

## ~~Bloc 1 : le cerveau à tous les niveaux (assises théoriques communes)~~

- ~~— Intro : Notre « cerveau-corps-environnement » et ses niveaux d'organisation~~
- ~~— Perspective évolutive sur l'émergence et la finalité des systèmes nerveux~~
- ~~— Plasticité synaptique~~
- ~~— **Plaisir, drogues et dépendances**~~

~~Rôle de la dopamine et du « faisceau de la récompense »~~

~~Mécanismes généraux de la dépendance aux substances, aux conditionnements opérants (jeux vidéos, cyberdépendances...), à la pornographie, etc.~~

~~Les leçons à tirer de l'expérience « Rat Park »~~

## ~~Bloc 2 : le cerveau à tous les niveaux (remonter les niveaux d'organisation)~~

- ~~— Engramme et consolidation mnésique~~
- ~~— Neuromodulation et synchronisation d'activité oscillatoire des neurones~~
- ~~— Grands réseaux cérébraux~~
- ~~— Cerveau-corps : l'exemple du stress~~
- ~~— Qu'est-ce qui cause un comportement~~

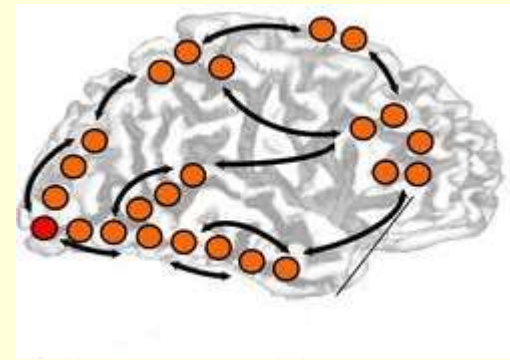
## **Bloc 3 : les « fonctions supérieures »**

- Conscience, langage et inconscient
- L'attention : bottom up versus top down
- Inhibition frontale et autorégulation
- Affordance et prise de décision
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif

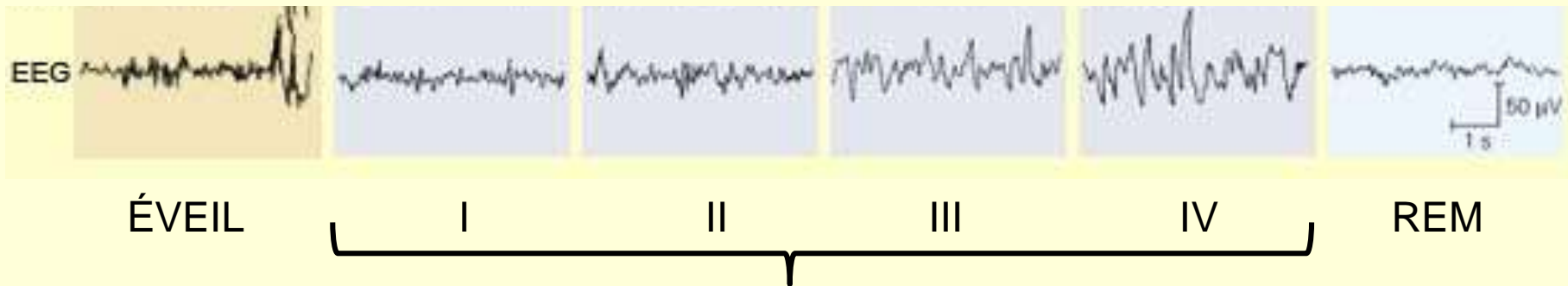
## **Bloc 3 : les « fonctions supérieures »**

- **Conscience, langage et inconscient**
- L'attention : bottom up versus top down
- Inhibition frontale et autorégulation
- Affordance et prise de décision
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif

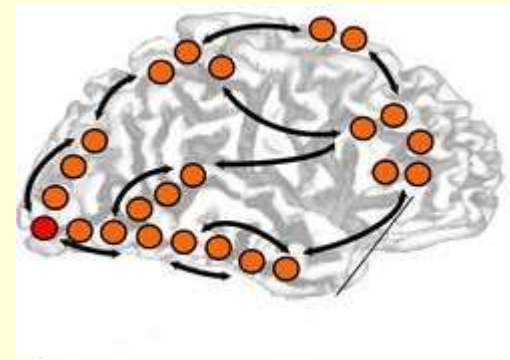
Qu'est-ce que la conscience ?



- Pour certains, être conscient, c'est être **éveillé**, par opposition aux situations où la conscience disparaît (sommeil, coma, anesthésie).



Qu'est-ce que la conscience ?

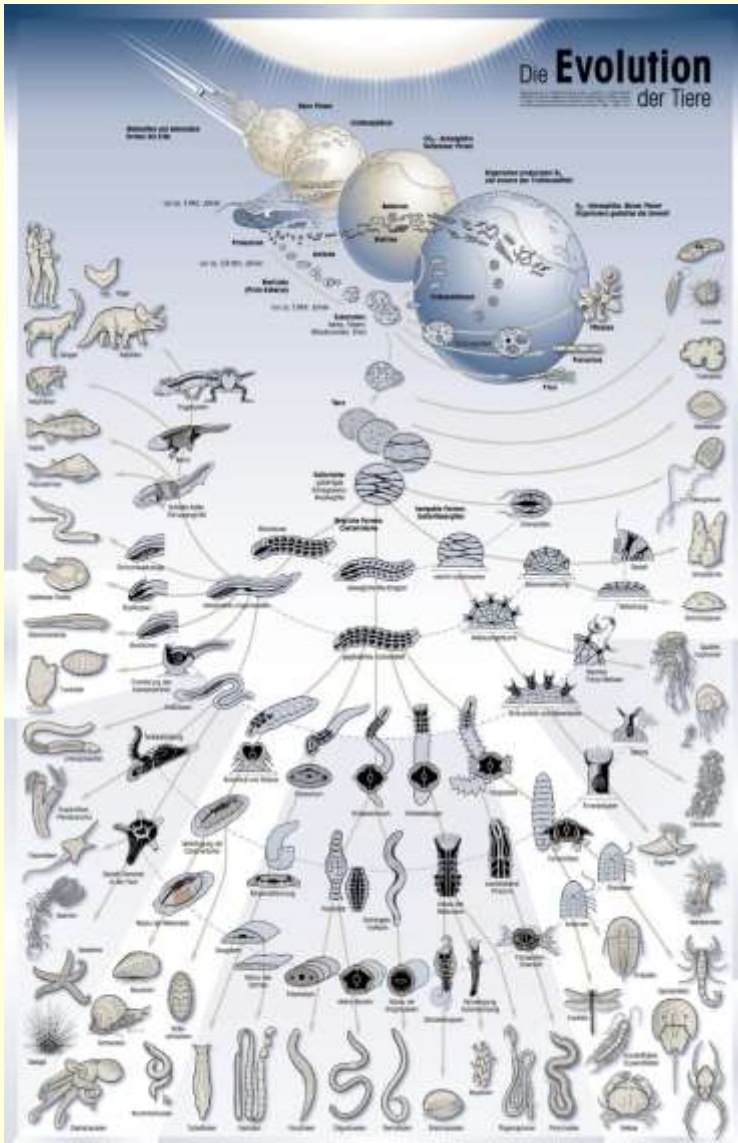


- Pour certains, être conscient, c'est être **éveillé**, par opposition aux situations où la conscience disparaît (sommeil, coma, anesthésie).
- Pour d'autres, c'est avoir **accès** à ses pensées et au monde environnant.
- Pour d'autres encore, c'est la **conscience de soi**, sa capacité à se représenter en tant qu'individu ici et maintenant.

**École des profs de psycho, bio et philo du cégep Montmorency (5 février 2019)**

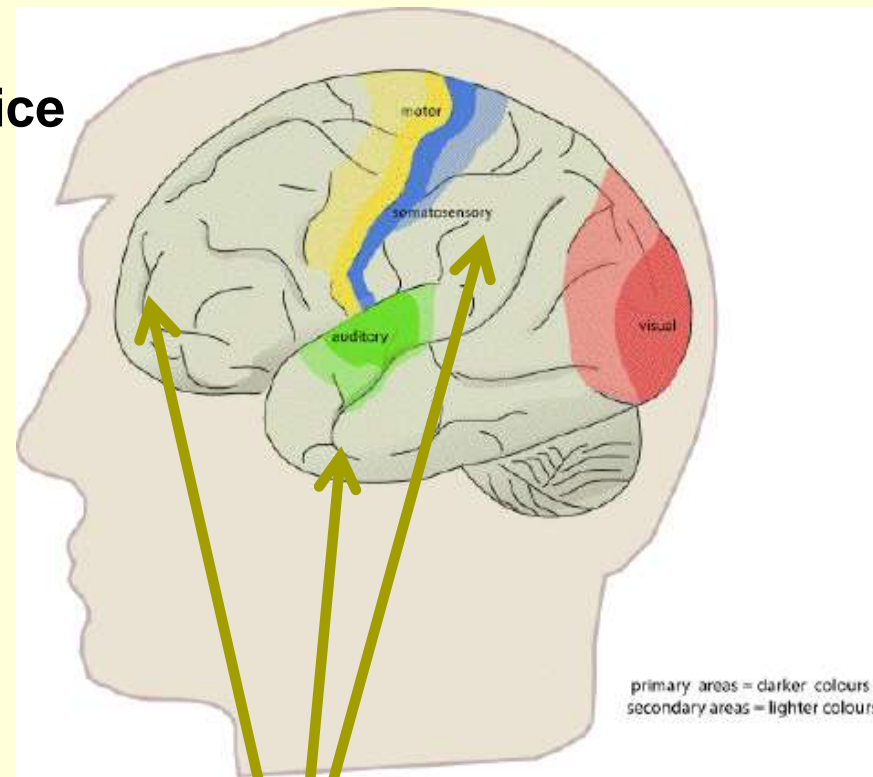
Différentes conceptions de la conscience, de l'inconscient, de la prise de décision, du libre arbitre et du cerveau prédictif

On a vu que pendant des centaines de millions d'années, la **boucle sensorimotrice** des animaux s'est complexifiée...



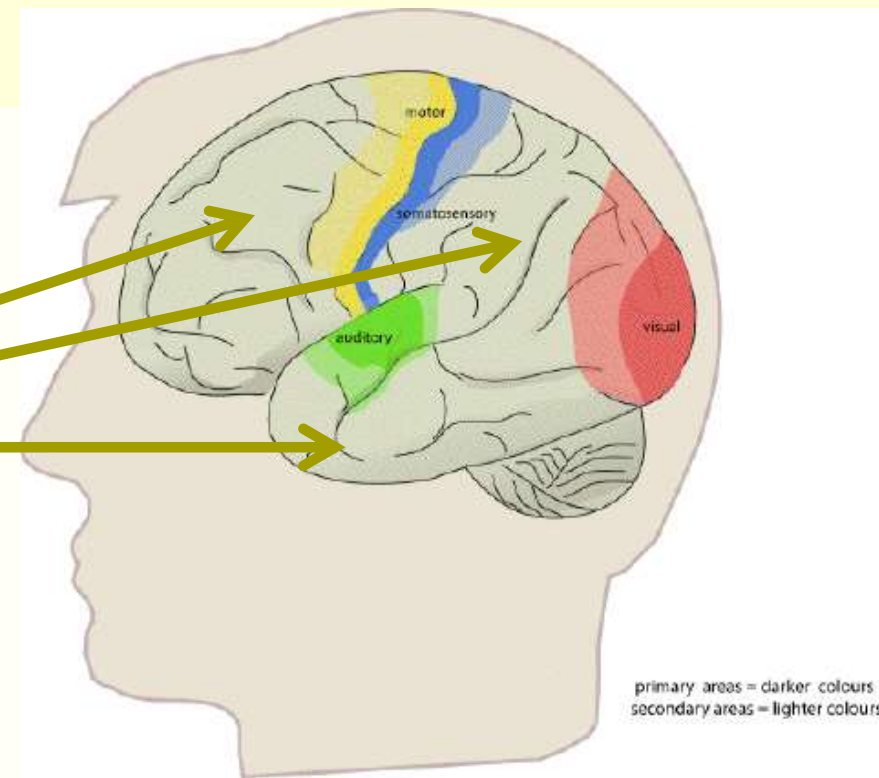
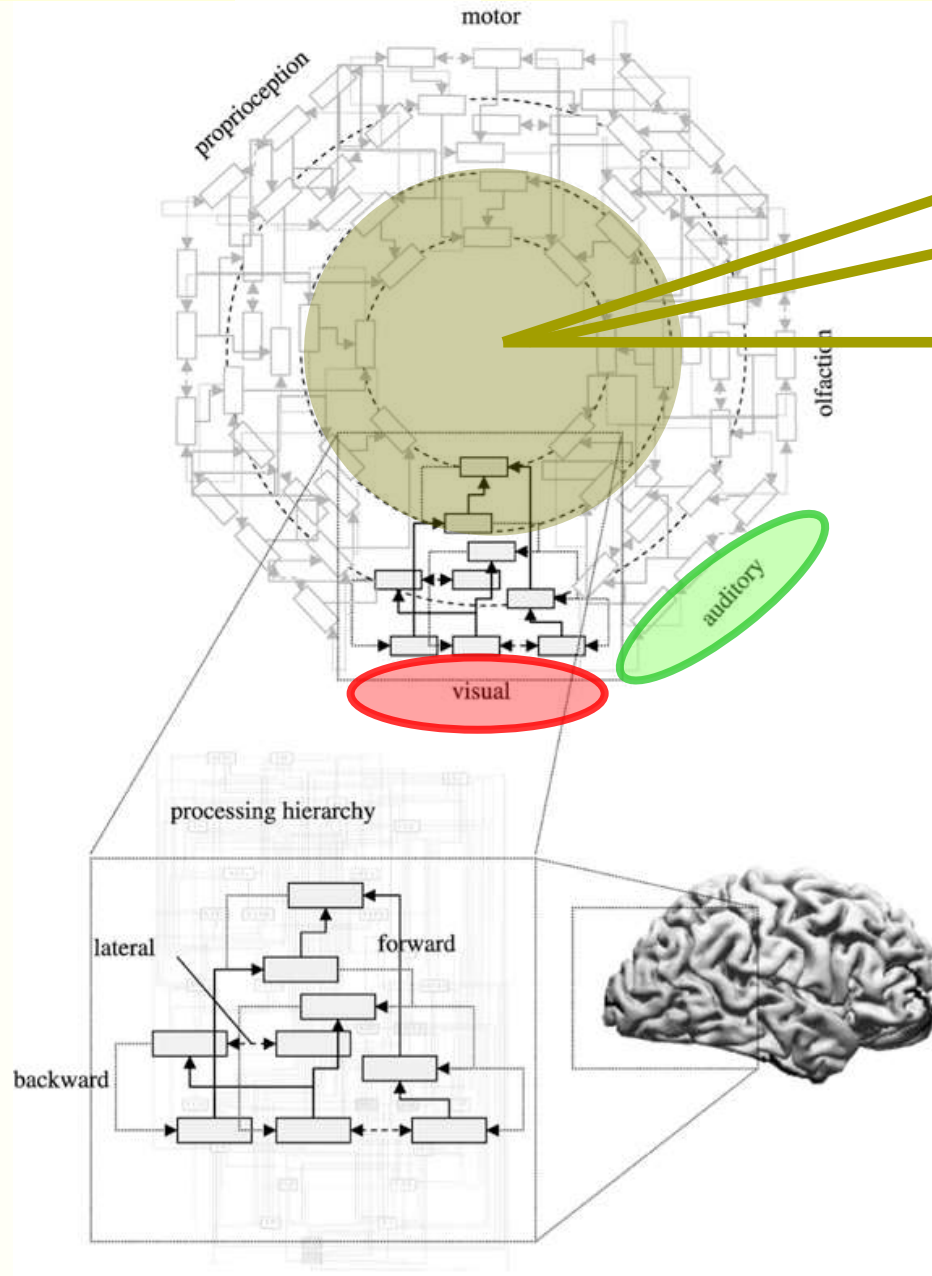
On a vu que pendant des centaines de millions d'années, la **boucle sensorimotrice** des animaux s'est complexifiée...

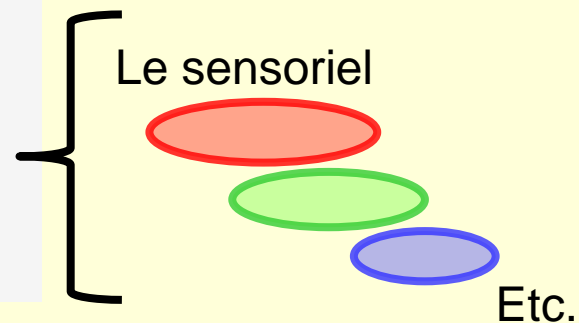
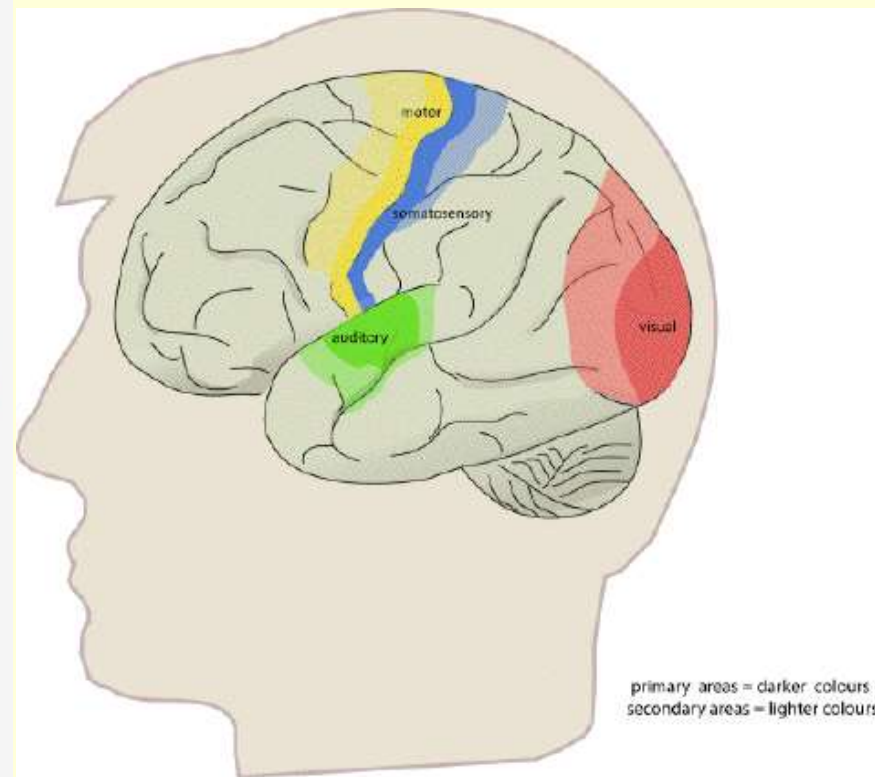
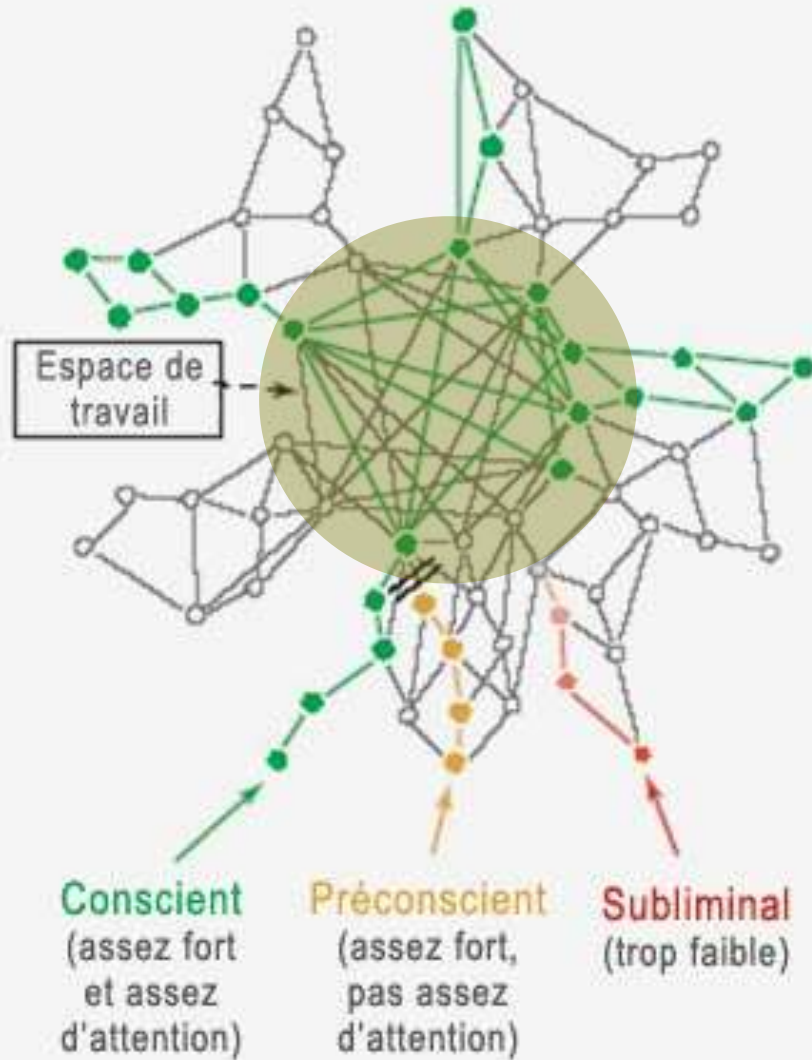
Et le cerveau humain est encore construit sur cette **boucle perception – action**,



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

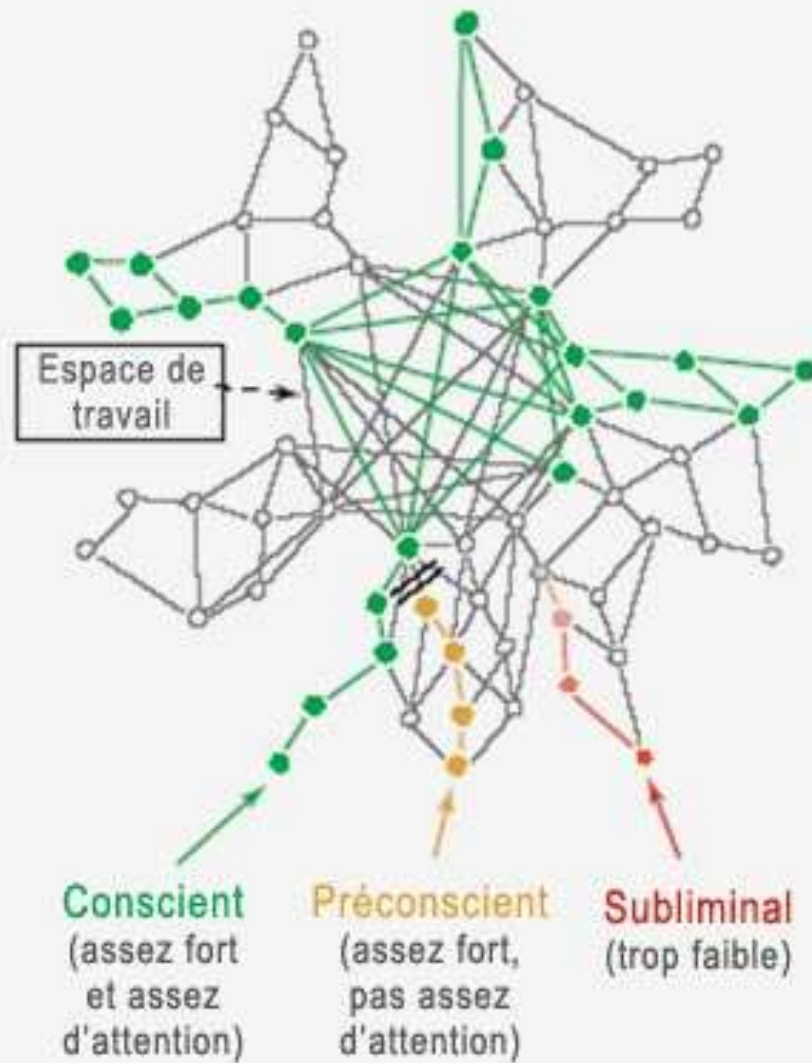
# Autre façon de représenter le cortex :



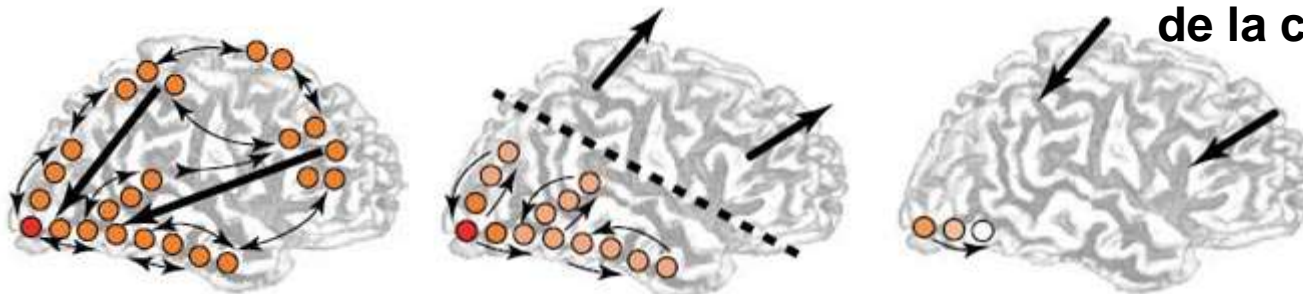


## La perception consciente et les niveaux de conscience





- un premier niveau de traitement **subliminal** où l'activation de bas en haut n'est **pas suffisante** pour déclencher un état d'activation à grande échelle dans le réseau;
- un second niveau **préconscient** qui possède suffisamment d'activation pour accéder à la conscience mais est temporairement mis en veilleuse par **manque d'attention de haut en bas**;
- un troisième niveau **conscient**, qui envahit l'espace de travail global lorsqu'un stimulus préconscient reçoit suffisamment d'attention pour **franchir le seuil de la conscience**.

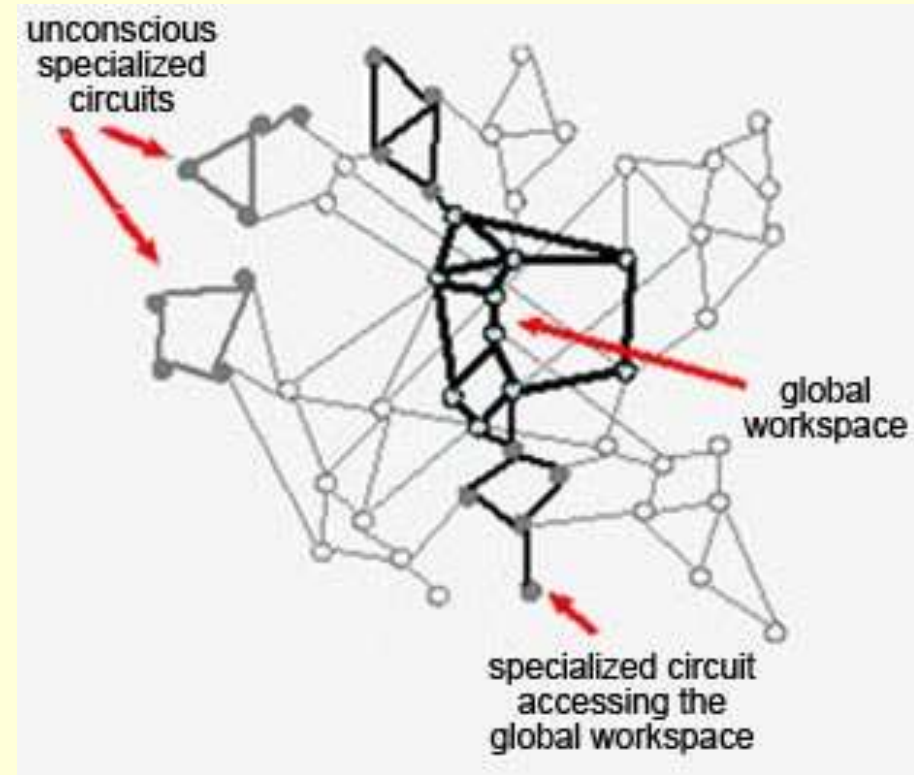
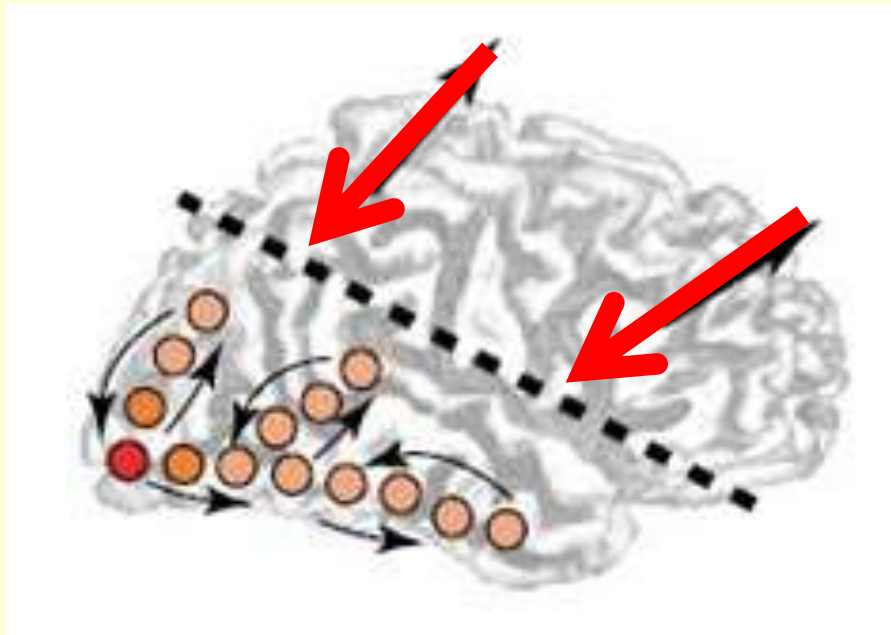


Que le mot soit perçu ou pas, les 275 premières millisecondes (ms) sont identiques : seul le **cortex visuel** est activé. Cela correspond bien au traitement modulaire bien connu du cortex visuel.

Mais par la suite, quand le mot est vu consciemment, l'activation est largement amplifiée et réverbérée d'abord à travers le **cortex frontal** (dès 275 ms), ensuite **préfrontal** (dès 300 ms), **cingulaire antérieur** (dès 430 ms) et finalement **pariétal** (dès 575 ms).

Mais lorsque le mot n'est pas vu consciemment, l'activation demeure localisée dans le **cortex visuel** et s'éteint progressivement jusqu'à ce que toute activité cesse à partir de 300 ms.

Peut-on avoir accès aux processus ou aux éléments préconscients (ou inconscients) ?



Nisbett, Richard, & Wilson, Timothy. (1977).  
**Telling more than we can know:  
Verbal reports on mental processes.**  
*Psychological Review*, 84, 231-259.

<http://people.virginia.edu/~tdw/nisbett&wilson.pdf>



On demande à des gens de **mémoriser des paires de mots**. Table-chaise, fenêtre-porte, pain-beurre, etc. Pour certaines personnes, il y a une paire de mot bien particulière... la paire **océan-lune**.

**On leur demande ensuite quelle est votre marque de poudre à lessiver préférée?** Les personnes du groupe qui a dû retenir la paire de mots *océan-lune* choisissent beaucoup plus **la poudre à lessiver Tide**.

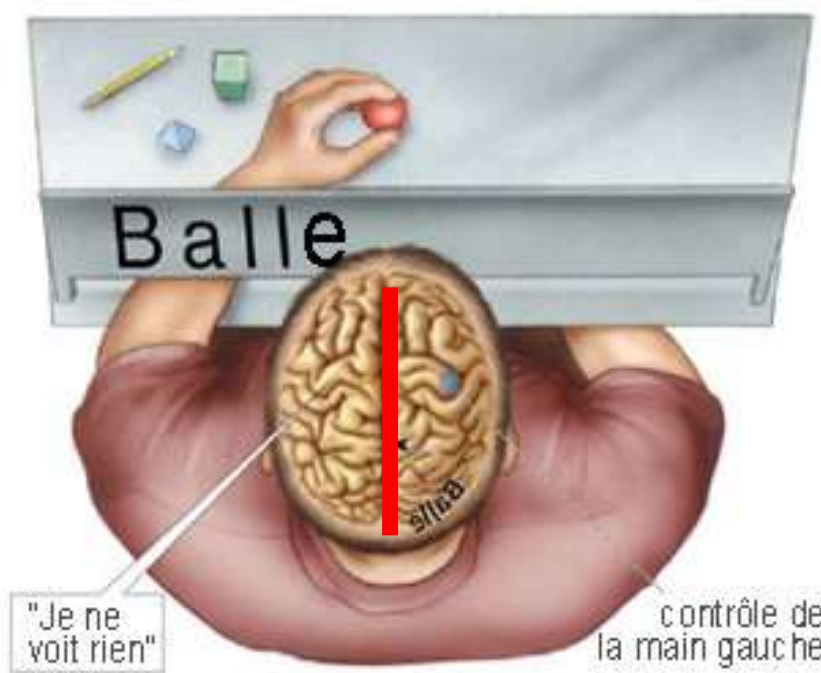
L'expérience se déroule en anglais, et notez qu'en anglais, Tide veut dire **marée**... phénomène physique bien connu lié à l'interaction entre la lune et l'océan.... notre paire de mots mémorisée.

On demande ensuite aux gens **pourquoi avez-vous choisi la poudre Tide**. Ils sont incapable de faire le lien avec la paire de mots et font plutôt référence au fait que la boîte est jolie et que sa couleur attire l'attention, ou au fait que leur maman utilisait cette poudre quand ils étaient petits.

**Bref**, nous sommes très peu capables de faire le lien entre une cause et sa conséquence dès lors qu'il s'agit d'influences subtiles, mais nous avons par contre **toujours une explication valide ou probable ou plausible à avancer**.

Cela rejoint d'autres expériences, dont celle avec les sujets à **cerveau divisé** (« split-brain »)...

# Patients épileptiques au « cerveau divisé » (« split brain », en anglais)

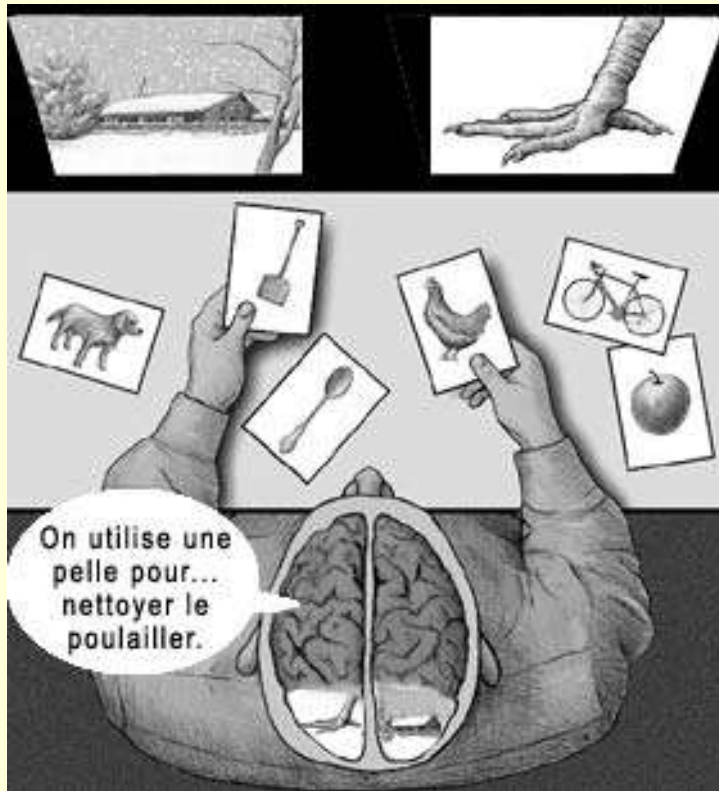


Michael Gazzaniga  
dans les années 1960



On utilise une  
pelle pour...  
nettoyer le  
poulailler.

L'hémisphère gauche va **rationaliser** ou **réinterpréter** la séquence d'événements de manière à rétablir une impression de **cohérence** au comportement du patient.



...dans le cortex frontal gauche non seulement des patients au cerveau divisé mais chez **tous les êtres humains**

Expliquerait à quel point notre **cerveau est prompt à fournir des justifications langagières** pour expliquer nos comportements.



## *L'analogie, cœur de la pensée* p.145

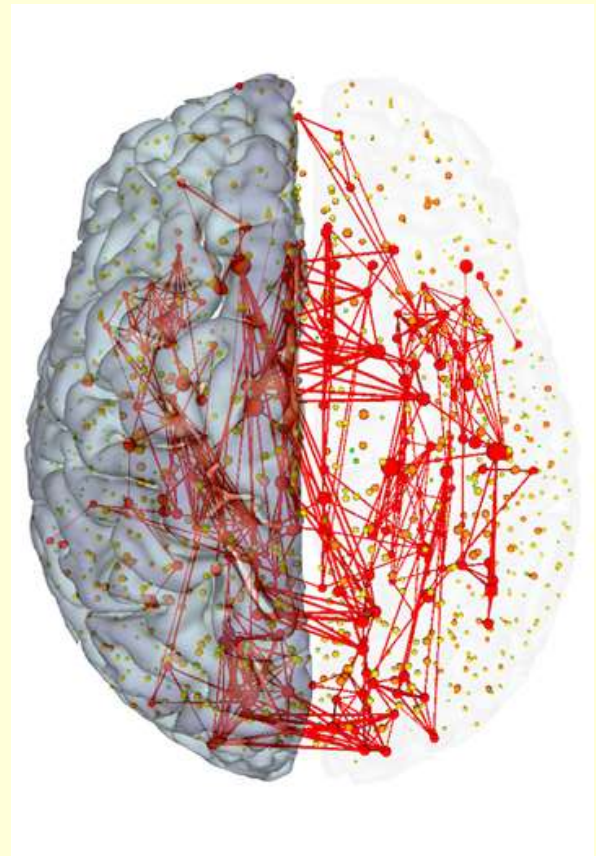
Une situation « sour grapes » :

Paul arrive en retard au resto qu'on lui avait chaudement recommandé et où il avait réservé. Sa table a été donnée à quelqu'un d'autre. Il dit à sa copine : « ce quartier regorge de restos sympas, c'est bien plus romantique d'en découvrir un ensemble ! »

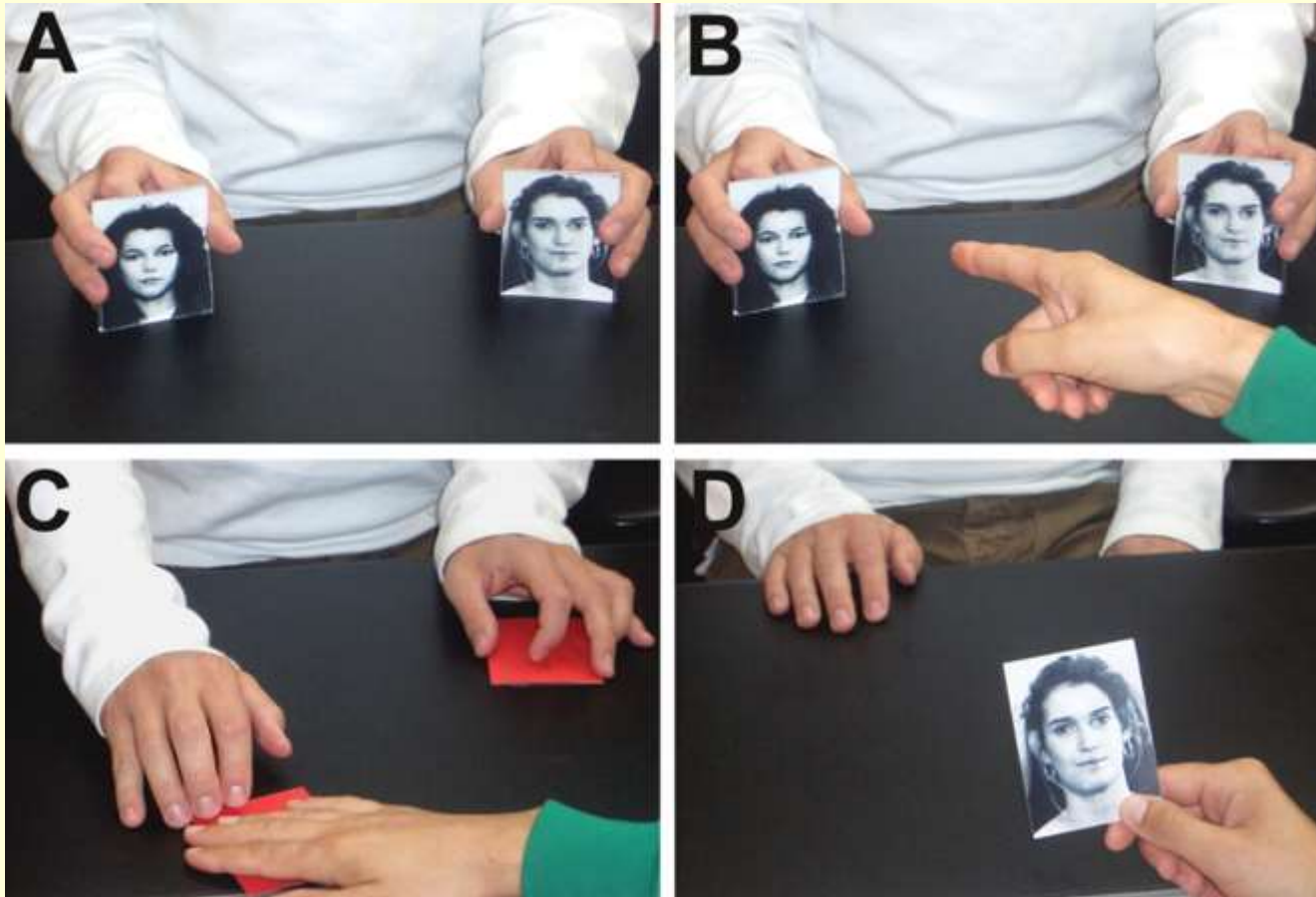
Plus tard, il ne reste plus du plat qu'il voulait à l'autre resto. « Pas grave, justement il faut que je perde des calories ! » Et il commande un truc léger qu'il n'aurait jamais pris sinon...

Ce genre de situation « ...contient les germes de la notion de réduction de la **dissonance cognitive** et, plus généralement, des cas de **rationalisation**, c'est-à-dire des cas où une justification plus ou moins tirée par les cheveux est élaborée a posteriori en vue de restaurer l'état d'équilibre du système cognitif. »

BLA! BLA-BLA!



**Failure to detect mismatches between intention and outcome in a simple decision task.** Johansson, P., Hall, L., Sikström, S., & Olsson, A. (2005).



“We call this effect **choice blindness.** “  
(nommée après les deux autres)

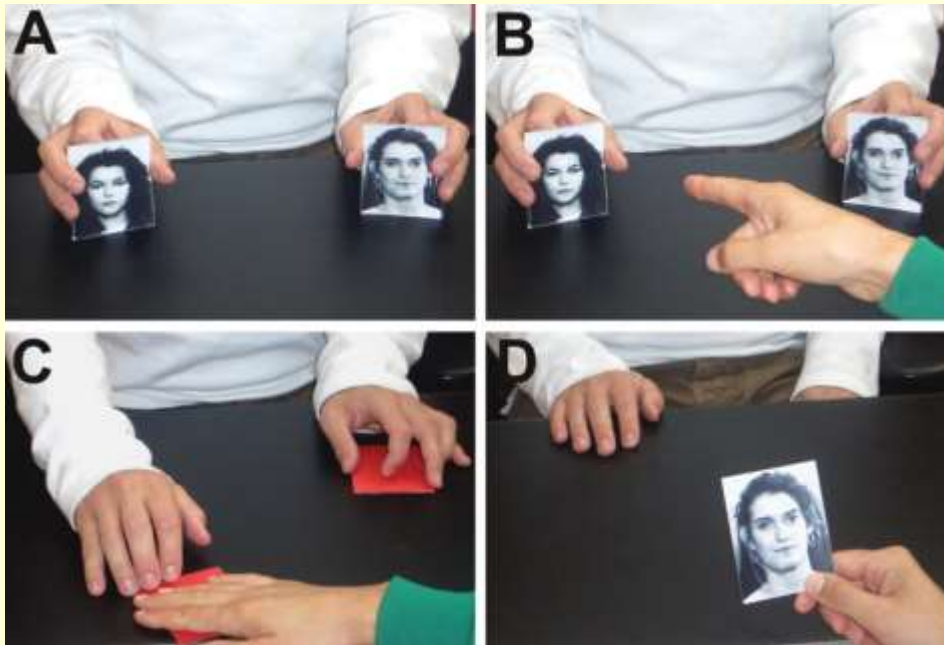
Les auteurs concluent qu'on ne semble pas avoir un accès conscient aux raisons derrière nos choix. **On les rationalise plutôt a posteriori.**

Sauf que...

# A gap in Nisbett and Wilson's findings? A first-person access to our cognitive processes.

Petitmengin C., Remillieux A., Cahour C., Carter-Thomas S. (2013).

[http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/94/04/22/PDF/A\\_first-person\\_access.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/94/04/22/PDF/A_first-person_access.pdf)



Les auteurs de cette étude ont repris le protocole de Johansson, mais en introduisant pour certains choix une personne qui aidait le sujet à rendre plus explicite les motivations de ses choix.

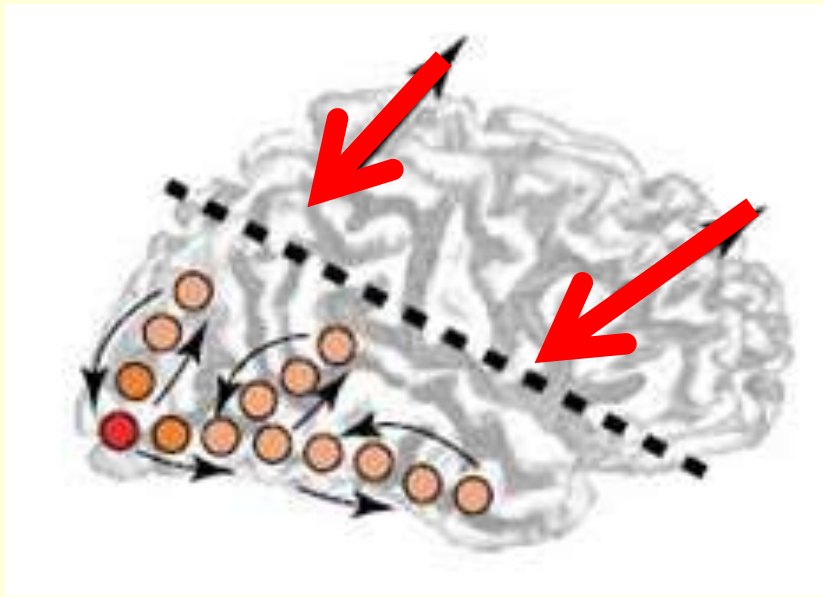
**80% des sujets ainsi assistés détectaient la manipulation !**

Les auteurs concluent que si nous sommes habituellement inconscients de nos processus décisionnels, on pourrait y accéder par certaines démarches introspectives.

## Thèse de Krystèle Appourchaux (2012):

« Varela et Shear parlent ainsi de « phénomènes subpersonnels ou non conscients », qui ne sont pas ordinairement présents à la conscience, mais qui peuvent néanmoins être accessibles grâce aux méthodes que nous venons de décrire.

Ils dénoncent « le préjugé naïf selon lequel la ligne de démarcation entre ce qui est strictement subpersonnel et ce qui est conscient est fixe », puisque des techniques de conversion de l'attention et d'explicitation font reculer le seuil entre ce qui parvient à la conscience et ce qui reste de l'ordre du « pré-réfléchi ». »

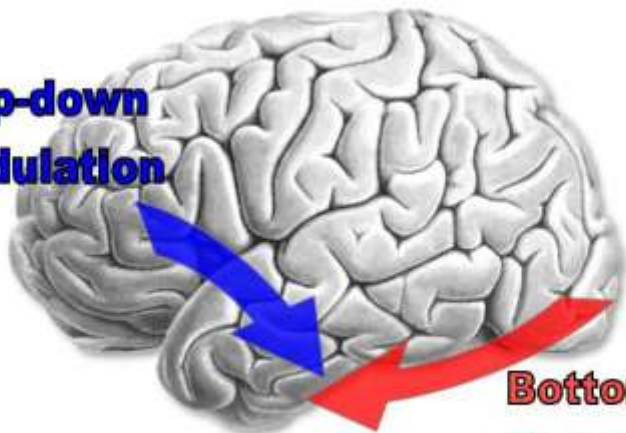


## Bloc 3 : les « fonctions supérieures »

- Conscience, langage et inconscient
- L'attention : bottom up versus top down
- Inhibition frontale et autorégulation
- Affordance et prise de décision
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif



**Top-down  
modulation**



**Bottom-up  
processing**



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



On a l'habitude d'y inclure des processus généraux comme :

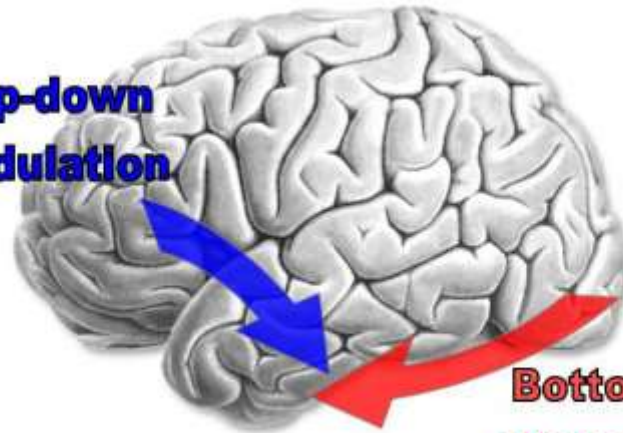
- la mémoire de travail
- le contrôle inhibiteur
- la flexibilité cognitive

À partir desquels d'autres « fonctions exécutives » **de plus haut niveau** se construisent (planification, raisonnement, résolution de problèmes, élaboration de stratégies, etc.)





**Top-down  
modulation**



**Bottom-up  
processing**

(à une époque plus « calme et frugale », la recherche de nouvelles **ressources prometteuses** a été un mécanisme adaptatif fondamental de notre cerveau qui demeure donc très sensible au « bottom up »)

Des « fonctions exécutives » comme l'**attention** peuvent être sollicitées pour **contrer** des stimuli « **bottom up** » **trop intrusifs...**

## Maîtres et esclaves de notre attention

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/11/2463/>

Lachaux rappelle que nous vivons dans un monde riche et chaotique que notre cerveau **ne peut pas appréhender dans sa globalité**.

Il n'a donc pas le choix de **sélectionner** à tout moment certains aspects de son environnement.



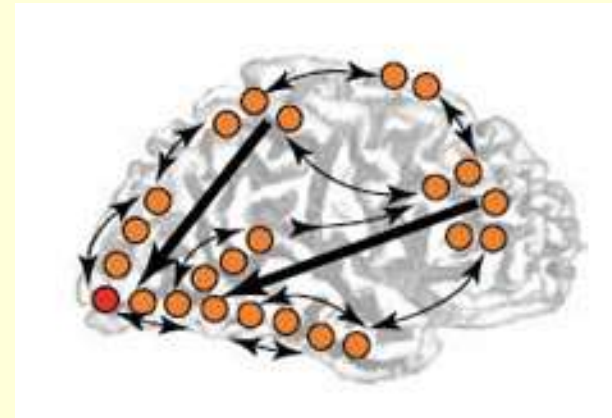
Cécité au changement

[http://gocognitive.net/sites/default/files/change\\_blindness.v.0.93\\_0.swf](http://gocognitive.net/sites/default/files/change_blindness.v.0.93_0.swf)

<http://www.cs.ubc.ca/~rensink/flicker/download/Dinner.mov>

Le contrôle du « haut vers le bas » (ou « **top down** ») constitue aussi un formidable filtre qui nous empêche d'être distrait par d'autres stimuli que ceux qui concerne la tâche à effectuer.

Au point de nous rendre « **aveugles** » à des choses qui peuvent être assez surprenantes...



## La « cécité attentionnelle »

Daniel Simons explique que dans la vie de tous les jours, on passe notre temps à manquer des éléments présents dans notre champ de vision.

Ce qui nous rend si confiants en nos sens, c'est justement que nous **n'avons pas conscience de tout ce que nous ne remarquons pas** .

On assume donc bien naïvement que l'on perçoit toujours tout.

La version « 2.0 »

[http://www.youtube.com/watch?v=IGQmdoK\\_ZfY&feature=relmfu](http://www.youtube.com/watch?v=IGQmdoK_ZfY&feature=relmfu)

Hahaha...

<http://www.youtube.com/watch?v=z9aUseqgCiY>

Clues

<http://www.youtube.com/watch?v=ubNF9QNEQLA>

Person swap (Building on the work of Daniel Simons' original "[Door Study](#),")

<http://www.whatispsychology.biz/perception-change-blindness-video>



## Limites de l'attention :

On ne peut pas réaliser deux tâches véritablement en même temps (à part bien sûr les comportements devenus automatiques...)

« **multitasking** » → on peut apprendre à alterner rapidement entre **deux** tâches (mais si on introduit une 3<sup>e</sup> tâches, les performances chutent...)

### **Le mythe du cerveau multitâche**

Émilie Auvrouin (2010)

[http://www.pourlascience.fr/ewb\\_pages/a/actu-le-mythe-du-cerveau-multitache-24989.php](http://www.pourlascience.fr/ewb_pages/a/actu-le-mythe-du-cerveau-multitache-24989.php)

Donc en résumé, lorsque nous sommes engagés dans une tâche donnée, les stimuli non-pertinents peuvent devenir littéralement **invisibles**.

Et s'ils restent visibles, leur traitement est massivement différé, voir écarté. (Notion de « goulot d'étranglement central »)

## Conséquences pour l'éducation :

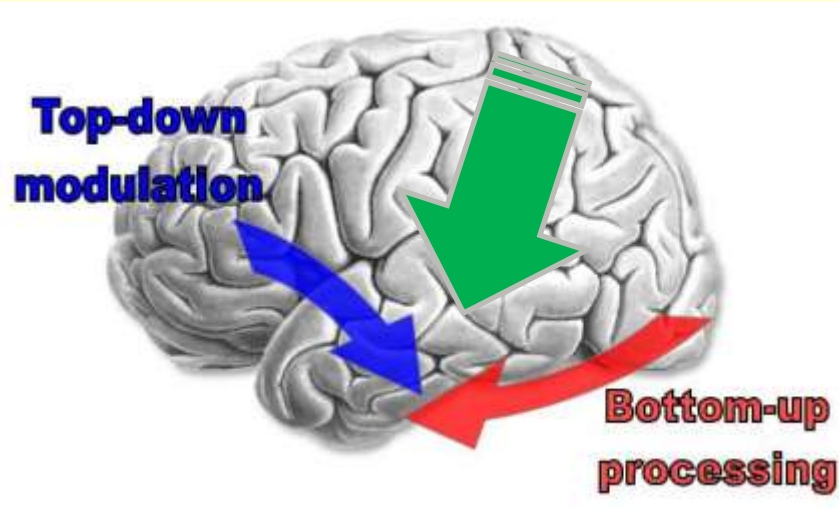
Peut-être le plus grand talent pour un enseignant consiste à **canaliser et captiver**, à chaque instant, **l'attention de l'enfant**.

L'enseignant doit créer des matériaux **attrayants** mais qui ne distraient pas l'enfant de sa tâche primaire.

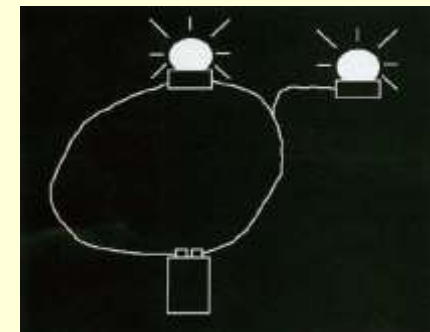
Prendre garde à ne pas créer de « doubles tâches », notamment pour les enfants en difficulté (où la première (ex.: formulation trop détaillée d'une question) distrait l'enfant de la seconde...).

## **Bloc 3 : les « fonctions supérieures »**

- Conscience, langage et inconscient
- L'attention : bottom up versus top down
- **Inhibition frontale et autorégulation**
- Affordance et prise de décision
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif



**Inhibition** : mécanismes qui permettent la **suppression** des cognitions et des actions **inappropriées**...



innées....

ou acquises....

ainsi que la **résistance aux interférences de l'information non-pertinente**.



# Exemple

Lorsque l'on demande à des personnes d'écrire « **je les porte** » alors qu'elles sont en situation d'interférences (perturbées dans leur concentration), même celles qui ont un très bon niveau de français écrivent « je les portes ».

Leur cerveau applique l'automatisme « les = pluriel = s ».

Pour donner la bonne réponse, il doit mettre en oeuvre un **mécanisme d'inhibition court-circuitant l'automatisme.**

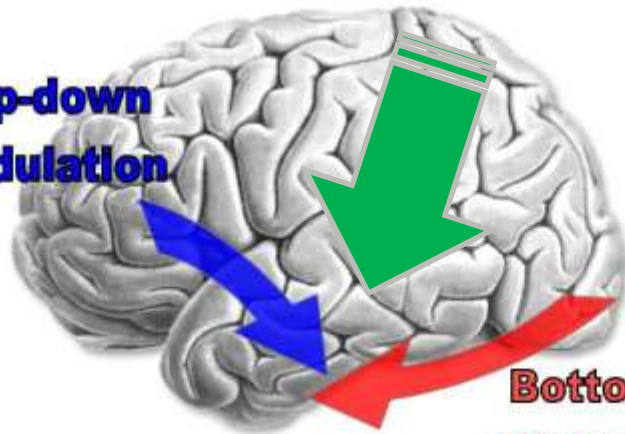
[Science et Vie Hors série #278, Mars **2017**, p.30]

Cela dit...

→ La **révision** quotidienne, en rendant **automatique** le rappel des notions apprises, est utile car elle **diminue la mémoire de travail requise** qui se trouve alors davantage disponible pour d'autres tâches (pour la résolution de problème ou la créativité, par exemple).

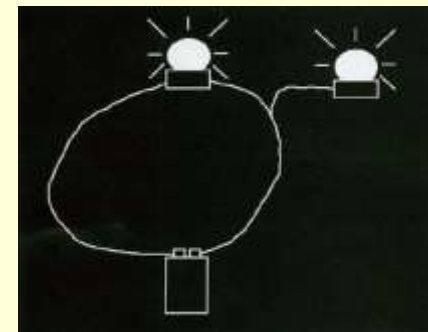


**Top-down  
modulation**



**Bottom-up  
processing**

**Inhibition** : mécanismes qui permettent la **suppression** des cognitions et des actions **inappropriées**...



ainsi que la **résistance** aux interférences de l'information non-pertinente.

Elle est aussi liée à la **compétence sociale** et la **régulation émotionnelle**.

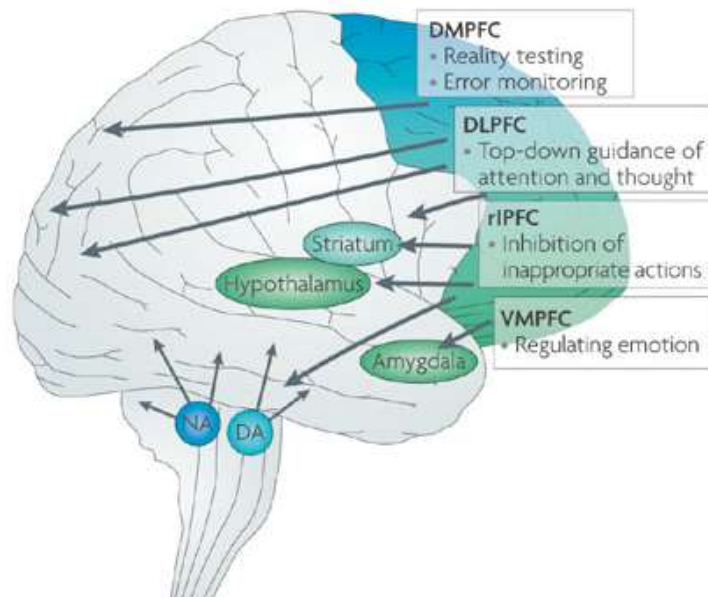
# Le contrôle inhibiteur



## Le test du Chamallow

<https://www.youtube.com/watch?v=QEQLSJ0zcpQ>

a Prefrontal regulation during alert, non-stress conditions

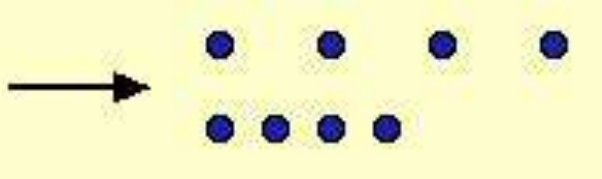


apprendre  
à résister  
olivier houdé





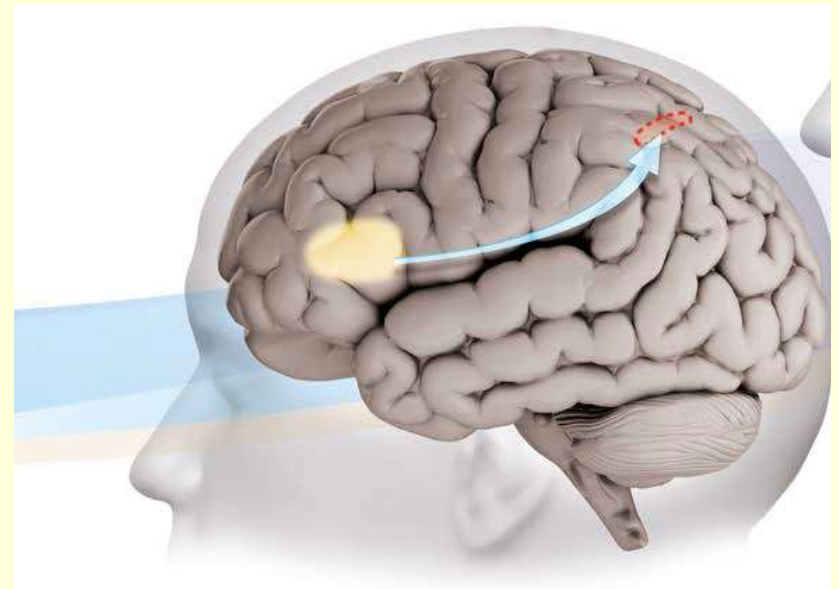
Ce que l'équipe de Houdé a mis en évidence, c'est que vers l'âge de 6-7 ans, ou avec l'aide d'un parent avant, **l'enfant parvient à mettre entre parenthèses sa croyance spontanée** pour examiner la situation au moyen de ses outils logiques.



À ce moment, on observe une activation au niveau du cortex **cortex préfrontal inférieur**.

Or on sait que les neurones de cette régions projettent leur axone vers d'autres zones du cerveau impliquées dans ces automatismes de pensée

(le **sillon intrapariétal latéral**, par exemple).

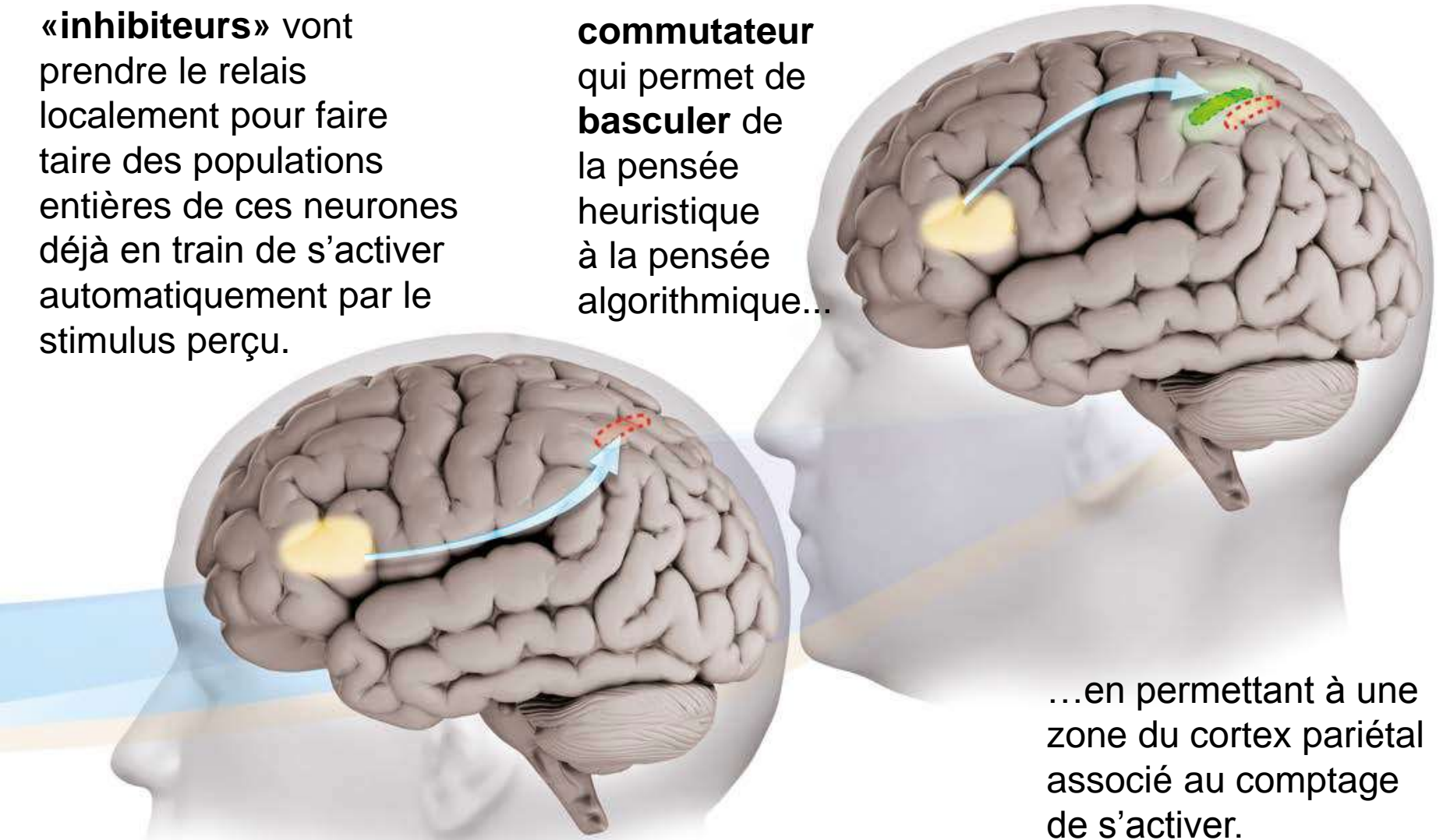


Dans ces zones, d'autres **neurones dits «inhibiteurs»** vont prendre le relais localement pour faire taire des populations entières de ces neurones déjà en train de s'activer automatiquement par le stimulus perçu.

Ce cortex préfrontal inférieur constitue donc une sorte de **commutateur** qui permet de **basculer** de la pensée heuristique à la pensée algorithmique...

...en permettant à une zone du cortex pariétal associé au comptage de s'activer.

Bref, le **cortex préfrontal inférieur permet de bloquer les automatismes mentaux** pour activer une pensée discursive et logique.



# Les trois systèmes cognitifs

## Système heuristique

Pensée «automatique»  
et intuitive

Fiabilité  Rapidité 



1

Anatomiquement, le système inhibiteur est la région du cerveau qui se développe le plus **tardivement** et le plus **lentement**.

Le système heuristique et celui algorithmique **coexistent très tôt**, sans doute dès le début du développement, c'est-à-dire dans les premiers mois de la vie.

## Système d'inhibition

Interrompt le système heuristique pour activer celui des algorithmes

→ *Fonction d'arbitrage*

3

## Système algorithmique

Pensée réfléchie  
«logico-mathématique»

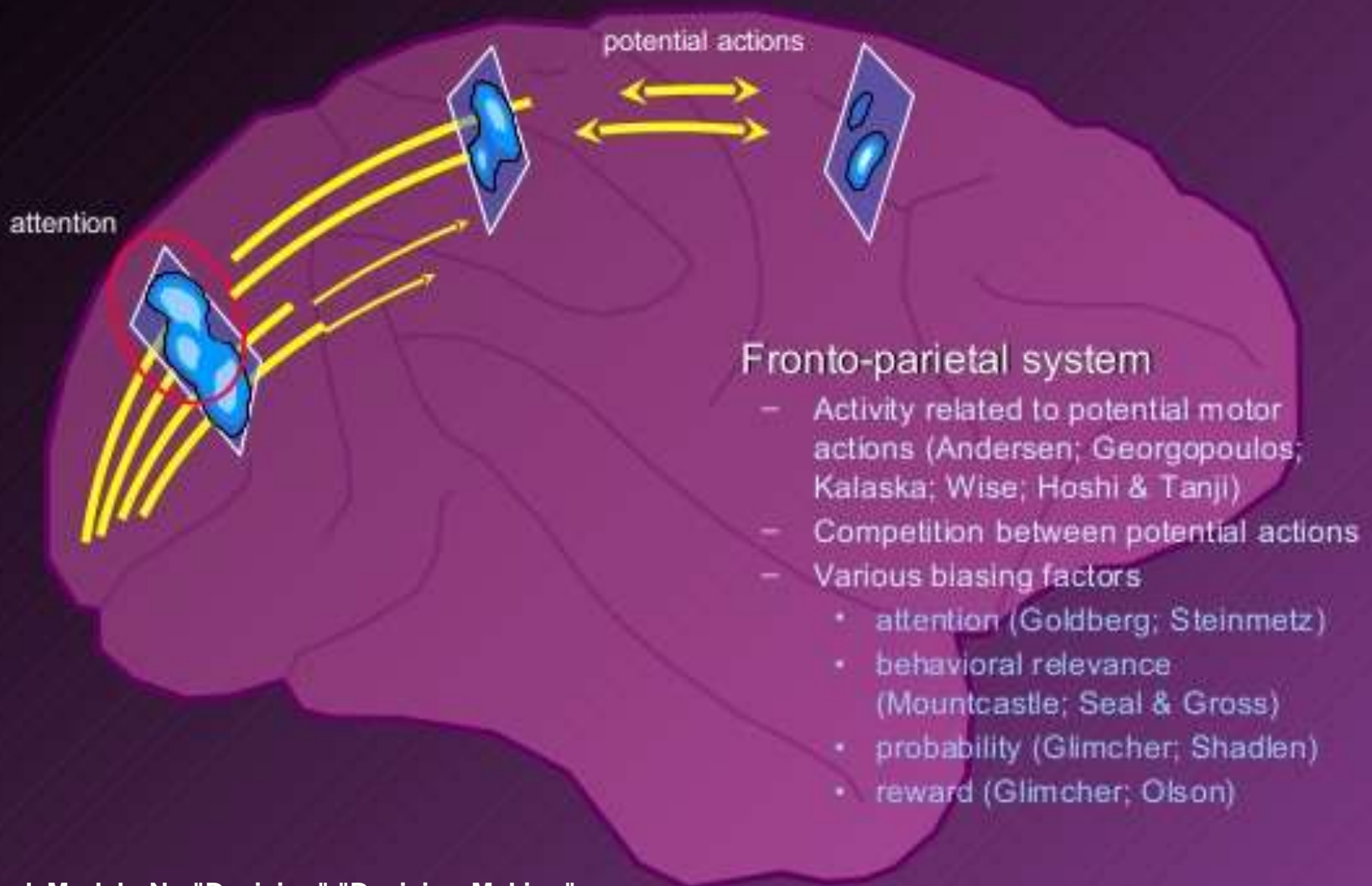
Fiabilité  Rapidité 



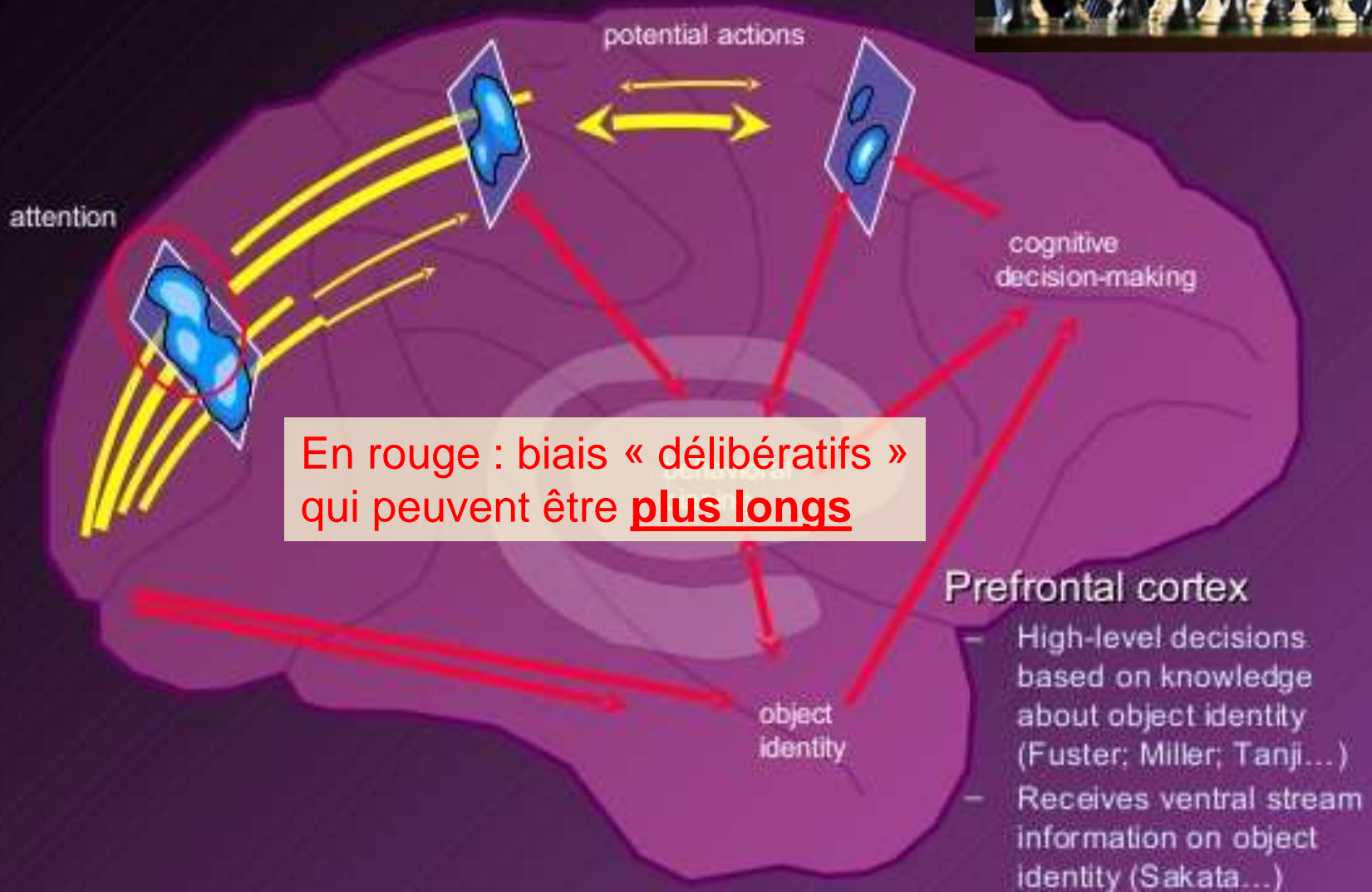
2

La maturation du cortex préfrontal commence seulement **à partir de 12 mois** et elle dure **jusqu'à l'âge adulte**.

En jaune : première réponse rapide

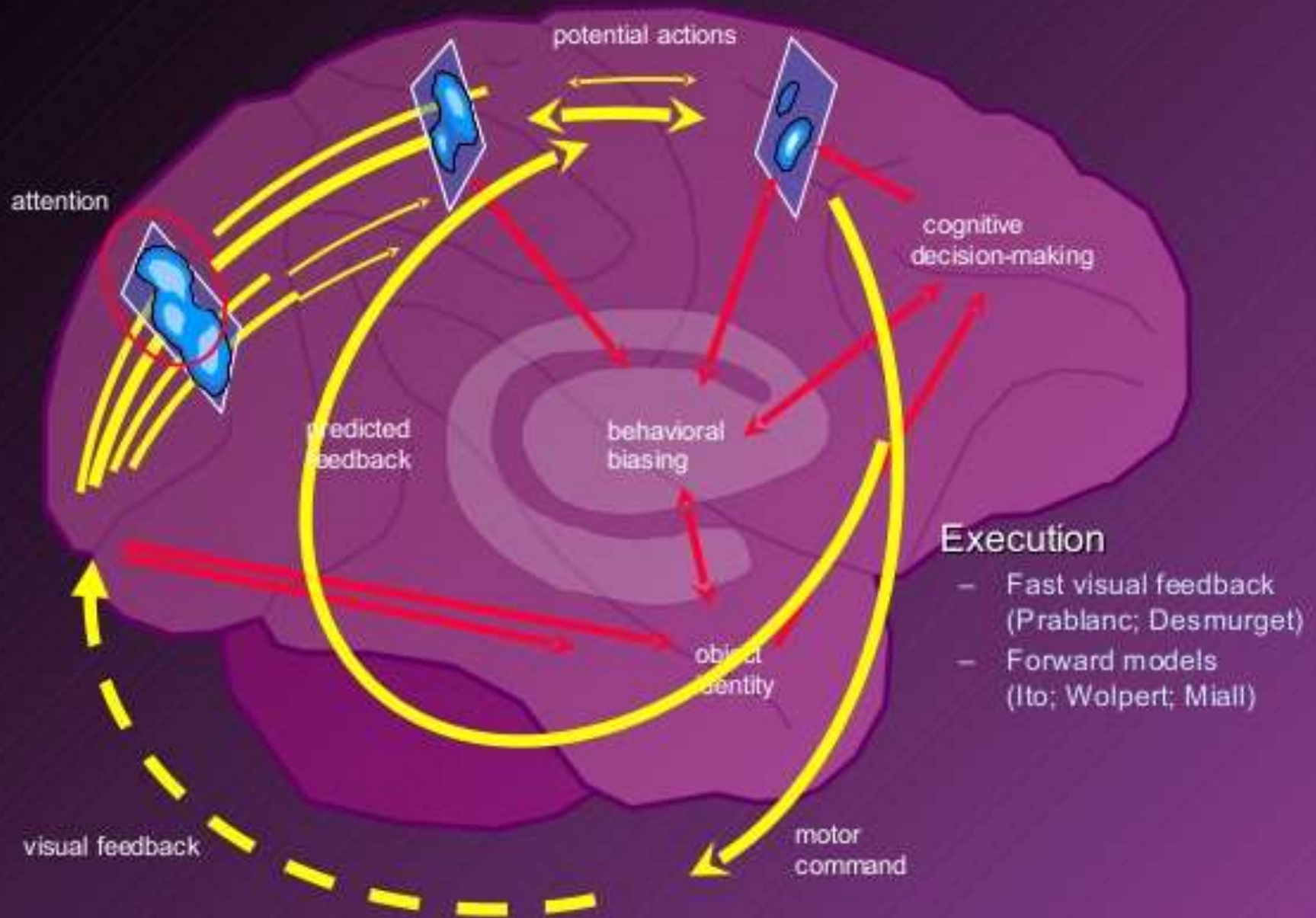


En se donnant un temps de « délibération » suffisant, on augmente nos chances d'inhiber les réponses heuristiques rapides et d'avoir accès à **d'autres systèmes d'algorithmes.**





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



## **Bloc 3 : les « fonctions supérieures »**

- Conscience, langage et inconscient
- L'attention : bottom up versus top down
- Inhibition frontale et autorégulation
- **Affordance et prise de décision**
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif

# La notion d'affordance

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

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



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

# 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

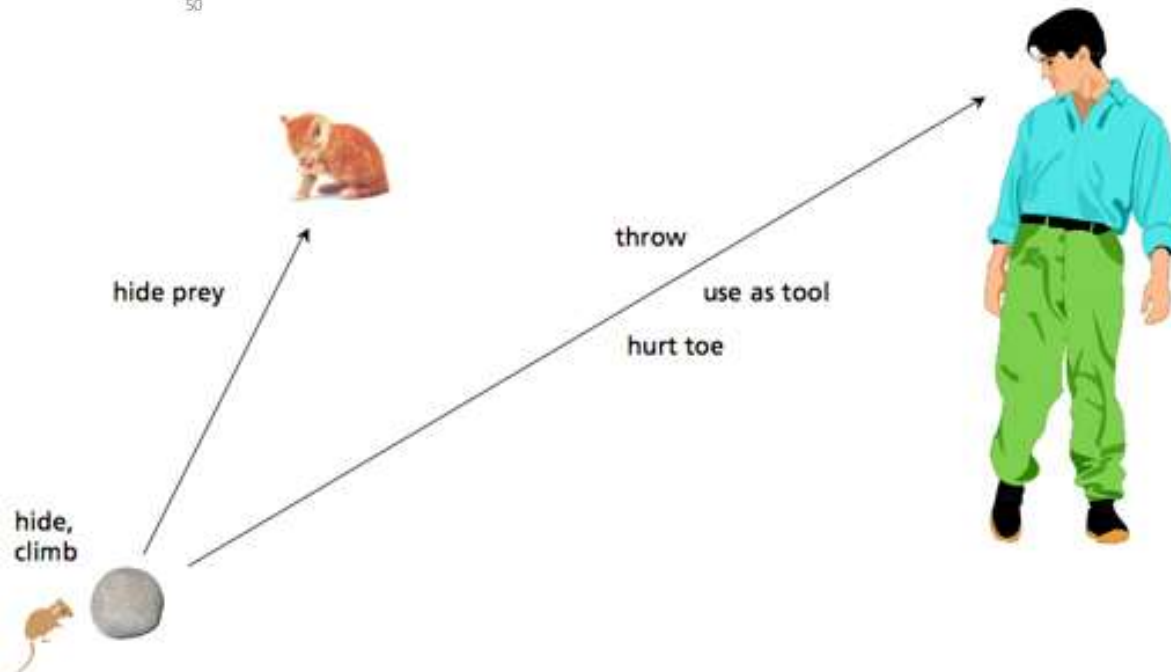
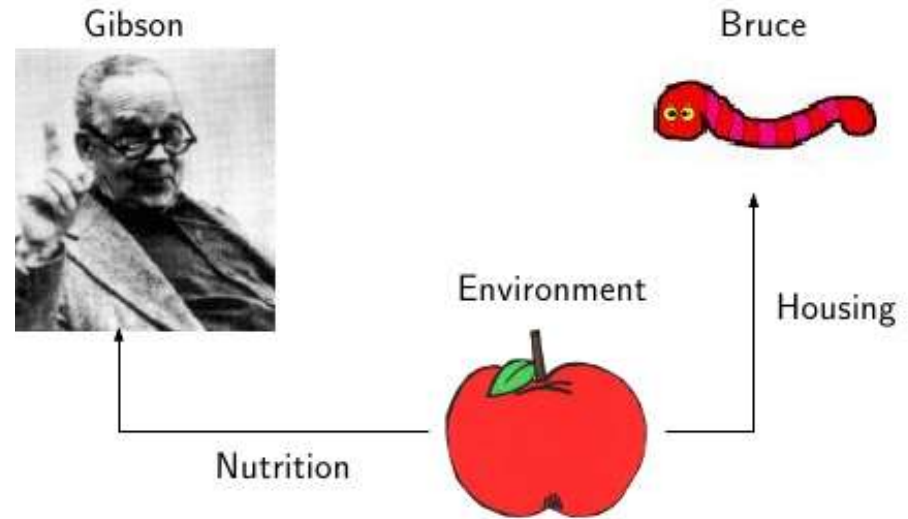
Design for ALL

50

Une affordance dépend  
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 **davantage d'affordances** que dans un environnement naturel (exemple : ce qu'on fait en camping, escalier dans pente trop abrupte, etc.);



## 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, escalier dans pente trop abrupte, etc.);
- il y a donc aussi des **affordances culturelles** : notre comportement dépend souvent de ce que l'on perçoit des intentions des autres.



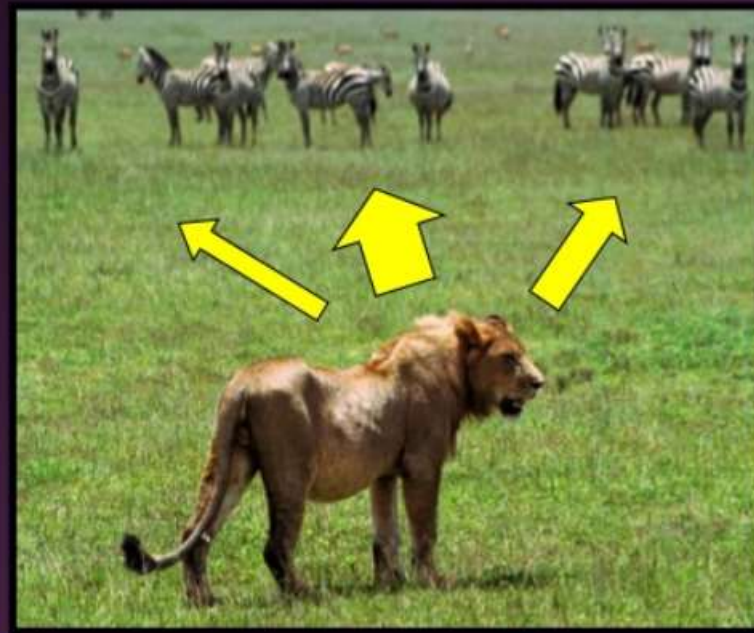
[Front Psychol.](#) **2016**;

### **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>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4960915/>

# Decision-making in the wild

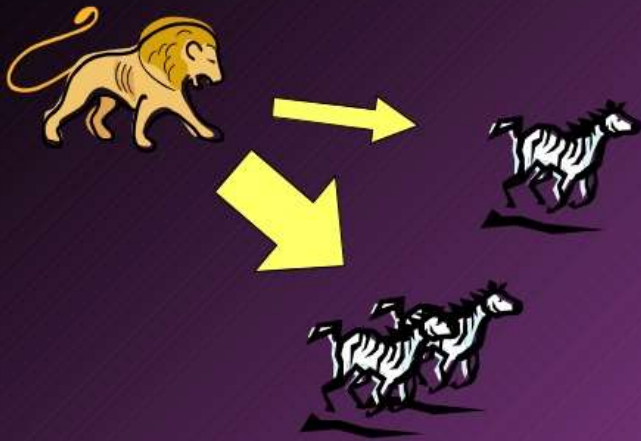


- The world presents animals with multiple opportunities for action ("affordances")
- Cannot perform all actions at the same time
- Real-time activity is constantly modifying affordances, introducing new ones, etc.

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

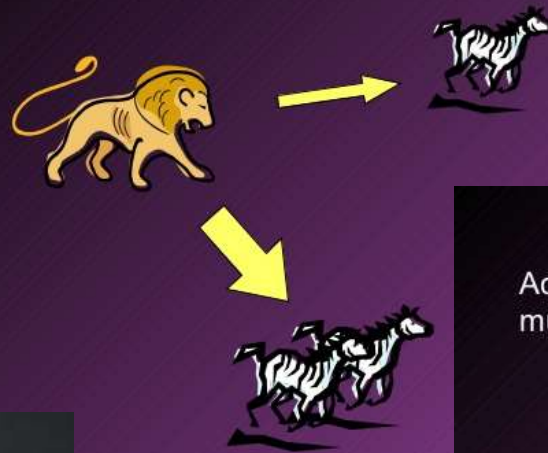
<http://www.slideshare.net/BrainMoleculeMarketing/uqam2012-cisek>



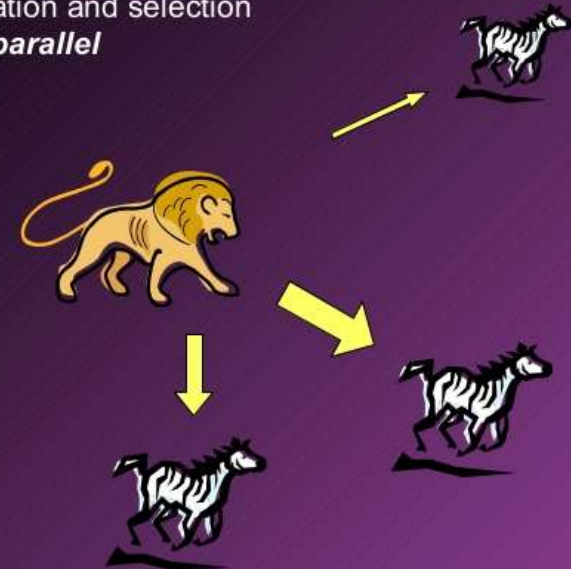


L'origine de la prise de décision c'est ça...

...et pas ça !



Action specification and selection must occur *in parallel*



**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 une seconde

→ Ou une fraction de seconde



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

« décision →  
préparation du bon  
mouvement →  
action »



Comment sont prises les décisions alors ?

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

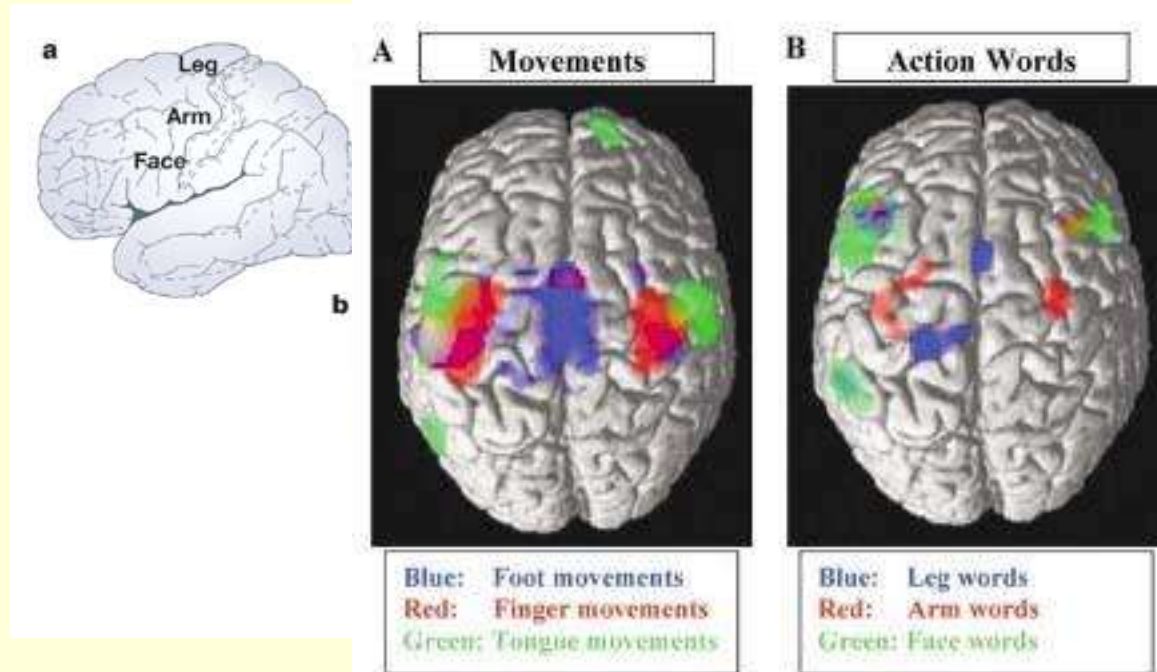


Pulvermüller (2006)  
Hauk et al. (2004)

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

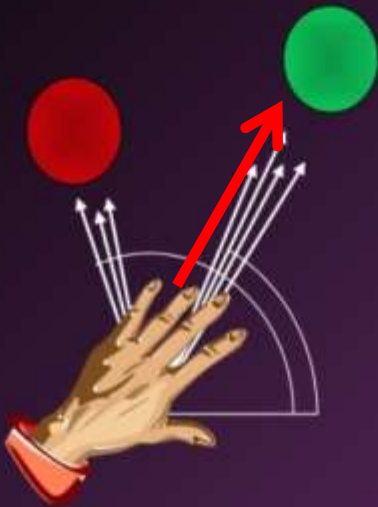
Exemple : lire *kiss* active la  
région motrice de la **bouche**;

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

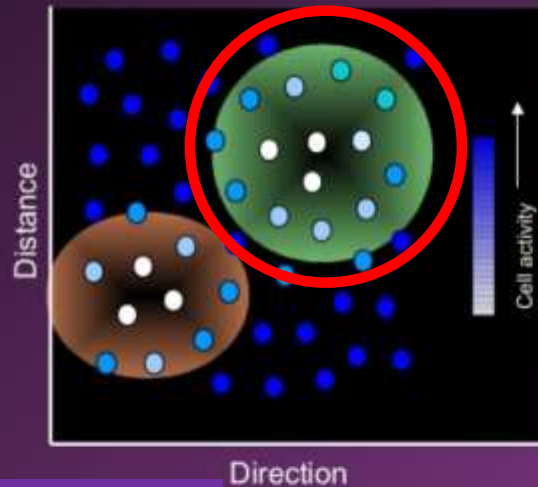




# Specification and selection in parallel



A population of tuned neurons



## Spécification d'actions possibles :

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

## Sélection d'une action :

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

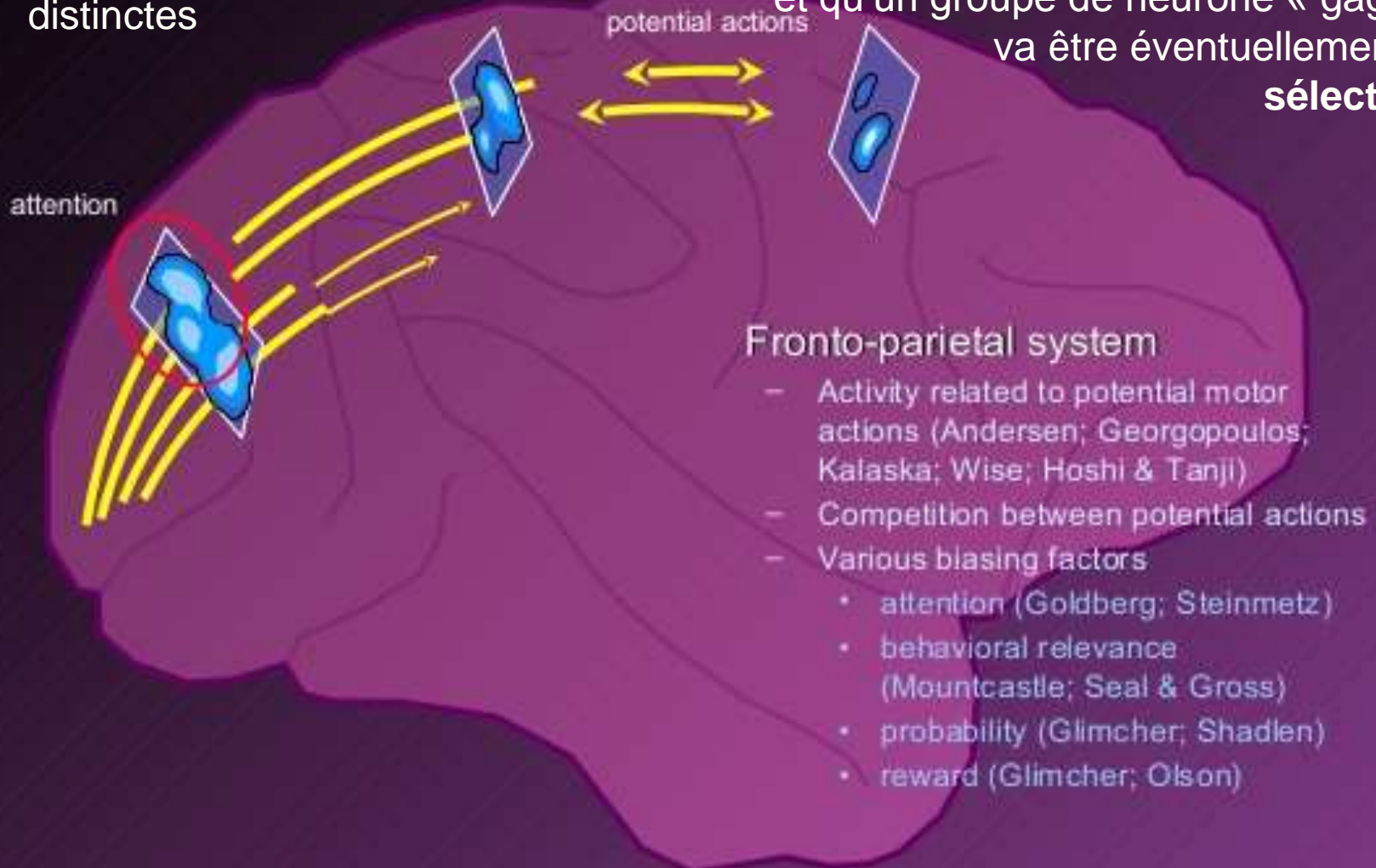
**Et non sélection (ou décision) en premier**

**et spécification ensuite !**

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

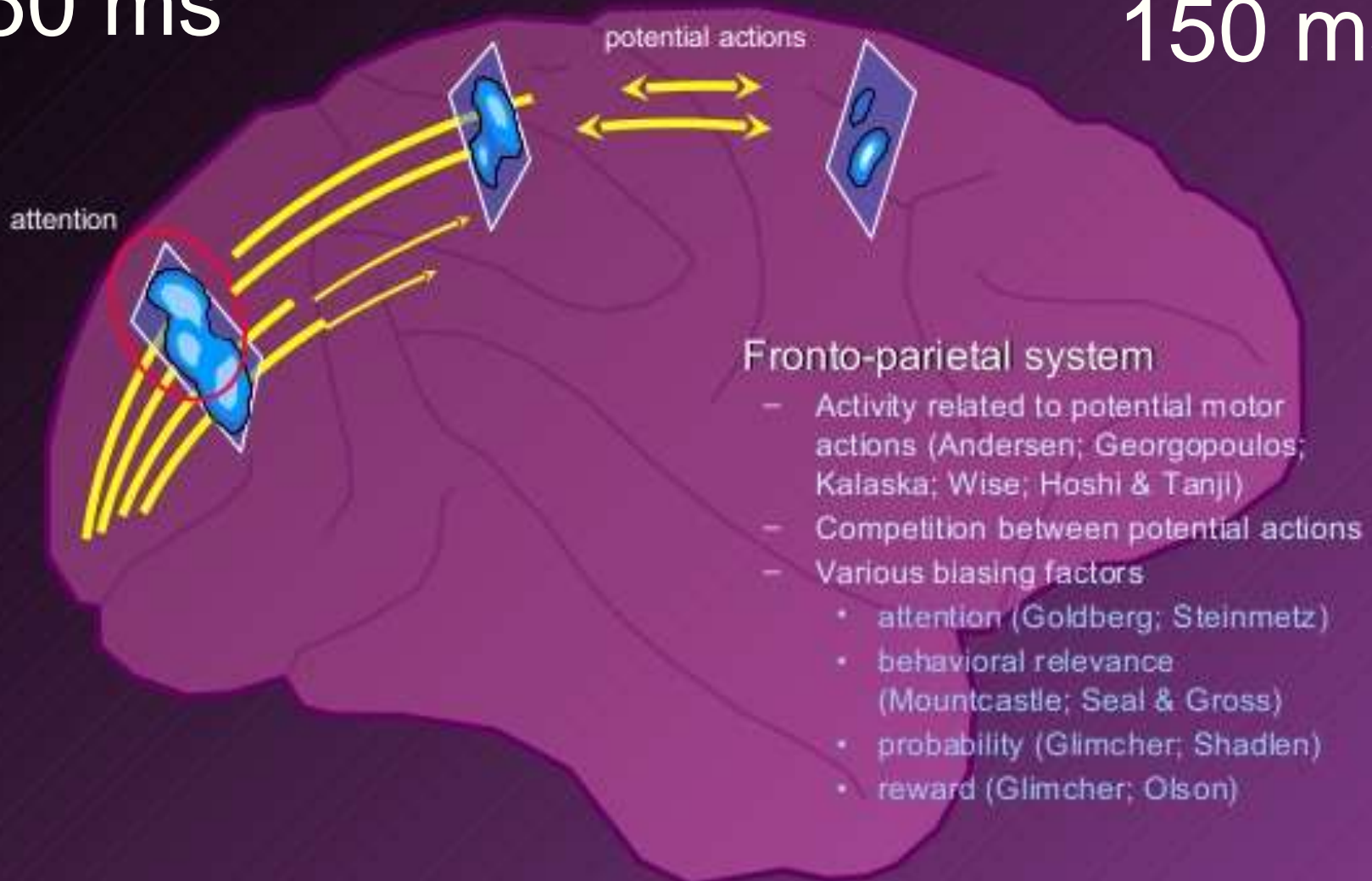
Des processus d'attention aident à **spécifier** des cartes distinctes

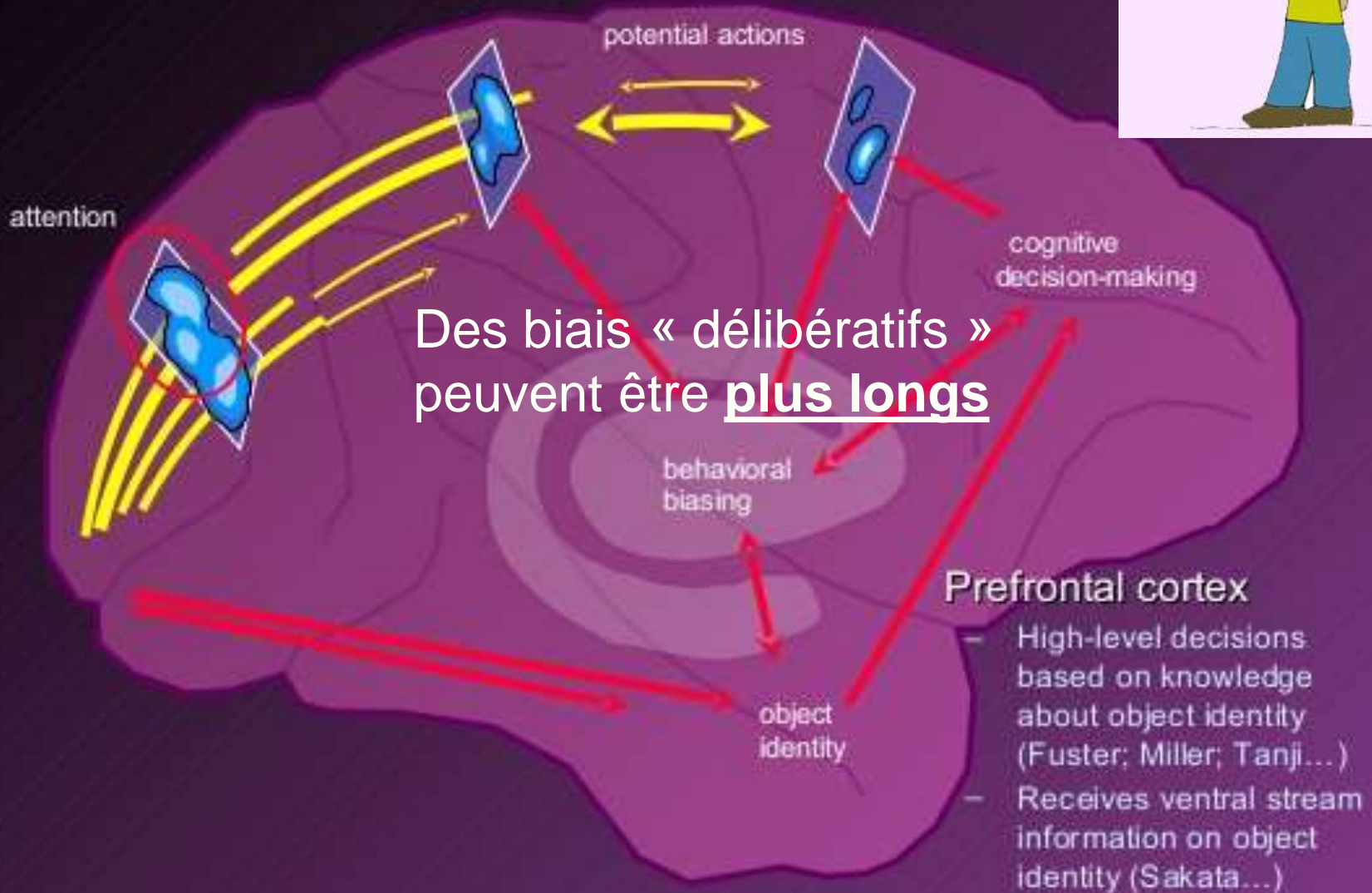
Et c'est à partir de là qu'a lieu la compétition (par inhibitions réciproques) et qu'un groupe de neurone « gagnant » va être éventuellement être **sélectionné**



50 ms

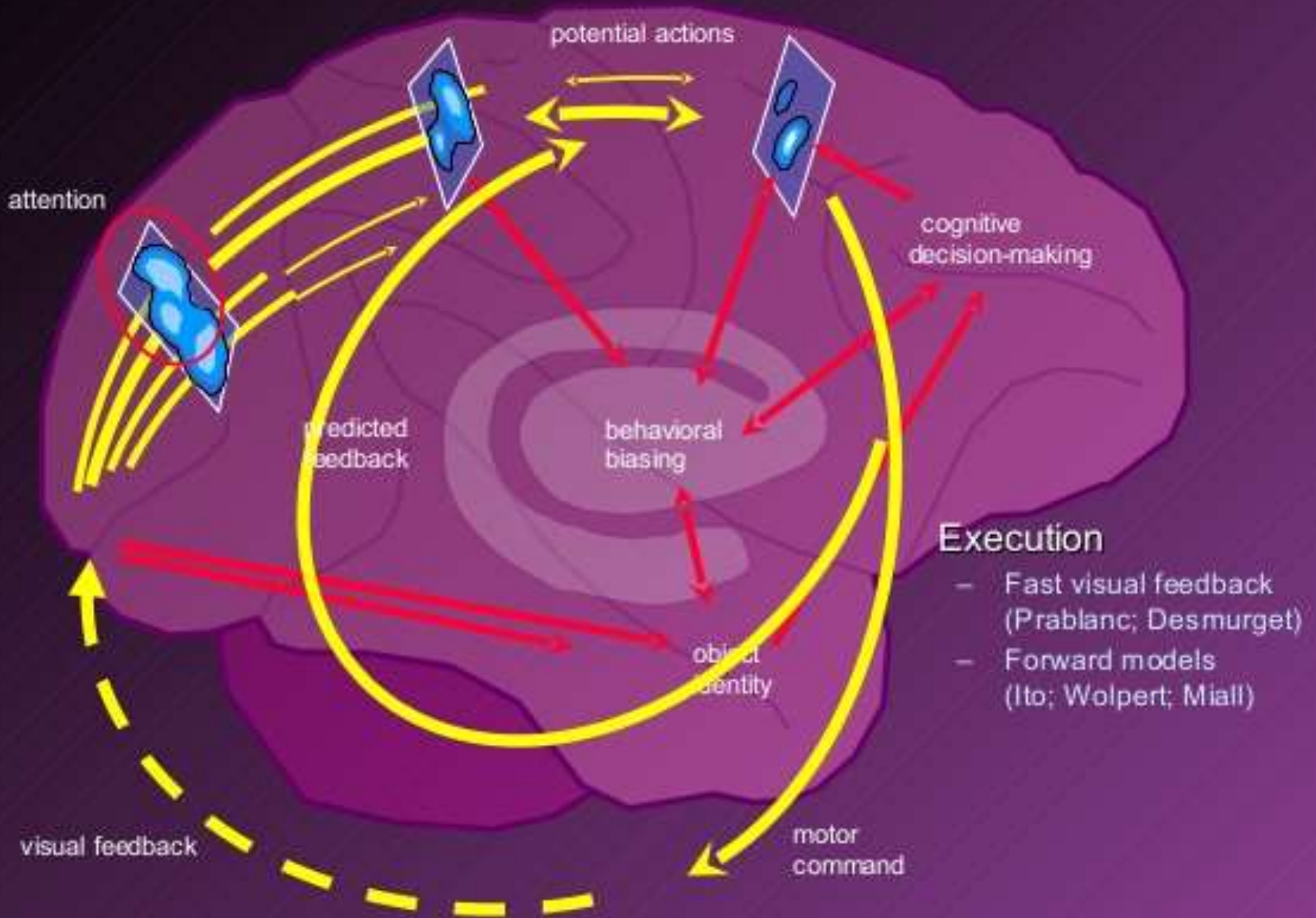
150 ms





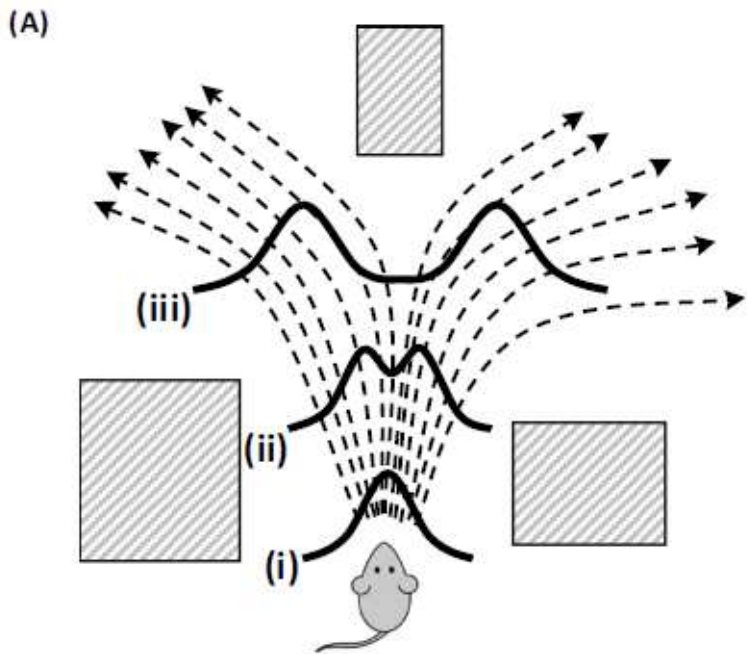
Des biais « délibératifs »  
peuvent être plus longs

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

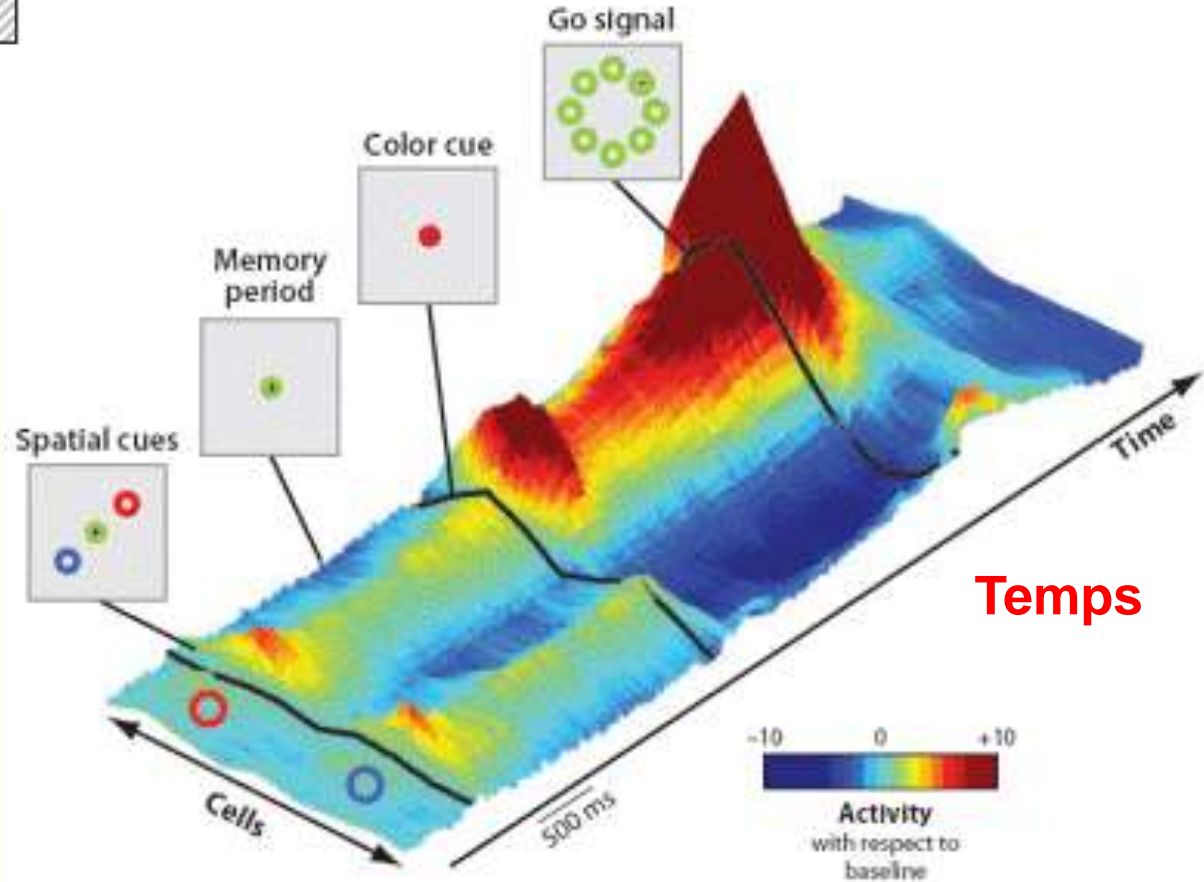


Par exemple, quand on marche dans une foule, à tout moment notre action définit ses prochaines options que notre cerveau va commencer à préparer en parallèle avant qu'une de celle-ci ne s'impose, soit sélectionnée, et débouche sur un geste concret.



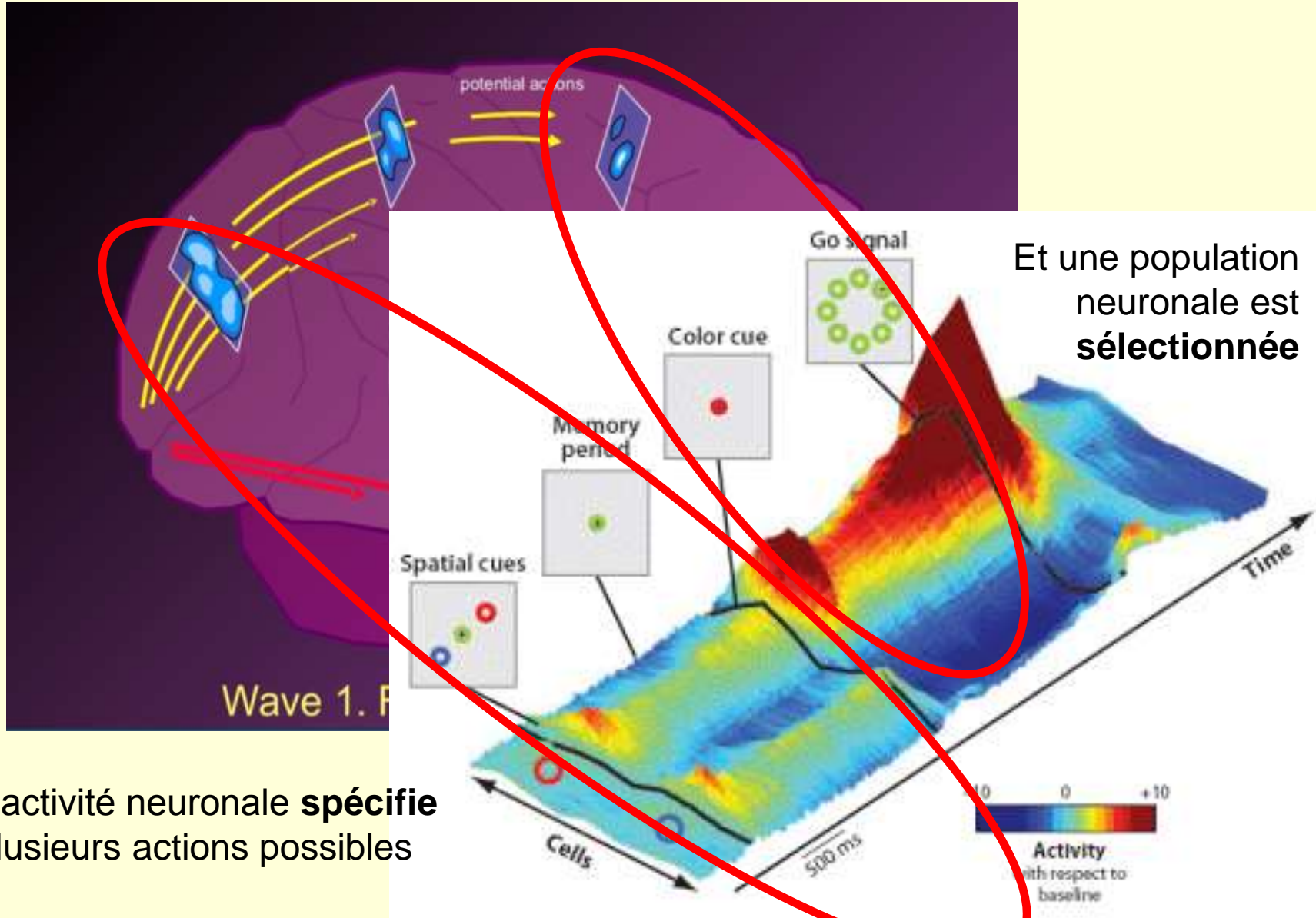


Niveau d'activité de deux populations de neurones



Temps

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



Et une population neuronale est **sélectionnée**

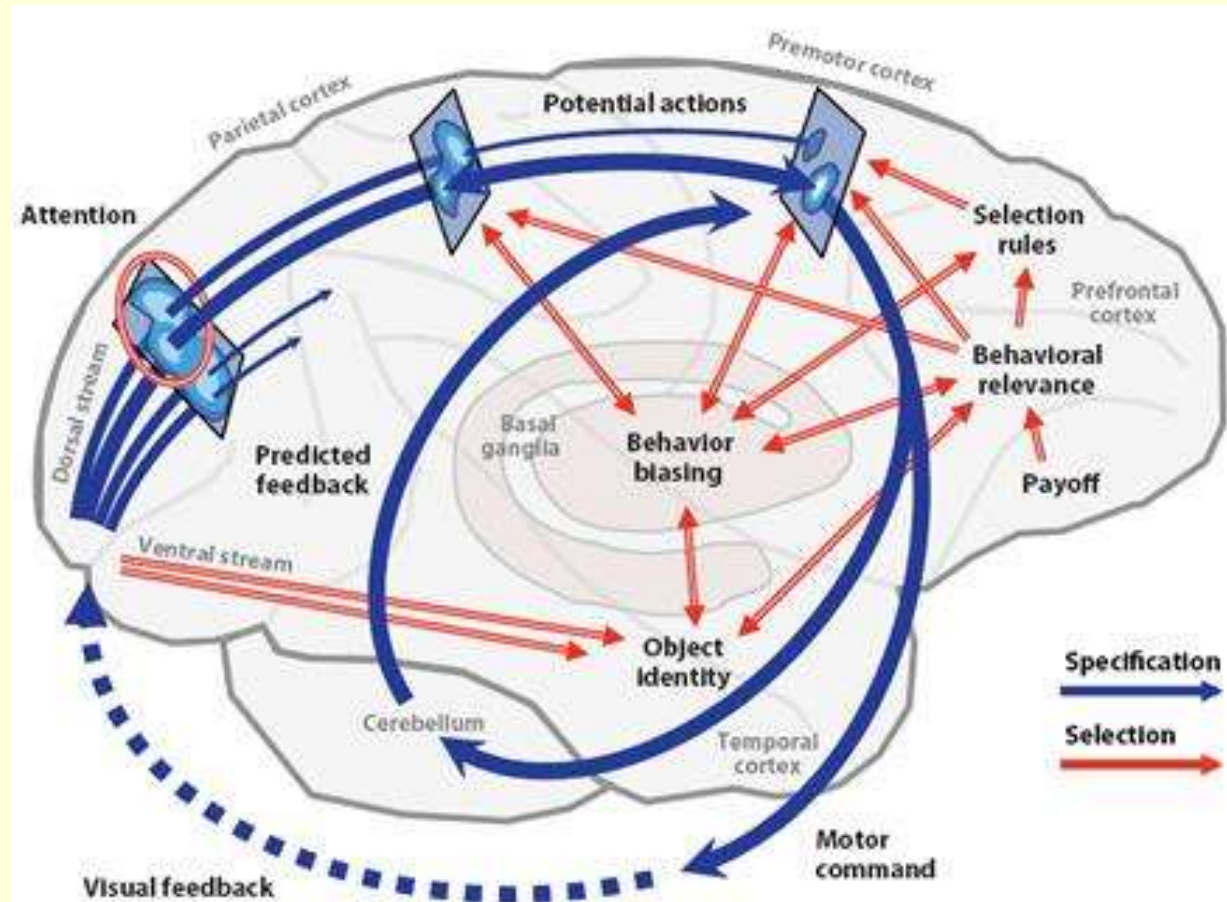
L'activité neuronale **spécifique** plusieurs actions possibles



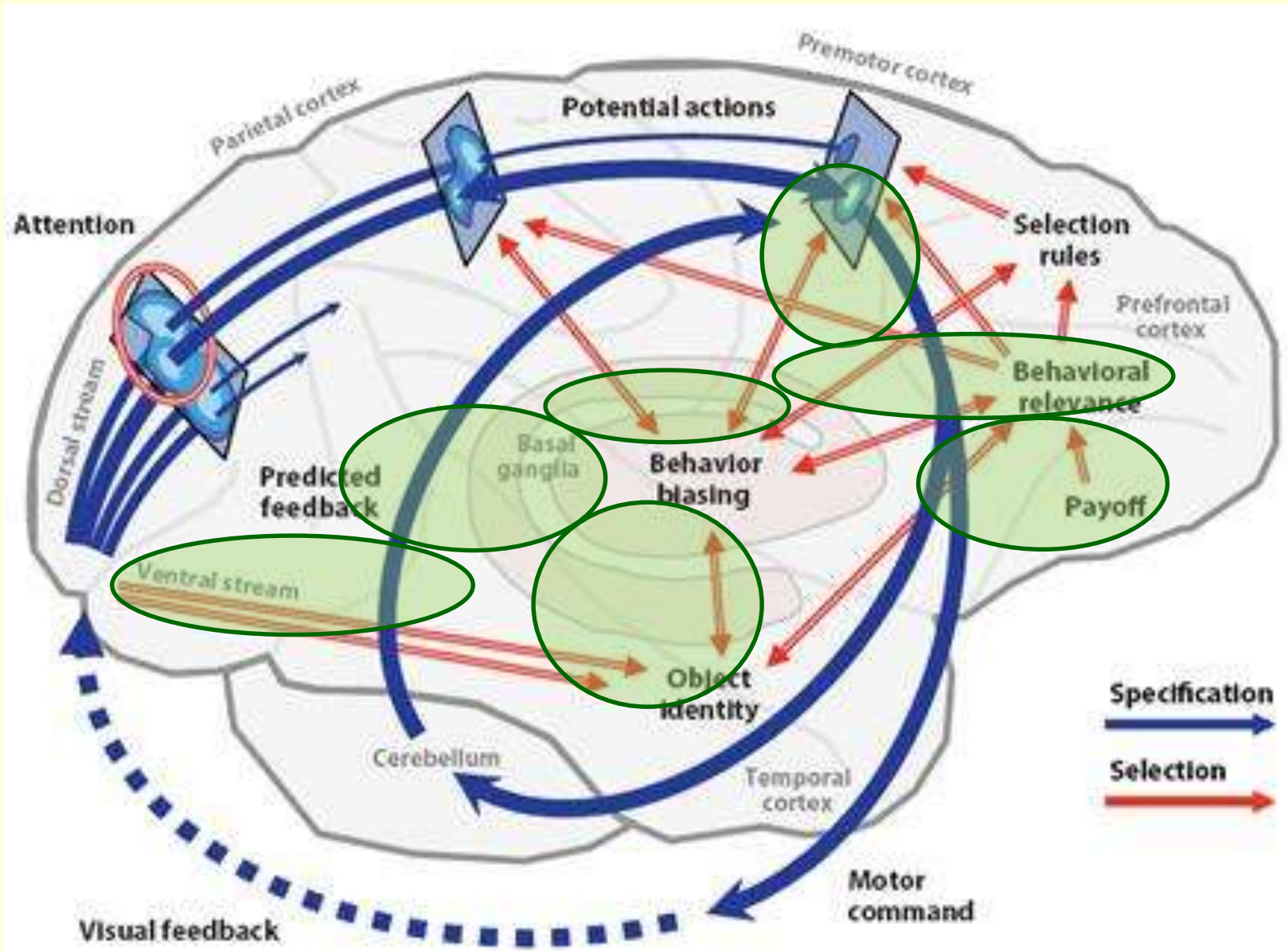
Différentes régions cérébrales peuvent être sollicitées par l'environnement à un moment donné, de sorte qu'on ne peut associer la prise de décision à une structure cérébrale particulière. Autrement dit, **la compétition peut se gagner à différents endroits dans le cerveau**.

C'est, en gros, l'« **Affordance competition hypothesis** » de Cisek et ses collègues représentée schématiquement ci-dessous

Ce schéma montre aussi que **plus l'on a de temps pour prendre une décision**, plus il y aura **d'interactions possibles entre plusieurs régions cérébrales**.

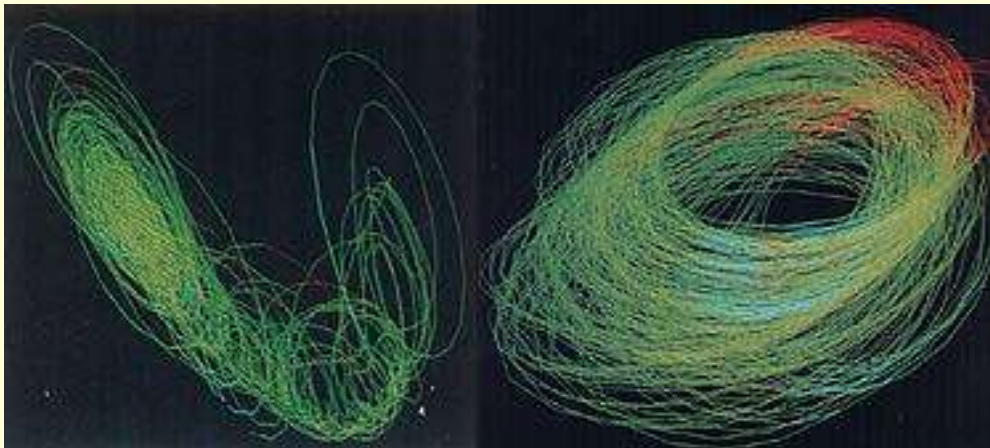


C'est à partir de cette dynamique rapide qu'un ensemble neuronal (un sous-réseau cognitif) **finit par s'imposer** et devenir le mode comportemental du moment cognitif suivant.



C'est à partir de cette dynamique rapide qu'un ensemble neuronal (un sous-réseau cognitif) **fini par s'imposer** et devenir le mode comportemental du moment cognitif suivant.

= **bifurcation** dans la dynamique chaotique (« attracteurs étranges », « phase space »)



D'où une **succession de configurations changeantes** qui surgissent et se dissipent.

“the tendency towards an optimal grip on multiple affordances can be explained as a **metastable attunement to environmental dynamics**. This metastable attunement allows for **rapid and flexible switching** between relevant action possibilities (Kelso, 2012).” (J. Bruineberg)



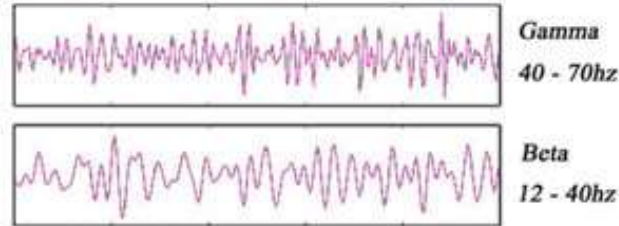
## **Bloc 3 : les « fonctions supérieures »**

- Conscience, langage et inconscient
- L'attention : bottom up versus top down
- Inhibition frontale et autorégulation
- Affordance et prise de décision
- Conclusion : le grand cadre théorique du cerveau prédictif

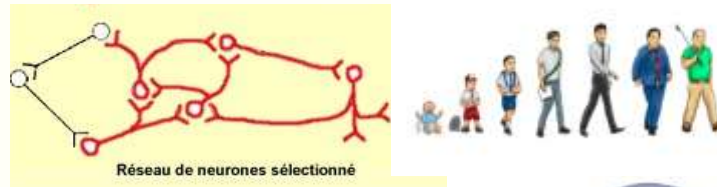
# Concept / Cadre théorique :

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

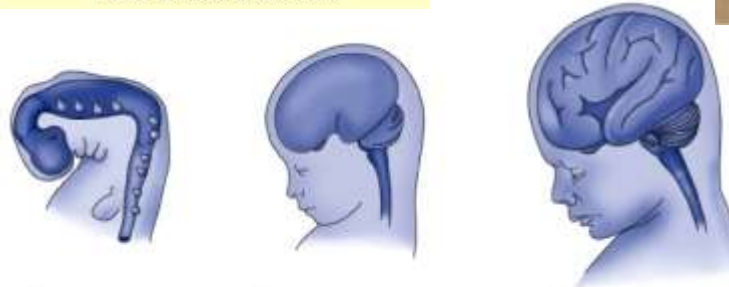
Perception et action



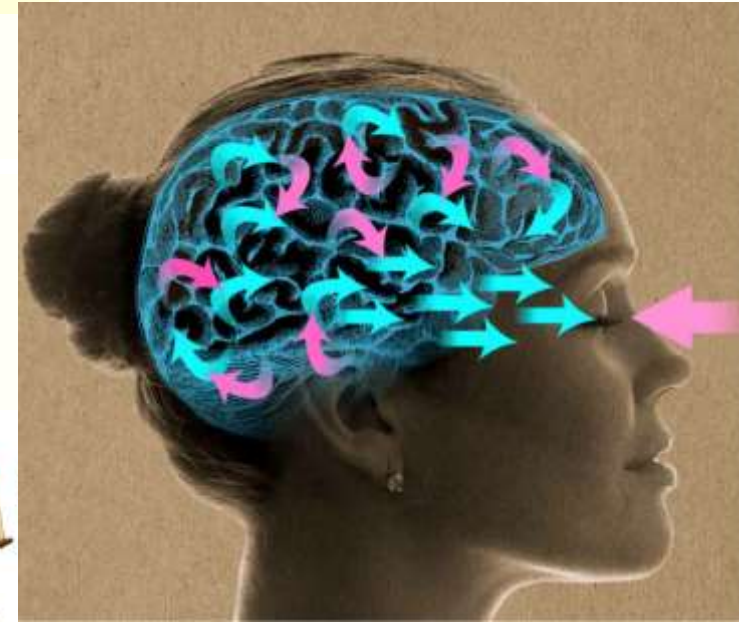
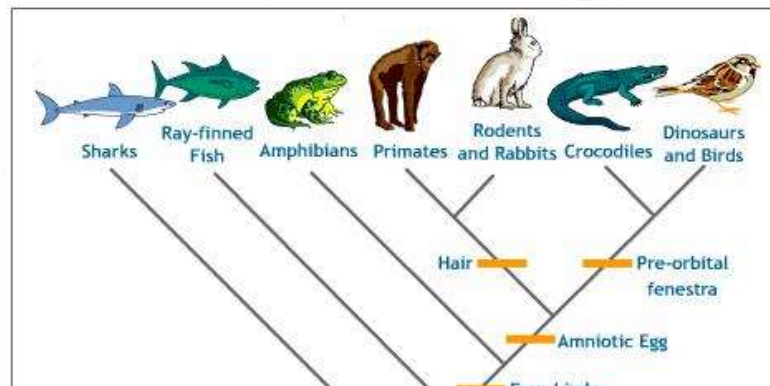
Apprentissage



Développement



Évolution biologique



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

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

(innée et acquise)

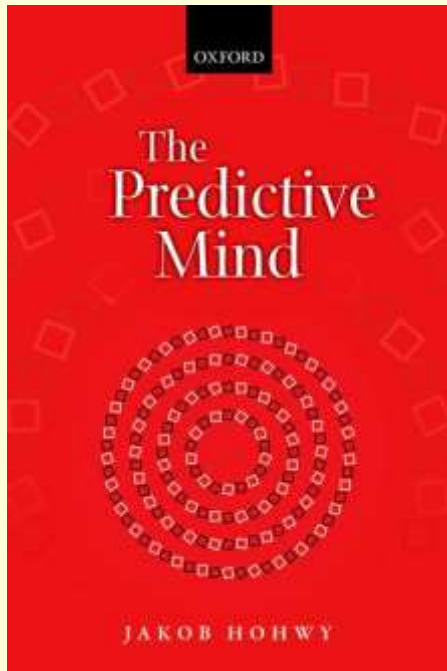
## Concept / Cadre théorique :

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

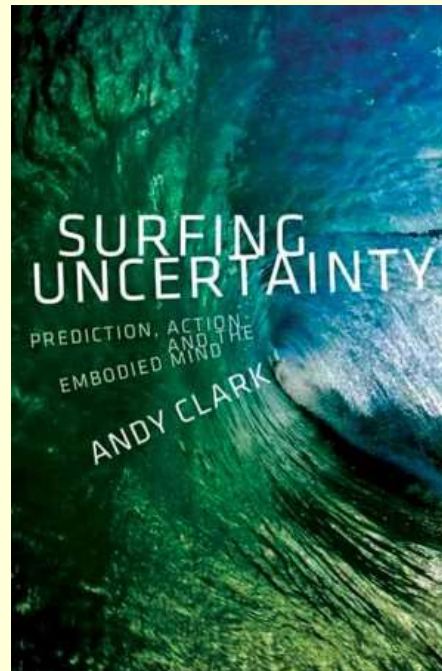
**Minimisation de l'énergie libre et codage prédictif**  
(anticiper l'environnement pour agir plus efficacement)

décembre 2016

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



2014



2015

**L'inconscient, notre génie de l'ombre**  
Par Steve Ayan, Cerveau & Psycho,  
N° 107, **Février 2019.**

**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)



Karl Friston

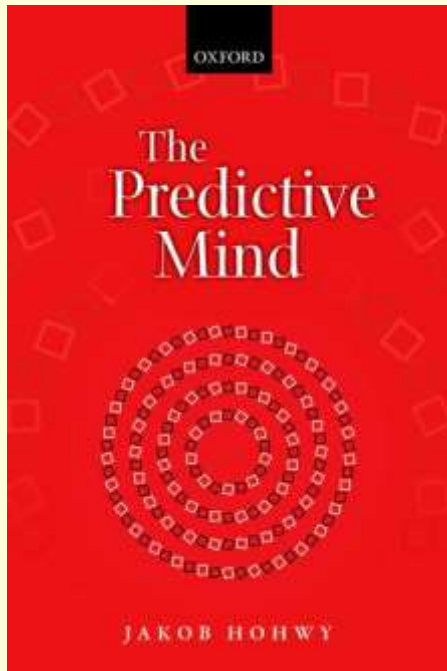
d'après la revue *Science*,  
« le neuroscientifique vivant  
le plus cité aujourd'hui. »

## Concept / Cadre théorique :

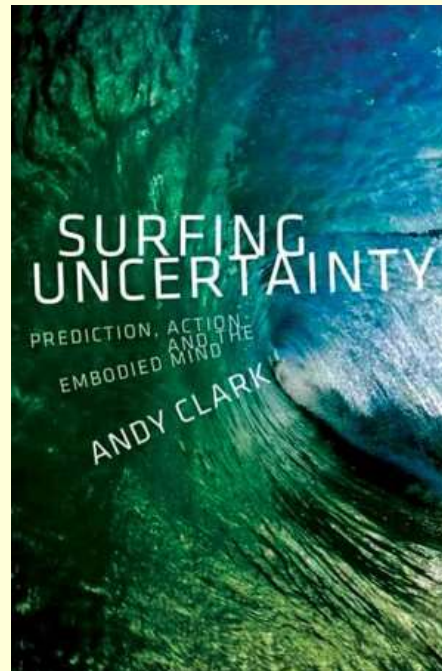
### « Predictive processing » « the Bayesian Brain »)

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

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



2014



2015



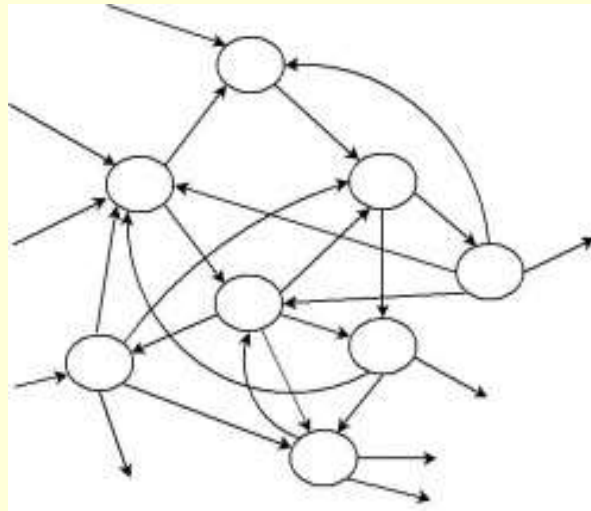
Karl Friston



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



On sait qu'il est  
constitué de  
réseaux neuronaux  
extrêmement  
bouclés....

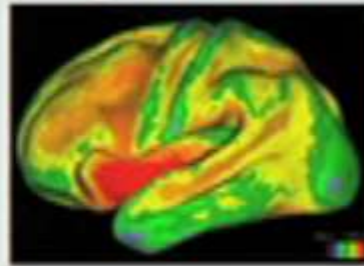


...avec une importante **activité endogène.**

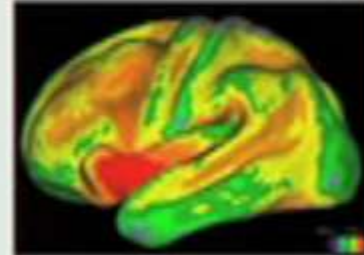
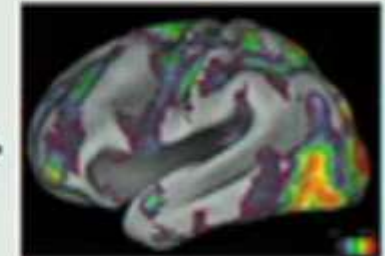


# Task Performance

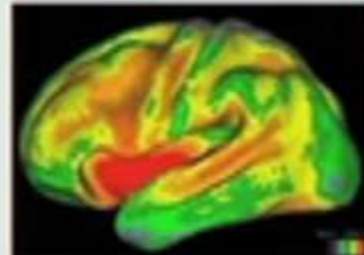
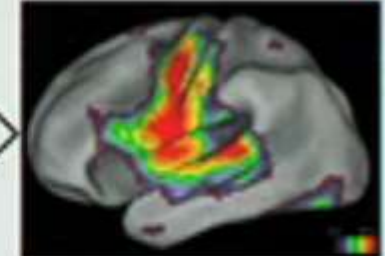
Averaged Blood Flow      Conditions      Averaged Difference Images



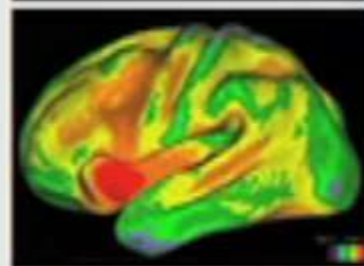
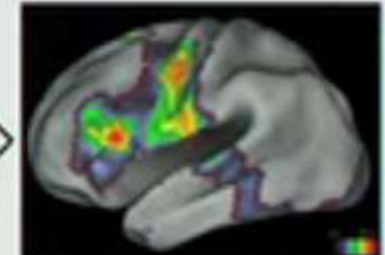
Visual Fixation



Viewing Words



Reading Words



Generating Verbs

500      1300



Relative PET Counts

0      5



% Difference

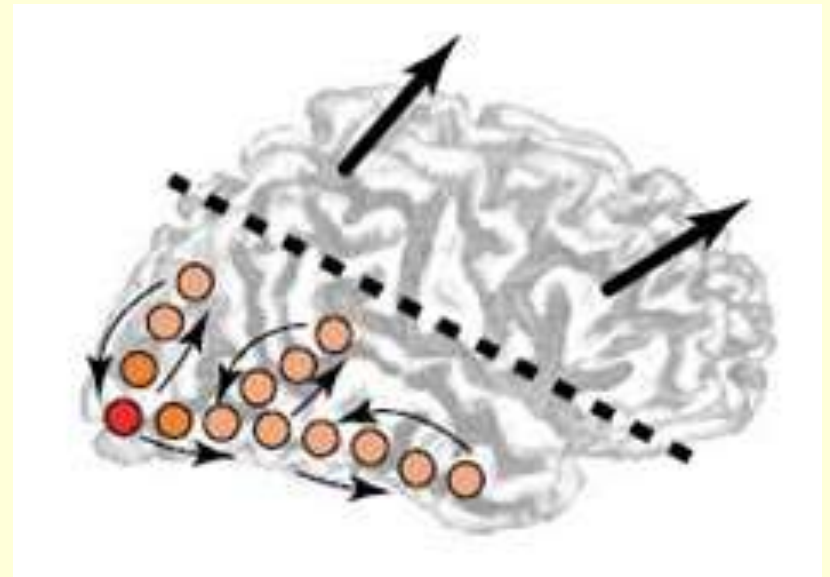


« Our resting brain is never at rest. »

- Marcus Raichle

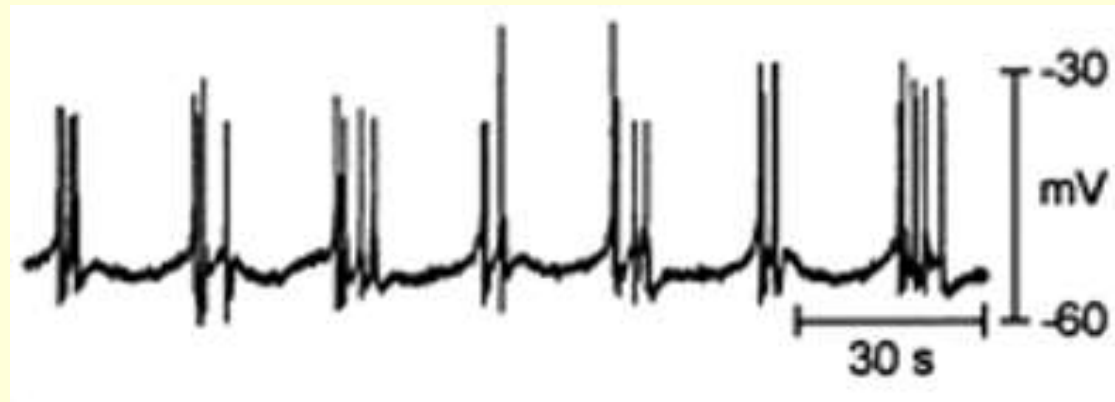
(Adapted from Petersen et al (Nature) 1988)

**“If there’s input to the nervous system, fine. It will react to it.**



Activité « **Bottom up** »

But the **nervous system is primarily a device for generating action spontaneously.** It’s an ongoing affair.

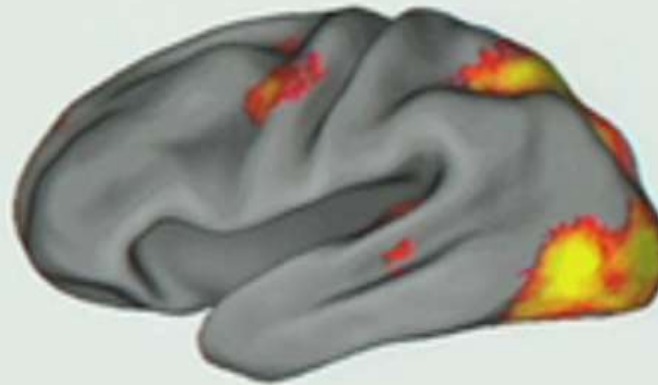


The biggest mistake that people make is in thinking of it as an input-output device.”

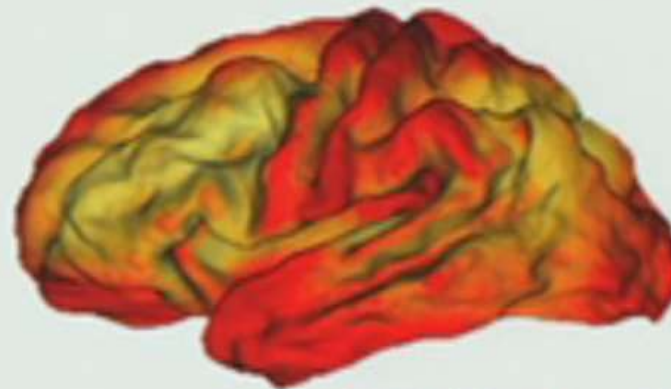
~ Graham Hoyle, quoted in William Calvin’s ***The Cerebral Symphony*** (p. 214)

# An Historical View

**Reflexive**  
(Sir Charles Sherrington)



**Intrinsic**  
(T. Graham Brown)



Boutade  
mnémotechnique:

« **Il pleut tout  
le temps  
dans notre  
cerveau !** »

# An Historical View

## Reflexive (Sir Charles Sherrington)

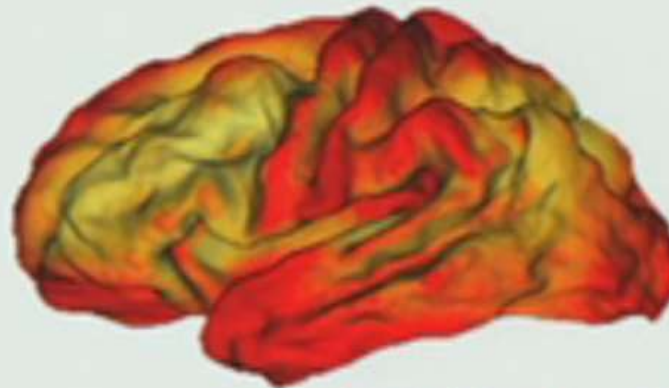


Brains like that are not cognitive couch-potatoes, passively awaiting the next waves of sensory stimulation.

Instead, they are *pro-active prediction engines* constantly trying to anticipate the shape of the incoming sensory signal.

- Andy Clark

## Intrinsic (T. Graham Brown)



Boutade  
mnémotechnique:

« Il pleut tout le temps dans notre cerveau ! »

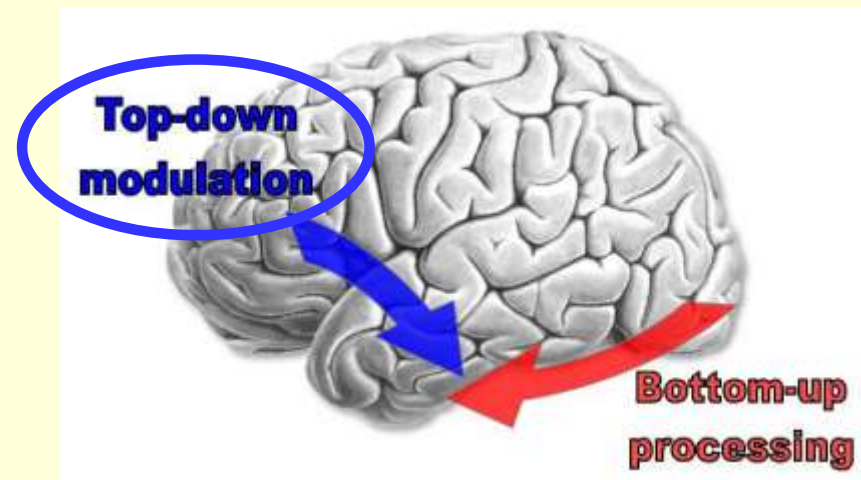


« Attentes »

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

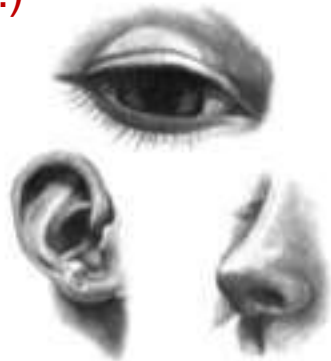
mais comme une machine pro-active qui **tente constamment d'anticiper la forme des signaux sensoriels** qui lui parviennent.

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

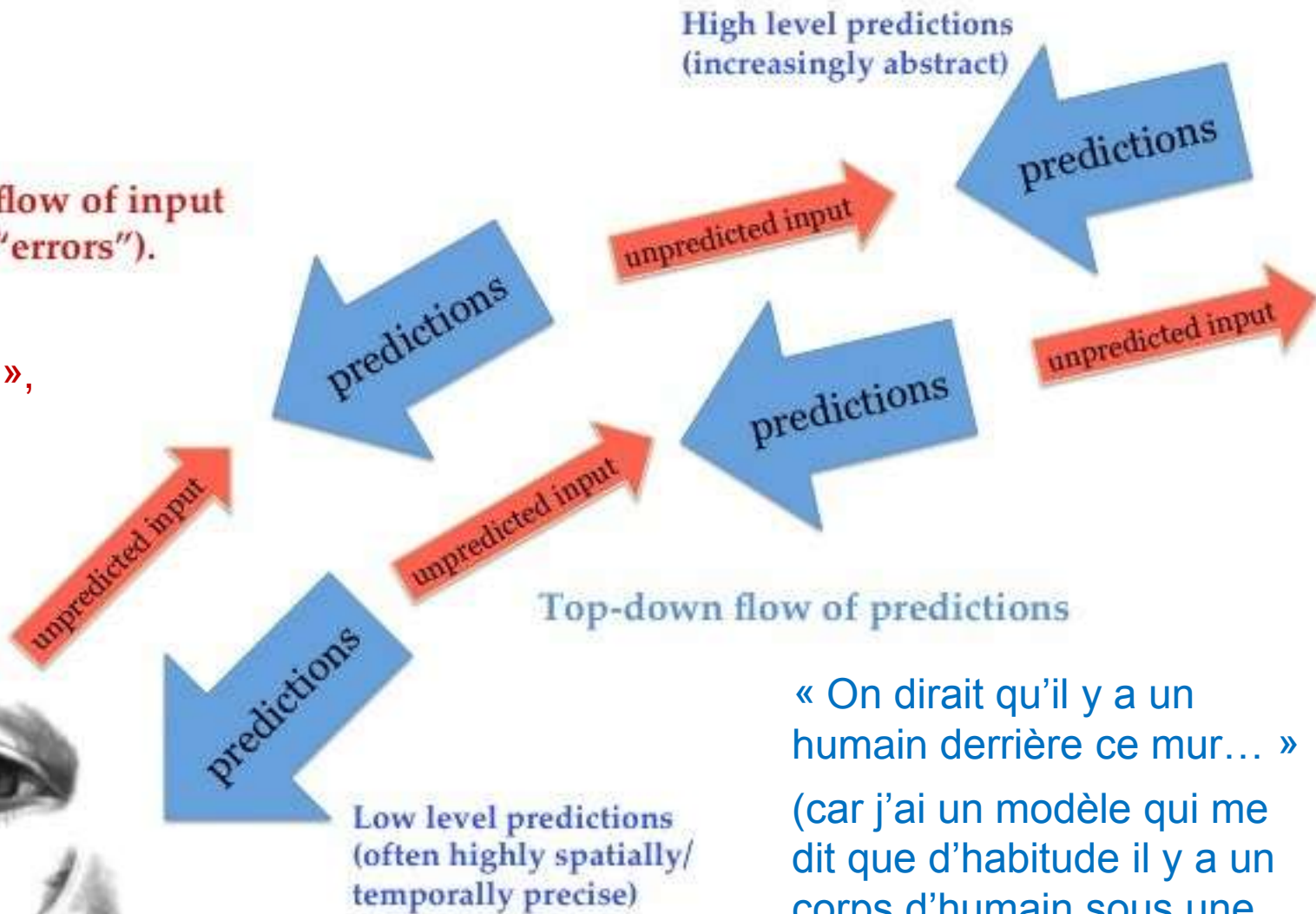


Bottom up flow of input  
(residuals, "errors").

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

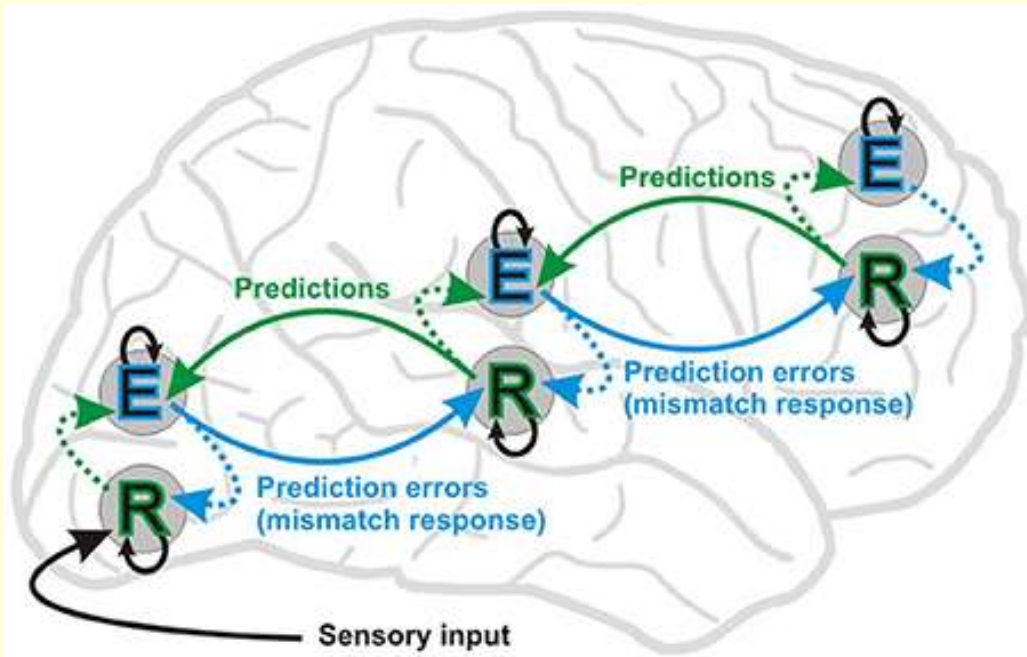
predictions

Low level predictions  
(often highly spatially/  
temporally precise)

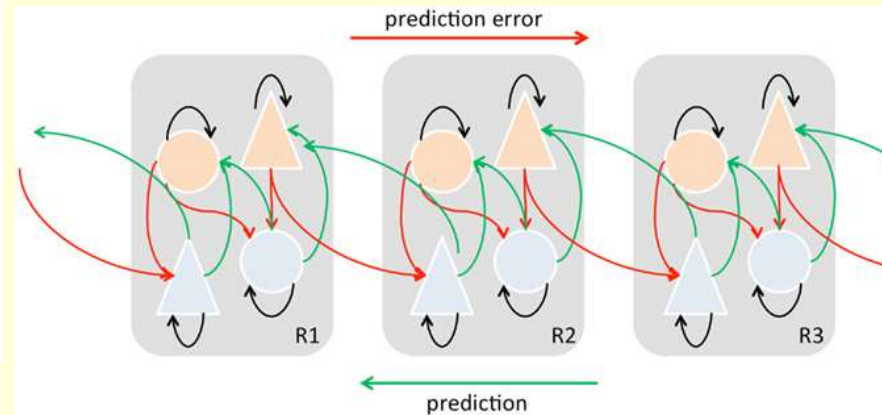
« On dirait qu'il y a un  
humain derrière ce mur... »  
(car j'ai un modèle qui me  
dit que d'habitude il y a un  
corps d'humain sous une  
tête d'humain...)



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



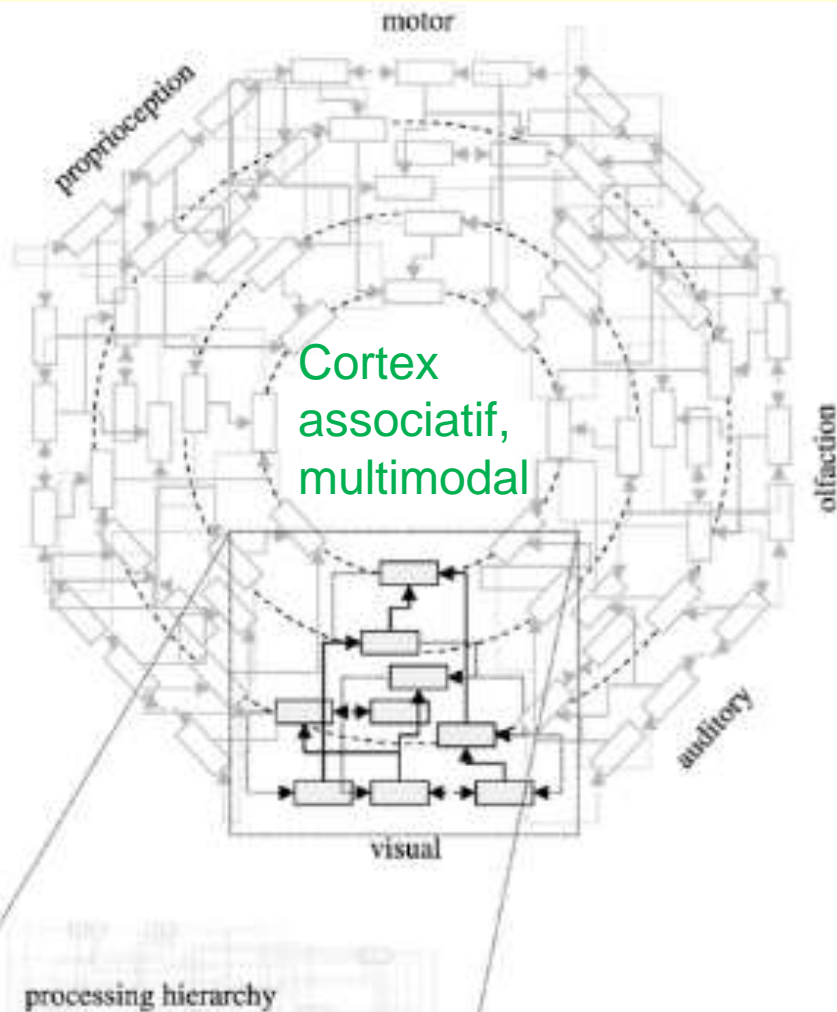
une architecture aux **multiples niveaux** où chaque niveau essaie de prédire l'état du niveau en-dessous de lui.



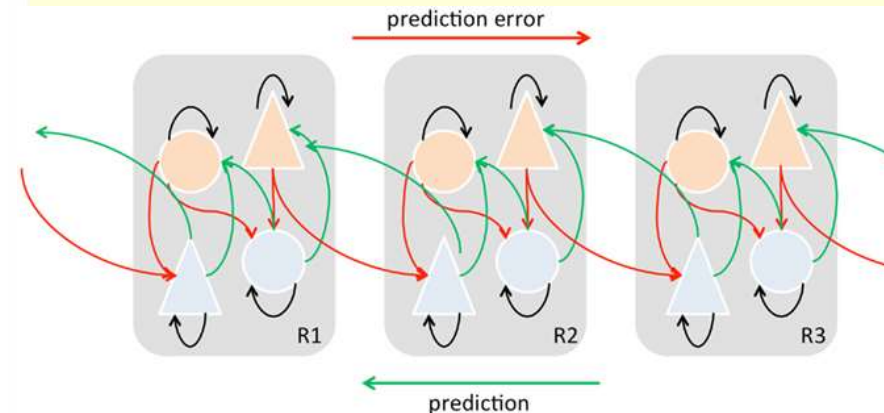
**Simplified scheme of the  
hierarchical predictive coding  
framework**

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





**en-dessous de lui = vers le monde extérieur**

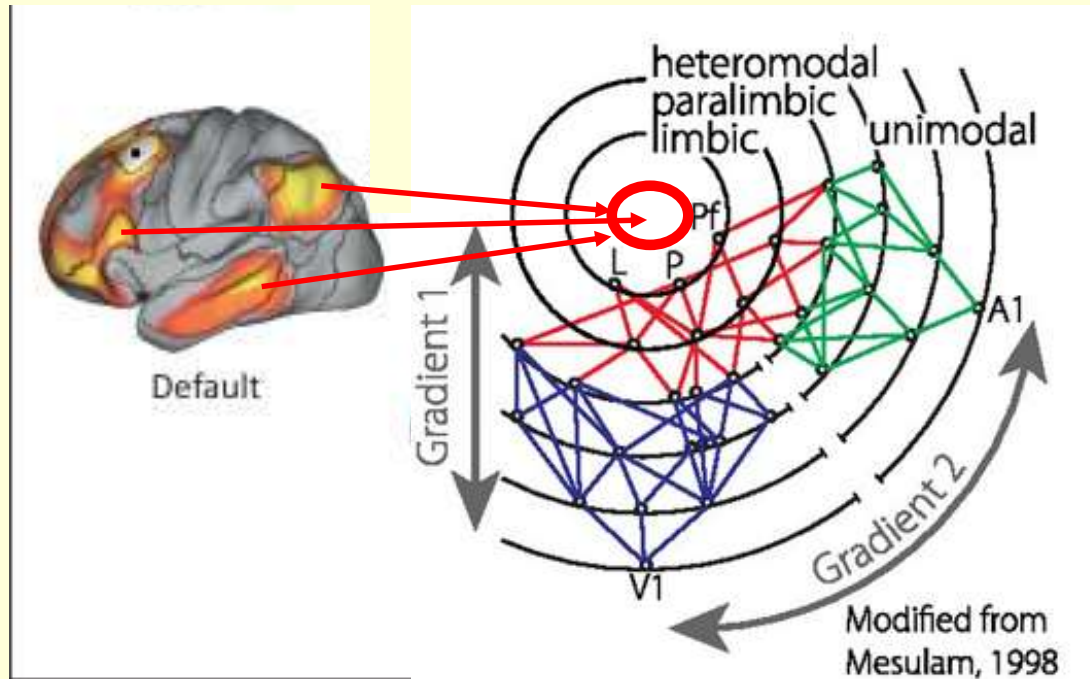


Et donc à chaque niveau, ce que le système nerveux va chercher à faire, c'est de **minimiser l'erreur** qui vient d'en bas par rapport à la prédiction qui vient d'en haut.

# Nos réseaux cérébraux s'inscrivent dans un gradient « unimodal – multimodal »

6 février 2018

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/02/06/7097/>



Pour minimiser continuellement l'erreur de ses modèles prédictifs, le cerveau va avoir deux possibilités :

- soit **modifier son modèle** ou le changer carrément lorsqu'il ne correspond pas à la réalité (par la **plasticité** cérébrale...);
- 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 a appelé « **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** apparaît 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](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) · **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)



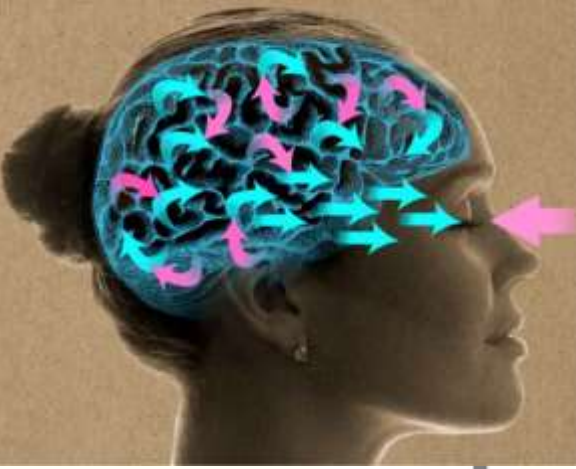
Dans une journée, on prend énormément de « **décisions** » **automatiquement** sans en être conscient...



Ce n'est qu'occasionnellement qu'un événement surprenant ou imprévu nous force à une délibération plus **consciente**.

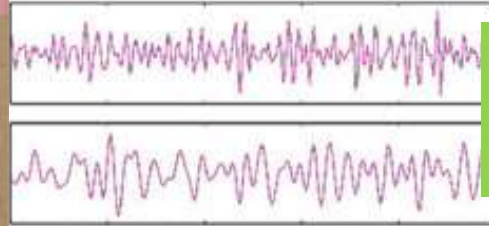


# Pour l'approche prédictive :



## Perception et action

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



## L'apprentissage

Modifier / améliorer les modèles existants



$10^{11} s$

$10^3 s$

## Développement

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

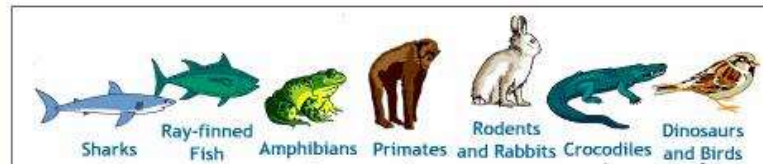


$10^6 s$

$10^{15} s$

## 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

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

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

Variational ecology and the physics of sentient systems

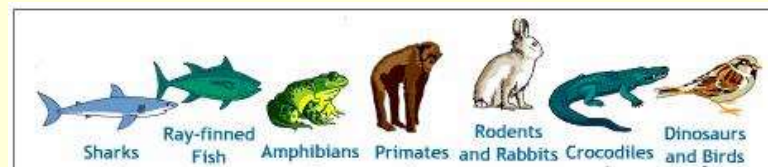
[Maxwell J.D.Ramstead<sup>ab</sup>](#)

[<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

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/>



Et en s'en remettant parfois à **l'action** pour réduire certains écarts (ou erreurs) par rapport aux prédictions, une certaine partie du travail se trouve ainsi accomplie par le corps **et par tous les éléments de l'environnement que ce corps peut utiliser** :

de compter sur ses doigts, à utiliser un boulier pour compter, à se servir de son iPhone pour chercher une info, **jusqu'à la coopération avec d'autres êtres humains** (la part la plus significative pour nous de notre "environnement").

En ce sens, tout le "predictive processing" semble tout à fait compatible avec les idées sur la **cognition étendue**.

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

29 janvier 2019

**La cognition étendue :  
externaliser pour mieux penser**

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2019/01/29/7857/>



Juste une petite parenthèse sur le « débat nature / culture »...

“Human biology is also a cultural biology;

and human culture is realised by interacting biological systems within a shared material niche (Kirmayer & Ramstead, 2017).

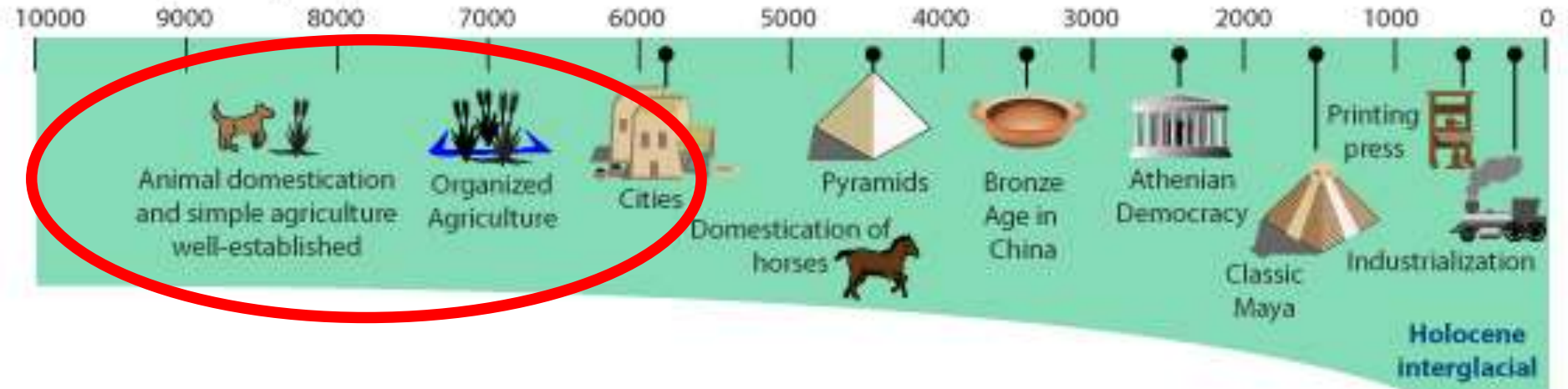
Indeed, for over 200,000 years, the main selection pressure on human survival has been the capacity to access and leverage accumulated sociocultural information (Henrich, 2015; Tomasello, 2014; Hrdy, 2009).”

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\\_SJQvtltASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0u0](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_SJQvtltASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0u0)

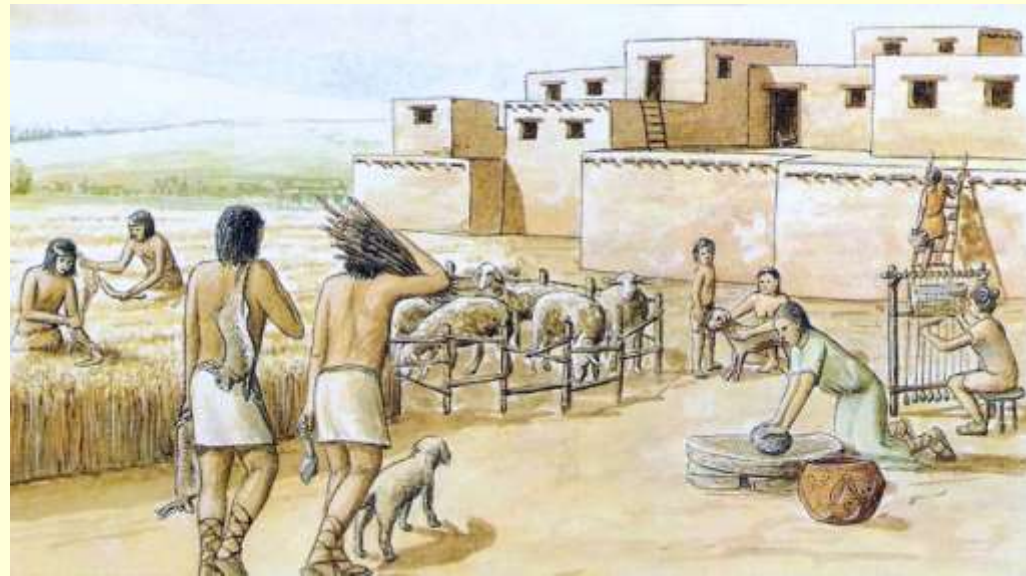
# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



À partir de là débute le **néolithique**,  
c'est-à-dire la sédentarisation

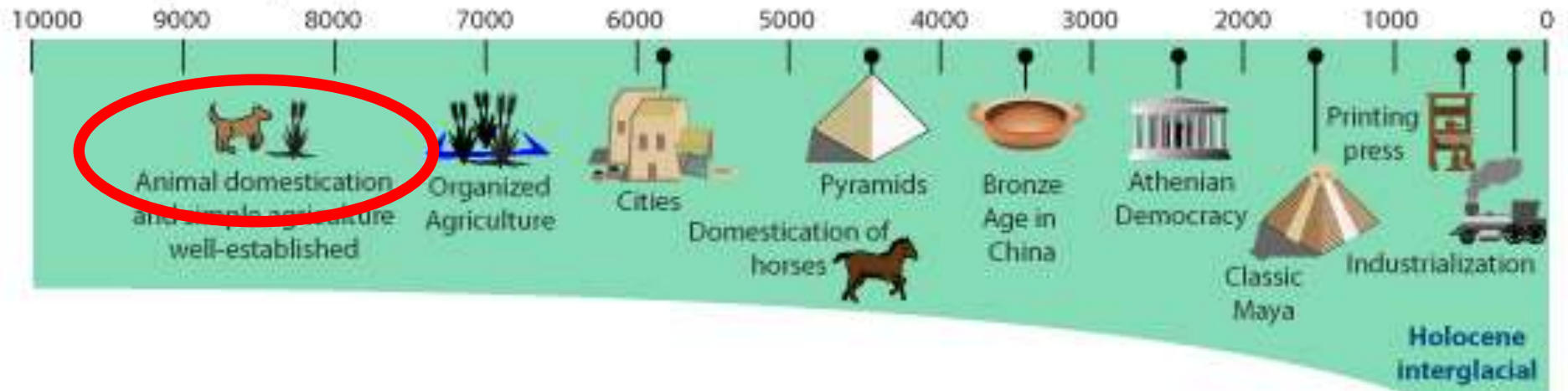
et le début de la **domestication**  
animale et de **l'agriculture**,



un niveau de complexité supplémentaire va s'ajouter  
avec le phénomène de **co-évolution gène-culture**

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



Exemple classique : la pratique culturellement transmise de **l'élevage** qui a favorisé la transmission d'allèles de gènes pour la **tolérance au lactose** dans certaines populations humaines.

par Jean-Claude Ameisen  
le samedi de 11h05 à 12h  
**sur les épaules de Darwin**

accueil  
écoutez le direct  
programmes  
émissions  
chroniques

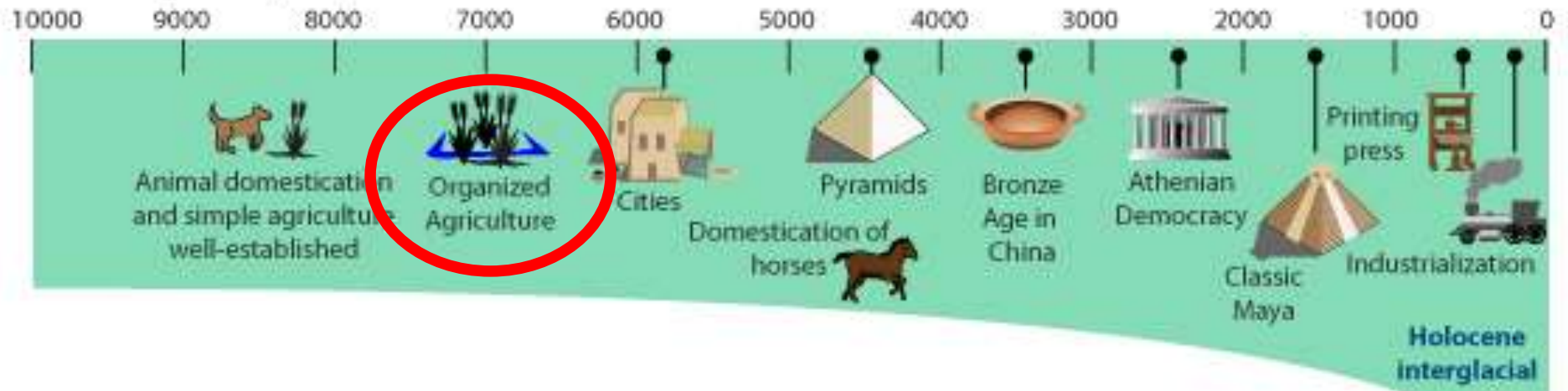
A la découverte de Neandertal en nous...  
<http://www.franceinter.fr/player/reecouter?play=879632>

Apprivoiser la nature  
<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-apprivoiser-la-nature>

Aux origines de l'agriculture  
<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-aux-origines-de-lagriculture>

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)

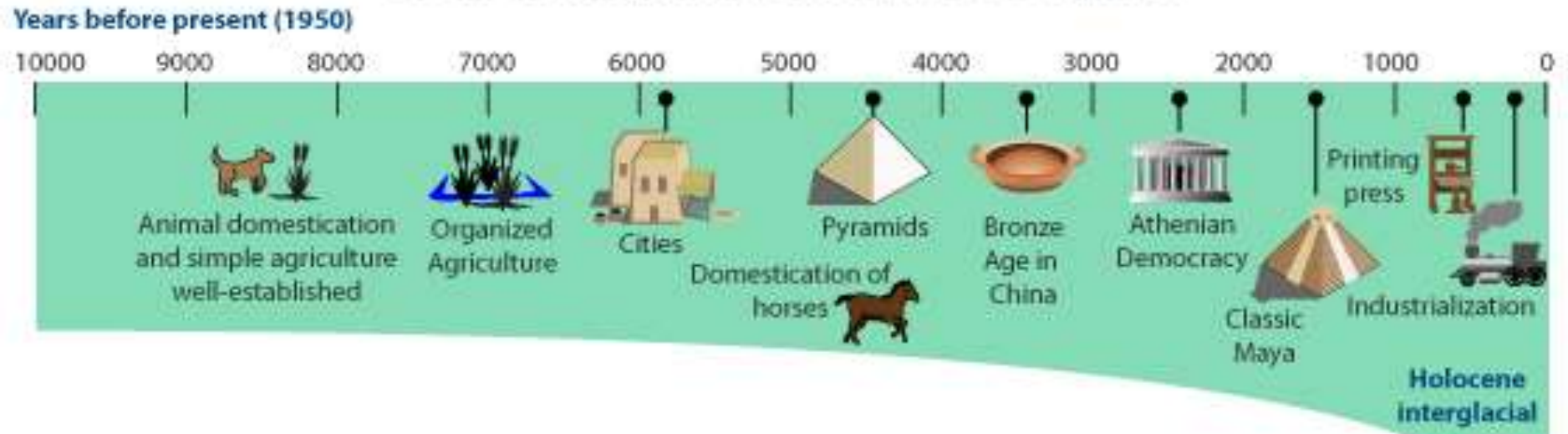


Exemple classique : la pratique culturellement transmise de **l'élevage** qui a favorisé la transmission d'allèles de gènes pour la **tolérance au lactose** dans certaines populations humaines.

Autre exemple : la culture du riz en Asie nécessite des efforts collectifs.

Une pression sélective semble avoir joué contre le gène de type 7R du récepteur à la dopamine, qui est une **variante connue pour favoriser l'impulsivité** que l'on retrouve beaucoup **moins** dans les cultures **collectivistes** asiatiques.

# Global Climate, Human Evolution and Civilization



Des centaines de gènes humains **évoluent probablement encore** en réponse à une pression sélective venant de pratiques culturelles...

“...biological and cultural evolution shape individual minds, and [...] individual minds shape culture and biology”

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](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_SJQvtlTASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0u) · **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\\_SJQvtlTASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0u](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_SJQvtlTASm9fa8aeKpNkTjeO5nzBrvp0i0n0u)

Fin de la petite parenthèse sur le « débat nature / culture »...

D'autres phénomènes cognitifs, comme **l'attention**,  
peuvent être réinterprétés sous l'angle du "**predictive processing**"...

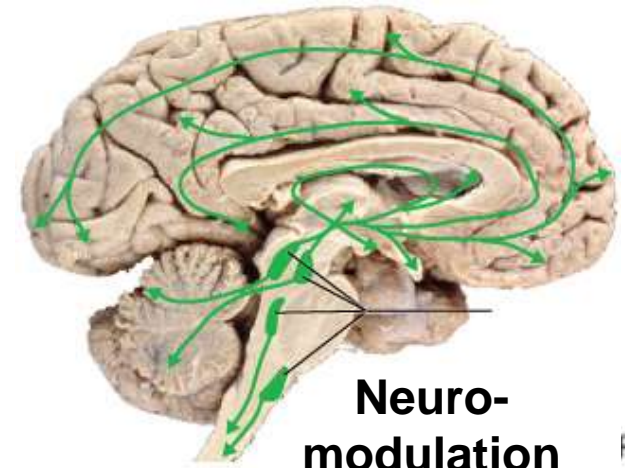
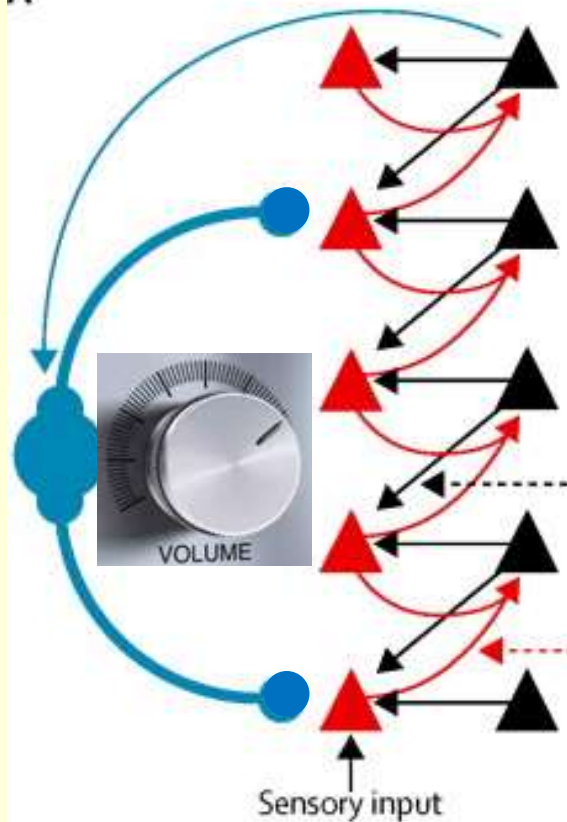
Dans cette perspective, **l'attention** est modélisée en tant que 'precision-weighting', c'est-à-dire un échantillonnage favorisant des données sensorielles de **haute précision**.

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**') des unités transmettant les erreurs de prédiction aux différents niveaux de la hiérarchie **en fonction de leur précision**.



A



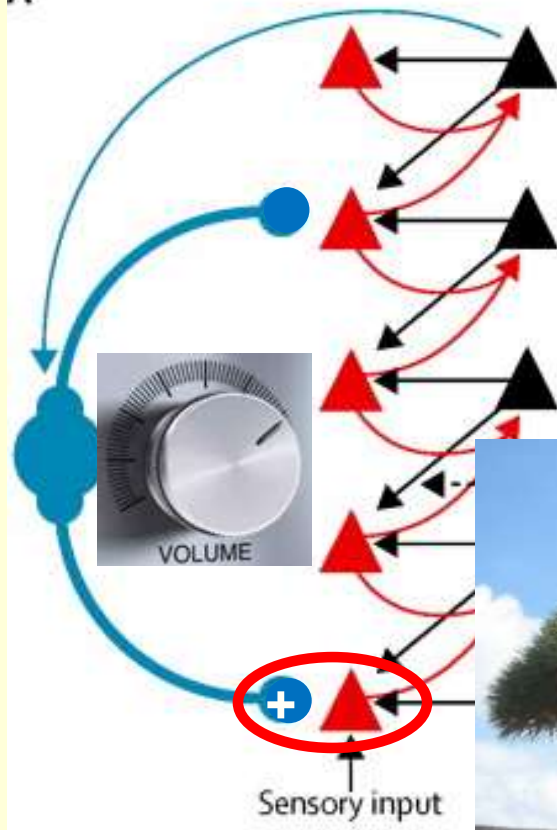
Neuro-modulation

Top-down or descending predictions

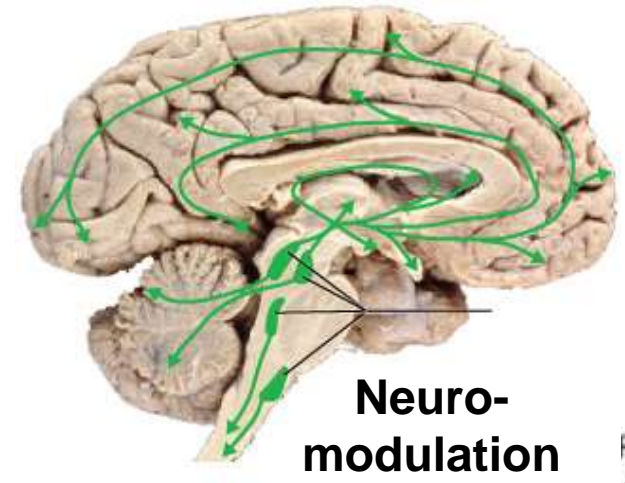
Bottom-up or ascending prediction error

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

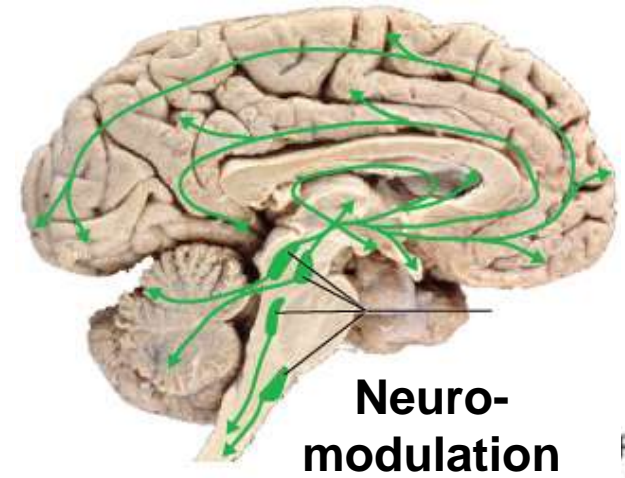
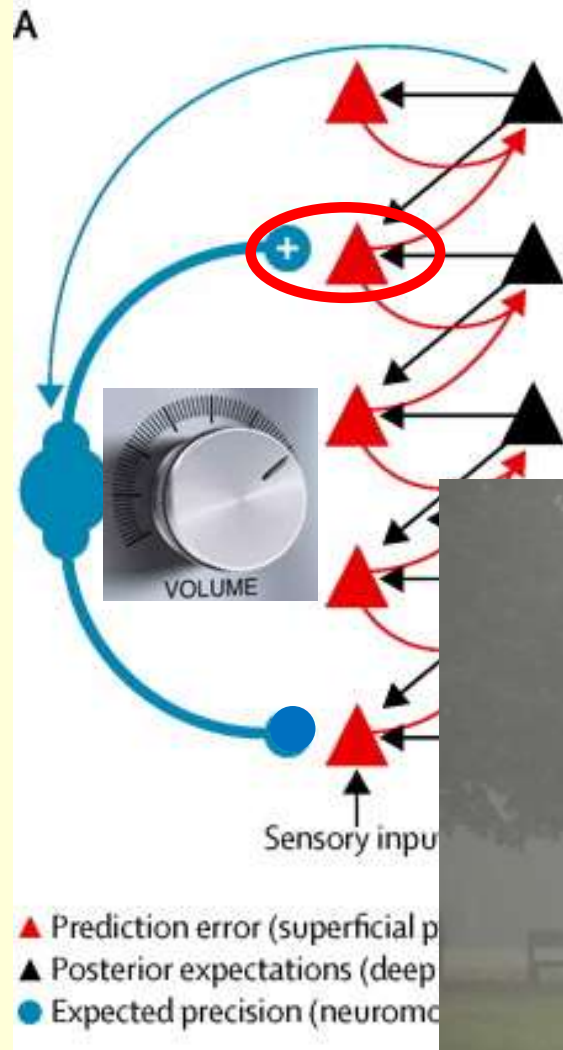
A



- ▲ Prediction error (superficial pyra
- ▲ Posterior expectations (deep pyr
- Expected precision (neuromodu



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



Donc très adaptatif pour donner du sens aux signaux **incomplets** ou **ambigus** – des situations qui sont la norme dans la vie de tous les jours.

On a donc tout un lot **d'attentes inconscientes** qui découlent des régularités statistiques du monde que l'on a rencontrés durant notre vie.

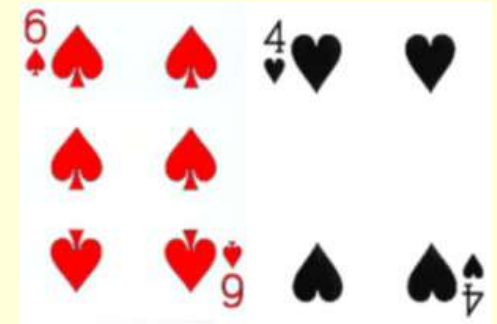
Et l'on voit le monde bien souvent en appliquant ces attentes malgré nous (les fameux "préjugés" ...).

L'expérience célèbre de J.S. Bruner et Leo Postman publiée en 1949 sous le titre **“On the Perception of Incongruity: A Paradigm”**

montre à quel point on est disposé à voir le réel à travers les catégories qu'on a déjà intériorisées.

Des cartes à jouer ont été présentées très brièvement à des sujets qui devaient les identifier.

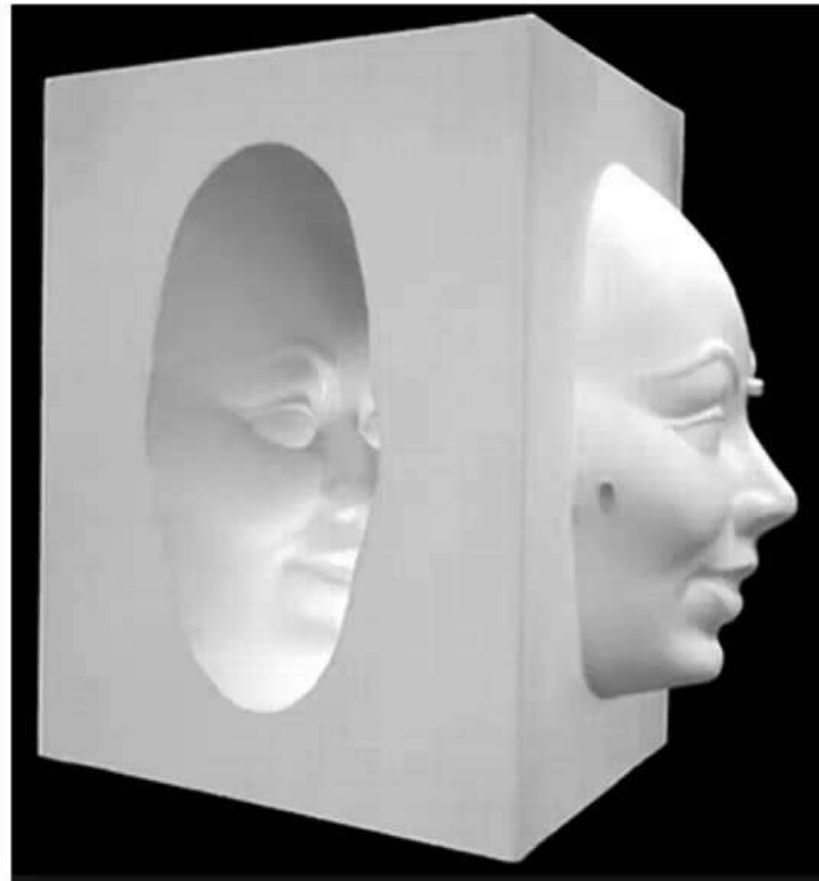
Mais certaines cartes **anormales** avaient été glissées dans le jeu !



Avec des temps de présentation très brefs, les sujets les ont identifié comme faisant partie de catégories déjà connues, prenant par exemple le quatre de cœur noir pour un quatre de pique noir. (des temps d'exposition plus long les faisaient toutefois douter...)

C'est comme si leurs catégories ou leurs « **modèles internes** » (ou encore leur « **expérience préalable** ») leur indiquait **qu'il ne pouvait exister que quatre types de cartes à jouer** – pique noir, trèfle noir, cœur rouge et carreau rouge – et qu'ils se convainquaient que ce qu'ils avait vu devait donc rentrer absolument dans l'une de ces 4 catégories.

**Notre expérience statistique des visages convexes est si grande dans nos vies de tous les jours qu'elle génère en nous une puissante interprétation convexe de ce visage pourtant concave.**



**The rotating mask illusion**  
<https://www.youtube.com/watch?v=sKa0eaKsdA0>

Ça veut dire qu'on devrait faire pas mal attention aux "régularités du monde" auxquelles on expose nos enfants...



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

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

- Henri Laborit

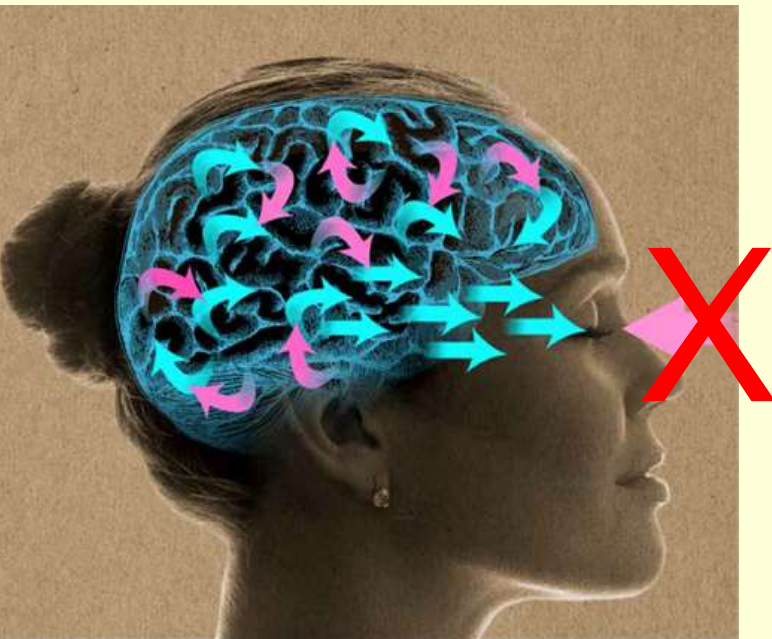




12 décembre 2016

« La cognition incarnée », séance 14 :

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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



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



A photograph of a wooden table with a puzzle. The puzzle features a cityscape with buildings and trees. 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**

