

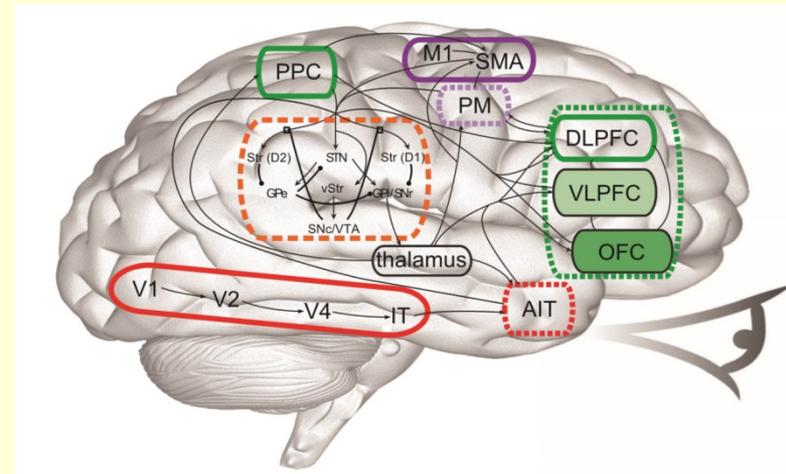
19 octobre

## Séance 7 : Architectures cognitives modulaires et duales : la quête de la plausibilité biologique

- Conceptions modulaires de l'esprit et théories à processus duaux
- Bases neurobiologiques possibles et architectures cognitives qui s'en inspirent
- Inhibition préfrontale

### 2e partie par Guillaume Beaulac

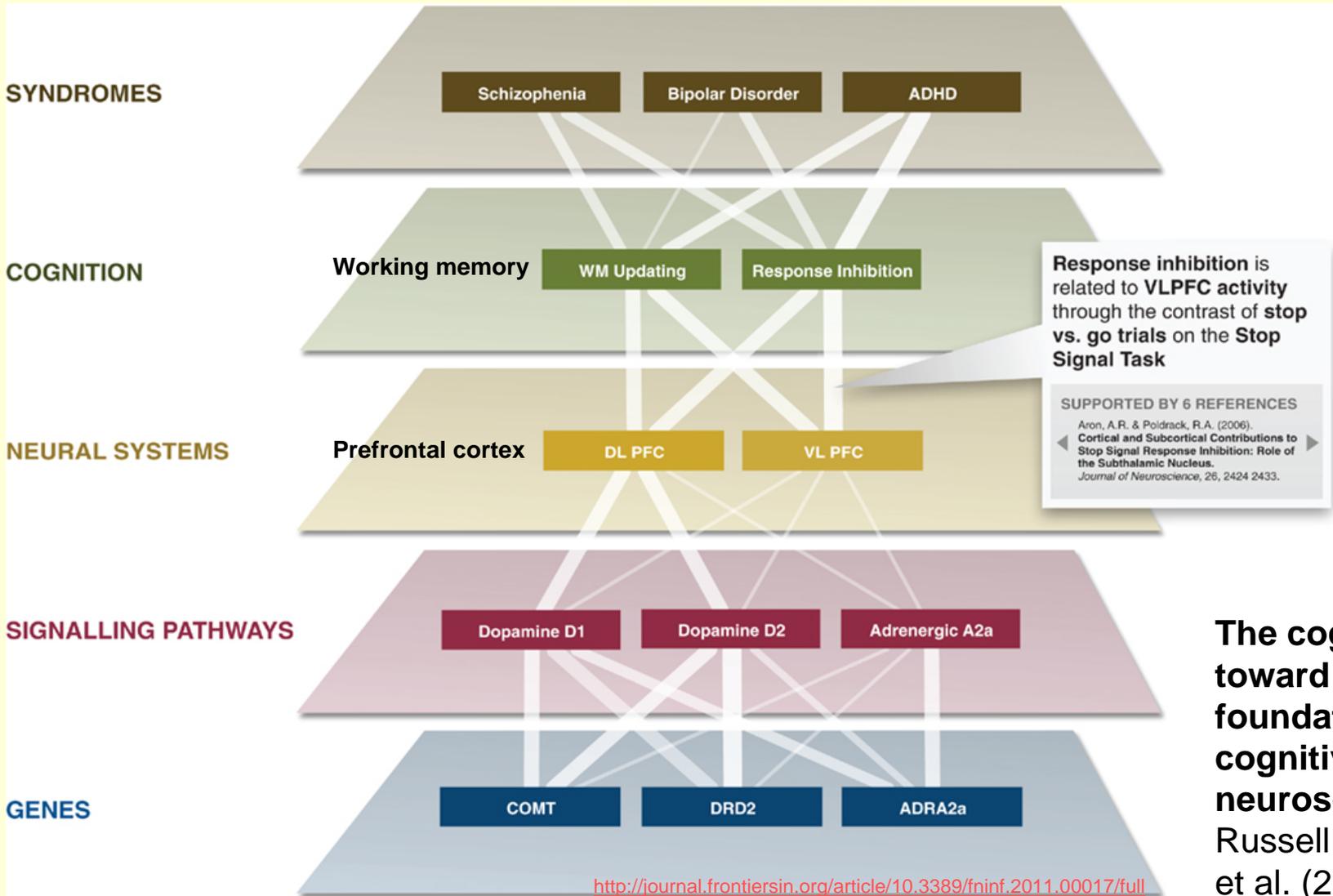
- Panorama des systèmes duaux
- Classification, critiques et bases neurobiologiques possibles des dual systems
- Le « debiasing » des biais cognitifs
- Pensée critique et pédagogie



Des parties de cette séance sont fortement inspiré du cours ISC8001 donné par Pierre Poirier et Othalia Larue à l'automne 2015 et ayant pour titre : **Architectures cognitives et modélisation de l'esprit**

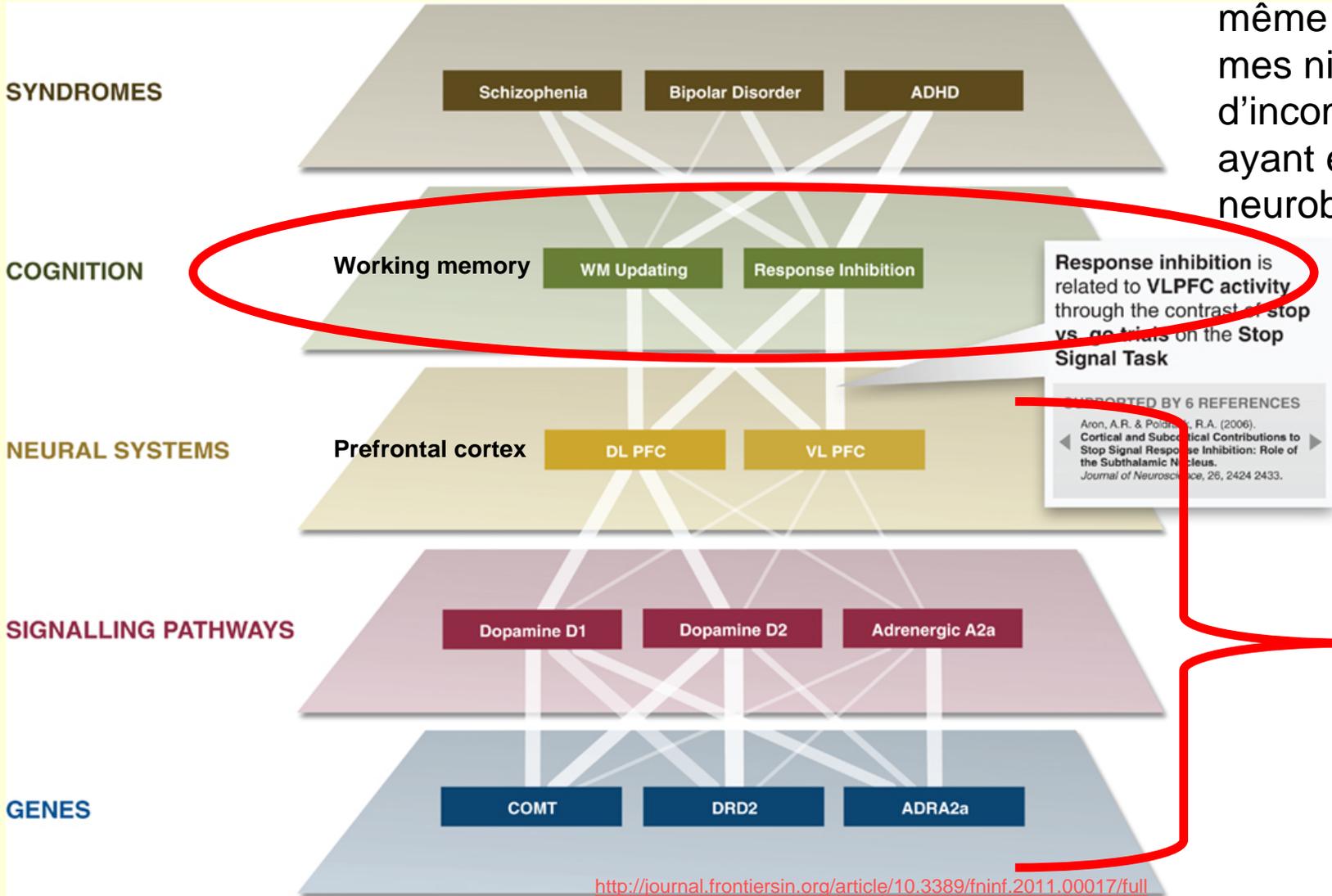
Je les remercie de m'avoir autorisé à utiliser certaines de leurs diapos.

On continue de s'élever dans les niveaux, pour aller plus aujourd'hui vers des **modèles plus fonctionnels des processus cognitifs**.



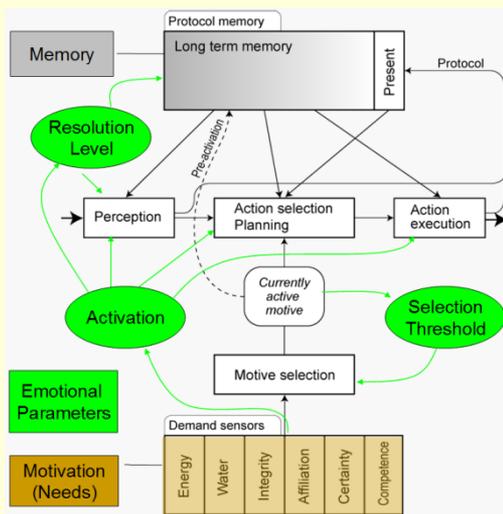
On continue de s'élever dans les niveaux, pour aller plus aujourd'hui vers des **modèles plus fonctionnels des processus cognitifs**.

On s'élève donc en même temps dans mes niveaux d'incompétences, ayant été formé en neurobiologie...



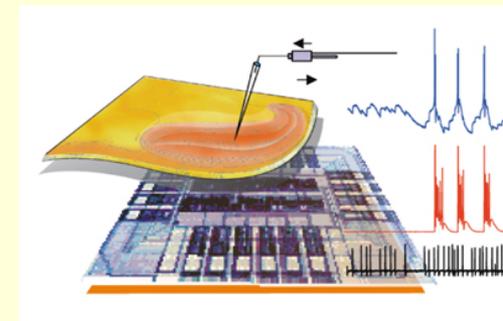
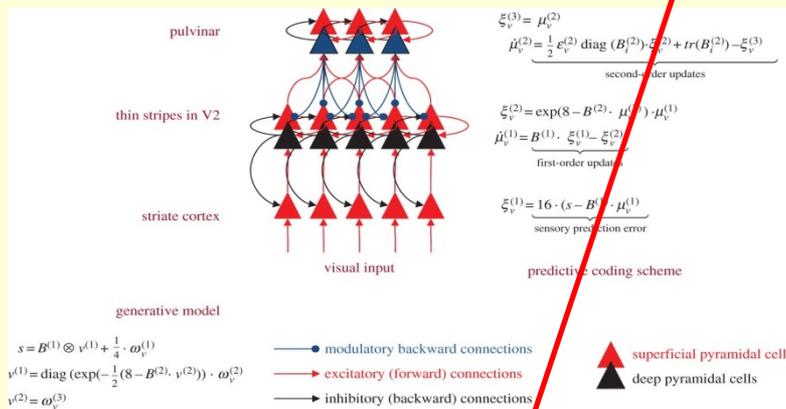
On se rappelle que pour expliquer l'action, la perception et la cognition en général, on distingue souvent les niveaux de description :

fonctionnel,



Aujourd'hui

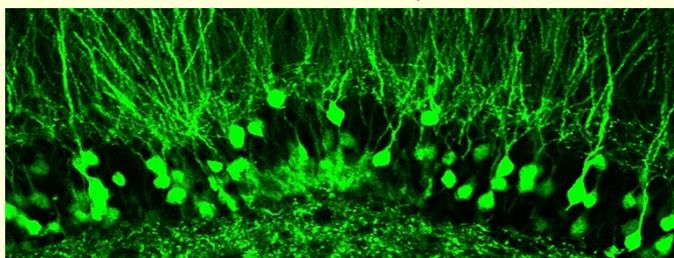
computationnel  
(algorithmes,  
architecture  
cognitive...)



Neurosciences  
computationnelles

Jusqu'ici  
dans ce  
cours

et biologique

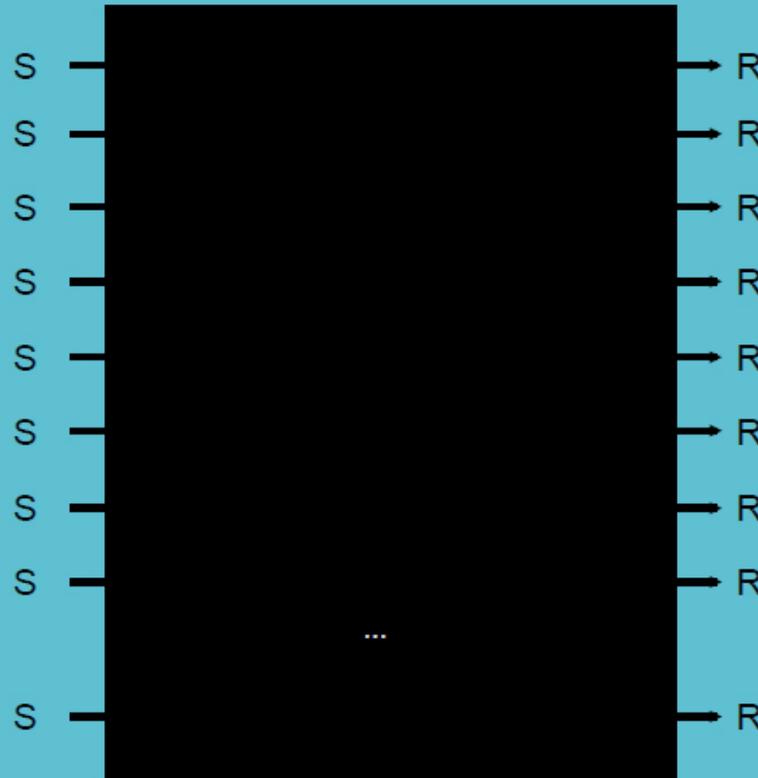


## Petit rappel de l'histoire des modèles cognitifs



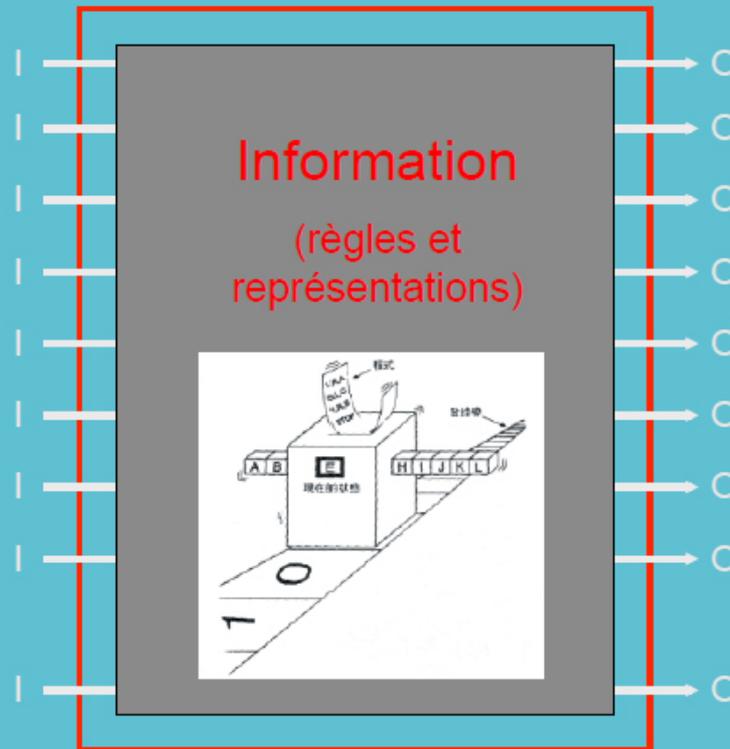
[ pour plus de détails, voir séance 1 ]

## L'« esprit » behavioriste





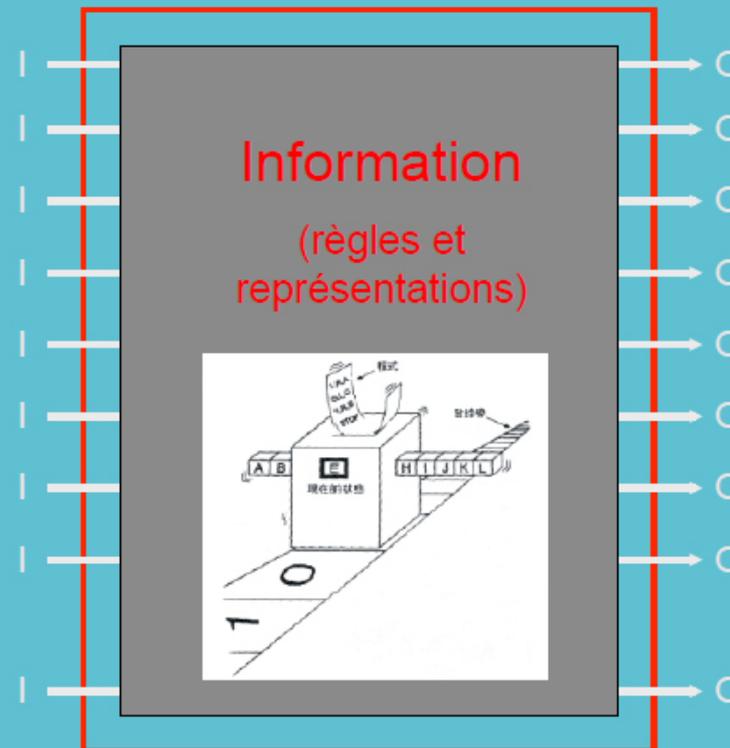
L'architecture cognitive chomskyenne (et cognitiviste de la première heure)



Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue



L'architecture cognitive chomskyenne (et cognitive de la première heure)

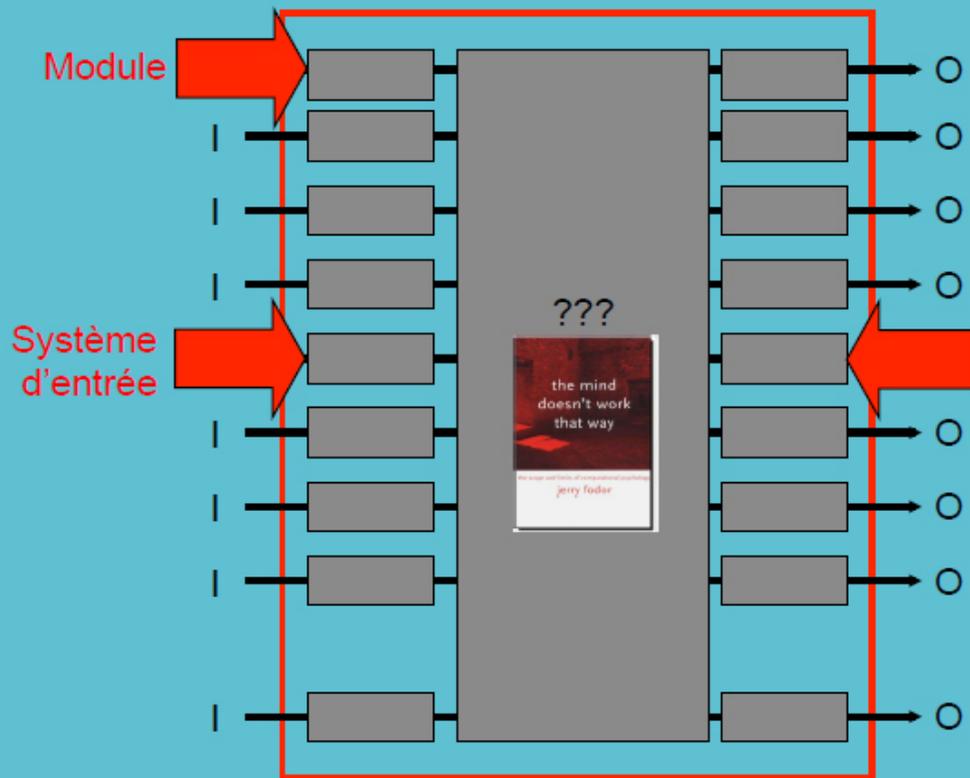


Ces représentations et programmes sont :

- Inférentiels
- Non-cloisonnés

## Module fodorien : (contraintes biologiques faibles)

### L'architecture comme facultés verticales



- Les modules sont spécifiques à un domaine.
- L'accès central aux représentations utilisées par le module est limité.
- Les modules sont rapides.
- Les modules sont cognitivement cloisonnés.
- L'output des modules est peu profond.
- Les modules possèdent une architecture neurologique fixe.

## Quelques détails sur certaines caractéristiques des modules...

Les modules sont rapides.

- Parce qu'ils n'ont pas accès aux représentations du système central (**encapsulation** informationnelle; voir ci-dessous), et qu'ils ne peuvent effectuer leurs traitements que sur la base des informations contenues dans le module, les modules peuvent produire rapidement une réponse.
- Avantage évolutionnaire

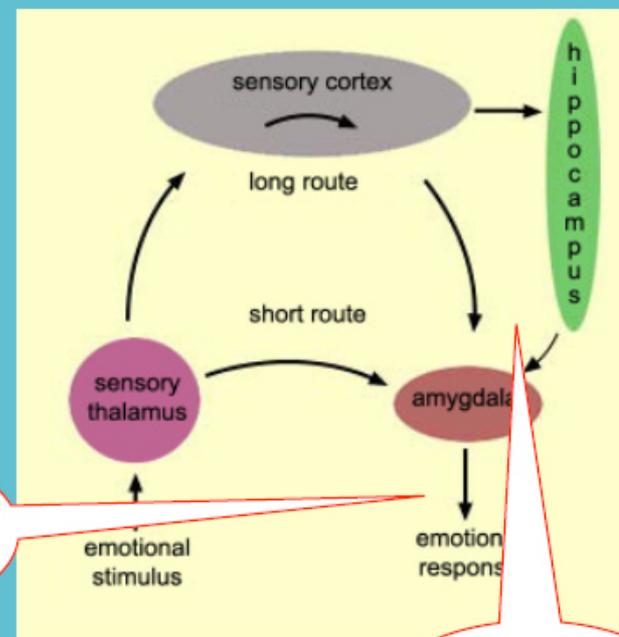
Les modules sont cognitivement cloisonnés

- Pour effectuer leur traitement d'information, chaque module dispose de sa propre base de données et il n'a accès à aucune autre information.

**→ Peu compatible avec les idées d'espace de travail neuronal, de représentation modale, etc...**

L'output des modules est peu profond.

- La représentation qui sort du module n'est pas chargée théoriquement, sémantiquement ou autobiographiquement.
- Ceci peut-être vu comme une conséquence de l'encapsulation



Ah! Une bibitte!

Ah... Ma Theraphosidae de compagnie...

L'action d'un module est obligatoire

- Le traitement de l'information par un module n'est pas sous le contrôle de la volonté ou des décisions conscientes de l'agent, mais sous celui des stimuli de l'environnement. Sur ce point, ils se comportent comme des réflexes ( l'exemple des illusions d'optique qu'on ne peut pas ne pas voir).

Les modules sont spécifiques à un domaine qui s'organisent selon différentes « logiques » ou différentes structures.

Et un module est « couplé », en quelque sorte, à cette logique ou cette structure. Le module est construit pour identifier, analyser et traiter cette structure et aucune autre.

- Ex.: l'apprentissage du langage et la grammaire universelle
  - Ex.: les mathématiques et la « bosse de maths »
- Etc.

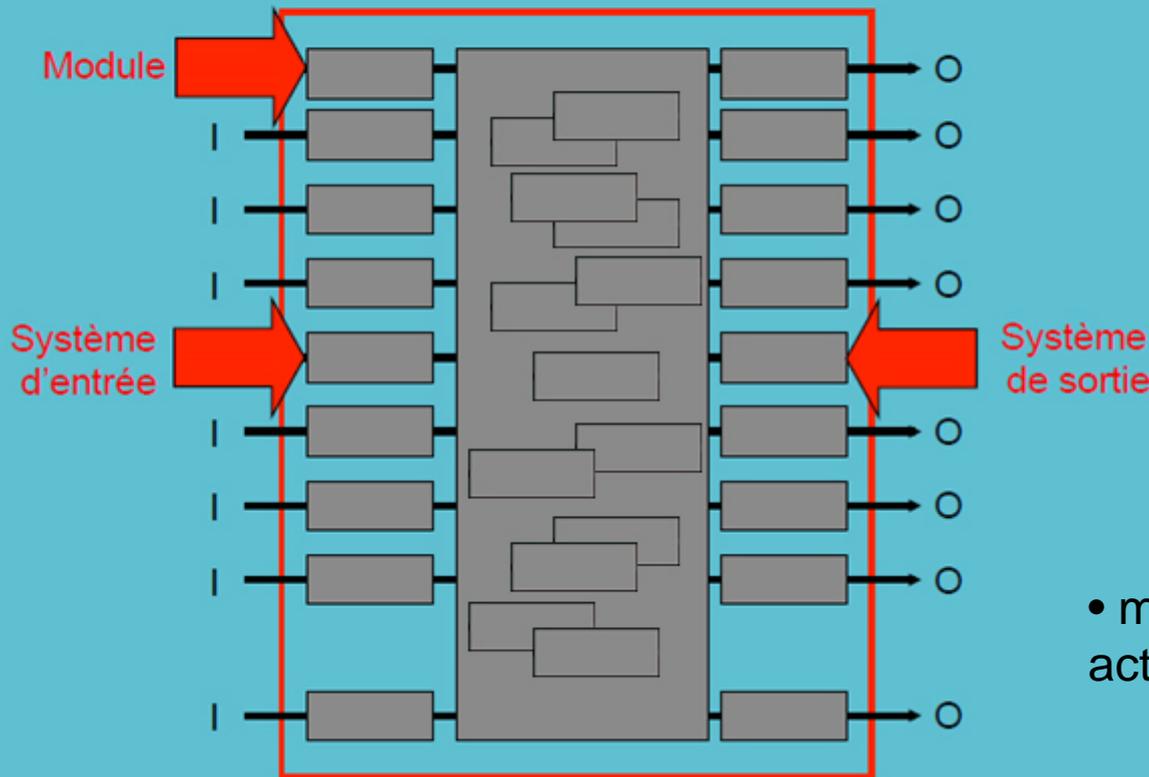
**→ Ressemble à une conception d'aires très spécialisées du cerveau**  
(dans l'air du temps à cette époque...)

“The final thesis that comprises [massive modularity] mentions that modules are found not merely at the periphery of the mind **but also in the central regions** responsible for such higher cognitive capacities as reasoning and decision-making.”

<http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780195309799.001.0001/oxfordhb-9780195309799-e-4>

## Modularité massive

- Les modules sont des adaptation (au sens darwinien) pour solutionner cognitivement des problèmes récurrents dans notre environnement



- mais notre environnement actuel peut avoir changé...

**La modularité massive** est un **affaiblissement / élargissement** de la notion fodorienne de module :

“[If] a thesis of massive mental modularity is to be remotely plausible, then by ‘module’ we cannot mean ‘Fodor-module’.

In particular, the **properties** of having proprietary transducers, shallow outputs, fast processing, significant innateness or innate channeling, and encapsulation **will very likely have to be struck out.**

That leaves us with the idea that **modules might be isolable function-specific processing systems**, all or almost all of which are domain specific (in the content [roughly Fodorian] sense), whose operations aren't subject to the will, which are associated with specific neural structures (albeit sometimes spatially dispersed ones), and whose internal operations may be inaccessible to the remainder of cognition.”

(Carruthers, 2006, p. 12)

Dans « **Modularité et psychologie évolutionniste** » (2009)

In *Darwin en tête! L'évolution et les sciences cognitives*, J.-B. Van der Henst et H. Mercier (éd.). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble, pp. 275-308.

Luc Faucher et Pierre Poirier écrivent :

« [...] peut-être vaudrait-il mieux que les partisans de la psychologie évolutionniste cessent tout simplement de parler de modularité massive, mais plutôt d'un **esprit massivement constitué de structures adaptatives**, celles-ci pouvant tantôt prendre la forme de bases de données dédiées, tantôt celle de biais développementaux ou de mécanismes encapsulés, d'heuristiques, de mécanismes génériques, etc.

C'est dire que, pour la psychologie évolutionniste, comprendre une structure comme un « module » **n'implique pas grand-chose quant à la forme prise par celle-ci**, laquelle dépend de l'exécution de la fonction pour laquelle la structure a été conçue. »

**...n'implique pas grand-chose quant à la forme prise par celle-ci...**

Or dans la perspective de la cognition « incarnée »,  
**cette forme va nous intéresser...**

**On se souviendra que...**

Le cognitivisme voulait aussi simuler les performances d'un expert humain adulte.

Mais comme il ne réussissait bien qu'à résoudre que des tâches plus circonscrites et locales (l'exemple du jeu d'échecs...),



## On se souviendra que...

Le cognitivisme voulait aussi simuler les performances d'un expert humain adulte.

Mais comme il ne réussissait bien qu'à résoudre que des tâches plus circonscrites et locales (l'exemple du jeu d'échecs...),

une conviction s'est développée : la forme **d'intelligence** la plus fondamentale n'est peut-être pas celle de l'expert, mais bien celle d'un... **bébé** !

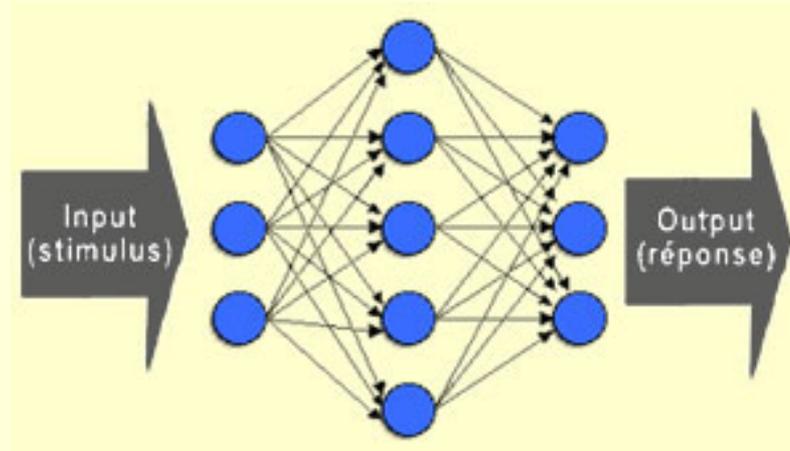
Car un bébé peut acquérir le langage et constituer des objets signifiants à partir de ce qui semble être une masse informe de stimuli.

Il fallait donc chercher plutôt à simuler l'intelligence du bébé qui apprend.



## Connexionnisme

Commence à remettre en question l'orthodoxie du cognitivisme au début des années 1980.

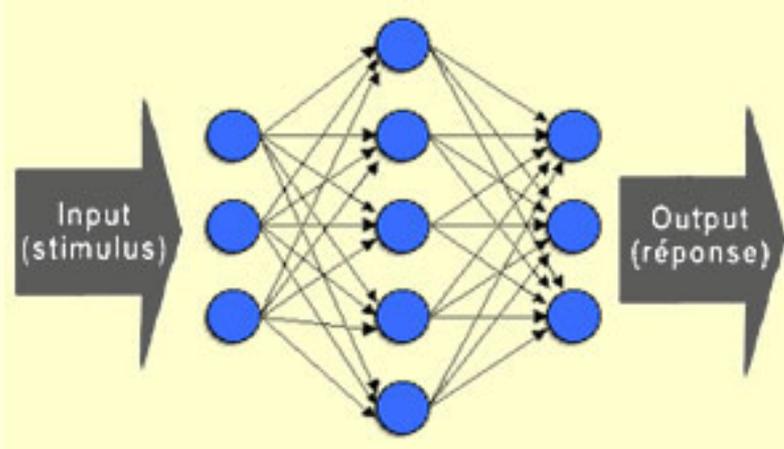


Il prend en compte le **cerveau** et essaie de comprendre la cognition avec des réseaux de neurones.

Plus une affaire **d'entraînement** que de programmation.

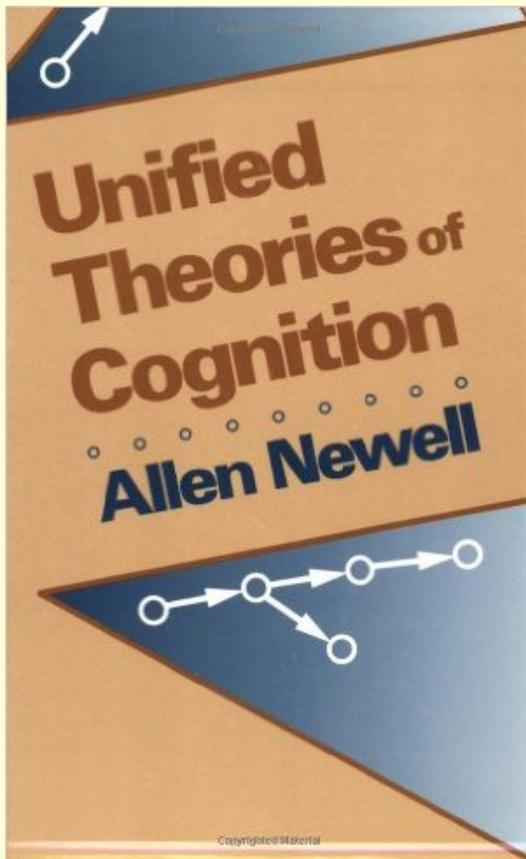
La cognition émerge d'états globaux dans un réseau de composants simples.

Mais le connexionnisme amenait un peu toutes les tâches cognitives à être vues comme des tâches de **perception** ou de **catégorisations** (ce en quoi cette approche excellait.)



Cela laissait de larges pans des comportements humains avec des explications peu satisfaisantes (prise de décision, etc.)

Alors on s'est mis à essayer de construire des « **architectures cognitives** » complètes du cerveau tout en continuant de tenir compte de la plausibilité biologique de ses composantes.

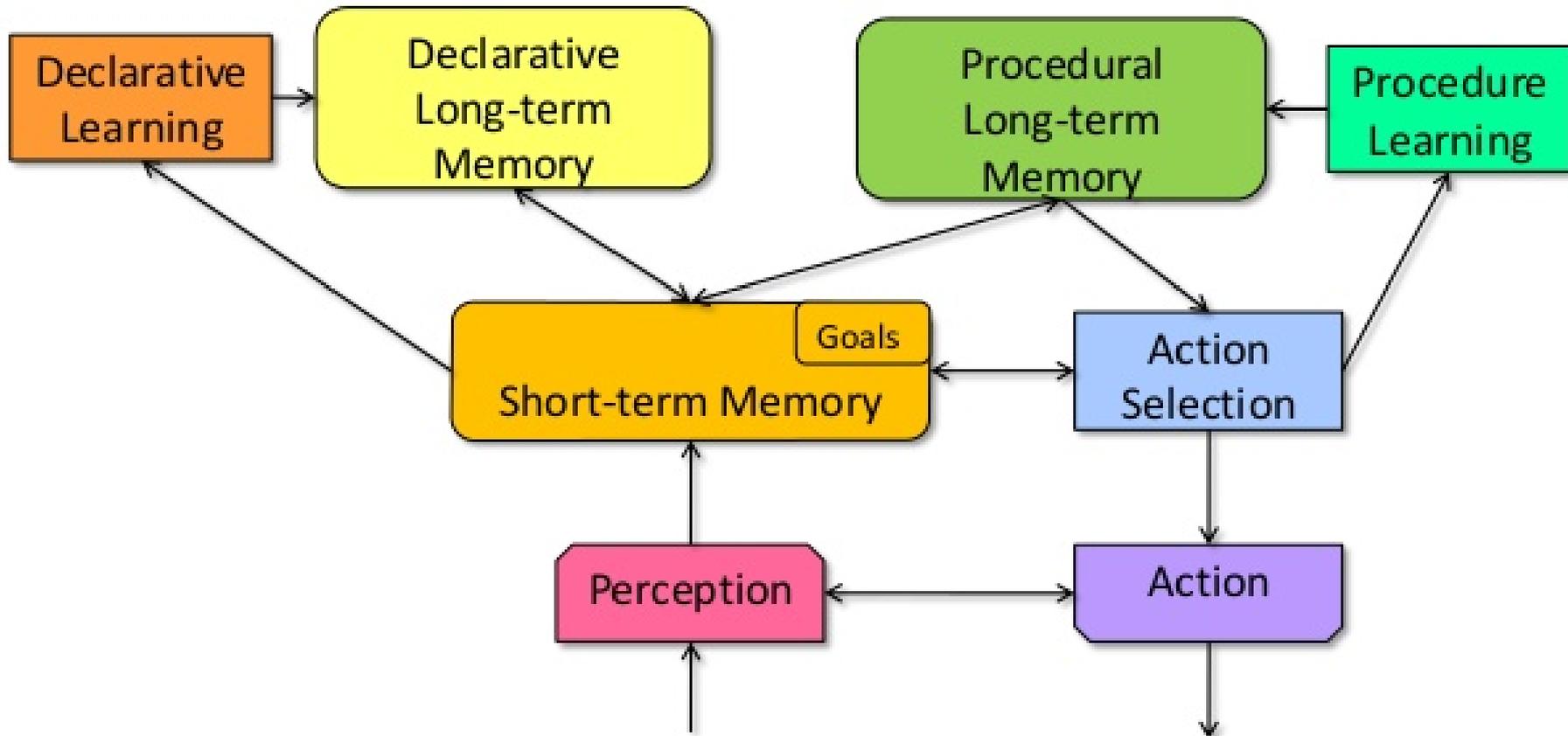


Ouvrage publié en **1990** par **Allen Newell** qui appelle à un ensemble de considérations générales pour les modèles cognitifs capables de rendre compte de toute la cognition (une théorie unifiée de la cognition).

Ce qu'on appelle une **architecture cognitive** est donc un modèle computationnel dont la structure est partiellement ou complètement inspirée des systèmes cognitifs naturels des animaux (incluant les humains).

C'est l'idée d'un système global unique comprenant un **ensemble de mécanismes travaillant de concert** pour réaliser la grande variété des comportements cognitifs humains (résolution de problème, prise de décisions, gestes automatisés, mémoire, apprentissage, etc.).

# Common Structures of many Cognitive Architectures



**La quête de plausibilité biologique** de ces architectures cognitives va être de plus en plus au cœur de ces modèles !

Rappel de la séance 1 :

Comme le dit Terrence Stewart à propos de **la pertinence de s'intéresser au fonctionnement du cerveau humain** pour comprendre la cognition humaine :

<http://andara.uqam.ca/Panopto/Pages/Viewer.aspx?id=677a76fb-db84-4d00-b825-5c1406771e33>

### **Avantage 1 : “More predictions”**

Si vous avez une théorie sur le fonctionnement de la cognition humaine et qui prédit certains comportements, c'est bien...

Mais si votre théorie s'inspire aussi du cerveau et qu'elle peut expliquer des choses comme des patterns d'activité nerveuse, l'effet de lésions cérébrales, l'effet de certaines drogues, le type de fMRI observé, etc, alors c'est une meilleure théorie parce qu'elle explique plus de données. (ça, ce sont les raisons standards)

### **Avantage 2 : “Different algorithms”**

Pour lui, la meilleure raison est toutefois celle-ci : quand on crée des modèles sur la cognition sans tenir compte du cerveau, on a peu de contraintes. Et surtout, on a sans doute tendance à favoriser les algorithmes qui sont les plus faciles à implémenter sur les ordinateurs !

À la place, chercher d'abord quels algorithmes s'implémenteraient bien sur des réseaux de neurones, et ensuite trouver les logiciels pour implémenter ça sur les ordinateurs...

## La quête de plausibilité biologique dans les architectures cognitives

- Un programme de recherche
- Un journal et une conférence annuelle :
- Une recension des architectures cognitives actuelles: <http://bicasociety.org/cogarch/>



On reconnaît que les systèmes biologiques intelligents (animaux, incluant les humains) ont plusieurs qualités qui manquent aux systèmes d'intelligences artificielles (leur finalité n'est pas seulement d'interagir avec un environnement prédéterminé ou de résoudre des problèmes logiques).

On traverse une période historique où les neurosciences apportent une quantité impressionnantes de données sur le fonctionnement du cerveau.

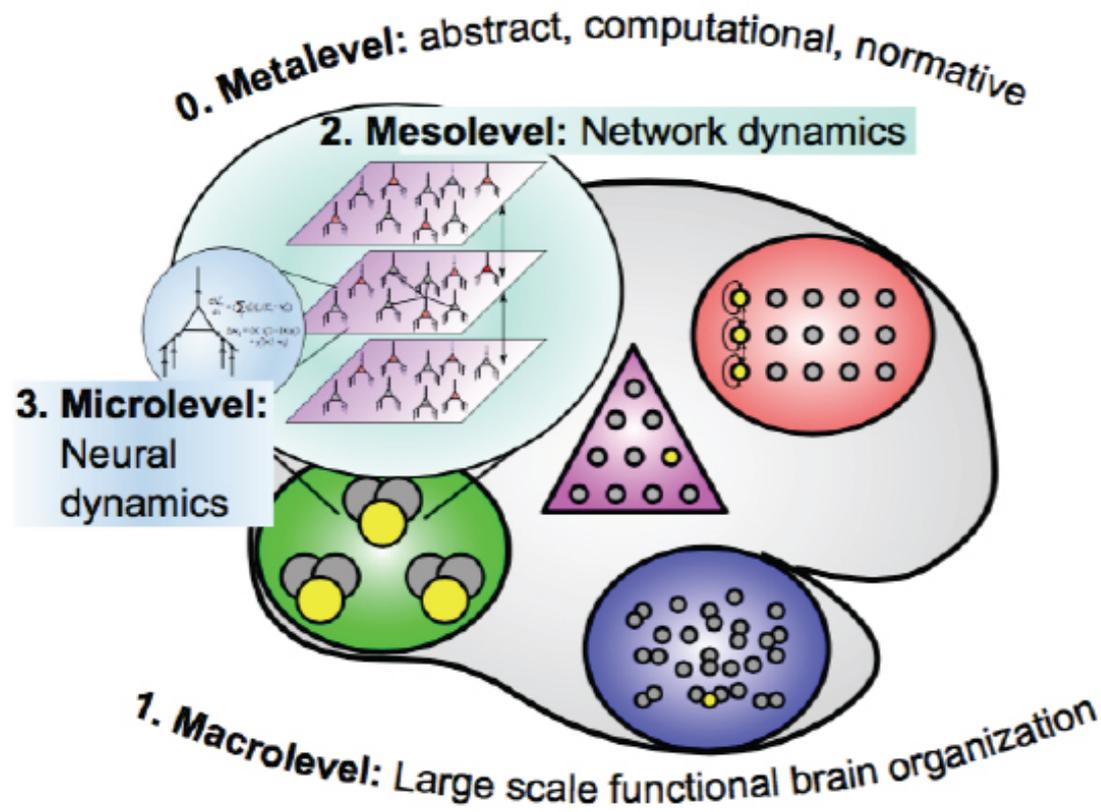
Au même moment, la puissance computationnelle des ordinateurs atteint des sommets inégalés, générant une explosion d'applications (ex.: « deep learning » avec la reconnaissance vocale Siri).

On va donc inclure des contraintes biologiques (fortes) dans les modèles informatique, i.e. des mécanismes cognitifs et des mécanismes d'apprentissage qui s'inspirent des systèmes naturels.

Et ici, Pierre Poirier et Othalia Larue, dans leur cours de l'an dernier sur les architectures cognitives, distinguent deux approches dans la construction de ces architectures : **bottom up** et **top down**.

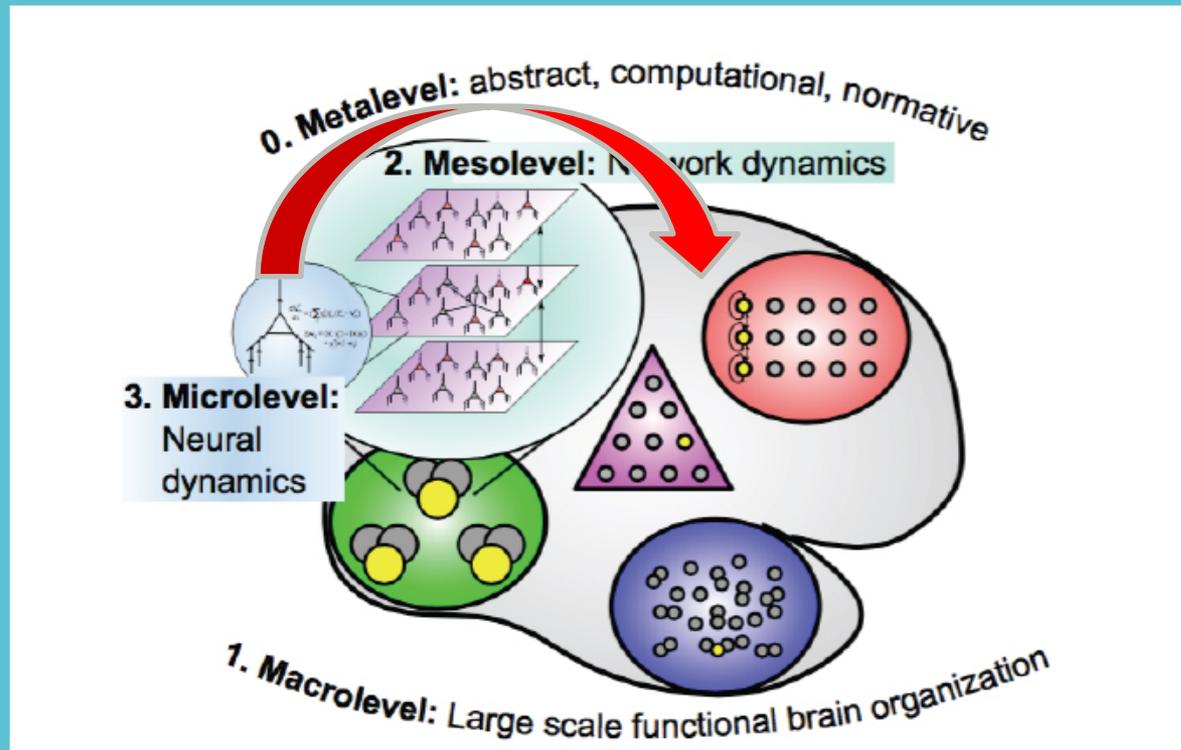
Car il faut rappeler que dans ces architectures cognitives, on peut distinguer

## Quatre niveaux d'analyses



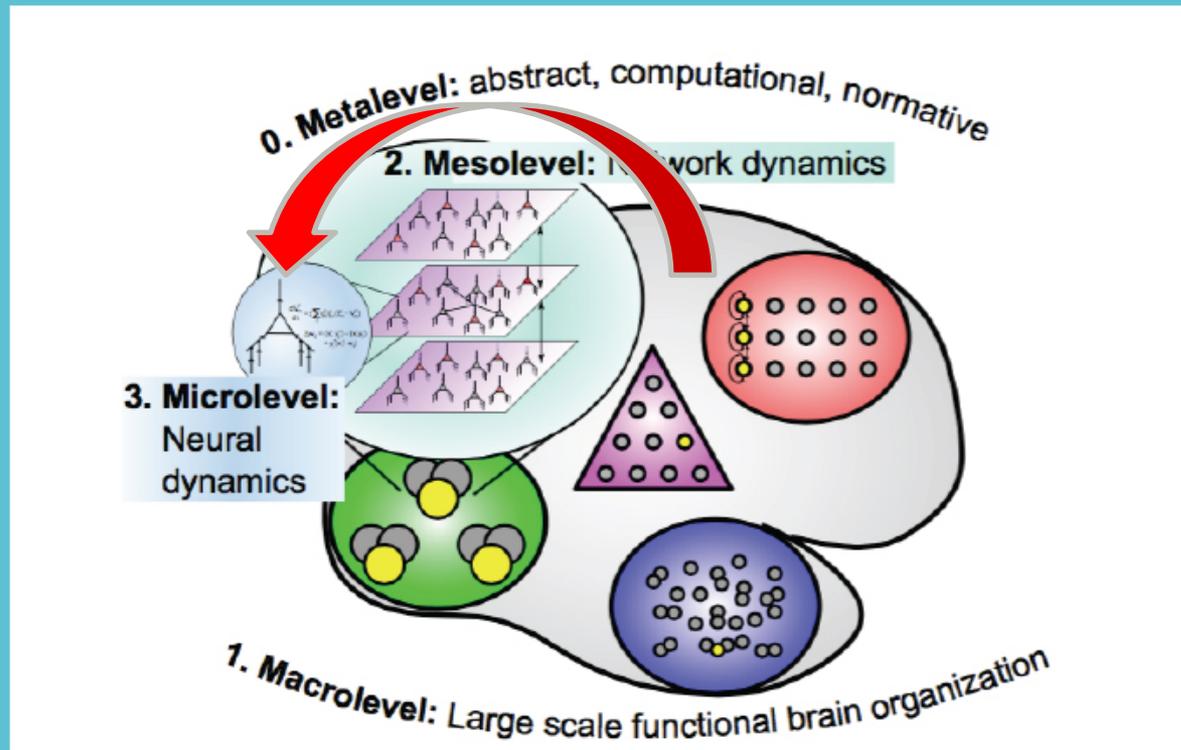
Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

# Quatre niveaux d'analyses



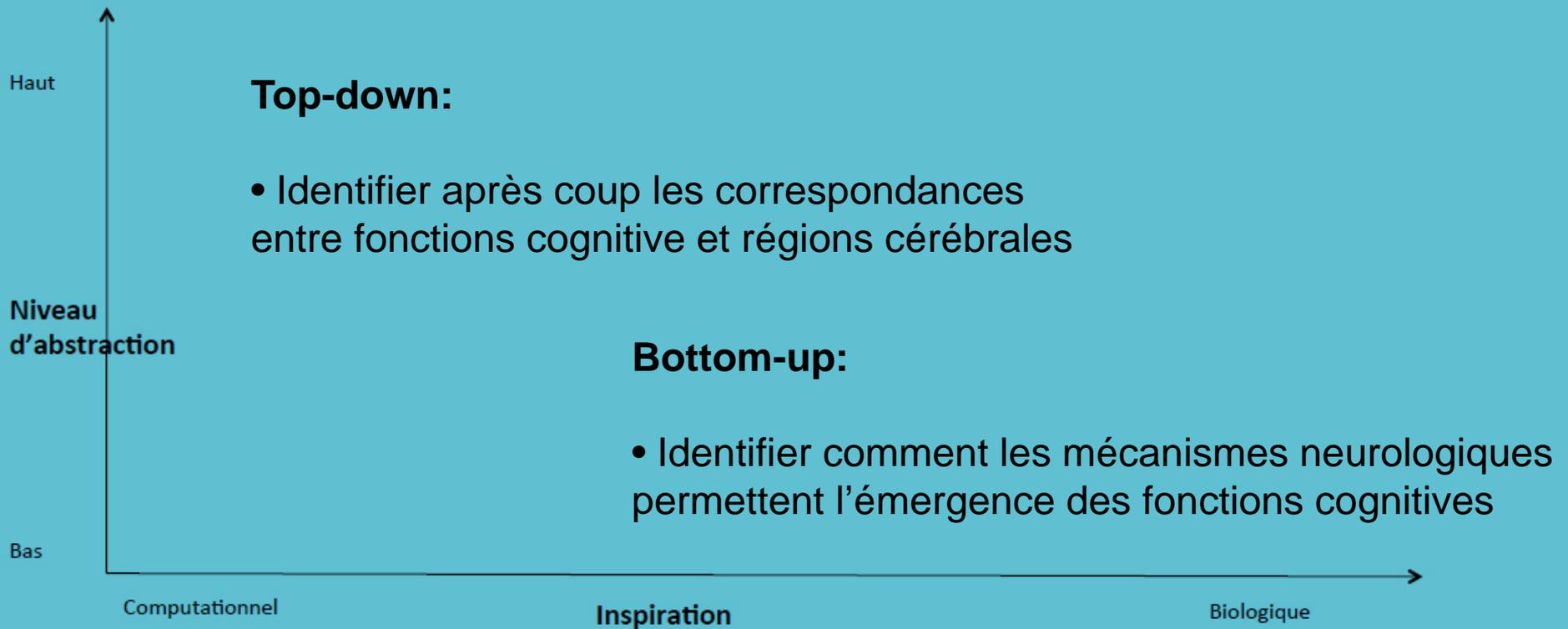
Les approches **bottom up** vont donc élaborer leurs architectures dans le sens ascendant (micro → meso → macro)...

# Quatre niveaux d'analyses

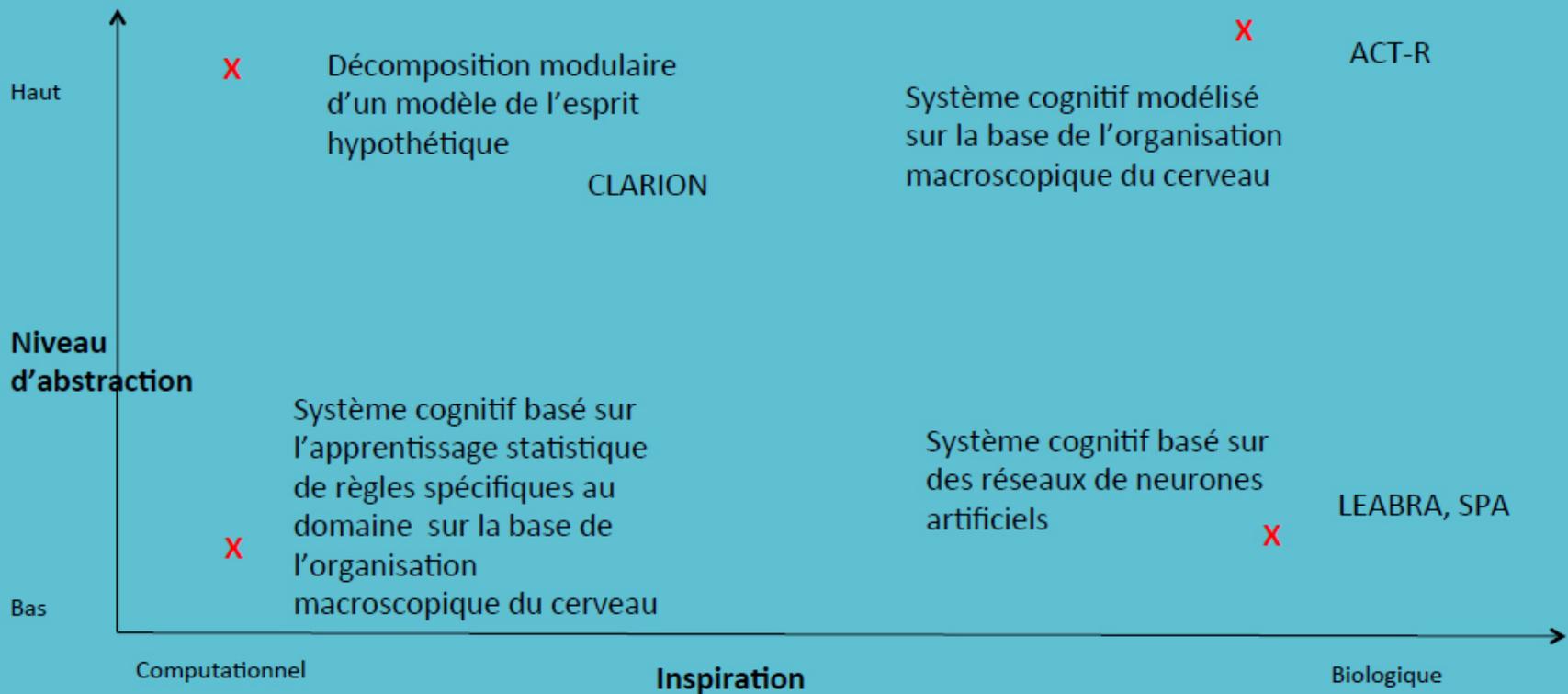


...alors que les architectures suivant une approche **top down** vont considérer en premier le niveau macro, puis le meso, et enfin le micro.

# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)



# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)



Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

# Different Goals of Cognitive Architecture Research

## Biological modeling:

- Model what we know about the brain: neurons, neural circuits, ...
- Predict neural activity and cognitive behavior
- Examples: LEABRA, SPAUN

## Psychological modeling:

- Model human performance in a wide range of cognitive tasks
- Predict human reaction time and error rates for psychological tasks
- Examples: ACT-R, EPIC, CLARION, LIDA, CHREST, 4CAPS

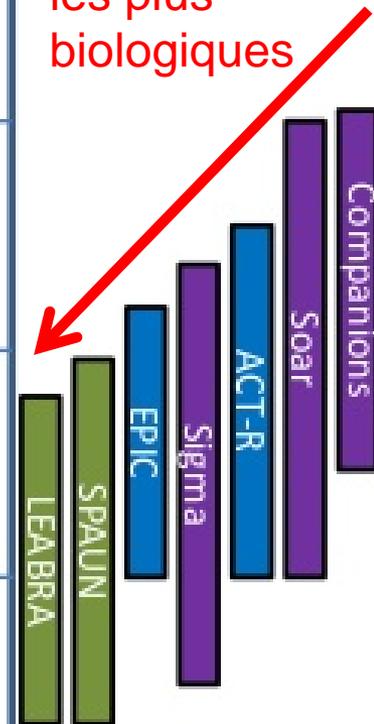
## AI Functionality:

- Toward human-level intelligence inspired by psychology and biology
- Emphasizes more complex cognitive processing
- Examples: Soar, Companions, Sigma, ICARUS, Polyscheme, CogPrime

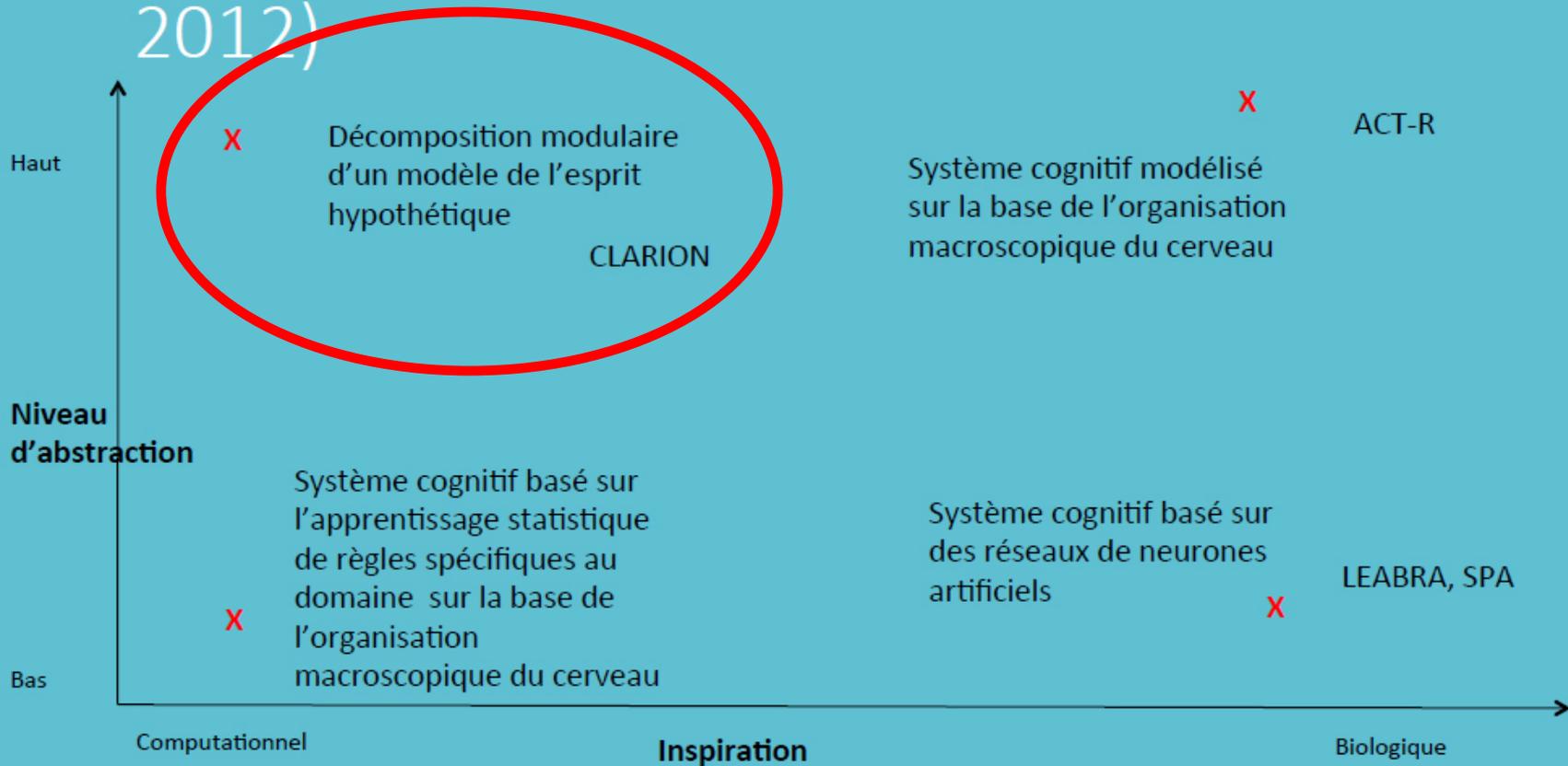
# Newell's Time Scale of Human Action

<u>Scale (sec)</u>	<u>Time Units</u>	<u>System</u>	<u>Band</u>
$10^7$	months		Social
$10^6$	weeks		
$10^5$	days		
$10^4$	hours	Task	Rational
$10^3$	10 min	Task	
$10^2$	minutes	Task	
$10^1$	10 sec	Unit task	Cognitive
$10^0$	1 sec	Operations	
$10^{-1}$	100 ms	Deliberate act	
$10^{-2}$	10 ms	Neural Circuit	Biological
$10^{-3}$	1 ms	Neuron	
$10^{-4}$	100 $\mu$ s	Organelle	

On va en présenter certains en allant vers les plus biologiques



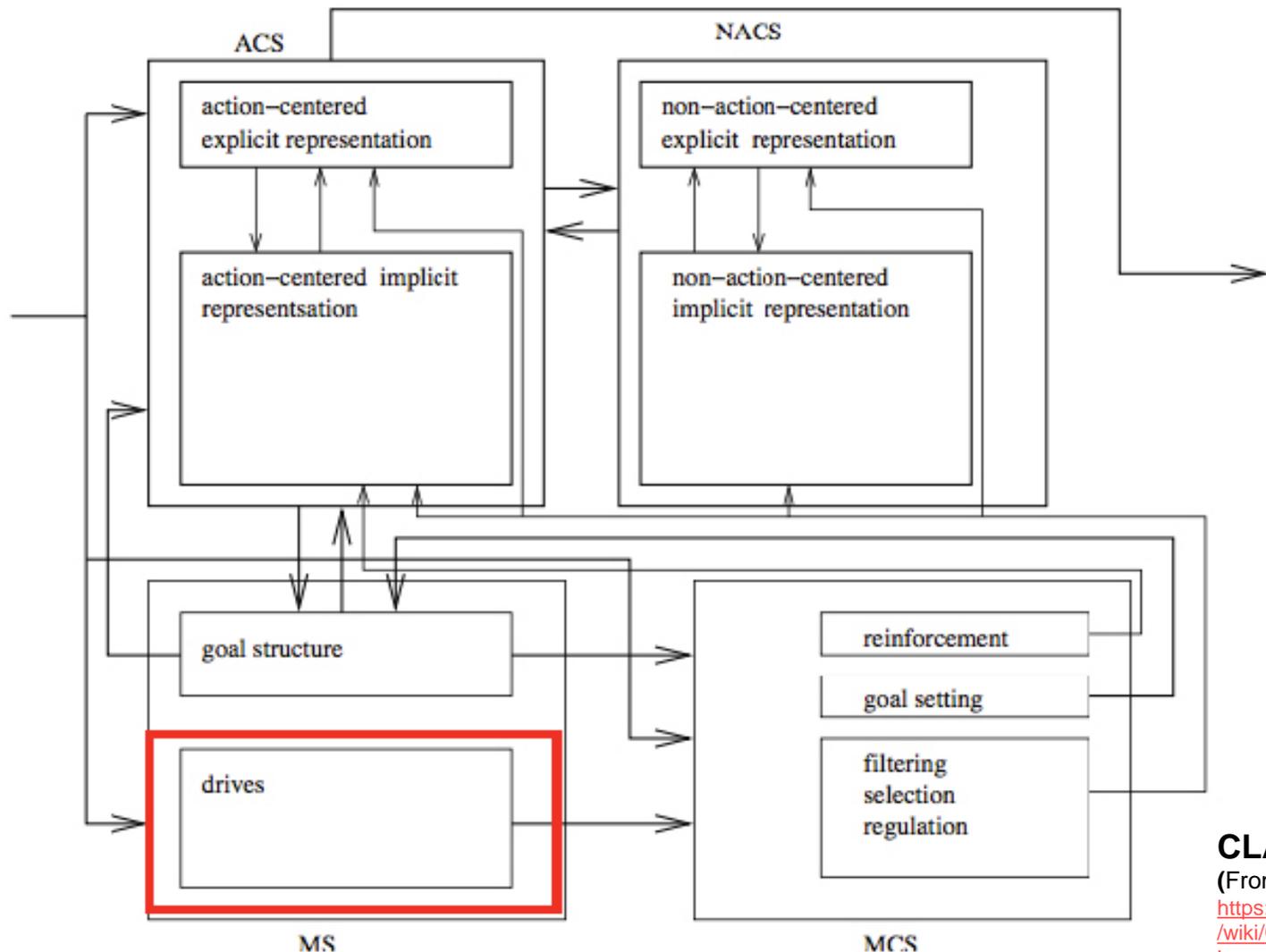
# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)



Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

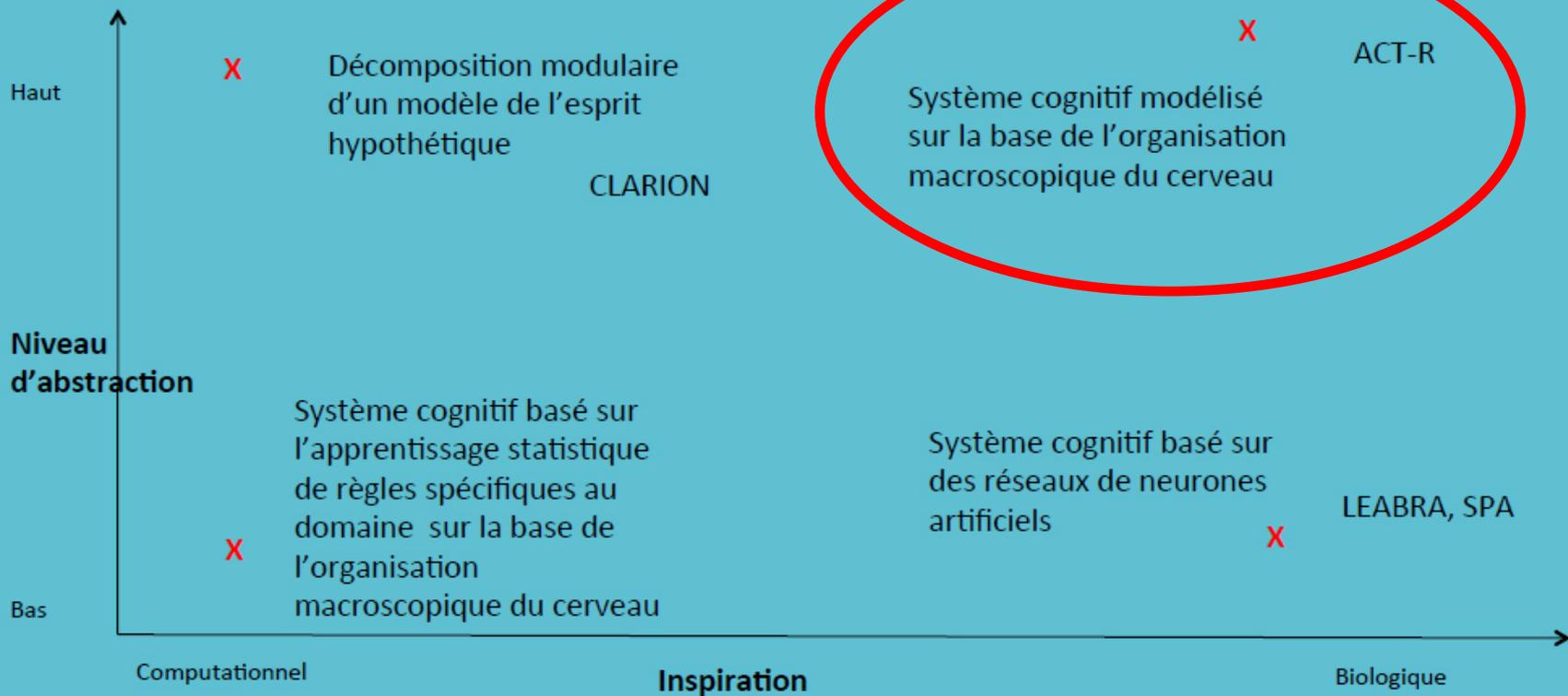
# Architecture CLARION

- Approches cognitives (fortement symboliques):
- Les plus développées
- Pas très bonne en généralisation





# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)

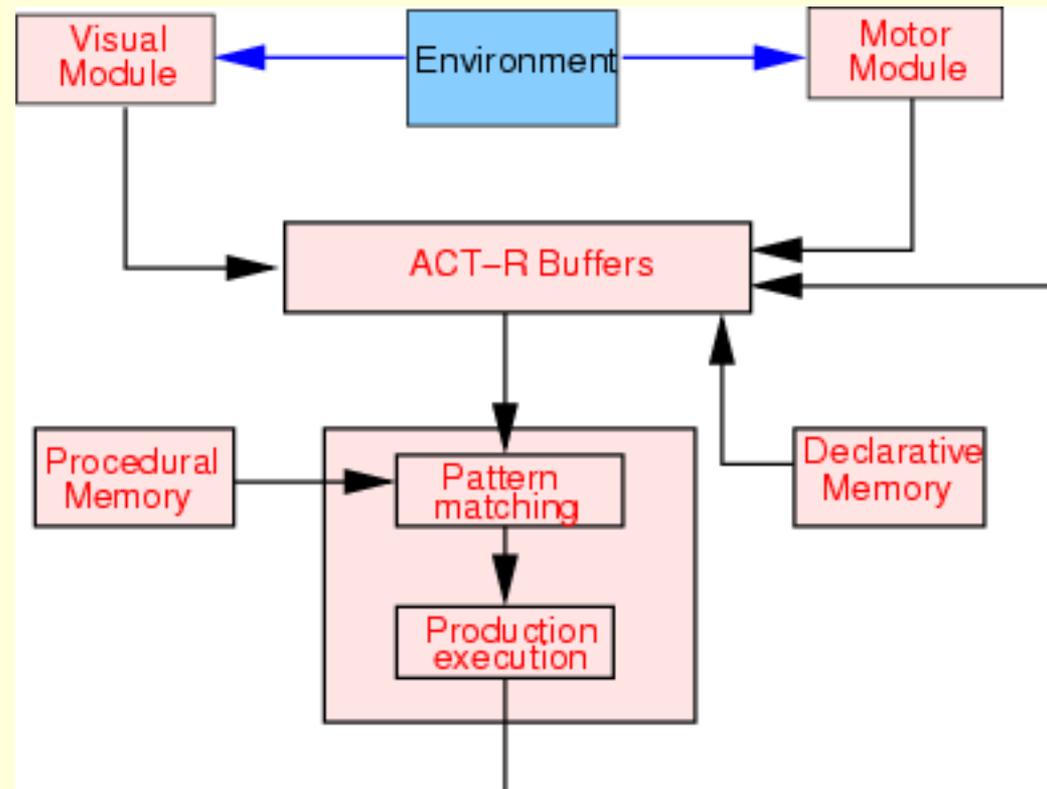


Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

- **Approche cognitive (fortement symbolique) (SOAR, ACT-R) :**

- inspiré du «langage de la pensée (Fodor, 1975) : manipulation de symboles à l'aide du raisonnement logique et de grammaires formelles

- description des comportements au niveau des connaissances.



**ACT-R**

There are **two types of modules**:

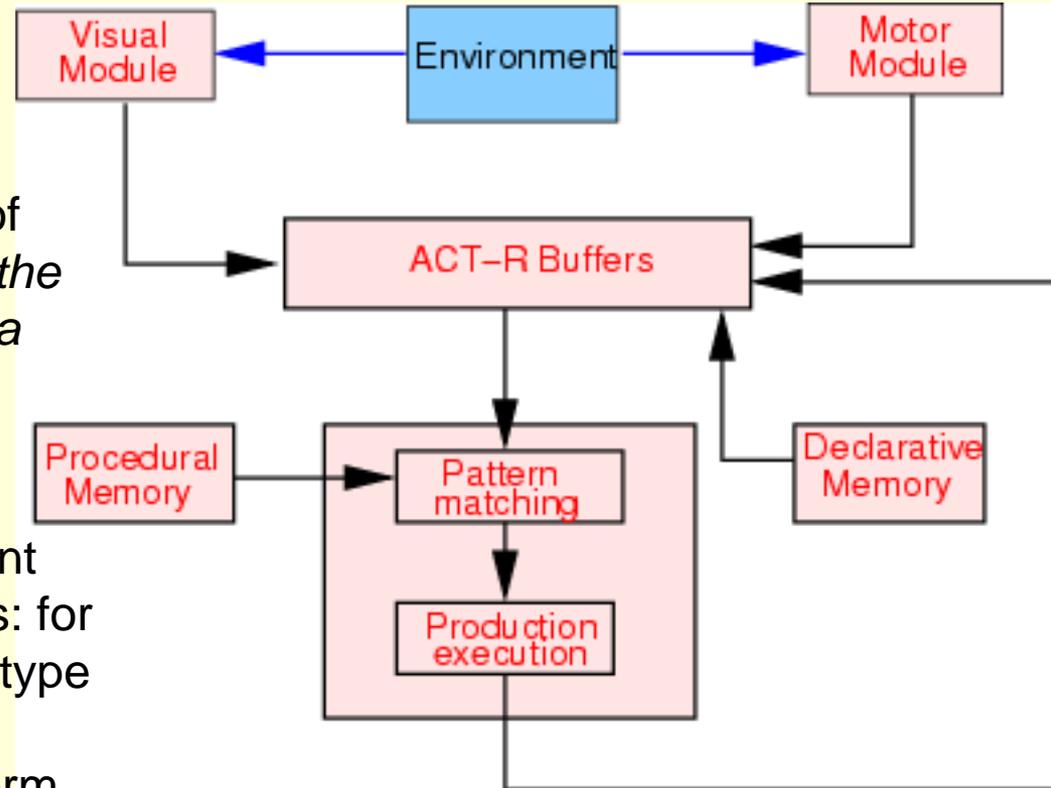
**perceptual-motor modules**, which take care of the interface with the real world (i.e., with a simulation of the real world),  
The most well-developed perceptual-motor modules in ACT-R are the visual and the manual modules.

**memory modules.**

- **declarative memory**, consisting of facts such as *Washington, D.C. is the capital of United States, France is a country in Europe, or  $2+3=5$* , and
- **procedural memory**, made of **productions**. Productions represent knowledge about how we do things: for instance, knowledge about how to type the letter “Q” on a keyboard, about how to drive, or about how to perform addition.

ACT-R’s main components are:

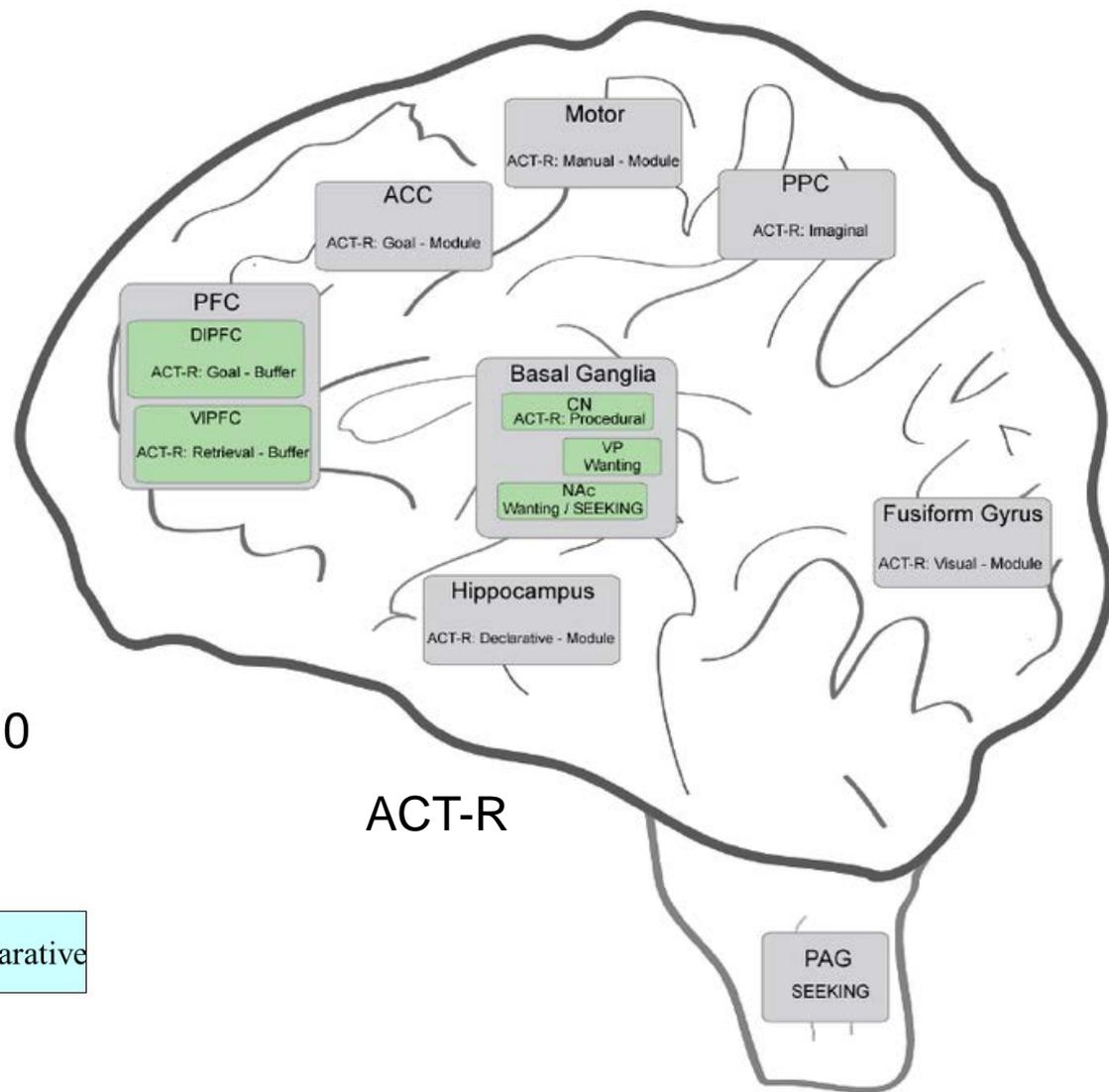
modules,  
buffers,  
pattern matcher.



**ACT-R**

# Correspondances fonctionnelles

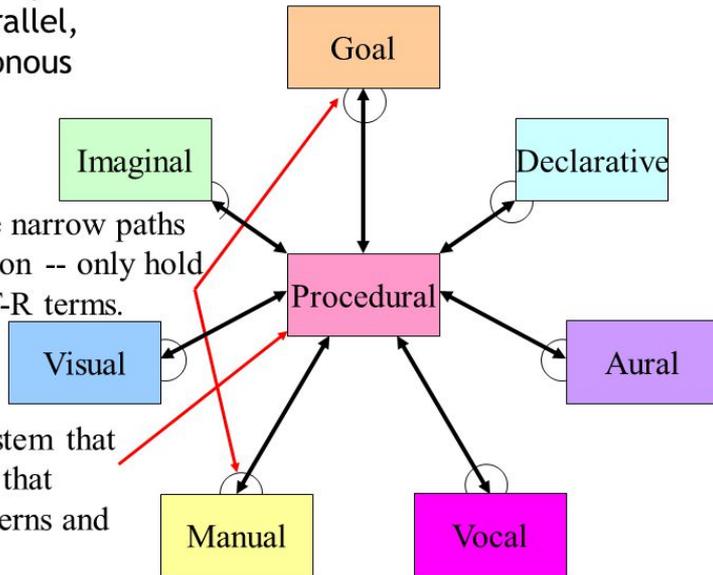
- **Pariétal postérieur:** activités représentationnelles
- **module imaginaire** dans ACT-R manipule des représentations qui ne sont pas perpétuellement présente
- **Cortex cingulaire antérieur:** activités de contrôle et gestion des conflits



ACT-R

## Modules in ACT-R 6.0

Modules are high capacity, parallel, and asynchronous

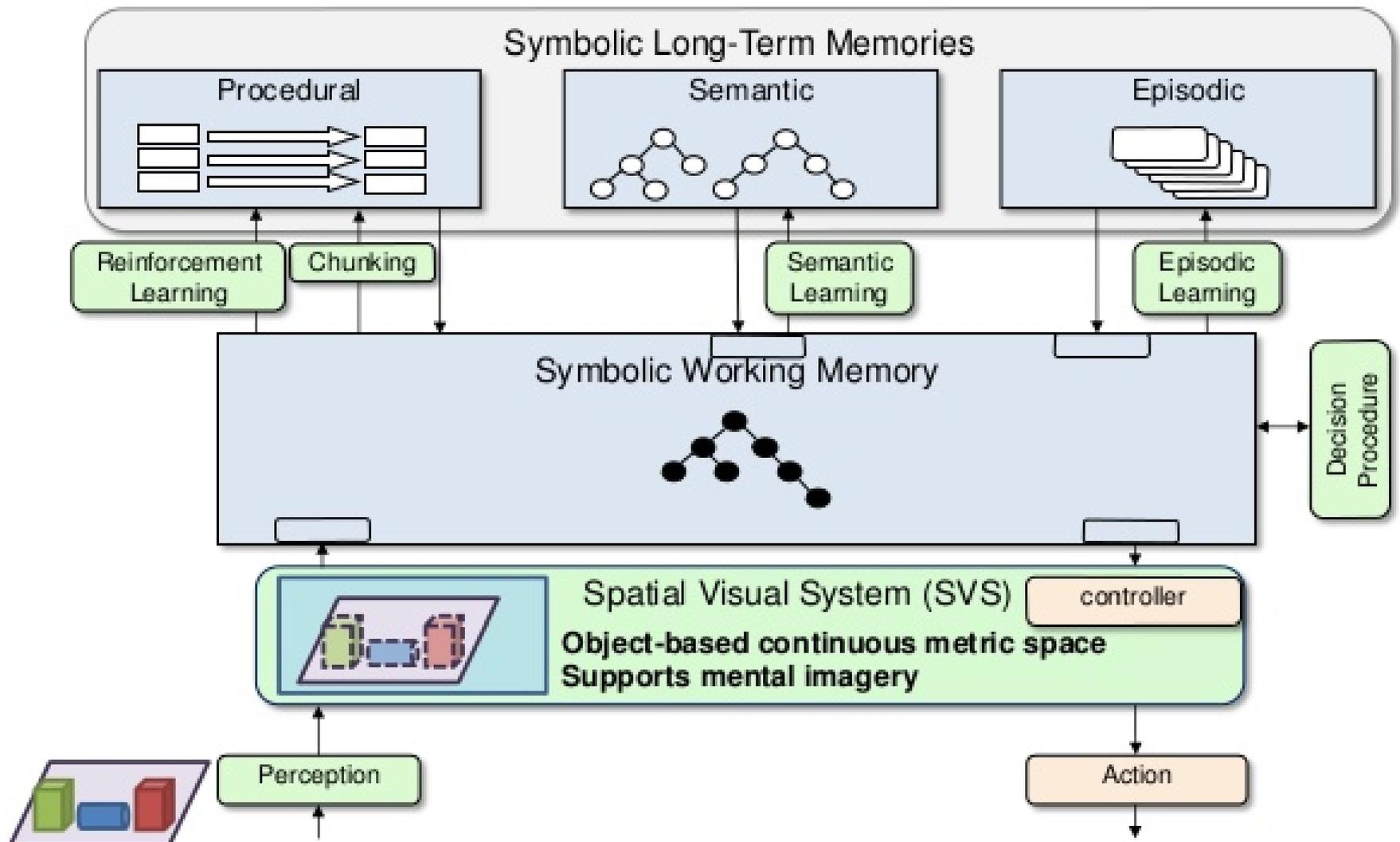


Buffers provide narrow paths of communication -- only hold a chunk in ACT-R terms.

Production system that contains rules that recognize patterns and react

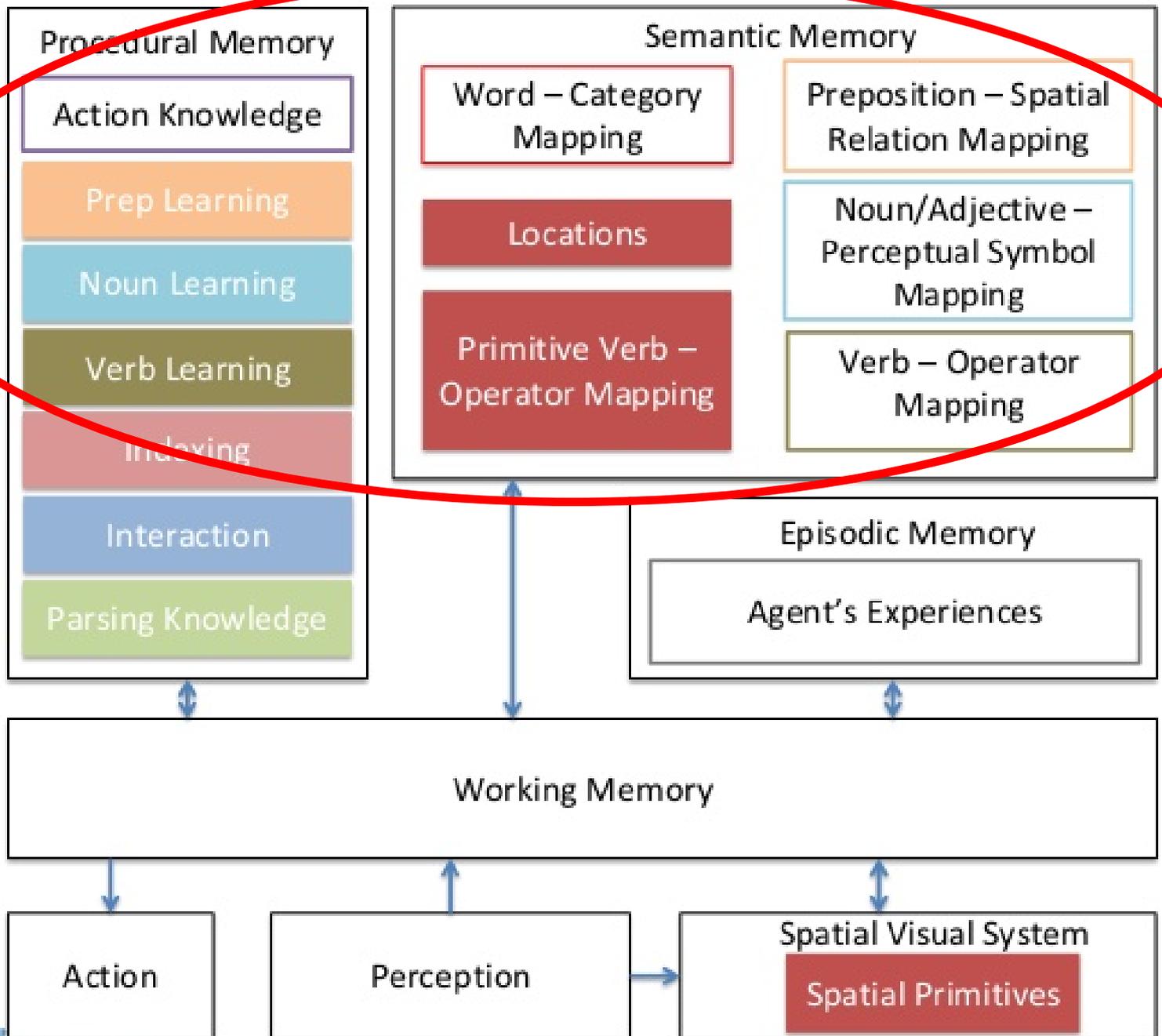
- **Module goal** définit des états de contrôle sur la manière dont l'information sera traitée
- **Ganglions de la base:** activités procédurales

# Soar Structure

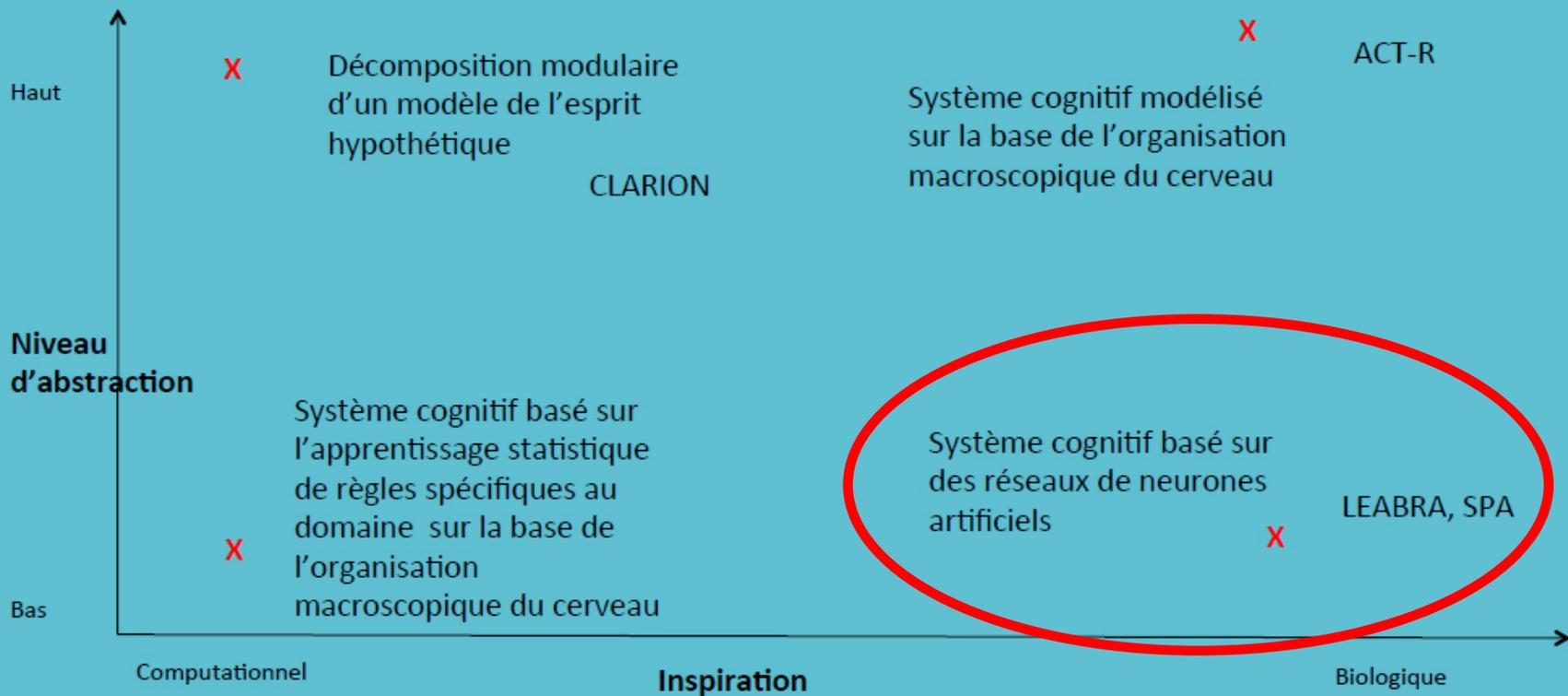


Séance 8 !

Soar



# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)



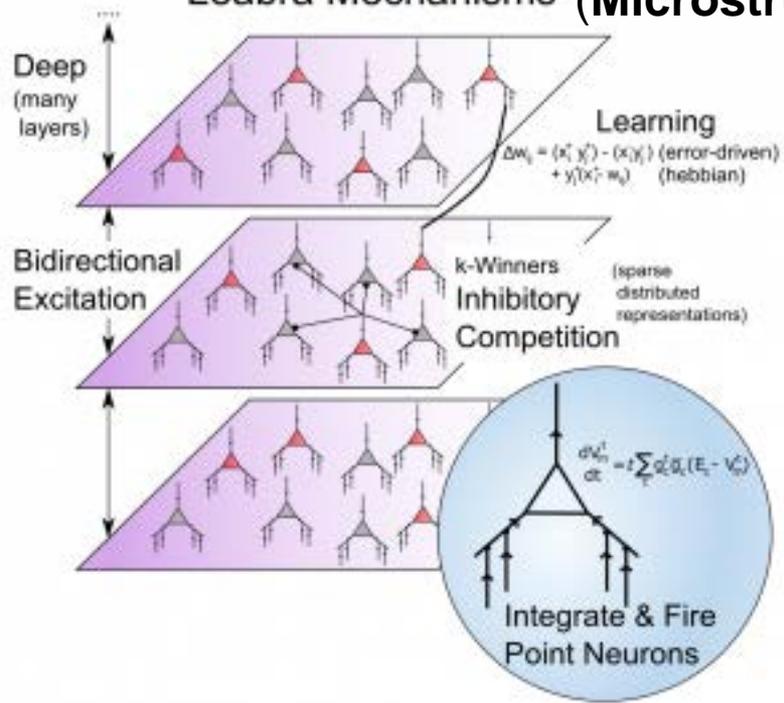
Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

## Approche connexionniste

(LEABRA = Local, Error-driven and Associative, Biologically Realistic Algorithm)

- L'intelligence émerge de la propagation d'activation dans un réseau constitué d'unités simples interconnectées
  - manipulation parallèle de «sous symboles»:  
niveau computationnel en dessous du niveau représentationnel
  - inspiré du fonctionnement neuronal: le raisonnement ne se fait pas grâce à la syntaxe et des règles d'inférence mais par la transformation de patrons d'activité
- 
- O'Reilly, R. C., Hazy, T. E., & Herd, S. A. (2012). **The leabra cognitive architecture: how to play 20 principles with nature and win!**. The Oxford Handbook of Cognitive Science.

# Leabra Mechanisms (Microstructure)



## Historique

- Départ: algorithme de réseau de neurones destiné à **capturer les propriétés computationnelles de la neurobiologie du néocortex** et des différentes fonctions cognitive qu'il supporte (mémoire et apprentissage) (O'Reilly, 1996b, 1998)

## Principes guidant la microstructure de la cognition

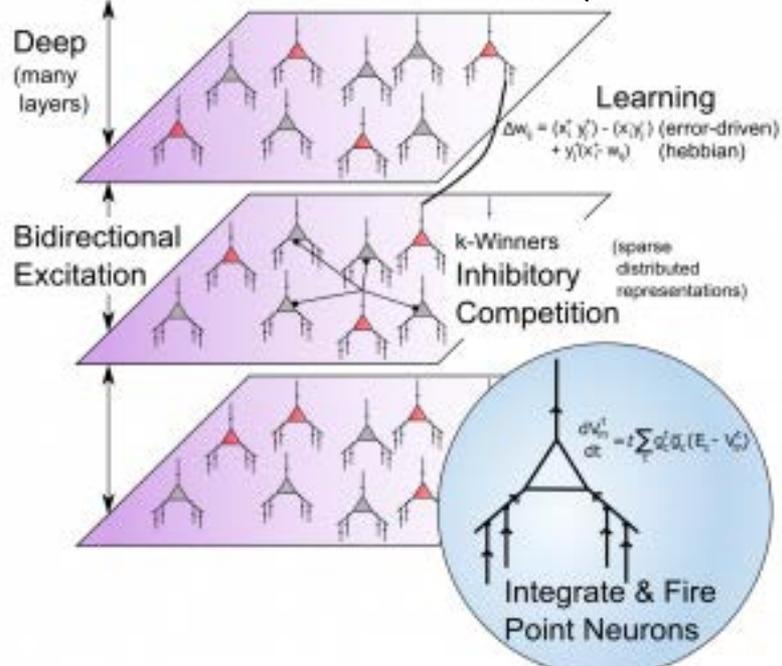
Des principes qui caractérisent comment le traitement de l'information pourraient se produire dans le cerveau

- Principe 6: **Les réseaux de neurones** sont les processeurs principaux de l'information dans le cerveau
- Principe 7: **Les poids synaptiques** encode la connaissance et s'adapte pour supporter l'apprentissage.

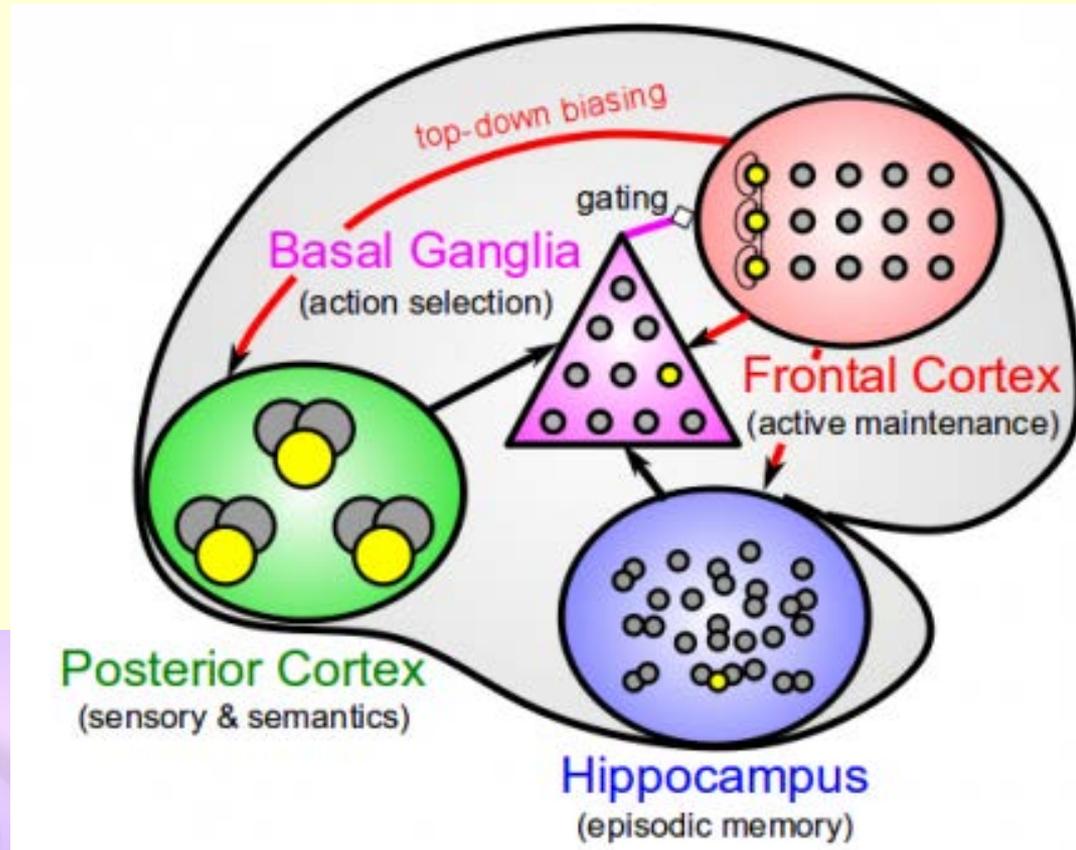
et quels types spécifiques de neurones  
sont les plus importants pour la compréhension de la cognition

- Principe 8: **Les neurones pyramidaux** sont dans le néocortex les processeurs primaires de l'information pertinente à la cognition de haut niveau
- Principe 9: **Les interneurones inhibiteurs** régulent les niveaux d'activité dans le néocortex

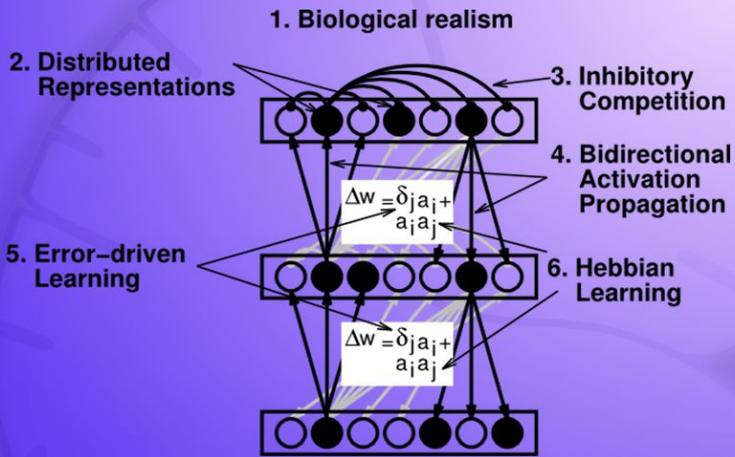
# Leabra Mechanisms (Microstructure)



# Macrostructure de Leabra



# The Leabra Algorithm



Same algorithm (and mostly params) can simulate ~100 different cognitive phenomena!

## Macrostructure de Leabra

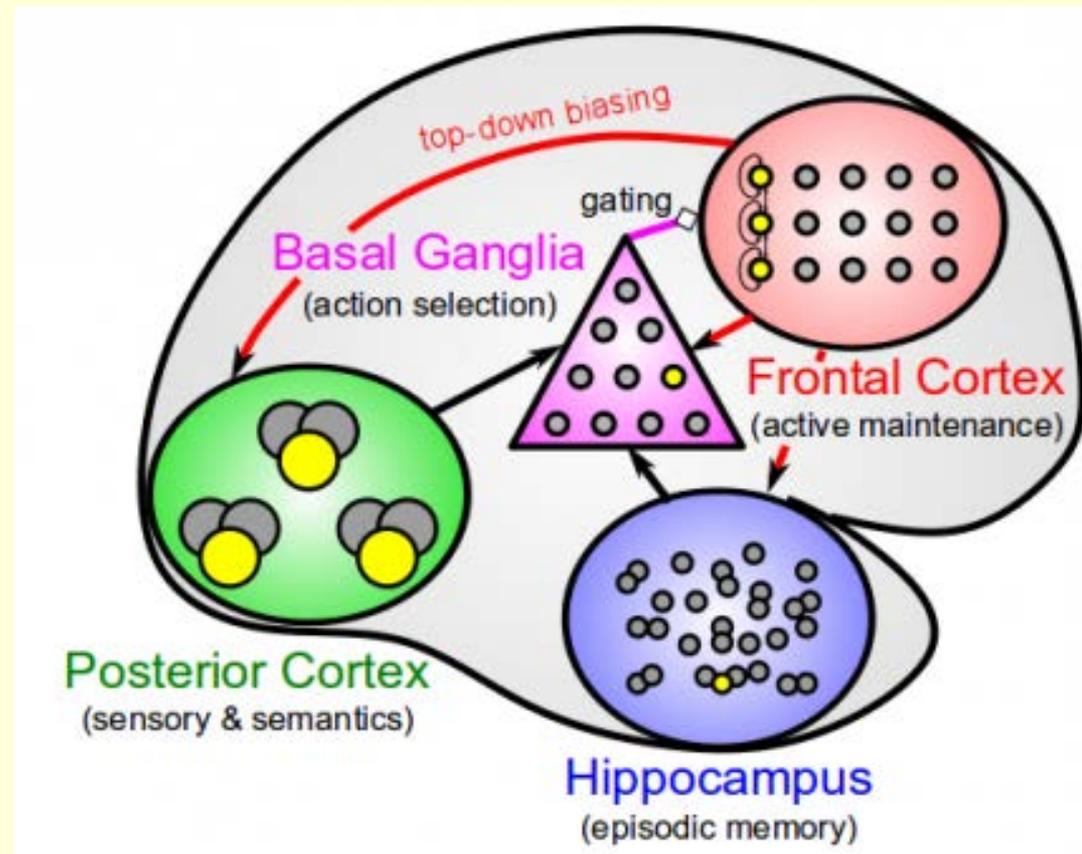
- Ajouts progressifs pour rendre compte des propriétés spécifiques à d'autres régions:

- **hippocampe** (O'Reilly & McClelland, 1994, Howard, & Ketz, 2011), cortex préfrontal et ganglion de la base (O'Reilly, Braver, & Cohen, 1999; Hazy, Frank, & O'Reilly, 2006, 2007),

- **Régions subcorticales liées à la récompense** (O'Reilly, Frank, Hazy, & Watz, 2007; Hazy, Frank, & O'Reilly, 2010)

- Longue existence de l'architecture qui explique la complexité actuelle de l'architecture

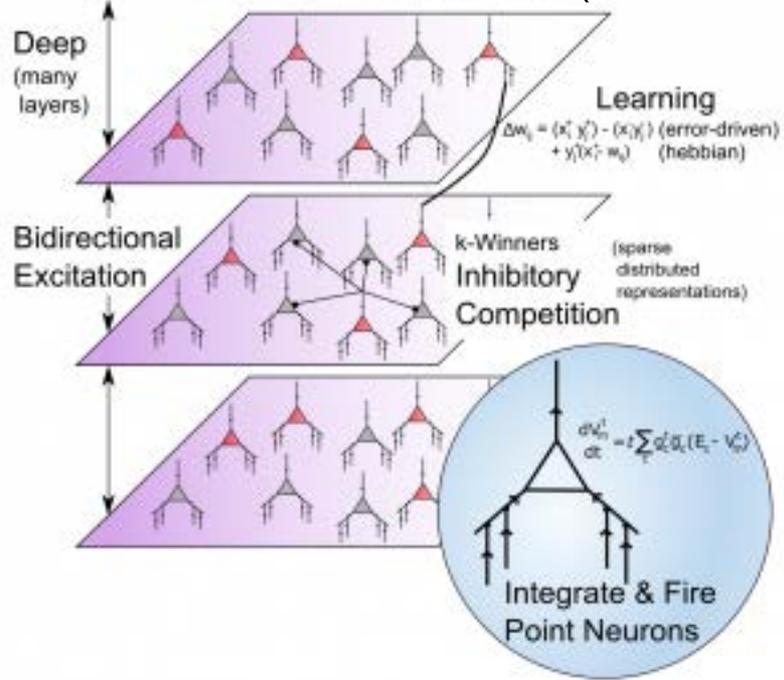
- [hKp://ccnbook.colorado.edu](http://ccnbook.colorado.edu) (O'Reilly et al., 2012)



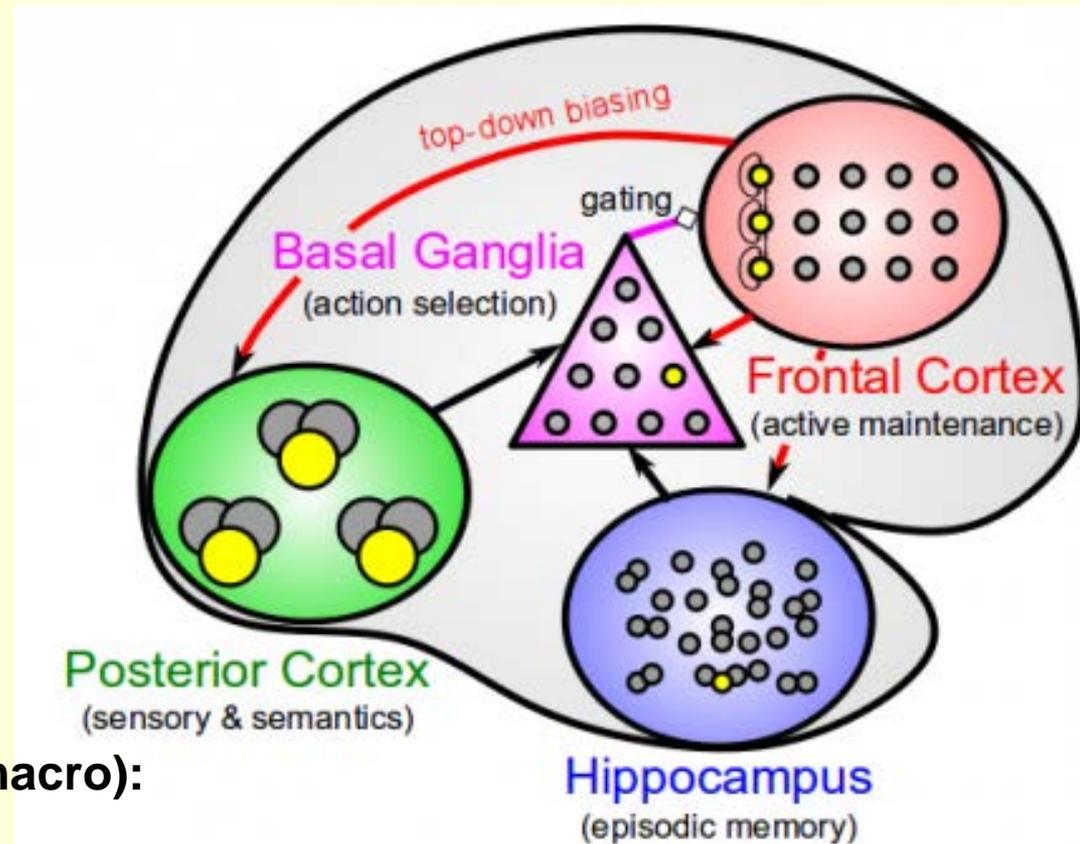
- **Cortex postérieur** (inclue cortex moteur): actions sensorimotrices, spécialisation, représentations distribuées

- **Cortex frontal** (cortex préfrontal): des comportements cognitifs de hauts niveaux

## Leabra Mechanisms (Microstructure)



## Macrostructure de Leabra



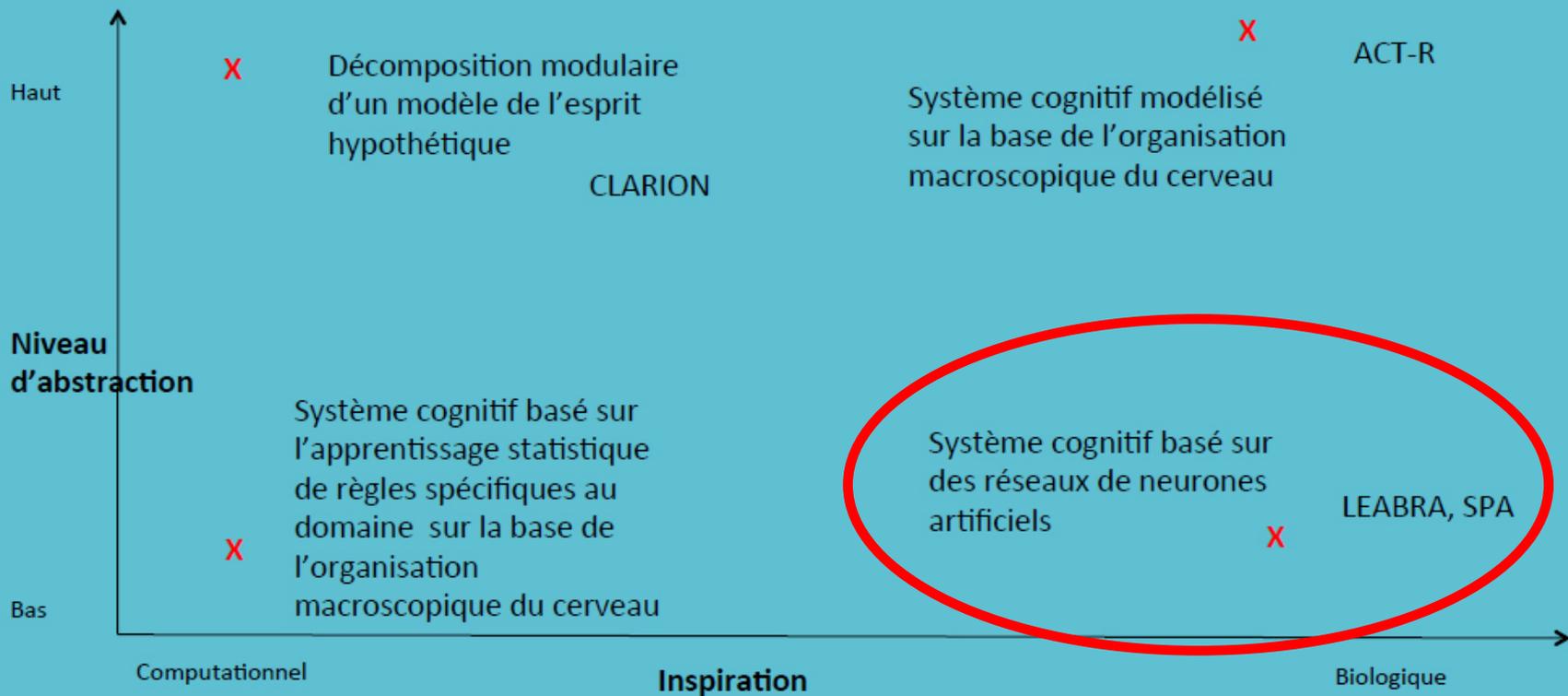
### • Principe 10 (interactions micro-macro):

Les principes microstructuraux et les mécanismes associés sont le tissu de la cognition, de sorte qu'ils définissent également la spécialisation macrostructurale.

Nous devrions être en mesure de définir différentes zones du cerveau grâce à des paramétrages différents de la microstructure.

De plus, le système résultant étant un réseau neuronal d'ampleur fonctionnant sur les principes microstructuraux, les régions cérébrales seront **mutuellement interactives et interdépendantes** dans les différentes tâches cognitives.

# Espace de modélisation cognitive (Vernon, 2012)



Crédit : Pierre Poirier et Othalia Larue

(Approches hybrides)

## Semantic Pointer Architecture (SPA)

“Semantic pointers are neural representations that carry partial semantic content and are **composable** into the representational structures necessary to support complex cognition.” <http://compneuro.uwaterloo.ca/research/spa/semantic-pointer-architecture.html>

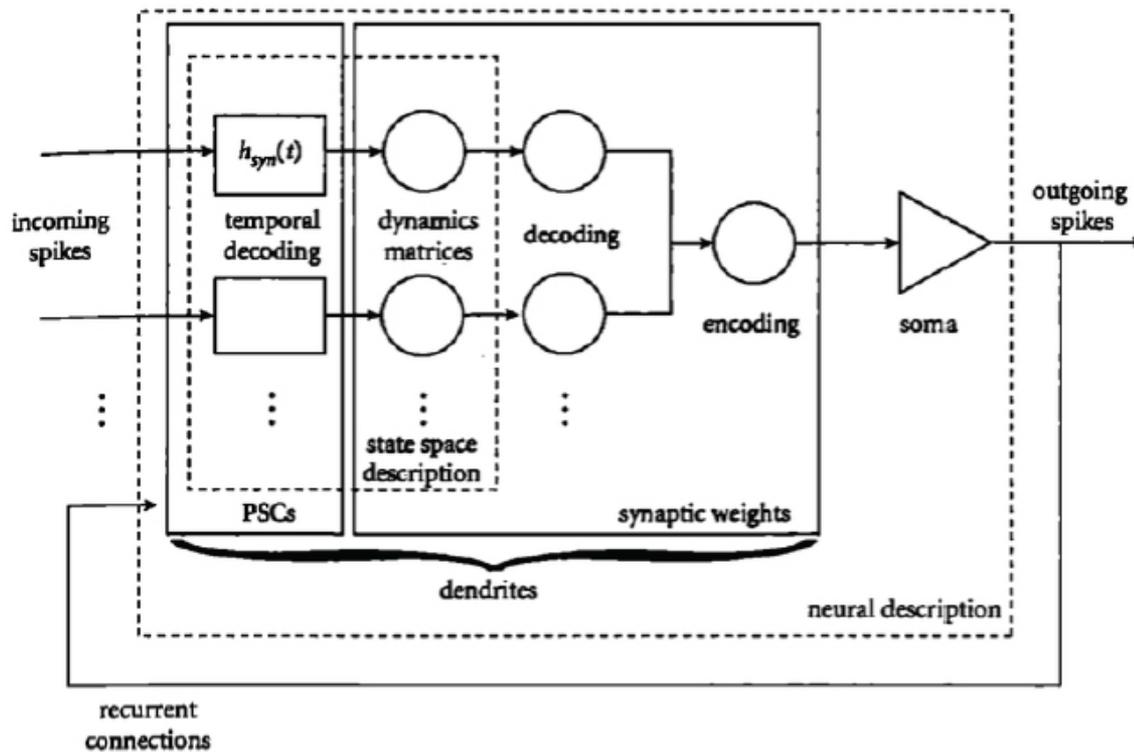
### [séance 10 !]

- Meilleur des deux mondes :  
combinaison de propriétés du symbolisme  
et connexionisme,
- Mais comment combiner deux philosophies  
a priori en opposition :
  - Bris de l'unité structurelle de l'architecture
  - Limitation de l'une ou l'autre des approches

- **NEF**: une plateforme généraliste indépendante des théories de la cognition
- **SPA**: une théorie de la cognition implémentée sur cette plateforme

Largest simulation of a functioning brain, with **2.5 million** separately modeled spiking neurons

## Niveau micro



A cette description classique du neurone, NEF ajoute la possibilité de décomposer les poids synaptiques dans des éléments variés, et de les faire correspondre aux propriétés biophysologiques du neurone

# Niveau macro: correspondance aux régions cérébrales

Functional element	Acronym	Full name and description
visual input	V1	primary visual cortex: the first level of the visual hierarchy, tuned to small oriented patches of different spatial frequencies ( 63)
		secondary visual cortex: pools responses from V1, representing larger spatial patterns ( 63) extrastriate visual cortex: combines input from V2 to recognize simple geometric shapes ( 63) inferior temporal cortex: the highest level of the visual hierarchy, representing complex objects ( 63)
	V2 V4 IT	
information encoding	AIT	anterior inferior temporal cortex: implicated in representing visual features for classification and conceptualization ( 64)
transform calculation	VLPFC	ventrolateral prefrontal cortex: area involved in rule learning for pattern matching in cognitive tasks ( 41)
reward evaluation	OFC	orbitofrontal cortex: areas involved in the representation of received reward ( 43)
information decoding	PFC	prefrontal cortex: implicated in a wide variety of functions, including executive functions and manipulation of working memory ( 44)
working memory	PPC	posterior parietal cortex: involved in the temporary storage and manipulation of information, particularly visual data ( 65,37)
		dorsolateral prefrontal cortex: temporary storage and manipulation of higher level data related to cognitive control ( 66,40)
	DLPFC	
action selection	Str (D1)	striatum (D1 dopamine neurons): input to the "direct pathway" of the basal ganglia ( 67)
	Str (D2)	striatum (D2 dopamine neurons): input to the "indirect pathway" of the basal ganglia ( 67)
	STN VStr	subthalamic nucleus: input to the "hyperdirect pathway" of the basal ganglia ( 68) ventral striatum: involved in the representation of expected reward in order to generate reward prediction error ( 69)

Functional element	Acronym	Full name and description
	GPe	globus pallidus externus: part of the "indirect pathway", projects to other components of the basal ganglia in order
	GPI/SNr	globus pallidus internus and substantia nigra pars reticulata: the output from the basal ganglia ( 67)
		substantia nigra pars compacta and ventral tegmental area: relay signal from ventral striatum as dopamine
	SNc/VTA	
routing	thalamus	thalamus: receives output from the basal ganglia, sensory input, and coordinates/monitors interactions between cortical areas ( 72)
motor processing	PM	premotor cortex: involved in the planning and guidance of complex movement ( 45,73)
motor output	SMA	

# Architecture anatomique et fonctionnelle de Spaun

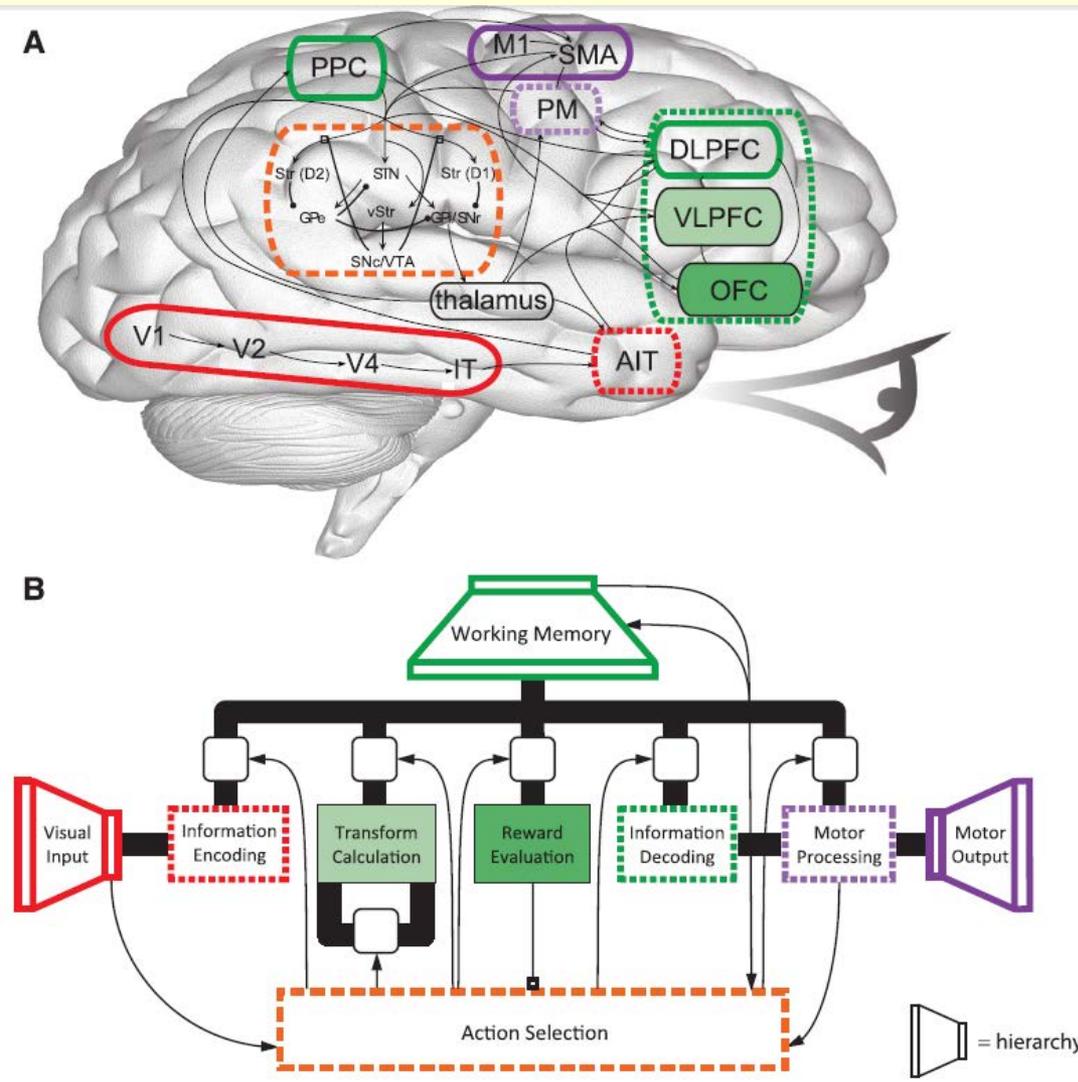
The SPA Unified Network (**Spaun**) model [...] demonstrates how a wide variety of (about 8) cognitive and non-cognitive tasks can be integrated in a **single large-scale, spiking neuron model**.

Spaun switches tasks and provides all responses without any manual change in parameters from a programmer.

Essentially, it is a fixed model that **integrates perception, cognition, and action** across several different tasks (many of which are described elsewhere on this site).

Spaun is the most complex example of an SPA to date.

<http://compneuro.uwaterloo.ca/research/spa/semantic-pointer-architecture.html>



# Architecture anatomique et fonctionnelle de Spaun

5 sous-systèmes :

## Encodage de l'information:

- correspondance entre les patrons hiérarchiques visuelles et les patrons d'activation conceptuels

## Calcul des transformations:

- extraction des relations entre les éléments d'entrées

## Évaluation des récompenses:

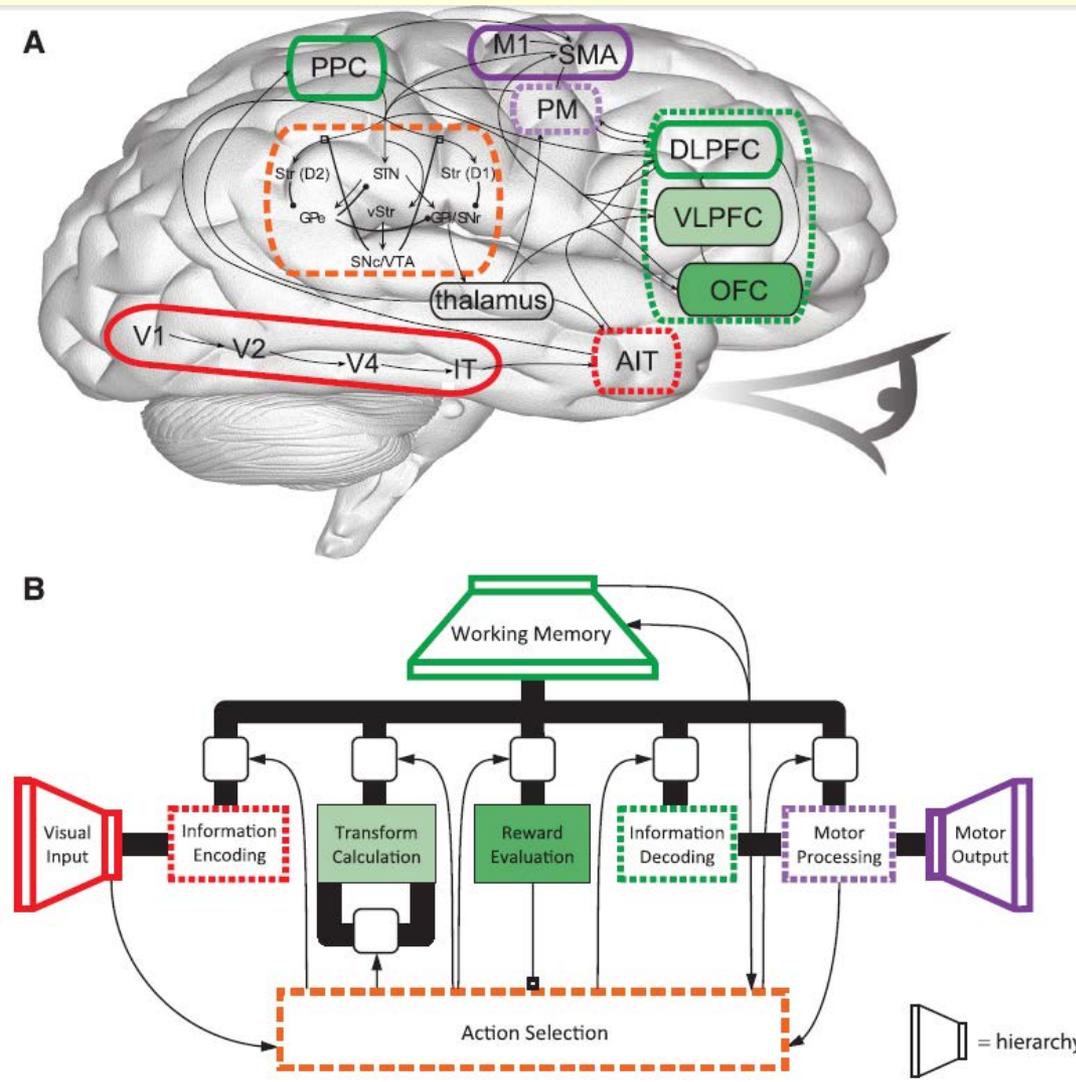
- récompenses associées avec l'élément d'entrée

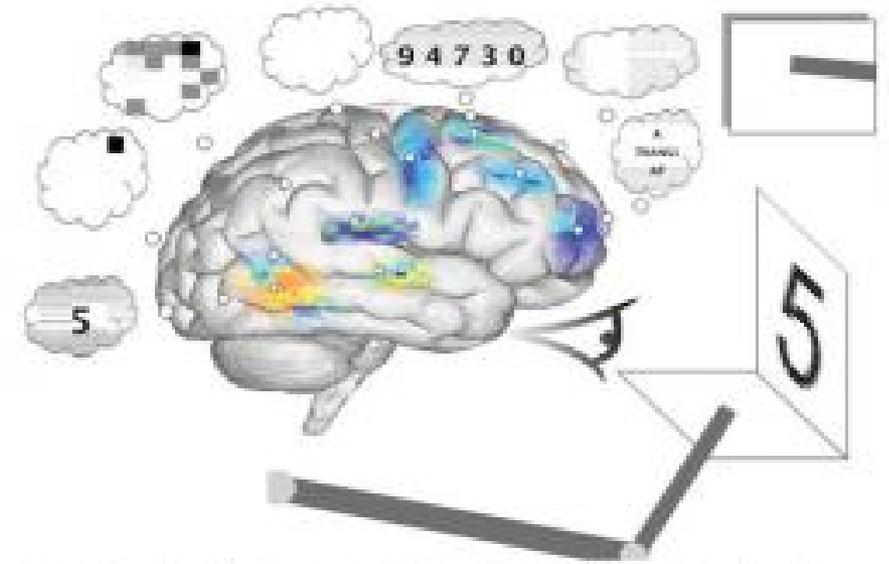
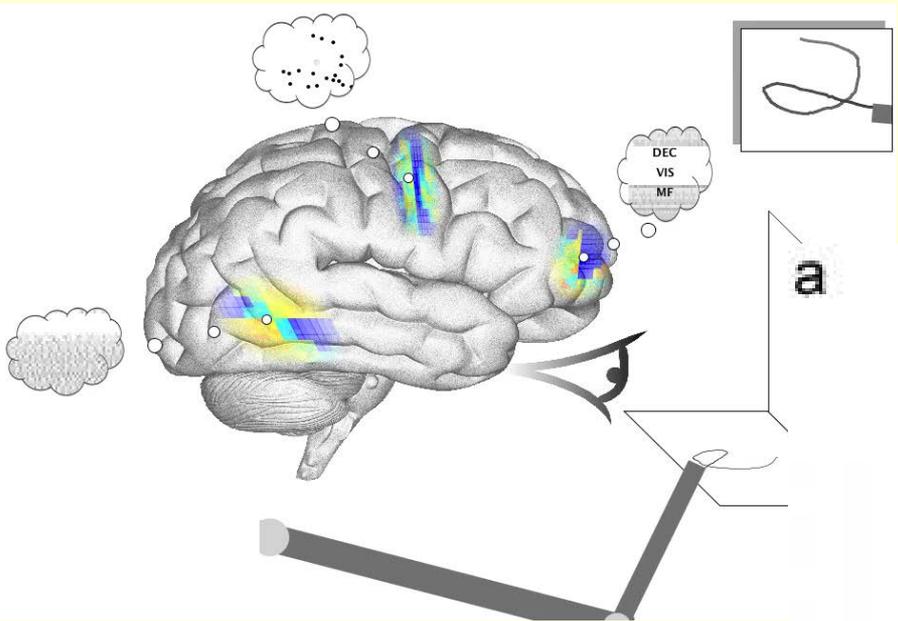
## Décodage de l'information:

- décompression des patrons d'activations en mémoire en patron d'activation conceptuel

## Traitement moteur:

- Correspondance entre les patrons d'activation conceptuels et les patrons d'activation moteurs

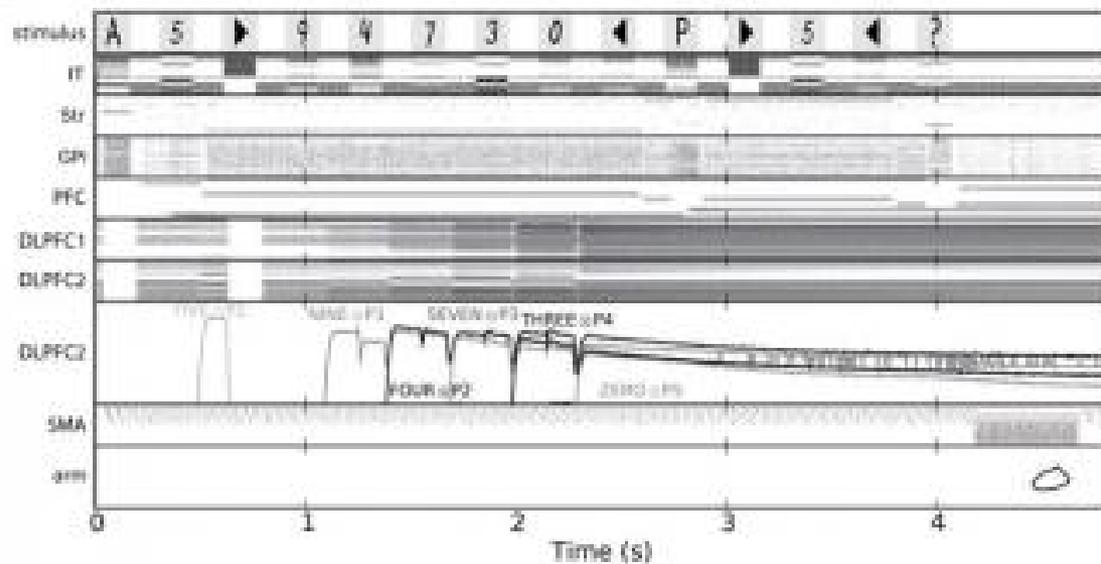




Spaun is a computer model that can recognize numbers, remember them, figure out numeric sequences, and even write them down with a robotic arm.

<https://www.pinterest.com/pin/429319776952400807/>

b



DISCOVER

# Can you build a brain?

## Sort of ... meet Spaun, a simulated brain

The world's most sophisticated artificial brain, known as Spaun (Semantic Pointer Architecture Unified Network), has been programmed by researchers at Ontario's University of Waterloo.

**Spaun can think, remember things, see and interact with its environment using an arm.**

Created by neuroscientists and software engineers, the visual computer simulation actually mimics the function of several areas of the brain responsible for perception, action and cognitive control. The result was an animated human brain simulation that researchers can watch.

It takes **2.5 hours** of computer time for **1 second** of simulation

## What can it do?

### Digit recognition

Recognize and write digits.

### Copy Drawing

Recreate different styles of digits.



### Counting

Correctly answer a simple addition problem (if you have 4 and add 3 you get ...?).

### Question answering

Memorize list of numbers and answer questions about list (number position).

### Serial working memory

Memorize list of numbers and repeat them back.  
Much like people, Spaun had a harder time with longer lists

### Reinforcement learning

Understands concept of reward for correctly guessing numbers.

### Rapid variable creation and fluid reasoning

Figures out basic patterns after being shown two or three sets of numbers.

## The model

Spaun is a visual simulation; it was created for researchers to be able to watch as it made decisions

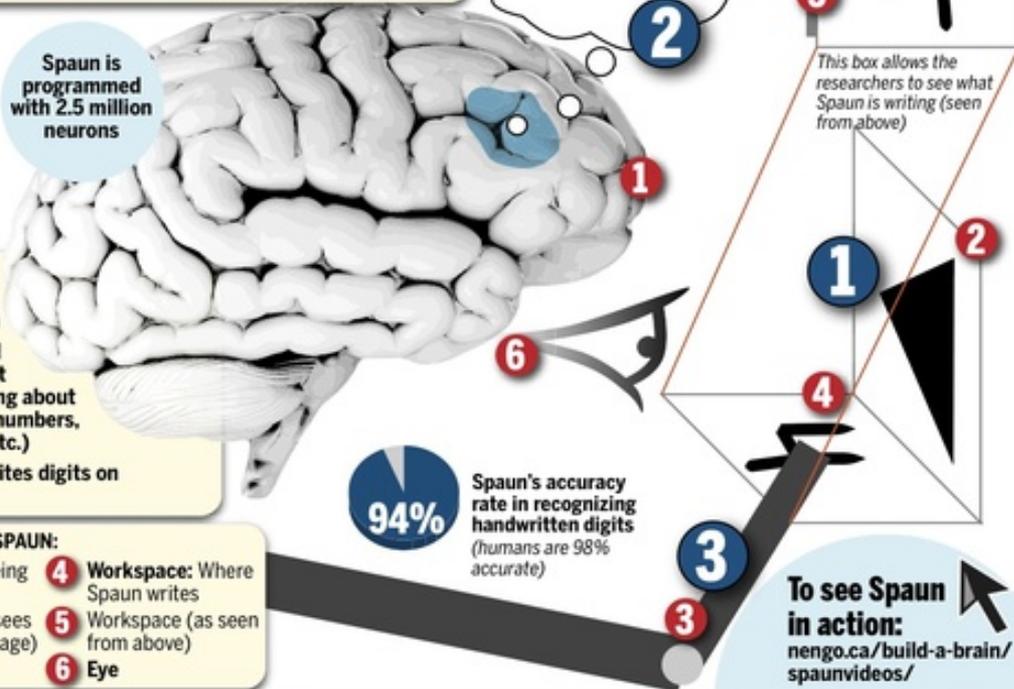
Spaun is programmed with 2.5 million neurons

### WHAT HAPPENS:

- 1 Images shown on input screen
- 2 Bubbles around brain show what Spaun is thinking about (remembering numbers, what to write, etc.)
- 3 Spaun's arm writes digits on workspace

### VISUAL PARTS OF SPAUN:

- 1 Brain: Areas being used light up
- 2 Input: What it sees (28x28 pixel image)
- 3 Arm
- 4 Workspace: Where Spaun writes
- 5 Workspace (as seen from above)
- 6 Eye



94%

Spaun's accuracy rate in recognizing handwritten digits (humans are 98% accurate)

To see Spaun in action:  
[nengo.ca/build-a-brain/spaunvideos/](http://nengo.ca/build-a-brain/spaunvideos/)

## L'approche dynamique

- les systèmes cognitifs sont des types de système dynamique
- la pensée et les comportements sont représentés dans un espace multidimensionnel traversé par une trajectoire (la pensée poursuivie par un agent)
- traitement interne et contraintes décrits grâce à des équations différentielles et des termes empruntés à la théorie des systèmes dynamiques: attracteurs, espace d'état, trajectoire et chaos déterministe.
- évolution en temps réel
- forme radicale: rejet règle, structure (Thelen et Smith, 1996) et représentation (Port et van Gelder, 1995).
- pas encore très poussé pour les fonctions cognitives de haut niveau (raisonnement résolution de problème)

Parlant de phénomènes dynamiques,

petit retour sur la 2<sup>e</sup> partie de la séance précédente...

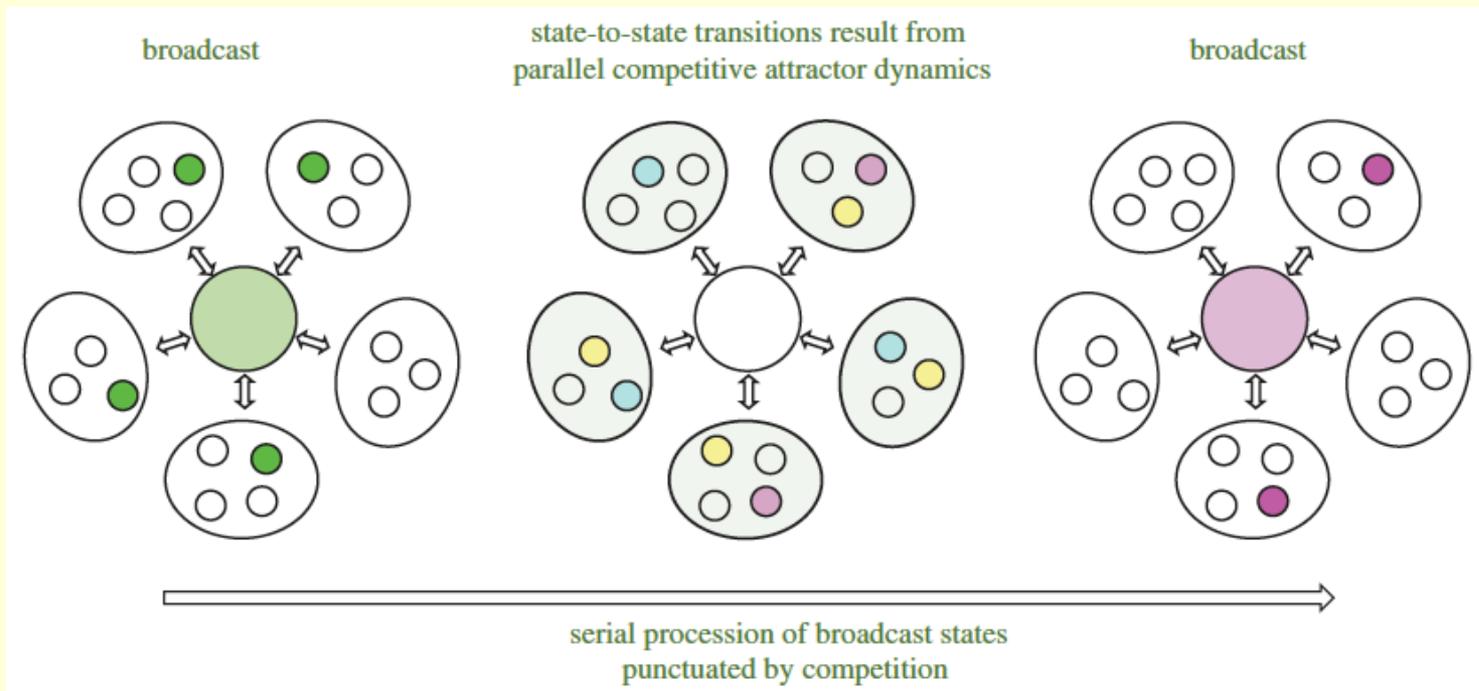
...pour aller vers la 2<sup>e</sup> partie de cette séance !

# The brain's connective core and its role in animal cognition

Murray Shanahan

“Implicit in the idea of coalition formation here is the idea of a winning coalition.

One coalition has to arise that dominates the dynamics of the brain, shuts out all rivals and dictates the animal's behaviour.”



[rejoint bien la “affordance competition hypothesis » pour la sélection d’actions de Paul Cisek que nous allons présenter à la séance 12]

# The brain's connective core and its role in animal cognition

Murray Shanahan

Shanahan résume la formation de ces coalitions dans le slogan :

**“unity from multiplicity, serial from parallel”.**

**“Unity** arises from multiplicity because **the connective core ensures** that a singular, coherent response to the ongoing situation is integrated from the brain's full resources.

**Serial** emerges from parallel because brain-wide information and influence are channelled through the connective core, which acts as a limited bandwidth processing bottleneck, allowing mental operations to be chained together.”

Idée de “**goulot d’étranglement**” (“bottleneck”) : souvent associée à la nécessité de fournir une réponse comportementale **rapide** aux opportunités (ou “affordances”) qui se présentent constamment dans notre environnement en temps réel.

Par ailleurs, il y a de nombreuses autres situations où la pression du temps se fait peu ou pas sentir du tout,

ce qui permet d’activer davantage de ressources cognitives de façon “**off-line**” (simulation mentale, peser les pour ou contre, planifier, etc.)

Il est donc fréquent de distinguer deux grandes réponses cognitives:

**l’intuition rapide** et la **délibération plus lente**

Cette distinction entre **intuition rapide** et la **délibération plus lente**, a une origine très ancienne et a surgi dans plusieurs champs des sciences cognitives.

Par exemple, elles ont été appliquées à l'étude de la prise de décision et des jugements à partir des années 1970 et 1980 (Evans, 1989; Wason & Evans, 1975).

Plus récemment...

**Table 1 Labels attached to dual-processes in the literature, aligned on the assumption of a generic dual-system theory**

References	System 1	System 2
Fodor (1983, 2001)	Input modules	Higher cognition
Schneider & Schiffrin (1977)	Automatic	Controlled
Epstein (1994), Epstein & Pacini (1999)	Experiential	Rational
Chaiken (1980), Chen & Chaiken (1999)	Heuristic	Systematic
Reber (1993), Evans & Over (1996)	Implicit/tacit	Explicit
Evans (1989, 2006)	Heuristic	Analytic
Slooman (1996), Smith & DeCoster (2000)	Associative	Rule based
Hammond (1996)	Intuitive	Analytic
Stanovich (1999, 2004)	System 1 (TASS)	System 2 (Analytic)
Nisbett et al. (2001)	Holistic	Analytic
Wilson (2002)	Adaptive unconscious	Conscious
Lieberman (2003)	Reflexive	Reflective
Toates (2006)	Stimulus bound	Higher order
Strack & Deutsch (2004)	Impulsive	Reflective

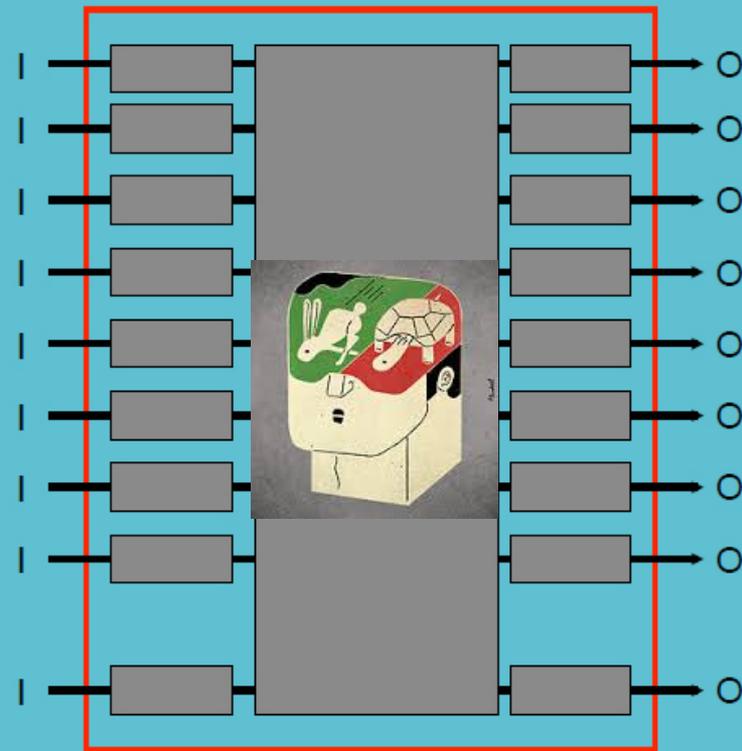
Tiré de Evans (2008). Dual processing accounts of reasoning, judgement and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 255--278.

On a aussi tenté d'en faire des synthèses en essayant de regrouper un large spectre d'attributs en deux grands systèmes de pensée, l'un rapide et intuitif, et l'autre plus lent et réflexif, souvent appelés respectivement système 1 et système 2.

<b>System 1</b>	<b>System 2</b>
Unconscious reasoning	Conscious reasoning
Implicit	Explicit
Automatic	Controlled
Low Effort	High Effort
Large capacity	Small capacity
Rapid	Slow
Default Process	Inhibitory
Associative	Rule based
Contextualized	Abstract
Domain Specific	Domain General
Evolutionarily Old	Evolutionarily recent
Nonverbal	Linked to language
Includes recognition, perception, orientation	Includes rule following, comparisons, weighing of options
Modular Cognition	Fluid Intelligence
Independent of working memory	Limited by working memory capacity
Non-Logical	Logical
Parallel	Serial

# La dualité

- Une architecture duale pose
  1. qu'il y a deux grandes classes de composantes à l'esprit
    - Deux systèmes (S1 et S2, Kahnemann 2011) ou deux types de processus (PT1 et PT2, Evans 2008, Stanovich 2009)
  2. que les caractéristiques cognitives (computationnelles, représentationnelles) de ces composantes s'opposent.

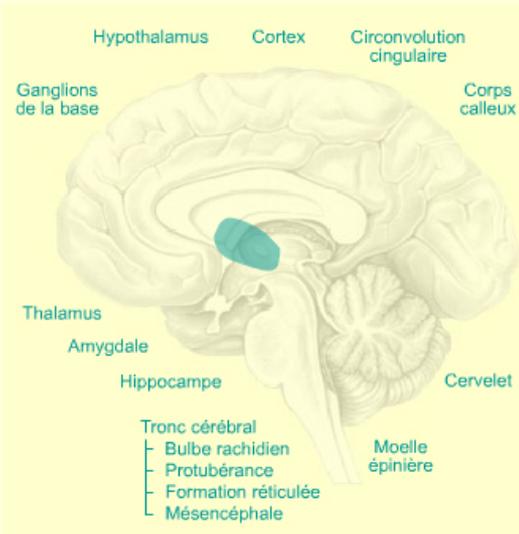


On a remarqué depuis longtemps que deux grands types de processus cognitifs semblent cohabiter dans notre cerveau :

(les **théories à processus duaux** (« dual process theories », en anglais))

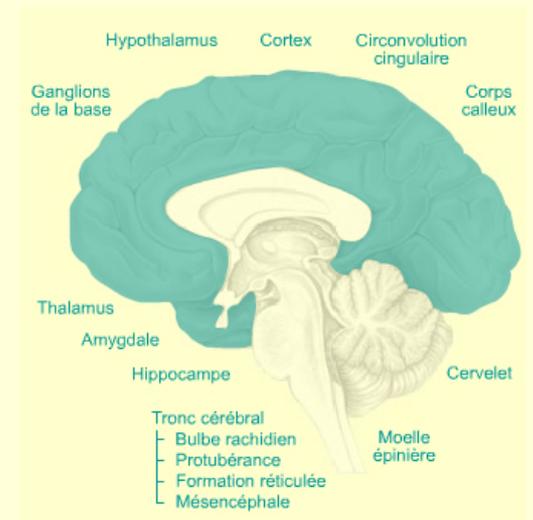
un premier type **rapide, automatique et inconscient.**

Il aurait des origines évolutives les plus anciennes



un second **plus lent, plus flexible** et nécessitant un **contrôle conscient.**

Il serait apparu plus récemment au cours de l'évolution



Le premier, qualifié parfois aussi de « pensée heuristique », repose sur des croyances, des habitudes, des stéréotypes, des idées reçues depuis tout petit.

Dans un monde complexe où l'on est submergé d'informations contradictoires de toutes sortes -> plus confortable et opérationnel.

Mais il biaise notre pensée en faveur de savoirs déjà acquis et nous empêche parfois de faire des distinctions importantes.

Ces deux modes de pensée auraient chacun leurs **avantages** et leurs **inconvénients**



À l'opposé, la pensée dite « algorithmique » est logique, rationnelle, et elle procède par déductions, inférences et comparaisons.

Plus lente et difficile d'accès, mais c'est grâce à elle que l'on peut sortir de la routine et des ornières de nos conditionnements et que l'on peut voir au-delà des apparences.

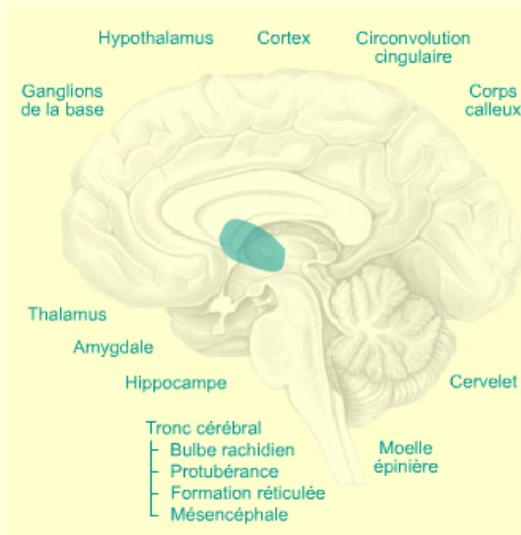
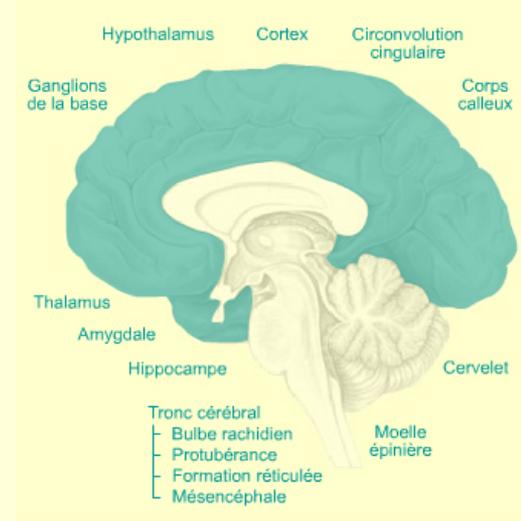
L'exemple des programmes politiques des partis versus le « look » des candidat.es.



# Applying the new science to brands



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

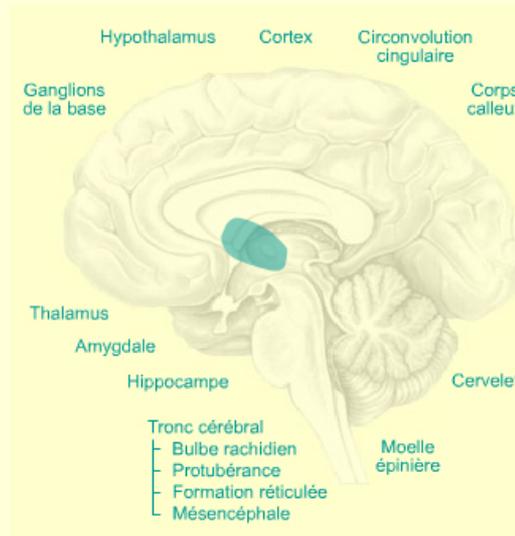
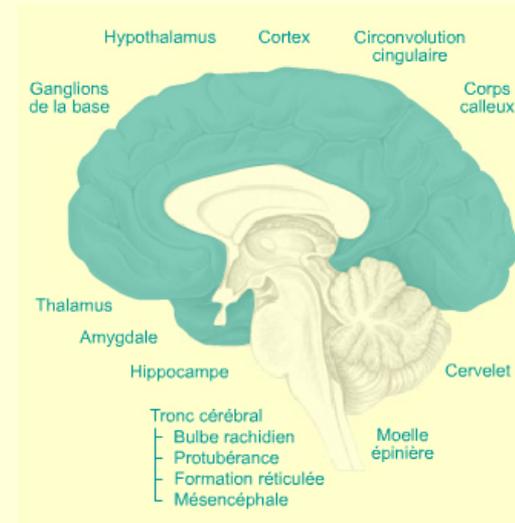


« **Le système 2** est notre petite voix intérieure, celle qu'on associe à notre libre arbitre. Elle est toutefois constamment **en pourparlers « secrets »** avec les processus inconscients du système 1 qui serait, selon plusieurs auteurs, le système dominant par défaut. »

## Applying the new science to brands



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



Il est tentant de penser que le système 2 a quelque chose de « supérieur » ou d'indépendant du système 1.

Mais le système 2 et ses délibérations « rationnelles » s'appuient en bout de ligne sur **certains réseaux « émotionnels »** du système 1 pour attribuer une certaine « valence » ou un certain « poids » à ses différentes alternatives.

Qu'on pense ici à certaines impressions inconscientes ou « intuition » (issues du système 1) que tel choix est meilleur que tel autre.

ANTONIO R. DAMASIO

# L'ERREUR DE DESCARTES

LA RAISON DES ÉMOTIONS



NOUVELLE ÉDITION



**Antonio Damasio**, dans *L'Erreur de Descartes* publié en 1994, affirme que la pensée consciente dépend substantiellement de la **perception viscérale que nous avons de notre corps**.

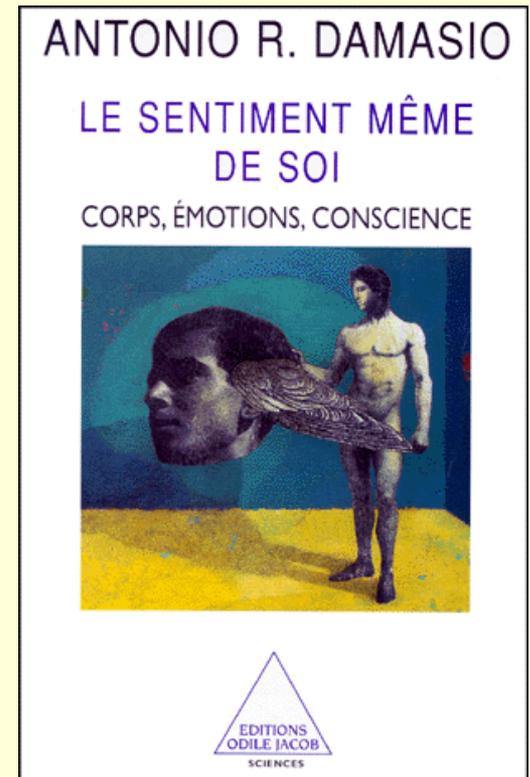
Nos décisions conscientes découlent de raisonnements abstraits mais Damasio montre que ceux-ci **s'enracinent dans notre perception corporelle** et que c'est ce constant monitoring des échanges entre corps et cerveau qui permet la prise de décision éclairée.

C'est ce que signifie le concept de « **marqueur somatique** » de Damasio tout en clarifiant le rôle et la nature des émotions d'un point de vue évolutif.

Les manifestations somatiques de ces émotions, en étant prises en compte dans la mémoire de travail, permettent de « **marquer** » **d'une valeur affective l'information perceptuelle** en provenance de l'environnement extérieur, et donc d'en évaluer l'importance pour l'organisme.

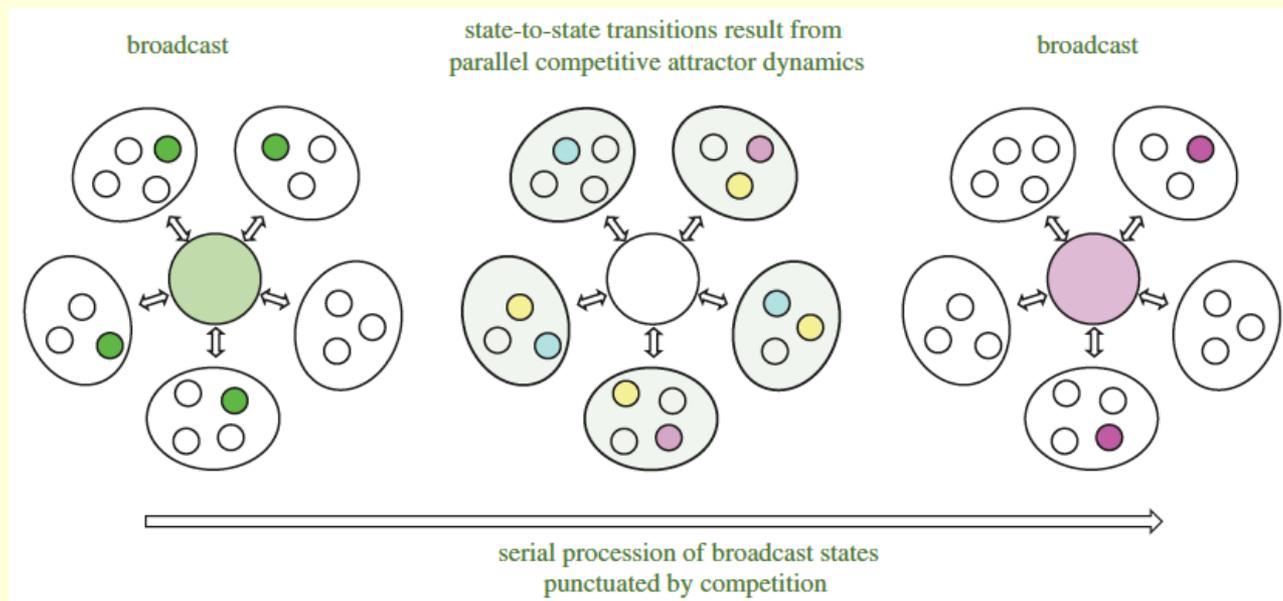
Ce qui s'avère essentiel pour toute prise de décision impliquant la survie de l'organisme en question.

*Damasio, A; Carvalho, GB (2013).  
"The nature of feelings: Evolutionary  
and neurobiological origins". Nature  
reviews. Neuroscience. 14 (2): 143–52.*



Car il est intéressant de s'interroger sur la question du **passage** ou de la **transition** entre les deux systèmes (O. Houdé, ch.3) :

« Dans le premier cas (résonance), il y a stabilisation et stockage en mémoire ; dans le second cas (non-résonance), aucune mise en mémoire n'a lieu. Tout porte à croire que **c'est ainsi que sont sélectionnées dans notre cerveau les stratégies de raisonnement heuristiques ou logiques**, au cas par cas, en «mémoire de travail» (en cours de tâche)... »



Et aussi de leur **construction progressive** :

« ...et que se construisent ensuite, par stabilisation à plus long terme, les Systèmes 1 et 2 (de Kahneman et Piaget)... » (Houdé, ch.3)



Dans une journée, on fait énormément de choses **inconsciemment**, sans y penser (**S1**)...

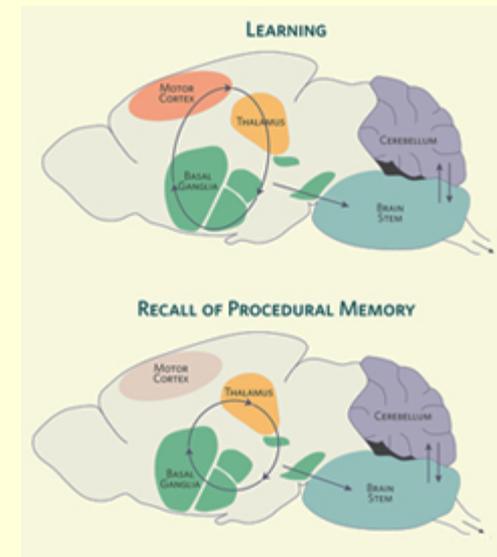


**Le BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Mardi, 13 octobre **2015**

**Le cortex moteur pas nécessaire pour exécuter une séquence de mouvement automatisée**

[www.blog-lecerveau.org/blog/2015/10/13/le-cortex-moteur-pas-necessaire-pour-executer-une-sequence-de-mouvement-automatisee/](http://www.blog-lecerveau.org/blog/2015/10/13/le-cortex-moteur-pas-necessaire-pour-executer-une-sequence-de-mouvement-automatisee/)





Dans une journée, on fait énormément de choses **inconsciemment**, sans y penser **(S1)**...



Ce n'est qu'occasionnellement qu'un événement nouveau ou imprévu nous force à une délibération plus **consciente (S2)**.



Même chose dans un autre domaine, celui de la médecine :

Moulton, C.A., et al., ***Slowing down when you should: a new model of expert judgment.*** Acad Med, 2007. **82**(10 Suppl): p. S109-16.

**Des “moments de ralentissement”** (i.e., permettant de passer du système 1 au système 2) surviennent en chirurgie quand la personne qui fait l’opération passe d’un état cognitif amenant des gestes automatiques à un autre qui demande plus d’efforts de raisonnement.

De tels moments peuvent être planifiés avant l’opération ou arriver en réponse à des facteurs environnementaux **imprévus** (configuration anatomique nouvelle, difficulté rencontrée de toutes sortes, etc.)

Et il y aurait un avantage à **rendre explicite** ces “moments de ralentissement”.

Même chose dans un autre domaine, celui de la médecine :

Moulton, C.A., et al., ***Slowing down when you should: a new model of expert judgment.*** Acad Med, 2007. **82**(10 Suppl): p. S109-16.

**Des “moments de ralentissement”** (i.e., permettant de passer du système 1 au système 2) surviennent en chirurgie quand la personne qui fait l’opération passe d’un état cognitif amenant des gestes automatiques à un autre qui demande plus d’efforts de raisonnement.

De tels moments peuvent être planifiés avant l’opération ou arriver en réponse à des facteurs environnementaux **imprévus** (configuration anatomique nouvelle, difficulté rencontrée de toutes sortes, etc.)

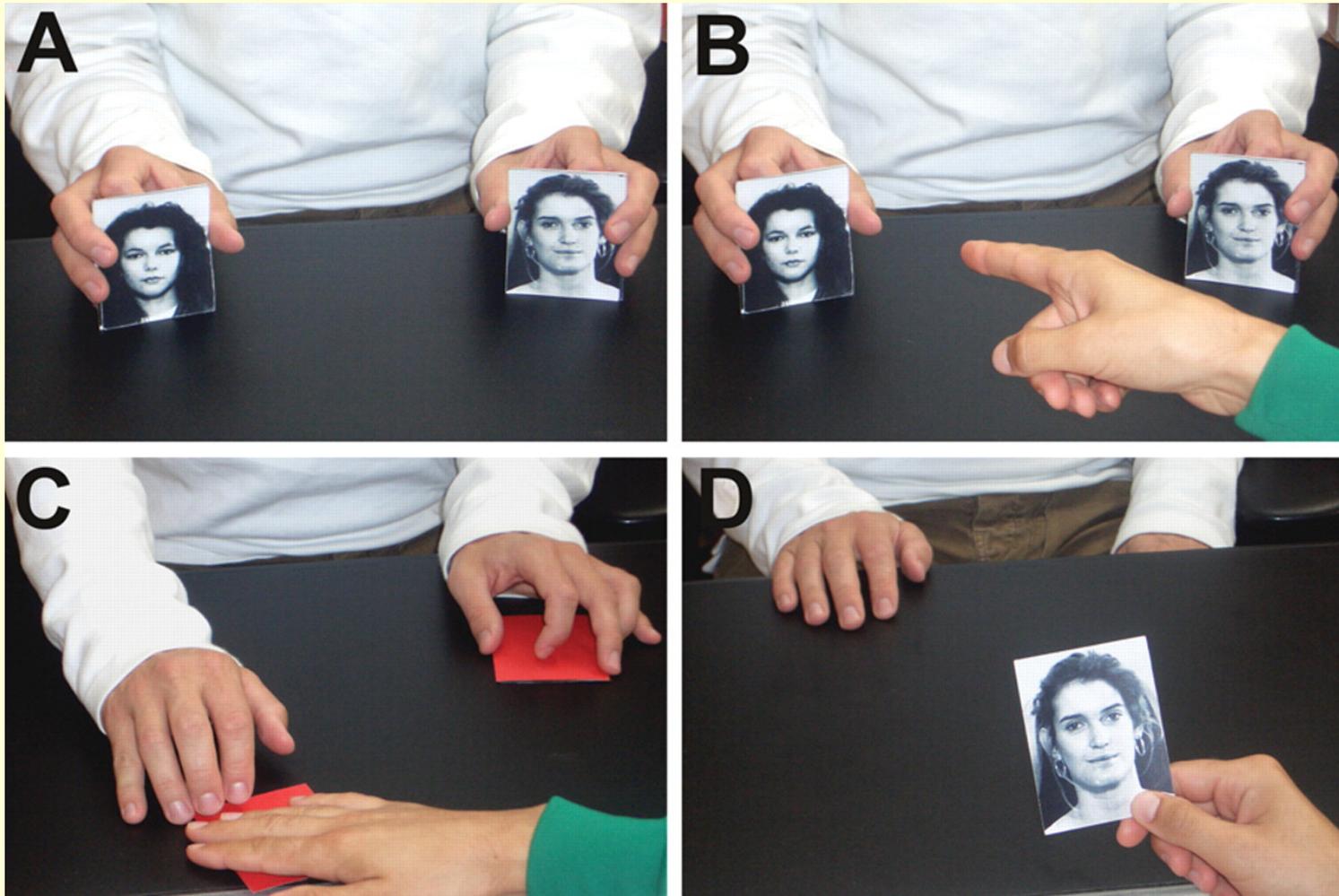
Et il y aurait un avantage à **rendre explicite** ces “moments de ralentissement”.

Justement là-dessus...

# Failure to detect mismatches between intention and outcome in a simple decision task.

<http://philpapers.org/archive/JOHFTD.pdf>

Johansson, P., Hall, L., Sikström, S., & Olsson, A. (2005).  
Science (New York, N.Y.), 310 (5745), 116 –9.



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

A gap in Nisbett and Wilson's findings?

A first-person access to our cognitive processes.

[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)

Conscious. Cogn. 22, 654–669.10.1016

Dans l'expérience de Johansson, **près de 80 %** des sujet **justifient leur choix sur la mauvaise image** sans s'en rendre compte.

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 !**

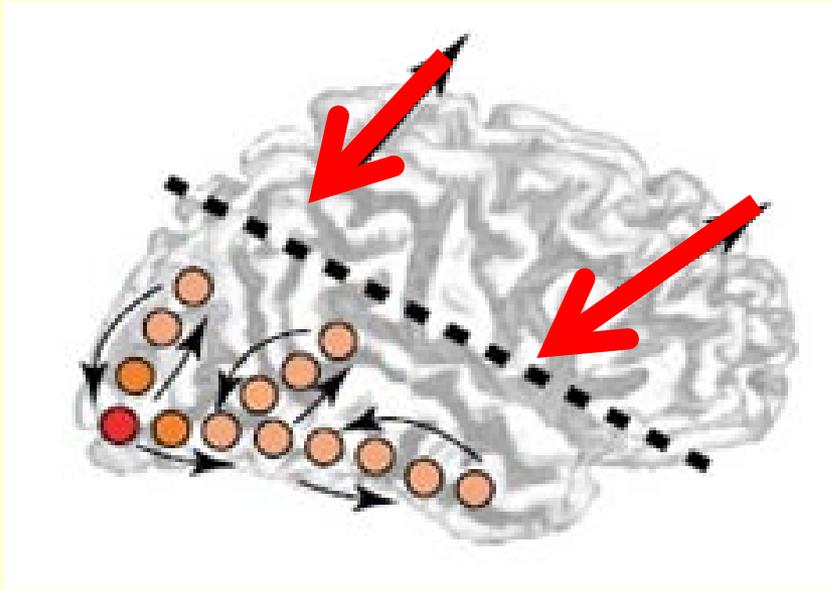
Les auteurs concluent que si nous sommes habituellement inconscients de nos processus décisionnels, on pourrait y accéder par certaines démarches introspectives.

## Thèse de Krystèle Appourchaux (2012):

<http://www.snd-sorbonne.fr/spip.php?article116&lang=fr>

« 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 ». »



Pour revenir aux processus duaux, avec leur popularité croissante sont venues **les critiques croissantes aussi...**

## **Dual-Process Theories of Higher Cognition: Advancing the Debate**

Jonathan St. B. T. Evans and Keith E. Stanovich

Perspectives on Psychological Science 8(3) 223–241 (2013)

“Evidence used to support dual theories is consistent with single-system accounts.” (Osman, 2004, p. 1006)

“Dual-process theories of reasoning exemplify the backwards development from precise theories to surrogates.” (Gigerenzer, 2011, p. 739)

“We propose that the different two-system theories lack conceptual clarity, that they are based upon methodological methods that are questionable, and that they rely on insufficient (and often inadequate) empirical evidence.” (Keren & Schul, 2009, p. 534)

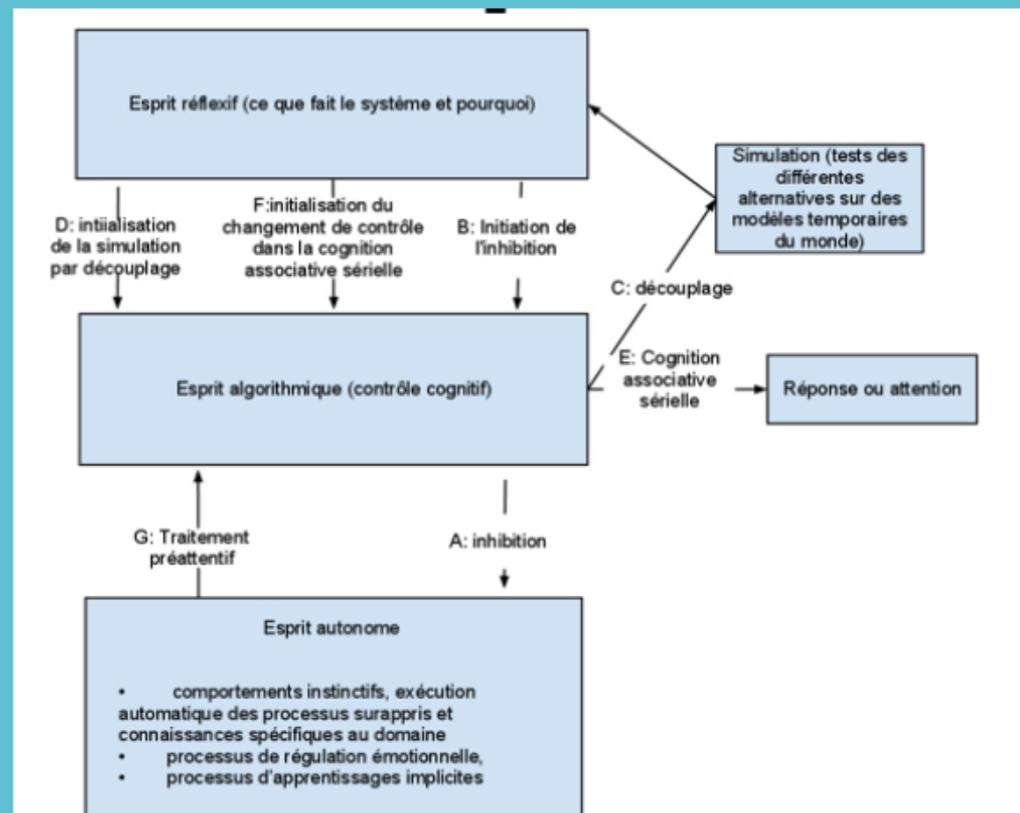
“In this article, we presented a number of convergent arguments and empirical evidence for a unified theoretical approach that explains both intuitive and deliberative judgments as rule based, as opposed to the dual-systems approach of qualitatively different processes.” (Kruglanski & Gigerenzer, 2011, p. 106)

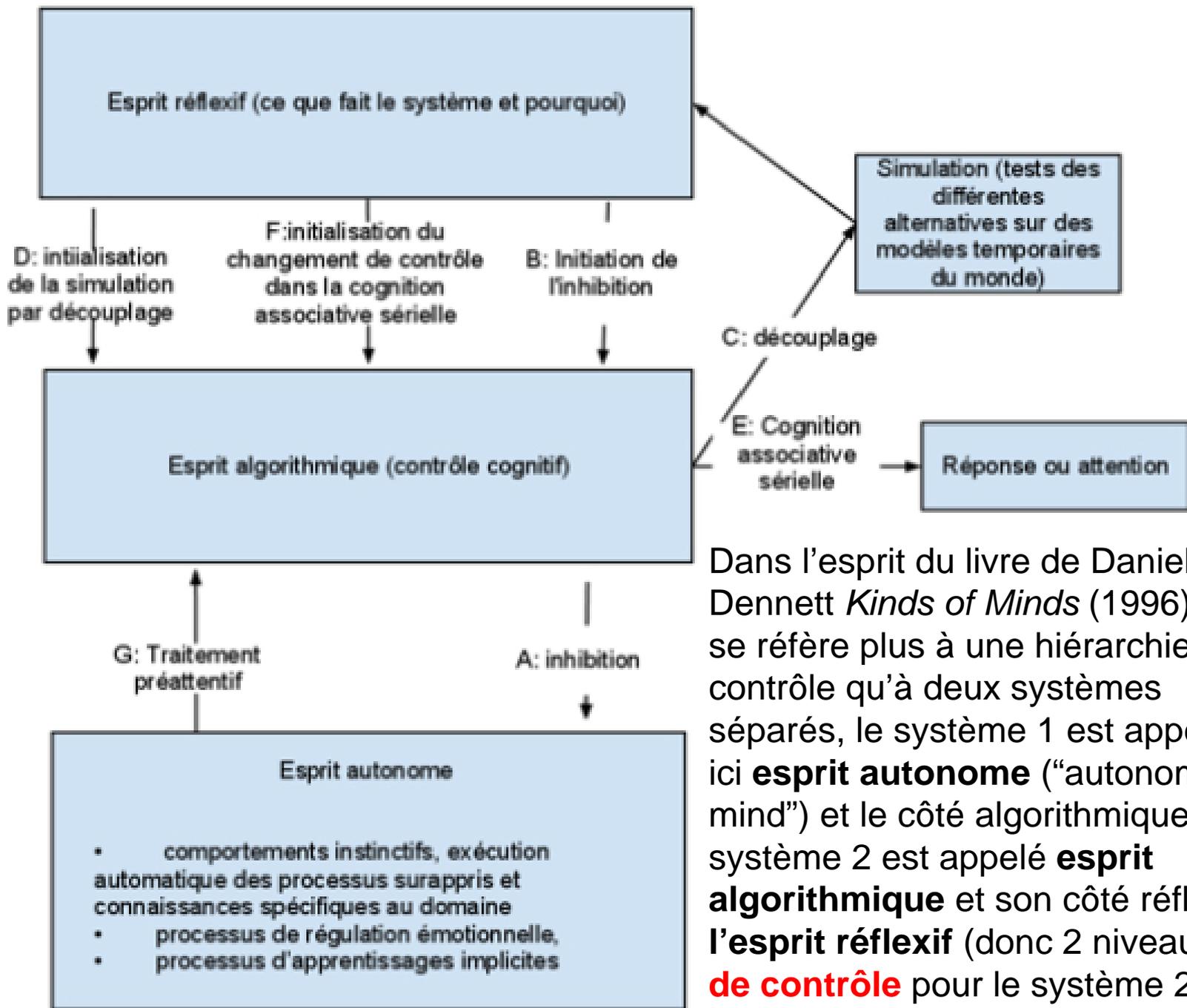
Mais Guillaume je vais laisser Guillaume détailler ça dans la 2<sup>e</sup> partie de la séance.

Je voudrais simplement mentionner que...

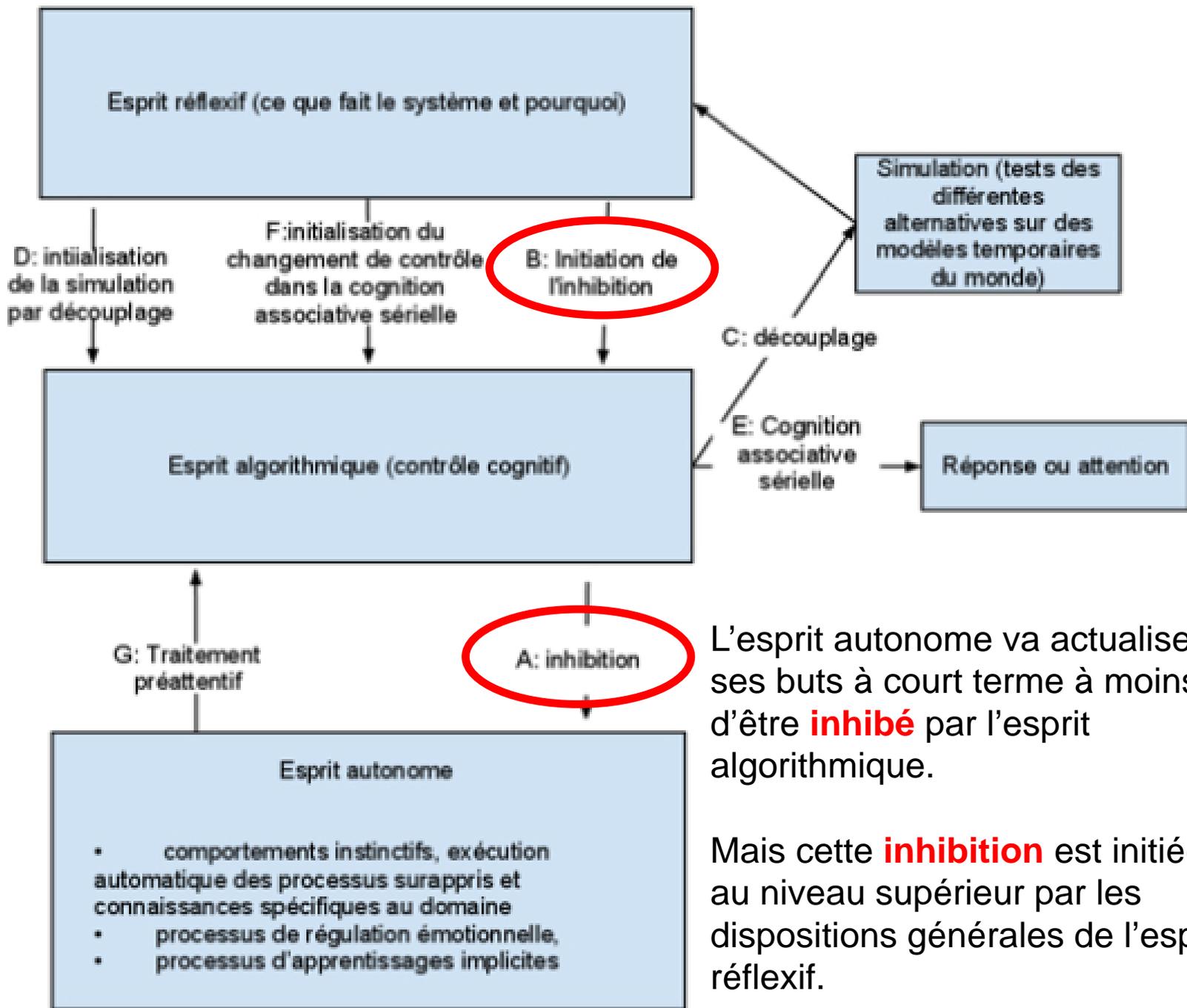
## La dualité+

- Framework tripartite de Stanovich:
  - Interactions bien spécifiées
  - Rend compte d'un large éventail de phénomènes cognitifs





Dans l'esprit du livre de Daniel Dennett *Kinds of Minds* (1996) qui se réfère plus à une hiérarchie de contrôle qu'à deux systèmes séparés, le système 1 est appelé ici **esprit autonome** ("autonomous mind") et le côté algorithmique du système 2 est appelé **esprit algorithmique** et son côté réflexif **l'esprit réflexif** (donc 2 niveaux **de contrôle** pour le système 2).



L'esprit autonome va actualiser ses buts à court terme à moins d'être **inhibé** par l'esprit algorithmique.

Mais cette **inhibition** est initiée au niveau supérieur par les dispositions générales de l'esprit réflexif.



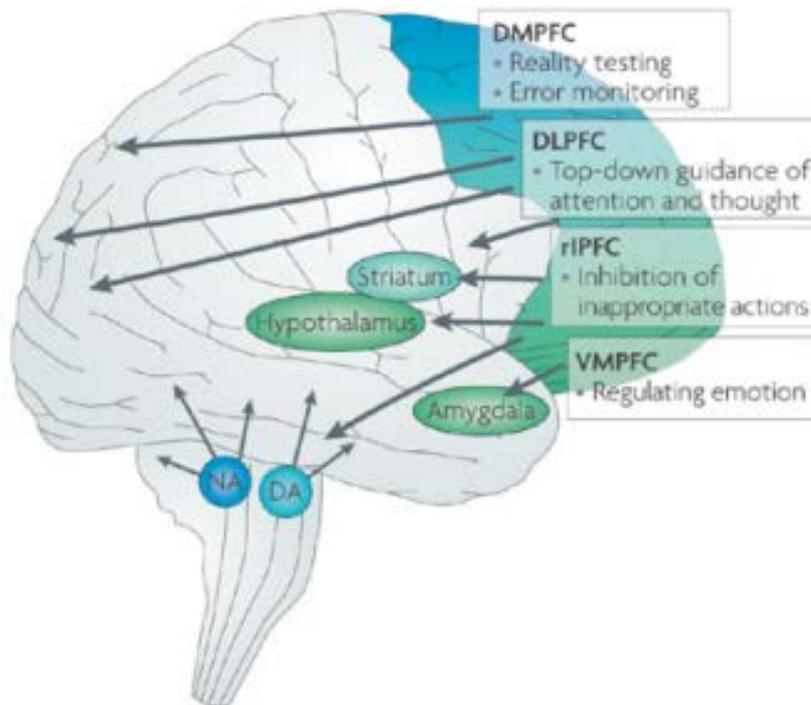
## Le **BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2015/11/02/linhibition-prefrontale-a-la-rescousse-de-lesprit-critique/>

2 novembre 2015

### L'**inhibition** préfrontale à la rescousse de l'esprit critique

a Prefrontal regulation during alert, non-stress conditions



« Il est très difficile de penser librement. Nos croyances plongent des racines interminables dans notre passé lointain, notre éducation, le milieu social où nous vivons, le discours des médias et l'idéologie dominante. Parfois, elles nous empêchent de réfléchir au sens propre. »

- Olivier Houdé



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

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2015/11/02/linhibition-prefrontale-a-la-rescousse-de-lesprit-critique/>

2 novembre 2015

### L'**inhibition** préfrontale à la rescousse de l'esprit critique

- l'accès au mode raisonnement, autrement dit à une pensée plus libre, passe d'abord par le **blocage** du mode automatique toujours prêt à s'exprimer le premier (le « système 1 »).
- Impossible, donc, d'exercer sa pensée critique si l'on ne réussit pas, dans un premier temps, à faire taire cette irrépressible envie d'apporter cette première réponse rapide qui nous vient spontanément à l'esprit.

Autre exemple :

« On demande aux participants : (a) *la température moyenne annuelle en Allemagne est-elle supérieure ou inférieure à 20° C* ou (b) *la température moyenne annuelle en Allemagne est-elle supérieure ou inférieure à 5° C* ? Juste après, Mussweiler leur demande, dans une autre tâche, d'identifier simplement des mots (par rapport à des non mots).

Résultats : l'amorce ou ancrage « 20° C » facilite de façon statistiquement significative (amorçage positif) la reconnaissance de mots liés à l'été (soleil, plage, etc.), alors que l'amorce « 5° C » favorise la reconnaissance de mots liés à l'hiver (gel, ski, etc.).

Les nombres élevés ou bas activent ici, **par association en mémoire**, des séries différentes d'idées.

Ces effets de suggestion cognitive sont pour Kahneman un exemple supplémentaire, l'un des plus insidieux, des opérations automatiques du Système 1. » (O. Houdé, ch.3)

Autre exemple :

« On demande aux participants : (a) *la température moyenne annuelle en Allemagne est-elle supérieure ou inférieure à 20° C* ou (b) *la température moyenne annuelle en Allemagne est-elle supérieure ou inférieure à 5° C* ? Juste après, Mussweiler leur demande, dans une autre tâche, d'identifier simplement des mots (par rapport à des non mots).

Résultats : l'amorce ou ancrage « 20° C » facilite de façon statistiquement significative (amorçage positif) la reconnaissance de mots liés à l'été (soleil, plage, etc.), alors que l'amorce « 5° C » favorise la reconnaissance de mots liés à l'hiver (gel, ski, etc.).

Les nombres élevés ou bas activent ici, **par association en mémoire**, des séries différentes d'idées.

Ces effets de suggestion cognitive sont pour Kahneman un exemple supplémentaire, l'un des plus insidieux, des opérations automatiques du Système 1. » (O. Houdé, ch.3)

**→ Des mécanismes d'apprentissage associatifs élémentaires pourraient-ils être derrière certaines manifestations du système 1 ?**

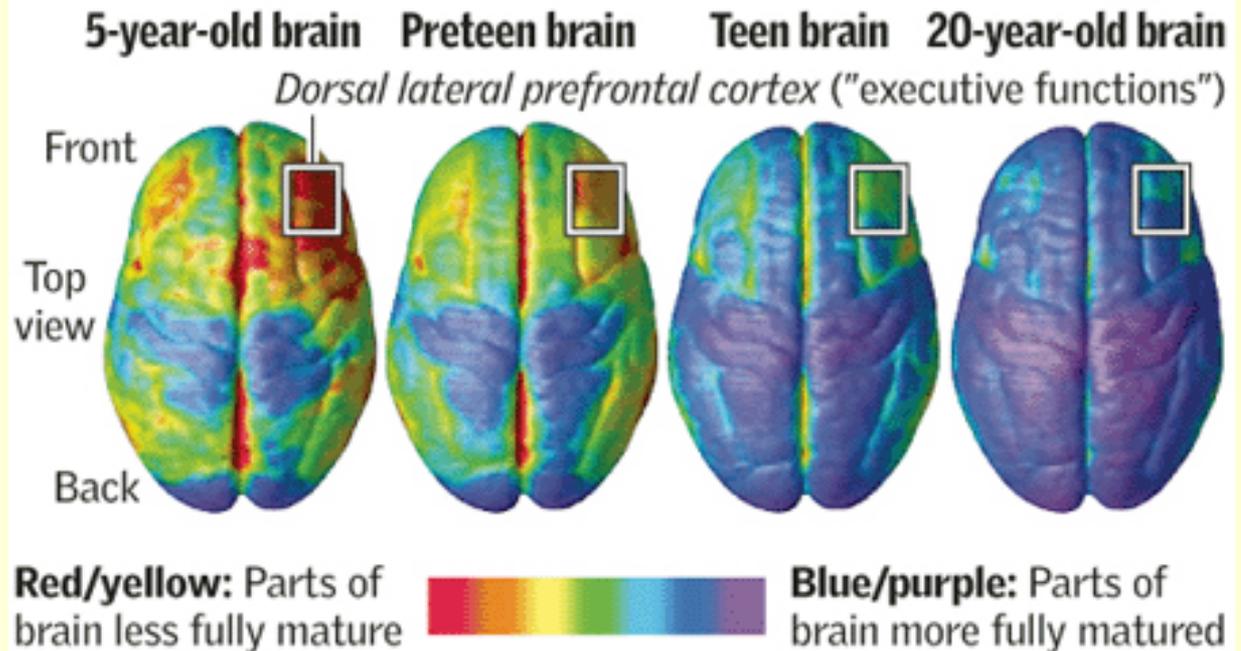
Autre  
exemple :



Les enfants, plus que personne, sont sujets  
aux croyances.

## Judgment last to develop

The area of the brain that controls "executive functions" — including weighing long-term consequences and controlling impulses — is among the last to fully mature. Brain development from childhood to adulthood:



Sources: National Institute of Mental Health;  
Paul Thompson, Ph.D., UCLA Laboratory of  
Neuro Imaging

Thomas McKay | The Denver Post



Les enfants, plus que personne, sont sujets aux croyances.



Olivier Houdé : Observer le développement de l'intelligence  
<http://r2sciences42.com/Olivier-Houde-Observer-le>

OLIVIER HOUDÉ : Comme Piaget, je pense que **l'enfant ressemble à un petit savant** : pour se développer, il doit **découvrir** par ses sens, ses actions et ses pensées **les lois de fonctionnement du réel**.

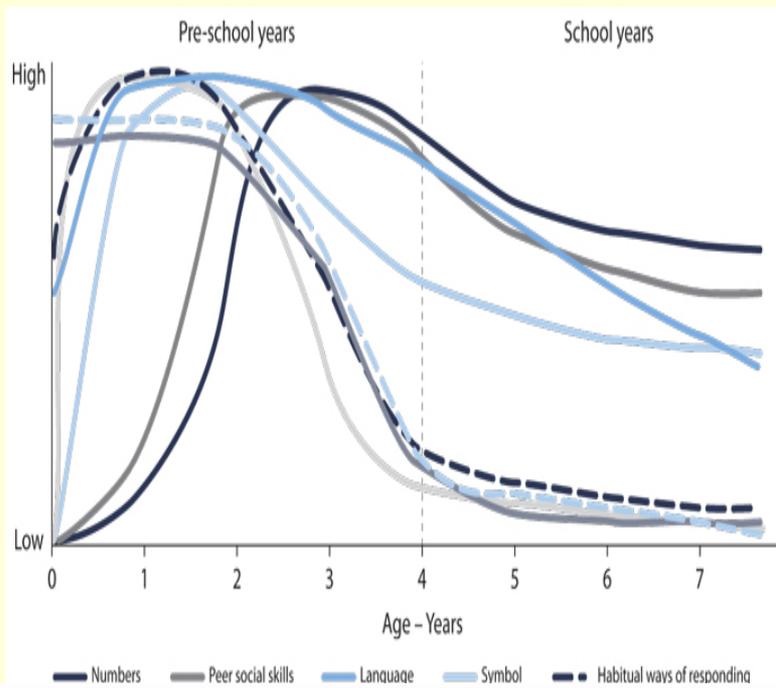
<http://www.larecherche.fr/savoirs/dossier/olivier-houde-se-developper-c-est-apprendre-a-inhiber-01-07-2005-74569>



Il y a encore des étapes qui surviennent avant d'autres,

mais on observe beaucoup de chevauchement

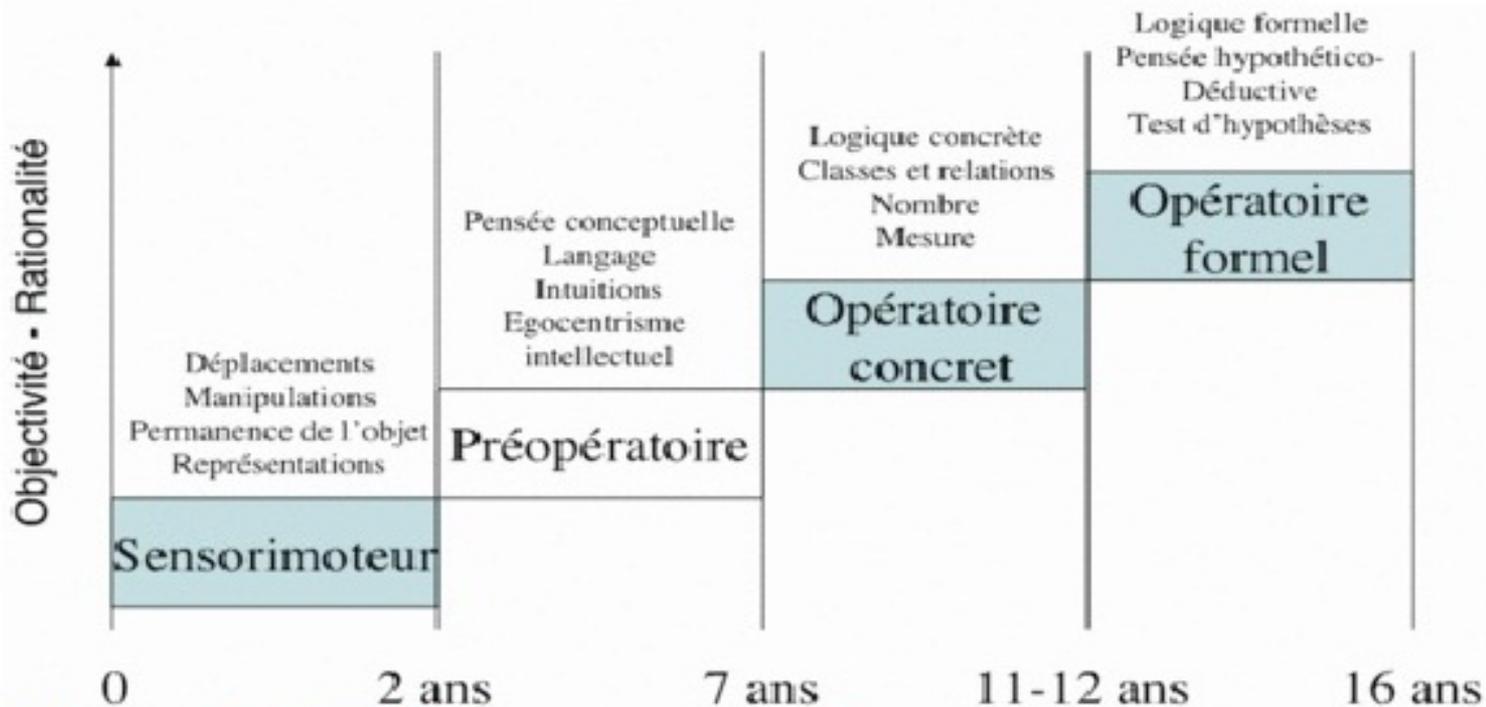
(avec possibilité de **compétition** entre les différents mécanismes..)



En revanche, je ne suis pas d'accord avec son « **modèle de l'escalier** » :

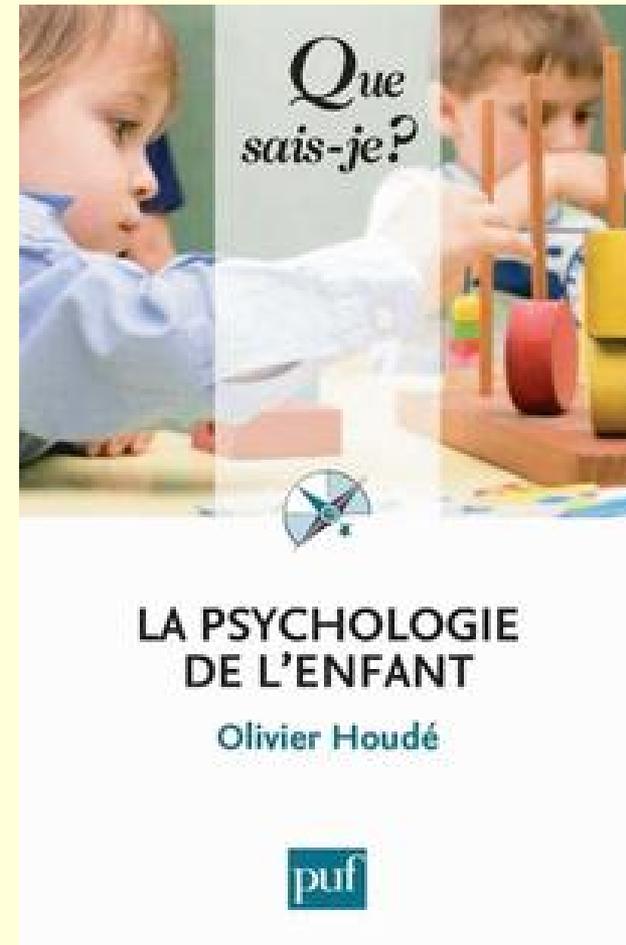
**Piaget pensait que le développement se déroule de manière linéaire et cumulative, chaque marche correspondant à un grand progrès.**

## Stades du développement de l'enfant selon Piaget



D'autre part, la suite du développement de l'intelligence jusqu'à l'âge adulte est **jalonée d'erreurs de logique, de biais perceptifs non prédits par la théorie piagétienne.**

Plutôt que de suivre un plan qui mènerait, sans retour en arrière, du stade sensori-moteur à l'abstraction, l'intelligence de l'enfant avance de façon beaucoup plus **irrégulière** !





L' « architecture cognitive »  
d'un être humain adulte se  
construit quand même selon  
un certain « ordre »...

Raisonnement

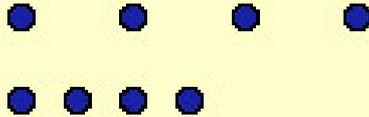
Catégorisation

Nombre

Objet (sa persistance)



...mais le cerveau des adolescents et des adultes continue  
de faire, comme celui des enfants plus jeunes, des erreurs  
perceptives systématiques dans certaines tâches de  
logique, pourtant assez simples.



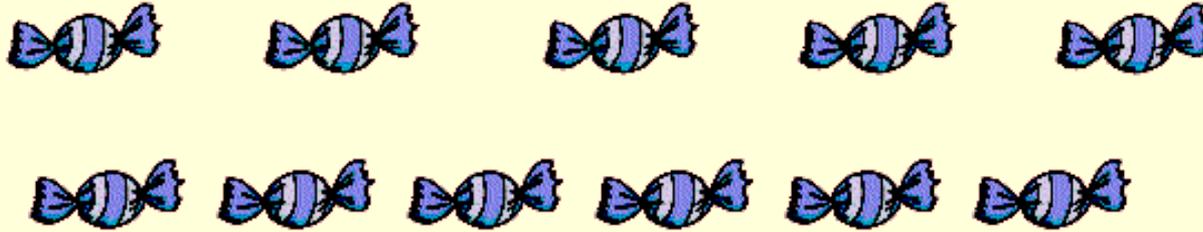
Prenons l'exemple de la **cognition numérique**.

Selon Piaget, il faut attendre que l'enfant ait 7 ans, l'âge de raison, pour qu'il atteigne la « marche de l'escalier » correspondant à l'acquisition du **concept de nombre**.

Pour le prouver, Piaget plaçait l'enfant face à deux rangées composées du même nombre de jetons plus ou moins écartés.

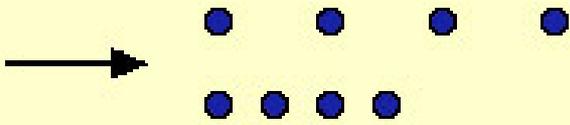
**Jusqu'à l'âge de 6-7 ans l'enfant se trompe** : il déclare que la rangée la plus longue contient plus de jetons.

Il commet une erreur d'intuition perceptive. Selon Piaget, cela signifie que l'enfant d'école maternelle n'a pas encore acquis la notion de nombre.



Pourtant, dès **1968**, le psychologue Jacques Mehler montrait qu'un enfant de 2 ans ne se trompe pas entre deux rangées contenant un nombre inégal de bonbons : **il choisit celle qui contient le plus de bonbons, même si elle est plus courte.**

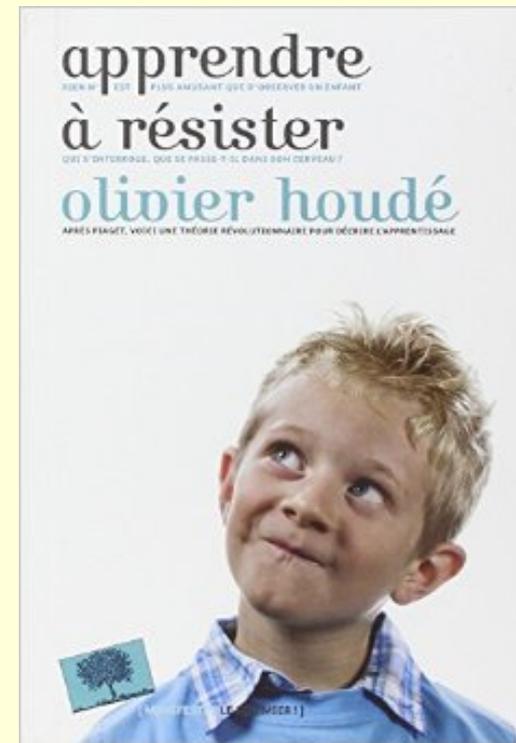
L'émotion et la gourmandise rendent donc l'enfant mathématicien bien plus tôt que ne le croyait Piaget, **et même avant le langage, donc bien avant 2 ans...**



Pourquoi, alors que le bébé a déjà le sens du nombre, l'enfant se trompe-t-il encore jusqu'à 7 ans dans la tâche de comptage des jetons imaginée par Piaget ?

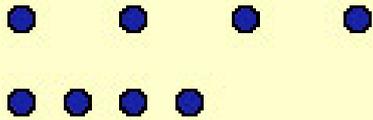
Houdé et son équipe ont montré que **ce qui pose réellement problème à l'enfant dans cette tâche, ce n'est pas le nombre en tant que tel, puisqu'il l'utilise bien plus tôt, mais c'est d'apprendre à inhiber la stratégie perceptive inadéquate, c'est-à-dire à inhiber l'illusion « longueur égale nombre ».**

**Se développer, c'est donc aussi apprendre à inhiber certaines connaissances à certains moments.**



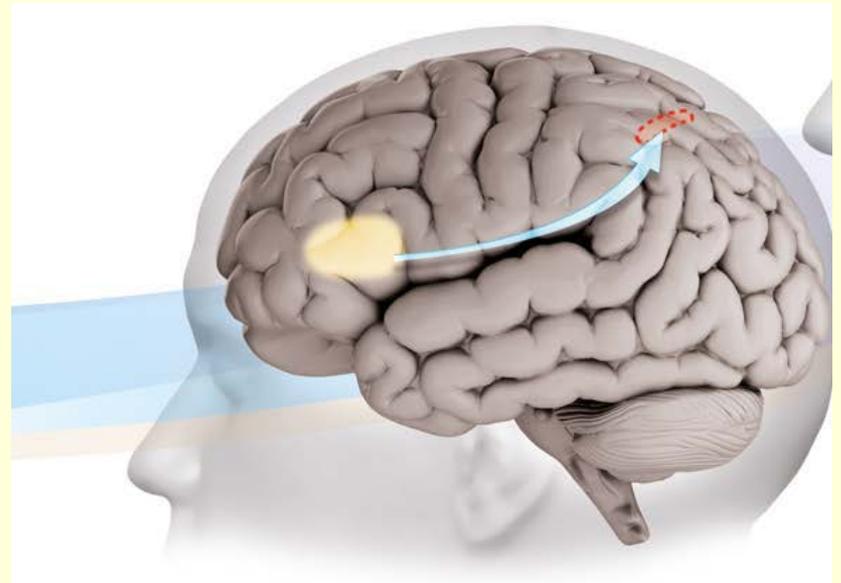


Houdé a repris l'expérience de Piaget et s'est intéressé à **l'instant où l'enfant parvient à mettre entre parenthèses sa croyance spontanée** pour examiner la situation au moyen de ses outils logiques. (vers 6-7 ans ou avant avec l'aide d'un parent)



Ce que l'équipe de Houdé a mis en évidence, c'est une **activation du cortex préfrontal inférieur** de ces enfants au moment où ils suspendent leur croyance.

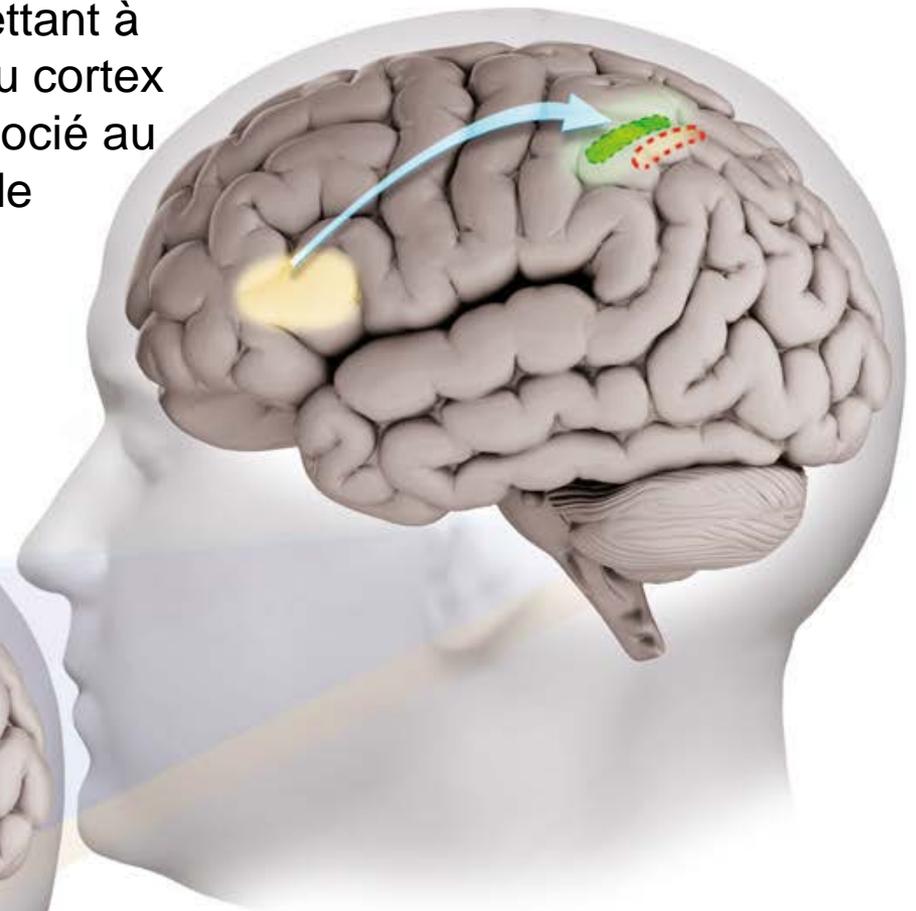
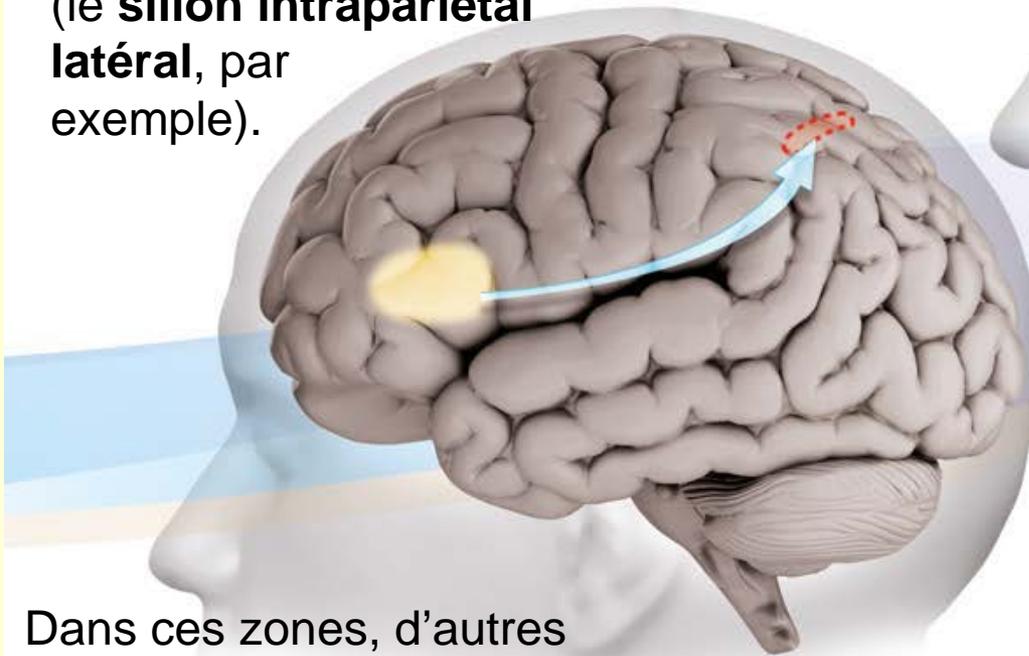
« on observe un **basculement très net** d'une distribution d'assemblées de neurones située à l'arrière du cerveau à une distribution située à l'avant, dans le cortex préfrontal. » (Houdé, ch.3)



Or, les neurones de cette région projettent leur axone vers d'autres zones du cerveau impliquées dans ces automatismes de pensée

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

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



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.

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

Ce que l'équipe de Houdé a donc mis en évidence, à la suite de plusieurs autres travaux qui vont en ce sens, c'est ni plus ni moins qu'un « **système 3** » (ou « **système exécutif** »), un système inhibiteur du système 1.

## Systeme heuristique

Pensee «automatique»  
et intuitive

Fiabilité



Rapidité



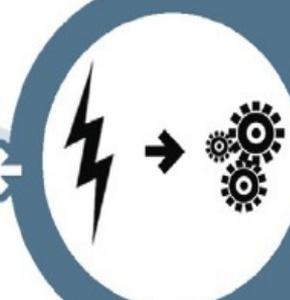
1

## Systeme d'inhibition

Interrompt le systeme  
heuristique pour activer  
celui des algorithmes

→ *Fonction d'arbitrage*

3



## Systeme algorithmique

Pensee réfléchie  
«logico-mathématique»

Fiabilité



Rapidité



2

Ce serait donc ce type de câblage inhibiteur, impliquant notre cortex préfrontal inférieur, qui nous permet de résister courageusement (!) à notre instinct ancestral pour le **sucre**.

Fort utile dans notre passé de chasseur-cueilleur où les calories étaient rares, celui-ci est devenu néfaste pour la santé aujourd'hui avec les tonnes de sucre raffiné facilement accessibles.



Houdé souligne aussi **l'aspect dynamique du processus** (ch.3) :

« 1/ dans le cerveau en action, à tout moment, y compris chez l'adulte, plusieurs stratégies de raisonnement peuvent se télescoper, entrer en compétition, les réponses perceptives (biais ou heuristiques) prenant alors souvent le pas sur les réponses logiques (le constat de Kahneman sur la dominance du Système 1)

2/ c'est l'inhibition cognitive, déclenchée ici par un apprentissage expérimental (Système 3), qui se révèle être la clé de l'accès à la logique (Système 2).

Cette expérience illustre donc de façon dynamique (compétition/sélection) comment peut se mettre en place un processus d'abstraction (de la perception à la logique) dans le cerveau. »

Lien intéressant entre Damasio et Houdé (ch.2) **pour expliquer cette activation du cortex préfrontal ventro-médian** :

« Au cours du développement cognitif et affectif de l'enfant, ces marqueurs deviennent de plus en plus nuancés et **seraient stockés dans le cerveau sous la forme de « boucles de simulation » (les sentiments)** qui permettent l'économie d'une référence directe aux états somatiques réels .

Ces marqueurs somatiques, porteurs de valeurs émotionnelles, sont **intégrés au niveau du CPVM où ils fonctionnent comme une sorte de guide automatique** – « l'esprit modulé par le corps » – qui oriente les choix de l'individu et donc son raisonnement.

Ils agiraient de façon partiellement « cachée », c'est-à-dire sans que le sujet en ait nécessairement conscience, pour privilégier, par le biais des mécanismes d'attention, certains éléments par rapport à d'autres et pour commander les signaux de marche, arrêt, changement de direction, impliqués dans la prise de décision.

**C'est là que peuvent s'insérer les émotions trompeuses** de Kahneman (aversions, heuristique de l'affect, etc.) mais, inversement, ce rôle de l'émotion **peut aussi être positif (rééquilibrage), en faveur du Système 2.** »

« Nous suggérons que le **Système 3 inhibiteur** est aussi et peut-être avant tout le héros, celui de la **résistance cognitive**.

[...] la référence à Damasio nous a déjà permis ici de bien comprendre [...] comment l'inhibition positive, constructive, facteur d'intelligence (arrêt de S1 pour libérer S2), peut être orientée par les circuits émotionnels du cerveau.

C'est une autre façon que ne l'a fait Piaget d'établir **un lien profond, somatique (homéostasie, régulation et guidage) avec la biologie.** »

(H. Oudé, Chap. 2 :Les théories du double système)

« On peut dès lors avancer, en termes darwiniens, que l'évolution (phylogenèse) a dû façonner un cerveau qui ressent des émotions nécessaires pour inhiber les comportements inadaptés (via un système de variation / sélection et de test comme celui proposé par Changeux), y compris lorsqu'il s'agit de raisonnement logique.

**C'est peut-être cela la forme optimale de l'adaptation biologique et non pas, comme le pensait Piaget, l'intelligence logique en tant que telle (Système 2). » (O. Houdé, ch.3)**

## **Au laboratoire comme à l'école. [...]**

« On sait qu'à l'école les enfants butent souvent sur des énoncés verbaux du type : Louise a 25 billes. Elle a 5 billes de plus que Léo. Combien Léo a-t-il de billes ?

Fréquemment, l'enfant ne parvient pas à inhiber l'heuristique implicite « il y a le mot "plus" alors j'additionne » ( $25 + 5 = 30$ ) afin d'activer l'algorithme simple de soustraction ( $25 - 5 = 20$ ). Ici aussi, la procédure d'amorçage négatif a permis de mesurer le coût exécutif réel d'entrée en action du Système 3 (inhiber  $25 + 5 = 30$ ) lorsque les enfants apprennent à surmonter leur difficulté logique (bonne réponse = 20) .

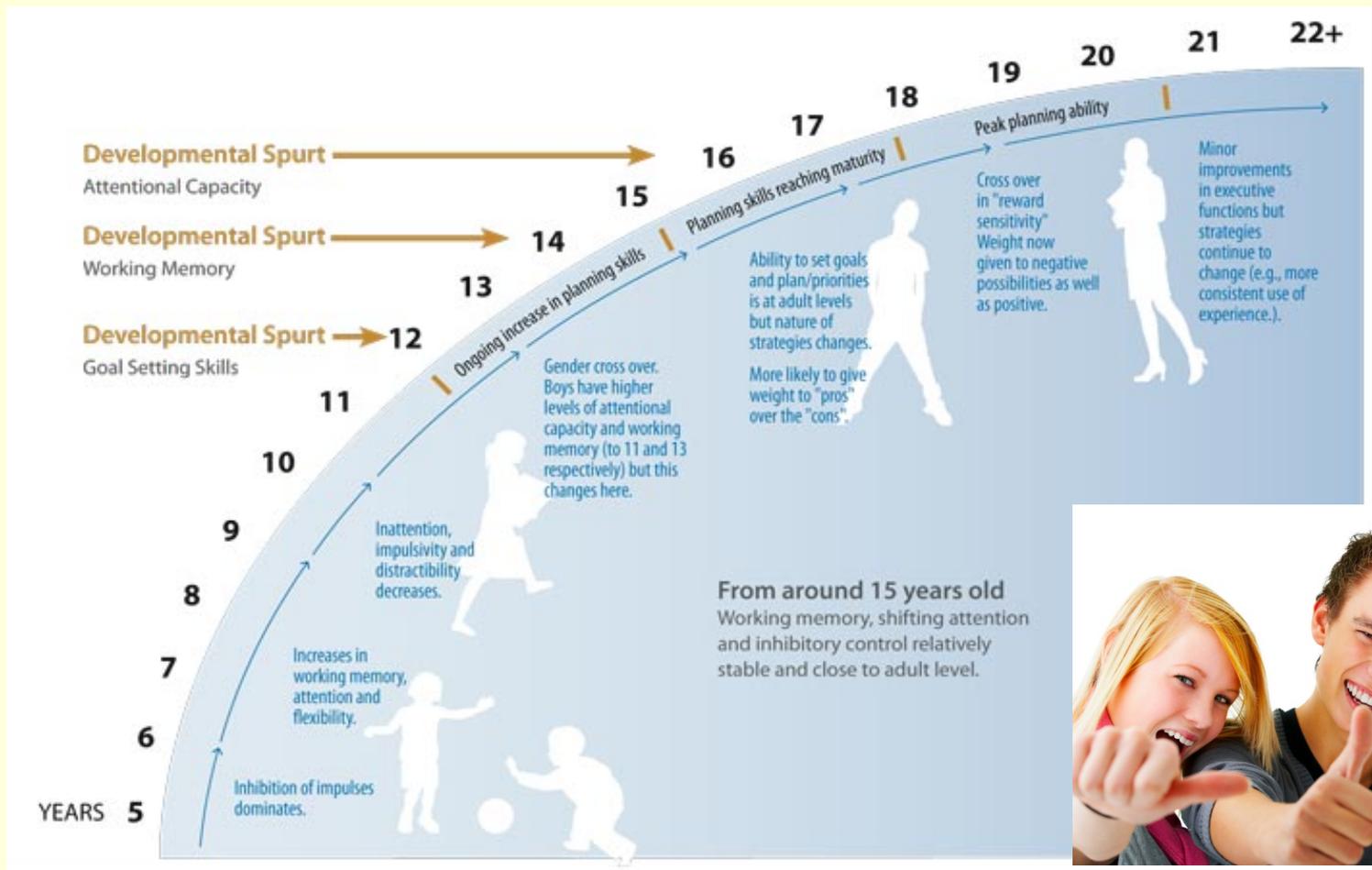
Inutile donc de lui répéter, au-delà du nécessaire, les règles de l'addition et de la soustraction (Système 2) ;

**c'est plutôt le Système 3 qu'il faut exercer. »**

« La pédagogie doit viser le **Système 3** dans son rôle dit « **exécutif** ».

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

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



### **En guise de conclusion (dernier paragraphe de Houdé, ch.3) :**

« Si elle est bien exercée et renforcée positivement (par l'école, la pédagogie), **cette séquence exécutive *doute / regret / inhibition* peut être stabilisée dans notre cerveau**, renforcée en mémoire à long terme (darwinisme neuronal / mental) et devenir, elle aussi, *très rapide* (donc adaptative, compétitive par rapport à la rapidité du Système 1 de Kahneman) face à de nouveaux conflits cognitifs semblables.

C'est avec l'idée d'apprendre aux enfants, comme aux adultes, ce type d'« automatismes métacognitifs » efficaces que l'éducation au raisonnement peut espérer – au-delà du simple apprentissage logique lui-même – combattre et corriger les biais, tant déductifs qu'inductifs. »

Mais Guillaume va détailler tout ça dans la deuxième partie de la séance....