

19 octobre

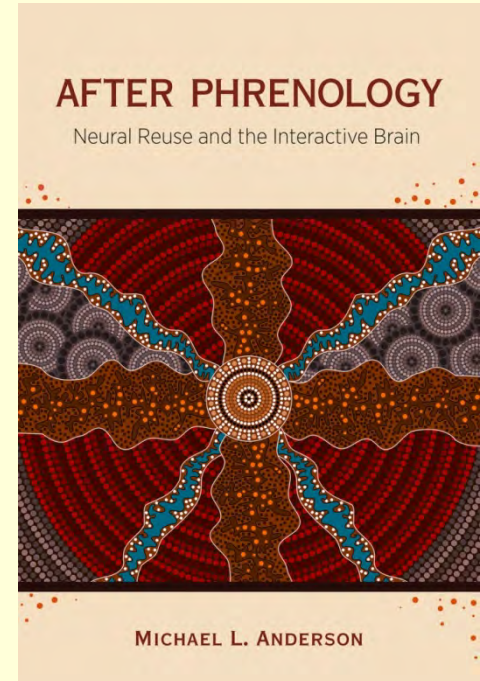
## 9- Le débat sur la spécialisation fonctionnelle du cerveau (ou comment sortir de la phrénologie)

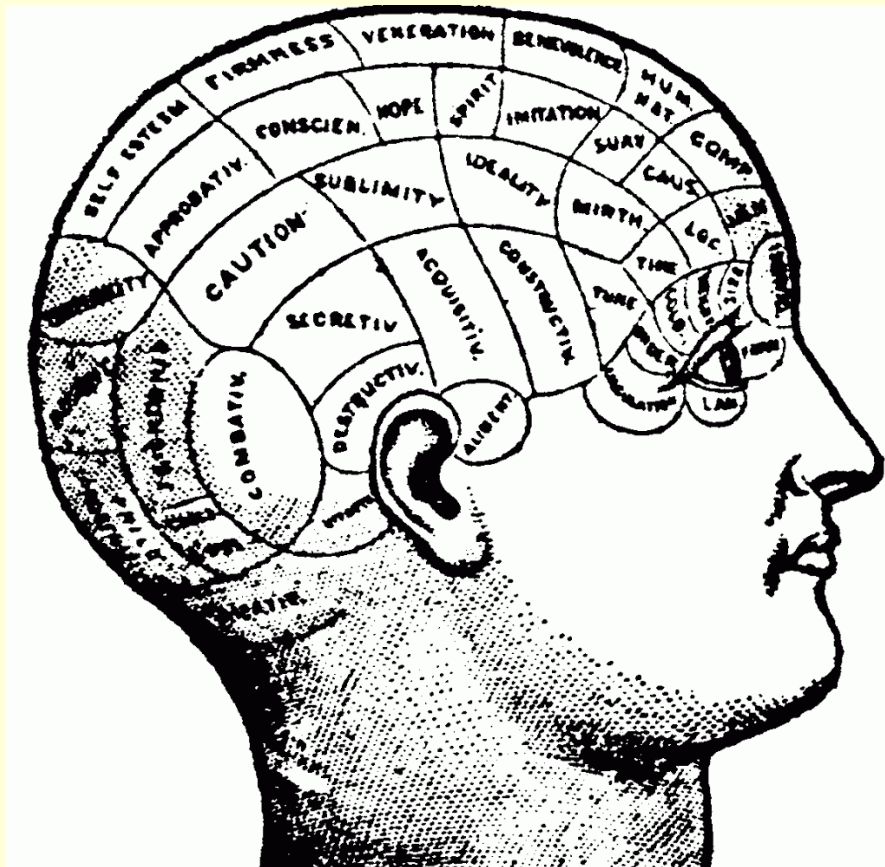
### Cours :

- Introduction à la linguistique cognitive  
(1/2 h. donnée par Jimena Terraza)
- Présentation des 4 premiers chapitres de  
*After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain*

### Article :

Précis of *After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain*  
Michael Anderson, 2015.

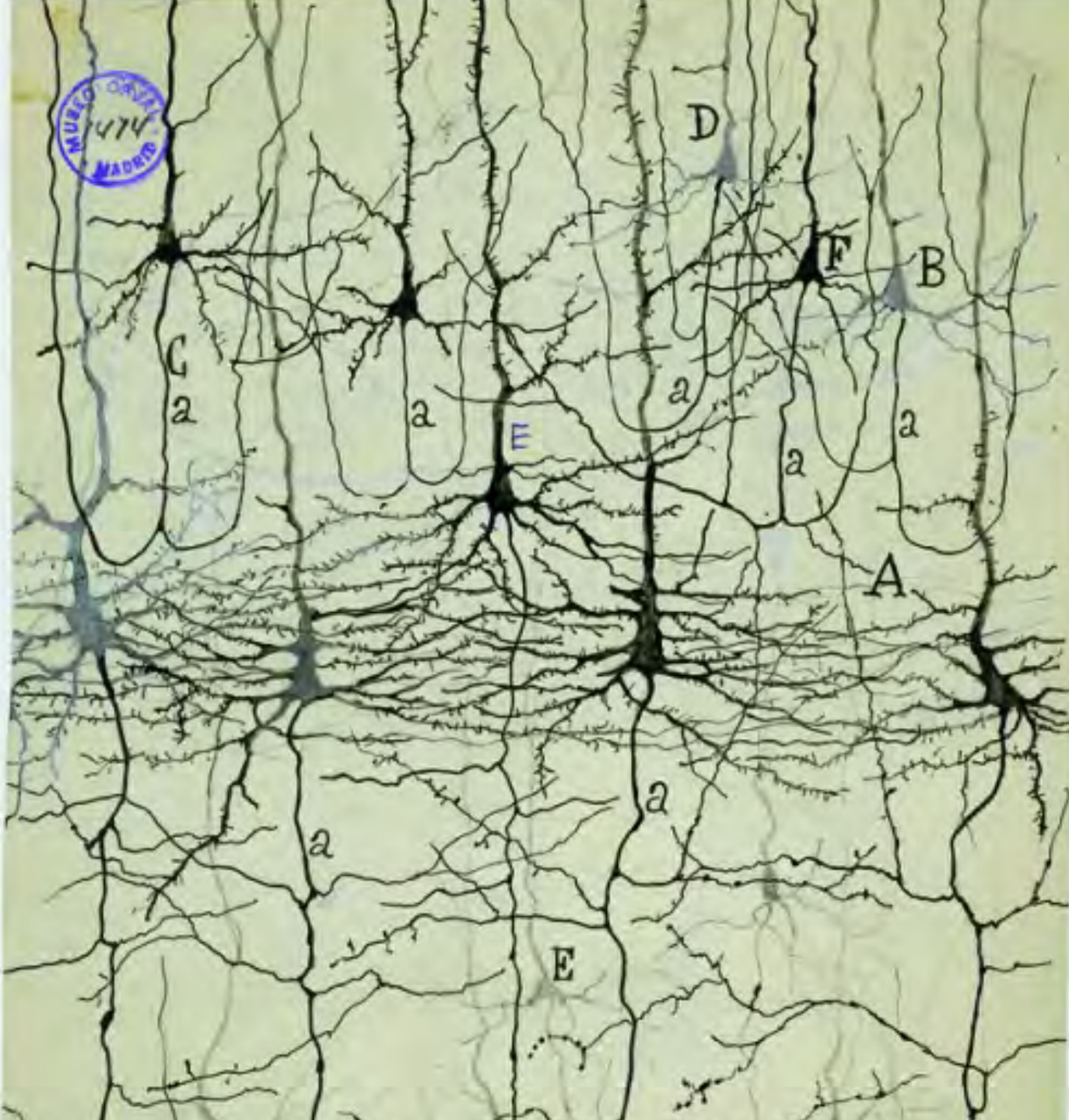




Les critiques de la phrénologie les plus sévères venaient à l'époque du fait que le cerveau était considéré comme une **collection** de régions, alors qu'à l'époque prévalait la conception de **réticulum**

(donc une seule et même chose)

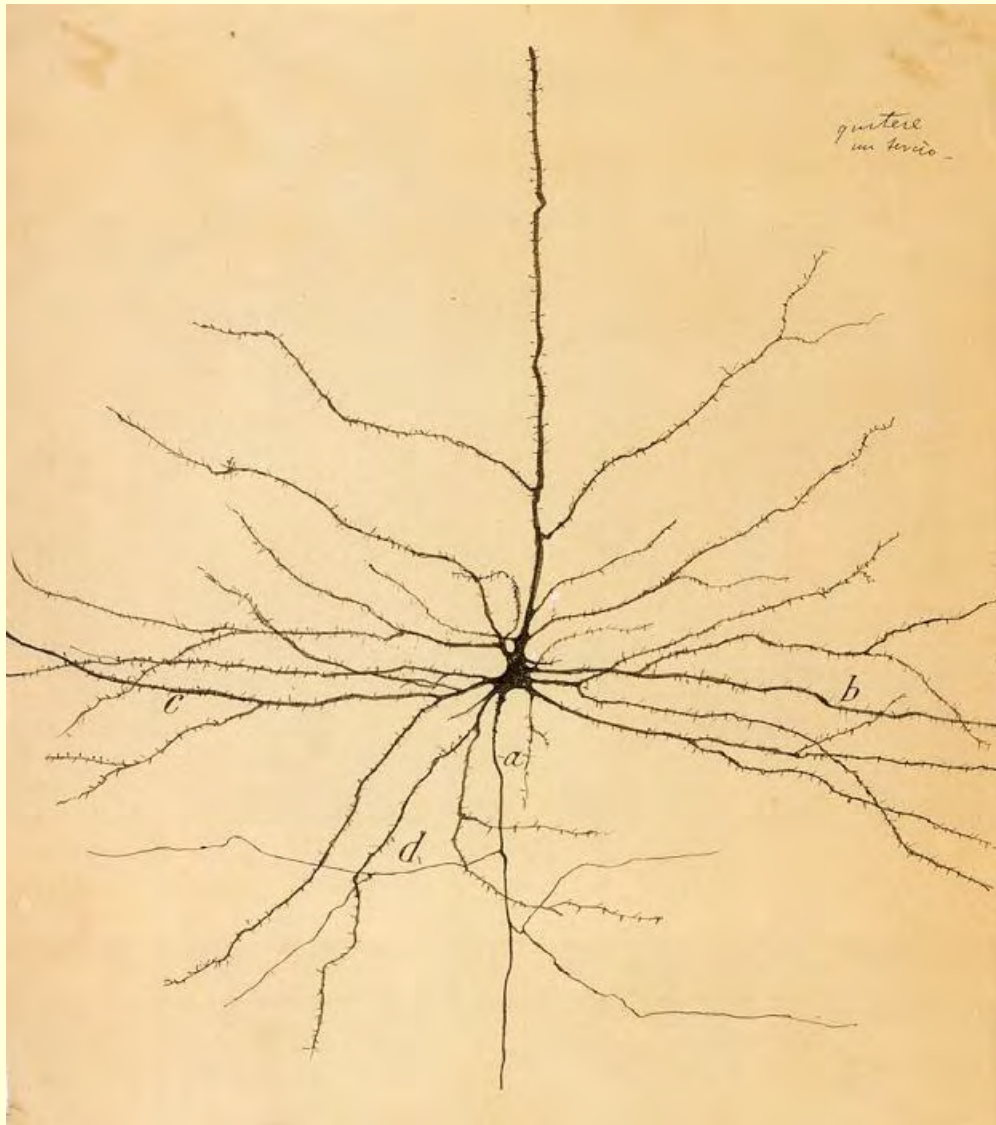
défendu entre autre par Golgi, mais pas par Cajal !



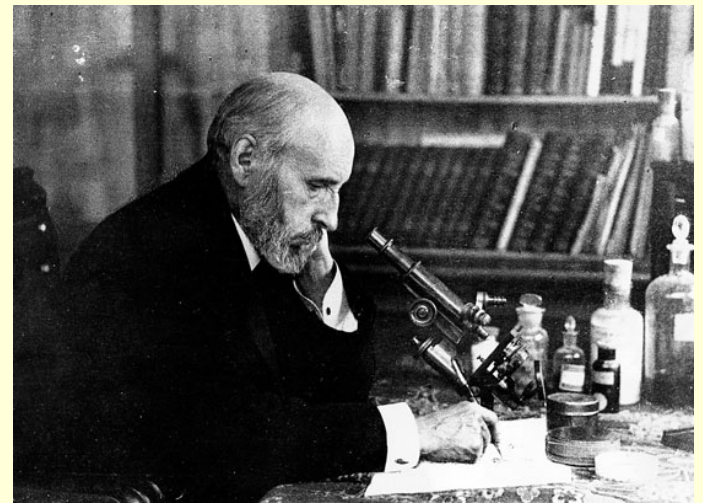
À cette époque,

le paradigme dominant était encore que le système nerveux était constitué d'un **maillage fusionné**

ne comportant **pas de cellules isolées.**



Mais Cajal va montrer, à l'aide de la coloration de Golgi, que les neurones semblent plutôt former des cellules distinctes les unes des autres.

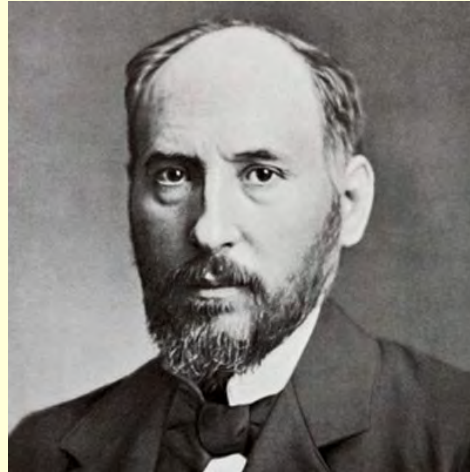


Neurone pyramidal du cortex moteur

Golgi et Cajal obtiennent le Prix Nobel de physiologie ou médecine en 1906.



Dans son discours de réception du prix, Golgi défendit la **théorie réticulaire**.



Cajal, qui parlait après lui, contredit la position de Golgi et exposa sa **théorie du neurone...**

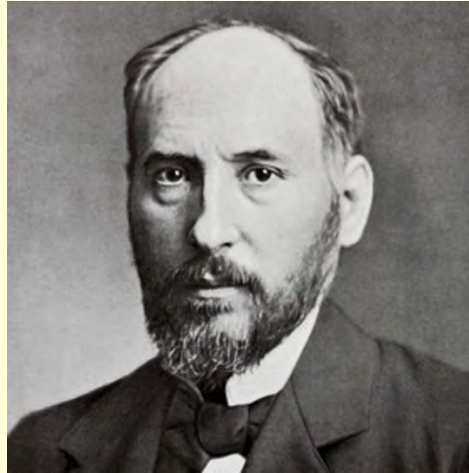
qui fut bientôt admise.

**Les deux débats étaient donc liés.**

Mais si Cajal était un promoteur de la théorie du neurone, il n'était pas du tout un défenseur des "facultés psychologiques"

ou de leur association avec des "organes" cérébraux localisés.

Cajal amène plutôt une perspective **évolutive** et **computationnelle**.



Pour lui, le cerveau doit être compris en terme d'une hiérarchie de réflexes dont les formes les plus sophistiquées peuvent répondre à des stimuli internes et emmagasinés dans la mémoire.

Pour lui, les caractéristiques comportementales de l'organisme sont réalisées uniquement par l'activité "fluide" du système entier dans son environnement.

**Très proche des sciences cognitives enactives comme vision !**  
(et va rester dans l'oubli des décennies...)

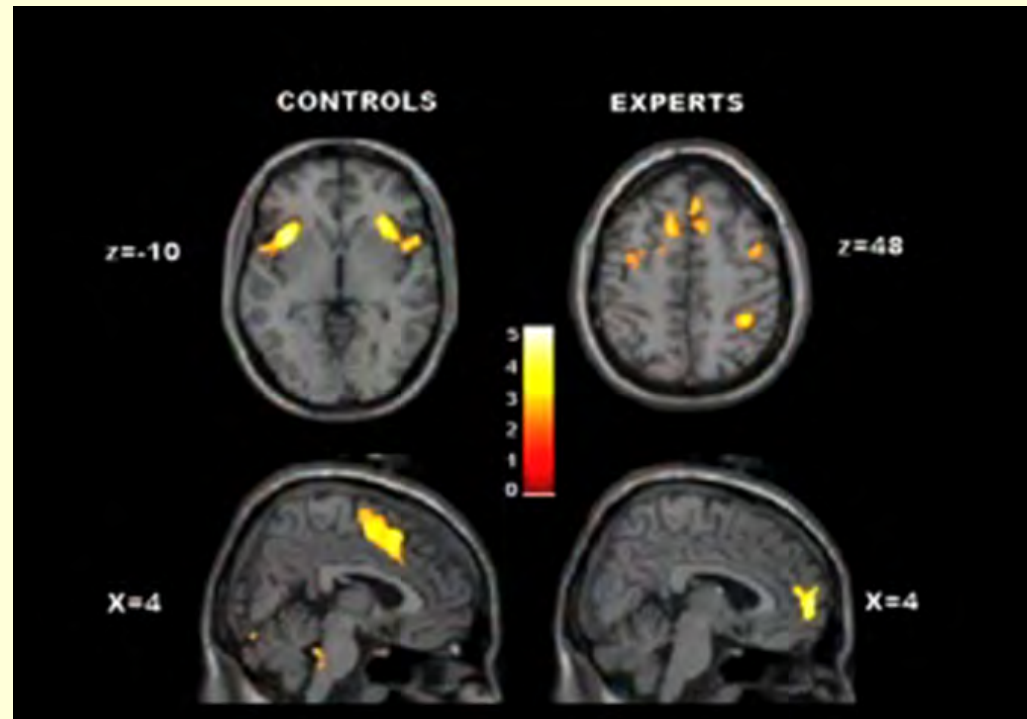


Malheureusement l'idée que le cerveau était composé de plusieurs parties discrètes associées à des fonctions psychologiques distinctes était trop **attrayante** et allait s'imposer pour longtemps...

Et des gens comme Anderson ou Poldrack disent qu'aujourd'hui encore les sciences cognitives du cerveau **sont pris au piège** par les **catégories fonctionnelles de la psychologie cognitive**.

The most obvious strategy within cognitive neuroscience is what one might call *the “**where**” strategy* :

1. Design a manipulation that is thought to modulate **the engagement of some particular mental process**.
2. Analyze neuroimaging data to identify **regions whose activity is modulated** by this manipulation.
3. Conclude that the active regions are involved in the manipulated process. (Poldrack 2010, p. 755)



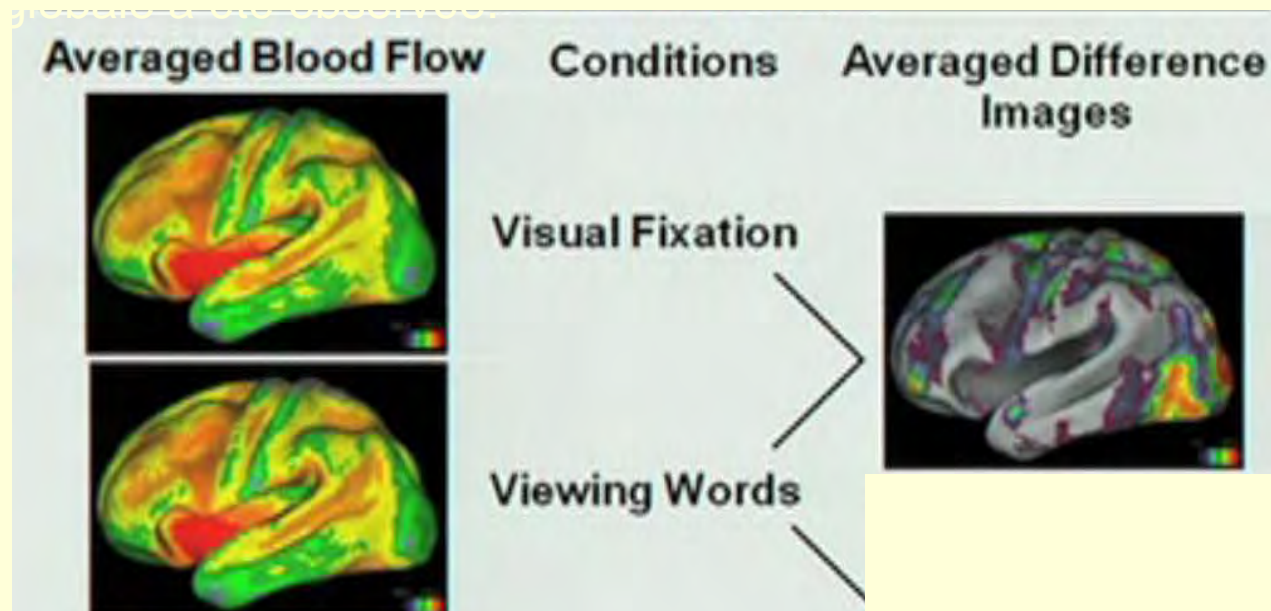


As neuroimaging has matured, the “ where ” strategy has given way to what one might call *the “ **what ” strategy*** .

(focus plus directement sur la caractérisation de la fonction d’une région spécifique du cerveau)

1. Design a task that independently manipulates two or more different mental processes, one of which is hypothesized to be performed by some particular region.
2. Examine the imaging data to identify the **relative response of the region in question** to these manipulations. [i.e. contrôle]

3. Conclude that the region in question performs a particular one of the manipulated processes. (Poldrack 2010, p. 755)



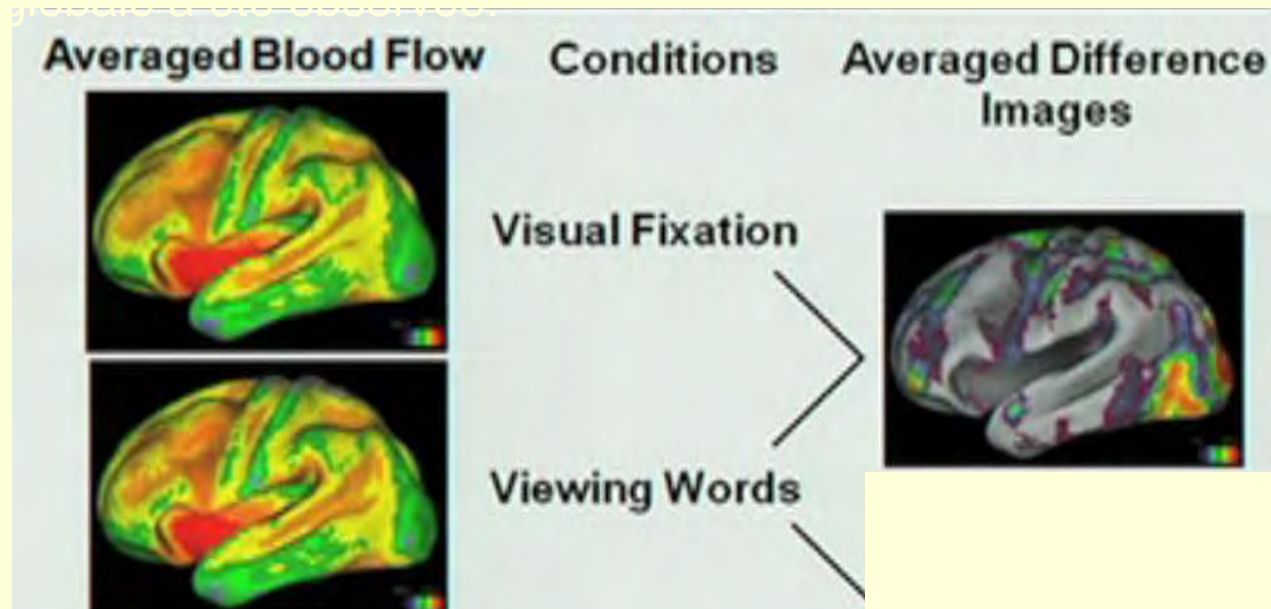
As neuroimaging has matured, the “ where ” strategy has given way to what one might call *the “ **what ” strategy*** .

(focus plus directement sur la caractérisation de la fonction d’une région spécifique du cerveau)

1. Design a task that independently manipulates two or more different mental processes, one of which is hypothesized to be performed by some particular region.
2. Examine the imaging data to identify the **relative response of the region in question** to these manipulations. [i.e. contrôle]

3. Conclude that the region in question performs a particular one of the manipulated processes. (Poldrack 2010, p. 755)

Amélioration par rapport au « where » mais...



Mais si cette approche du “what” permet de **reconnaître un vaste répertoire de fonctions associées à une région cérébrale**, il est peu probable qu'elle permette d'identifier un rôle fonctionnel **fondamental** pour une région particulière.

Exemple :



Mais qu'est-ce qui pourrait nous faire croire qu'une lame de couteau ne peut avoir **qu'une seule fonction** ?! (erreur ontologique grave, pour Anderson)

Elle a des caractéristiques physiques qui la rendent beaucoup plus versatile.

Et connaître ces caractéristiques physiques peut sûrement être utile...

**Le signal BOLD n'est qu'une autre variable dépendante** comme le sont le temps de réponse ou le taux d'erreur, par exemple.

Ce qu'on fait en imagerie cérébrale :

mesurer la tendance de réponse d'une assemblée de neurones locale,  
et de cette mesure on infère une **fonction** computationnelle.

Et on fait cette inférence particulière parce que (ou à cause...) d'une conception en composantes de la théorie computationnelle de l'esprit (computational theory of mind (CTM)),

**i.e.: la parfaite analogie de la phrénologie dans les sciences cognitives contemporaines !**

Et si le cerveau se comporte ainsi, on est en droit de se demander où est l'information des inputs transformée en représentations.

Avec cette version de la CTM, il **doit** y avoir une réponse à cette question. Et l'on doit la chercher...

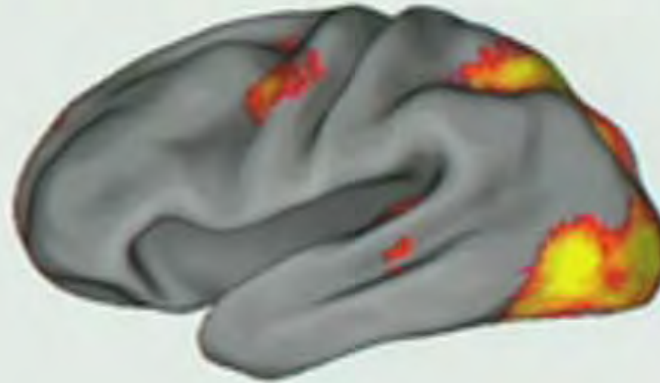
Mais il y a une différence de taille entre la façon dont un ordinateur et notre cerveau "traite de l'information" :

"whereas a computer is typically understood as a device that carries out a specific instruction set on (and in response to) inputs, brain responses to stimuli are characterized instead by **specific deviations from intrinsic dynamics.**"

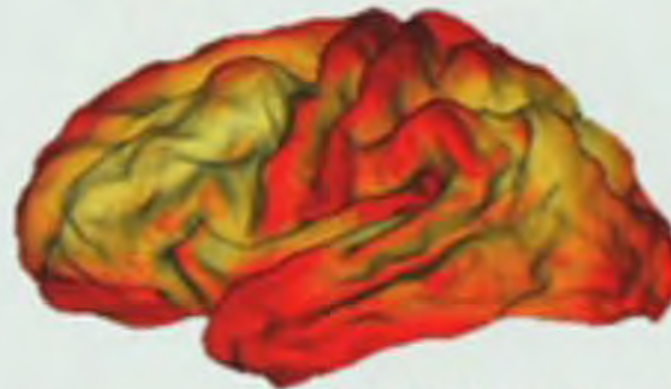
Rappelle ceci, de la séance 5...

# An Historical View

**Reflexive**  
(Sir Charles Sherrington)



**Intrinsic**  
(T. Graham Brown)



Boutade  
mnémotechnique:

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

Cela devrait pour le moins nous faire réfléchir sur les questions du “où” et du “quoi”.

Et se tourner davantage vers la question du “comment” ces opérations computationnelles sont réalisées par le cerveau.

En adoptant une approche computationnelle faite de « composantes », il se pourrait bien que l’on ait **court-circuité un processus nécessaire d’accumulation de données** sans lequel nos modèles explicatifs ne pourront se développer au-delà d’un certain point.

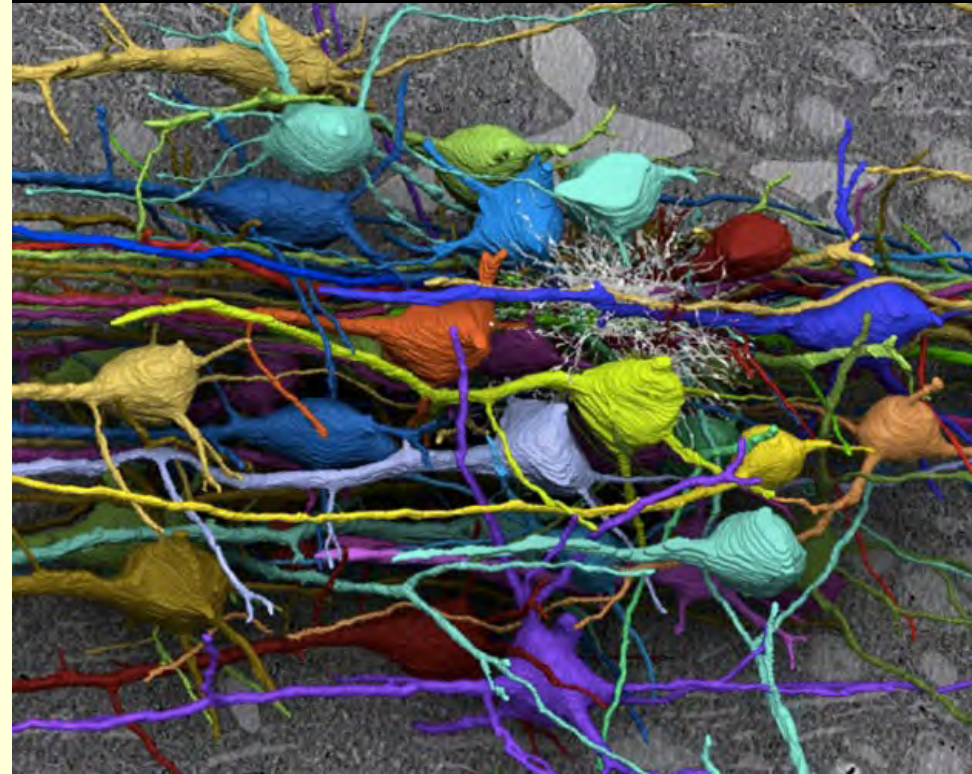
Rappelle ceci, de la séance 6...

**Jeff Lichtman**, *Professor of Molecular and Cellular Biology*  
Harvard University

<http://www.hms.harvard.edu/dms/neuroscience/fac/lichtman.php>

[...] Lichtman rappelle en outre que **les scientifiques de sa génération** ont vécu à une époque de **grandes idées théoriques** qui ont pu foisonner parce qu'il y avait peu de données accessibles sur le cerveau. Ce n'est que dans un deuxième temps que l'on cherchait des indices empiriques pour confirmer ces grandes théories.

Mais aujourd'hui, à l'heure des « **big data** » rendues possibles par les ordinateurs et les mastodontes à 61 faisceaux, c'est **l'inférence** qui redevient selon Lichtman l'approche la plus prometteuse.



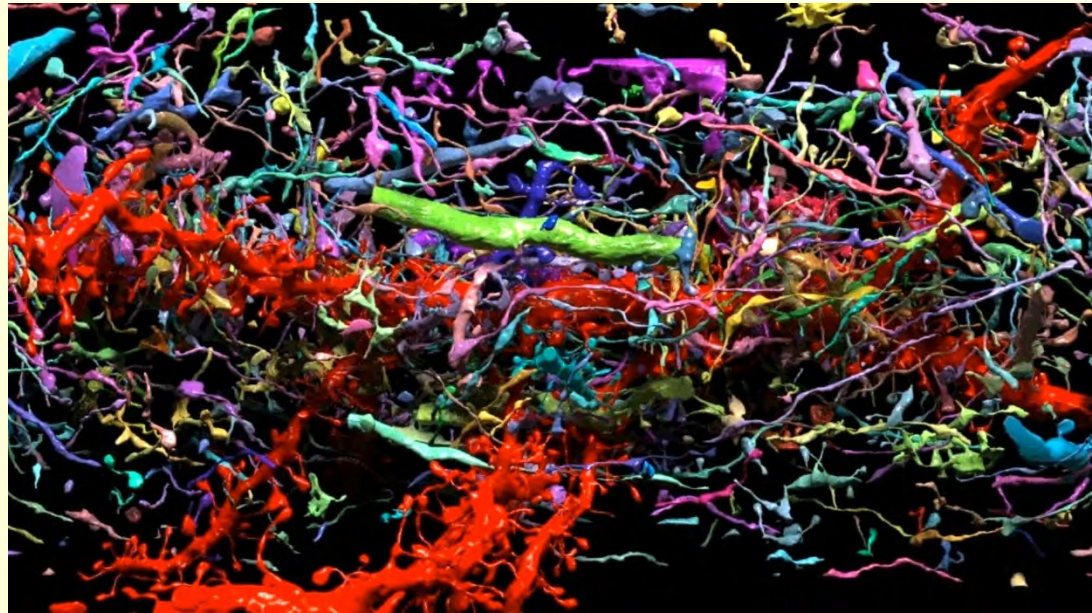


Un peu comme Darwin, rappelle-t-il, qui s'est immergé pendant des années dans la diversité des formes vivantes avant de pouvoir imaginer ses idées sur l'évolution par sélection naturelle.



Lichtman de conclure :

ce sont les jeunes qui vont baigner dans cet univers foisonnant de données, qui en seront imprégnés sans idées préconçues, qui pourront peut-être en discerner de grand principes permettant de mieux comprendre cette complexité...



**Dans une perspective évolutive**, justement, on peut rappeler que...

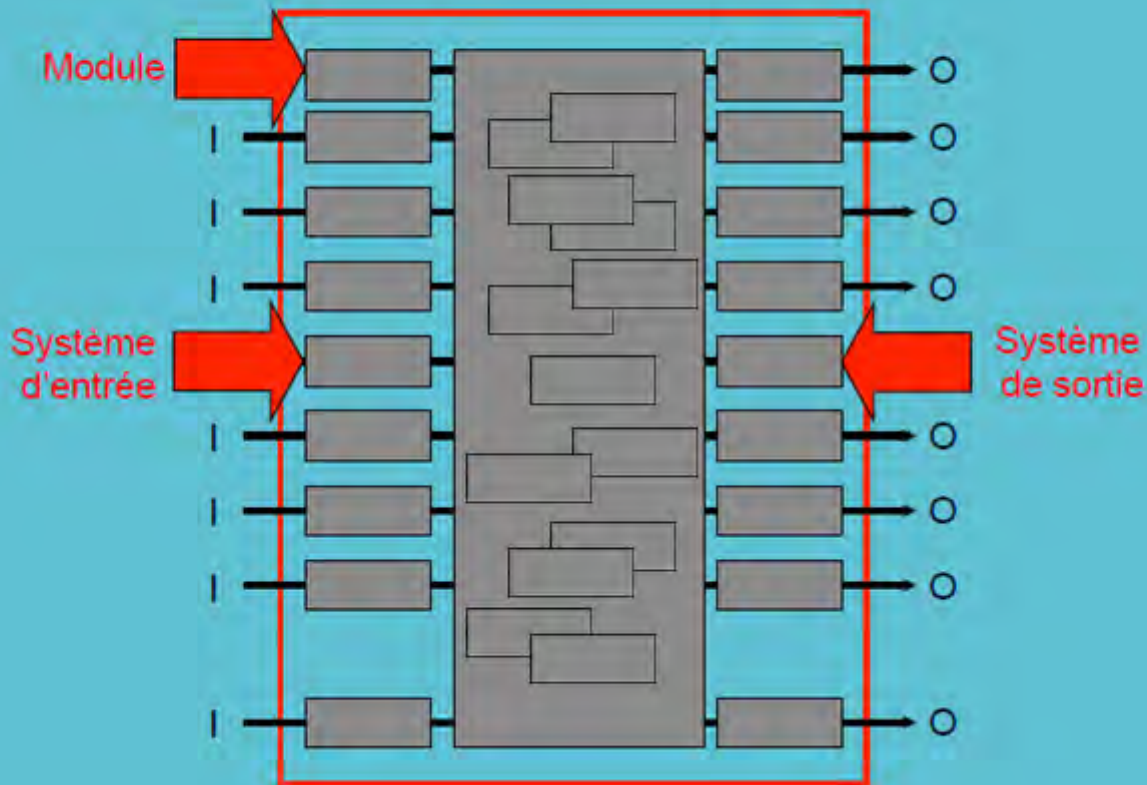
[There is a] guiding principle shared between evolutionary psychology and embodied cognitive science : **this phylogenetic history should have left detectable traces** on both brain and behavior.

Where evolutionary psychology and embodied cognitive science part company is in their understanding of **what those traces will look like and where to find them.**

One result of this focus had been the acceptance of a version of faculty psychology exemplified in the “ **adaptive toolbox** ” model of mind (Gigerenzer & Selten 2002), a framework also sometimes known as “massive modularity” (Carruthers 2006).

## Modularité massive

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



...evolvability **appears to require** that these tools be **separately targetable** by selection pressures (Barrett & Kurzban 2006);

...Together, these considerations **appear to require** a functional architecture featuring modular, separately modifiable nearly decomposable subsystems.

Below I recount some of the evidence that **the brain is not built this way...**

Unlike evolutionary psychology, **embodied cognitive science (ECS)** has been more interested in understanding the ways in which thinking is both influenced and partially constituted by emotional and physical states, bodily activity, and interactions among self, others, and environment.

[...] When one is considering the neural supports for cognition, this perspective naturally places **greater weight on the functional relations and interactions between neural structures than on the actions of individual regions**.

Moreover, this perspective has led ECS to focus less on the efficiency of individual processes and **more on overall efficiency in the use of bodily, environmental, and social resources for cognitive ends**.

## Functional Specialization of Mind/Brain is Controversial!

Schiller (1994): *"each extrastriate visual area, rather than performing a unique, one-function analysis, is engaged, as are most neurons in the visual system, in many different tasks."*

Huetzel et al (2004): *"unlike the phrenologists, who believed that very complex traits were associated with discrete brain regions, modern researchers recognize that ... a single brain region may participate in more than one function"*.

Anderson (2010): *"the degree of actual selectivity in neural structures is increasingly a focus of debate"*.

Uttal (2011): *"Any studies using brain images that report single areas of activation exclusively associated with any particular cognitive process should a priori be considered to be artifacts of the arbitrary thresholds set by investigators and seriously questioned."*

Dehaene (2011): *"the human brain is neither anisotropic "white paper", where all regions are equivalent, nor a neat arrangement of tightly specialized and well-separated modules."*

## “Strict localization” :



- The human mind and brain contains a set of highly specialized components, each solving a different, specific problem.

In that sense, yes we are glorified insects, cognitively.

- But at the same time:

we may have more of these specialized components

we may have a few extra fancy ones unique to humans

we *also* have general-purpose machinery enabling us to go beyond these narrow domains

Excitement over the discovery of the fusiform face area (Kanwisher, McDermott, & Chun 1997) **was quickly tempered** when it was discovered that the area **also responded to cars, birds, and other stimuli** (Gauthier et al. 2000; Grill-Spector, Sayres, & Ress 2006; Hanson & Schmidt 2011; Rhodes et al. 2004).

Anderson :

**There are few, if any, neural regions dedicated to a single specific cognitive function.**

Neural systems are pluripotent, in the sense that **most regions are implicated in a wide and diverse range of different functions.**

For example, **Broca's area**, traditionally understood as a region dedicated to language processing...

[http://www.academia.edu/22113086/Review\\_of\\_After\\_Phrenology\\_Neural\\_Reuse\\_and\\_the\\_Interactive\\_Brain\\_by\\_Michael\\_L.Anderson](http://www.academia.edu/22113086/Review_of_After_Phrenology_Neural_Reuse_and_the_Interactive_Brain_by_Michael_L_Anderson)

Russell Poldrack (2006) estimated the **selectivity** of **Broca's area** by performing a Bayesian analysis of 3,222 imaging studies from the BrainMap database.

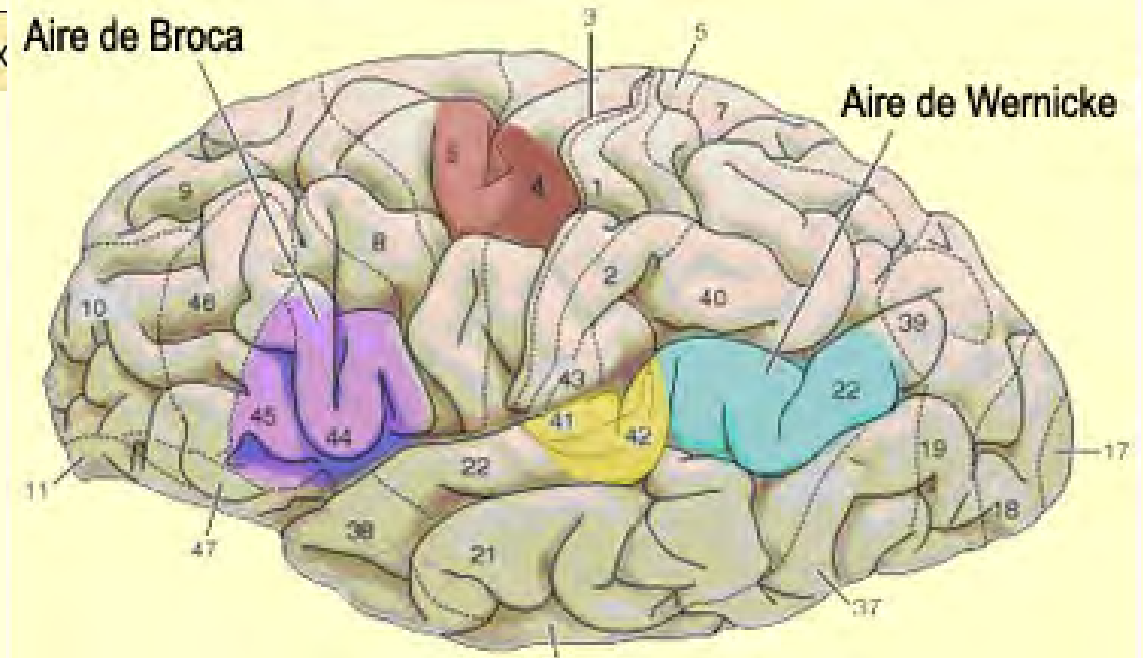
He concludes that current **evidence for the notion that Broca's area is a "language" region is fairly weak**, in part because it was more frequently activated by **non-language** tasks than by language-related ones.

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

Après « L'erreur de Descartes », voici « L'erreur de Broca »

Parler sans aire de Broca

Repenser la contribution de l'aire de Broca au langage





Similarly, [...] **most regions of the brain**—even fairly small **regions**—appear to be activated by **multiple tasks** across diverse task categories.

Mais :

these functional overlaps should not be understood as the later reuse of a *linguistic* area for other purposes

but are rather evidence that **Broca's already performed some sensorimotor functions that were prerequisites for language acquisition** and that made it a candidate for one of the neural building blocks of language when it emerged.

Autre exemple :

**Le cortex pariétal postérieur**, étudié entre autres par John Kalaska et Paul Cisek ([Cisek dont nous reparlerons abondamment à la séance 11](#)).

Ce qui ressort de leurs travaux, c'est que **le cortex pariétal postérieur ne peut pas rentrer parfaitement dans une grande catégorie comme perception, cognition ou action**. En fait, son activité peut être associée à celle des trois catégories, rendant ici bien difficile l'application des concepts classiques de la psychologie cognitive.

Mais le problème remonte à plus loin, beaucoup plus loin.

Car déjà, chez un animal aussi simple que **l'escargot *Lymnea stagnalis***, on peut trouver des neurones uniques pouvant supporter des comportements différents, comme des neurones impliqués dans la respiration qui, si on les enlève, empêche la formation ou la consolidation de souvenirs à long-terme chez cet animal.

Ou considérez le neurone olfactif AWCON du **vers *C. elegans***, l'un des 302 neurones de cet animal. Il peut être impliqué tant dans un comportement d'attraction qu'un comportement de répulsion pour la même odeur, dépendamment de la présence de telle ou telle substance neuromodulatrice dans le circuit.

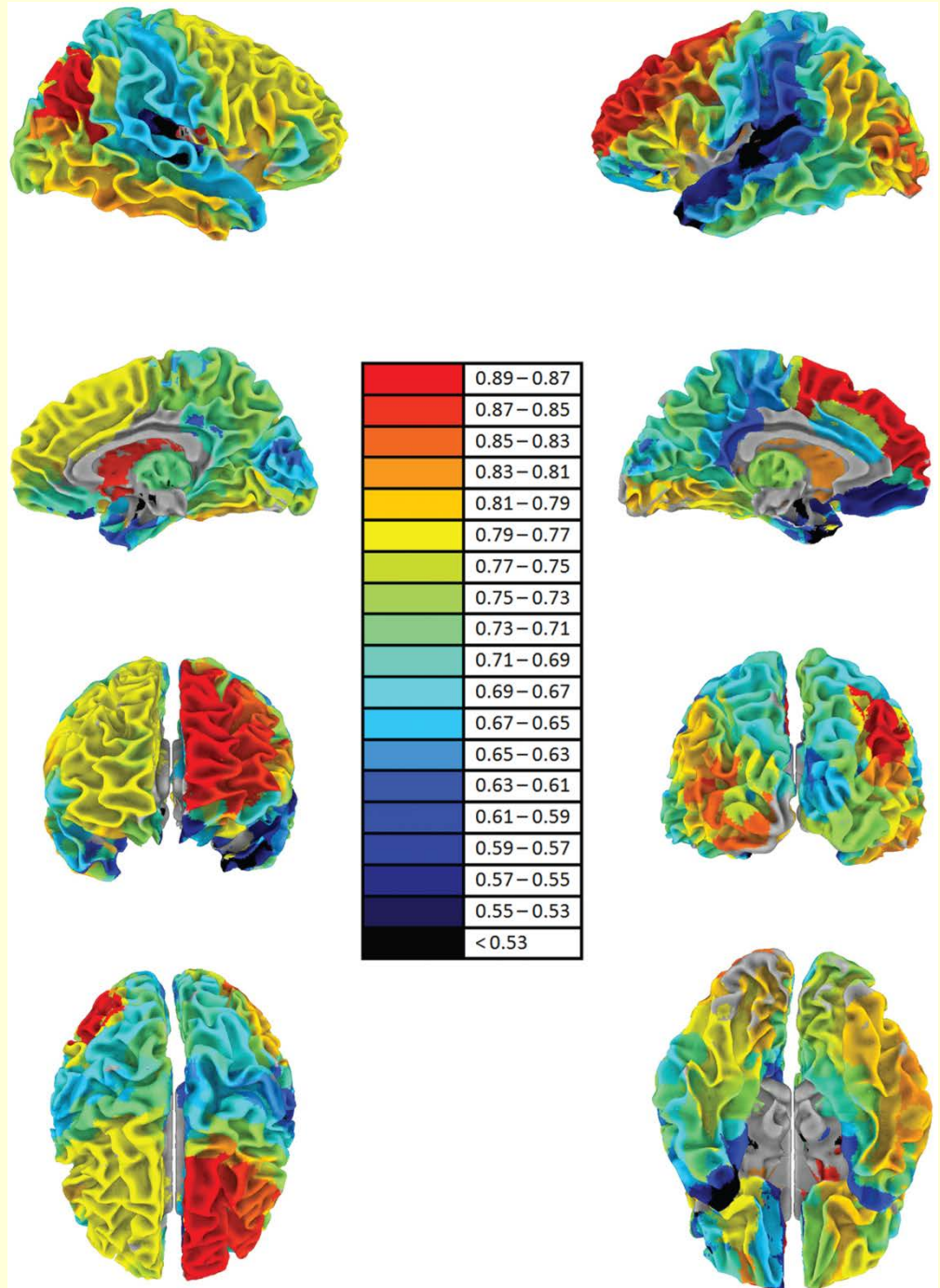
If [there is] such **reuse** [...] in the brain, then we should expect at least three things to be true of its functional structure.

**First**, neural structures should be used and reused for diverse purposes in various task domains.

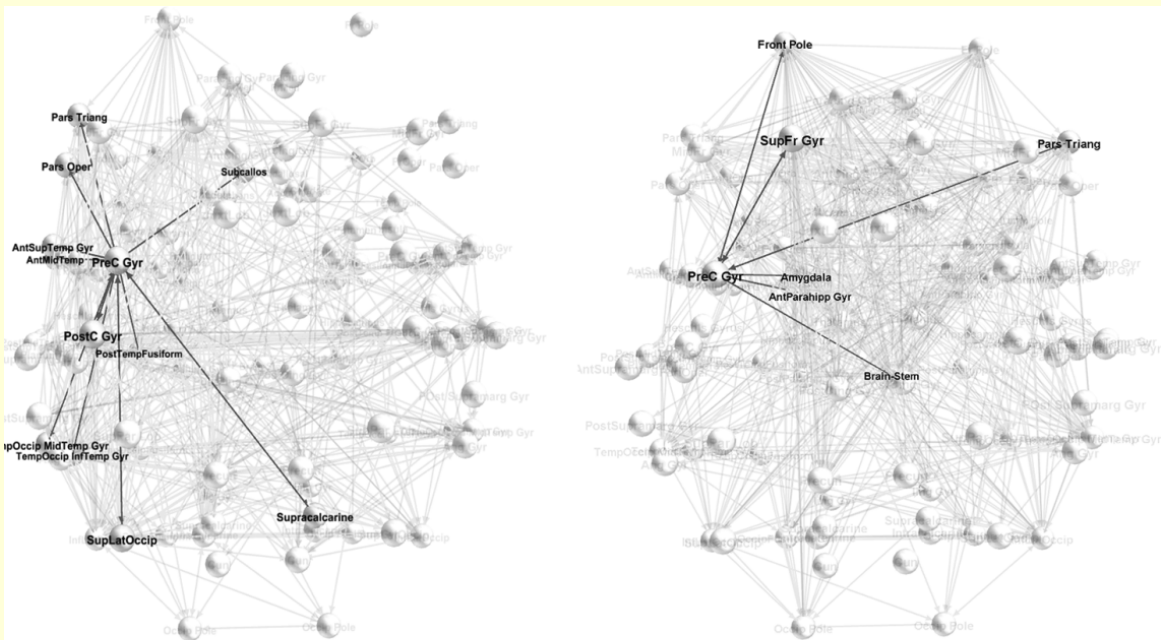
Anderson and Pessoa (2011) examined the selectivity of 78 standard anatomical regions of the brain by determining whether (and how often) each was active in 1,138 experimental tasks in **11 different Brain-Map task domains**.

The simple insights behind this work are that **selectivity is the inverse of diversity** and that we have various methods for measuring the diversity.

**Diversity** is normalized such that the values range from 0 (all activations in one category) to 1 (activations spread equally across all 11 categories).

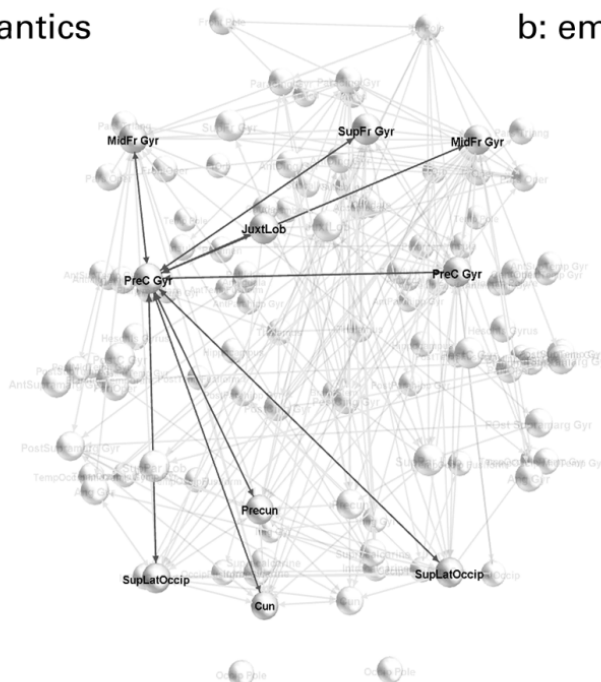


**Second**, we should expect the functional differences between task domains to be reflected in the different patterns of interaction between many of the same elements.



a: semantics

b: emotion



c: attention

And **third**, we should expect later emerging (evolving or developing) behaviors/abilities to be supported by a **greater number of different structures more broadly scattered in the brain.**

The reason is simple: the later something emerges, the more potentially useful existing elements there will be, with little reason to suppose they will be grouped locally.

...**language** was the most widely scattered domain of those tested, followed (in descending order) by reasoning, memory, emotion, mental imagery, visual perception, action, and attention.

Bref : “**local neural structures are *not* highly selective** and typically contribute to multiple tasks across domain boundaries.”

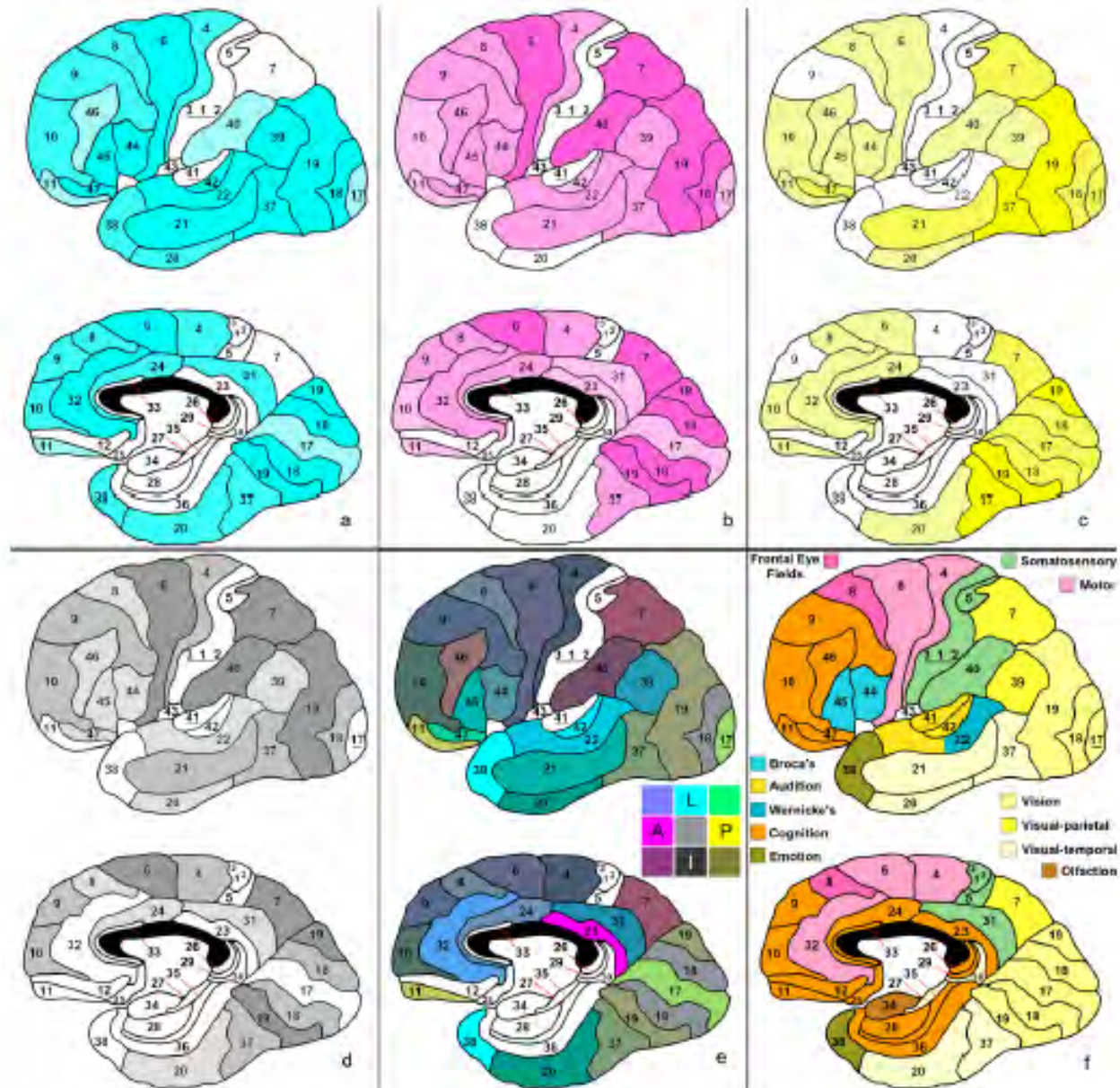
# Interlude 1 On the Importance of Neural Teamwork

In this figure cyan represents **language**,

magenta represents **attention**,

yellow represents **perception**,

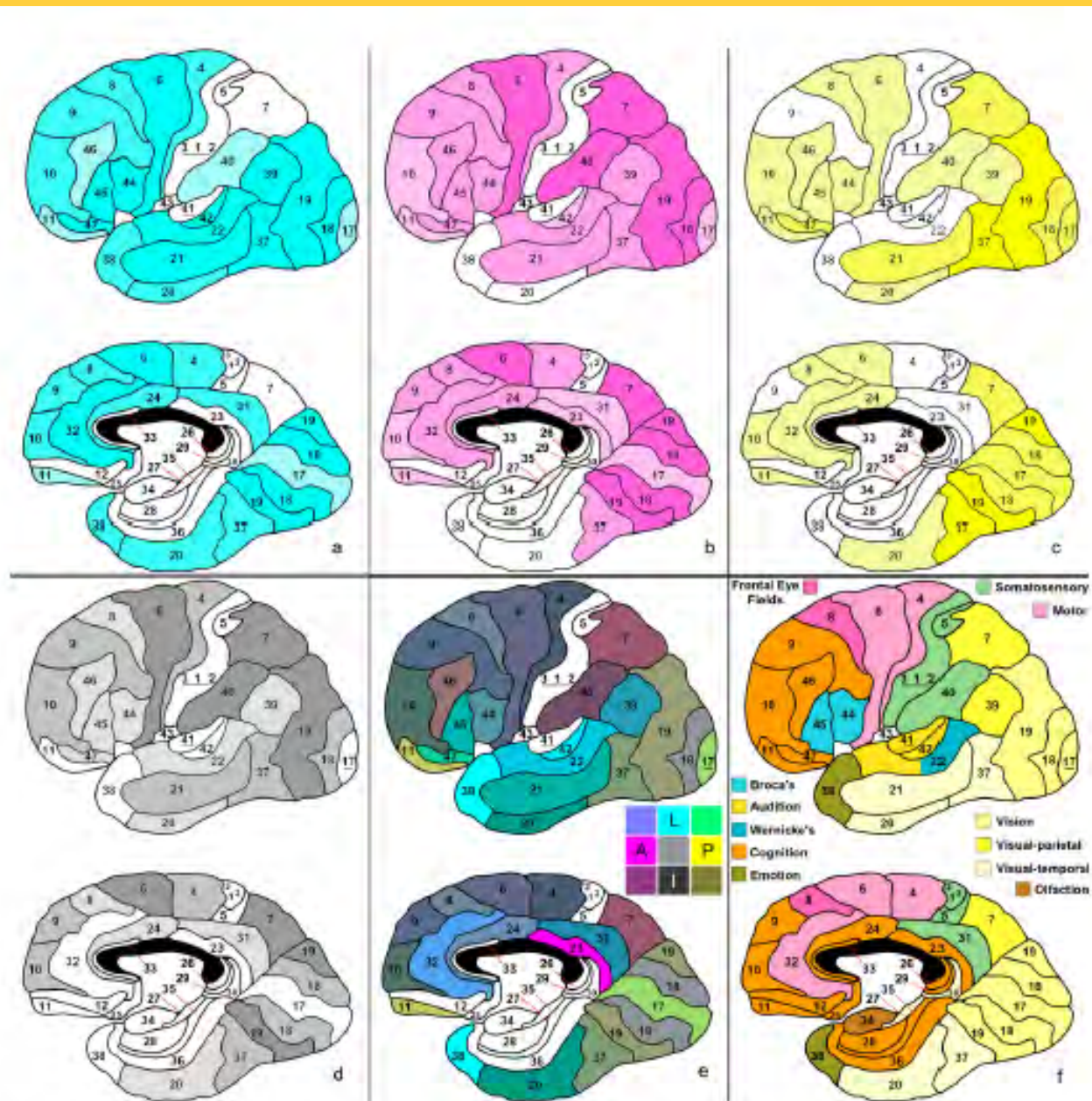
and black represents **imagery**.



Instead of seeing large regions of the brain painted in cyan or magenta or yellow or black, which would indicate dedication to tasks in a single domain, each brain region took on its own mixed hue, reflecting its contribution to many different tasks across the four domains.

→ The brain does not operate by differentially activating one or a few local regions to achieve some task.

→ Achieving a task is *not* a matter of finding a single neural specialist but is rather about putting together the right neural team for the job.





**S'il n'y a pratiquement pas de spécialisation fonctionnelle, alors quoi ?**

**Interactive Differentiation and the Search for Neural Coalitions:  
Neural Reuse in the Functional Development of the Brain**

...In at least some cases this development proceeds according to a **predetermined timetable, driven by genetics** rather than by experience.

In contrast, the skill-learning perspective emphasizes **the role of experience** in neural development...

The **interactive specialization framework (IS)**

Johnson écrit :

« During development, **activity-dependent interactions between regions** sharpen up the functions and response properties of cortical regions such that their activity becomes restricted to a narrower set of circumstances (e.g., a region originally activated by a wide variety of visual objects may come to confine its response to upright human faces).

In other words, some cortical regions **become more specialized during development.**”

**However**, to be fully compatible with neural reuse, **interactive specialization framework** requires **two important modifications:**

**first**, the notion of regional specialization, largely inherited from the maturational viewpoint, must be reconsidered;

Réponse : **Interactive Differentiation**

and **second**, a more fleshed-out explanation for “why and how ... particular anatomically distant brain regions begin to cooperate in a functional network” must be provided.

Réponse : **Search for Neural Coalitions**

## First, Interactive Differentiation

Although proponents of functional specialization often portray the choice as being between a brain composed of a collection of functionally specialized regions and “a bowl of porridge” (Kandel 2006),

in fact, brain development appears to be a process of functional differentiation that **need not result in functional specialization.**

**Differentiation** = over the course of development, local neural assemblies will come to have **particular, distinctive response profiles,**

as determined by a combination of **intrinsic local cortical biases and extrinsic factors** including **experience** and the **influence of functional interactions with other regions of the brain.**

**A region's response profile** will certainly reflect its underlying functional capacities and determine the role(s) it can play in various functional coalitions.

**But** although this might therefore be considered a kind of functional selectivity,

**it is quite different** from the notion that brain regions will come to specialize in such tasks as “ **face perception** ” or “ **mind reading** ”

and furthermore suggests a developmental pathway relatively unconstrained by (or simply in some sense **insensitive to**) **the traditional categories of cognitive psychology.**

## Second : The Role of “ Search ” in Functional Development

On part de l'observation que le cerveau est capable de devenir...

...involved in processing nonstandard stimuli — called **crossmodal plasticity** — has been extensively studied using sensory substitution devices

as well as with simpler paradigms including tactile discrimination tasks such as Braille reading.

For instance, it has been shown that the visual cortex of **early-blind subjects** is activated by Braille reading

and that the application of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) to **disrupt** processing in the activated visual areas **disrupts** Braille character recognition.

[These results] seem to show “ relatively rapid crossmodal recruitment of occipital cortex to process tactile information”.

Interprétation du phénomène :

...One might envision a cortical region with a functional role in special discrimination **that might be predisposed to perform the kinds of processes that vision requires.**

In this setting, from early development onward, **sight would be progressively selected as the input signal** for such an “ operator. ”

Eventually, **such an operator might appear to be “ visual cortex ”** by virtue of its dominant input, when in fact, under certain conditions, the presence of metamodal (or non standard) inputs could be unmasked.

**Autrement dit :** des régions locales peuvent être capables de prendre en charge plus d'une sorte d'inputs (d'où le nom “d'opérateur multi ou méta modal”),

mais durant le développement, un type d'input vient à dominer et à influencer grandement le travail d'une région locale donnée.

On en arrive donc à l'hypothèse d'Anderson,

The **interactive differentiation and search (IDS) framework.**

All of this suggests to me that the mechanisms of **interactive differentiation** underlying functional development must also include **a process of active search** : the rapid testing of multiple neural partnerships to identify functionally adequate options.

Although conditions might favor one neural option over another, **as conditions change**, different neural coalitions can be called on to take up the burden of function.

What we appear to need is a mechanism that can test various possibilities for functional partnerships and somehow **reinforce or store the promising ones**

without being entirely constrained by existing connections.

This last point is crucial, for unless the **search mechanism** can somehow get **beyond already established partnerships**, then the potential repertoire of new behavioral competencies would be relatively constricted.

Is there any evidence for such a mechanism?

So far as I know, **no one has yet looked specifically** (although I hope that this volume will motivate work in this area), primarily because the overwhelming focus in neuroscience has been on the processes that shape local circuits [hebbian learning...]

Mais quand même, il y a...



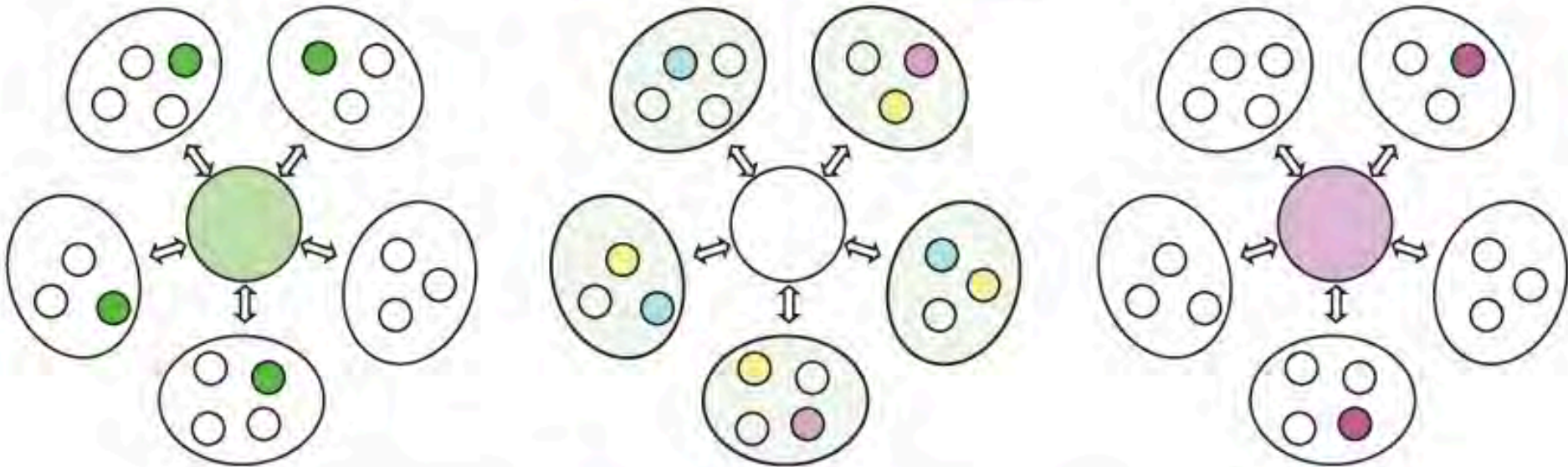
# The brain's connective core and its role in animal cognition

Murray Shanahan\* (2012)

broadcast

state-to-state transitions result from parallel competitive attractor dynamics

broadcast



serial procession of broadcast states  
punctuated by competition

But there are certainly some suggestive findings.

Consider, for instance, that if there *is* some sort of search mechanism, then we would expect the learning process to be characterized by **an initial increase in both the distribution and degree of brain activity as various neural partnerships were tested;**

that activity would then **slowly subside as the proper functional partnerships were consolidated.**

That seems to be what Merabet et al. (2008) found when participants were learning **Braille reading**,

and in fact, **such a pattern of results is commonly reported in the literature on expertise**: the neural supports for practiced skills tend to be more localized than those involved in learning novel tasks.

This has generally been interpreted as signaling an initial increase in **effort**, followed by a decrease as the skill becomes more practiced.

**But within the IDS framework, this pattern looks instead like the sign of neural search.**

Atmanspacher and Filk (2006) describe [...] neural networks **as they undergo training.**

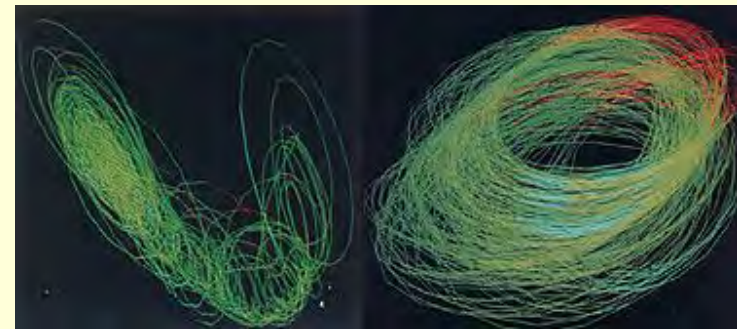
Beginning with a fully randomized network subjected to training, they observe an **initial sharp increase in the number of attractors in the system** — that is, the number of different, stable patterns of activation that the network can adopt.

As training proceeds, **the number of attractors slowly decreases** as the network achieves its optimal behavior.

Rather than proceed via the slow shaping of a single attractor (a single stable behavior pattern) to achieve the desired end behavior, **instead there is an initial flowering of rival possibilities for the time dynamics of the network, which are slowly selected out as training proceeds.**

Here again, from the IDS perspective this looks like a very particular kind of “**search**” of the possibility space.

[et on va voir quelque chose de très similaire dans l'hypothèse des affordances compétitives de Paul Cisek à la séance 11]



Et Anderson le dit même explicitement :

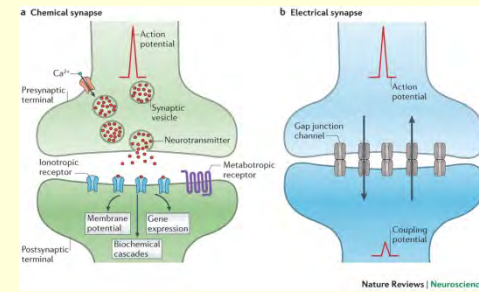
In *After Phrenology* I follow **Cisek (2007; Cisek & Kalaska 2010)** in arguing that the biased pattern competition observed in the brain should be understood psychologically as biased affordance competition.

What an organism's brain is fundamentally doing is **managing the relationship between the organism and the environment**, and its perceptual apparatus is specially suited for facilitating that task. [...]

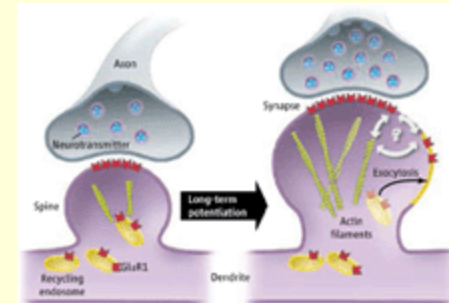
Interaction with an environment offering multiple affordances causes regions of the brain to be differentially activated in accordance with their functional biases.

# Biological Mechanisms Underlying Neural Search

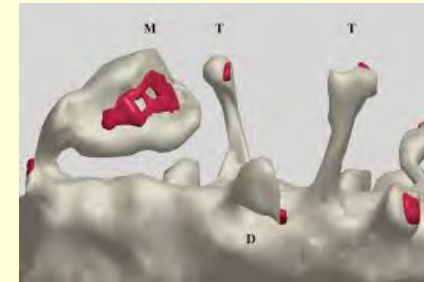
“It emerges that neurons, in addition to transferring signals through canonical chemical synapses at the axon terminals, also interact via mixed electrochemical and **electrical synapses** at somatic and dendritic juxtapositions.



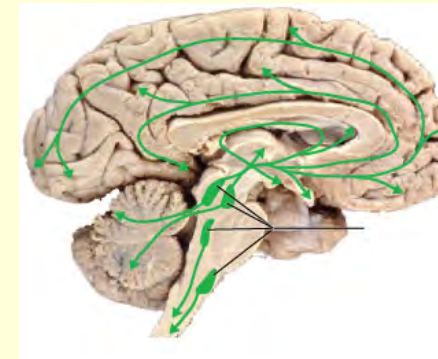
Developmentally, **new spines** can appear and disappear over relatively short timescales (tens of minutes), often triggered by synaptic activity.



It is not known exactly how cells regulate their participation in multiple networks, but **mechanisms such as spine motility** — the rapid (seconds to minutes) movement of dendritic spines — may play a role.

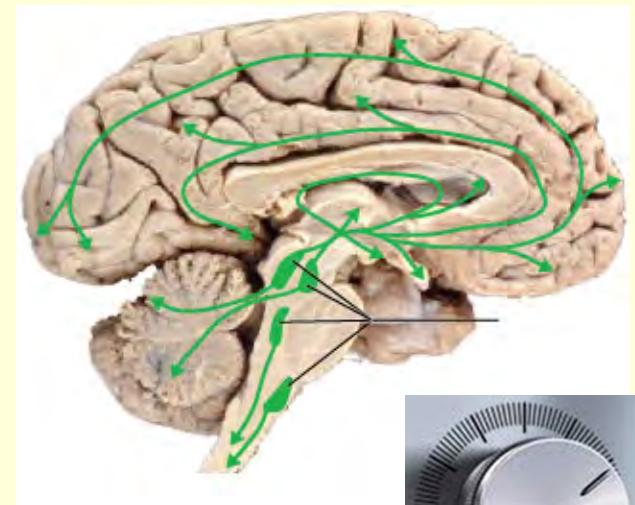
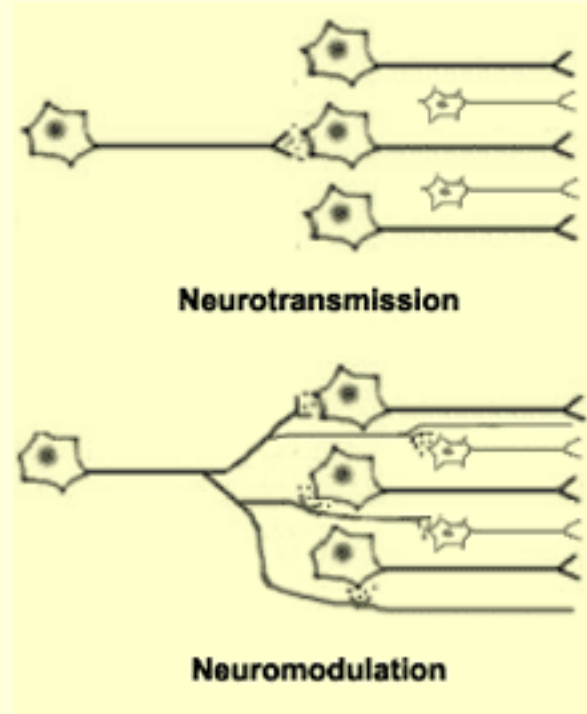


In addition, as reviewed in more detail in chapter 1, work with *C. elegans* and other animals suggests that **neuromodulators** [...] **permit the selection of a subset of functional synapses from among those anatomically available.**



**Volume transmission** refers to a class of **neuromodulatory** mechanisms that rely on the diffusion of molecules to cells not syaptically connected to the releasing cell.

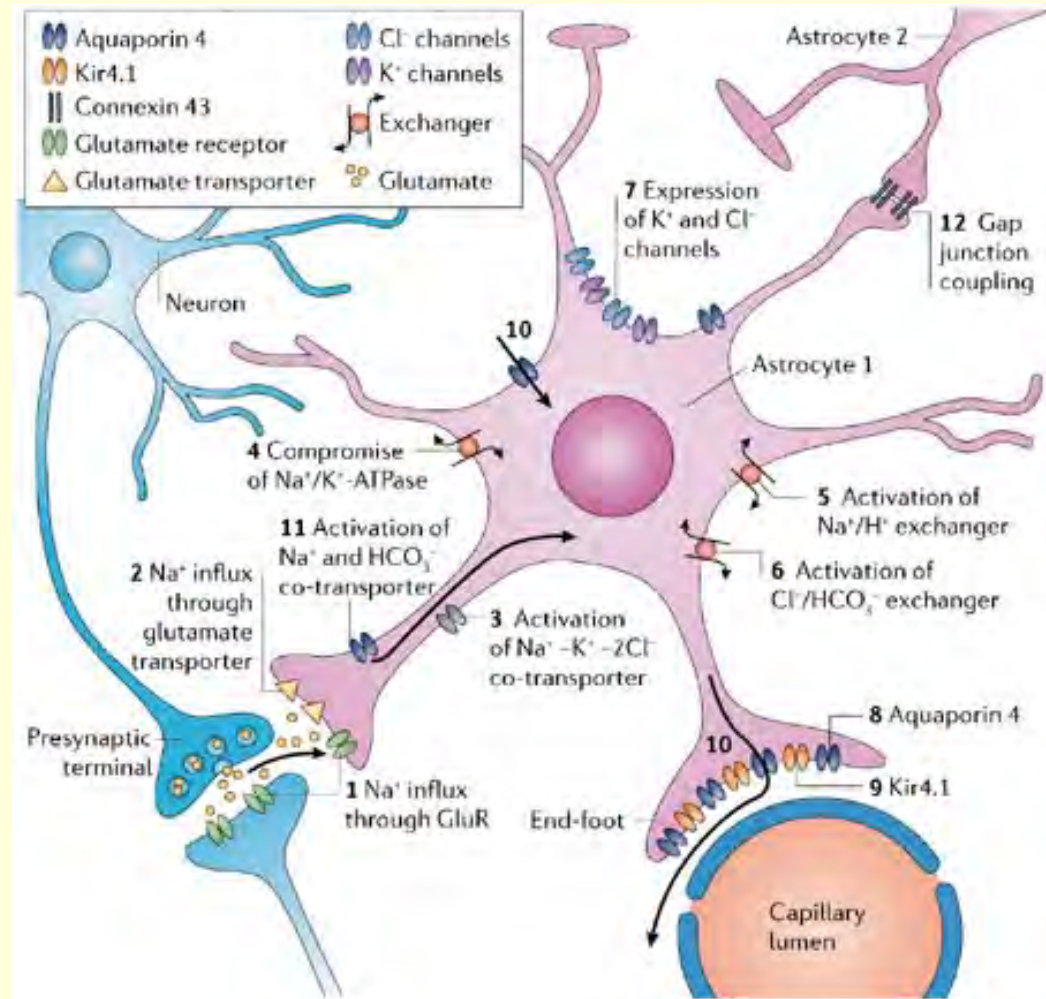
...Volume transmission takes *advantage* of diffusion and in particular of structural features of the brain that allow for greater diffusion in some directions than in others (called **anisotropy**).



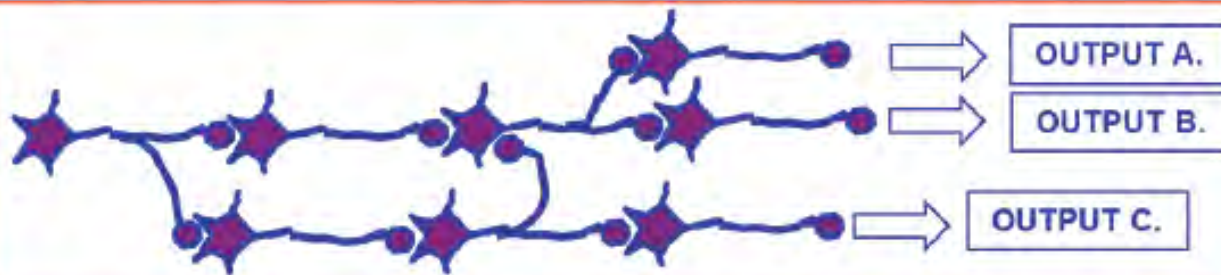
[There is] emerging evidence of the **functional importance of glia in modulating intercellular communication in the brain** (Fields 2010; Nedergaard, Ransom, & Goldman 2003) strongly suggests the importance of diffusion transmission because all glial chemical communication is extrasynaptic.

L'omniprésence des processus de neuromodulation dans le cerveau suggère que les circuits qui s'y trouvent sont **structurellement « surconnectés »** et que c'est par le jeu de la neuromodulation que l'on va pouvoir aller sélectivement rendre « audible » tantôt ce circuit, tantôt tel autre, selon les demandes de l'environnement.

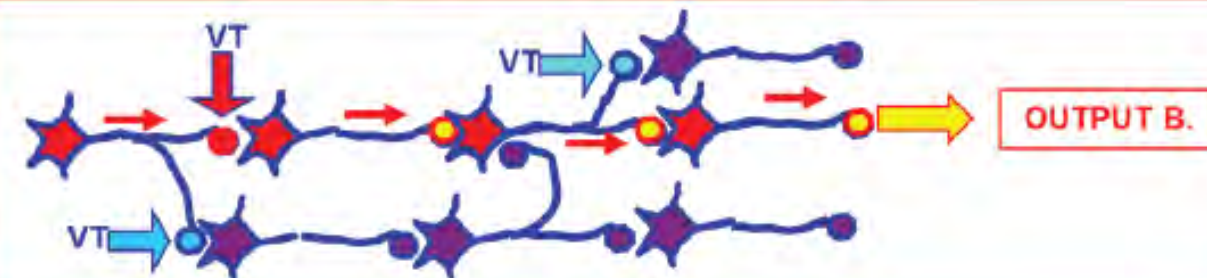
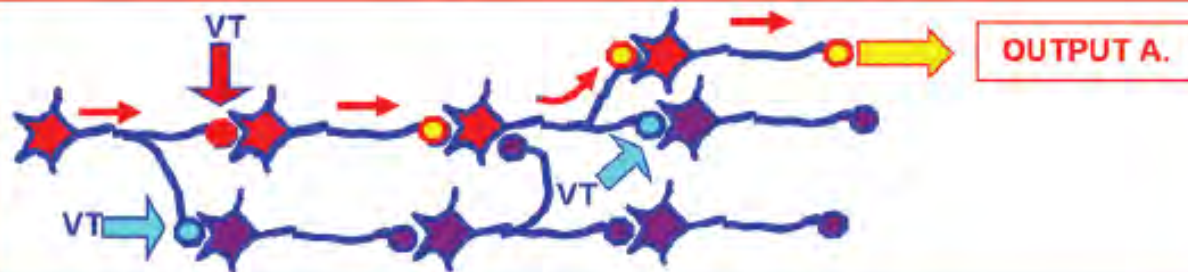
Et l'existence de ces **circuit latents** va revêtir une grande importance pour la réutilisation neuronale.



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



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



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



## Interlude 2

### **You Are Not Your Connectome!**

Sorry, Understanding the Brain (or People) Will Not Be That Simple

Consider just three extraconnectomic contributors to brain function at three different levels of organization:

#### **2a.1 Volume Transmission**

#### **2a.2 Neuron-Glia Interactions**

#### **2a.3 Embodiment**

The brain evolved first and foremost as a control system for a particular kind of organism — you — in a particular kind of environment.

And I haven't even mentioned **hormones** or local and large-scale **oscillatory dynamics** or **intercellular proteins** or many of the other important structures and processes that are known to make crucial contributions to brain function.

So, definitely, let's study brain tissue using all the means at our disposal, but let's leave brain GUTs alone.

Ce mécanisme de recherche (« **active search** ») va permettre

la **coopération** nécessaire entre différentes régions différenciées fonctionnellement (et non spécialisées dans une seule fonction) pour accomplir un comportement donné.

Anderson parle de « **workings** » pour désigner les capacités computationnelles différenciées de petites régions du cerveau qui, en coopérant ensemble, peuvent former différents réseaux dont les capacités computationnelles peuvent effectuer des tâches fonctionnelles.

There is evidence in the primate (including human) literature consistent with **large-scale modulation of neural partnerships** in support of cognitive function.

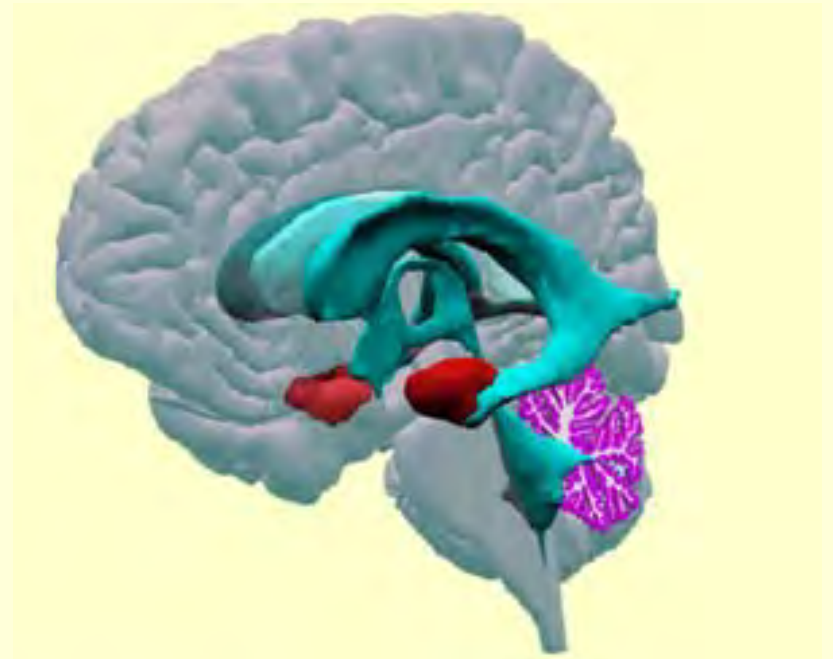
And McIntosh et al. (1994) investigated a region of **inferotemporal cortex** and a region of prefrontal cortex that both support face identification and spatial attention.

They showed that during the **face-processing task** the inferotemporal region cooperated strongly with a region of superior parietal cortex,

whereas during the **attention task**, that same region of parietal cortex cooperated more strongly with the prefrontal area.



**Amygdale = peur ?**



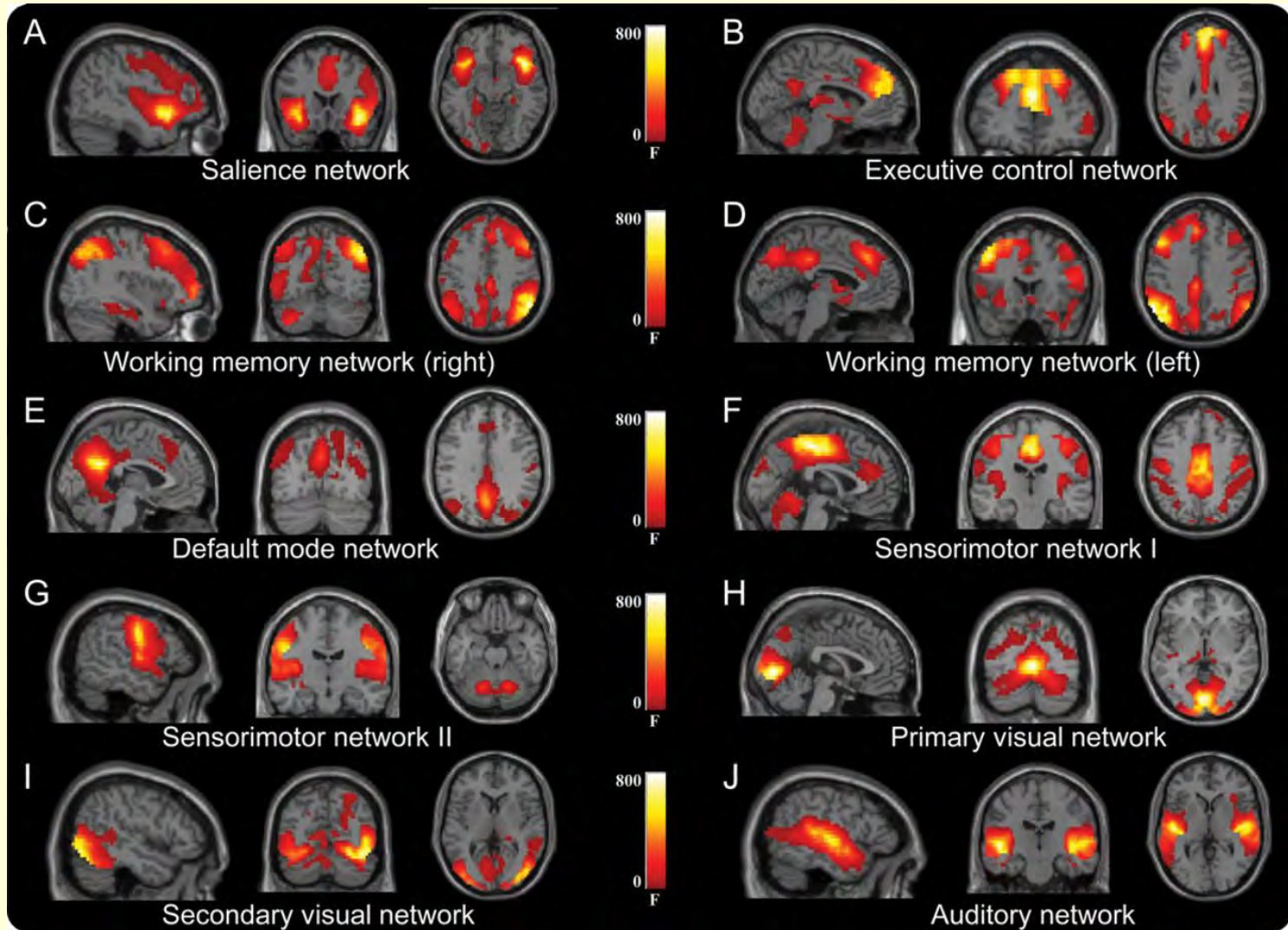


Amygdale ~~X~~ peur ?

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



Si l'amygdale peut être active dans des situations si différentes, c'est qu'elle n'agit pas seule : s'intègre dans différents circuits cérébraux impliquant plusieurs structures (= « workings »)



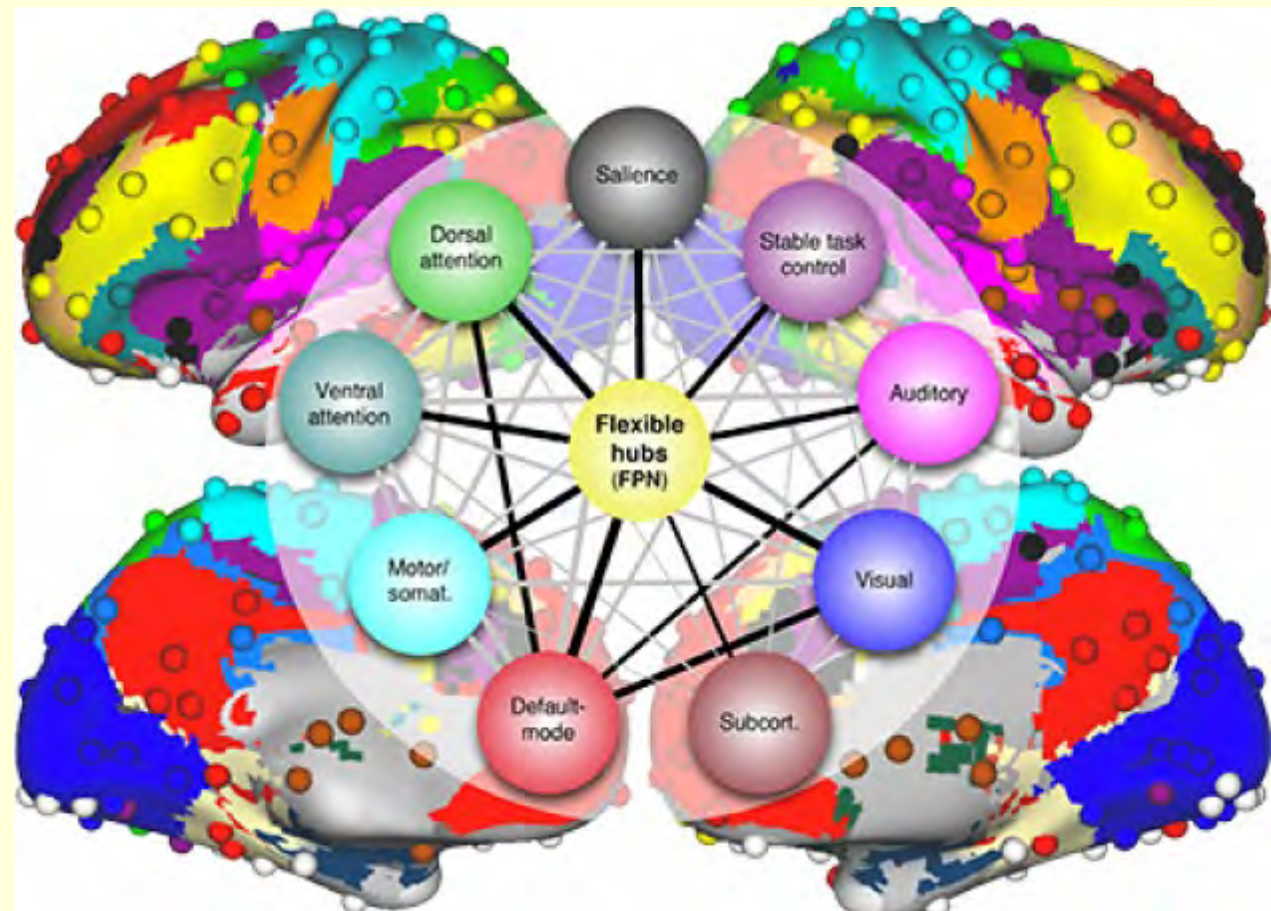
Cole et al. (2013) report evidence for “ **flexible hubs** ” in the brain, “ regions that flexibly and rapidly shift their brain-wide functional connectivity patterns ” depending on the task.

# Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control

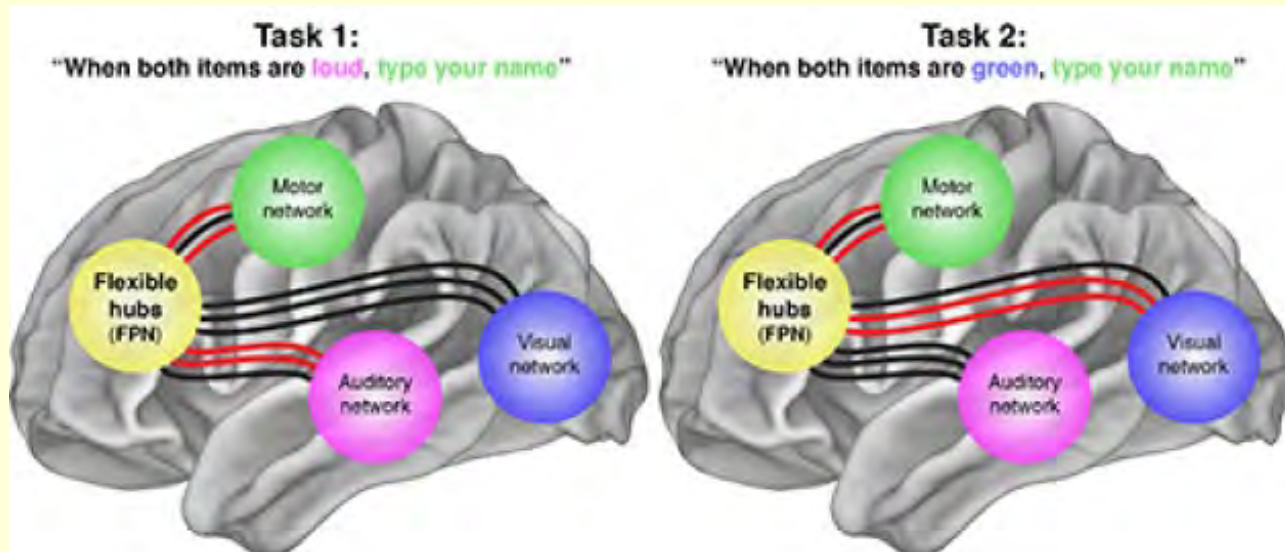
•Michael W Cole, et al. Nature Neuroscience 16, 1348–1355 (2013)

Cette étude détaille la position centrale d'un "flexible hub" permettant de **basculer** d'un réseau fonctionnel à un autre parmi les 9 principaux décrits comprenant 264 sous-régions.

[ [article de Shanahan !?](#) ]







Les voies fronto-pariétales du “**flexible hub**” permettraient par exemple **le transfert d’un apprentissage** moteur consécutif à un stimulus auditif à un stimulus visuel.

*“Like an Internet router, flexible hubs shift which networks they communicate with based on instructions for the task at hand and can do so even for tasks never performed before”*

These experimental findings are consistent both with the **expectation of large-scale modulation of neural partnerships**

and with the data reviewed above that the differences between cognitive domains come down to **differences in patterns of neural cooperation**

and not to differences in which regions are supporting the different tasks.

## Critiques à la neuronal reuse :

Argument **neuropsychologique** contre neuronal reuse :

“we would not observe the focal deficits characteristic of some brain injuries »

### Réponse :

Even some of the patients most celebrated for having specific behavioral deficits **often have multiple problems**, even when one problem is the most obvious or debilitating (see Bergeron 2007; Prinz 2006 for discussions).

The evidence coming from neuropsychology, then, is quite compatible with neural reuse.

Deux arguments de la **psychologie évolutive** (modularité massive)  
contre neuronal reuse :

1) “no **nonmodular** system could possibly evolve”

Réponse :

...the possibility that **new functionality** can be achieved by combining existing parts in new ways suggests that a modular architecture is **only one possible outcome** from such gradualism.

...Now the task is quite different: find a few components that do something useful and can be arranged so as to support the current task — whatever their original purpose. Thus, it is **a problem of *design imagination* turned into a problem of search** .

Evolution is known to be quite good at solving problems of the latter sort...

Deux arguments de la **psychologie évolutive** (modularité massive) contre neuronal reuse :

1) “no **nonmodular** system could possibly evolve”

2) “an organism with a **nonmodular** brain would be subject to debilitating amounts of processing interference.”

Réponse :

Here the key insight is to remember that the **environment has features that organisms routinely exploit** — for example, by developing perceptual and learning strategies that reflect some of the environment’ s structural invariants...

One such useful feature of most environments is that **they do not pose all their problems all at once** — inclement weather rarely comes along with predator abundance, pressing mating opportunities, and food shortages, for instance.

And often when there *are* competing opportunities or challenges, **there will be a clear priority.**

## Argument de l'anatomie et de la connectivité fonctionnelle contre neuronal reuse :

“there have been numerous empirical analyses of both anatomical and functional connectivity in the brain that show that **the brain is in fact composed of numerous interacting modules...**”

### Réponse :

In these studies the term “ **module** ” has an **entirely different meaning.**

Connectivity in the brain is typically represented as a **graph** — sets of nodes (neurons or brain regions) connected by edges indicating anatomical or functional connections between the nodes — and analyzed using graph theory.

In graph theory the term **module** is used to refer to a set of nodes that are highly connected to one another and less connected with other parts of the graph.

This is a **structural** rather than a *functional* characterization.

Also : the primary functional upshot of these studies is that **brain function emerges from the dynamic interactions between the modules**

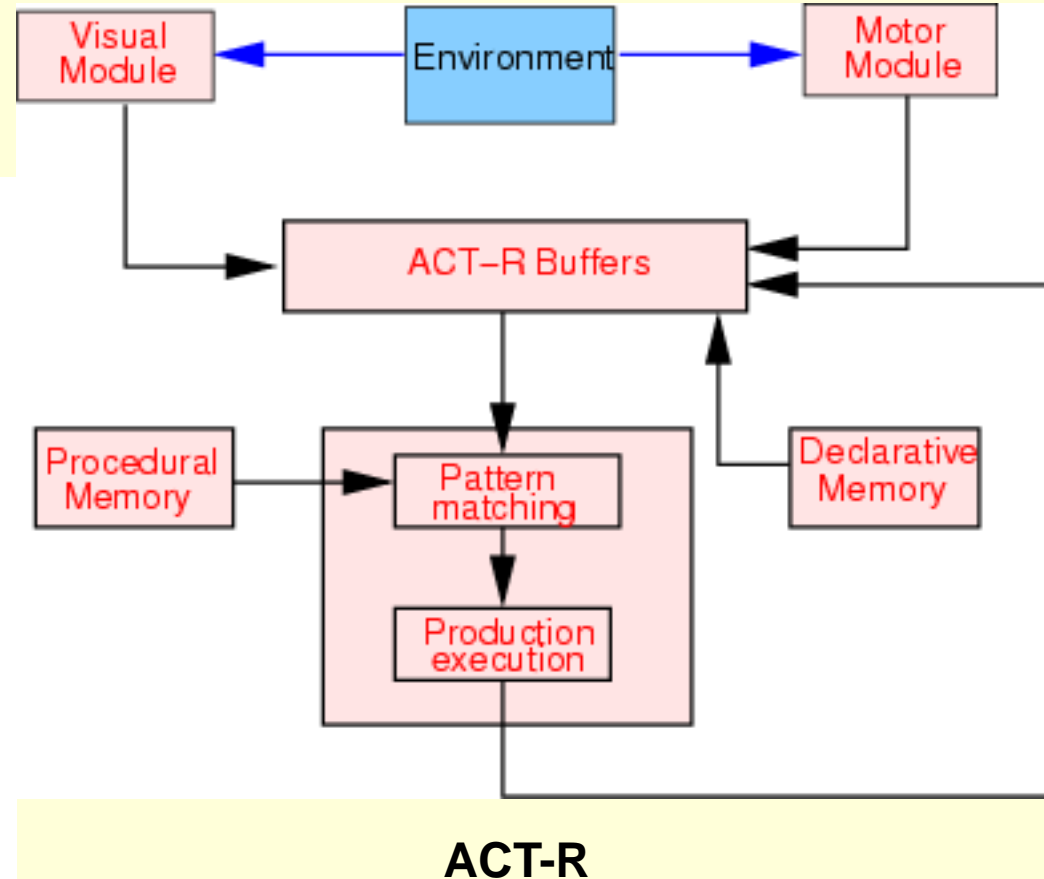
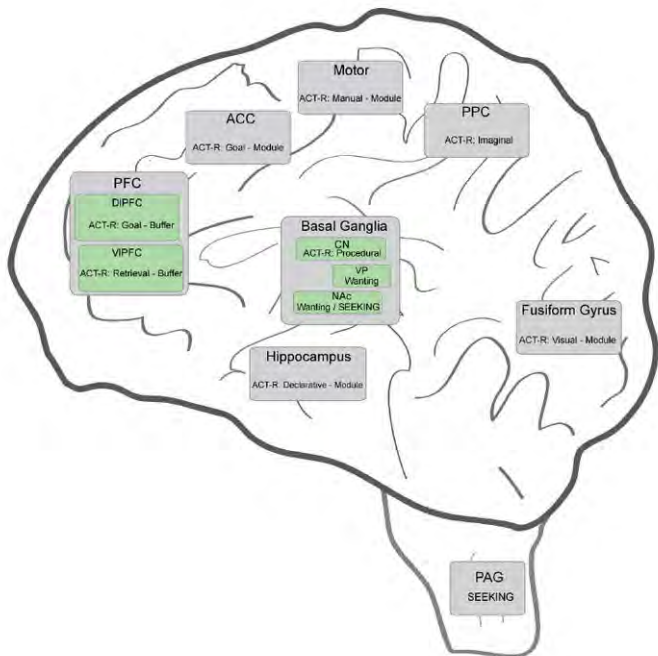
and **not from the mere activation of them** (see Sporns 2011).

Moreover, the evidence suggests that **the modular structure is *itself dynamic* : the brain is continually, dynamically organizing into different functional coalitions.**

### 3 Neural Reuse in Contemporary Cognitive Science

...I do believe that neural reuse suggests **some specific methodological reforms**, and I try to illustrate this with a discussion of the highly successful cognitive architecture known as **ACT-R**

**As currently implemented, ACT-R is explicitly modular.**





Given that neural reuse implies that anatomical modularity is false, success in assigning ACT-R modules to specific brain regions would seem to be a problem for neural reuse, and evidence for neural reuse would appear to create problems for ACT-R.

But the conclusion does not follow quite as easily as it seems to.

ACT-R does not strictly imply anatomical modularity. ACT-R is committed to the existence of *functional* modules and to the existence of elements of the brain that implement them.

For its part, neural reuse predicts that the best fit for ACT-R modules, or any other high-level functional components, is much more likely to be some cooperating complex of multiple brain regions than it is a single area

and that brain regions involved in implementing one ACT-R function are likely to be involved in implementing others as well.

Interestingly, this is more or less what J. R. Anderson et al. (2007) found.

## 3.2 Classic and Contemporary **Parallel Distributed Processing**

...In fact, **from a sufficiently abstract perspective**, the idea of neural reuse in cognitive functioning is nothing new.

It has been a staple of debates on brain architecture at least since the advent of **parallel distributed processing (PDP)** models of computation (Rumelhart & McClelland 1986).

But there are also some **important differences** that set neural reuse apart from classic PDP.

Neural reuse agrees with the notion that most of the interesting cognitive work is done at higher levels of organization but also emphasizes that **local assemblies have specific and identifiable functional biases.**

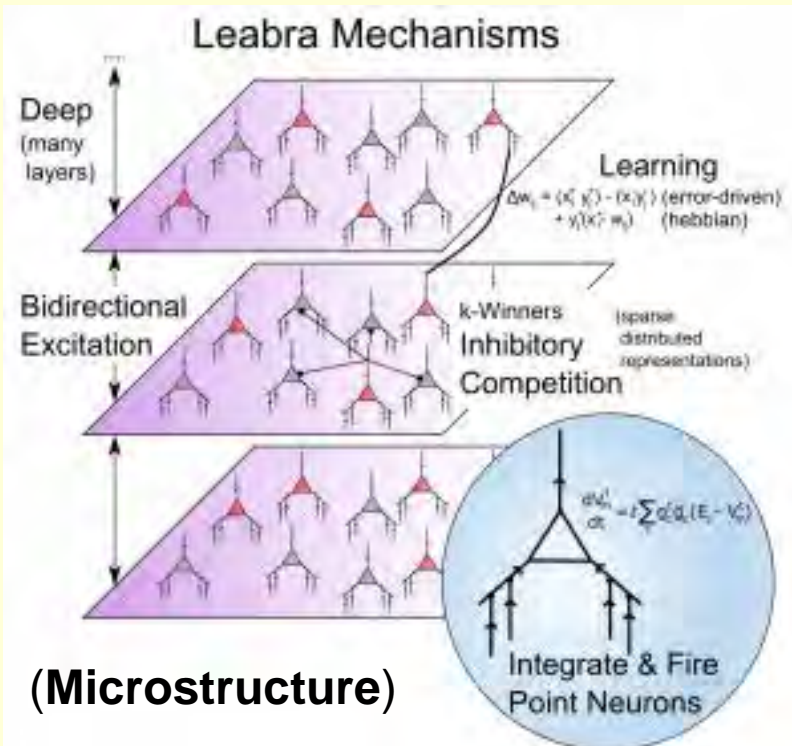
I think it is fair to say that reuse and selectively distributed processing

emphasize the integration and interaction in contrast with the localized processing of modular architectures

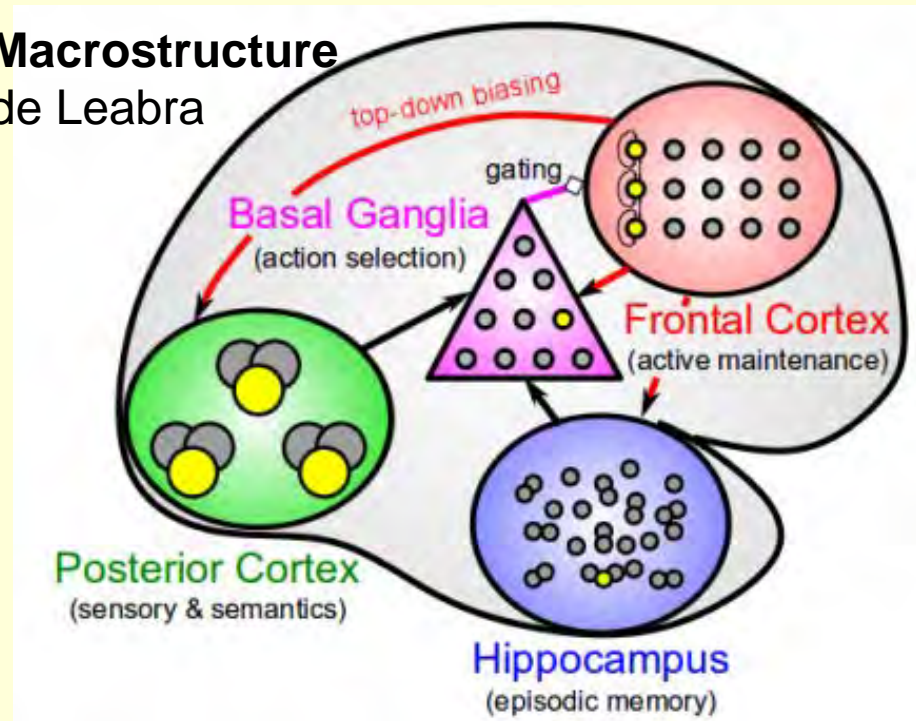
and emphasize the importance of cortical biases and functional differentiation in contrast with the apparent equipotentiality displayed in PDP architectures.

This twin emphasis is a feature found in other contemporary versions of network models, such as **Leabra** (O' Reilly 1998; O' Reilly & Munakata 2000), which tend to model the brain in terms of densely connected, locally specialized networks that are sparsely connected to one another

...In this sense **Leabra** appears also to be more compatible with neural reuse than classic PDP models are, as Leabra explicitly allows for regional functional biases.



## Macrostructure de Leabra



Thus, it appears that Leabra accepts the two fundamental principles defining neural reuse:

- (1) functional differentiation leading to local functional biases and
- (2) reuse of regions in multiple cognitive contexts.

Yet **certain vestiges of a more modular mind-set remain** — note the continuing use of the term “specialization” and the labels “episodic memory,” “action selection,” “sensory representations,” and “active maintenance” to suggest the functions of the brain regions.

...it *does* highlight **the continuing, implicit influence of the modularist framework** and the difficulty inherent in expressing alternatives to that framework while continuing to use elements of its vocabulary.

Et à propos de l'idée tenace de "composante", une voie pour s'en sortir serait...

...to imagine that **the " components " are transiently (and reproducibly) assembled in real time.**

Andy Clark (2010) argues that organisms achieve behavioral complexity and flexibility by assembling heterogeneous, interacting nodes into functional networks that he calls transient extended cognitive systems.

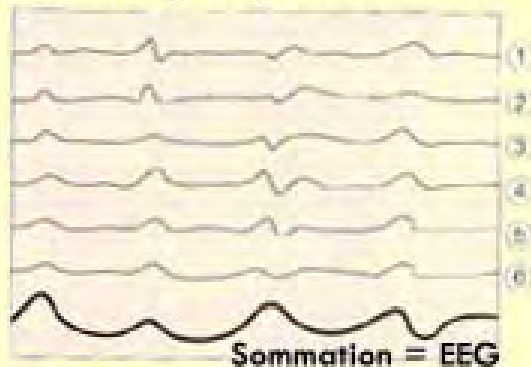
It appears that in the brain we have **transiently assembled local neural subsystems (TALoNS)**.

TALoNS — which are the constituents of large-scale functional networks — exhibit **temporary, reproducible functional selectivity** but do not have the normal functional characteristics of components.

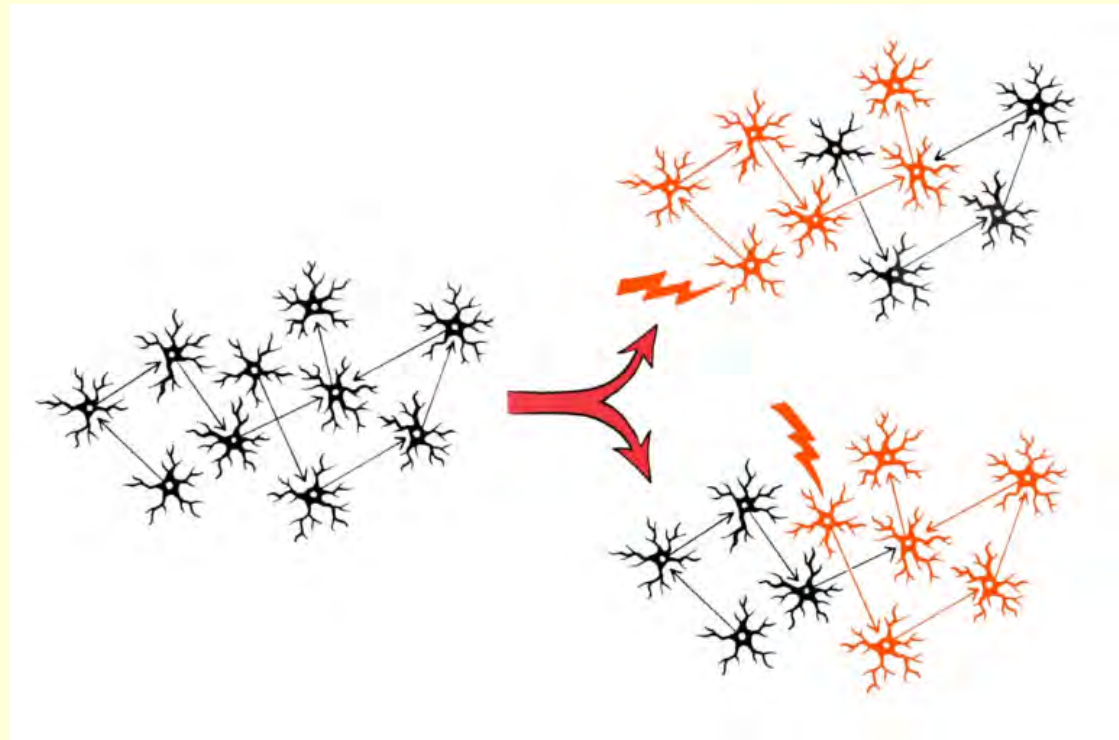
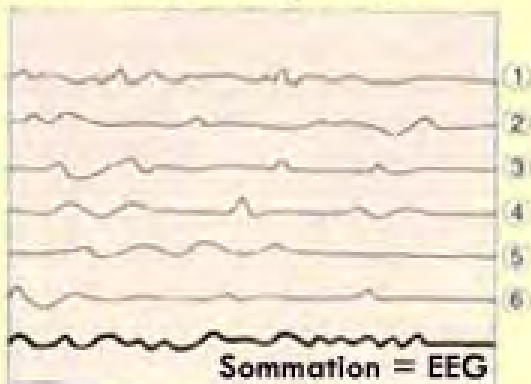
TALoNS — like the knife blade discussed in the introduction to this book — do not have fundamental functions **but rather sets of causal properties useful in various circumstances**.

# Car la synchronisation des oscillations rend possible la formation d'assemblées de neurones transitoires

Décharges synchronisées



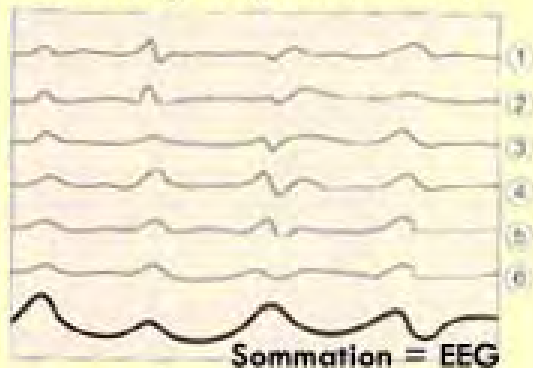
Décharges irrégulières



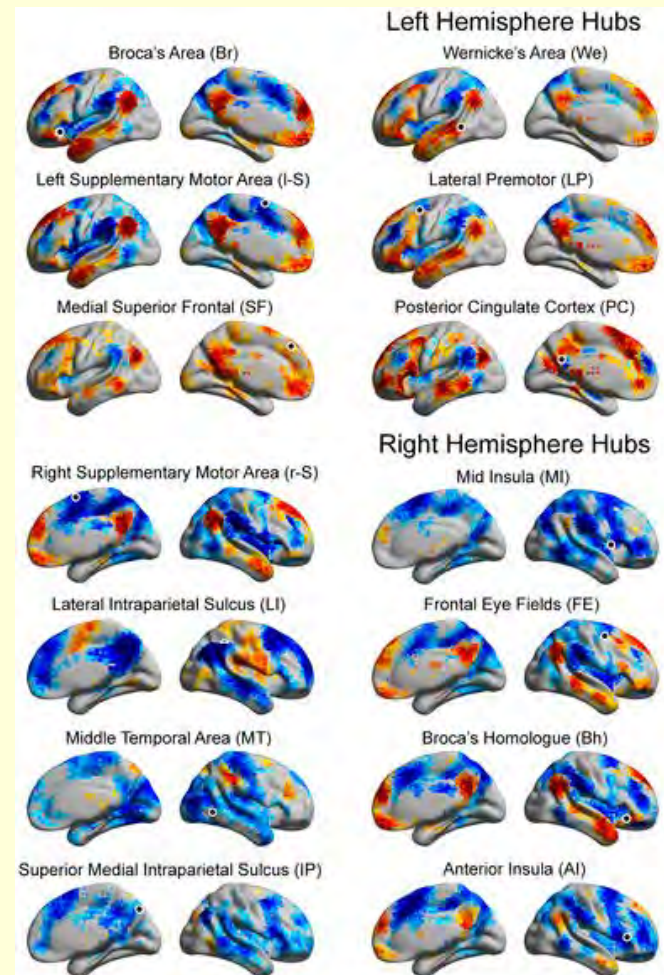
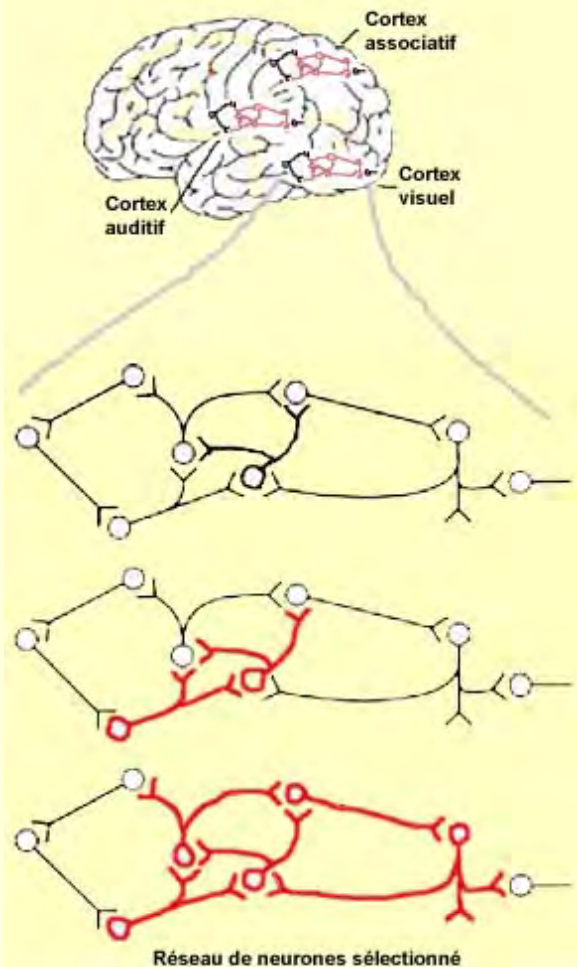
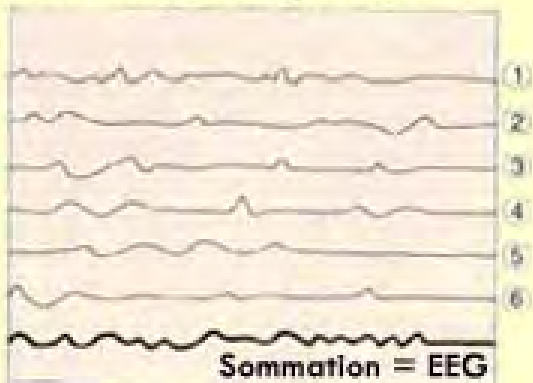
# Car la synchronisation des oscillations rend possible la formation d'assemblées de neurones transitoires

qui se produisent non seulement dans certaines structures cérébrales, mais dans des réseaux largement distribués à l'échelle du cerveau entier.

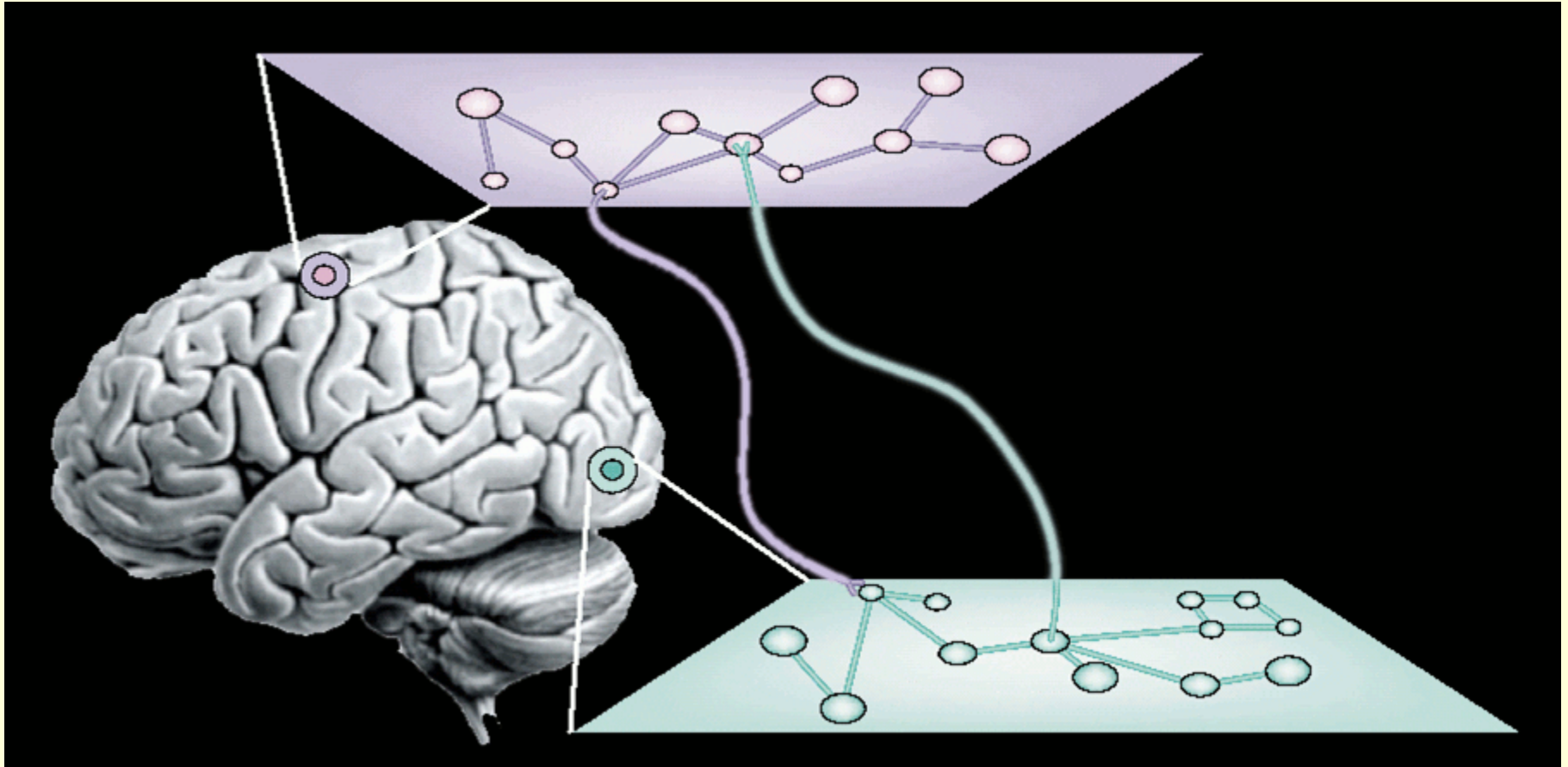
## Décharges synchronisées



## Décharges irrégulières







Tirée de Pierre Bellec

[https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLahXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview\\_lsni.pdf&usg=AFQjCNGBiKg\\_wv2IF4Dtll0Avlsu1E\\_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr\\_hCbw&cad=rja](https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLahXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_lsni.pdf&usg=AFQjCNGBiKg_wv2IF4Dtll0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja)

(Figure adaptée de Varela et al 2001, Nature Reviews Neuroscience, 2, 229-239)

On retrouve la même idée chez Murray Shanahan

“The question, in other words, is how ***open-ended coalition*** formation is possible in a dynamical system like the brain.

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.

A winning coalition will be in the ascendant **only briefly**.

When events move on, it will be supplanted by a successor.”

In fact, over the past several years at least three **other frameworks** **have been proposed that postulate neural reuse** as part of the solution to this particular evolutionary and developmental puzzle.

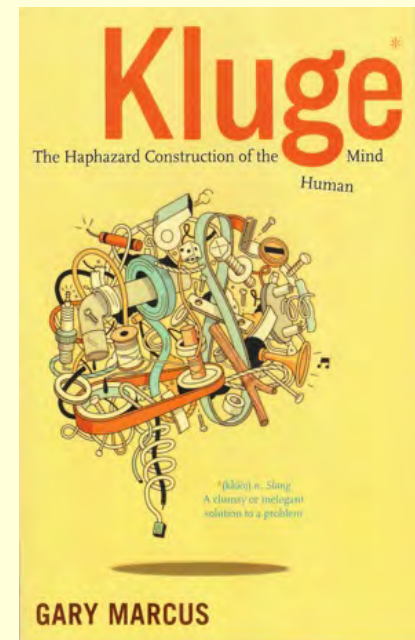
Two of these theories build on the core notion of the sensorimotor grounding of conceptual content to show how it could implicate many more aspects of human cognitive life:

**the “ neural exploitation ”** hypothesis (Gallese 2008; Gallese & Lakoff 2005);

**the “ shared circuits model ”** (Hurley 2005, 2008).

The third, Dehaene ’ s “ **neuronal recycling** ” theory

Others have clearly been thinking along similar lines, including Morten Christiansen and Nick Chater (2008), Luiz Pessoa (2008), **Gary Marcus** (2004, 2008), Steven Scher (2004), William Bechtel (2003), Dan Lloyd (2000), and Stephen Kosslyn (1999; Kosslyn & Koenig 1995).



### 3.3.1 Neural Exploitation Hypothesis

The main claim of the framework is that “ a key aspect of human cognition is ... **the adaptation of sensory-motor brain mechanisms to serve new roles in reason and language**, while retaining their original function as well ” (Gallese & Lakoff 2005, p. 456).

### 3.3.2 The Shared Circuits Model

The shared circuits model (Hurley 2005, 2008), like the neural exploitation hypothesis, is an attempt to show how higher cognitive function can emerge from the reuse of more primitive action-oriented processors.

The model is organized around five control layers of similar structure, which are differentiated by the increasing abstraction of inputs and outputs ( table 3.1 ).

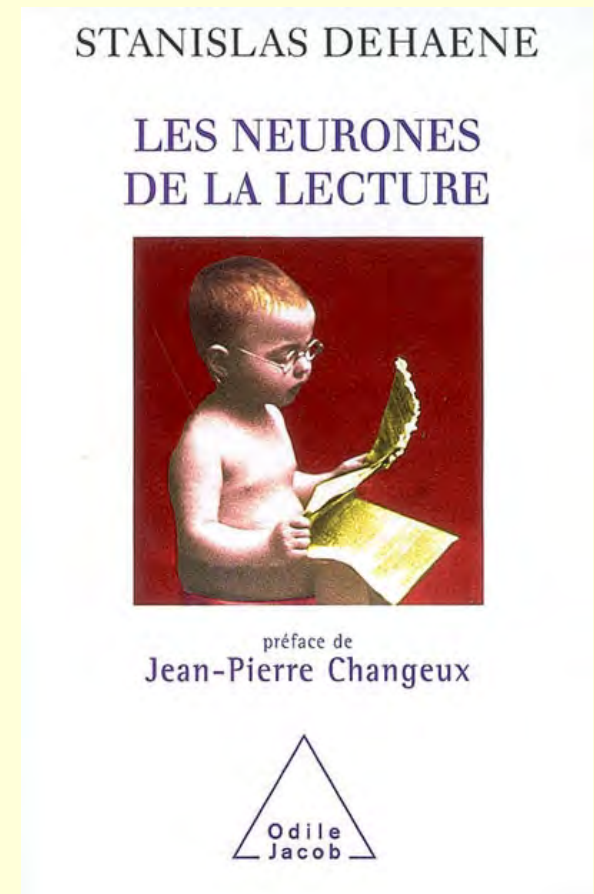
Table 3.1

Outline of Hurley's five layers

Layer	Takes as input	Implements
1	Perception	Basic adaptive feedback control of action
2	Perception and efference copy of motor output	A forward model of the perceptual effects of action
3	Observations of actions or action-evoking objects	Mirroring for priming, emulation, and imitation
4	Observations of actions or action-evoking objects	Simulated mirroring for action understanding
5	Simulations of actions or action-evoking objects	Counterfactual simulation of actions for strategic deliberation

### 3.3.3 The Neuronal Recycling Hypothesis

The neuronal recycling hypothesis (Dehaene 2005; Dehaene & Cohen 2007) focuses instead on the process of neural reuse in the learning of complex skills such as **reading and mathematics** (Dehaene 2005, 2009; Dehaene & Cohen 2007).



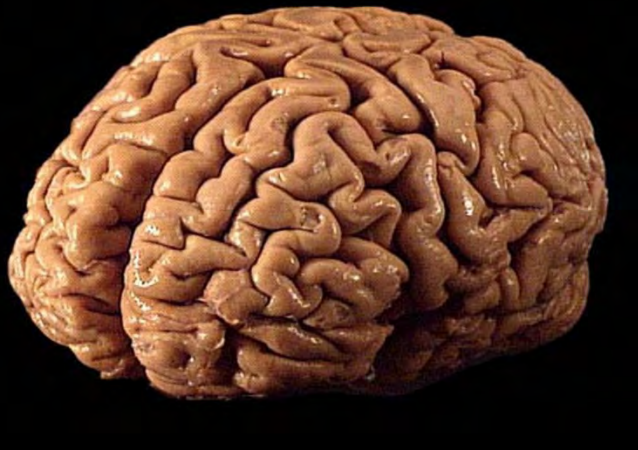
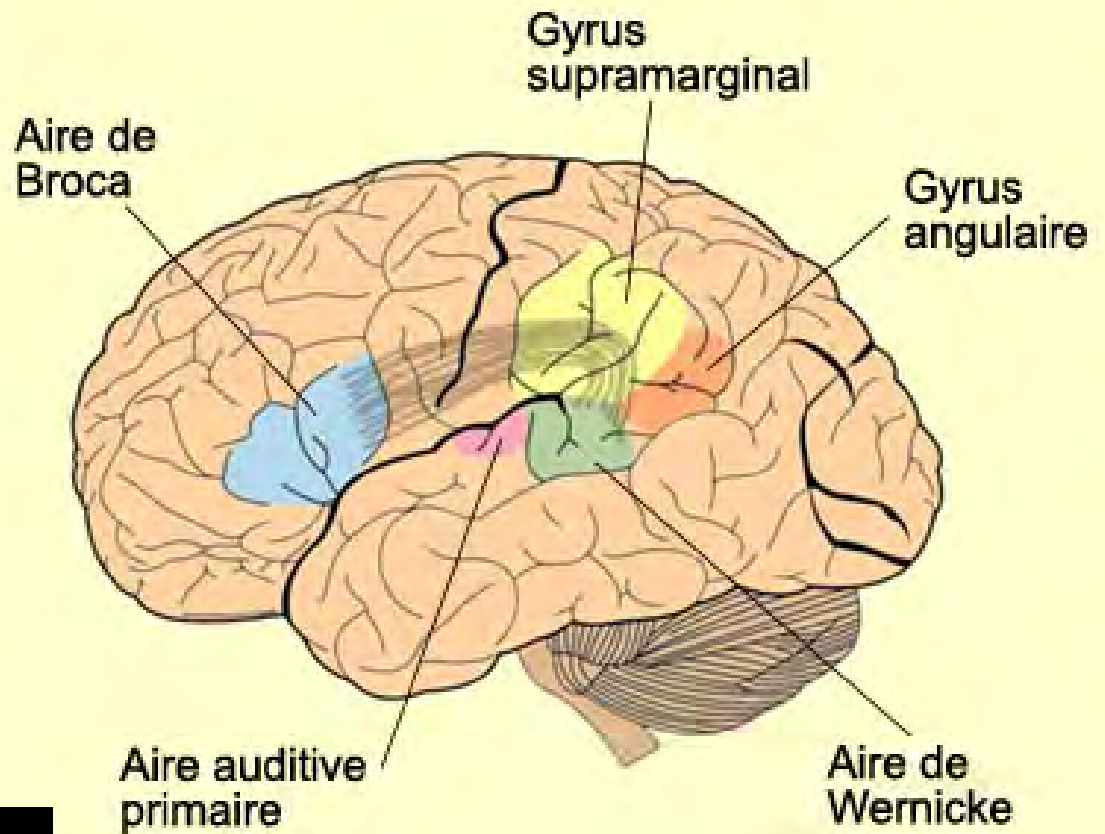
Publié en 2007

## Qu'est-ce que lire pour un neurobiologiste ?



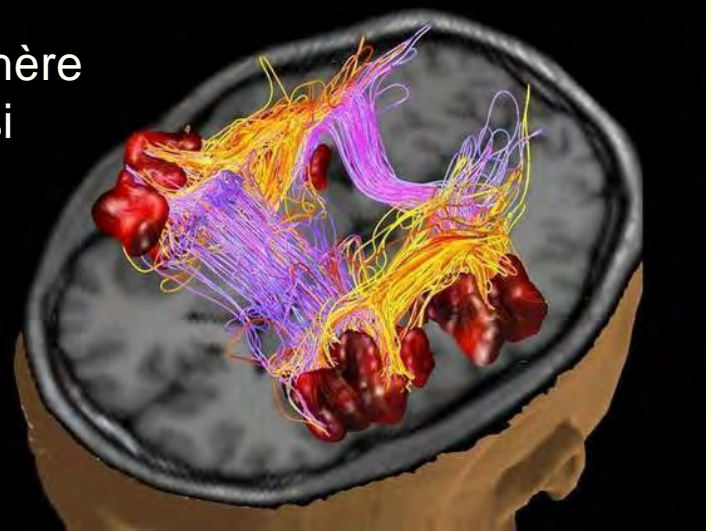
C'est rendre  
accessibles les  
aires du langage...

(situées dans  
l'hémisphère gauche  
pour la majorité  
des gens)



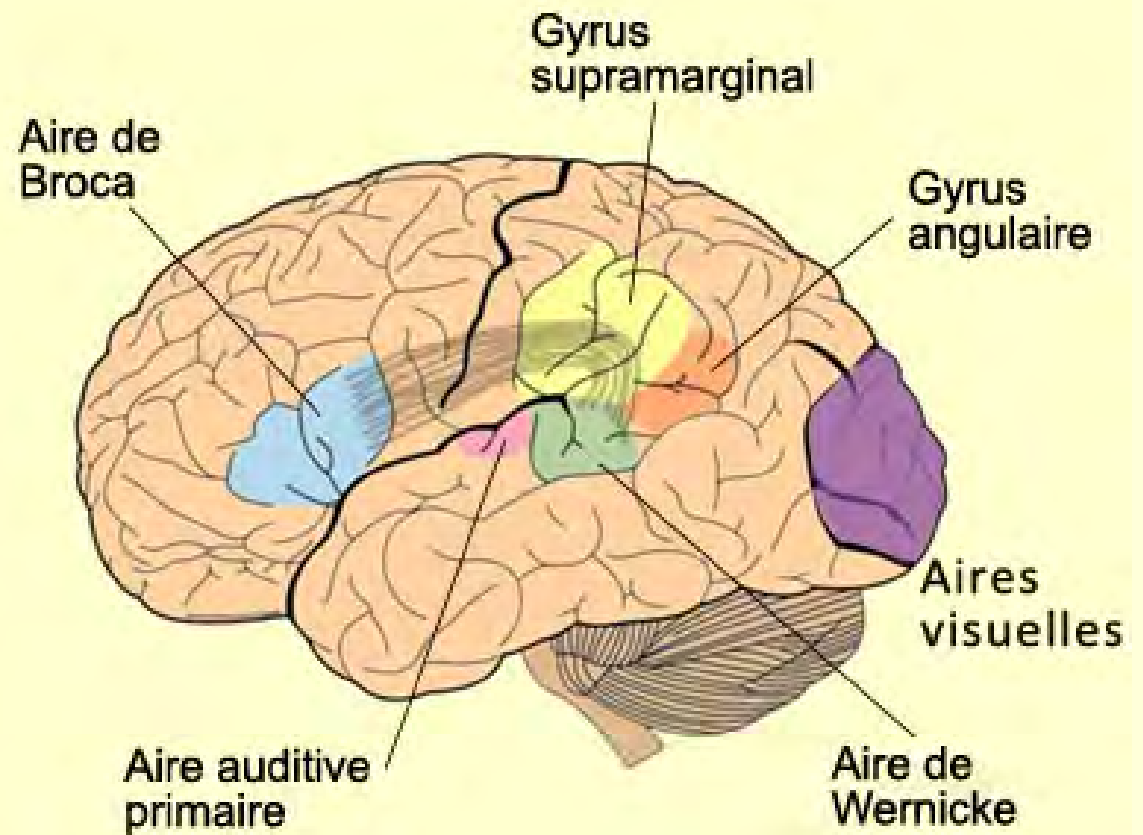
- Hémisphère  
droit aussi

- réseau



C'est rendre  
accessibles les  
aires du langage...

...par les  
aires visuelle !

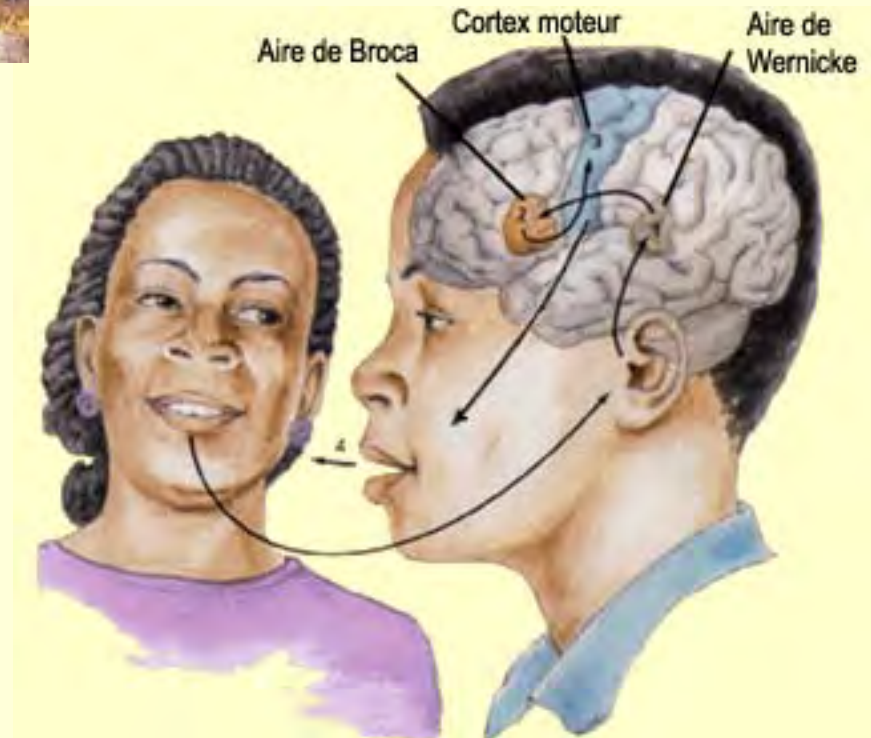


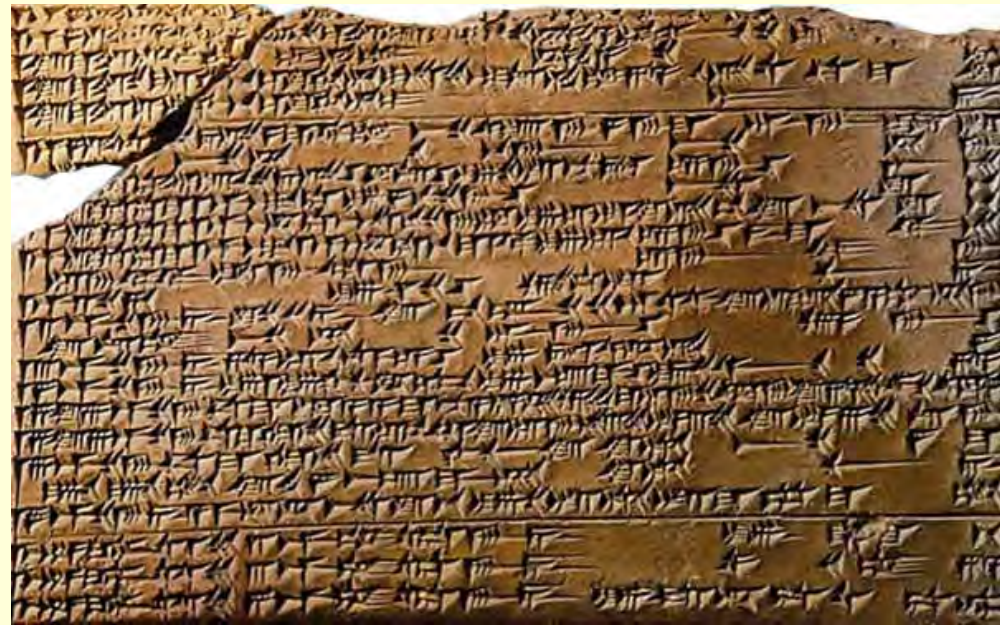




Car si des circuits cérébraux ont pu être **sélectionnés pour le langage** durant l'hominisation...

(des centaines de milliers d'années)





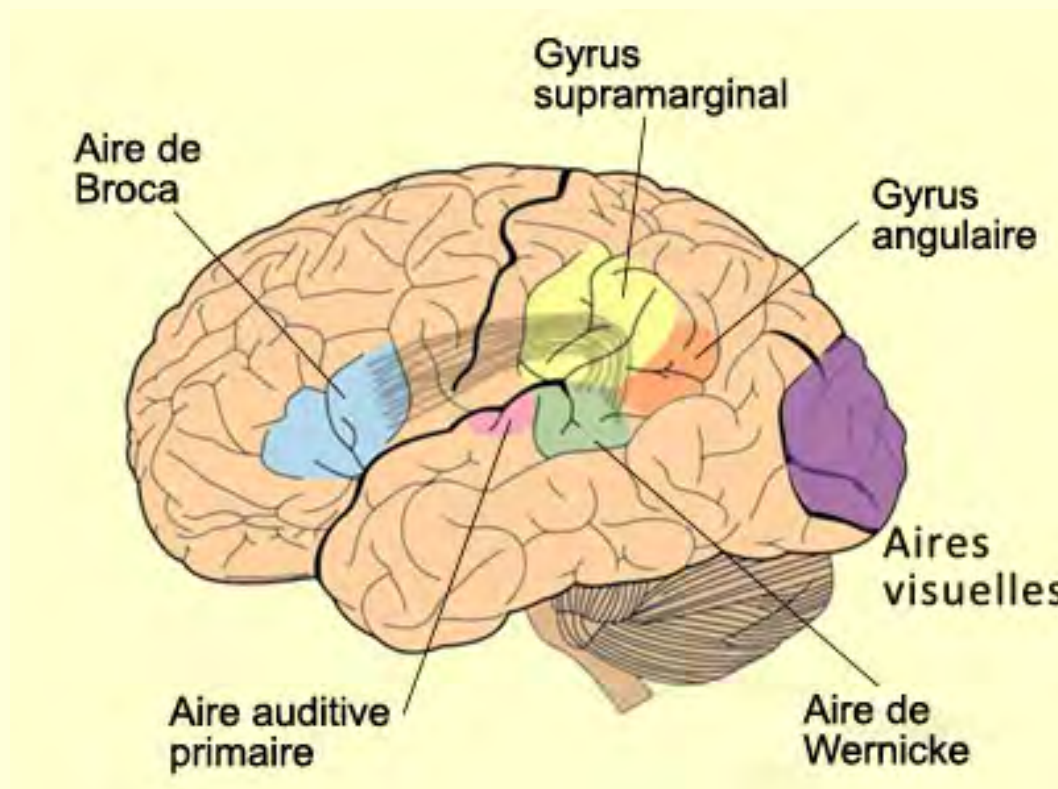
...il est difficile d'imaginer  
des circuits cérébraux  
**sélectionnés pour l'écriture.**

(quelques milliers d'années)

L'une des plus vieilles formes d'écriture :  
il y a environ **5 400** ans chez les **Babyloniens.**

Comment alors expliquer que le cerveau humain arrive à lire ?

**Comment parvient-il à donner accès aux aires du langage par les aires visuelles ?**



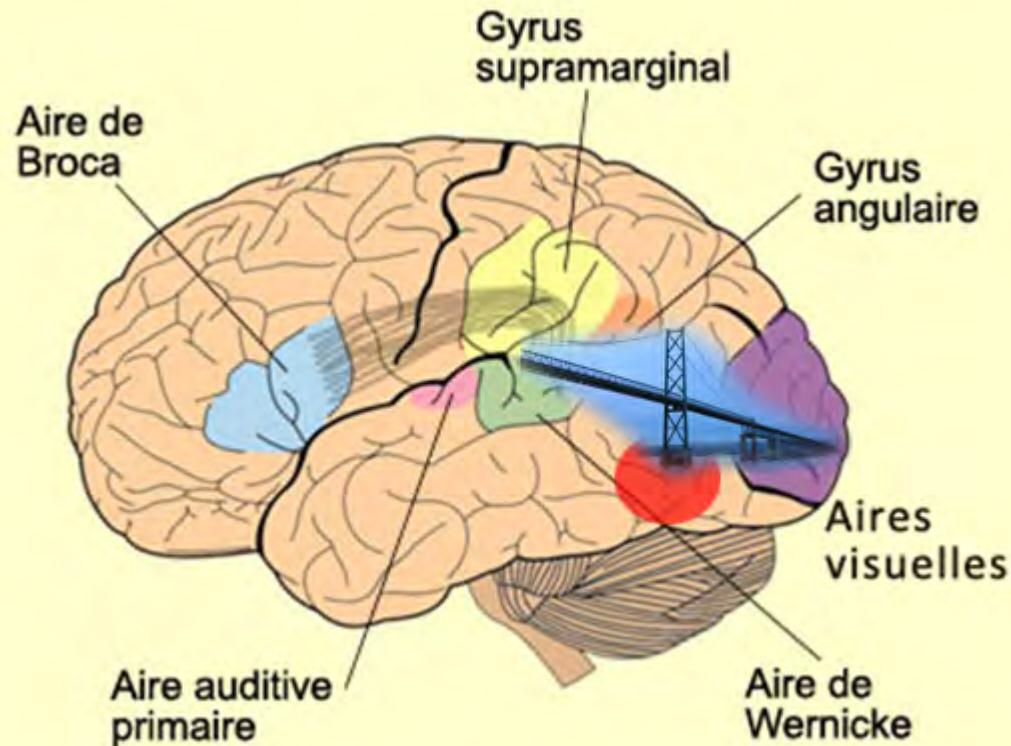
Donc... durant la lecture, comment le cerveau parvient-il à **donner accès aux aires du langage par les aires visuelles ?**

Comment fait-il le pont ?

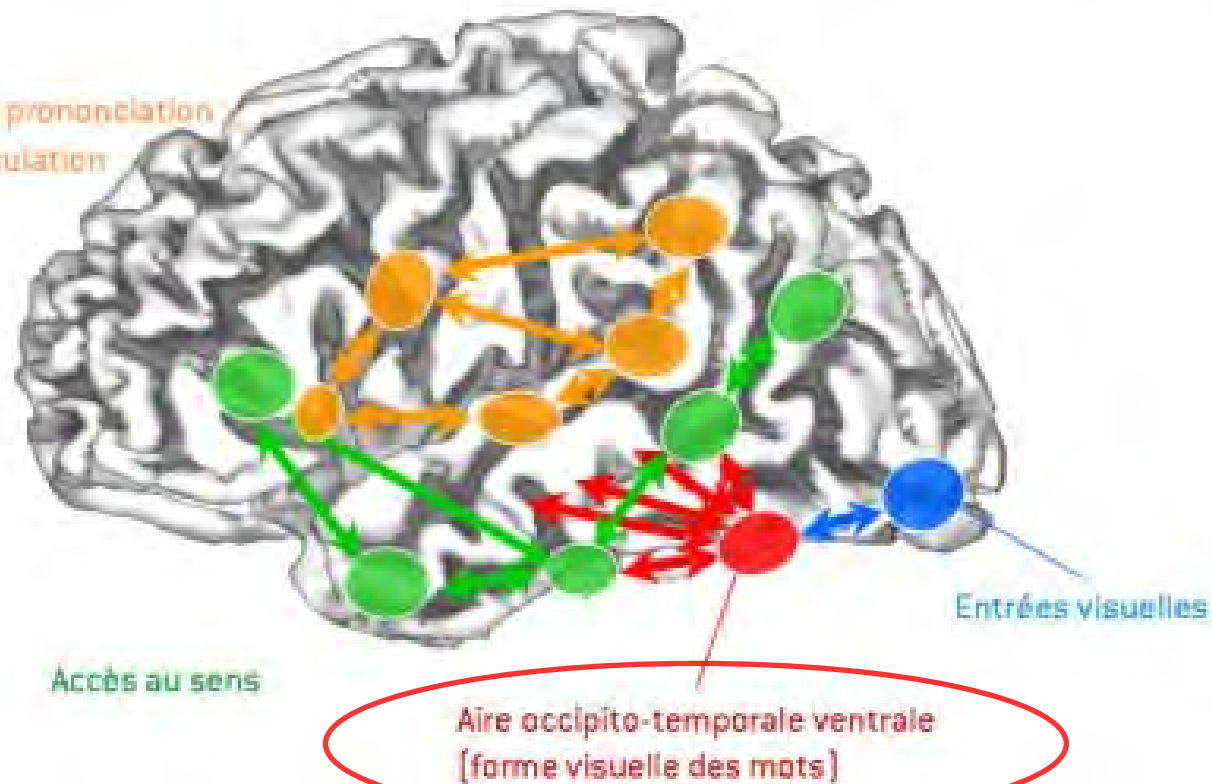
Selon Dehaene et ses collègues :

grâce à une région **spécialisée pour la lecture.**

Mais comment peut-on avoir une région spécialisée pour une chose **pour laquelle nous n'avons pas évolué ?**



Avant de tenter de répondre à cette question, quelques informations sur **cette région clé pour la reconnaissance visuelle des mots**



Avant de tenter de répondre à cette question, quelques informations sur

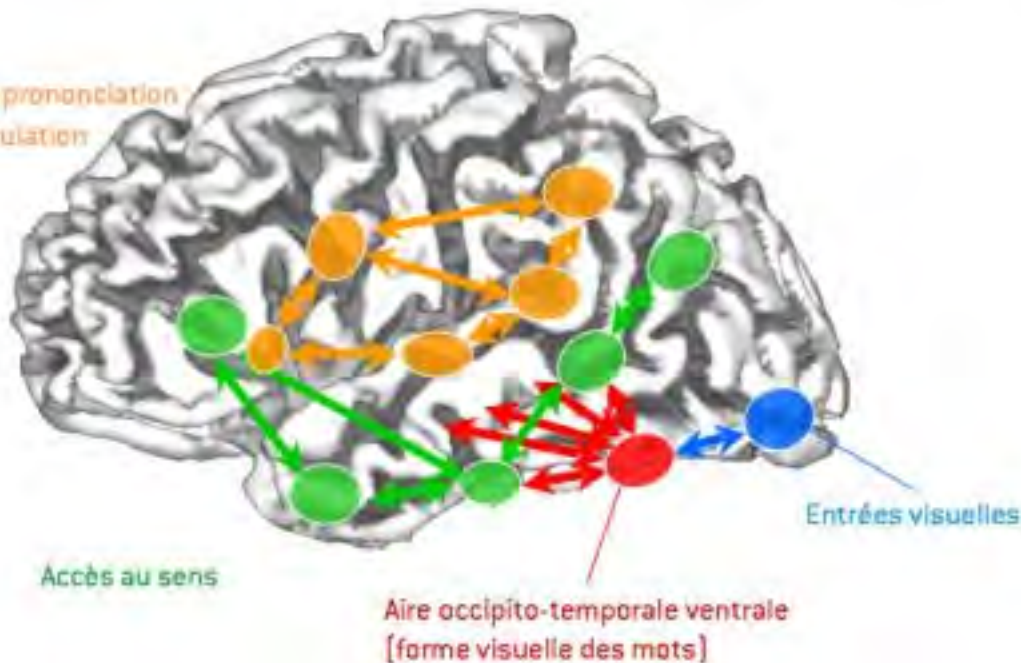
## cette région clé pour la reconnaissance visuelle des mots

(qui va ensuite permettre à d'autres réseaux d'en extraire le sens, d'en produire la prononciation, etc.)

### L'architecture cérébrale de lecture

Reconnaissance d'un mot en 300 ms

Accès à la prononciation  
et à l'articulation



Accès au sens

Aire occipito-temporale ventrale  
[forme visuelle des mots]

Entrées visuelles

Durant la lecture, l'activation débute dans le pôle **occipital**, vers **100 ms**,

puis vers **170 ms** elle s'étend à la région **occipito-temporale gauche**.

Ensuite : explosion d'activité dans de multiples régions **temporales** et **frontales** partagées avec l'audition des mots.

- **the space of possible cultural acquisitions is partly constrained by our cortical biases.**

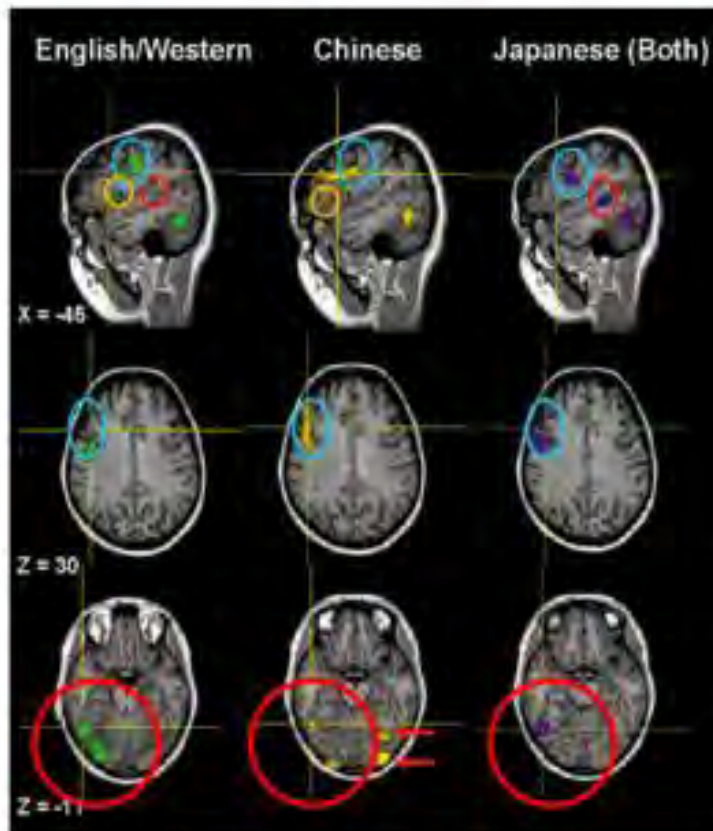
The phrase “ **neural niche** ” is clearly meant to echo the idea of an ecological niche and suggests both that acquired cognitive abilities “ belong ” in specific neural locations (i.e., can only survive where the neural climate is appropriate) and that the neural ecology may partly determine the characteristics that these cultural acquisitions possess by limiting what is even possible to learn (and therefore which “ cognitive animals ” survive).

Assuming the set of cortical biases is relatively consistent in a species, and at least partially determined by selection pressures, we should expect to find evidence of at least three things:

**first**, the neural manifestations of acquired abilities should be relatively consistent across individuals and even cultures;

Cette région est pratiquement **au même endroit** pour tout le monde, peu importe la langue dans laquelle vous lisez.

### Universalité des réseaux de la lecture dans différents systèmes d'écriture



Remarquable recouvrement des activations dans la région occipito-temporale gauche [« aire de la forme visuelle des mots »]

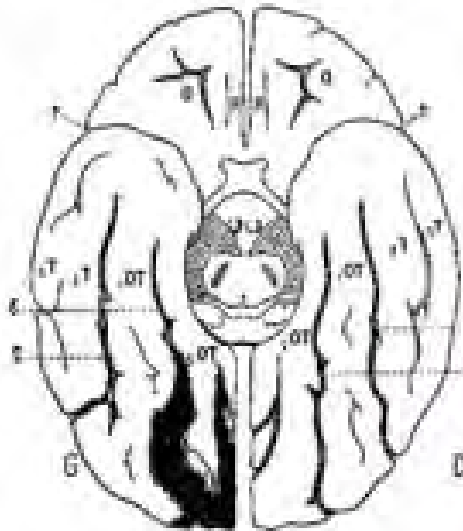
Coordonnées proposées par Cohen et al. (2002): -42, -57, -12

Stimuli	x	y	z
Western words	-46	-56	-13
Chinese characters	-49	-53	-10
Japanese Kana	-46	-55	-8
Japanese Kanji	-47	-58	-9
Average (SD)	-47.2 (1.3)	-55.2 (1.9)	-11.6 (3.6)

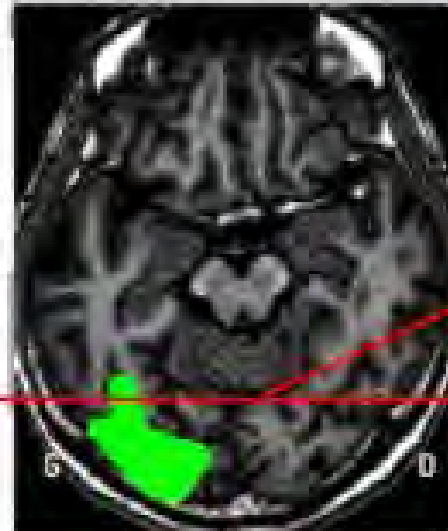


La lésion de cette région entraîne une « **alexie pure** »

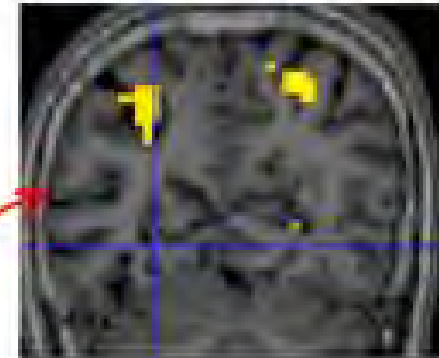
Déjerine, 1892



Cohen et al, 2002



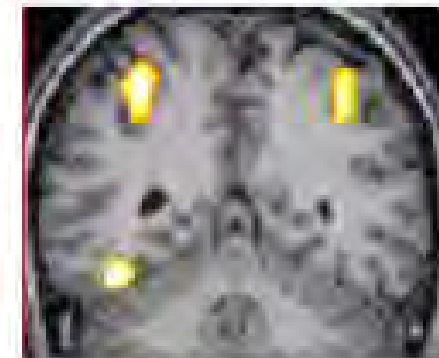
Lecture chez le patient



**Alexie pure** : incapacité à lire.

Et pas d'autres problèmes apparents :  
la personne reconnaît les visages,  
comprend, parle, et même écrit.

Mais quelques secondes après ne peut pas se relire !

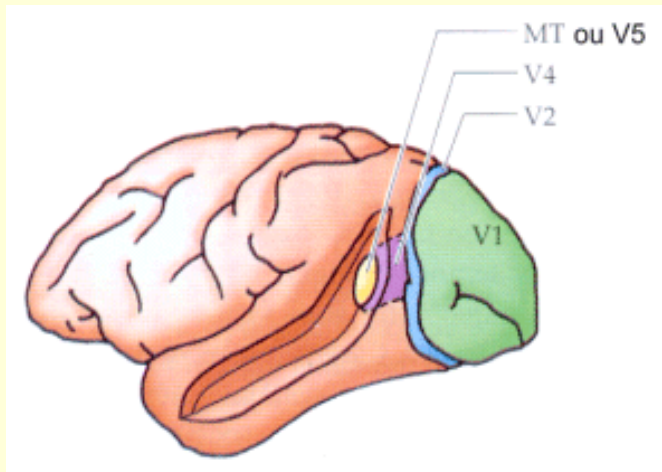


Sujet normal

**Second** : the same sorts of cortical biases, as well as some of the same possibilities for learning, should be **present in close evolutionary relatives, including nonhuman primates**

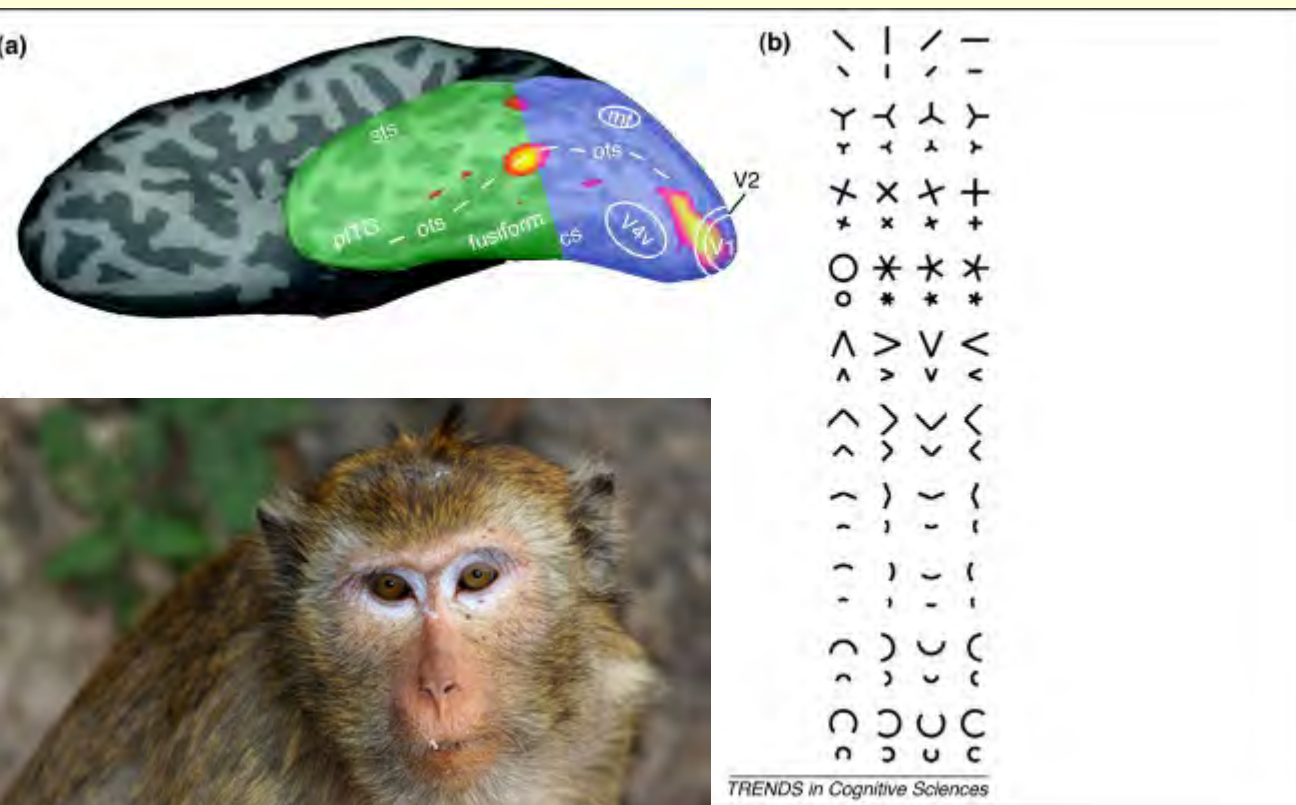
Finally, the third expectation has been supported by some interesting and groundbreaking work by Atsushi Iriki and colleagues (Iriki 2005; Iriki & Sakura 2008) who uncovered evidence for real-time neural niche construction in primate brains (specifically *Macaca fuscata* ) as the result of learning to use simple tools. The location of the observed neuromorphological changes following tool training is roughly homologous to the regions associated with tool use in the human brain (Culham & Valyear 2006). Thus, the theory suggests a novel pathway by which *Homo sapiens* may have achieved its current high-level cognitive capacities.

Chez le singe macaque :



- Similitudes entre des aires visuelles, dont la **présence de l'aire occipito-temporale ventrale**
- L'enregistrement dans un neurones de cette aire montre une réponse seulement pour un objet sur 100 (une chaise, par exemple)
- Répond en fait à **certaines propriétés de ces objets**  
(ex : si un neurone répond à un cube, on lui présente une forme en T et il répond autant sinon plus)

Or, plusieurs de ces formes simples ressemblent à nos lettres, pourrait être des lettres...



Il y a donc déjà, dans le cerveau du singe, des neurones répondant à un véritable alphabet de ces formes simples qui l'aident à percevoir les objets multiformes présents dans la nature.

Ces formes simples sont très utiles pour reconnaître des propriétés qu'on appelle **non accidentelles** ou **invariantes** des objets.

Par exemple, si vous avez un objet qui en cache un autre, la jonction des arrêtes va former un T, ce qui nous aiderait à déterminer quelle forme est devant telle autre.

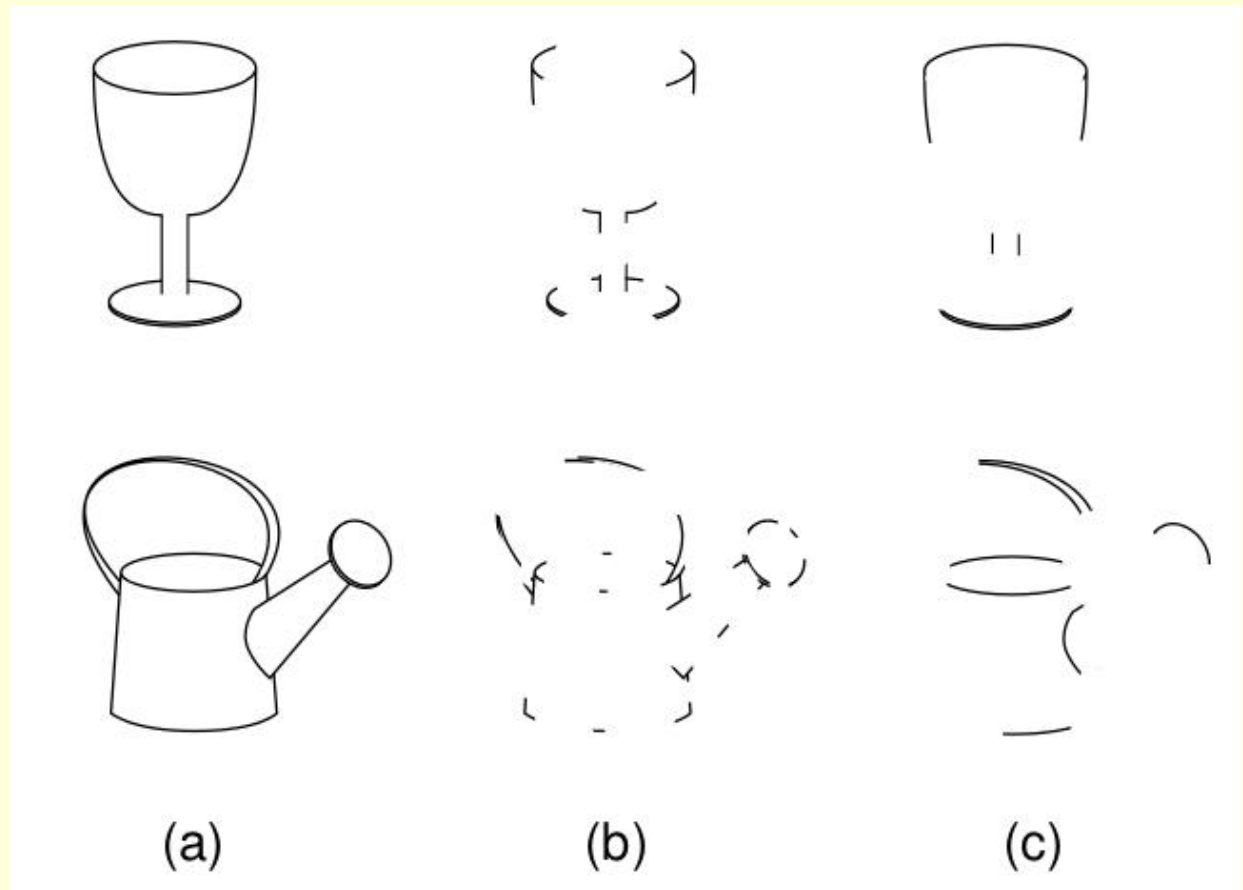


**Chez l'humain aussi**, ces formes sont très importante dans la reconnaissance visuelle.

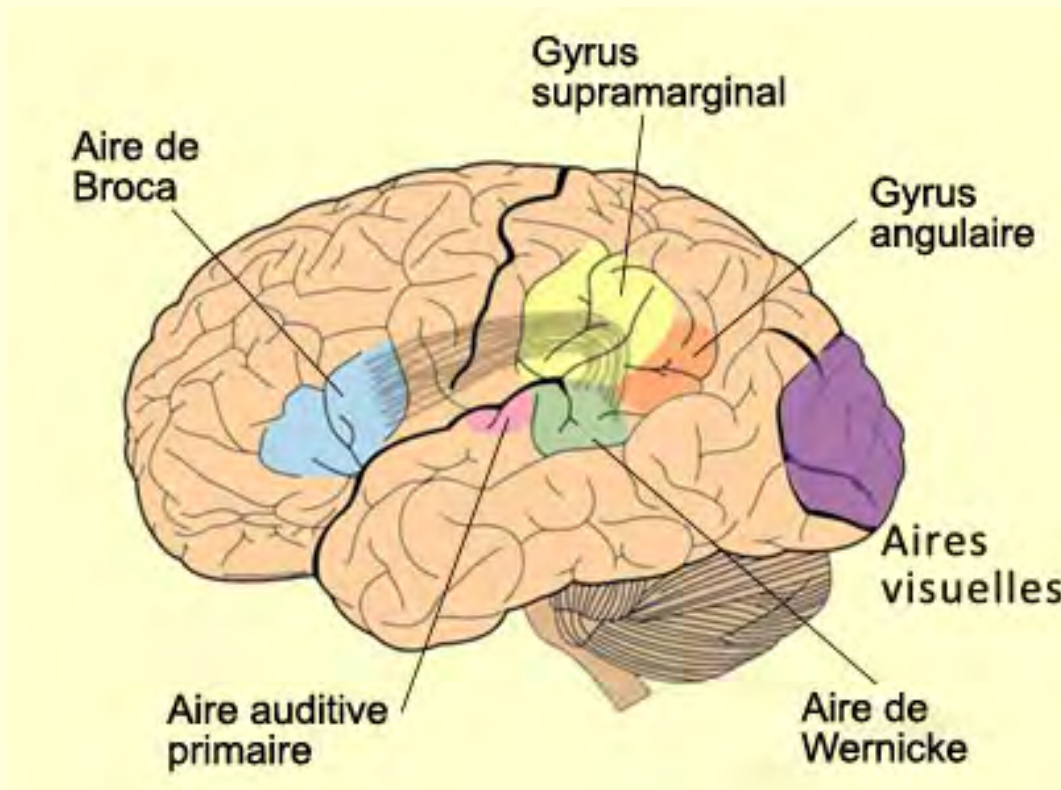
Irving Biederman, **1987**.

Il est plus **facile** de reconnaître un dessin si l'on cache de longues sections des lignes du dessin (b)

que si l'on cache seulement les intersections de ces lignes (c).



Durant la lecture, comment le cerveau parvient-il à **donner accès aux aires du langage par les aires visuelles** ?

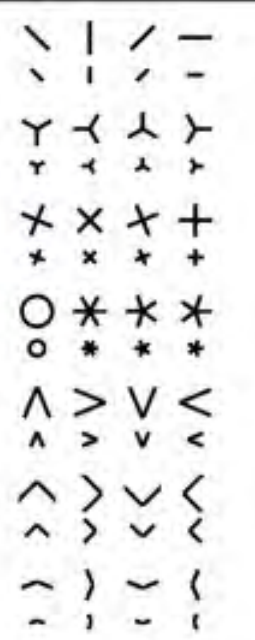


L'hypothèse de Dehaene et ses collègues est que nous avons **recyclé** cette région qui s'est probablement d'abord mise en place pour jouer un rôle plus ancien et fondamental qui est la **reconnaissance visuelle des formes**,

pour l'adapter à la reconnaissance des formes **des lettres des systèmes d'écriture**.







Notre région **occipito-temporale ventrale**, qui était donc déjà présente chez nos cousins primates, va nous permettre de reconnaître les arrêtes et les jonctions des lettres de nos alphabets, comme elle permettait déjà la reconnaissance de ces arrêtes et de ces jonctions pour les objets naturels.

D'où l'idée **ce n'est pas notre cerveau qui a évolué pour lire** (il n'a pas eu le temps), mais que c'est nous qui, culturellement, avons **favorisé certaines formes arbitraires dans nos alphabet**.

Le **recyclage neuronal** est donc rendu possible par des systèmes d'écriture qui prennent parti de notre facilité à détecter ces formes particulières fréquentes dans la nature.

English	Theban	Malachin
A	𐤀	𐤀
B	𐤁	𐤁
C	𐤂	𐤂
D	𐤃	𐤃
E	𐤄	𐤄
F	𐤅	𐤅
G	𐤆	𐤆
H	𐤇	𐤇
I	𐤈	𐤈
J	𐤉	𐤉
K	𐤊	𐤊
L	𐤋	𐤋
M	𐤌	𐤌
N	𐤍	𐤍
O	𐤎	𐤎
P	𐤏	𐤏
Q	𐤐	𐤐
R	𐤑	𐤑
S	𐤒	𐤒
T	𐤓	𐤓
U	𐤔	𐤔
V	𐤕	𐤕
W	𐤖	𐤖
X	𐤗	𐤗
Y	𐤘	𐤘
Z	𐤙	𐤙

**Third** : these practices should have some common **cross-cultural characteristics**;

As evidence for the second expectation, they point to work by Changizi and colleagues (Changizi & Shimojo 2005; Changizi et al. 2006) that writing systems are characterized by two cross-cultural invariants: an average of three strokes per written letter and a consistent frequency distribution for the types of contour intersections among the parts of those letters (T, Y, Z, etc.).

**Si cette histoire est vraie**, on devrait trouver que beaucoup de ces formes se retrouvent dans toutes les écritures du monde

(i.e. qu'il y a des invariants transculturels)

؟ "دوڪِ نوي" ٻه حوملا ٻه فشا لاه ام

並 丫 中 夊 丰 卩 串 弗 丸 丹 主 井 义

कम्प्यूटर, मूल रूप से, नंबरों से सम्बंध रखते हैं। ये प्रत्येक

The quick brown fox jumped over the lazy dog

אבגדהזחטכך'טיהזוהדגבא"ייוויתשקצץפקעסנוממלכך'טיהזוהדגבא

กขฃคฅฉงจฉฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบ

**Si cette histoire est vraie**, on devrait trouver que beaucoup de ces formes se retrouvent dans toutes les écritures du monde

(i.e. qu'il y a des invariants transculturels)

Une étude de l'institut Caltech en Californie a pris un très grand nombre d'écritures dans le monde et a compté combien de fois on trouve des jonctions particulières (ex. L, T, X (avec leur rotation)).

Elle constate une régularité remarquable dans la distribution de ces traits pour toutes les langues ( $L > T > X$ ).

Une régularité qu'on ne retrouve pas au hasard (gribouillage sur feuille de papier, allumettes lancées au hasard, etc).

Mais une régularité statistique qu'ils retrouvent cependant dans les images de la nature !

Il semble donc que le système visuel humain,  
adapté pour bien discriminer les objets dans le monde naturel,

**a contraint les possibilités d'écriture des lettres de manière universelle dans toutes les cultures**, de manière à rendre ces lettres reconnaissables de manière optimale par notre cerveau lors de la lecture.

؟ "دوكِ نوِي" ةد حوملا ةرفشلا يه ام

並 丫 中 夊 丰 卩 串 弗 丸 丹 主 井 义

कम्प्यूटर, मूल रूप से, नंबरों से सम्बंध रखते हैं। ये प्रत्येक

The quick brown fox jumped over the lazy dog

אבגדהוזחטיךכלםמנסעףקצקרשקו"י"י"ו"ו"ת"ש"ק"צ"ף"ע"ס"נ"מ"ל"כ"ך"י"ט"ז"ה"ו"ה"ד"ג"ב"א

กขฃคฅฉงจฉฌญฎฏฐฑฒณดตถทธนบ



Mais comme tout recyclage, celui de l'aire occipito-temporale ventrale gauche n'est pas parfait.

Et il peut aussi être à l'origine de certaines **limitations** de la nouvelle fonction (ici la lecture).

Autrement dit, la présence de **propriété sous-optimale**, en accord avec la fonction originale, viendrait appuyer la thèse du recyclage neuronal

et montrer que le système n'a pas été conçu par un quelconque « intelligent design » pour la lecture.

Et cette propriété, Dehaene pense que c'est **la symétrie gauche droite**.

## La symétrie gauche droite.

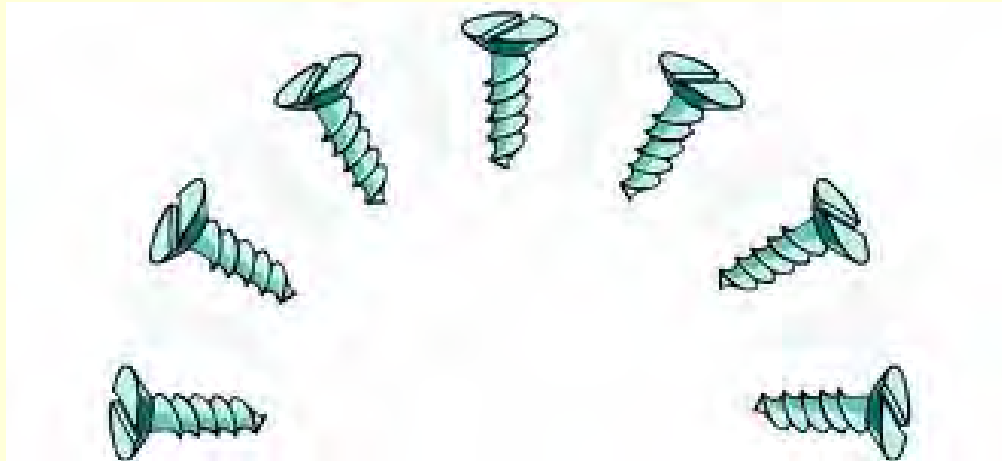


Même si des images sont « flippées » horizontalement (et donc n'offre pas du tout la même image sur la rétine), notre système visuel reconnaît immédiatement qu'il s'agit de la même image.

Probablement parce que dans le monde naturel on peut tourner comme ça les objets d'un bord ou de l'autre sans que cela ne change l'identité de l'objet en question, qui est par conséquent toujours reconnu comme étant le même.

Bref, cette propriété de notre système visuel **facilite la reconnaissance des objets indépendamment de leur orientation.**

Nos neurones et les neurones des singes macaques **généralisent donc spontanément en miroir.**



Si on enregistre dans un neurone qui décharge pour une forme asymétrique vers la gauche, quand on tourne la forme de 10, 20, 30 degrés etc. il y a diminution de la décharge, mais en remontant et en arrivant à 180 degrés, le neurone décharge à nouveau de façon similaire.



Mais pour la lecture, **cela devient une propriété tout à fait indésirable** dans la mesure où l'on doit par exemple apprendre à faire la distinction entre un « d » et un « b ».



L'enfant a d'ailleurs plus de facilité à écrire de droite vers la gauche (en français ou en italien) que l'adulte.

D'autres expériences ont montré que tous les enfants sont capables spontanément d'écrire en miroir vers 5-6 ans quand on leur demande d'écrire à côté d'un point placé à droite d'une page.

Et cette compétence semble se « désapprendre » plus tard...

Par conséquent,

Quand un enfant commence à apprendre à lire, pour son système visuel, **le « p » et le « q », c'est exactement le même objet !**

D'où les difficultés à les associer à des sons différents.

Il faudra donc aux enfants aller à l'encontre des propriétés naturelles de cette aire visuelle et **modifier ses circuits pour apprendre** que ces lettres symétriques ne sont pas les mêmes...

[ Ce phénomène serait présent chez tous les enfants (et pas de rapport normalement avec la dyslexie). Si l'enfant continue à lire en miroir vers 10, 11, 12 ans, là il faut peut-être commencer à s'inquiéter, mais avant c'est une propriété normale du système... ]

**On a donc tous les mêmes structures cérébrales impliquées,**  
mais selon le degré d'invariance d'une langue,  
le temps d'apprentissage sera plus ou moins long.

En fin de maternelle, un enfant allemand ou italien sait lire (ce dernier en quelques mois), un français va faire 22 % d'erreur, un anglais 67% d'erreur (donc il ne sait pas lire).

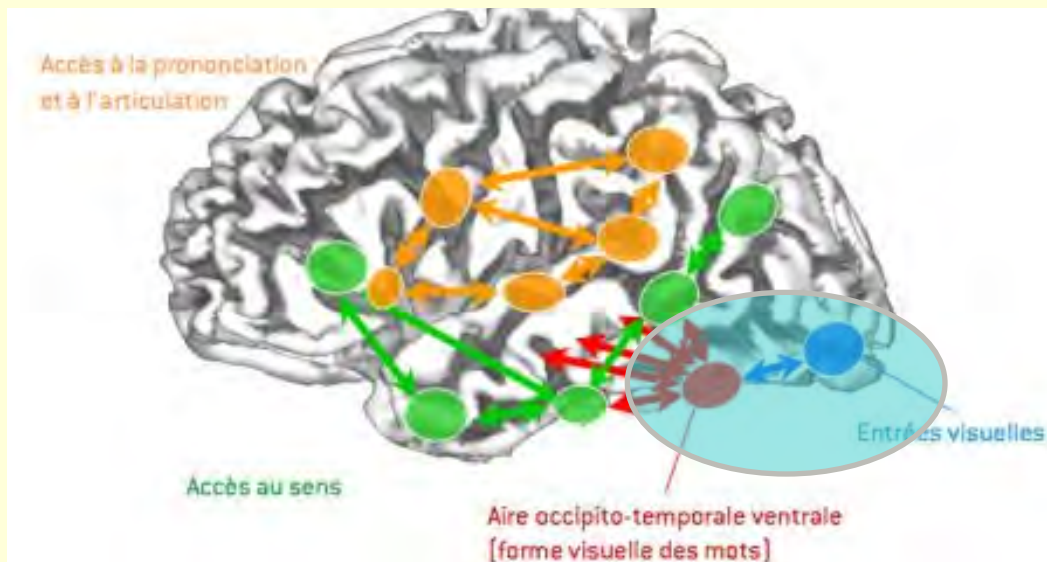
Donc c'est un problème de transparence de chaque langue.  
Les anglais rattrapent, mais ça prend du temps.

Plaidoyer efficace pour une réforme de l'orthographe...  
(a eu lieu en Turquie au début du siècle)

Comment cette aire visuelle occipito-temporale ventrale va-t-elle « coder » ou « représenter » les **chaînes de caractères** que sont les **mots**, et pas seulement des formes ou des lettres ?

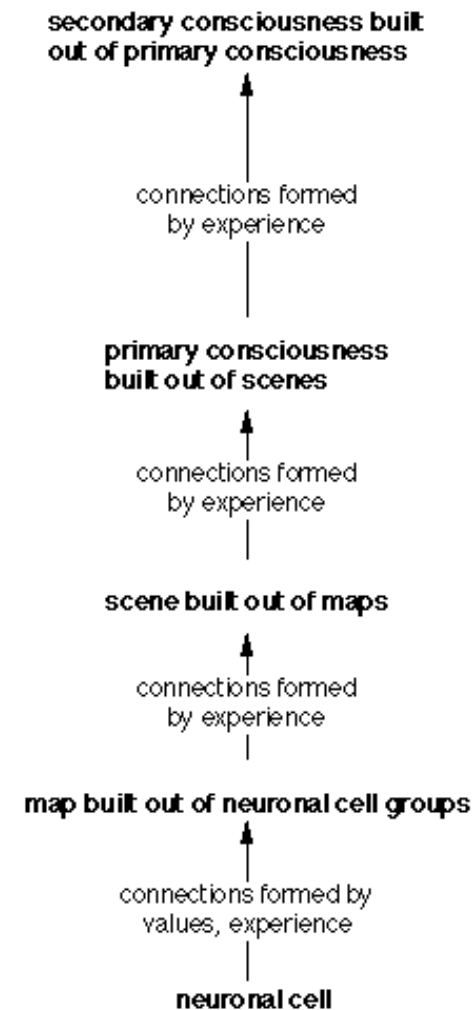
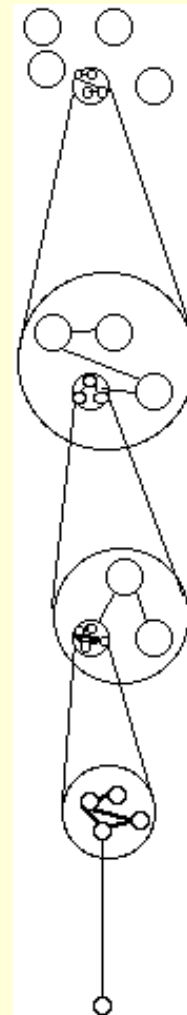
Dehaene propose le schéma hiérarchique suivant pour le **traitement des mots lus dans les aires visuelles**

(il s'agit d'un domaine moins connu, plus spéculatif...)

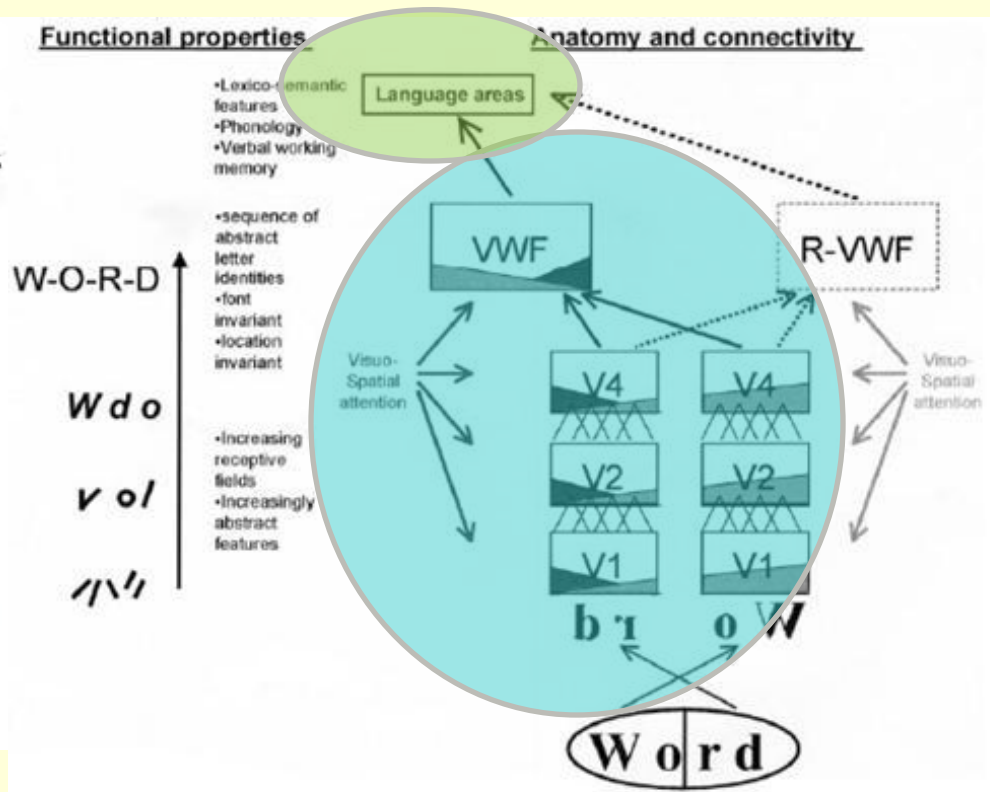




Ça ne vous rappelle rien ?

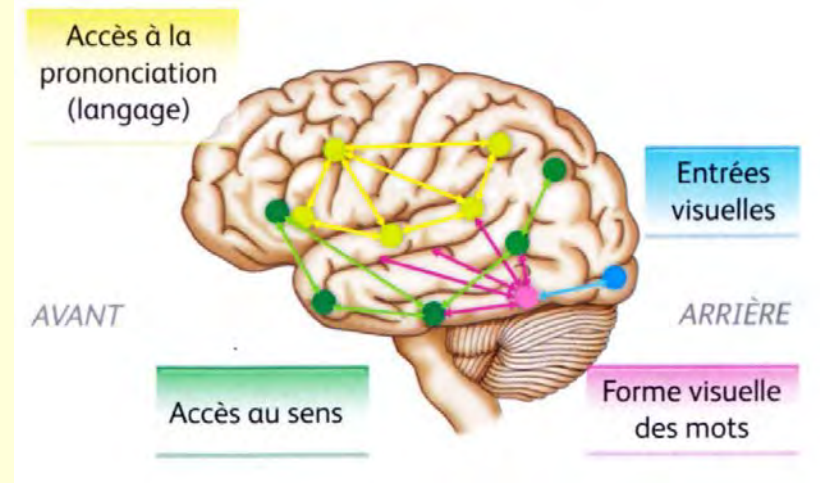


# Schéma hiérarchique pour le traitement des mots lus dans les aires visuelles.



Et toute cette pyramide va être sujette à un **apprentissage** important pour encoder entre autre les régularités statistiques d'occurrence des lettres d'une langue particulière (ex. « en » en français, « ough » en anglais...)

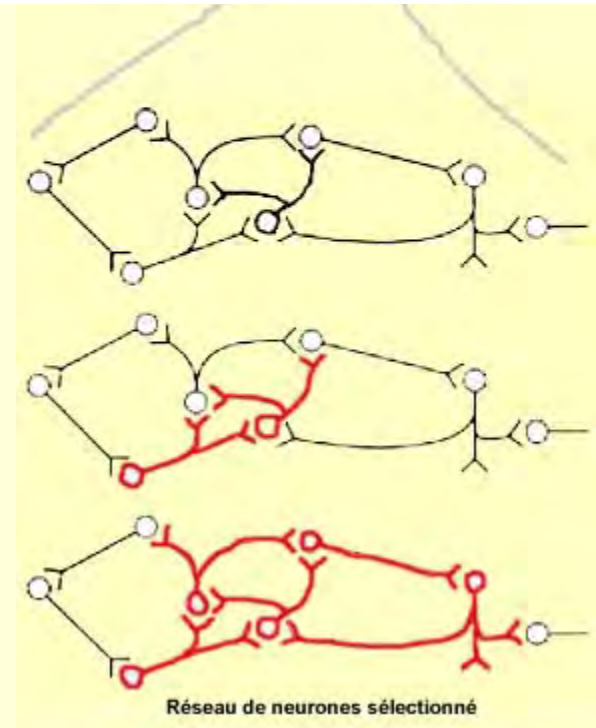
À chaque étape, ce sont donc des **assemblées de neurones** qui vont coder pour des propriétés progressivement de plus en plus abstraites qui permettent de reconnaître un mot particulier.



C'est un modèle théorique pour l'instant, mais il y a quand même des **données qui l'appuient**.

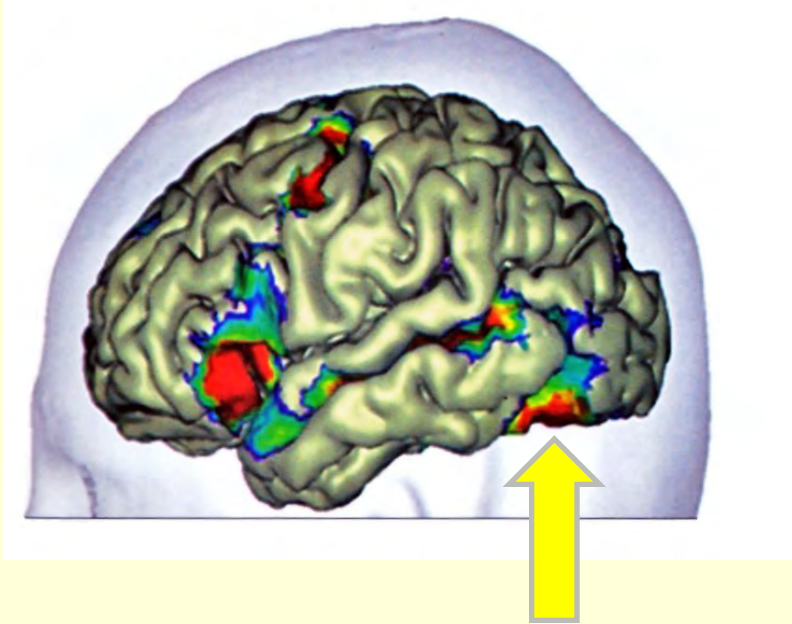
Par exemple :

En IRMf, si on présente des stimuli des plus élémentaires vers les mots, ce qu'on observe c'est une activation progressive **de l'arrière vers l'avant !** (de manière cumulative)



Et l'hémisphère droit ne fait pas ça, c'est canalisé vers le gauche.





La région occipito-temporale ventrale gauche **répond avec plus d'intensité** :

- aux lettres de l'alphabet de votre langue maternelle qu'aux autres alphabets;
- pour un mot de votre langue que pour une chaîne de caractères appareillés qui sonne comme un mot, aurait pu être un mot, mais n'en est pas un. (ex.: « taxi » versus « taksy »)
- pour des chaînes de caractères inexistantes, à mesure que la probabilité d'apparition augmente pour une langue donnée (ex : en anglais, « ohuc », « ouch », « ough »)

(Cela expliquerait peut-être le sentiment qu'on a d'avoir fait une faute en regardant un mot, sans tout de suite savoir trop laquelle...)

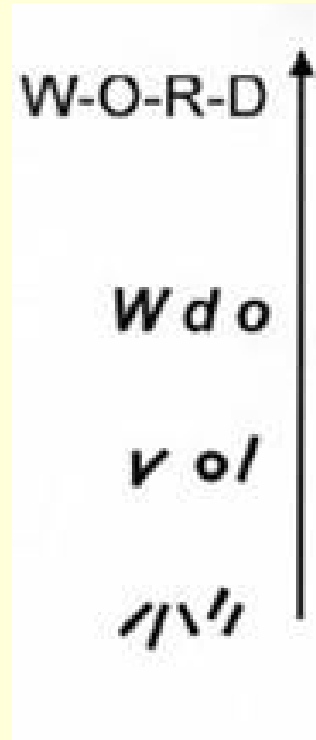


Un mot pour dire que ces régions de l'hémisphère gauche ne semblent donc **pas fonctionner par reconnaissance globale des mots.**

Car dès l'entrée dans la rétine le mot est « explosé » en fragments, dont les arrêtes sont d'abord reconnues par les aires visuelles primaires, etc...

Et donc le « mot » n'existe pas pour le cerveau...

Le problème du cerveau, c'est de remettre ensemble tout ça, et pour le faire, il doit passer par la hiérarchie que l'on vient de décrire.



(L'idée de la reconnaissance globale des mots remonterait au début du XXe siècle alors que les psychologues avaient notés que le temps de lecture est constant chez l'adulte, il ne dépend pas du nombre de lettres d'un mot. D'où cette idée de lecture globale. Mais le cerveau fait beaucoup de traitement en parallèle, et ça donne cette illusion de lecture globale. Et en plus chez l'enfant, le temps de lecture dépend du nombre de lettre.)

Ce qui est trompeur, c'est que la lecture devient **extrêmement automatisée** et nous n'avons plus conscience de toutes ces étapes extrêmement complexe que réalise notre cerveau pour la lecture.

Par conséquent, pour Dehaene, il vaut mieux enseigner à l'enfant les correspondances explicites entre les lettres et les sons

Même en anglais, qui est une langue très irrégulière, l'enfant bénéficie plus (apprend plus vite) de cette façon.

Mais on peut soit montrer des mots et les décomposer en syllabes et en lettre, soit l'inverse, i.e. partir des lettres, montrer qu'on peut les assembler en syllabes, puis en mots.





Autres indices qui confirment le rôle crucial de cette région cérébrale durant **l'apprentissage** de la lecture :

- L'activation est **de plus en plus forte** et focalisée dans la région occipito-temporale ventrale gauche à mesure que l'enfant apprend à lire des mots.
- le degré d'activation de cette zone est étroitement corrélé avec les scores de lecture.
- une gradation d'activation reflète le niveau de lecture entre illettrés, lettrés ayant appris à lire adulte, et lecteur normal ayant appris enfant.
- tout le réseau du langage remonte son niveau d'activation lors de la présentation de mots écrits à mesure qu'une personne apprend à lire

## Pourquoi l'hémisphère gauche :



Le système visuel de l'**hémisphère gauche** est meilleur pour la discrimination des petites formes locales, tandis que le droit préfère les formes globales.

Il se pourrait aussi que l'apprentissage de la lecture sélectionne les régions visuelles dont les projections vers les aires du langage (situées dans les régions temporales et frontales de l'hémisphère gauche) sont **les plus nombreuses et les plus directes**, donc les plus **rapides**, parce que du même côté (que la région occipito-temporale).

## Pourquoi l'hémisphère gauche :

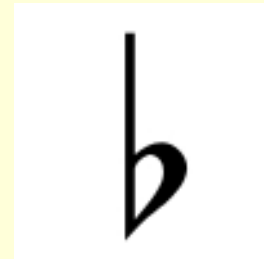


### Fait à noter :

En cas d'ablation chirurgicale de la région occipito-temporale gauche durant les années d'apprentissage de la lecture, c'est la région symétrique de l'hémisphère droit qui prend le relais.

Par exemple, une enfant de 4 ans s'est fait enlever une tumeur au cerveau et avec elle l'aire occipito-temporale ventral gauche. Elle a ensuite quand même réussi à lire quasiment normalement et à 11 ans a passé un scan : l'aire analogue mais du côté droit s'activait lors de la lecture !

Et pour conclure, deux bémols





# Comments and Controversies

NeuroImage 19 (2003) 473– 481

## **The myth of the visual word form area**

[http://nwpsych.rutgers.edu/~jose/courses/578\\_mem\\_learn/2012/readings/Price\\_Devlin\\_2003.pdf](http://nwpsych.rutgers.edu/~jose/courses/578_mem_learn/2012/readings/Price_Devlin_2003.pdf)

Cathy J. Price

and Joseph T. Devlin

University of Oxford, Oxford, UK



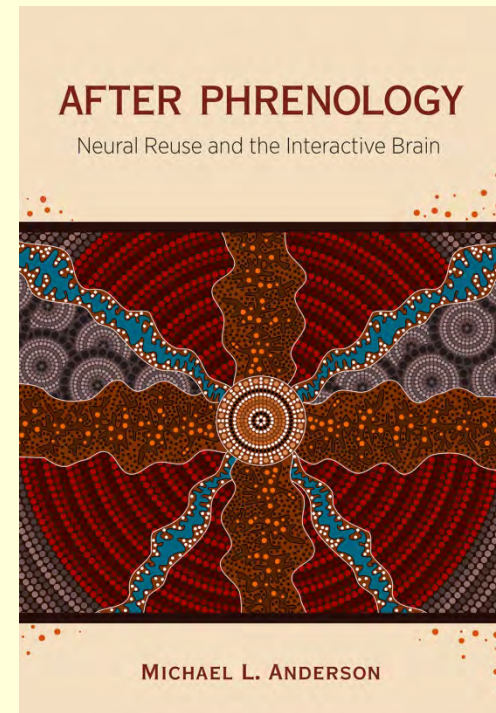
# The myth of the visual word form area

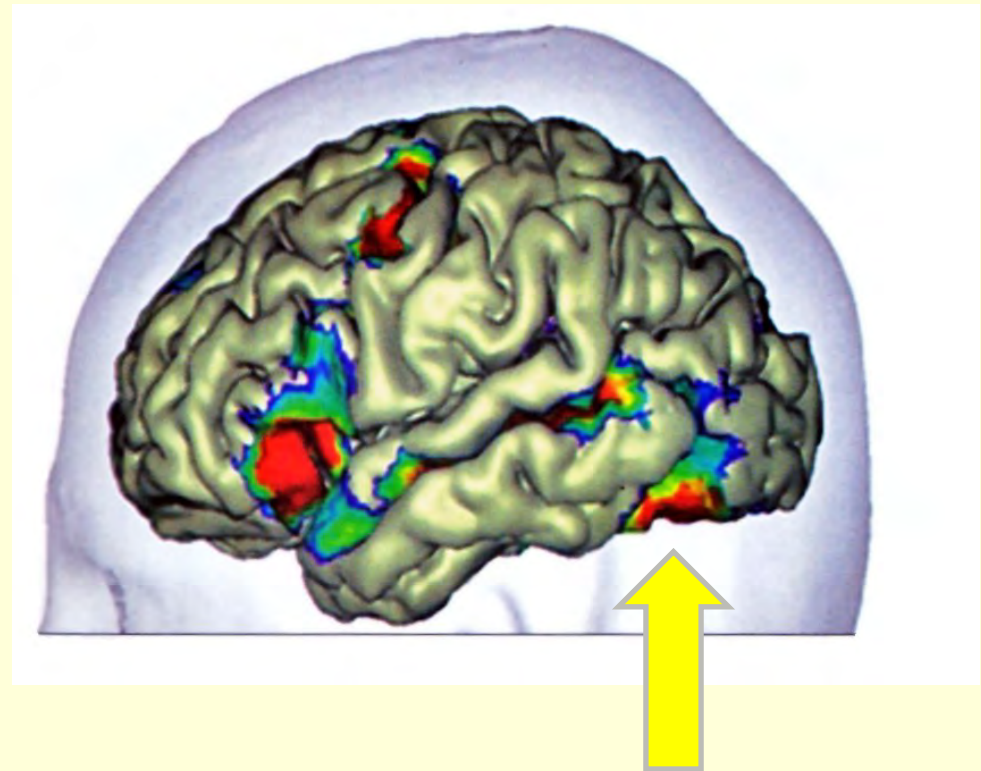
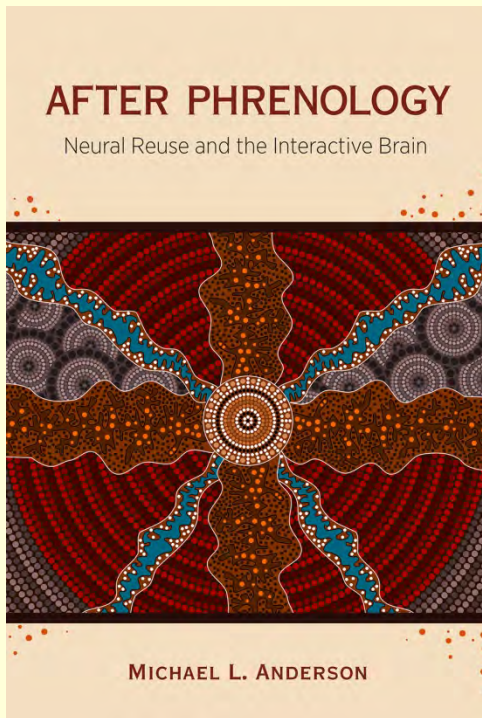
« [...] we present functional imaging data to demonstrate that **the so-called VWFA** is activated by normal subjects **during tasks that do not engage visual word form processing such as**

naming colors, naming pictures, reading Braille, repeating auditory words, and making manual action responses to pictures of meaningless objects. “

Donc, pour eux, si cette région n'a qu'**une seule fonction**, ce n'est pas celle du traitement visuel des mots...

Et si cette région a **plusieurs fonctions** grâce à ses interactions avec d'autres régions corticales, alors l'identification du substrat neuronal du traitement visuel des mots nécessite l'identification de l'ensemble de ces autres régions...





Ces réponses à diverses propriétés suggèrent pour eux que l'aire occipito-temporale ventrale gauche contribue à **plusieurs fonctions** différentes qui changent en fonction des autres régions avec lesquelles elle interagit.

Dans ce contexte, **il est difficile de trouver une étiquette fonctionnelle** qui expliquerait toutes les réponses de l'aire occipito-temporale ventrale gauche.

# **The Interactive Account of ventral occipitotemporal contributions to reading**

Volume 15, Issue 6, June 2011, Pages 246–253

[http://www.psychologie.uzh.ch/fachrichtungen/angpsy/life-fall-academy-2013/  
Price11\\_TiCS\\_reading\\_interactive.pdf](http://www.psychologie.uzh.ch/fachrichtungen/angpsy/life-fall-academy-2013/Price11_TiCS_reading_interactive.pdf)

Cathy J. Price<sup>1</sup>, ,

Joseph T. Devlin<sup>2</sup>

University College London,

University of London

# The Interactive Account of ventral occipitotemporal contributions to reading

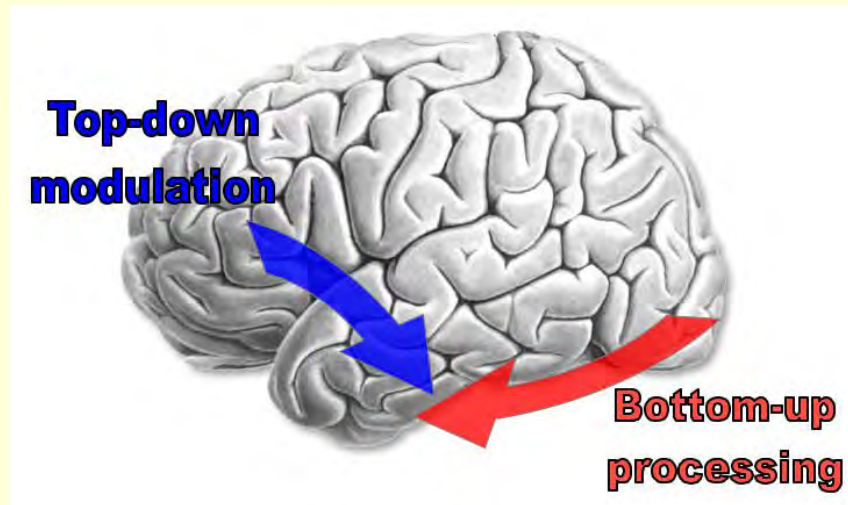
## Abstract :

The ventral occipitotemporal cortex (vOT)

is involved in the perception of visually presented **objects** and **written words**.

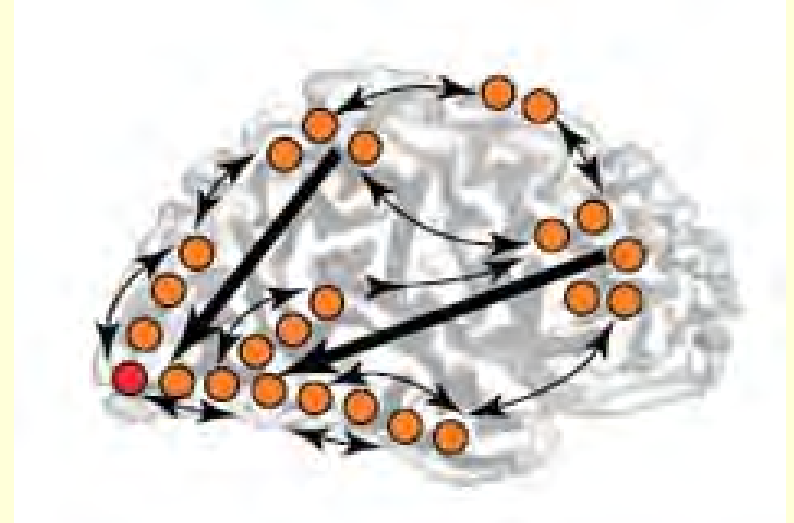
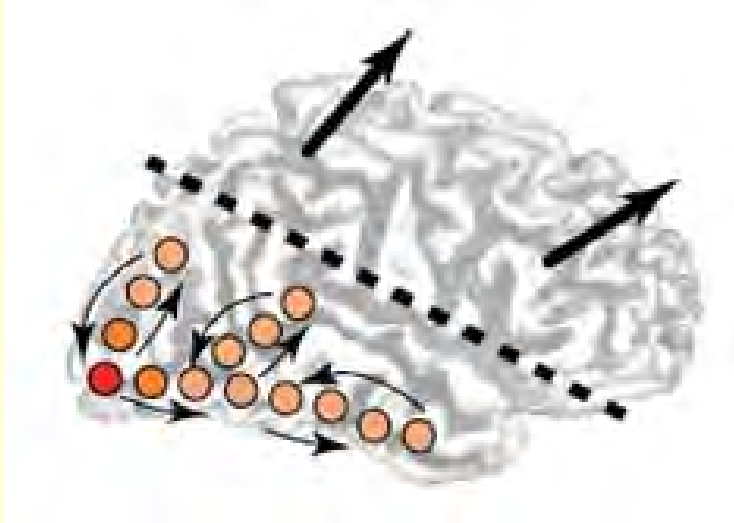
The Interactive Account of vOT function is based on the premise that perception involves the synthesis of bottom-up sensory input with top-down predictions that are generated automatically from prior experience.

[...]



D'ailleurs, Dehaene rapporte qu'on peut aussi activer cette région occipito-temporale ventrale de manière top down en pensant à l'orthographe d'un mot.

Ils proposent que l'aire occipito-temporale ventrale gauche **intègre** les caractéristiques visuospatiales des **inputs sensoriel** avec les **associations de niveau supérieur** (comme les sons des mots, leur signification, leur prononciation, etc.)



Pour eux, la spécialisation pour l'orthographe **émerge** des interactions régionales sans assumer que l'aire occipito-temporale ventrale gauche est spécifique aux propriétés orthographiques des mots.

En guise de conclusion :

## 4 Do Brain Regions Have Personalities of Their Own?

### Toward a Dispositional Neuroscience

Anderson va tenter de quantifier les propriétés fonctionnelles des assemblées de neurones de façon “**multidimensionnelle**”, i.e. en terme de leur tendance à répondre à tout un spectre de circonstance, ce qu’il appelle leur “**tendance dispositionnelle**” (dispositional tendencies)

plutôt que d’essayer de caractériser leurs activité en terme d’opérations computationnelles du traitement de l’information.

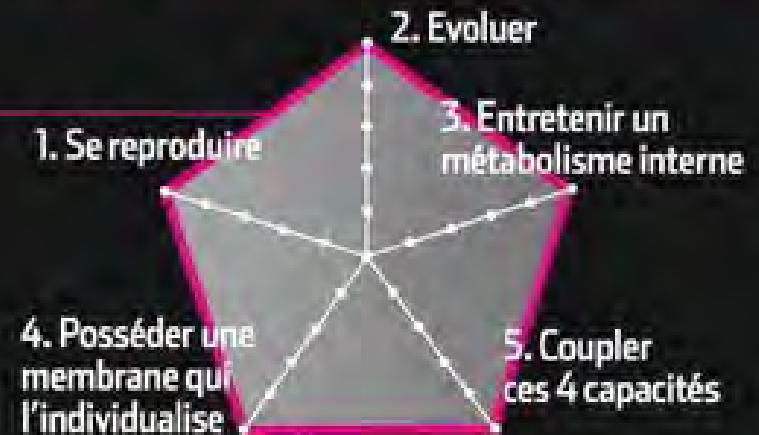
Une approche qui est analogue à celle de la **psychologie de la personnalité** qui tente de caractériser les individus en termes de multiples caractéristiques comme l’ouverture, l’extroversion/introversion, etc. et tente ensuite de prédire certaines propriétés des individus comme des implications dans certaines activités, leur santé mentale, leur succès professionnel, etc.

On avait vu ces « signatures de vie »...

## Ni êtres vivants ni cailloux...

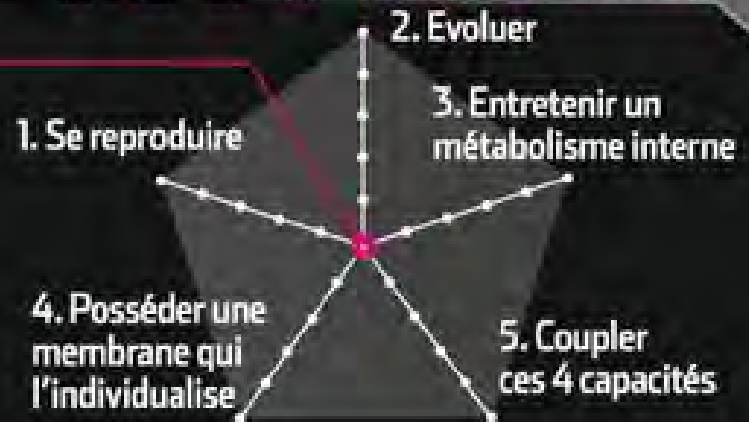
### Etre vivant

Ce pentagone rose décrit un être vivant, c'est-à-dire un être capable de remplir ces 5 fonctions retenues pour qualifier la vie (même si elles ne suffisent pas, à elles seules, à la définir).



### Chose inerte

Incapable de se reproduire, d'évoluer, de posséder un métabolisme, une membrane ni, a fortiori, de conjuguer ces 4 facteurs, un caillou, par exemple, ne remplit aucune partie du pentagone.

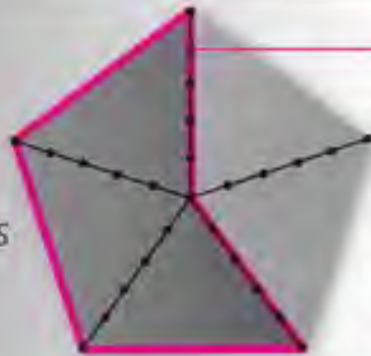




On avait vu ces « signatures de vie »...

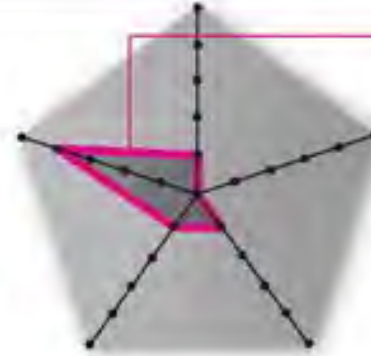
## mais des organismes à mi-chemin entre les deux

A MI-CHEMIN  
ENTRE LE VIVANT  
ET L'INERTE, CES  
"PRESQUE VIVANTS"  
POSSÈDENT CERTAINES  
FONCTIONS PHARES  
DE LA VIE



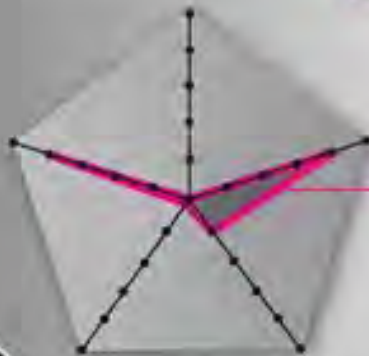
### Virus

Parfois inerte, parfois actif, il est doté de 4 capacités fondamentales : il se reproduit, évolue et possède une membrane qui l'individualise.



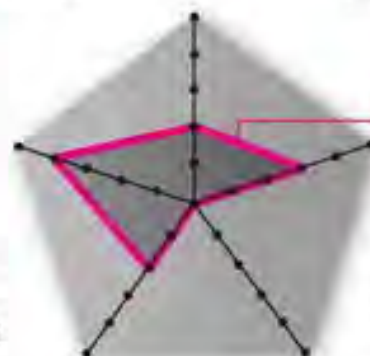
### Prion

Cette protéine anormale est individualisée, elle se reproduit et évolue.



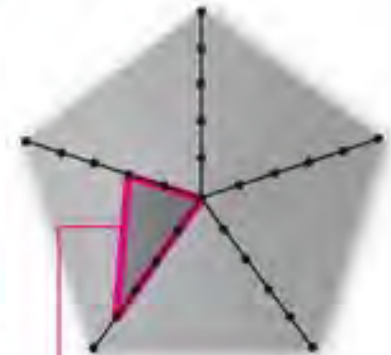
### Pepsine

Cette protéine enzymatique digestive se reproduit (elle s'auto-catalyse) et entretient un métabolisme.



### Ribozyme

Cet ARN est capable de catalyser des réactions, dont sa propre réplication. Il est individualisé, évolue et possède un métabolisme.

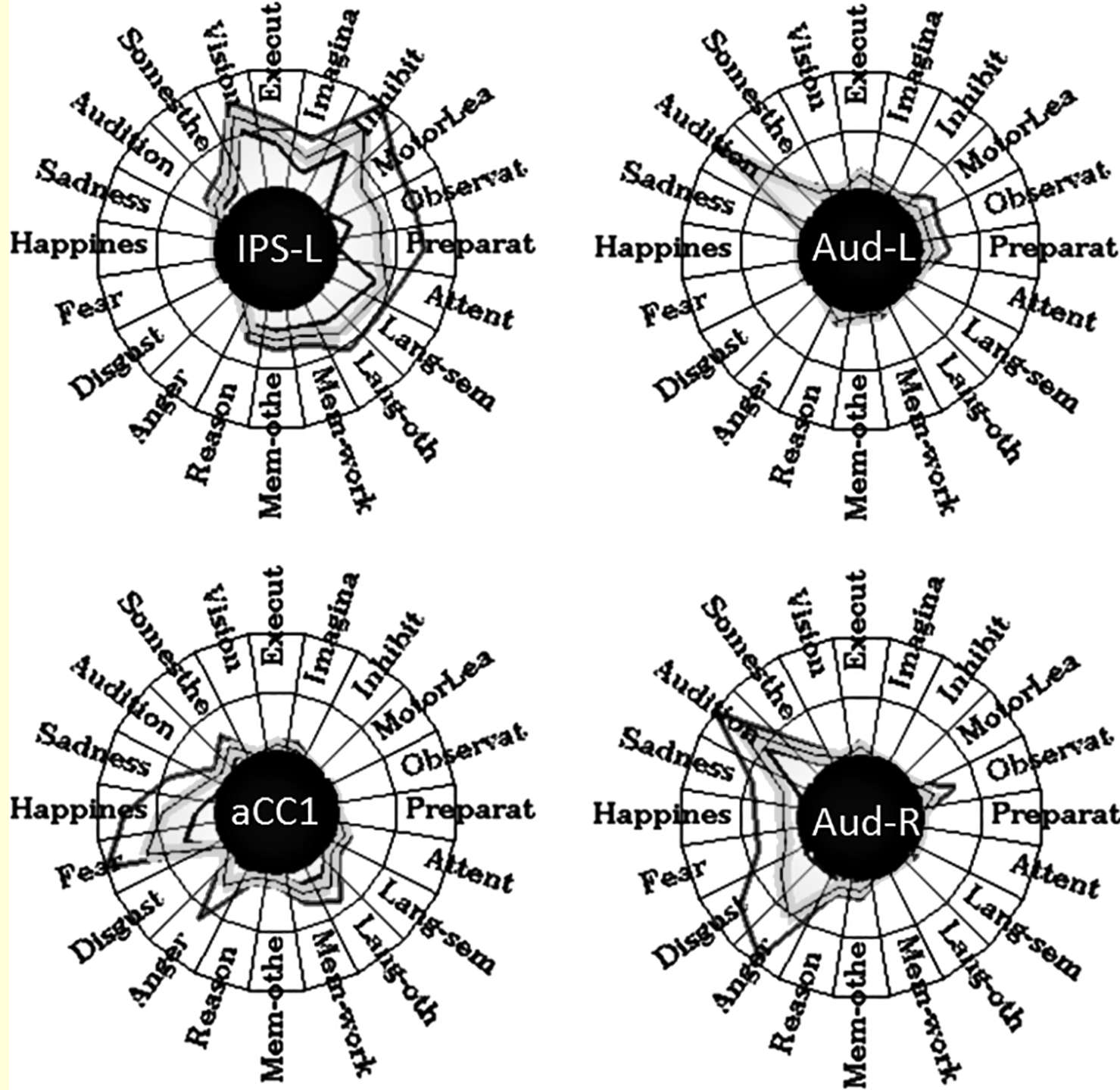


### Liposome

C'est une vésicule individualisée dont la membrane est composée de lipides et qui se reproduit.

**Figure 4.1**

Functional fingerprint plots for four regions of the brain: left inferior parietal sulcus, left anterior cingulate, and left and right auditory cortices. The plots show the relative degree of activity of the regions under the 20 task conditions listed (middle line; inner and outer lines represent confidence intervals).



**Figure 4.4**  
Network functional fingerprints. Not just regions but also networks generally show unique functional fingerprints.

