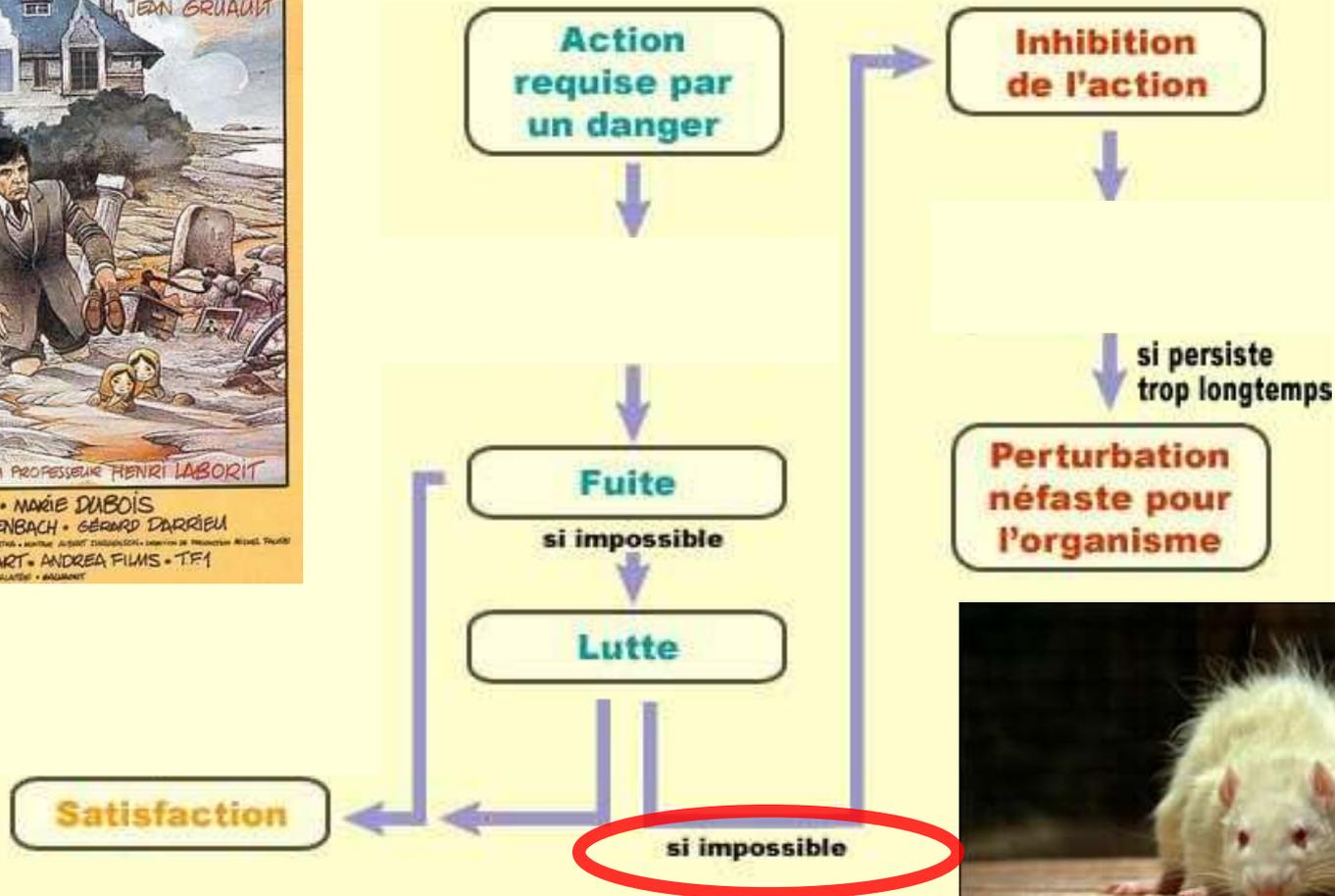
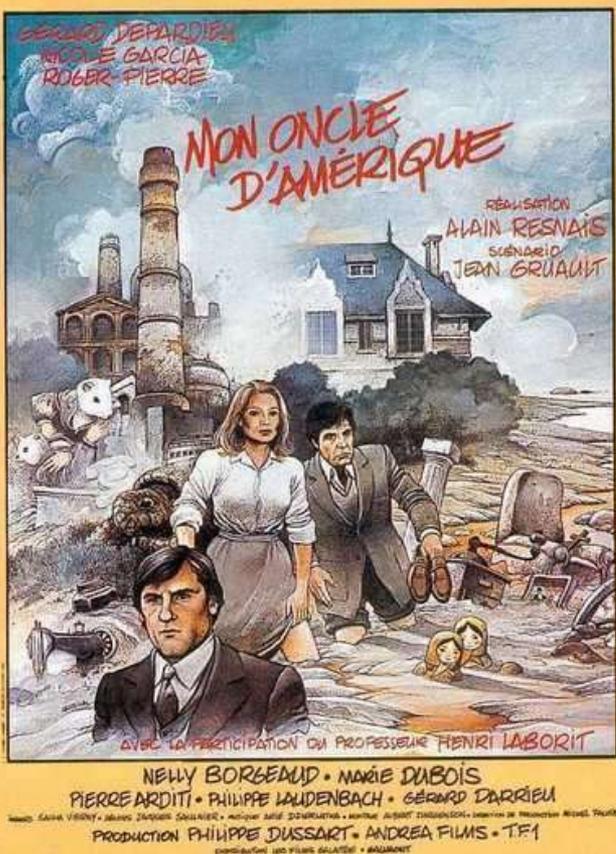
Fuite  
si impossible



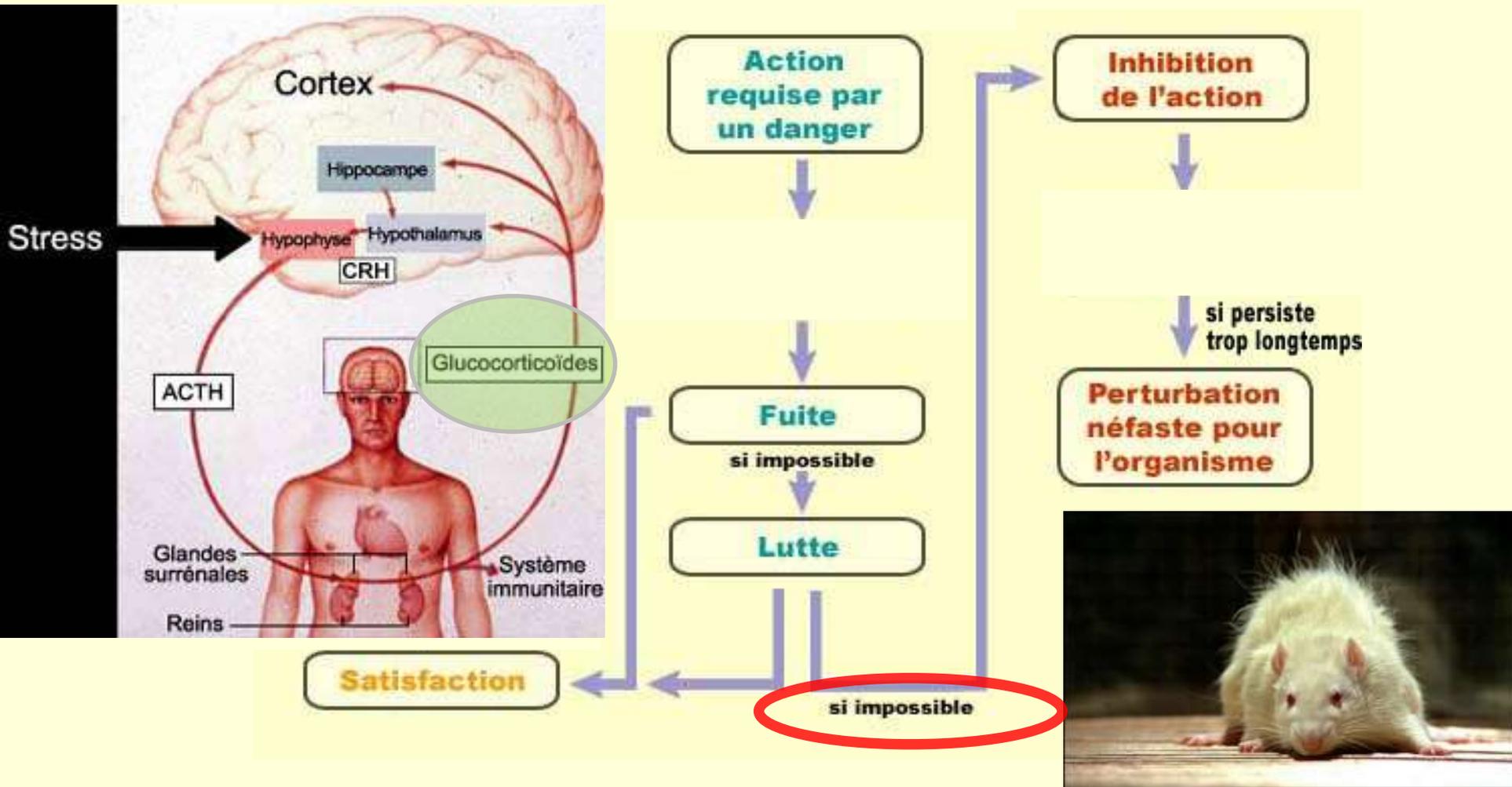
Lutte

Satisfaction





Certaines hormones, comme les glucocorticoïdes, qui demeurent alors à un taux élevé dans le sang durant une **longue période**, vont **affaiblir le système immunitaire** et même affecter le cerveau.

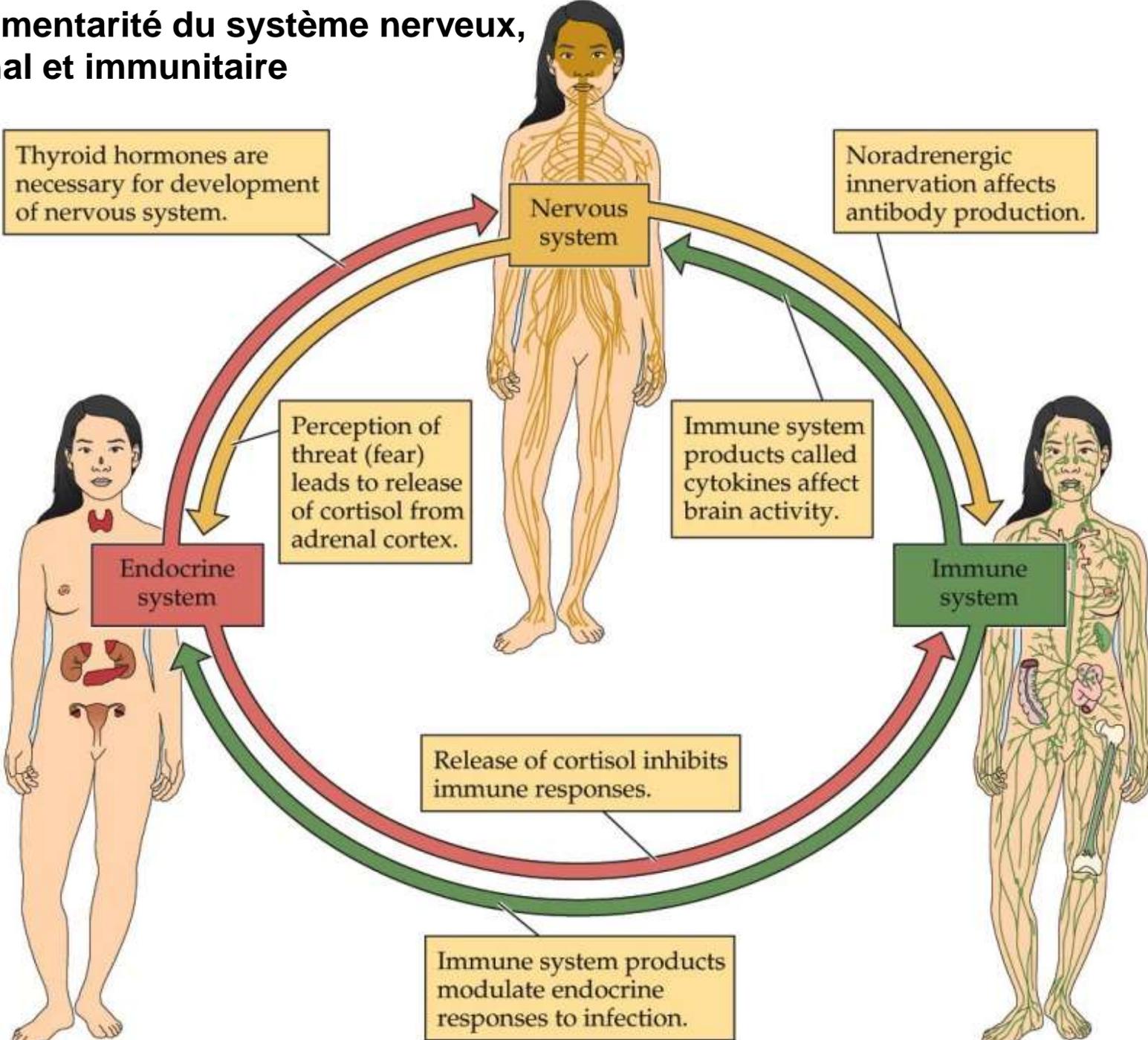


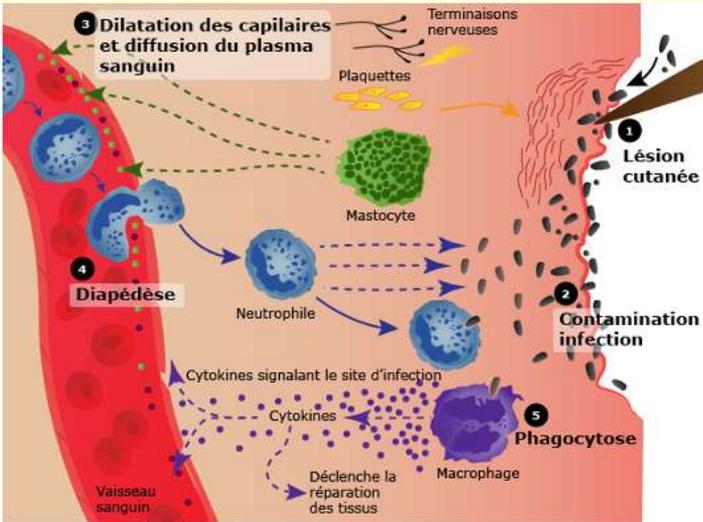


Les **ressources** moindres allouées durant un stress chronique au système immunitaire lui feront alors un tort considérable et ouvrira la porte à de nombreuses pathologies.



# Complémentarité du système nerveux, hormonal et immunitaire





**L'inflammation** est normale et utile pour combattre les infections.

Mais l'inflammation chronique en l'absence de microbe et causée par le stress peut être très **néfastes pour la santé**.

## Liens intimes entre système nerveux et immunitaire

(2009) <http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/09/09/2929/>

une **situation sociale perçue comme menaçante** par notre cerveau mettrait en branle des processus inflammatoires passablement néfastes pour l'organisme.

Le corps humain compterait environ 35 à 40 000 milliards de cellules et il naîtrait environ **50 à 70 millions** de nouvelles cellules **par jours** dans notre corps.

Et donc des **erreurs** donnant lieu à des cellules cancéreuses semblent **inévitables**.

Mais depuis une dizaine d'années, il y a de plus en plus de preuves que [...] notre système immunitaire, peut éliminer des cellules cancéreuses **quand il n'est pas inhibé par le stress chronique...**

→ Exemple d'étude récente sur le stress et **les fonctions immunitaires**

## **Social status alters immune regulation and response to infection in macaques**

Noah Snyder-Mackler et al. *Science* 25 Nov 2016.

<http://science.sciencemag.org/content/354/6315/1041>

La position relative d'un singe rhésus dans la hiérarchie de dominance de son groupe affecte son système immunitaire.



- plus le rang d'un singe est bas dans la hiérarchie, **moins il produit de cellules immunitaires** d'un certain type
- et plus il active de gènes reliés à **l'inflammation**
- parmi les individus **subordonnés**, ceux qui se faisaient **le plus toiletter** ("grooming") étaient ceux qui avaient les processus inflammatoires les **moins élevés**.

Ce qui nous ramène à **l'inhibition de l'action chez l'humain** où les hiérarchies sont souvent très présentes dans notre vie sociale.



Et à deux conséquences importantes de ces études :

- Le **soutien social** semble avoir un effet bénéfique important sur les phénomènes inflammatoires néfastes induits par l'inhibition de l'action.
- Ces derniers semblent être **rapidement réversible** avec des changements environnementaux bénéfiques (changement de groupe de l'animal)

“If we're able to improve an individual's environment and social standing, that should be rapidly reflected in their physiology and immune cell function.”

- Dr. Snyder-Mackler

# Prévention du stress



CENTRE D'ÉTUDES  
SUR LE STRESS  
HUMAIN (CESH)

(l'acronyme « **CINÉ** »)

La menace :

Exemple :

**CONTRÔLE  
FAIBLE**

Pris dans embouteillage

**IMPRÉVISIBILITÉ**

Votre poste pourrait être coupé

**NOUVEAUTÉ**

Vous attendez votre premier enfant

**ÉGO MENACÉ**

On remet en question vos  
compétences professionnelles

**Cela dit, il n'y a pas de façon universelle de gérer son stress.**

Bien que le yoga et la méditation puissent fonctionner pour certaines personnes, ces techniques, pour d'autres personnes, peuvent être une véritable torture!

Chacun de nous doit trouver sa propre façon de gérer son stress.

L'important étant d'utiliser l'énergie mobilisée par les hormones de stress (même si ça n'a pas rapport... pensez aux rats qui se battent...)

et d'être le moins possible dans un état **d'inhibition de l'action**.

Certains favoriseront la **lutte**. D'autres la **fuite**,  
comme Laborit qui favorisait essentiellement une fuite dans **l'imaginaire**...



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

Cette fuite dans **l'imaginaire** peut l'être au niveau :

- **artistique**
- **scientifique**
- **de notre vie personnelle**
- **des structures sociales**

Bien sûr, idéalement, il faut chercher les causes ultimes de l'inhibition de l'action.

Et bien souvent,  
elles se retrouvent dans  
les **inégalités sociales**  
qu'il faut donc combattre  
(une bonne façon  
d'ailleurs de ne pas être  
en inhibition de l'action !).



Et pour cela, faut d'abord s'interroger sur le **langage**, ce qu'il nous permet de faire en termes de coordination ou de manipulation des comportements,

et comment il nous donne relativement **peu accès à l'essentiel** de nos émotions et motivation à l'origine de ces comportements.

[ prochain cours ! ]



## Cours #3

**A- Cerveau et corps ne font qu'un :  
origine et fonction des émotions**



**B- Simuler le monde  
pour décider quoi faire :  
le cerveau prédictif**



# Plan – Décision & Cerveau prédictif

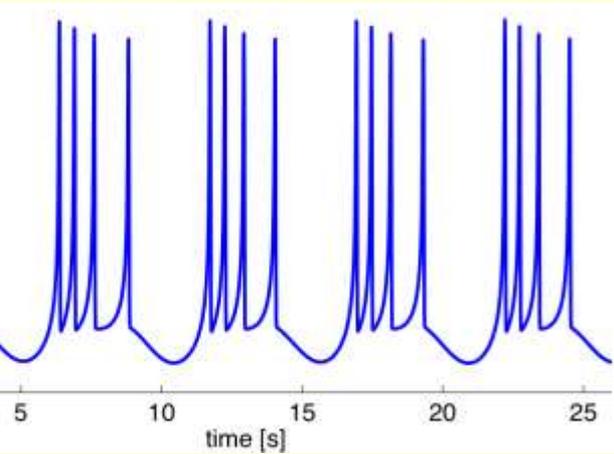
## **Simulations mentales**

**Les affordances : des opportunités d'actions**

**La prise de décision rapide (par simulations et compétitions d'affordances)**

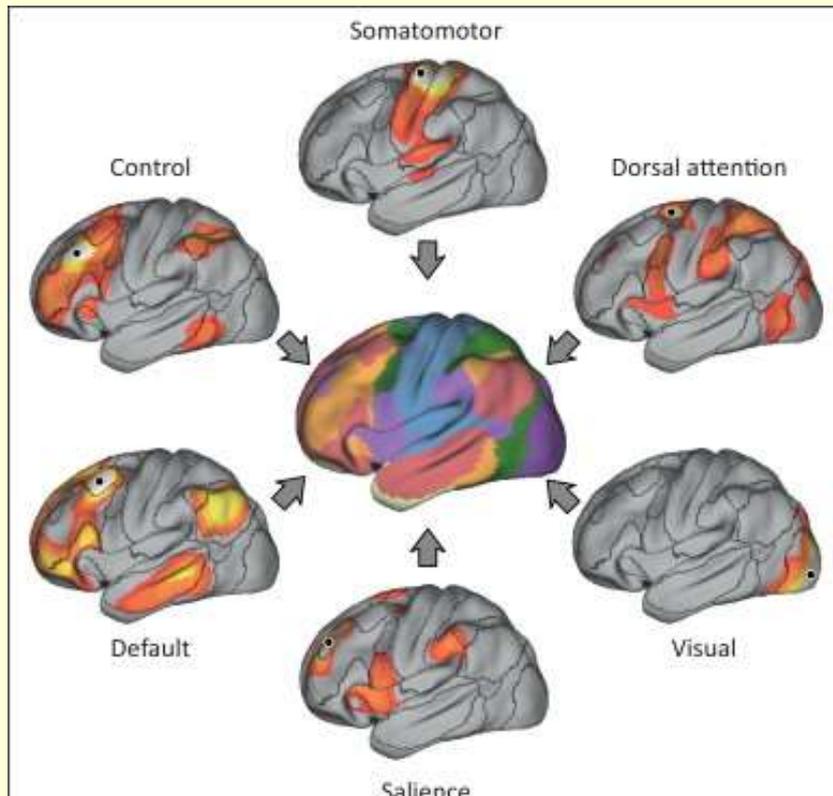
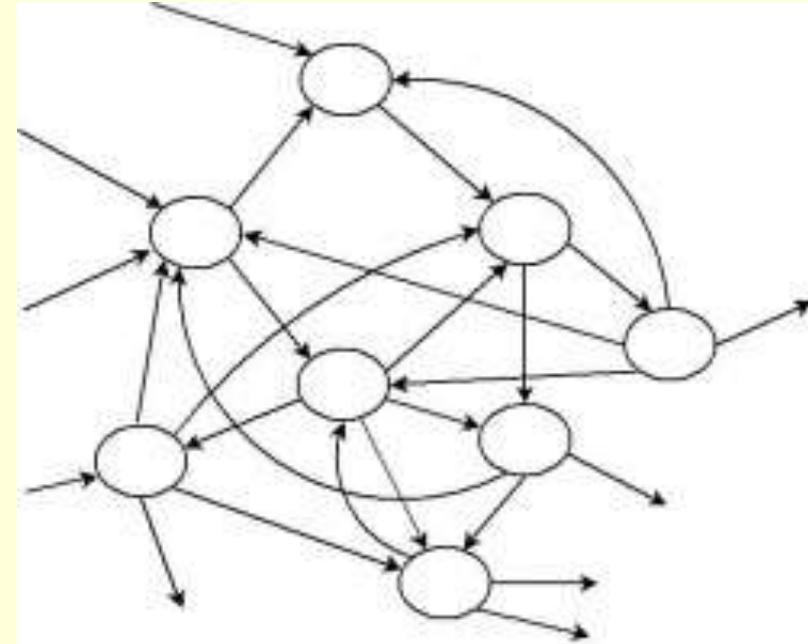
**Des décisions prises à de multiples niveaux d'abstraction**

Des neurones manifestent une activité spontanée

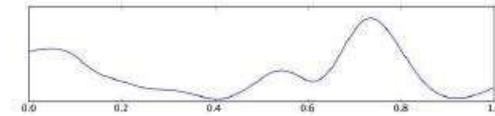


dans un système avec une multitude de **boucles** excitatrices / inhibitrices

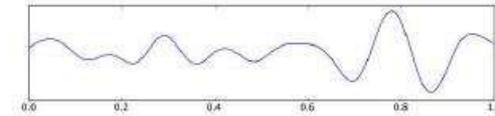
propices à la formation de **rythmes**



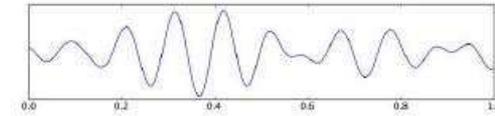
Delta Rhythm ( $\delta$ )



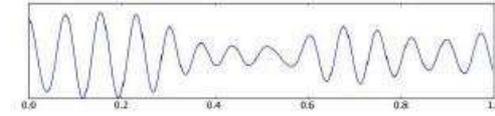
Theta Rhythm ( $\theta$ )



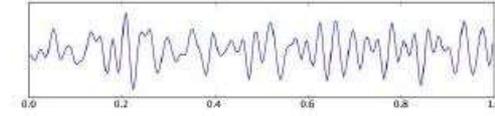
Alpha Rhythm ( $\alpha$ )



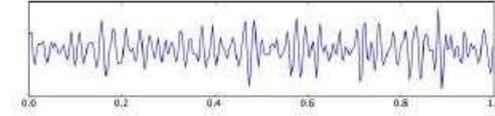
Mu Rhythm ( $\mu$ )



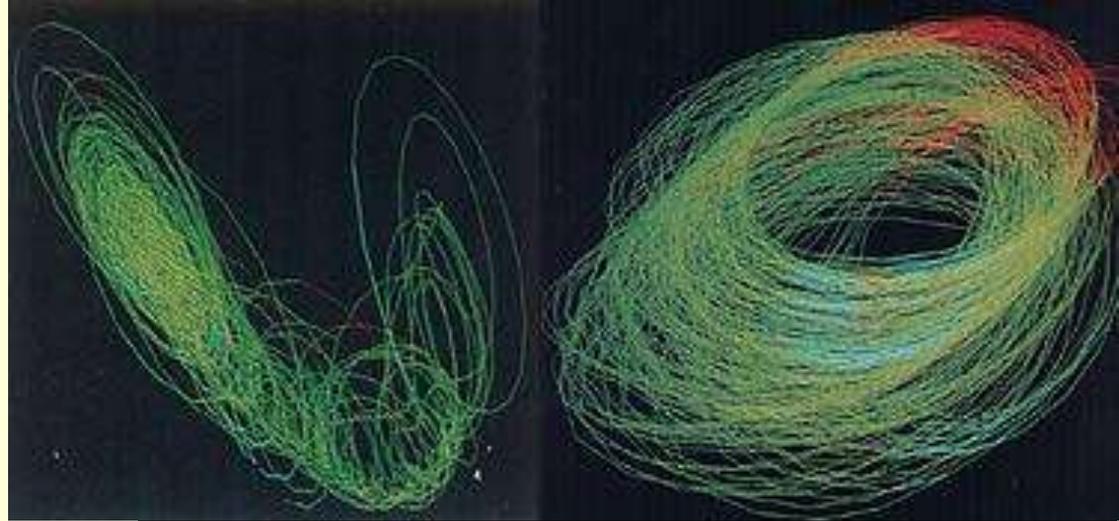
Beta Rhythm ( $\beta$ )



Gamma Rhythm ( $\gamma$ )

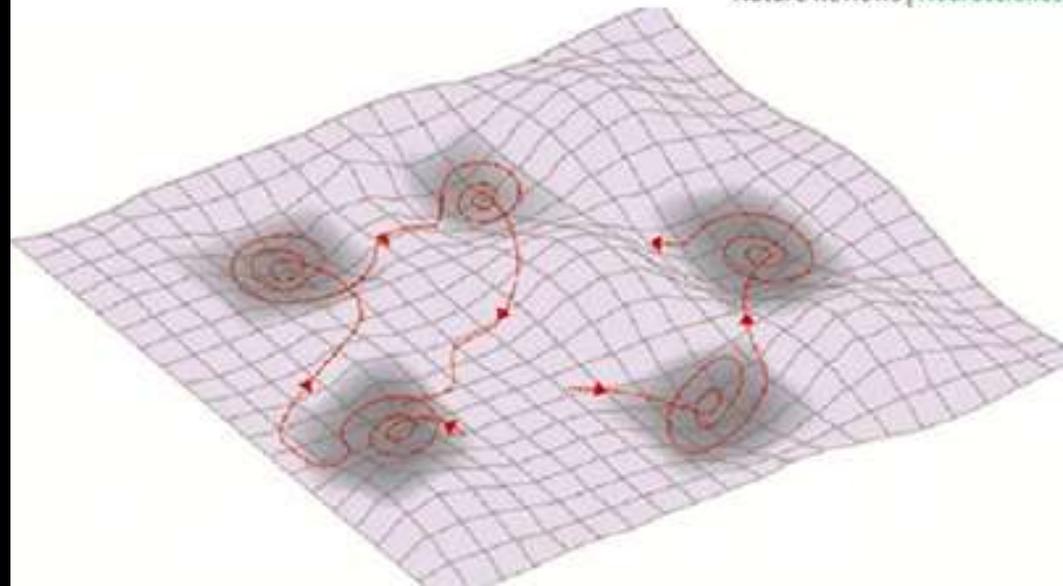
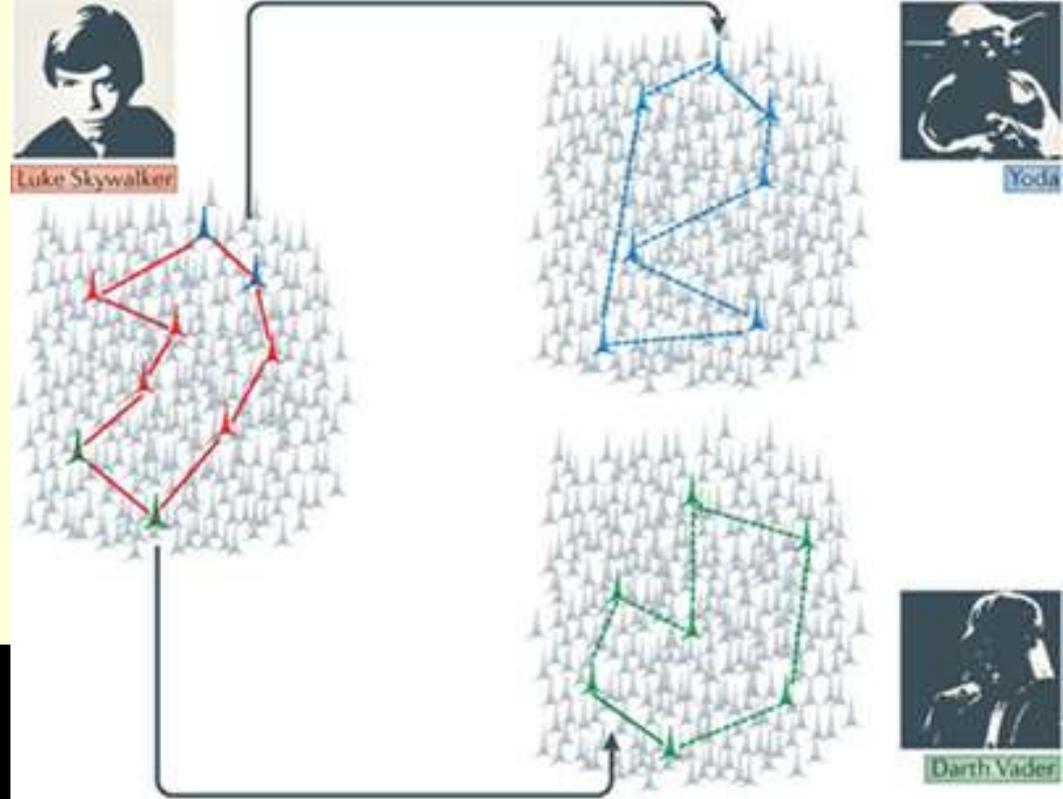


Cette activité constitue un système dynamique possédant d'innombrables **attracteurs** où peut se concentrer l'activité nerveuse,



Cette activité constitue un système dynamique possédant d'innombrables **attracteurs** où peut se concentrer l'activité nerveuse,

comme autant d'**engrammes** de nos souvenirs, par exemple.



Mais se pourrait-il que cette **activité endogène** qui consomme en permanence 20 à 25% de l'énergie et de l'oxygène que nous consommons (pour un organe qui ne représente que 2% du poids du corps) révèle des choses encore plus fondamentales sur le fonctionnement du cerveau?

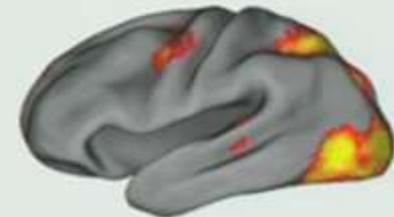
Autrement dit, pourquoi l'évolution a-t-elle favorisé cette voie très coûteuse plutôt qu'un organe qui attendrait simplement ses inputs pour y réagir comme on l'a longtemps pensé ?



## An Historical View

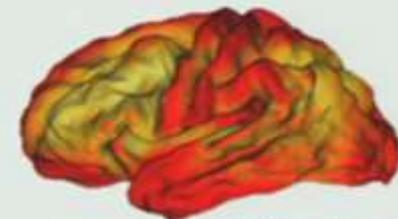
### Reflexive

(Sir Charles Sherrington)



### Intrinsic

(T. Graham Brown)



Raichle: Two Views of Brain

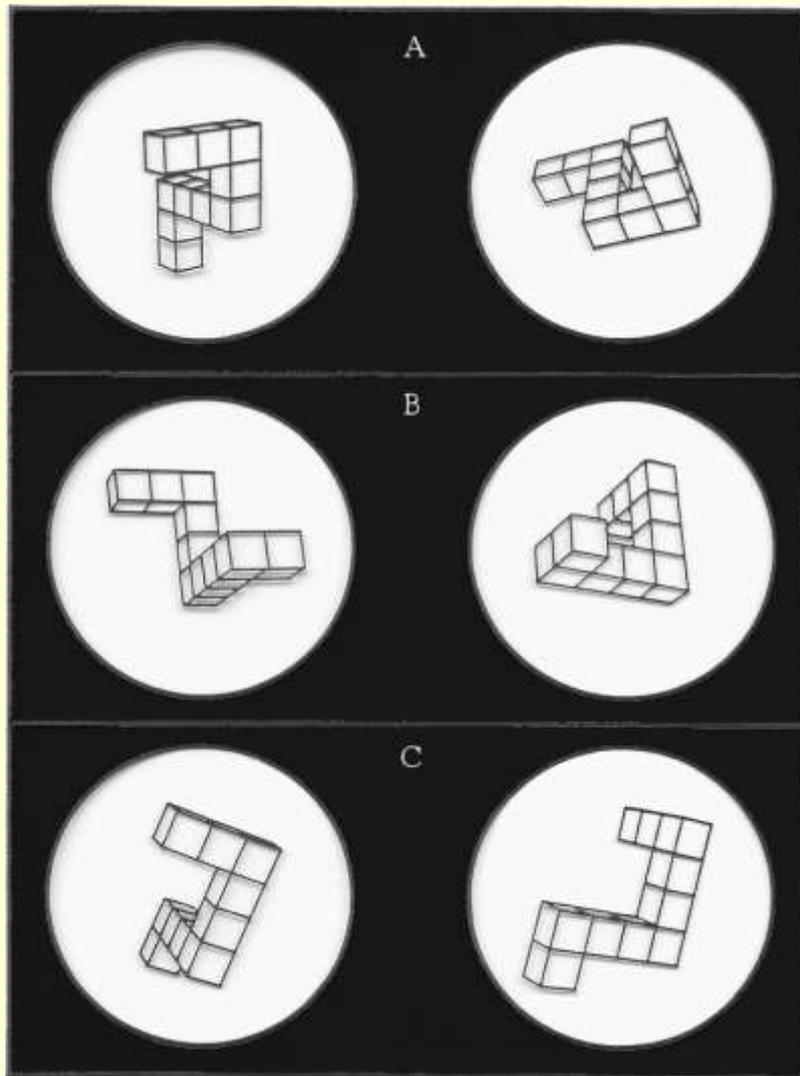
Mais se pourrait-il que cette **activité endogène** qui consomme en permanence 20 à 25% de l'énergie et de l'oxygène que nous consommons (pour un organe qui ne représente que 2% du poids du corps) révèle des choses encore plus fondamentales sur le fonctionnement du cerveau?

Autrement dit, pourquoi l'évolution a-t-elle favorisé cette voie très coûteuse plutôt qu'un organe qui attendrait simplement ses inputs pour y réagir comme on l'a longtemps pensé ?

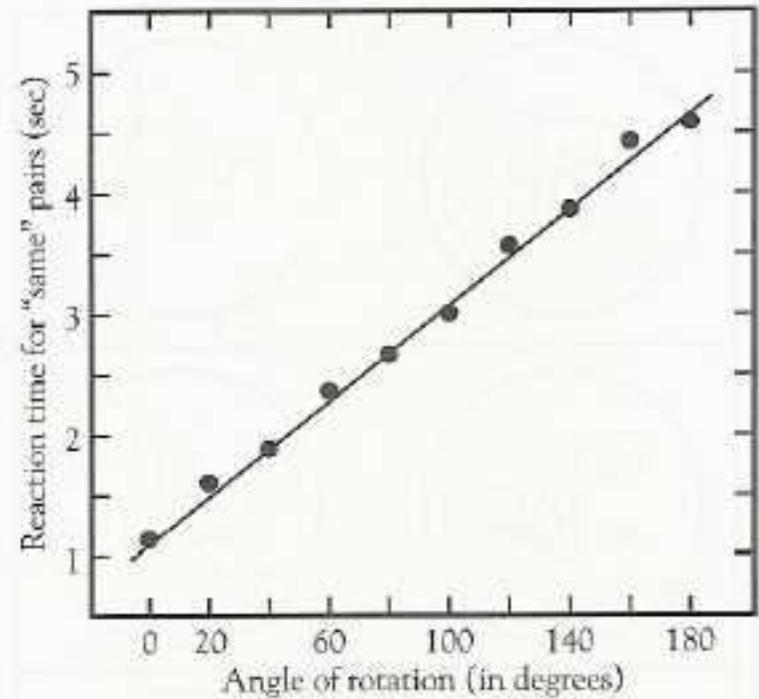
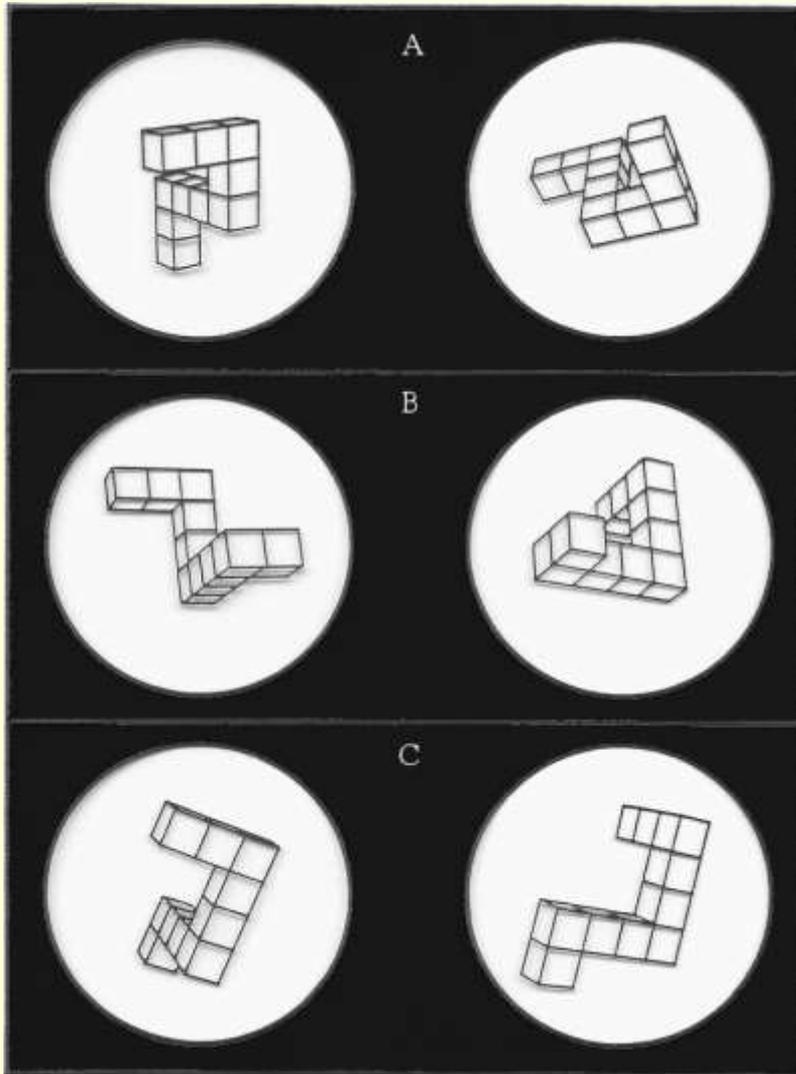


Se pourrait-il qu'il ait là des choses à comprendre sur ce qui nous permet, par exemple, de **décider de la meilleure action** à faire à chaque instant ?

Dès les années 1960, des expériences comme celles de la **rotation de figures dans l'espace** allaient pourtant en ce sens...



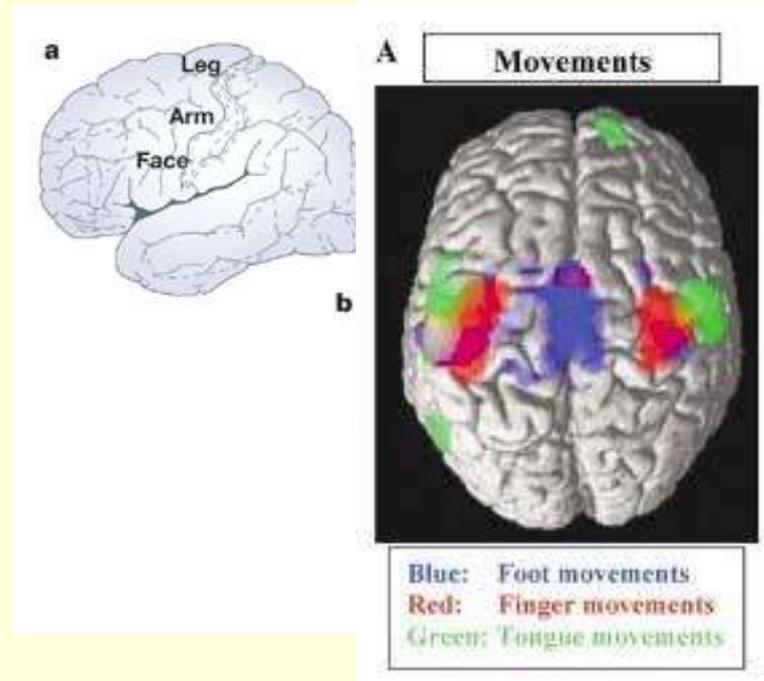
....car le temps de réponse est  
corrélé avec le nombre de degrés  
d'écart entre les figures



**Figure 7.11** Reaction time to judge whether two patterns have the same three-dimensional shape

Mental Rotation of Three-Dimensional Objects  
Roger N. Shepard and Jacqueline Metzler  
Science, Vol. 171, No. 3972 (1971)

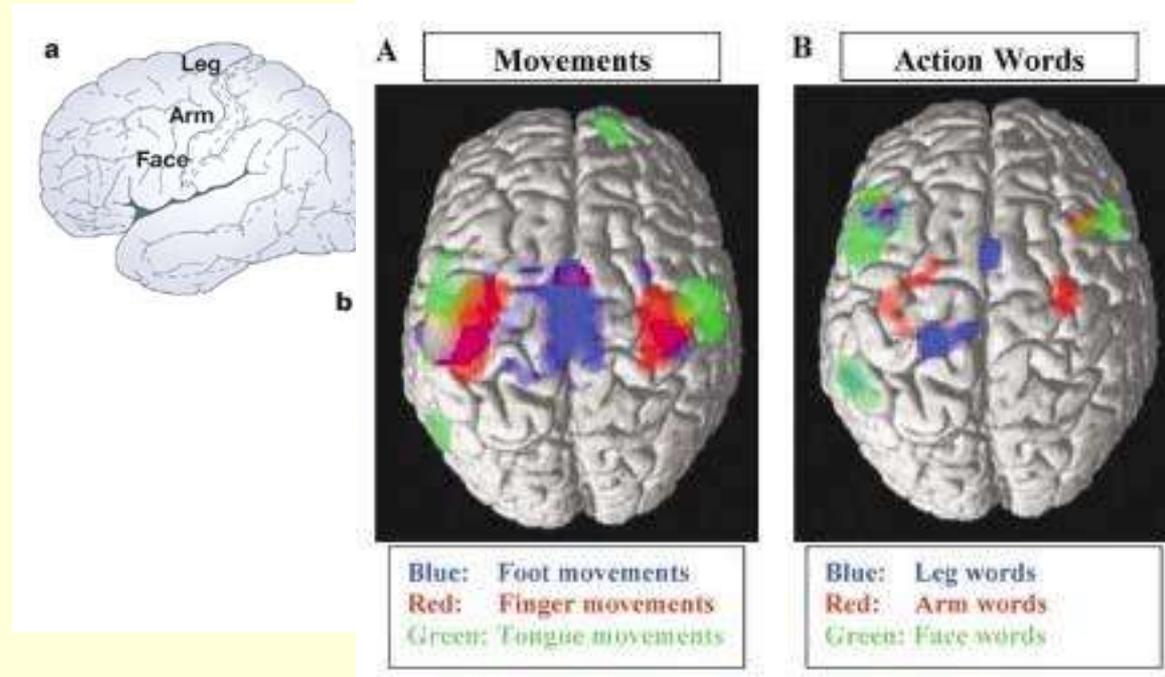
<http://www.jstor.org/stable/1731476>



Ces résultats supportent donc l'hypothèse que **nos systèmes sensorimoteurs** sont utilisés de manière routinière dans notre compréhension du langage.

**Pulvermüller (2006)**  
**Hauk et al. (2004)**

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



Lecture de mots

Exemple :

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

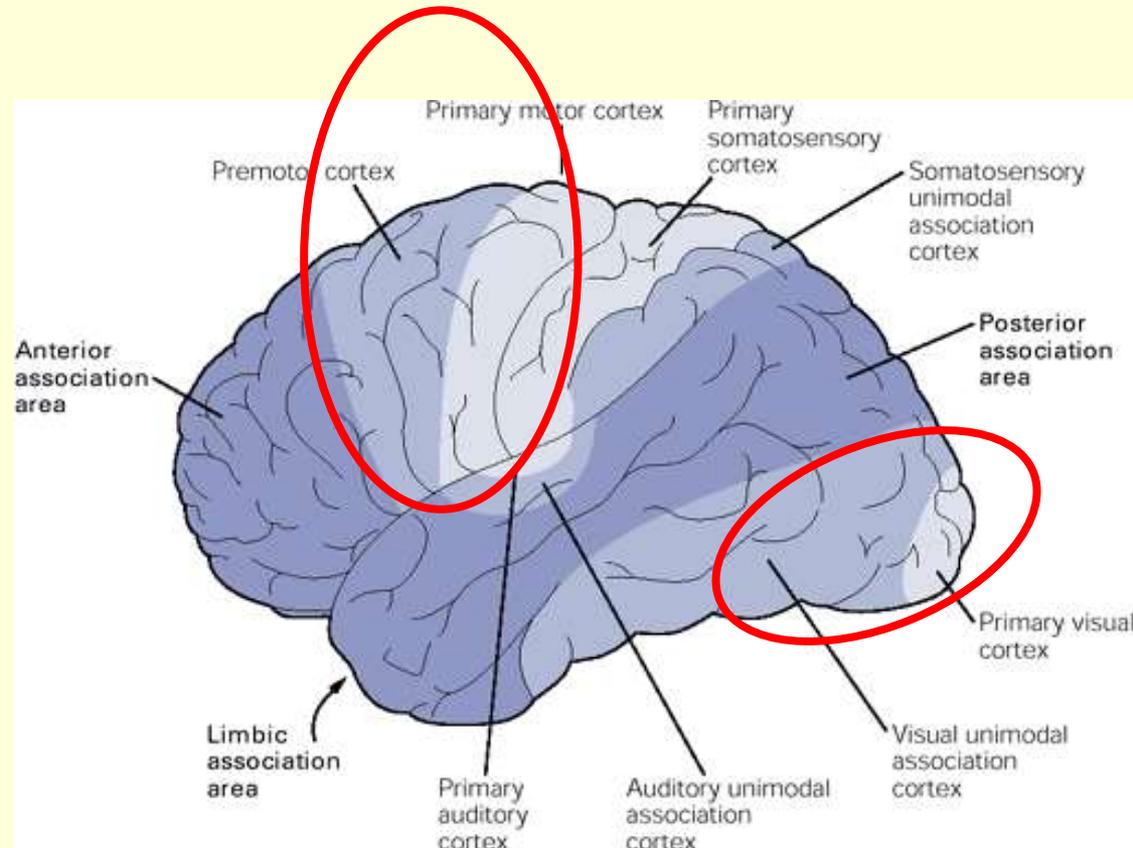
Des tâches de **rappel de verbes** activent aussi  
les régions cérébrales motrices impliquées dans  
ces actions.

## **Simulations mentales :**

activité nerveuse dans des régions sensorielles sans inputs en provenance du monde extérieur,

ou bien dans des régions motrices sans qu'il n'y ait mouvement réel.

Des simulations mentales contribuent à nos représentations conceptuelles abstraites.



(contrairement à ce qu'on croyait dans les années 1970 – 1980...)



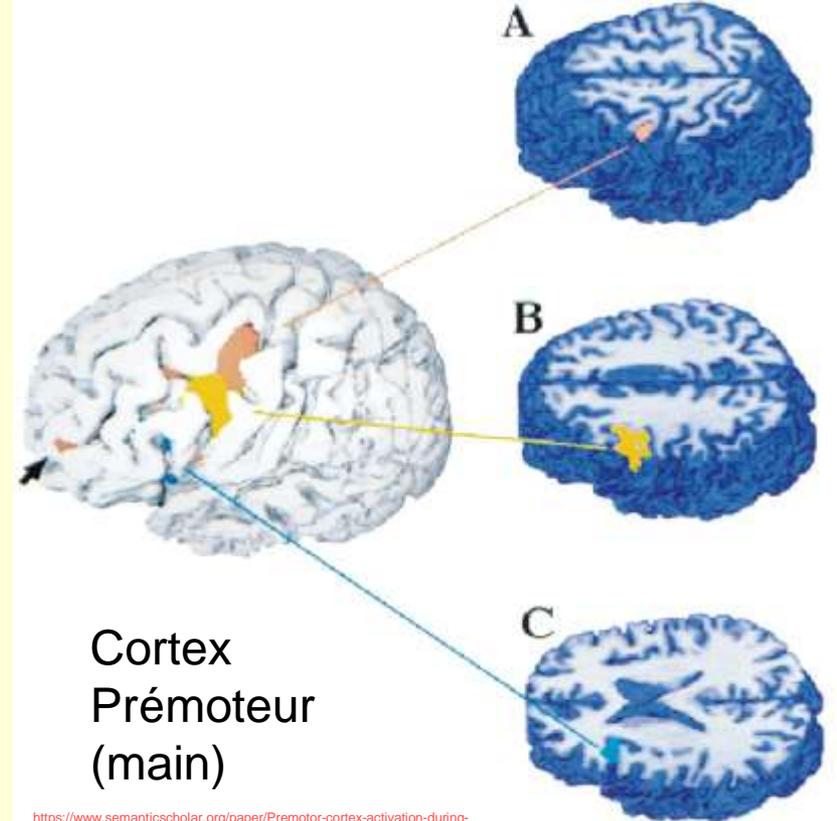
**Tucker & Ellis (1998)**

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 »...

→ Cette idée qu'il y a toujours des choses dans notre environnement qui nous suggèrent de « faire quelque chose » avec elles a été mise de l'avant avec le concept « **d'affordance** ».



<https://www.semanticscholar.org/paper/Premotor-cortex-activation-during-observation-and-Grafton-Fadiga/73f6e125c380b28fc6bd0e826b93803d67dcaccd>

FIG. 1. Cortical anatomy of tool observation. Significant in

# Plan – Décision & Cerveau prédictif

**Simulations mentales**

**Les affordances : des opportunités d'actions**

**La prise de décision rapide (par simulations et compétitions d'affordances)**

**Des décisions prises à de multiples niveaux d'abstraction**

# 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

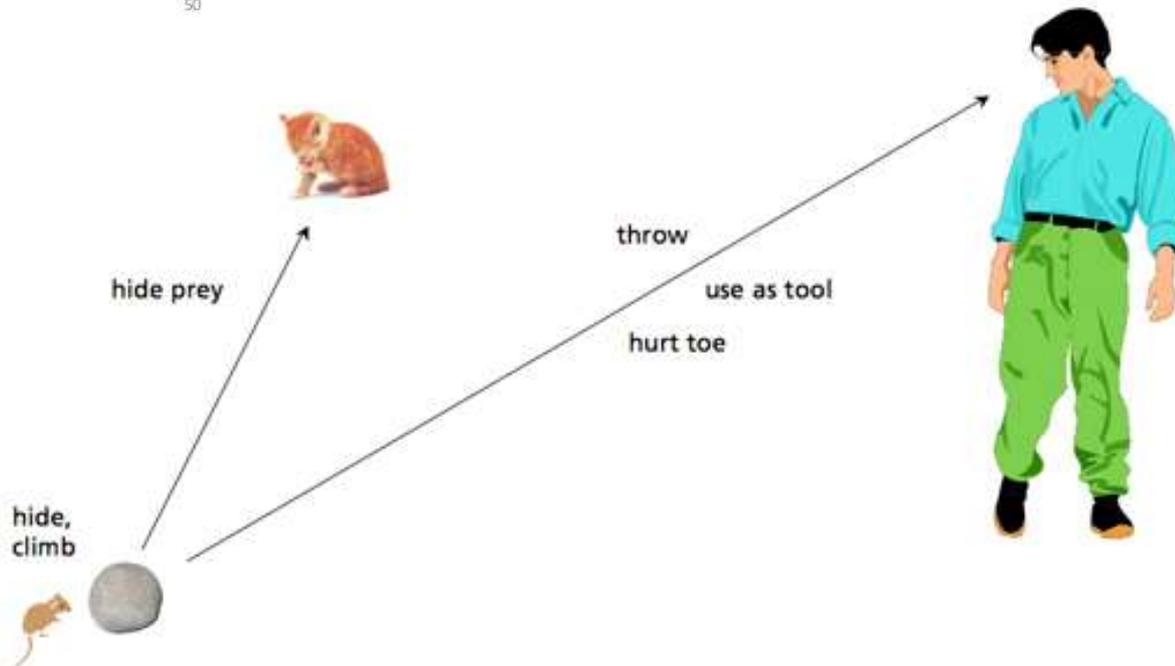
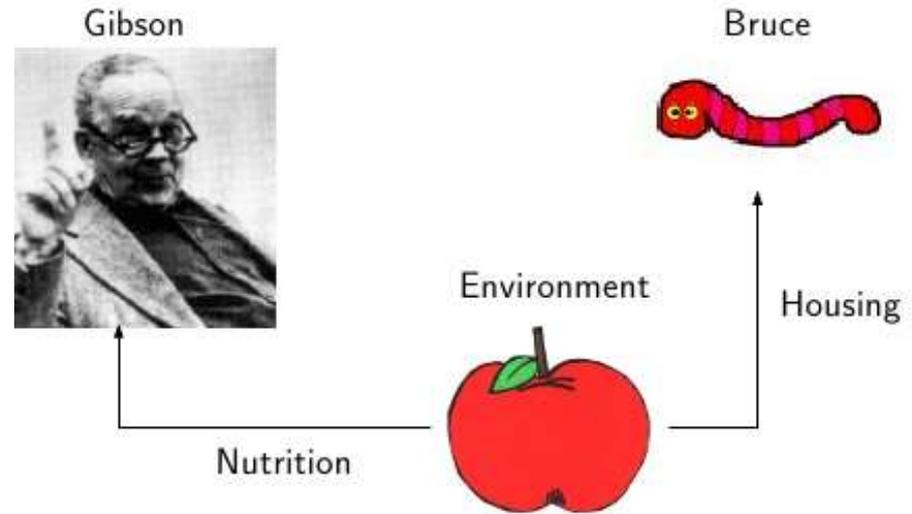
Design for ALL

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).



## Pour Gibson :

- un organisme et son environnement sont donc **inséparables**;
- beaucoup de ce que fait l'être humain avec sa technologie et ses connaissances transmises culturellement est de créer **d'avantage d'affordances** que dans un environnement naturel

Exemple : ce qu'on fait en camping...



## Pour Gibson :

- un organisme et son environnement sont donc **inséparables**;
- beaucoup de ce que fait l'être humain avec sa technologie et ses connaissances transmises culturellement est de créer **d'avantage d'affordances** que dans un environnement naturel

Exemple : ce qu'on fait en camping...

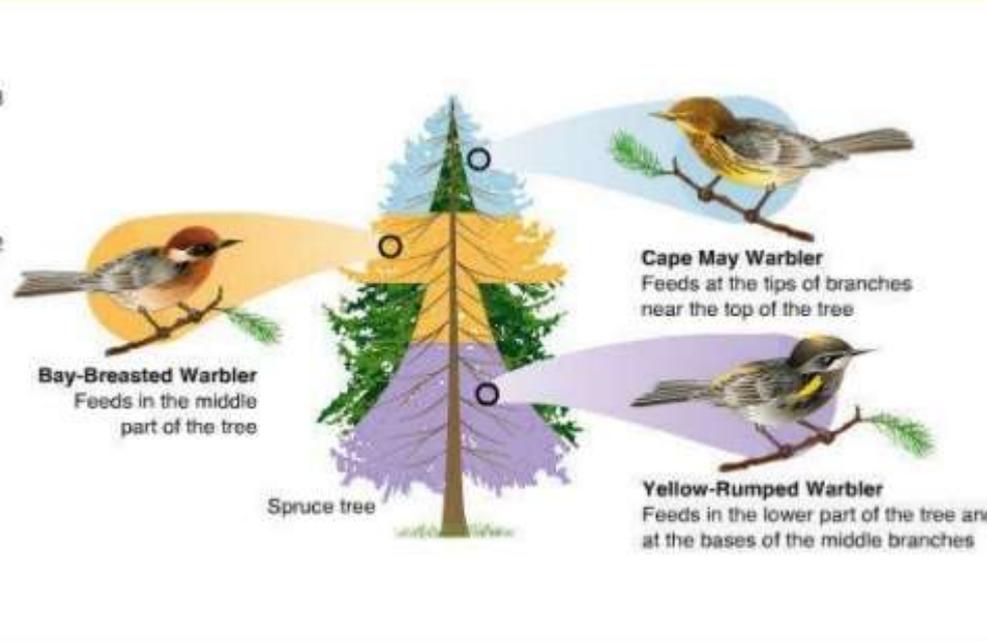
...ou en ville.



While different species may share or live in a similar habitat, ecological niche is their unique way of living within it.



“An ecological niche ‘just is’ a structured set of affordances that are shared by agents”



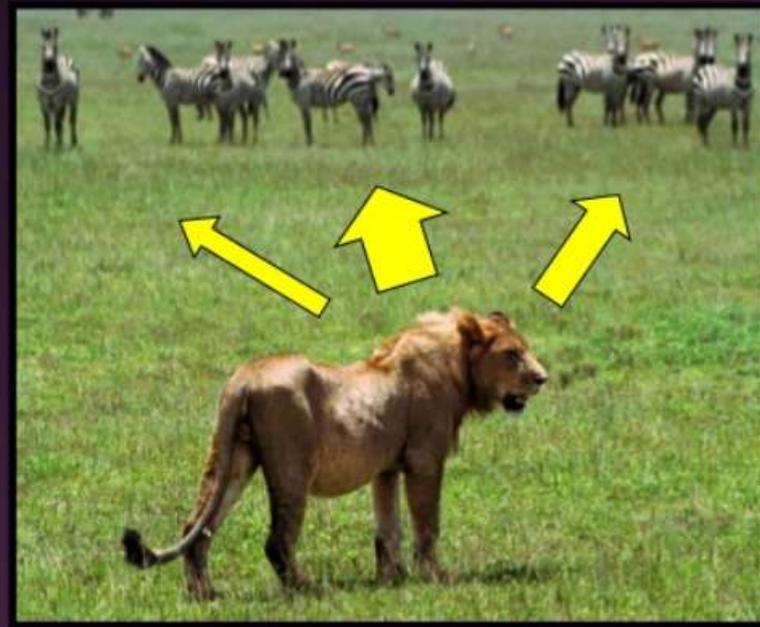
### Variational Ecology and the Physics of Sentient Systems

Maxwell J. D. Ramstead, Axel Constant, Paul B. Badcock, Karl J. Friston

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157106451930003X>

(2019)

# Decision-making in the wild



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

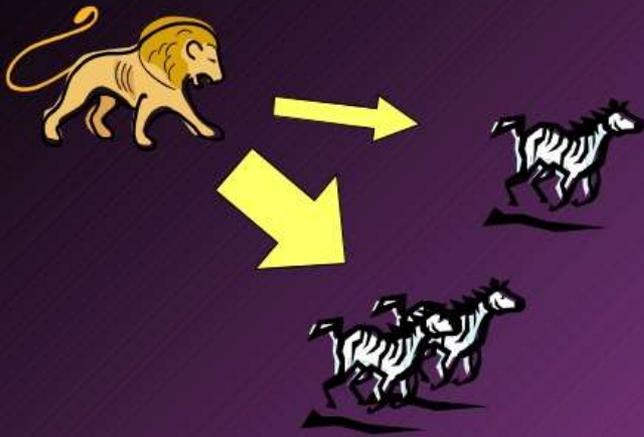
# Plan – Décision & Cerveau prédictif

**Simulations mentales**

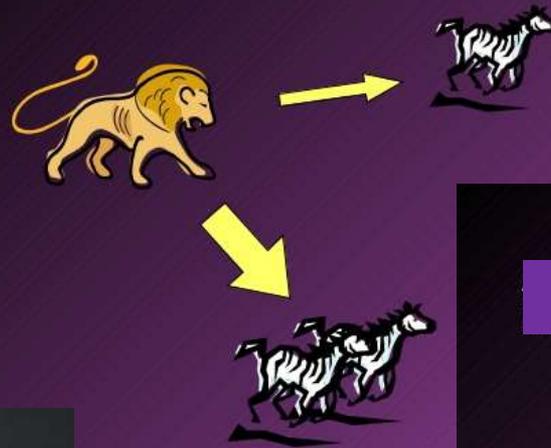
**Les affordances : des opportunités d'actions**

**La prise de décision rapide (par simulations et compétitions d'affordances)**

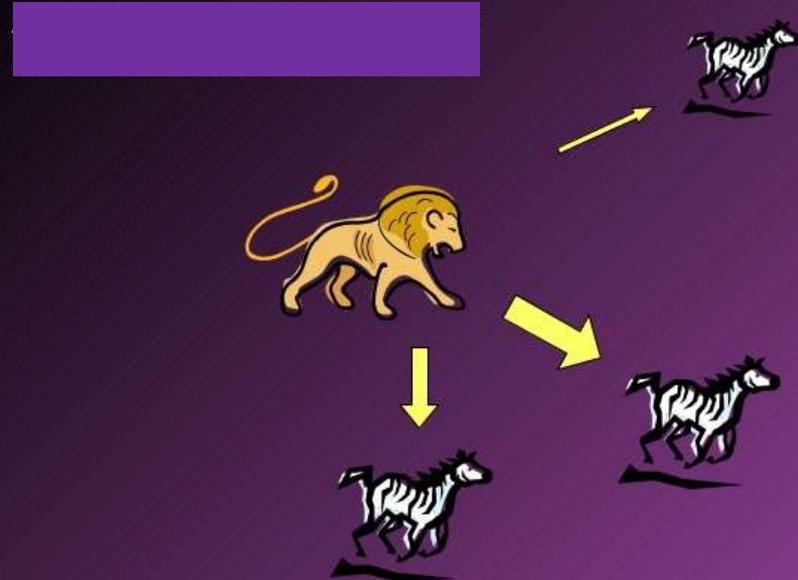
**Des décisions prises à de multiples niveaux d'abstraction**



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

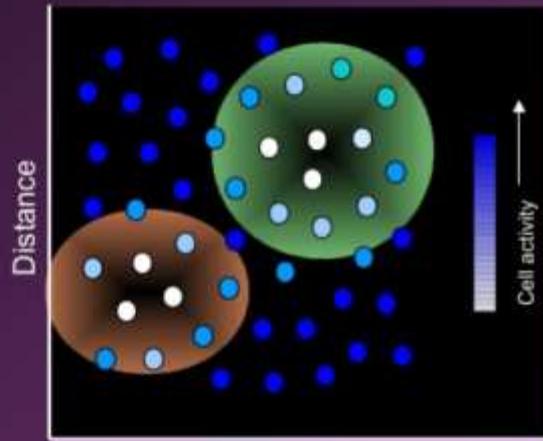


...et pas ça !

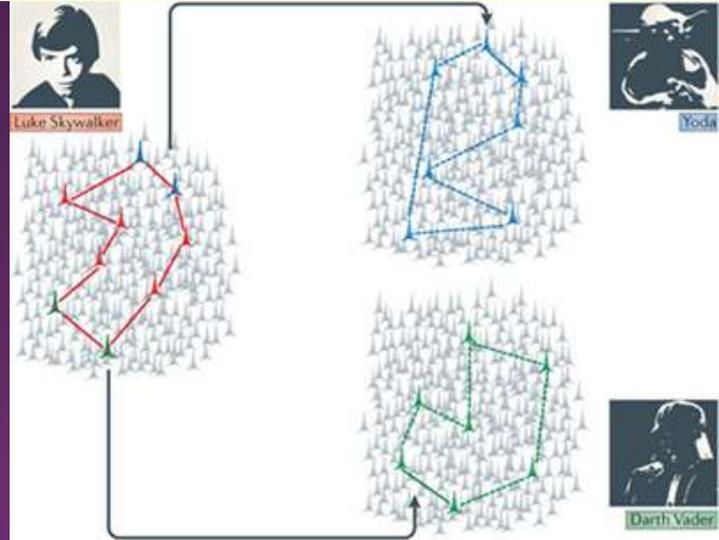




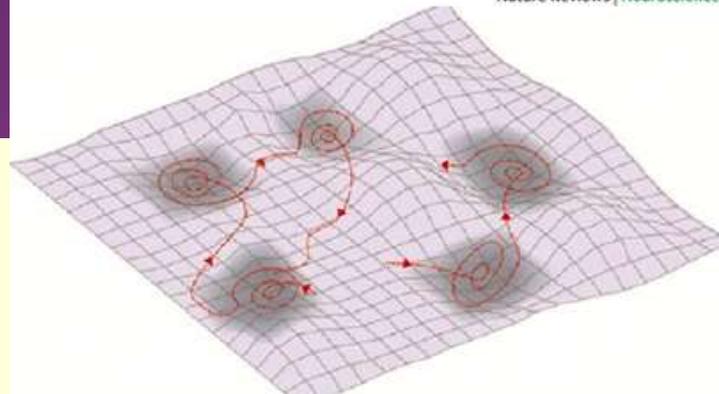
A population of tuned neurons



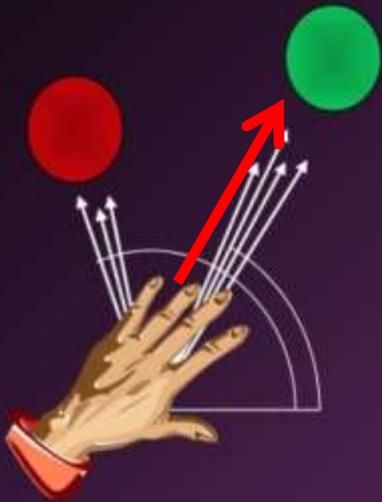
Direction



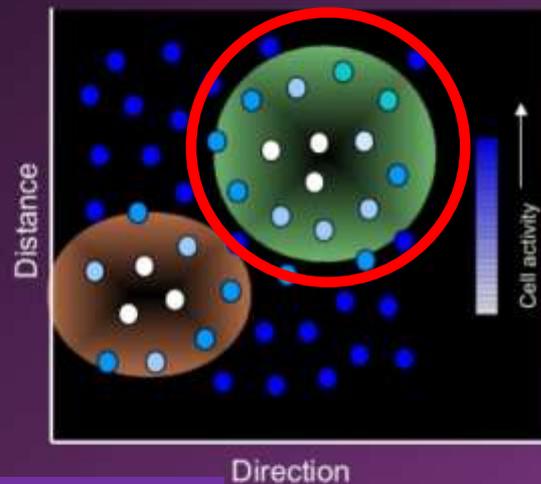
Nature Reviews | Neuroscience



# Specification and selection in parallel



A population of tuned neurons



## 1) Spécification d'actions possibles :

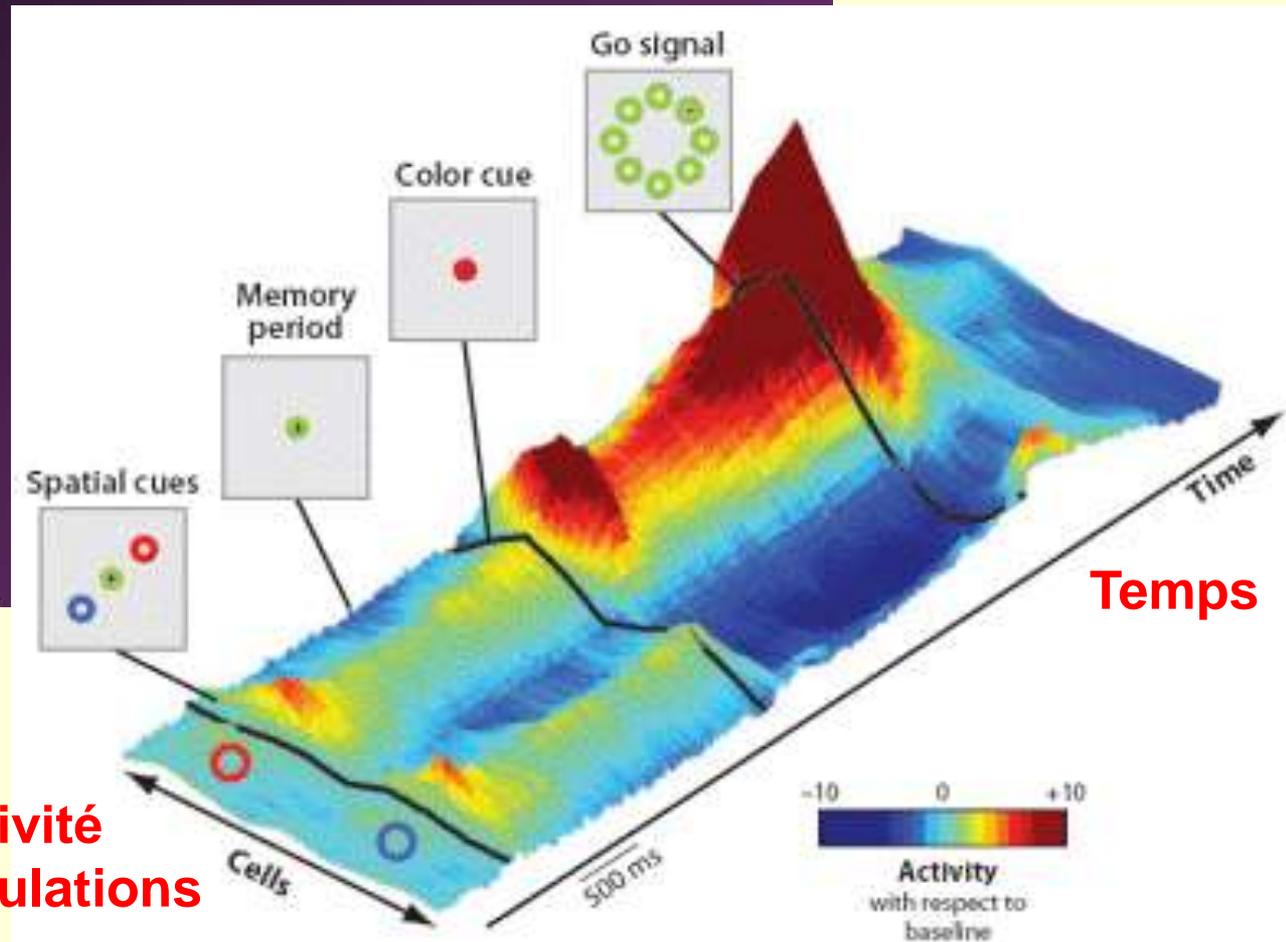
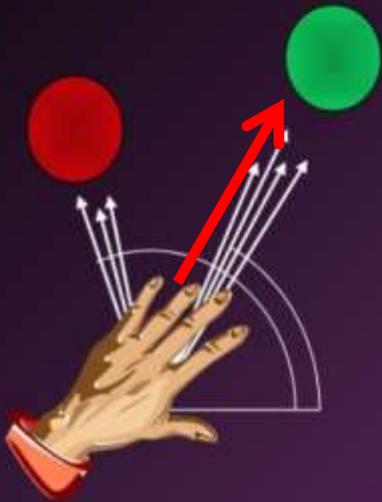
Deux groupes de neurones augmentent leur activité en fonction des deux directions intéressantes ici (les deux affordances)

## 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



- Cela veut dire que peu importe dans quel environnement on se trouve, à tout moment notre cerveau va voir des choses qui vont lui suggérer des actions.
- Et donc il sera **constamment** en train de faire des **simulations...**

Qu'est-ce que cela implique que pour la plus grande partie de nos comportements qui sont rapides et inconscients ?

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

Quoi faire ?

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

Comment le faire ?

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



→ Peut prendre plusieurs minutes



→ Ou même des jours  
ou des mois...



→ Peut prendre quelques secondes



→ Ou dizaines de secondes



→ Peut prendre une seconde

→ Ou une fraction de seconde

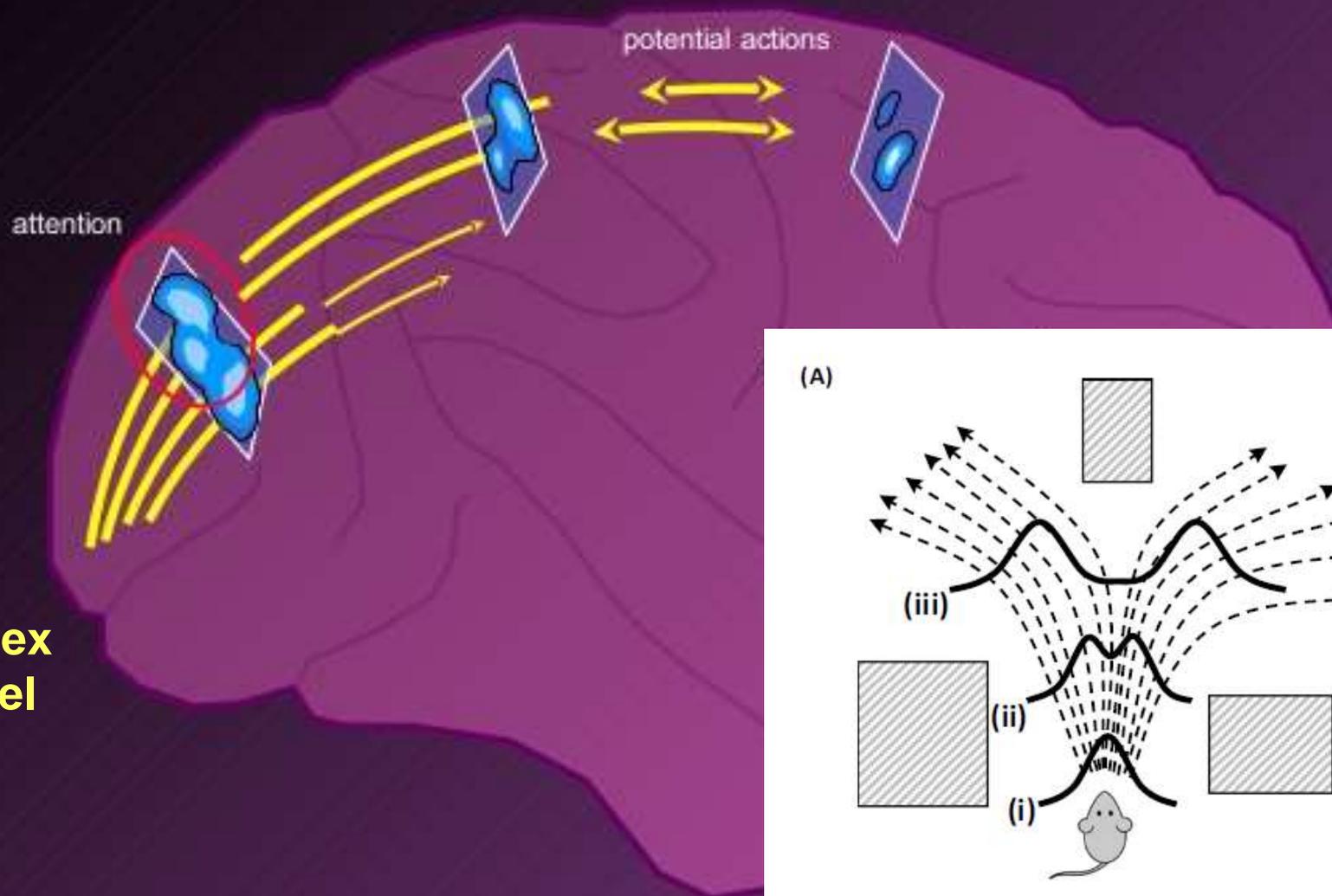


Pour nombre de décisions simples et rapides,  
les données expérimentales  
**n'appuient pas le schéma classique :**

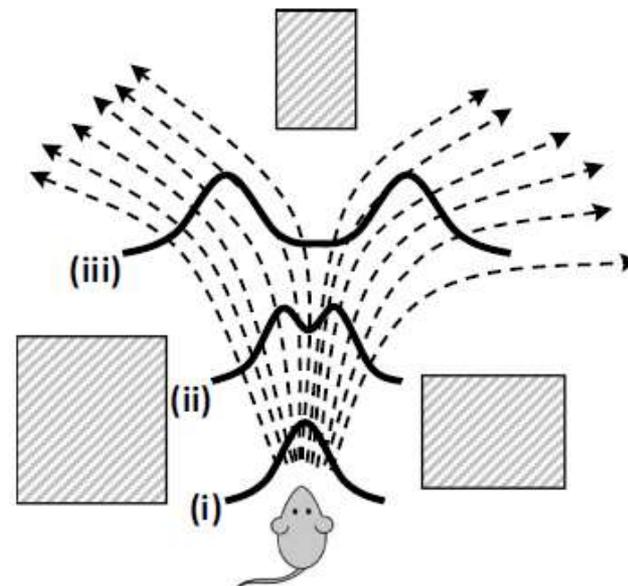
~~« décision →  
préparation du bon  
mouvement →  
action »~~



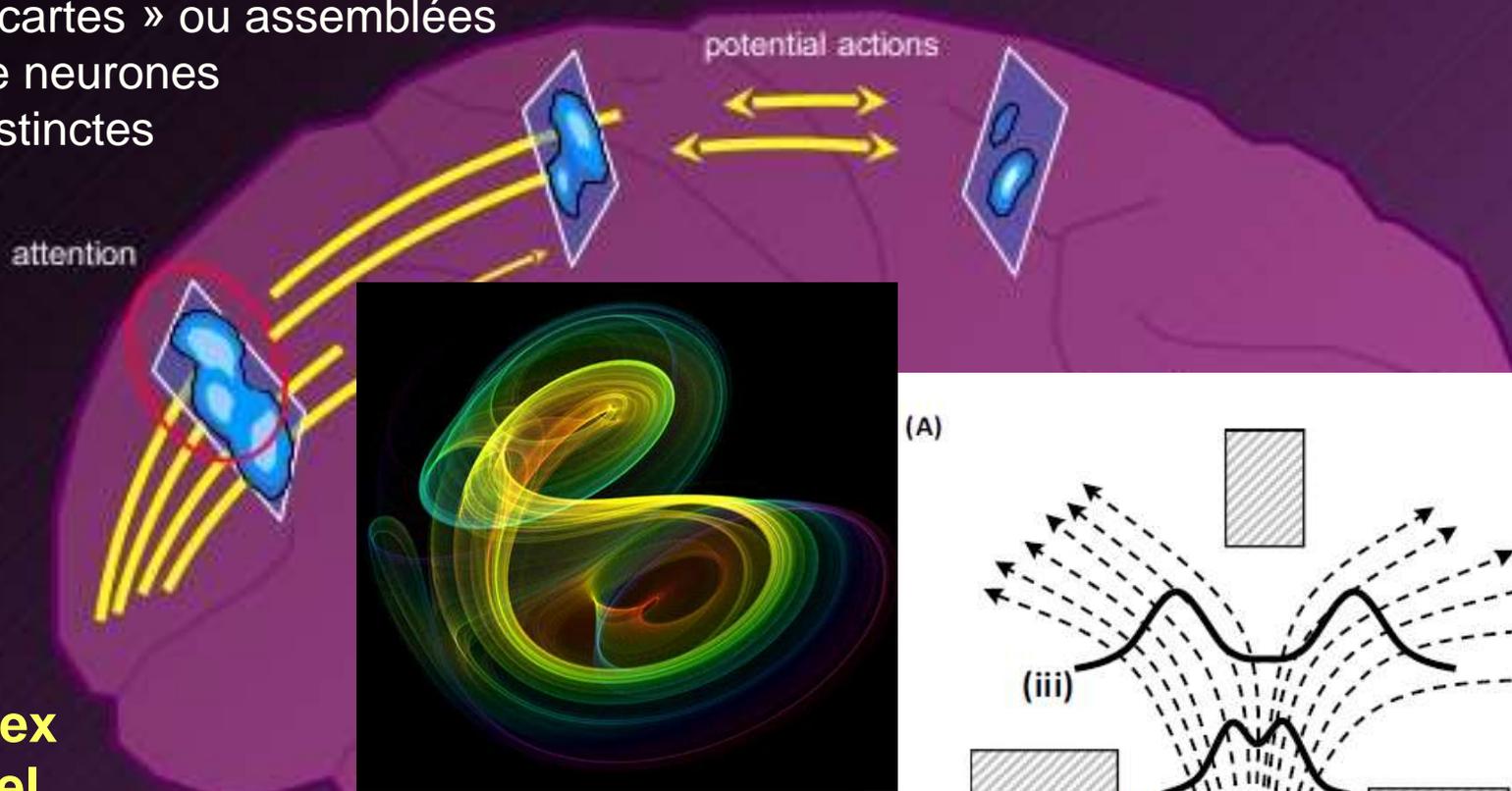
Comment cela pourrait se passer à l'échelle du cerveau entier ?



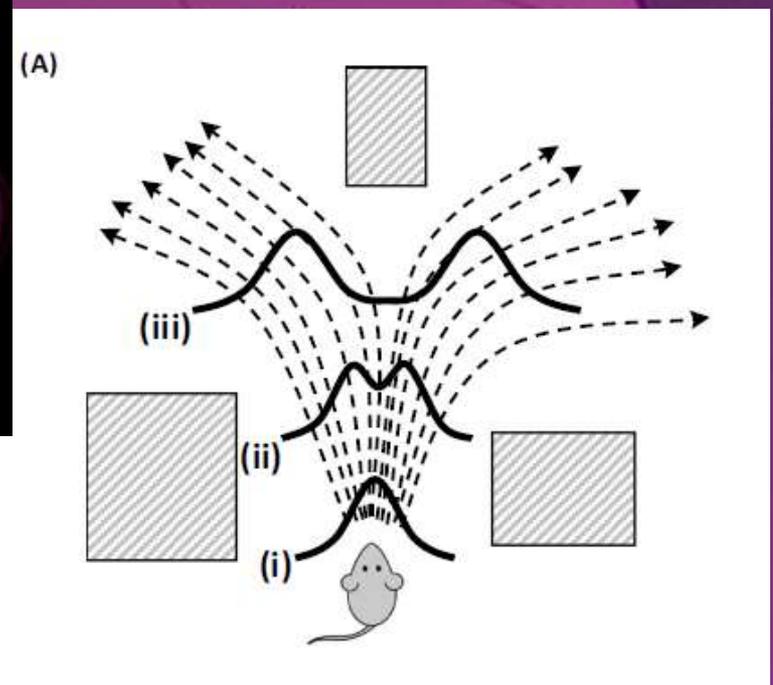
(A)



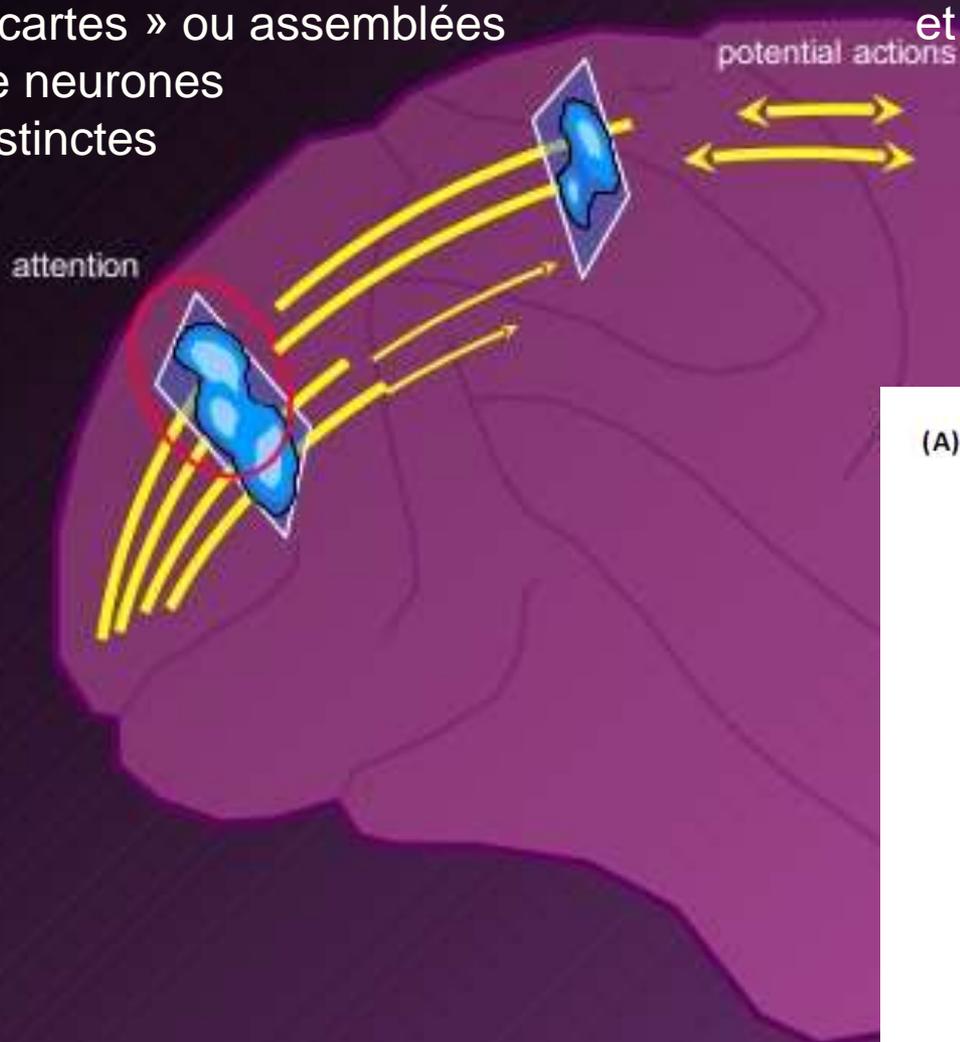
Des processus d'attention aident à **spécifier** des « cartes » ou assemblées de neurones distinctes



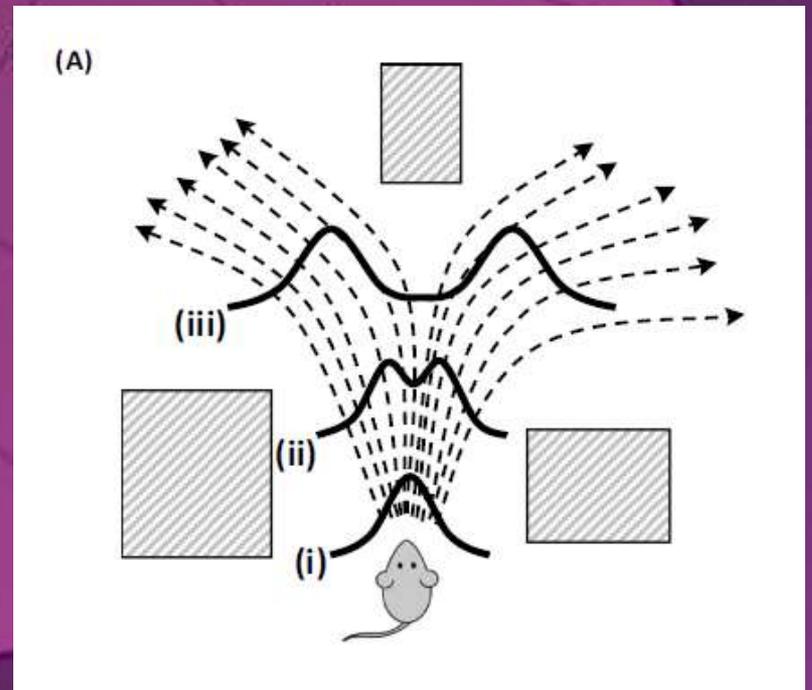
**Cortex  
visuel**



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

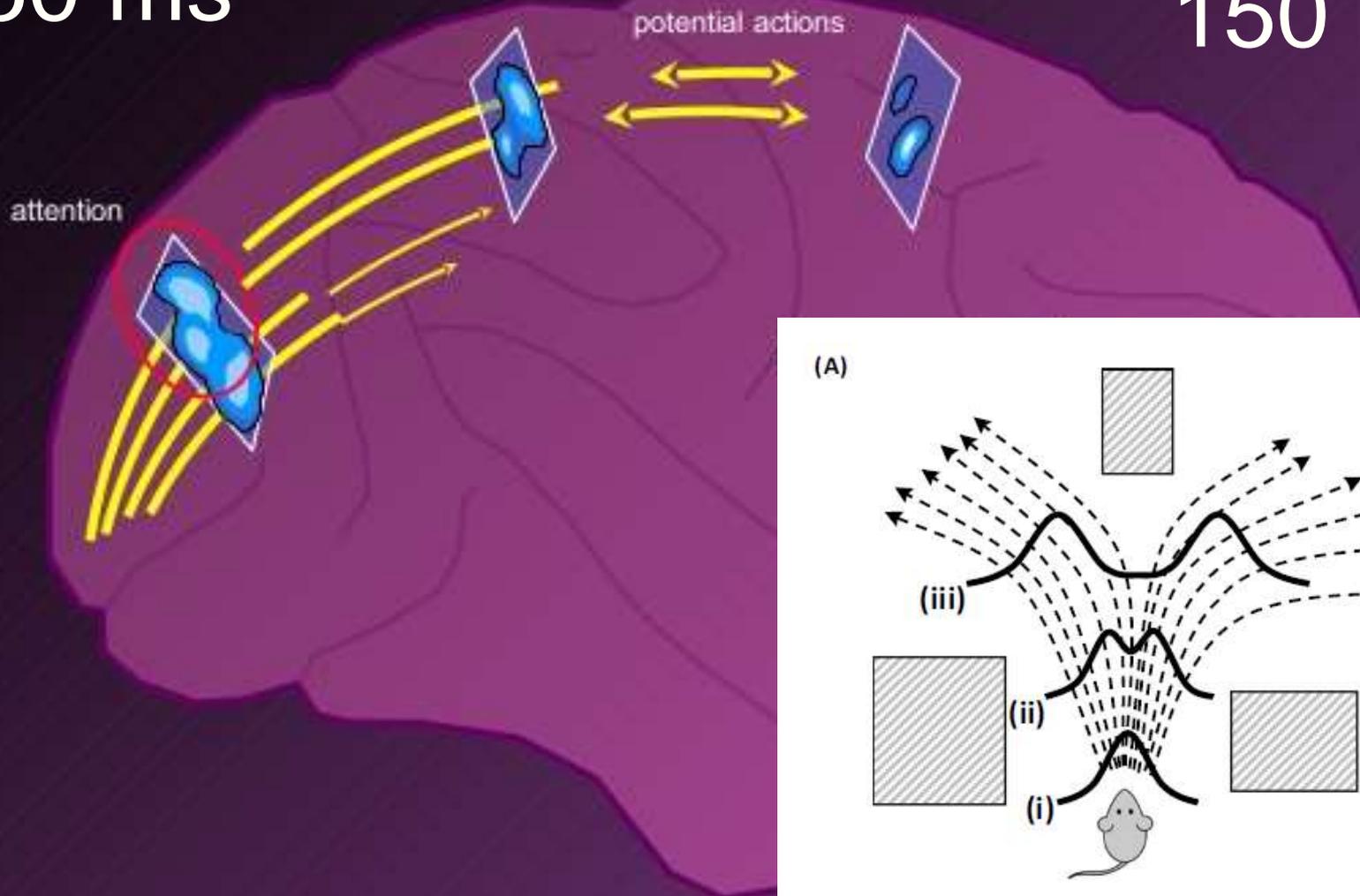


Et c'est à partir de là qu'a lieu la compétition (par inhibitions réciproques) et qu'un groupe de neurone « gagnant » va être éventuellement être **sélectionné** et déclencher l'action.

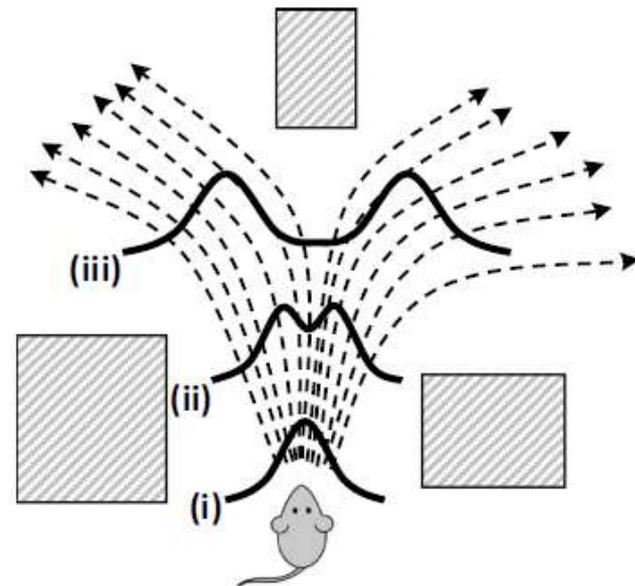


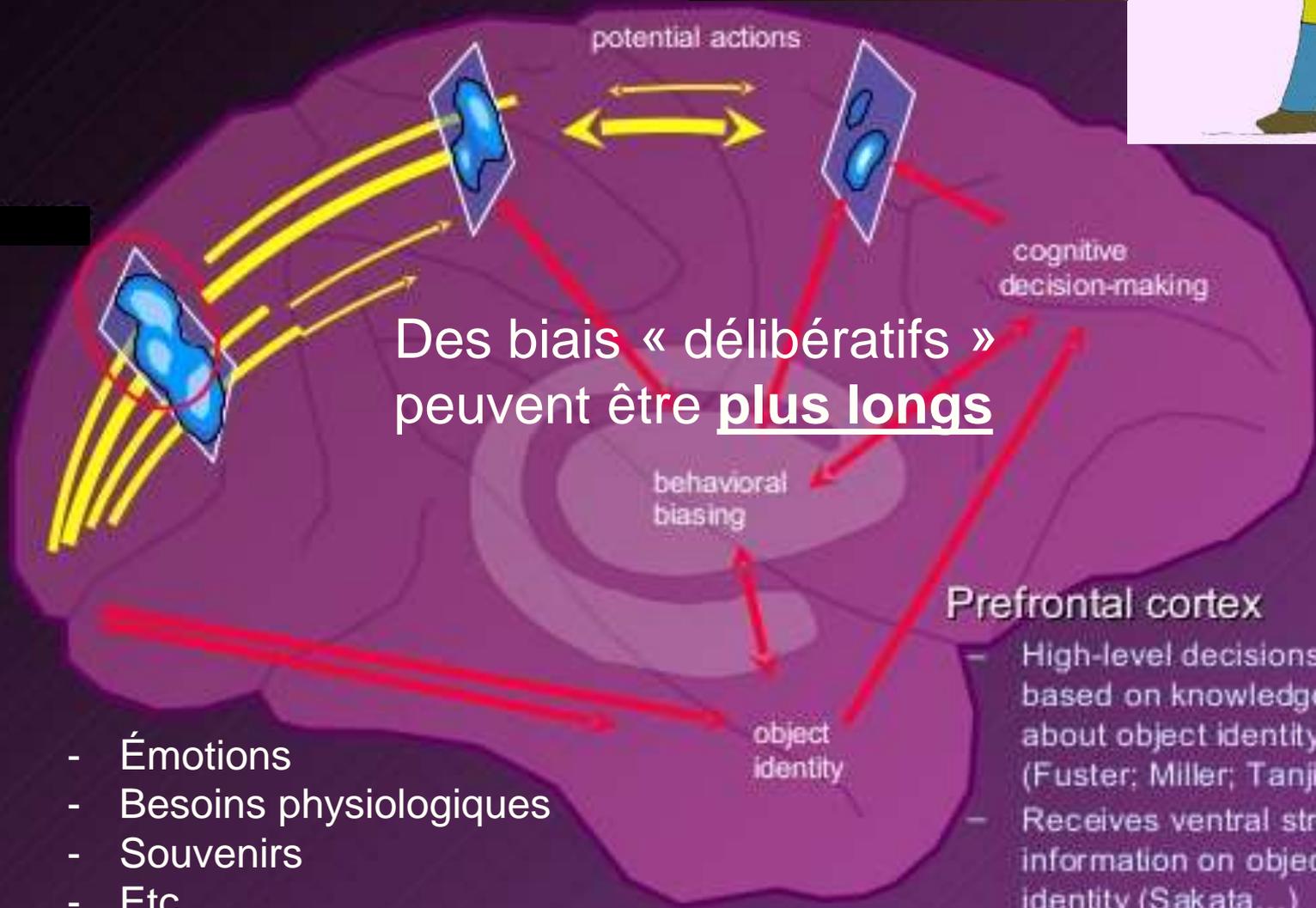
50 ms

150 ms



(A)

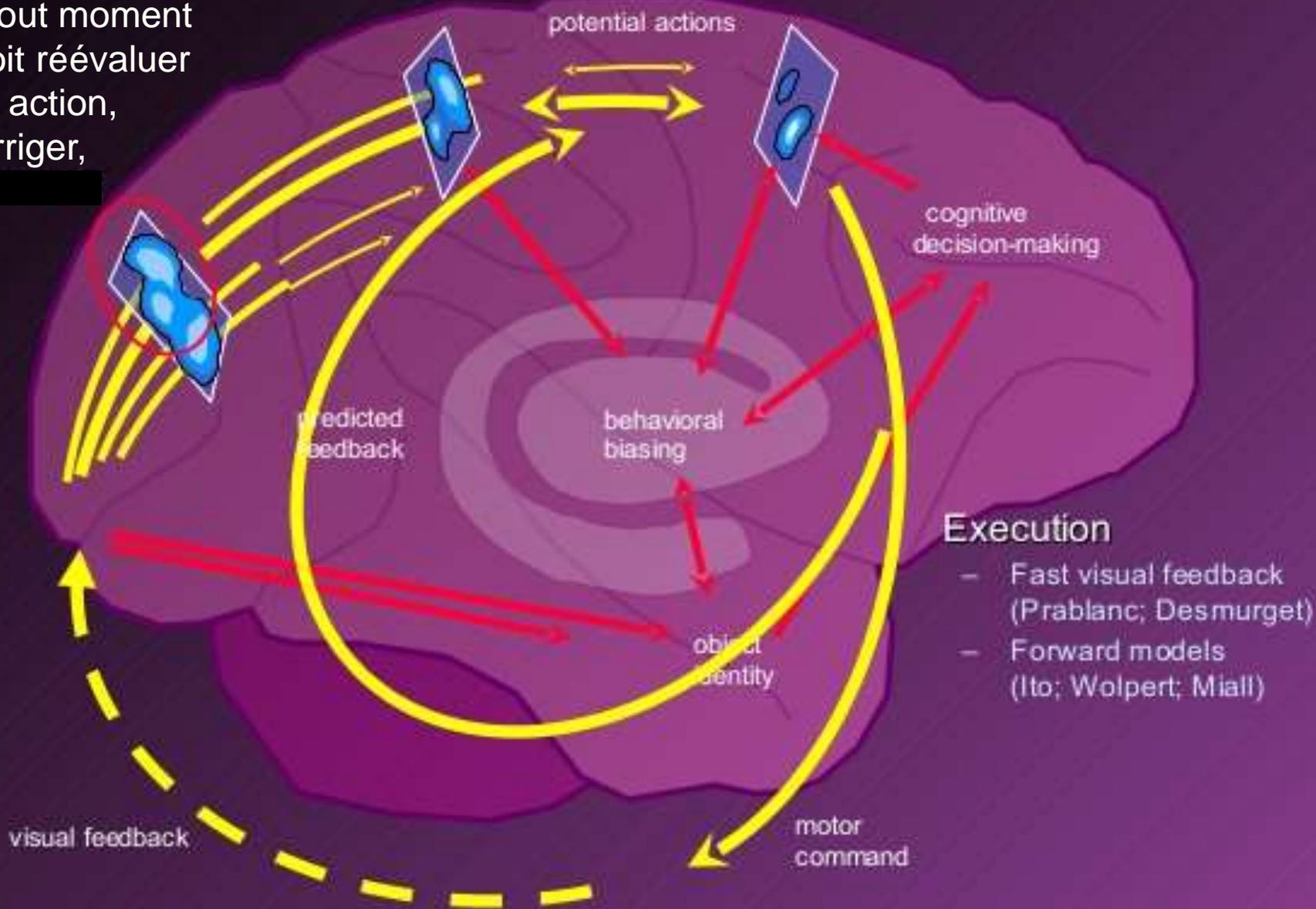




- Émotions
- Besoins physiologiques
- Souvenirs
- Etc.

- 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.



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.

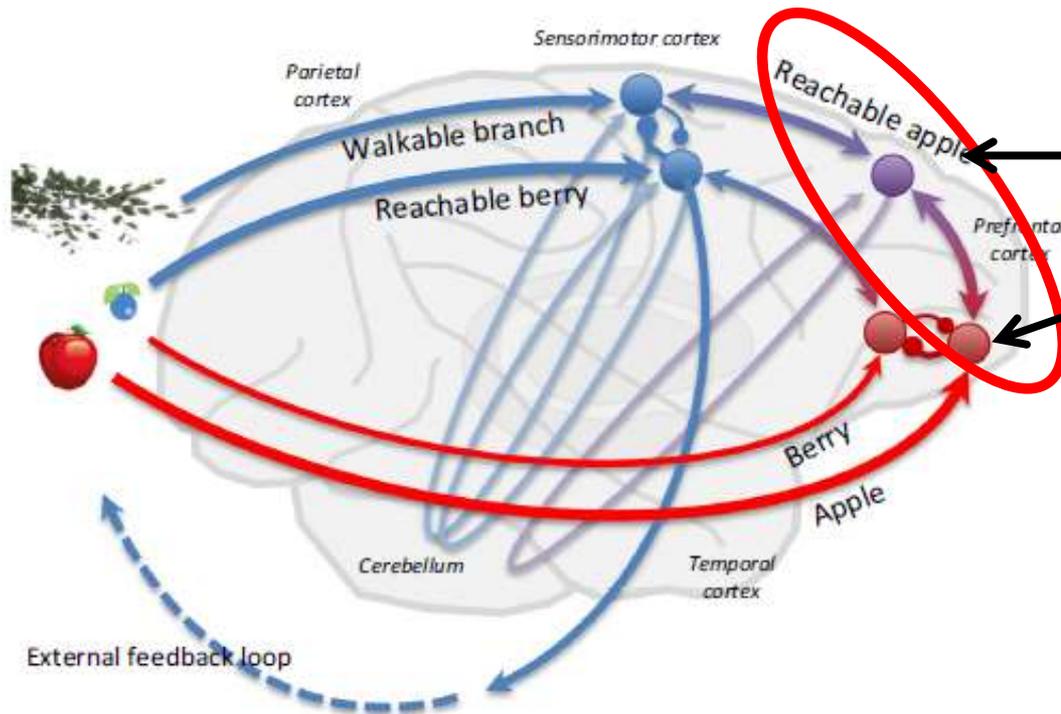
Éléments de :

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”**



(c)



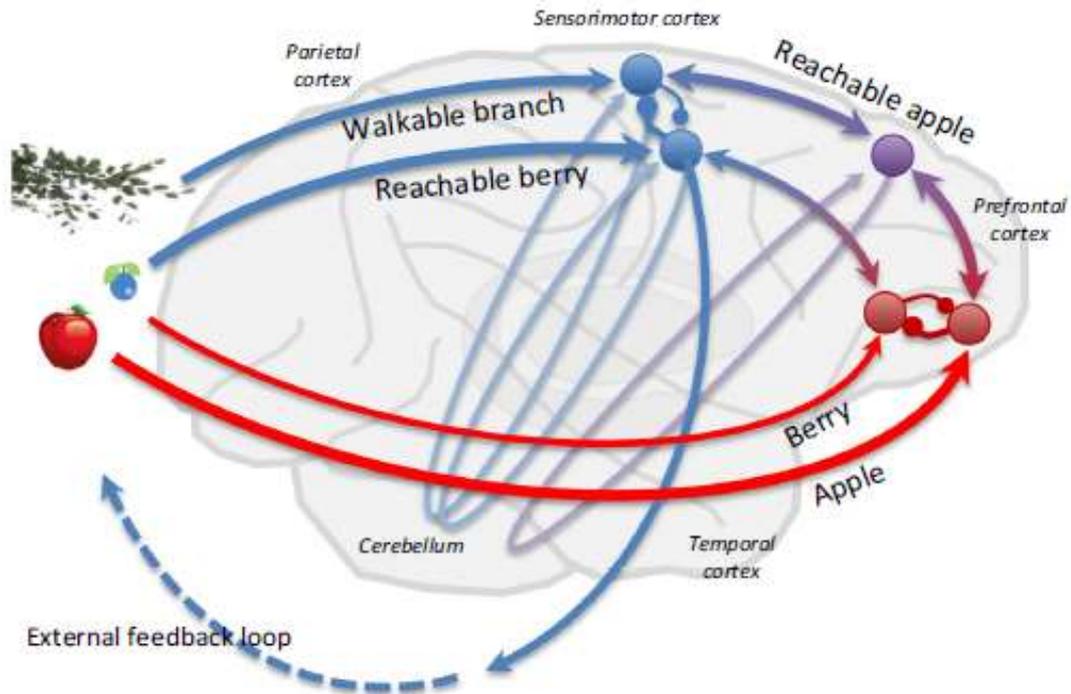
La pomme remporte la « compétition »

grâce à sa « **valeur émotive** » plus positive.

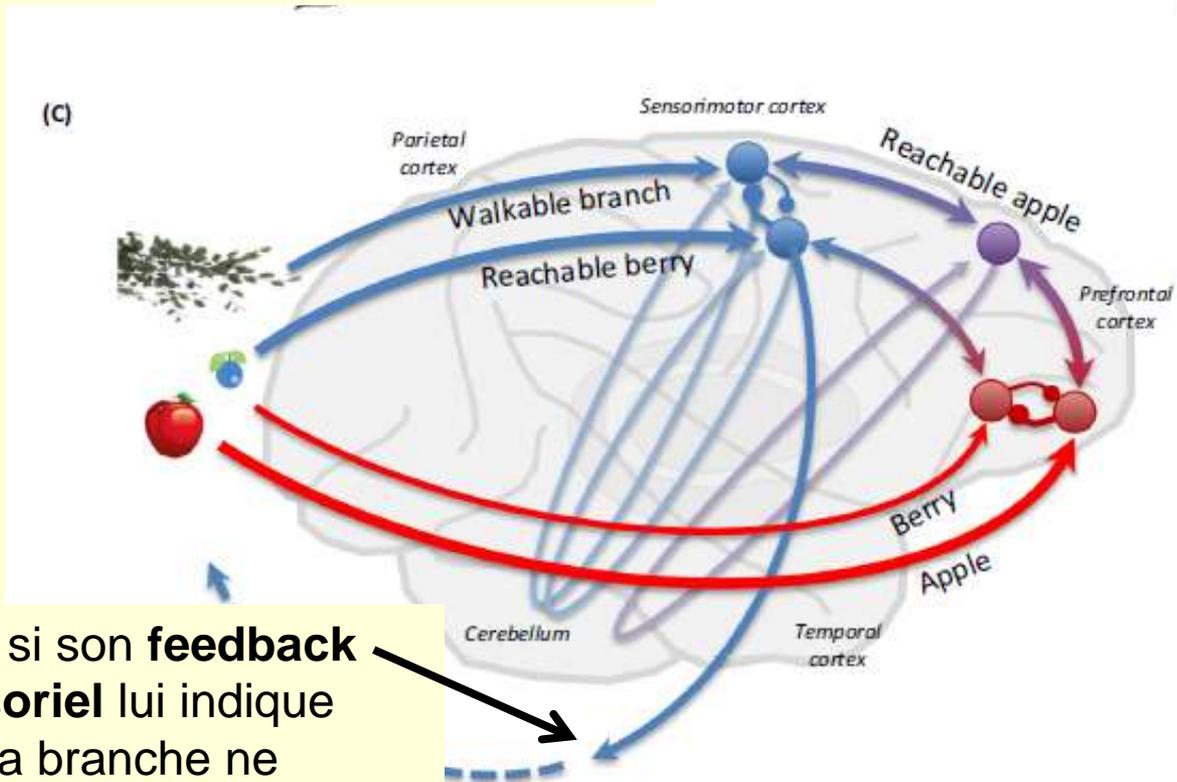
Donc le singe se met à **marcher sur la branche** vers la pomme



(c)



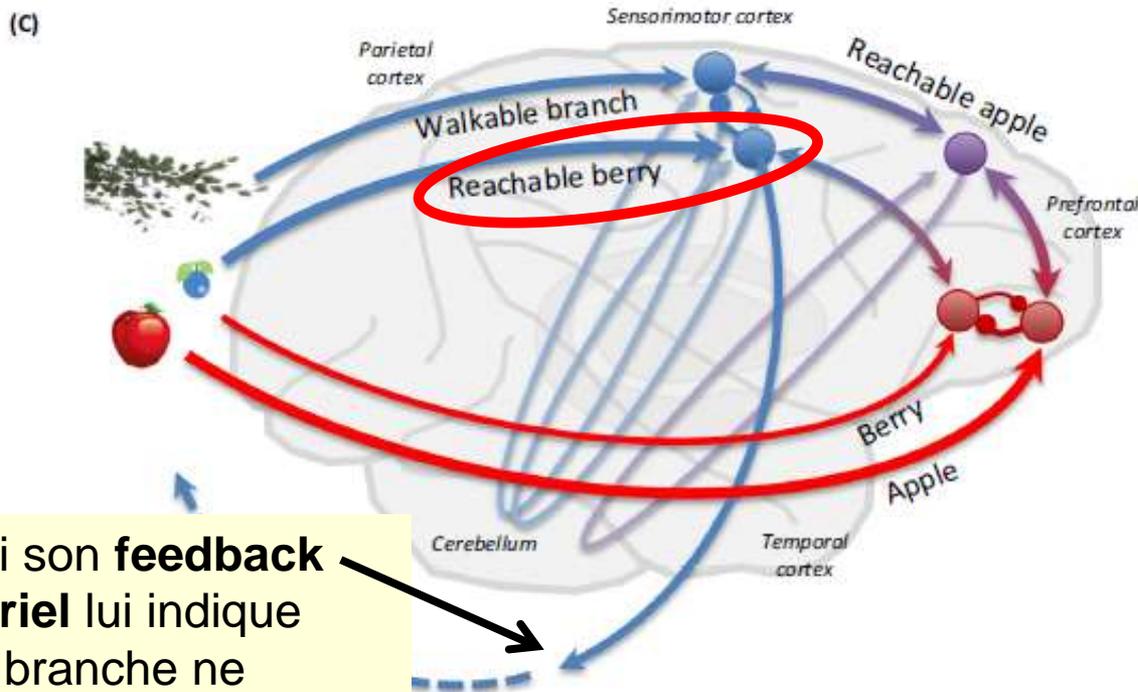
Donc le singe se met à **marcher sur la branche** vers la pomme



l'animal a **peur** (“**valeur émotive négative**”) et la compétition penche alors en faveur d'un plan moteur moins risqué

Mais 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



Mais si son **feedback sensoriel** lui indique que la branche ne supporte pas son poids

l'animal a **peur** (“**valeur émotive négative**”) et la compétition penche alors en faveur d'un plan moteur moins risqué

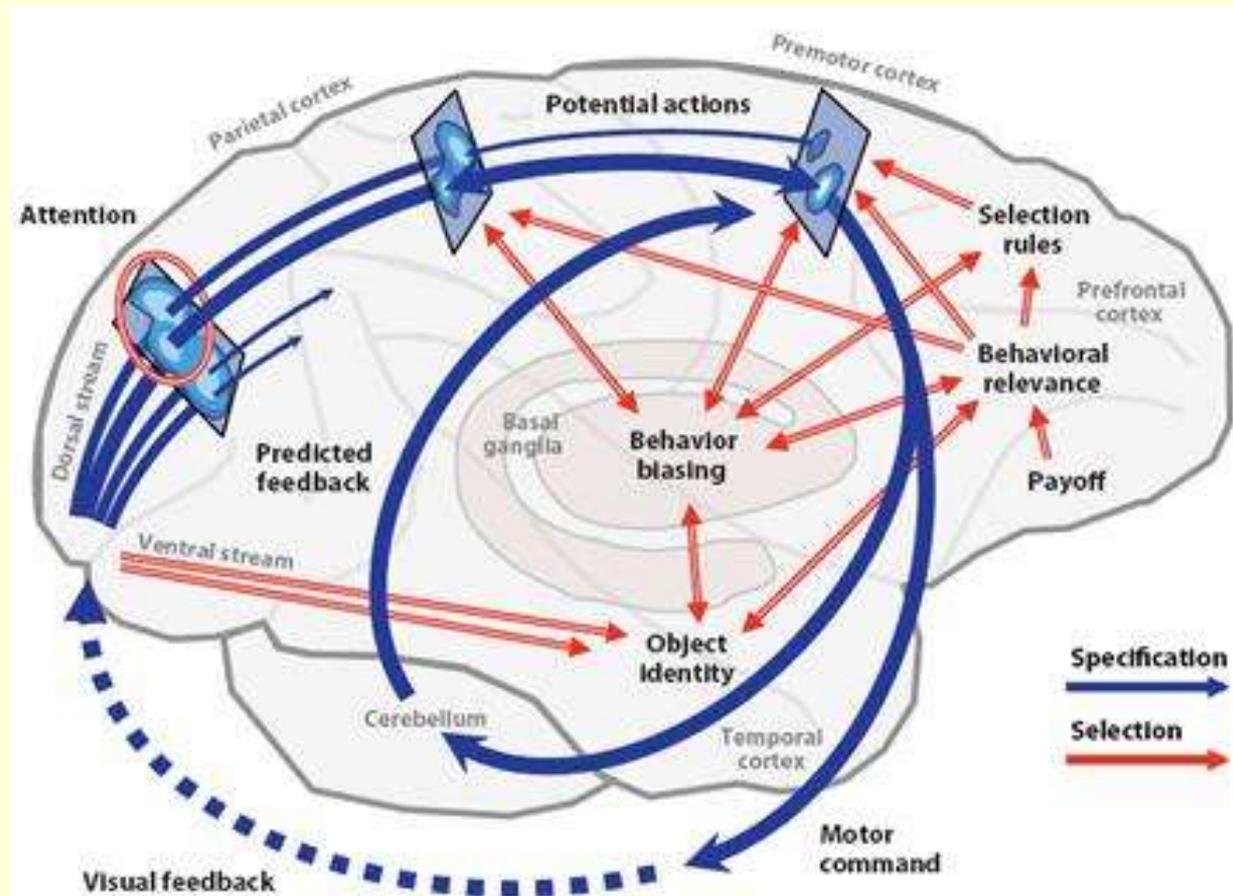
Il se ravise alors et prend le petit fruit bleu.

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.**

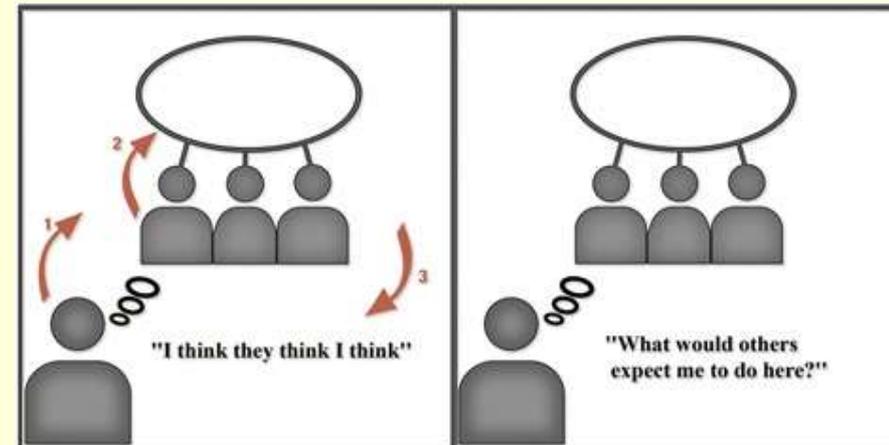


Pour trouver nos ressources et éviter les dangers pour notre intégrité physique, on a donc autant besoin de réagir aux **possibilités d'action immédiates** que nous suggère notre environnement

que de faire des **plans abstraits** plus élaborés

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

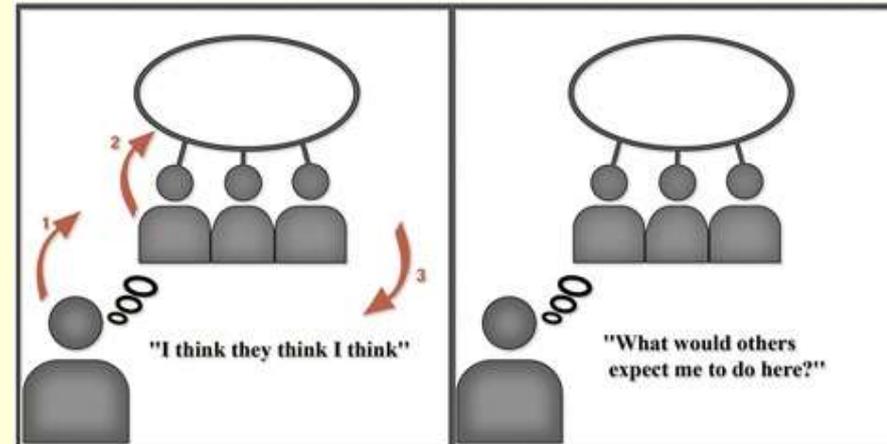
(B)



(B)



→ C'est sur ces **multiples niveaux** où peuvent être sélectionnées nos actions que j'aimerais maintenant élaborer un peu.



**Cultural Affordances: Scaffolding Local Worlds Through Shared Intentionality and Regimes of Attention**  
[Maxwell J. D. Ramstead](#)<sup>1,2,\*</sup>, [Samuel P. L. Veissière](#)<sup>2,3,4,5,\*</sup>  
and [Laurence J. Kirmayer](#)<sup>2,\*</sup> *Front Psychol.* **2016**

# Plan – Décision & Cerveau prédictif

**Simulations mentales**

**Les affordances : des opportunités d'actions**

**La prise de décision rapide (par simulations et compétitions d'affordances)**

**Des décisions prises à de multiples niveaux d'abstraction**

## Exemple de sélection « multi-niveaux » :

- Au plus **haut** niveau, on sélectionne le **but**

Ex.: aller à l'épicerie



- Au niveau le plus **bas**, on sélectionne des **affordances disponibles**

Ex.: sortir de chez soi,



- Et au niveaux **intermédiaires**, on sélectionne des **affordances prédites**

Ex.: localiser l'épicerie,  
trouver la bonne allée  
prendre le lait



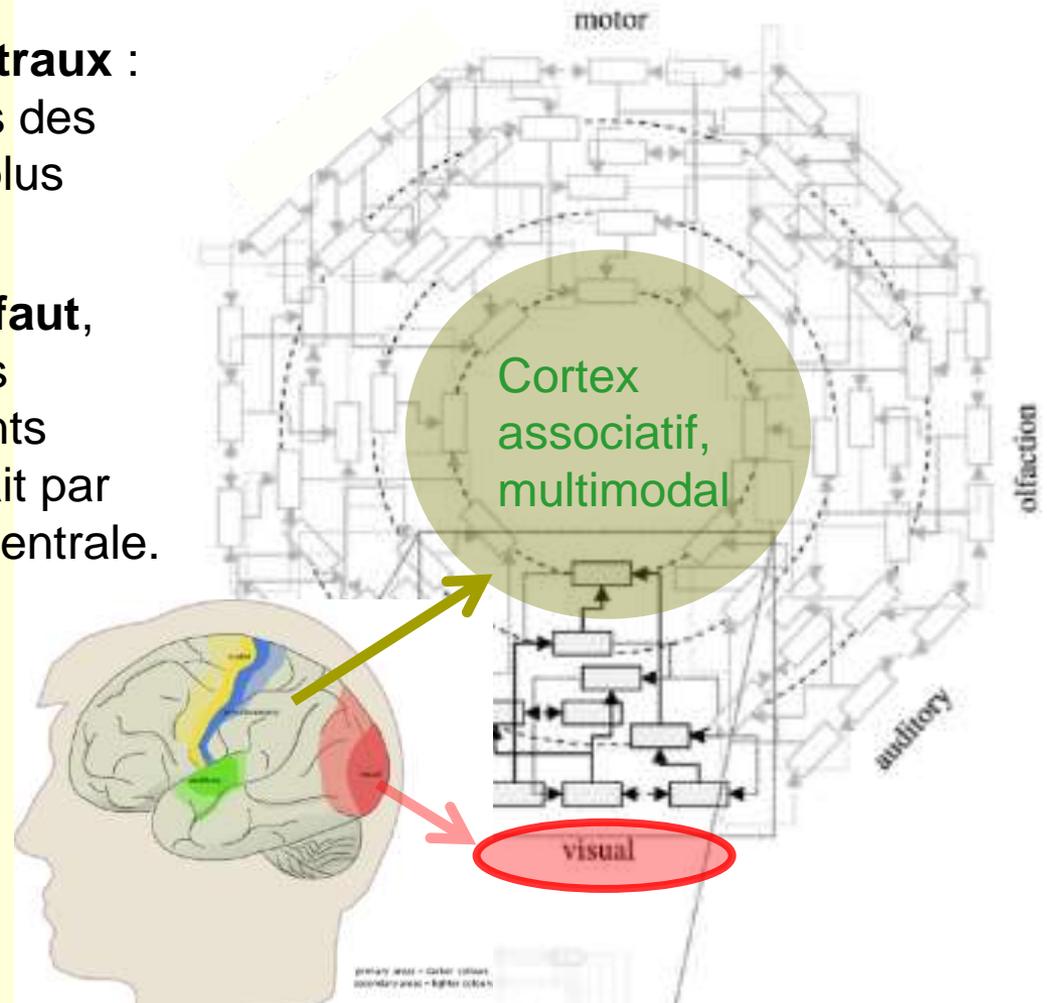
Cerveau : un système complexe comportant de **nombreux niveaux** de traitement qui peuvent être représentés par des **cercles concentriques**.

Les plus **petits cercles centraux** : réseaux plus impliqués dans des processus de haut niveau (plus multimodal).

Le **réseau du mode par défaut**, avec ses nombreuses zones impliquées dans nos différents **cortex associatifs**, se situerait par exemple dans cette région centrale.

→ Et l'on observe un **va-et-vient entre ces multiples niveaux** lors de nos interactions quotidiennes avec le monde.

Les plus **grands cercles périphériques** : plus proches du monde extérieur, donc les aires corticales sensorielles et motrices.



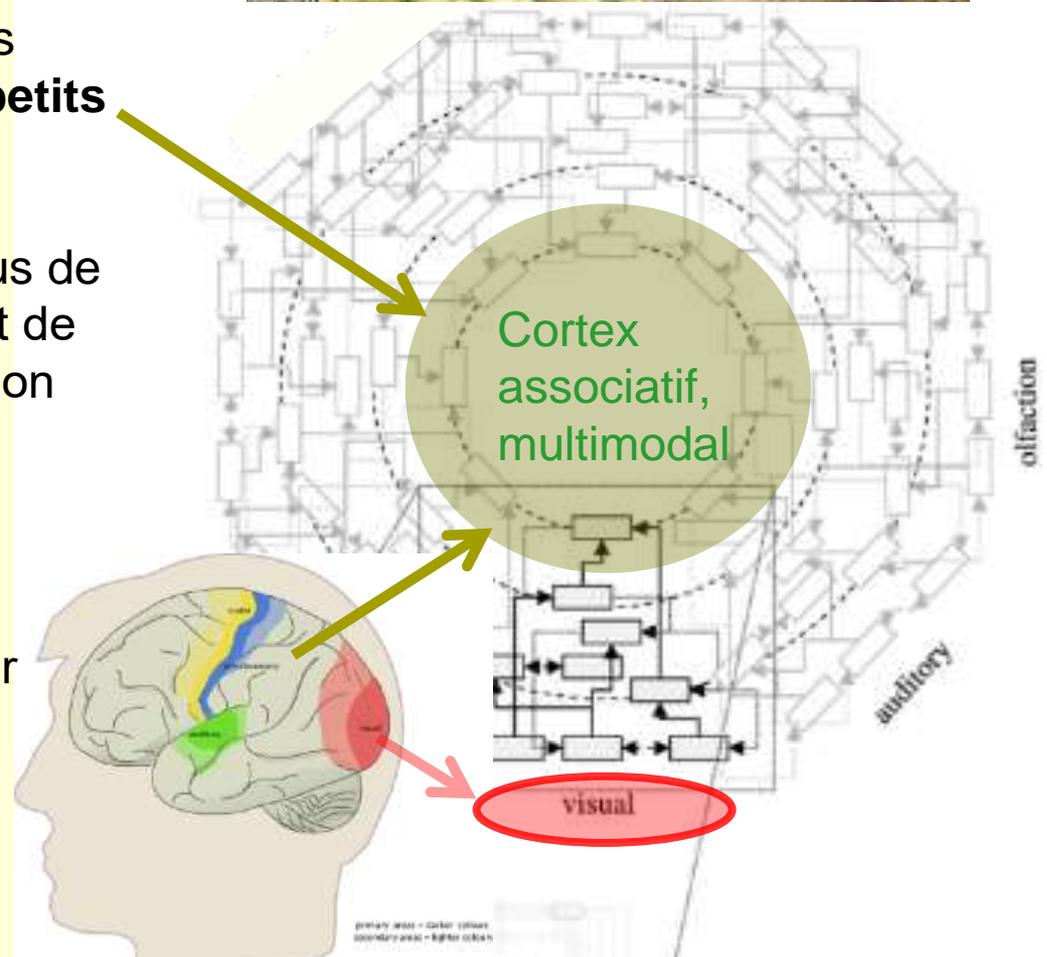
Revenons à notre grimpeur qui **imagine** la meilleure séquence d'affordances pour faire son assension.



Qui dit imagination dit donc aussi processus de **haut niveau**, donc quelque chose qui émanerait des cercles concentriques **les plus petits** de notre schéma.

Il peut donc y avoir des processus de sélection d'affordance qui se font de **manière très « top down »** où l'on sélectionne d'abord un **but** ou un **objectif** général

puis des objectifs plus **locaux** ou **concrets** qui vont s'enchaîner pour atteindre cet objectif général.



Par exemple, un boxeur qui veut frapper un opposant doit souvent d'abord s'approcher de lui pour rendre l'affordance de "frappabilité" disponible.

Mais s'il s'approche trop et devient lui-même vulnérable, il doit reculer pour les mêmes raisons.

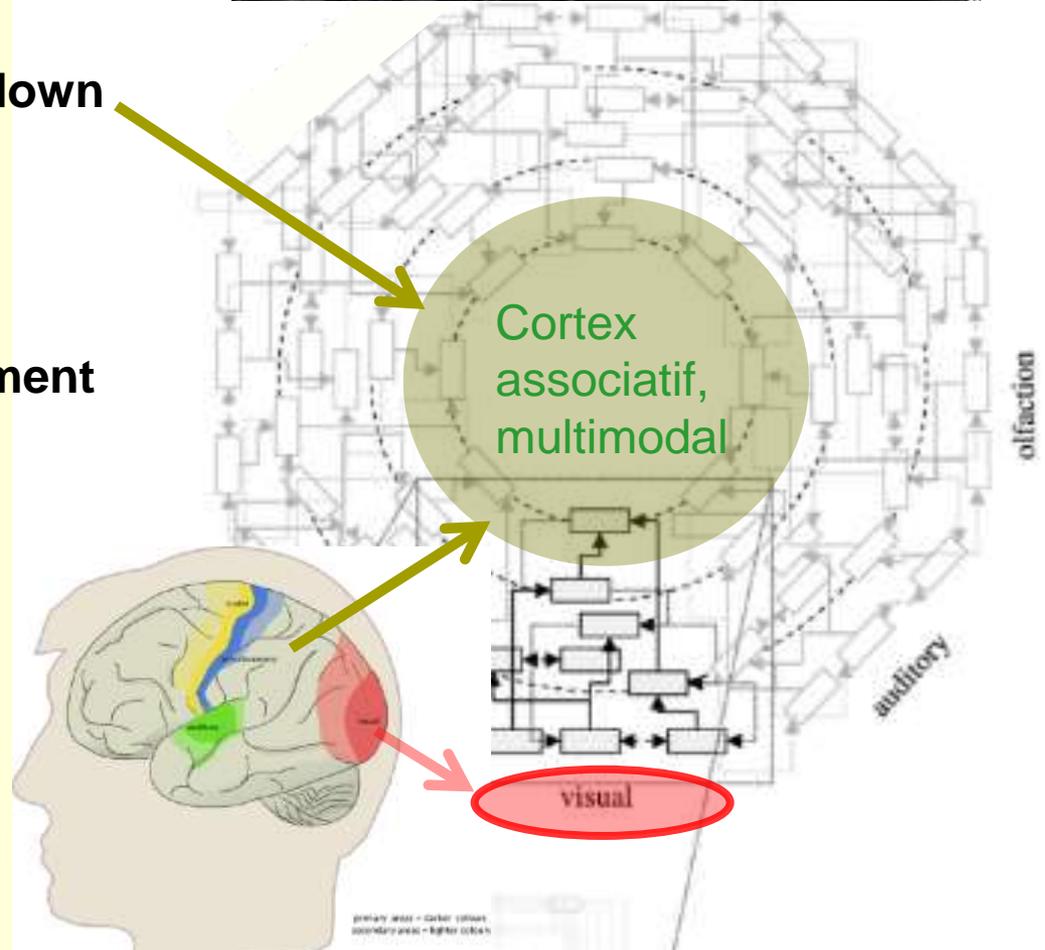




Les couches supérieures qui encodent des **but**s plus abstraits (donner un coup au visage) envoient des **commandes top-down** pour les couches inférieures (maintenir la distance d'un bras avec l'adversaire),

ce qui va **favoriser le surgissement d'affordance** pour les niveaux inférieurs

(une baisse de la garde de l'opposant qui rend momentanément son visage vulnérable, par exemple).



Autrement dit, **les niveaux supérieurs orientent** la compétition aux niveaux inférieurs



mais leur laissent **ultimement une autonomie significative** dans la sélection d'action selon le détail des affordances disponibles.



Car il peut très souvent y avoir **différentes façons** d'actualiser les demandes des niveaux supérieurs.



On est donc dans quelque chose de très **différent de la vision classique** où les niveaux supérieurs spécifient complètement un comportement, incluant les commandes nécessaires aux niveaux inférieurs.

La vision classique où les **représentations symboliques** manipulées par des règles constituant l'essentiel de nos processus cognitifs a fait place à des **représentations « pragmatiques »**.

Et donc on a transformé toute la théorie de la cognition en **une théorie de l'action !**



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



et celle qui découle du tournant pragmatique »

