

- Dans les marges du journalisme
- Notre cerveau à tous les niveaux. 10 ans, 10 séances — saison 1
- Cafés philosophiques. 10 ans, 10 discussions — saison 1
- L'UPop dans les quartiers de Montréal
- L'Imaginaire colonial. Violence, colonialisme et pouvoir en Nouvelle-France
- L'investissement éthique, qu'est-ce que ça vaut ?
- Artistes au travail ! Observation du processus créatif d'artistes
- Série À bras le corps : À la rencontre de citoyen·ne·s qui s'investissent

**DÉC.**  
11

**Notre cerveau à tous les niveaux. 10 ans, 10 séances — saison 1**  
Cartographier des réseaux de milliards de neurones à l'échelle du cerveau entier  
*Mercredi, 19h, Café Les Oubliettes*



Inscrivez-vous sur notre liste d'envoi hebdomadaire pour recevoir l'horaire des cours de la semaine.

Votre courriel

**INSCRIVEZ-MOI**

UPOP montréal 10<sup>e</sup> ANNÉE | AUTOMNE 2019

ARME D'ÉMANCIPATION MASSIVE





# Notre cerveau à tous les niveaux

**10 séances pour 10 ans d'UPop !**  
Automne 2019 - Hiver 2020

Les **mercredis** aux deux semaines, 19h

Café **Les Oubliettes**, dès le 16 octobre

## LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

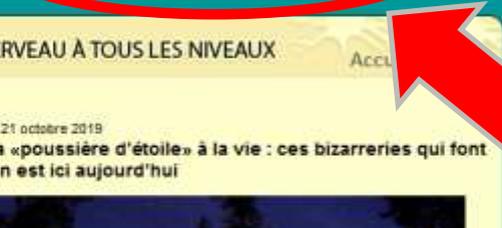
- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + blogue

Google Re



Nouveaux "L'école des profs"



Lundi, 21 octobre 2019

### De la «poussière d'étoile» à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui

Le cours «Notre cerveau à tous les niveaux» donné dans le cadre de la 10<sup>e</sup> année d'existence de l'UPop Montréal a donc débuté mercredi dernier dans le café Les Oubliettes rempli à pleine capacité (arrivez tôt la prochaine fois pour avoir de bonnes places !). Comme je le ferai pour chaque séance, j'ai mis le pdf du Power Point de cette première présentation au bas de la page [L'école des profs de mon site](#) ou directement en suivant [ce lien](#). Pour le Facebook Live de cette première séance elle demeure disponible pour visionnement ici. Comme je l'ai expliqué dans un [billet antérieur](#) présentant la démarche générale du cours, je vais soulever aujourd'hui quelques questions générales qui seront abordées mercredi le 30 octobre lors de notre deuxième séance intitulée « De la «poussière d'étoile» à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui ».

On a vu la semaine dernière que devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « nos sens peuvent nous tromper ». C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir »

### Fonctions complexes

- Au cœur de la mémoire**
  - Les traces de l'apprentissage
  - Dûbi et amnésie
- Que d'émotions**
  - Peur, anxiété et angoisse
  - Désir, amour, attachement
- De la pensée au langage**
  - Communiquer avec des mots
- Dormir, rêver...**
  - Le cycle éveil - sommeil - réveil
  - Nos horloges biologiques
- L'émergence de la conscience**
  - Le sentiment d'être soi

### Dysfonctions

- Les troubles de l'esprit**
  - Dépression et manie-dépression
  - Les troubles anxieux
  - La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil

Recherche -> blogue

Billets par catégorie

Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

Deric Bownds' Mindblog

The Metamorphosis of the Western Soul

Shape of your heart is determined by whether you run or sit.

The default mode network represents esthetic appeal.

Cross-national negativity bias in reacting to news

An update on the science of 'free will'

BrainFacts.org Blog

RSS Error: WP HTTP Error: Connection

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, des donateurs budgétaires ont décidé d'interrompre le financement de Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la reconnaissance de notre travail par les organismes approchés), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de financement. Nous nous voyons contraints de nous en remettre aux dons de nos lecteurs et lectrices pour continuer de mettre à jour et d'alimenter en contenu le blogue et le site.

Soyez assurés que nous faisons le maximum pour poursuivre notre mission de vulgarisation des neurosciences dans l'esprit premier d'internet, c'est-à-dire dans un souci de partage de l'information, gratuit et sans publicité.

En vous remerciant chaleureusement de votre soutien, qu'il soit moral ou monétaire,

Bruno Dubuc, Patrick Robert, Denis Paquet et Al Daigen

Faire un don

<http://lecerveau.mcgill.ca>

## LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

### Principes fondamentaux

#### Du simple au complexe

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

#### Le bricolage de l'évolution

### Fonctions complexes

#### Au cœur de la mémoire

- Les traces de l'apprentissage
- Oubli et amnésie

#### Que d'émotions

# NOTRE CERVEAU A TOUS LES NIVEAUX. 10 ANS, 10 SEANCES — SAISON 1

## Présentation

Ce cours voudrait présenter comment les sciences cognitives conçoivent aujourd'hui le cerveau et le corps humain, ainsi que les phénomènes socioculturels qui en découlent. Vaste programme qui ne peut se réaliser qu'en adoptant une perspective évolutive sur l'émergence de ces systèmes dynamiques faits de multiples niveaux d'organisation. Du Big Bang au langage, de la perception à l'action et de l'apprentissage à la prédiction et à la prise de décision, nous verrons comment l'impératif de rester en vie et de donner du sens à cette vie se manifeste chez l'humain.

Aux 5 séances de l'automne résumées ci-contre s'ajouteront 5 autres séances à l'hiver :

6. Les rythmes cérébraux : se synchroniser pour mieux régner
7. Tout ce qui précède permet de simuler le monde pour décider quoi faire
8. Cerveau et corps ne font qu'un et sont constamment affectés par l'environnement
9. Conscient, inconscient et langage : quel est ce « je » qui se dit libre?
10. Morale de l'histoire : notre espèce a-t-elle de l'avenir ?

## Professeur-e(s)

**Bruno Dubuc**

Bruno Dubuc détient une maîtrise en neurobiologie et a fait de la vulgarisation scientifique pour des séries télé et des magazines pendant une dizaine d'années. Depuis 2002, il est rédacteur du site web et du blogue [www.lecerveau.mcgill.ca](http://www.lecerveau.mcgill.ca) ainsi que conférencier sur les neurosciences. Il aime aussi utiliser les régions associatives de son cerveau en collant ensemble des images et des sons pour faire ce qu'on appelle des films. Son dernier porte sur Henri Laborit, tout comme le site web qu'il lui a consacré au [www.slogdelasuite.net](http://www.slogdelasuite.net)

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

## Plan de session

Au café Les Oubliettes, 6201, rue De Saint-Vallier



### OCT 16 Le « connais-toi toi-même » de Socrate à l'heure des sciences cognitives

Mercredi, 19h, Café Les Oubliettes

Où l'on commencera par se demander ce qu'on entend par « connaître » ? Puis qu'est-ce qu'on peut connaître ? Et qu'est-ce que la science nous apporte en tant qu'outil particulier pour comprendre le monde ? Et quel est l'apport des sciences cognitives pour se connaître soi-même ? On en profitera aussi pour clarifier le sens de certains concepts plus spécifiquement employés dans les sciences cognitives comme celui de subjectivité, de représentation, de signification, d'information, de niveau d'organisation, système dynamique, etc.

Plan :

L'observateur observé, ou le cerveau humain qui tente de comprendre lui-même.

C'est compliqué parce que des atomes à la conscience, il y a de nombreux niveaux d'organisation spatiaux et temporels.

Face à cette complexité, la méthode scientifique nous aide.

De l'importance de la qualité de vulgariser tout ça.

[PDF du Power Point de cette séance.](#)

[Facebook Live de la séance.](#)

science of 'free will'

BrainFacts.org  
Blog

RSS Error. WP HTTP  
Error: Connection

séance elle demeure disponible pour visionnement en ligne comme le fait expliqué dans un [billet](#) antérieur présentant la démarche générale du cours, je vais soulever aujourd'hui quelques questions générales qui seront abordées mercredi le 30 octobre lors de notre deuxième séance intitulée « De la « poussière d'étoile » à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui ».

On a vu la semaine dernière que devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « nos sens peuvent nous tromper ». C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir »

de votre soutien, qu'il soit moral ou monétaire,

Bruno Dubuc, Patrick Robert,  
Denis Paquet et Al Daigen

Faire un don

# Plan du cours

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

Séance 10 :  
**Morale de l'histoire : notre espèce a-t-elle de l'avenir ?**



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



Séance 2 :  
**De la « poussière d'étoile » à la vie : ces bizarreries qui font qu'on est ici aujourd'hui**



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



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



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



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



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



Séance 8 :  
**Cerveau et corps ne font qu'un et sont constamment affectés par l'environnement**



Séance 9 :  
**Conscient, inconscient et langage : quel est ce « je » qui se dit libre ?**





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



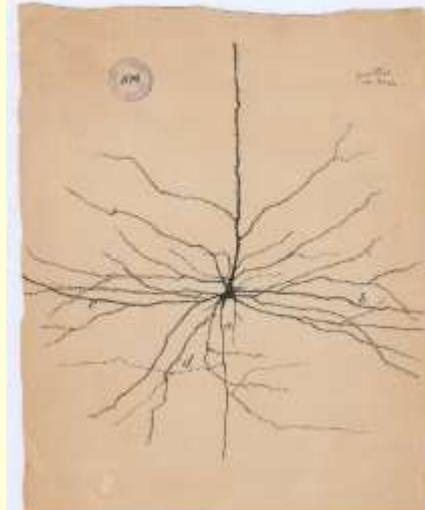
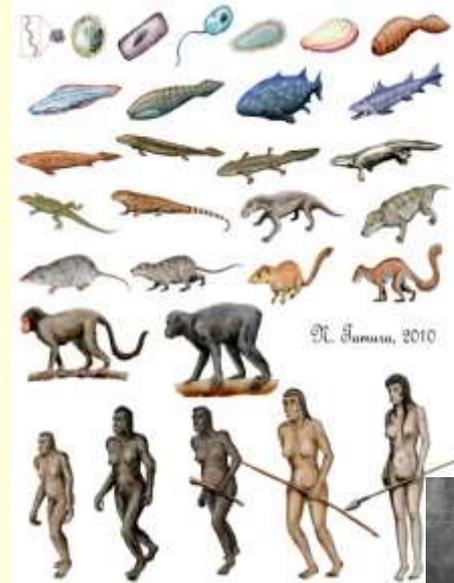
Séance 2 :  
De la « poussière  
d'étoile »  
à la vie : ces  
bizarreries qui  
font qu'on est ici  
aujourd'hui



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

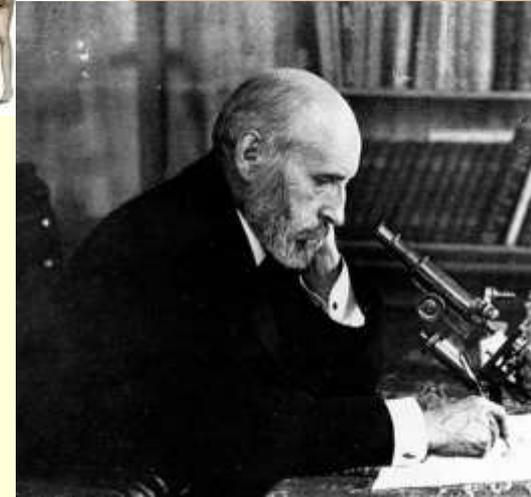
→ **la structure  
particulière de  
notre corps**  
(et en particulier  
de notre système  
nerveux)

détermine ce  
que l'on peut  
**connaître**



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

Et il y a à peine plus d'un siècle...



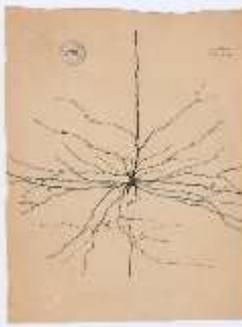
Séance 1  
Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv



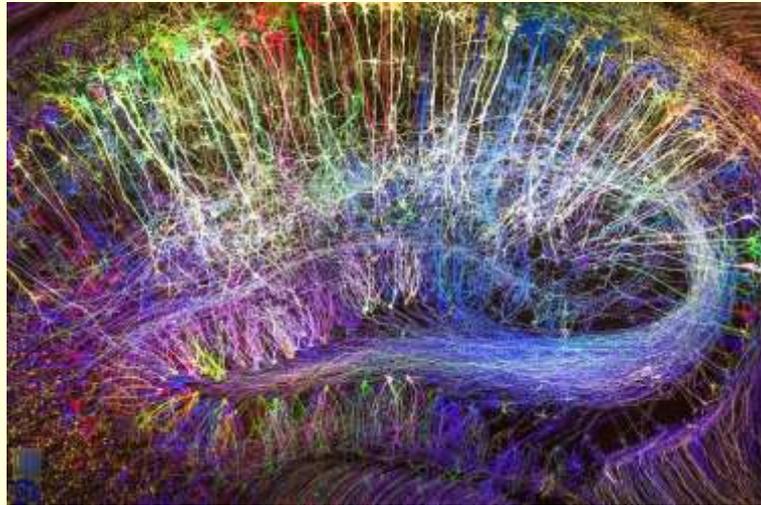
Séance 2  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3:  
L'hum  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



→ la **connectivité particulière** de chaque structure cérébrale amène des capacités computationnelles distinctes qui ont été « **recyclées** » durant le bricolage de l'évolution



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

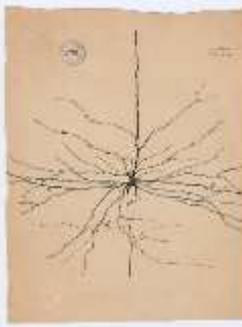
Séance 1 :  
Le « cor  
toi-mêm  
Socrate  
des scie  
cognitiv



Séance 2 :  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux

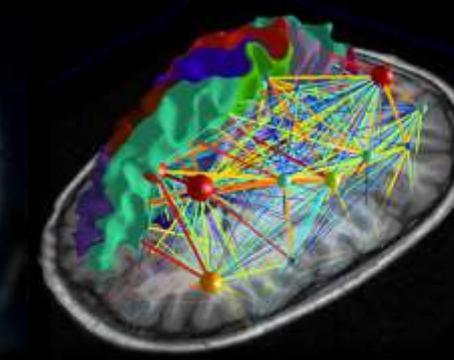
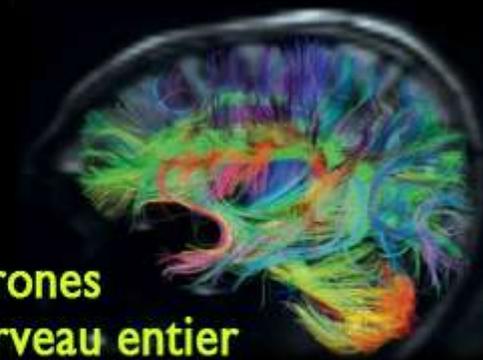


Séance 4 :

De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



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



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

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

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



F. JOSEPH GALL.  
Docteur en Médecine à Nancy.

**Franz Joseph  
Gall (1757-1828)**

Paris, 1810.



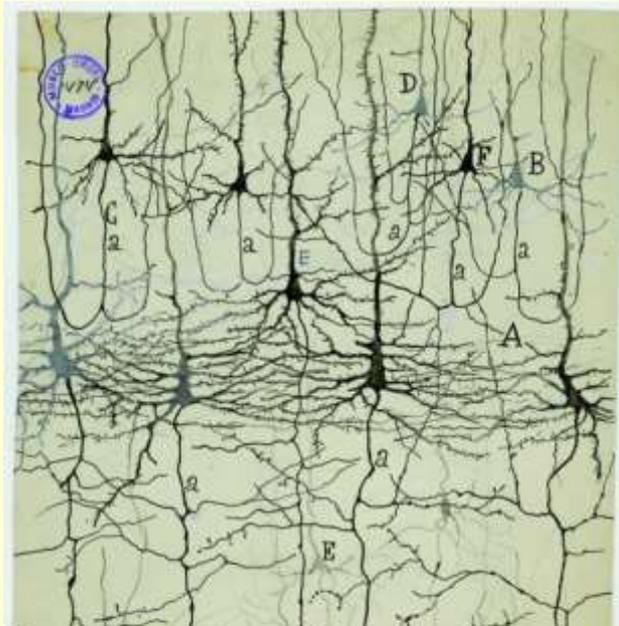
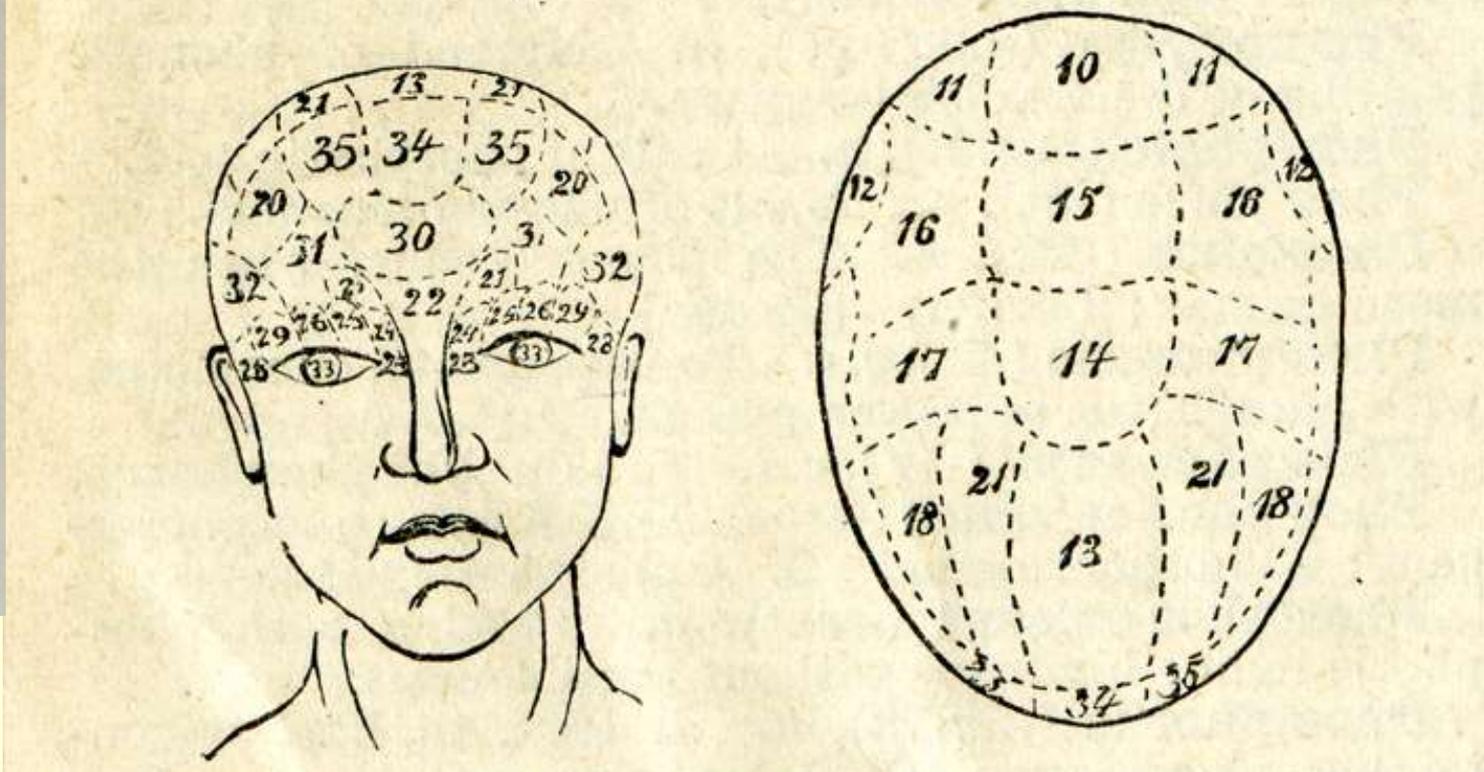


F. JOSEPH GALL  
Docteur en Médecine à Vienne.

**Franz Joseph  
Gall (1757-1828)**

père de la  
**phrénologie**,

une théorie de la  
**localisation** des  
**fonctions**  
cérébrales  
dans le cerveau.



Ce qui allait un peu  
à l'encontre du  
paradigme dominant  
de l'époque qui était  
que le système  
nerveux était  
constitué d'un  
**maillage fusionné**  
[ cours #3 ]

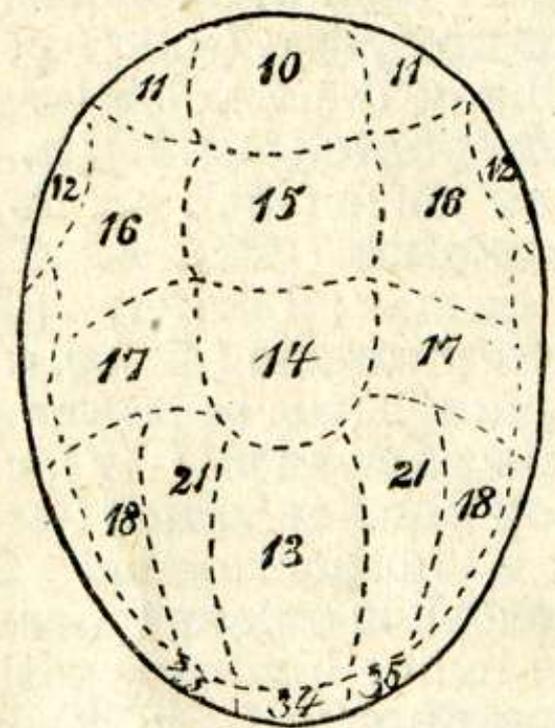


F. JOSEPH GALL,  
Docteur en Médecine à Vienne.

Franz Joseph  
Gall (1757-1828)

père de la  
phrénologie,

une théorie de la  
**localisation** des  
**fonctions**  
cérébrales  
dans le cerveau.

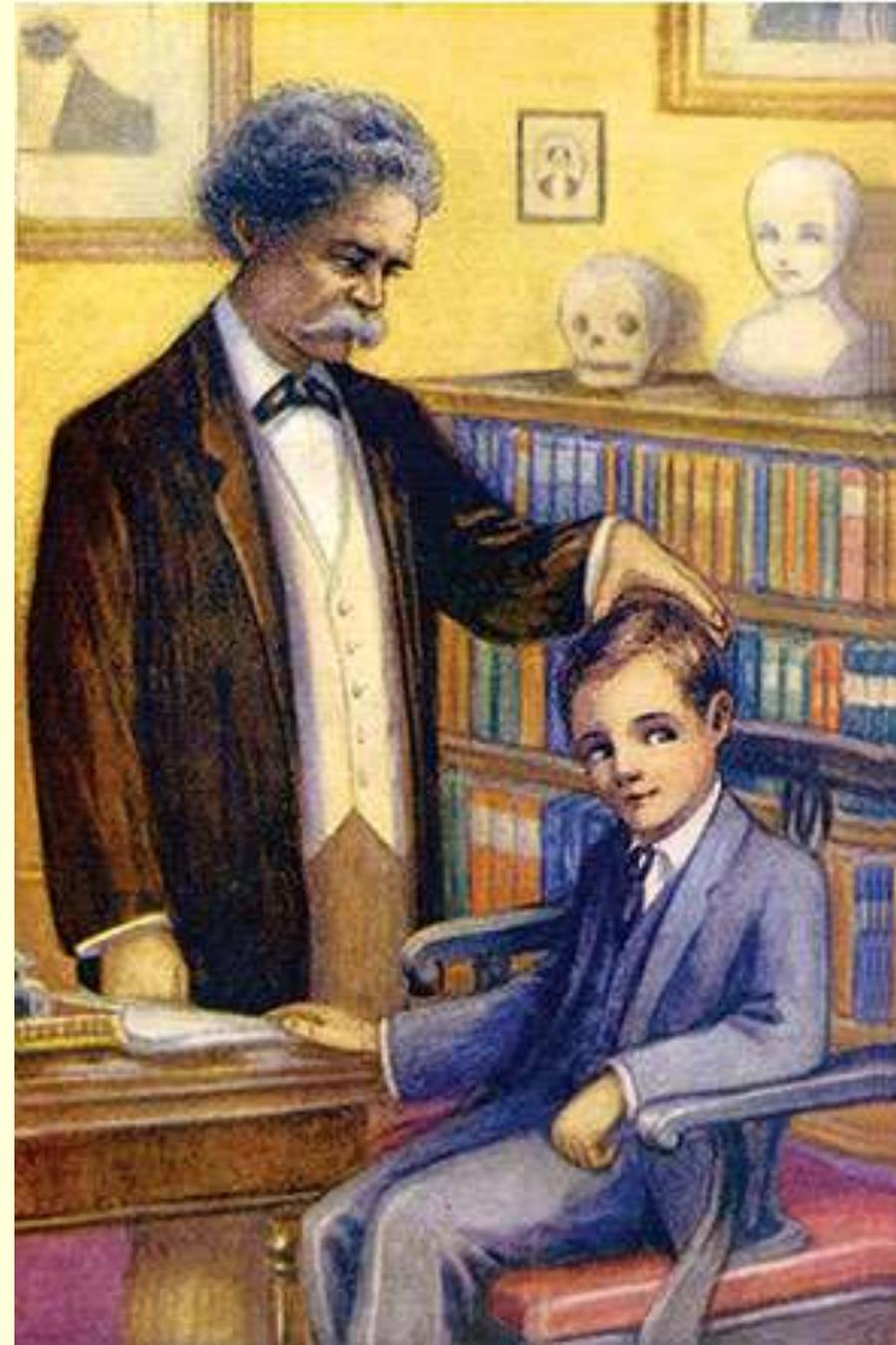


### A Chart of Phrenology.

- 1 Amativeness ; 2 Philoprogenitiveness ; 3 Concentrativeness ;  
3 a Inhabitiveness ; 4 Adhesiveness ; 5 Combaticiveness ; 6 De-  
structiveness ; 6 a Alimentiveness ; 7 Secretiveness ; 8 Ac-  
quisitiveness ; 9 Constructiveness ; 10 Self-esteem ; 11 Love of  
Approbation ; 12 Cautiousness ; 13 Benevolence ; 14 Venera-  
tion ; 15 Firmness ; 16 Conscientiousness ; 17 Hope ; 18 Won-  
der ; 19 Ideality ; 19 a (Not determined) ; 20 Wit ; 21 Imita-  
tion ; 22 Individuality ; 23 Form ; 24 Size ; 25 Weight ; 26  
Coloring ; 27 Locality ; 28 Number ; 29 Order ; 30 Eventuality ;  
31 Time ; 32 Tune ; 33 Language ; 34 Comparison ; 35 Cau-  
sality. [Some raise the number of organs to forty-three.]



The Boy—what will he become?



Pour Gall, une capacité particulièrement développée inscrivait sa trace par une **bosse sur le crâne**.

Par dérision, on parle encore de la “**bosse des mathématiques**” ou la “**bosse des affaires**”...



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

De sorte que plusieurs neurobiologistes pensent que nous sommes encore aujourd'hui **pris au piège** par les **catégories fonctionnelles** de la **psychologie cognitive**.

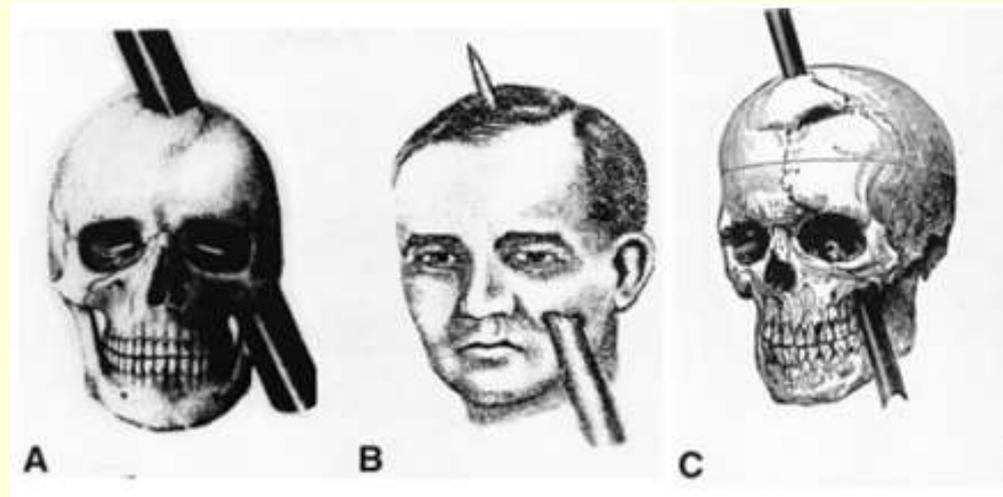
13 septembre 1848,  
Cavendish, Vermont, États-Unis

Un ouvrier des chemins de fer,  
**Phineas Gage**, eut le crâne  
traversé par une barre de fer  
suite à une explosion.



13 septembre 1848,  
Cavendish, Vermont, États-Unis

Contre toute attente, Gage se remit de son accident, mais **son comportement changeât radicalement.**



Jusque-là considéré comme sérieux, attentionné, sociable, fiable et ayant un bon jugement, l'accident le laissa dans un état **instable** et **asocial**.

*“Gage provided the first clues that there are systems in the human brain dedicated to the **personal** and **social** dimensions of reasoning.”*

Review of Antonio Damasio's "Descartes Error"

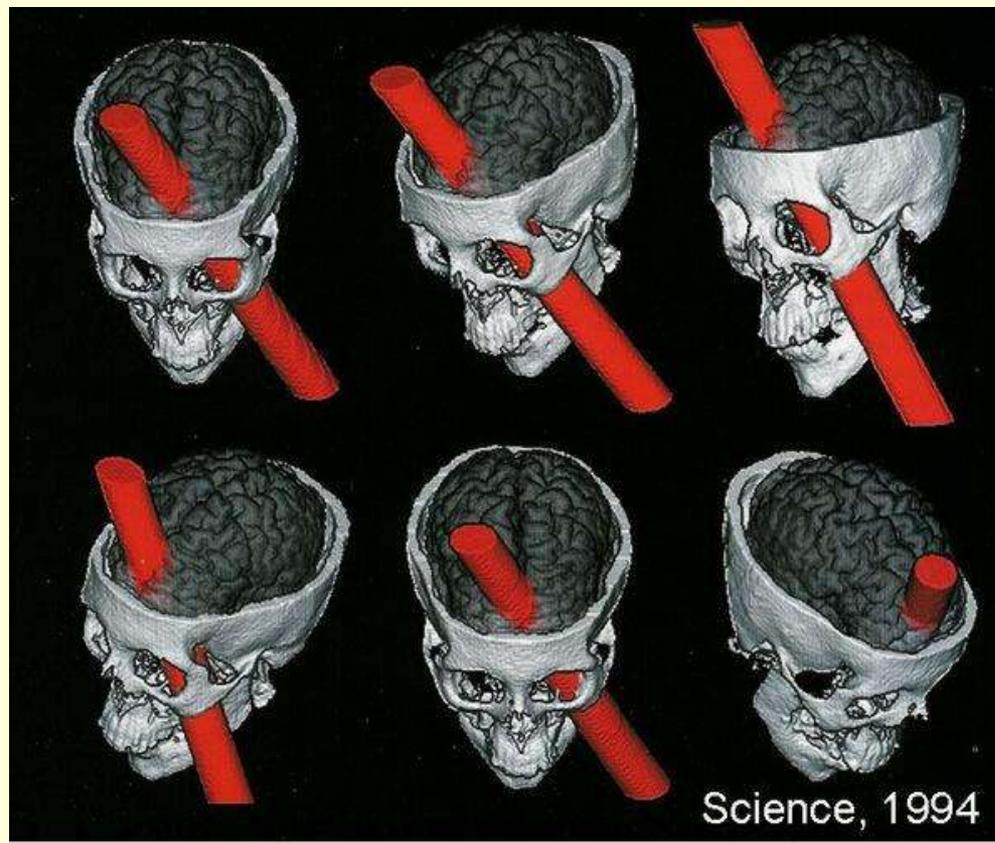
<http://www.metanexus.net/book-review/review-antonio-damasios-descartes-error>



## The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient.

Damasio H<sup>1</sup>, Grabowski T, Frank R, Galaburda AM, Damasio AR.  
Science. 1994 May 20;264(5162):1102-5.

L'étude de ses lésions par Hanna et Antonio Damasio et leur collègues permet de mieux comprendre les **fonctions du lobe frontal**.



# Paris, 1861.



TOUT PARIS

230 - Rue de la Boquette (XI<sup>e</sup> arr<sup>t</sup>)  
Vue prise de la Place Voltaire

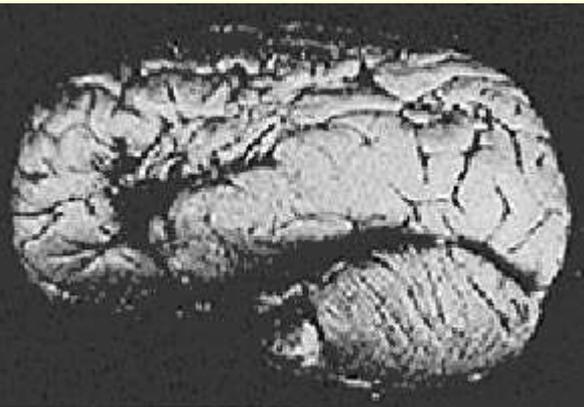


Le neurochirurgien français **Paul Broca** examine le cerveau d'un de ses patients qui vient de décéder.

Ce patient ne pouvait prononcer d'autres syllabes que «tan», bien qu'il comprenait ce qu'on lui disait.

Sans être atteint d'aucun trouble moteur de la langue ou de la bouche qui aurait pu affecter son langage, ce patient ne pouvait produire aucune phrase complète ni exprimer ses idées par écrit.

En faisant l'autopsie de son cerveau, Broca a trouvé une lésion importante dans le **cortex frontal inférieur gauche**.



Par la suite, Broca a étudié huit patients aux déficits semblables qui tous avaient une lésion dans l'hémisphère frontal gauche. Cela l'amène à déclarer son célèbre « Nous parlons avec l'hémisphère gauche ».



Dix ans plus tard, en **1871**, **Carl Wernicke**, un neurologue allemand, met en évidence une autre région impliquée celle-là dans la compréhension du langage.

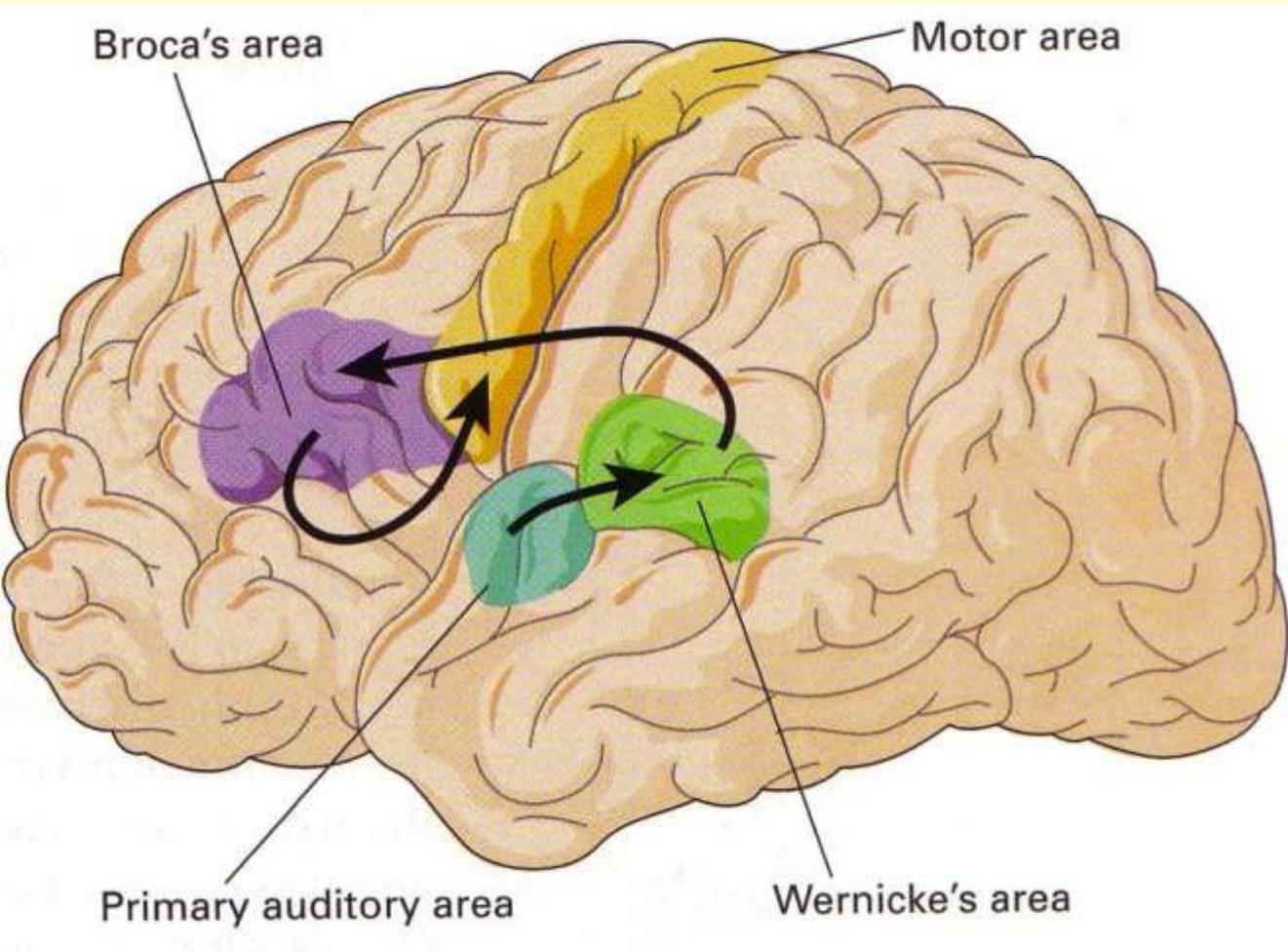


Elle est située dans la **partie postérieure du lobe temporal gauche**.

Les patients qui ont une lésion à cet endroit peuvent parler, mais leur discours est souvent **incohérent et dénué de sens**.

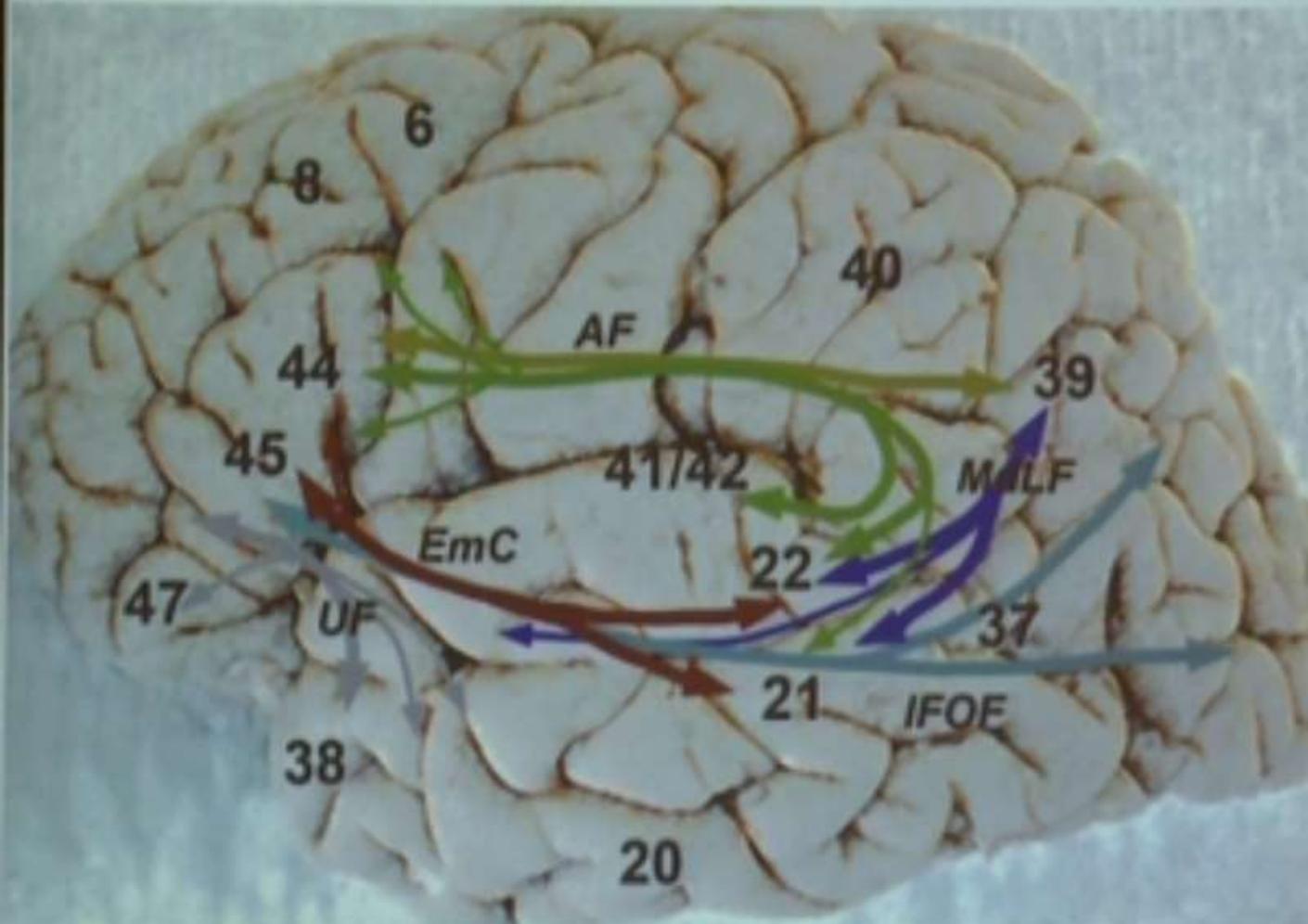
( « **Aphasie de Wernicke** » )

Mène à une première compréhension **très schématique** du langage.



# Connectivité fronto-temporale des aires du langage

Axer, H., Klingner, C. M., & Prescher, A. (2013). Fiber anatomy of dorsal and ventral language streams. *Brain and Language*, 127(2), 192–204.



Trois principaux faisceaux de connexion fronto-temporale impliquant la « région de Broca »:

Faisceau arqué (*arcuate fasciculus*)

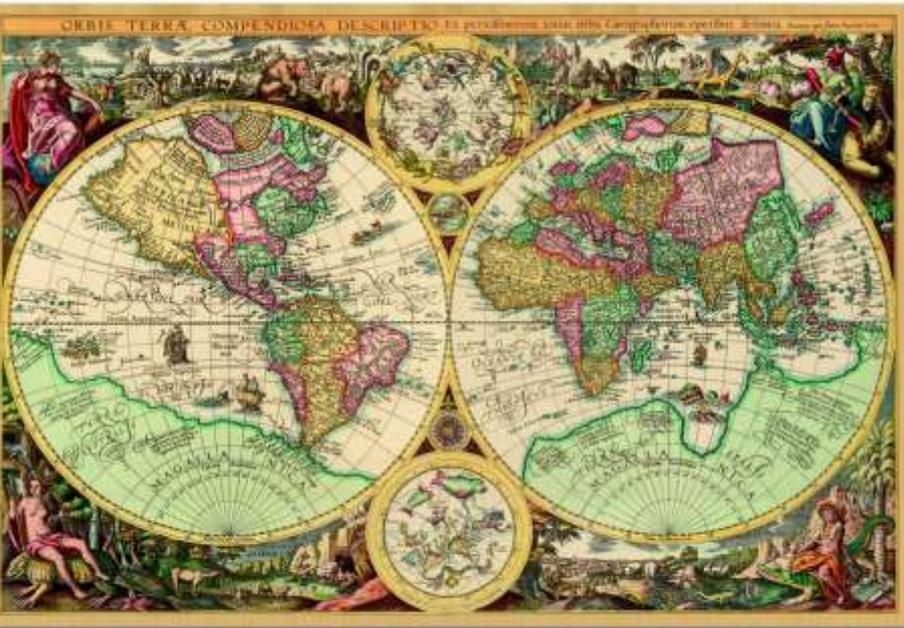
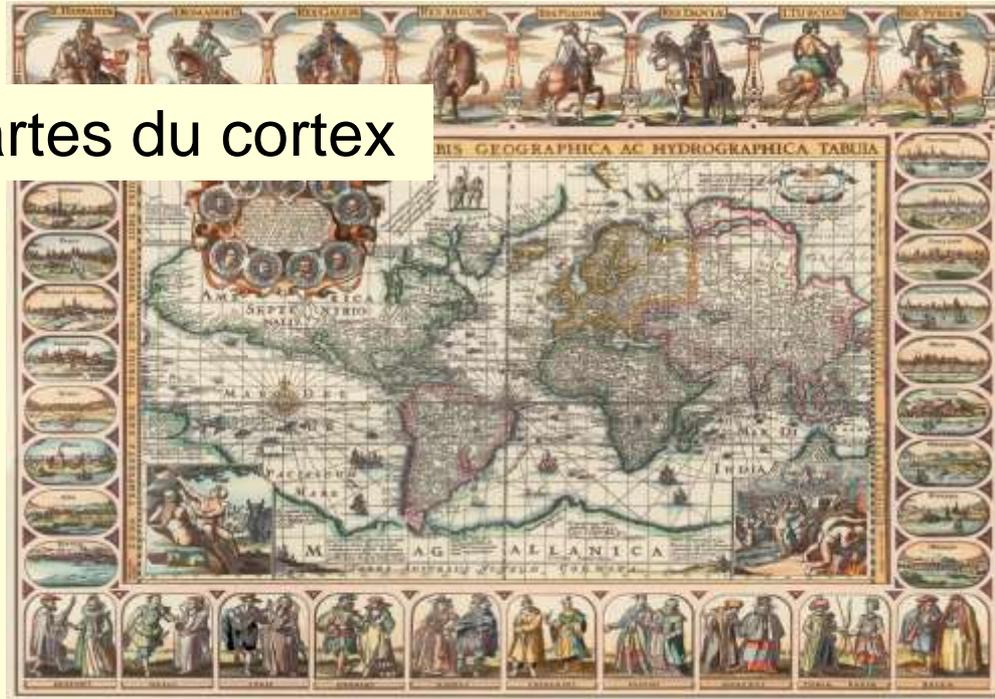
Capsule extrême

Faisceau unciné (*uncinate fasciculus*)

Fig. 4. Connectivity scheme of human language-related areas.

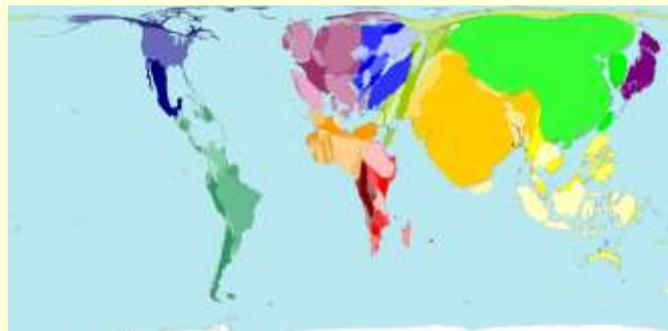
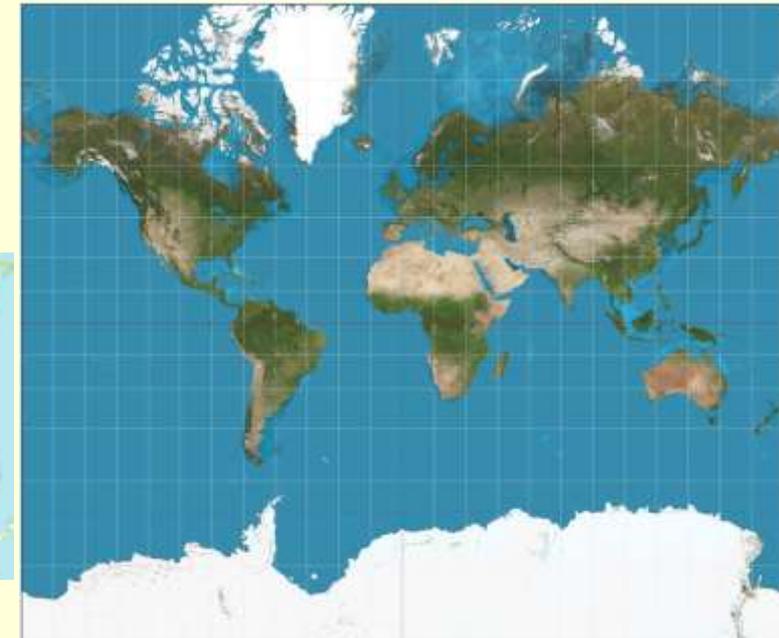
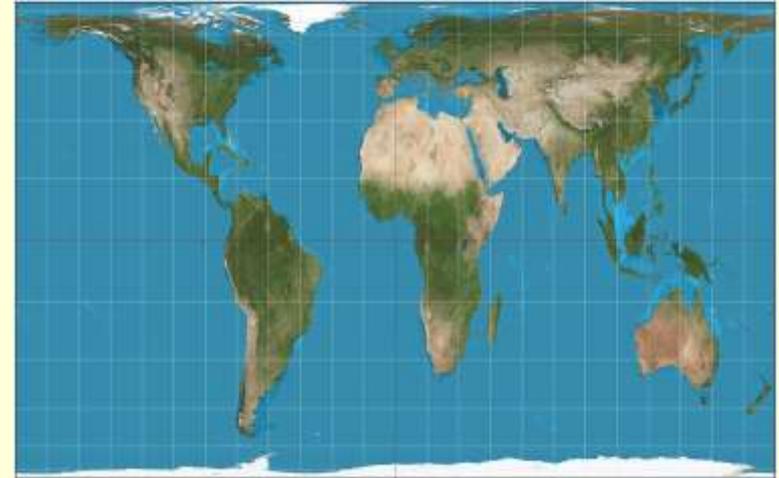
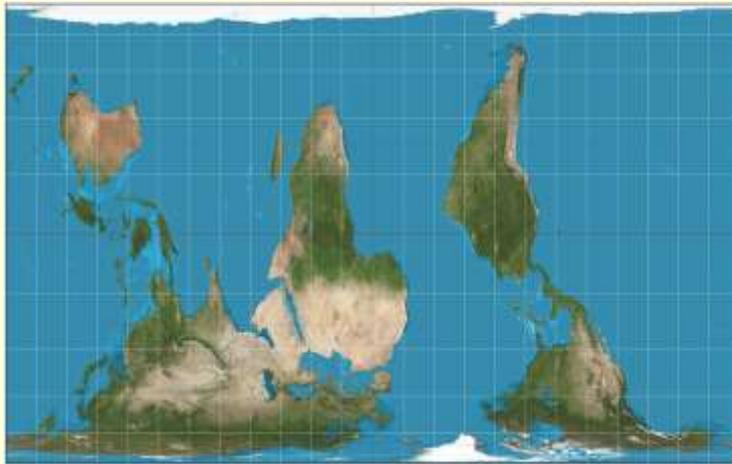
Crédit :  
Stanislas  
Dehaene

# Les premières cartes du cortex



Les cartes sont des outils utiles pour simplifier la complexité du réel en des représentations pratiques. Mais elles ne sont pas neutres.

Elles reflètent souvent des valeurs sociales ou des choix politiques, comme le montre ces autres façons peu utilisées pour représenter le monde.



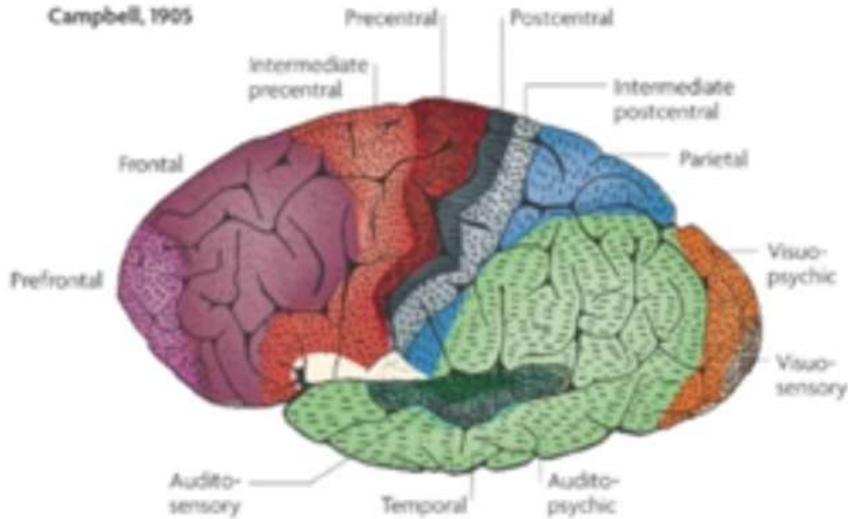
(selon la population par pays)

De la même façon, on peut tracer des cartes cérébrales à partir d'un ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance):

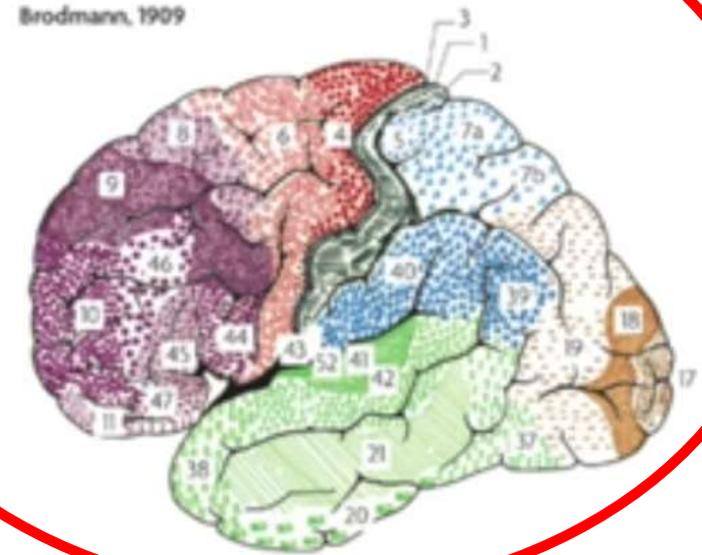
- **Cytoarchitecture** (types de neurones et leur répartition spatiale)
- **Connexions** (traçage classique, IRM diffusion, etc.)
- **Répartition** des neurotransmetteurs, de leurs récepteurs, etc. (PET scan)
- **Structure** (tissu post-mortem, IRM)
- **Fonction** (IRMf, rs-fcMRI, etc.)

Mais il est **impossible de « tout voir » en même temps...**

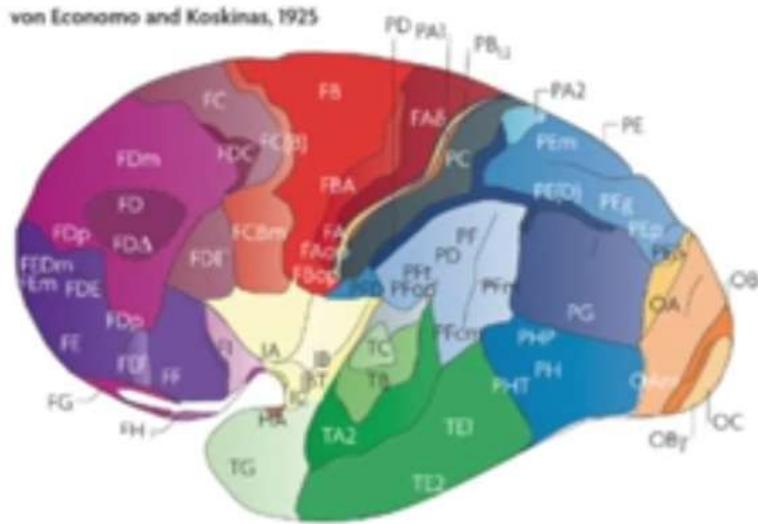
# Campbell, 1905



# Brodmann, 1909

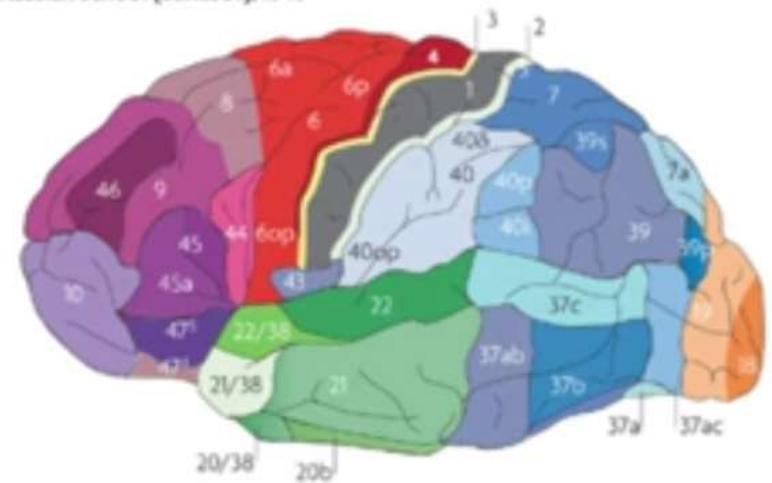


# von Economo and Koskinas, 1925



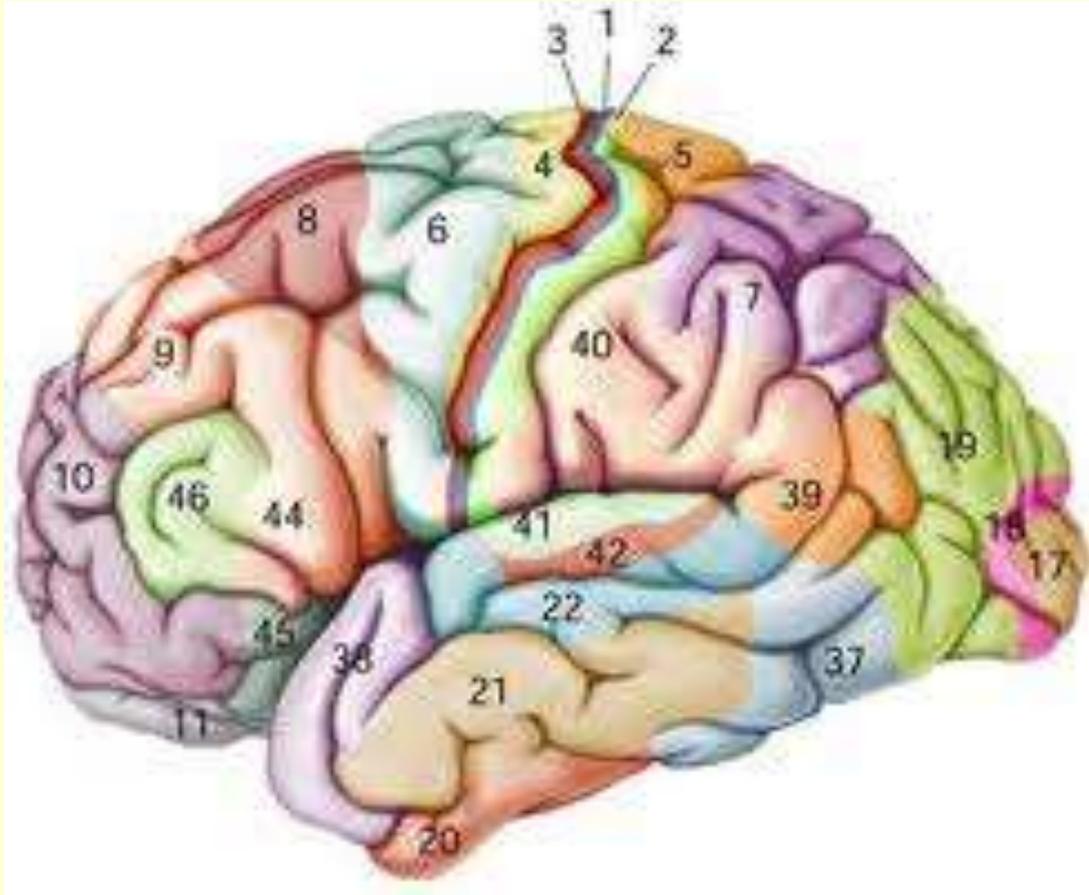
# von Economo and Koskinas, 1925

# Russian school (Sarkisov), 1949

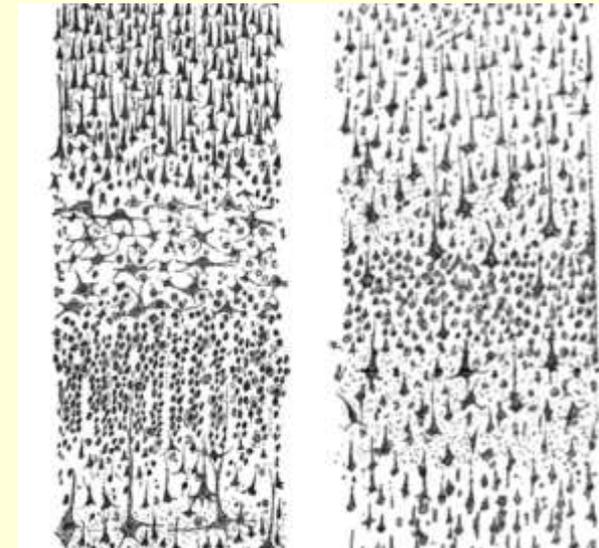


# Russian school (Sarkisov), 1949

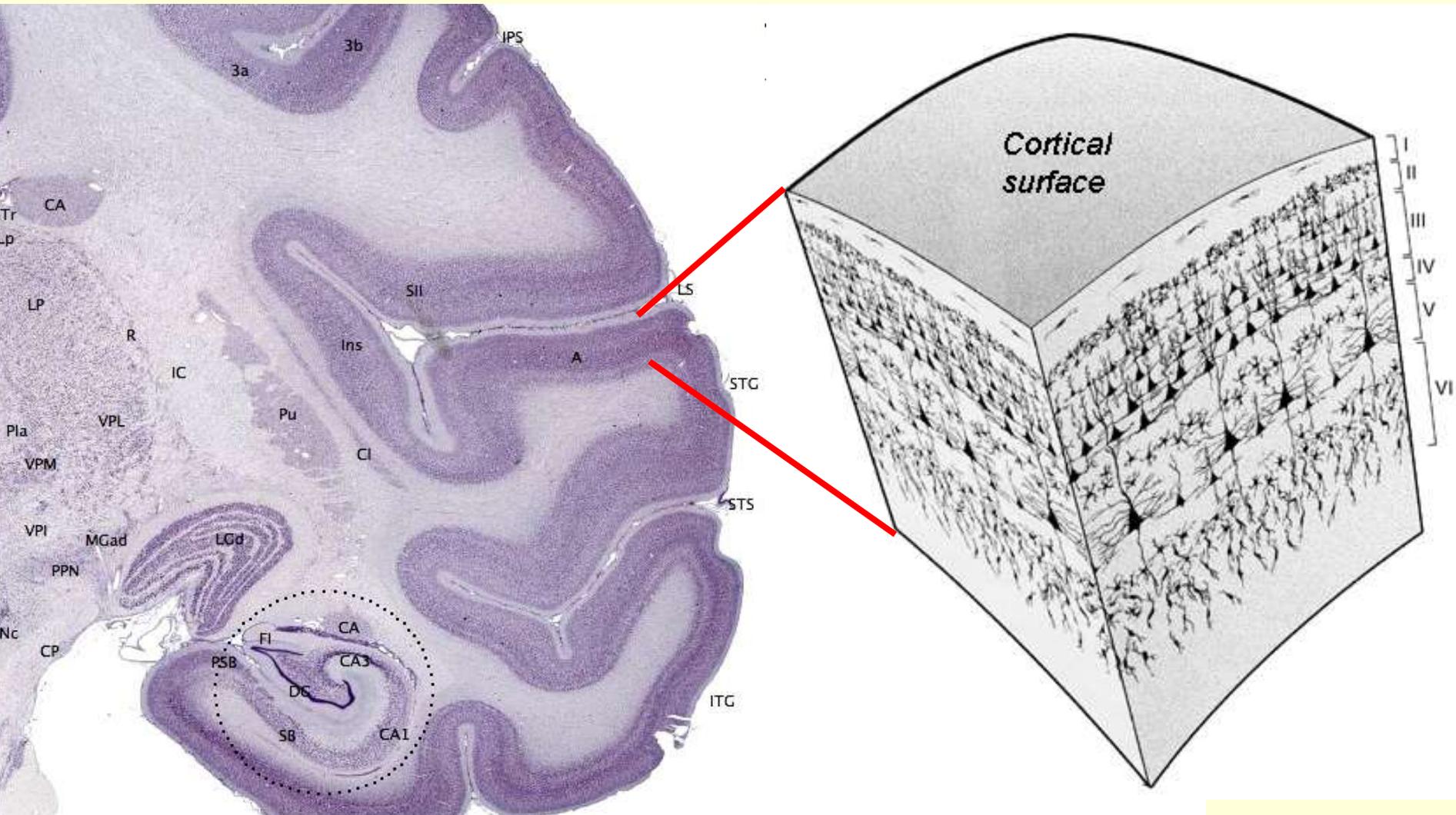
## Les premières cartes cérébrales comme celle de Brodmann étaient basées sur la cytoarchitecture



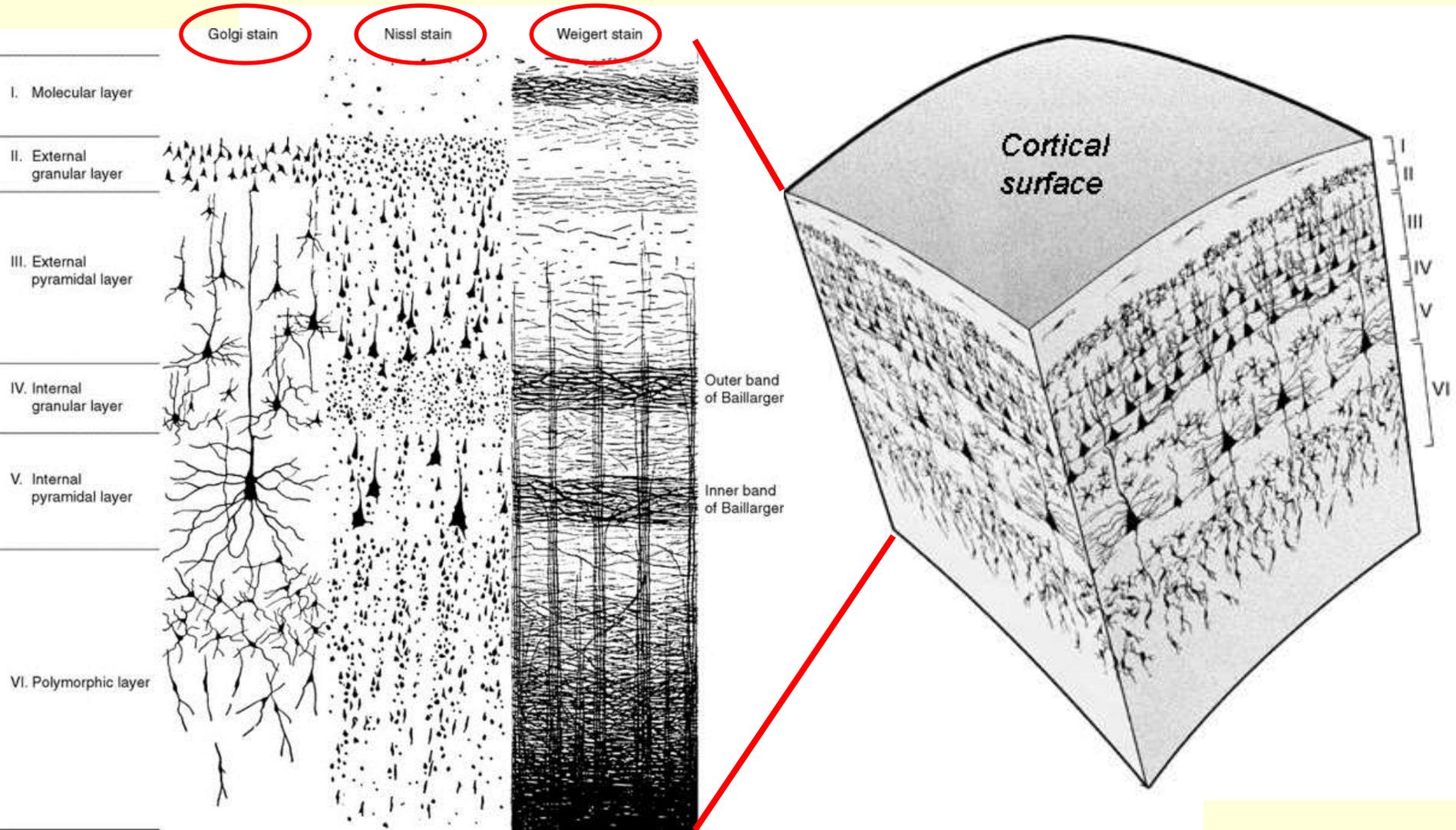
c'est-à-dire la **densité**,  
la **taille** des neurones et  
le **nombre de couches**  
observées sur des  
coupes histologiques.



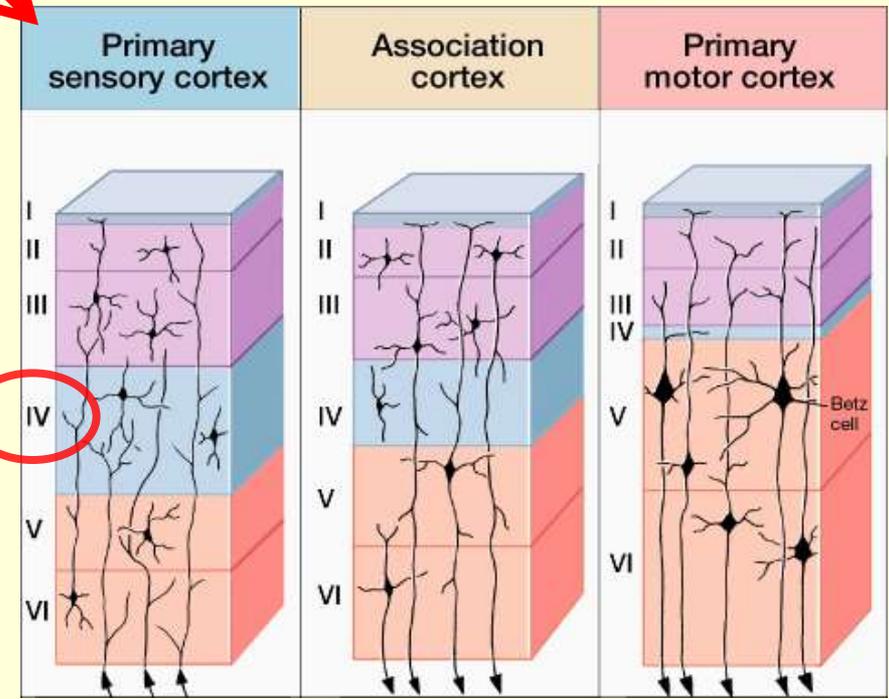
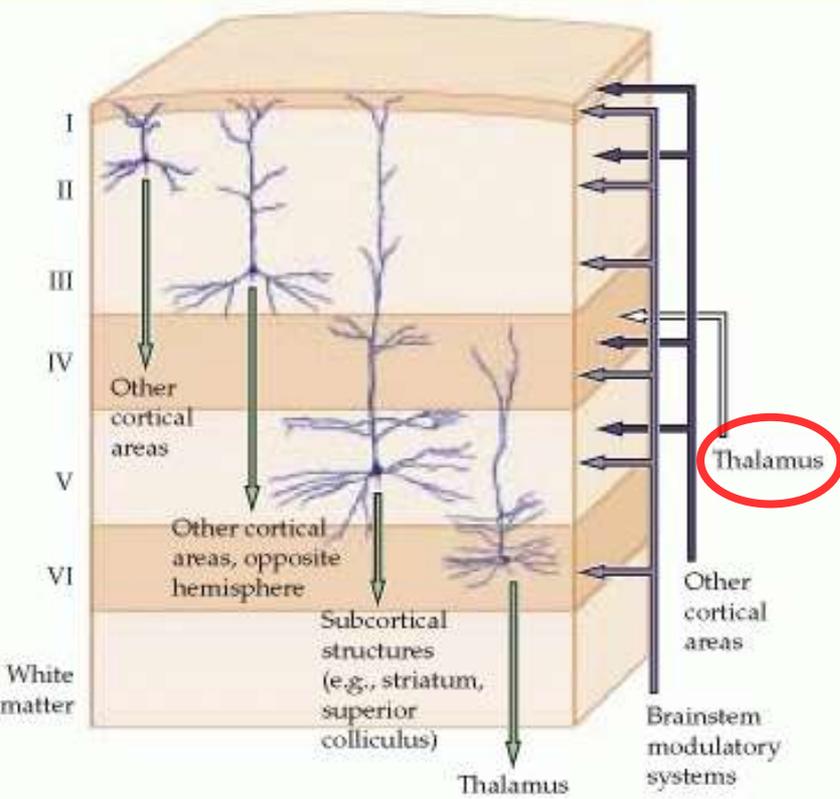
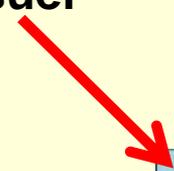
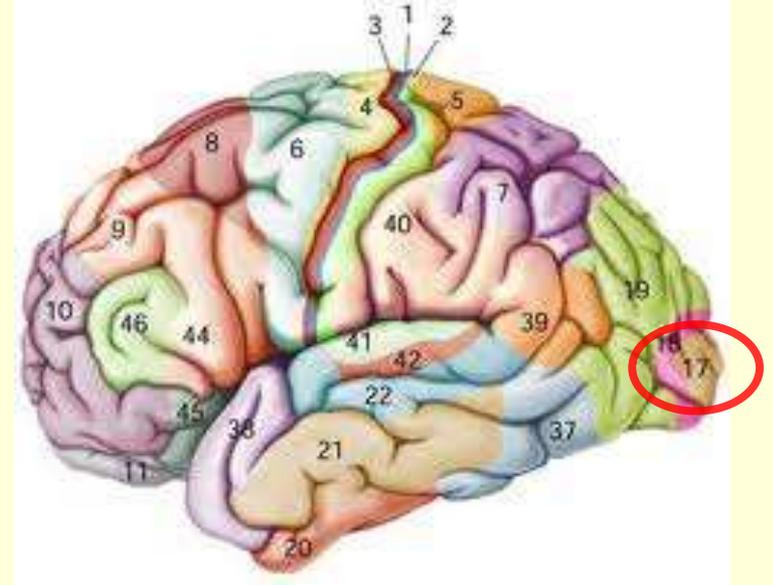
Car il y a une organisation en **couches** dans le cortex...

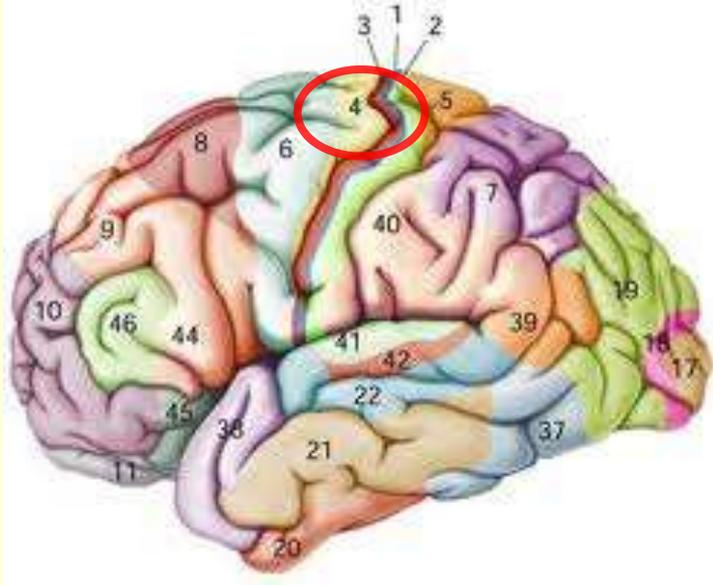


Car il y a une organisation en **couches** dans le cortex...

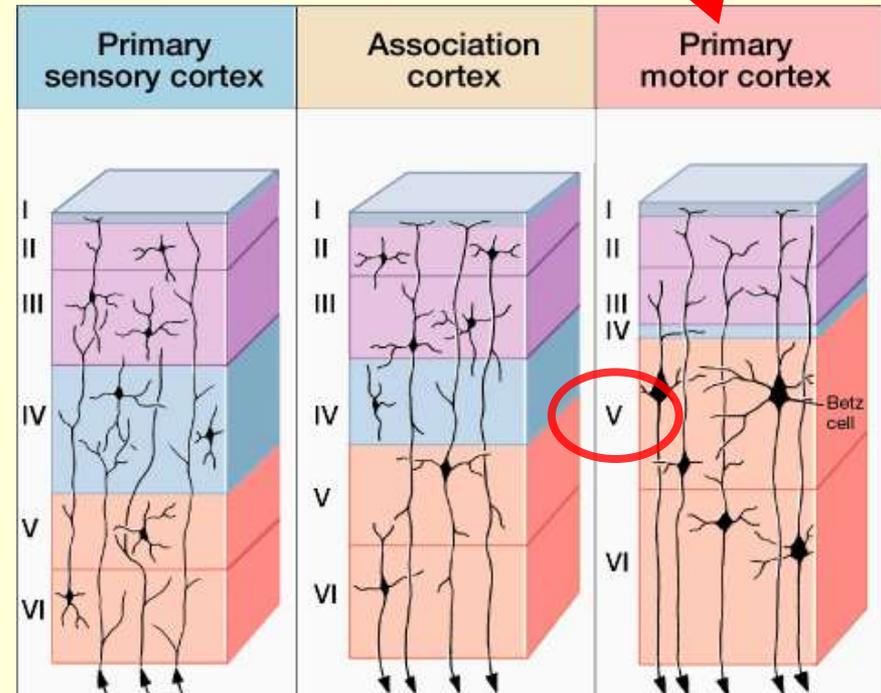
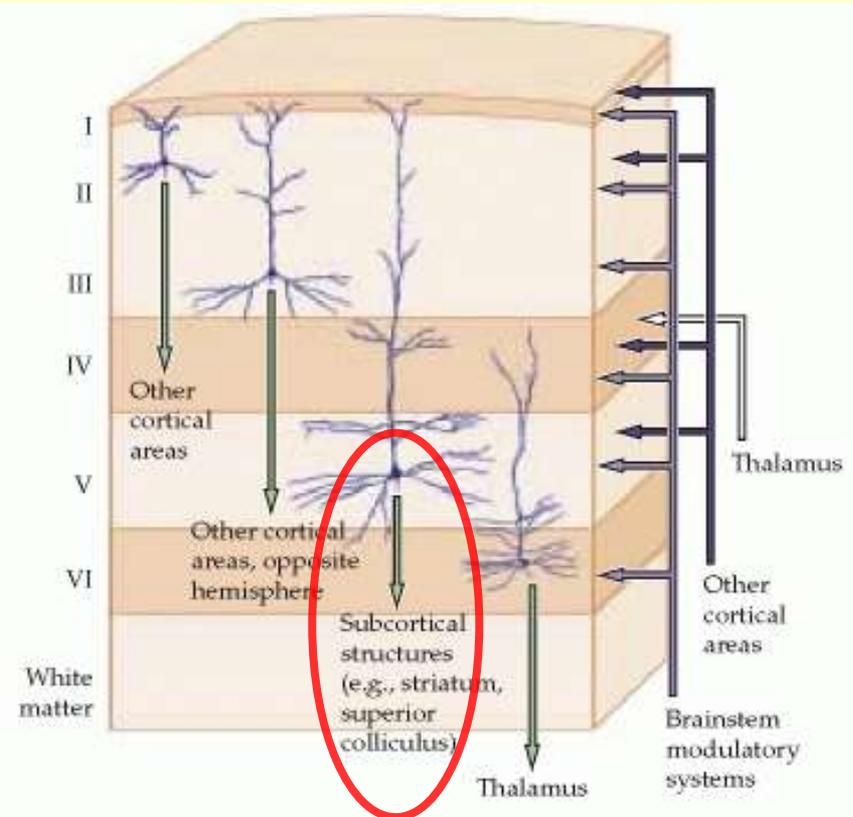


Certaines des **six couches** du cortex (comme la couche IV ici) sont par exemple plus épaisses dans les régions sensorielles du cortex, comme dans l'aire 17 de Brodmann, qui reçoit les axones du corps genouillé latéral du thalamus en provenance de la rétine, qui correspond au **cortex visuel primaire**.



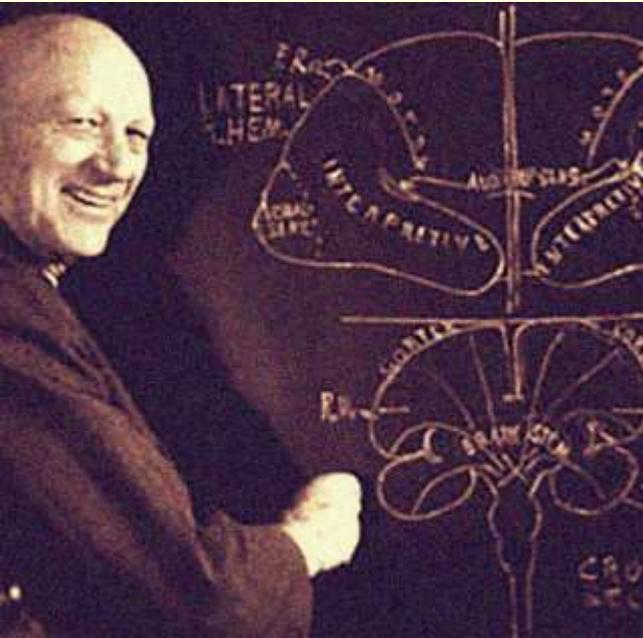


Ou encore la couche V de l'aire 4 de Brodmann, dont les axones de la couche des grosses cellules pyramidales vont rejoindre les motoneurones de la moelle épinière, et qui se confond au **cortex moteur primaire**.



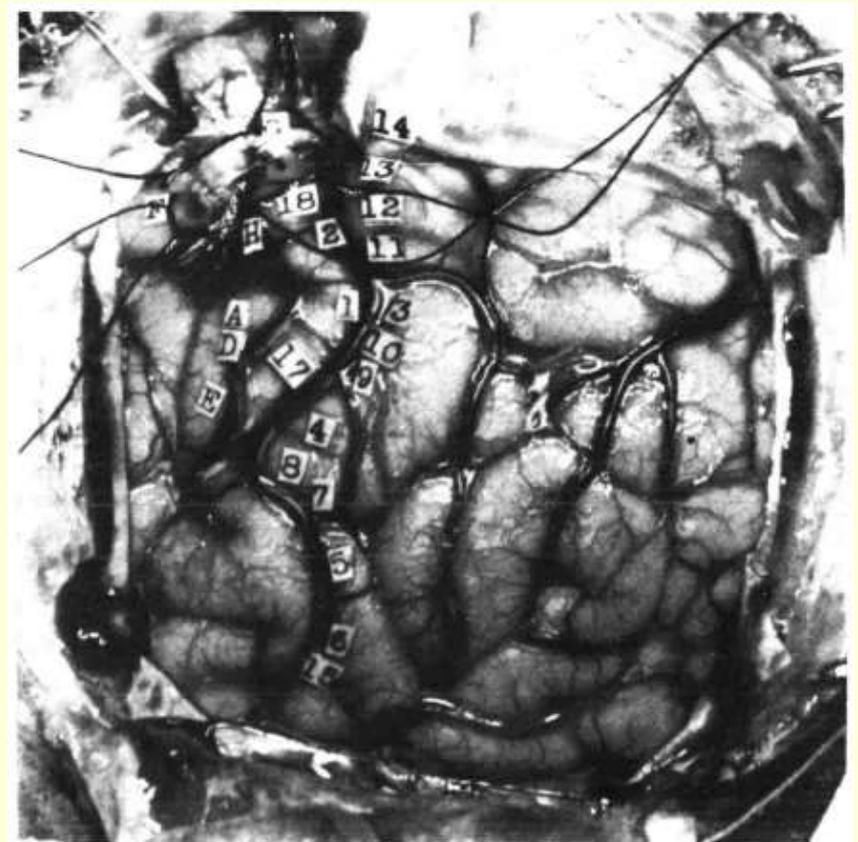
Institut Neurologique  
de Montréal,  
**1935.**



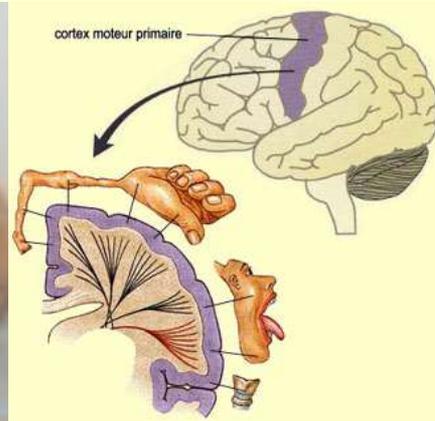


Avant d'enlever certaines parties du cortex où sont situés des foyers épileptiques, **Wilder Penfield** (1891–1976) stimule électriquement celui-ci à différents endroits.

Il identifie ainsi dès **1937** des régions corticales impliquées dans des **sensations** et dans la **motricité**.



Penfield signe avec Theodore Brown Rasmussen  
"The Cerebral Cortex of Man"  
(1950), qui présente  
**l'homoncule moteur et  
l'homoncule sensoriel.**



### Sensory model



A large part of your sensory cortex responds to touch and pain in your eyes, mouth, hands and fingers. These parts of the model

### Motor model



A large part of your motor cortex is devoted to controlling the movements of your tongue and hands. These parts of the model are exaggerated.

L'un des objectifs de cette séance est de passer d'une

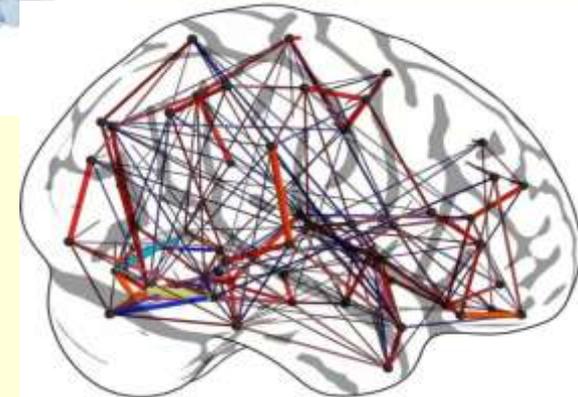
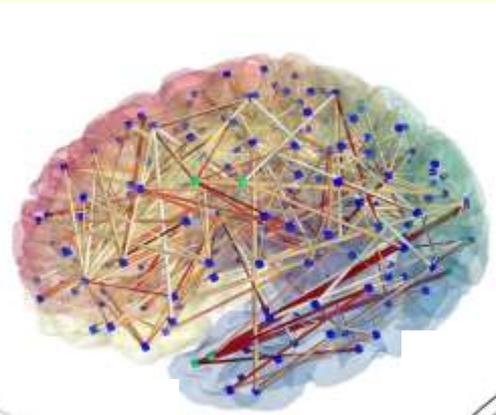
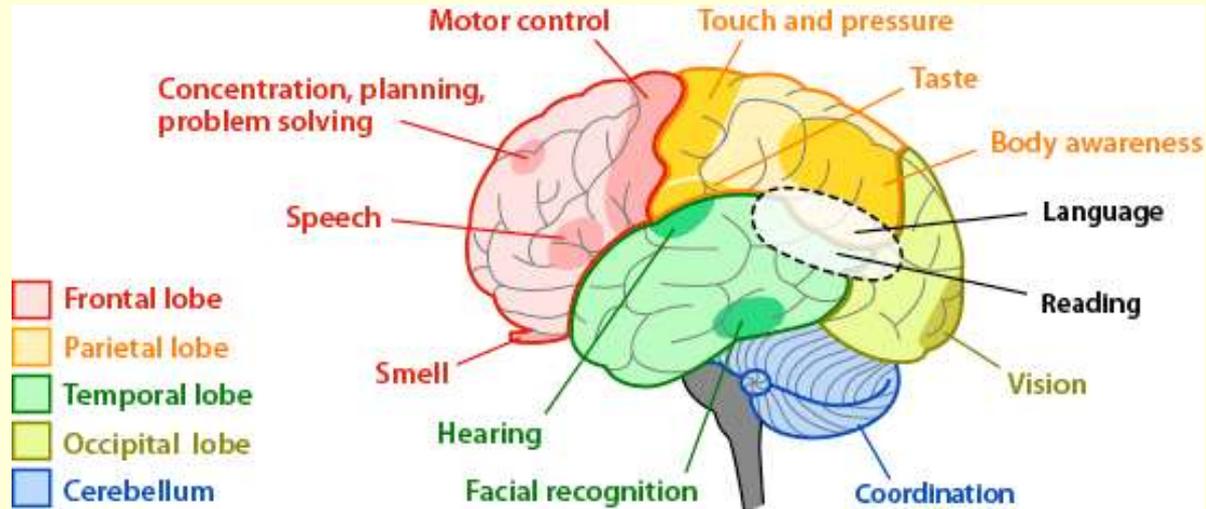
conception traditionnelle du cerveau

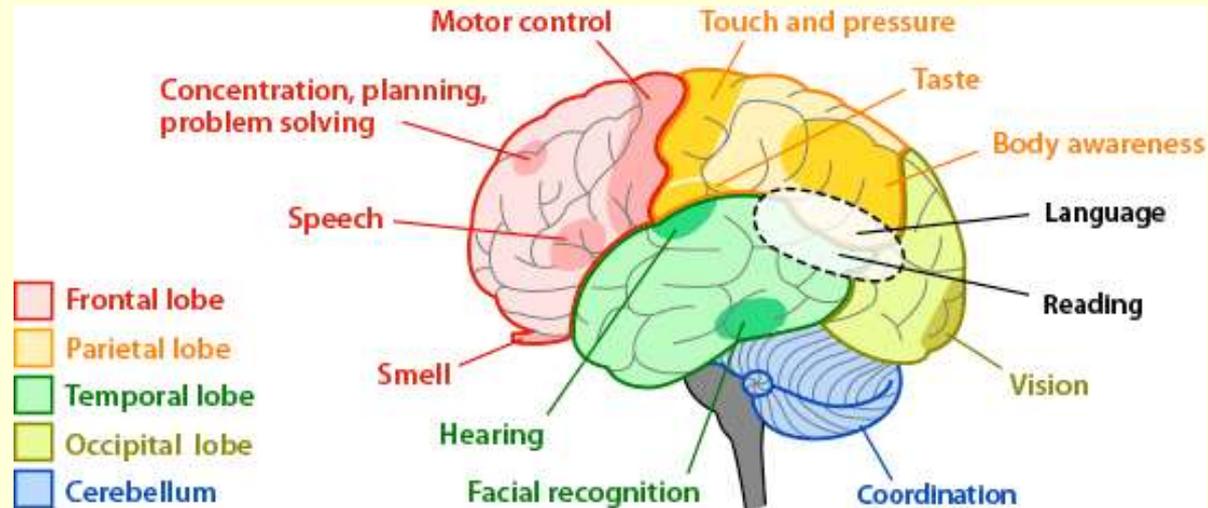
i.e. un objet (relativement) stable et régulier fait de composantes manifestant une relation structure-fonction (relativement) simple;

à une

nouvelle conception du cerveau

Un réseau (presque) infiniment plastique manifestant une relation structure-fonction complexe (plusieurs-à-plusieurs)

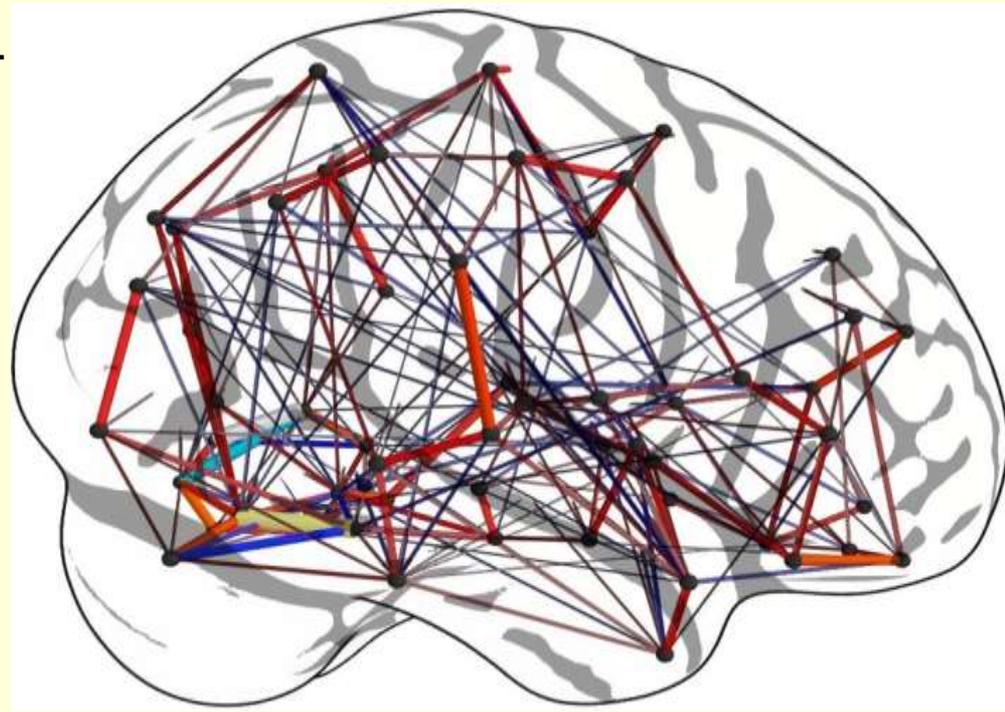




**Exemple fictif** pour donner une idée...

Ce réseau de régions cérébrales interconnectées incluant les connexions rouges : **langage**

Le même réseau de régions cérébrales interconnectées excluant les connexions rouge, mais incluant les bleues : **reconnaissance faciale**



# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier  
(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

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

## Des problèmes auquel fait face la cartographie cérébrale

- **Problème de « consistance »**
- Problème de dimension
- Problème d'échelle spatiale



# Problème de « consistance »

## The Unfixed Brain

<https://www.youtube.com/watch?v=jHxyP-nUhUY>

Jan 9, 2013

In this teaching video, Suzanne Stensaas, Ph.D., Professor of Neurobiology and Anatomy at the University of Utah School of Medicine, demonstrates the **properties** and **anatomy** of an **unfixed brain**.

WARNING: The video contains graphic images, a human brain from a recent autopsy.

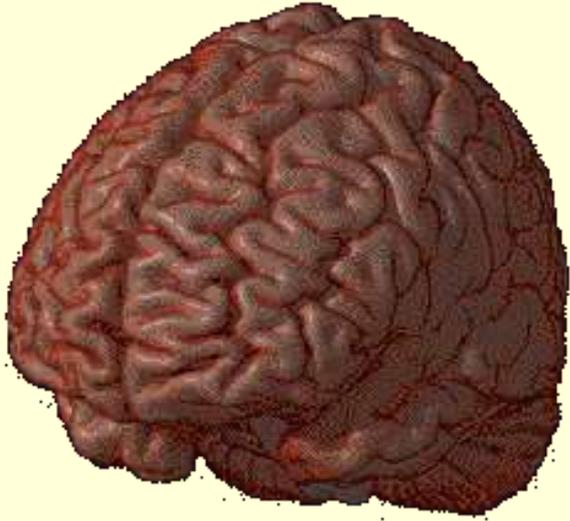


## Intro : des problèmes auquel fait face la cartographie cérébrale

- Problème de « consistance »
- **Problème de dimension**
- Problème d'échelle spatiale

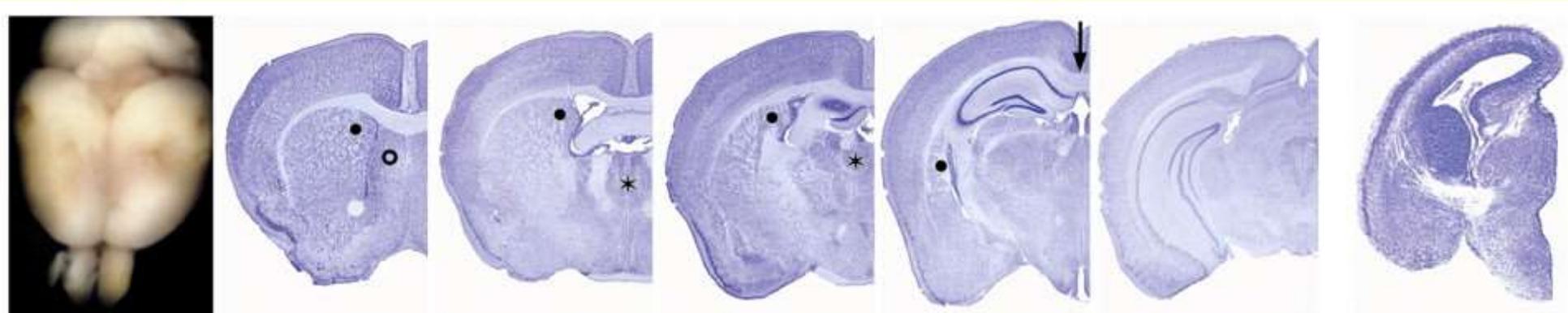


# Problème de dimension

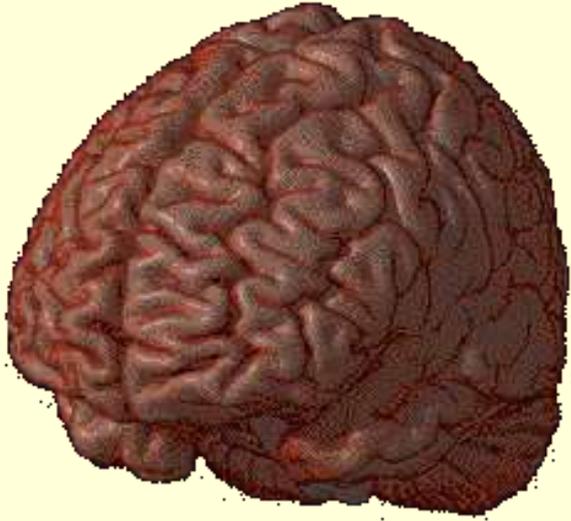


On vit dans un monde tridimensionnel et les objets, un arbre comme notre cerveau, ont aussi **3 dimensions**.

Or l'observation du cerveau avec différents types de microscopes nous oblige à couper le cerveau en **minces tranches quasi bidimensionnelles** pour pouvoir l'observer.



# Problème de dimension



On vit dans un monde tridimensionnel et les objets, un arbre comme notre cerveau, ont aussi **3 dimensions**.

Or l'observation du cerveau avec différents types de microscopes nous oblige à couper le cerveau en **minces tranches quasi bidimensionnelles** pour pouvoir l'observer.

Le problème, c'est qu'on **perd** ainsi la richesse des trois dimensions de l'arbre dendritique des neurones ou de la divergence des voies neuronales dans diverses directions.

## Intro : des problèmes auquel fait face la cartographie cérébrale

- Problème de « consistance »
- Problème de dimension
- **Problème d'échelle spatiale**



# Problème d'échelle spatiale

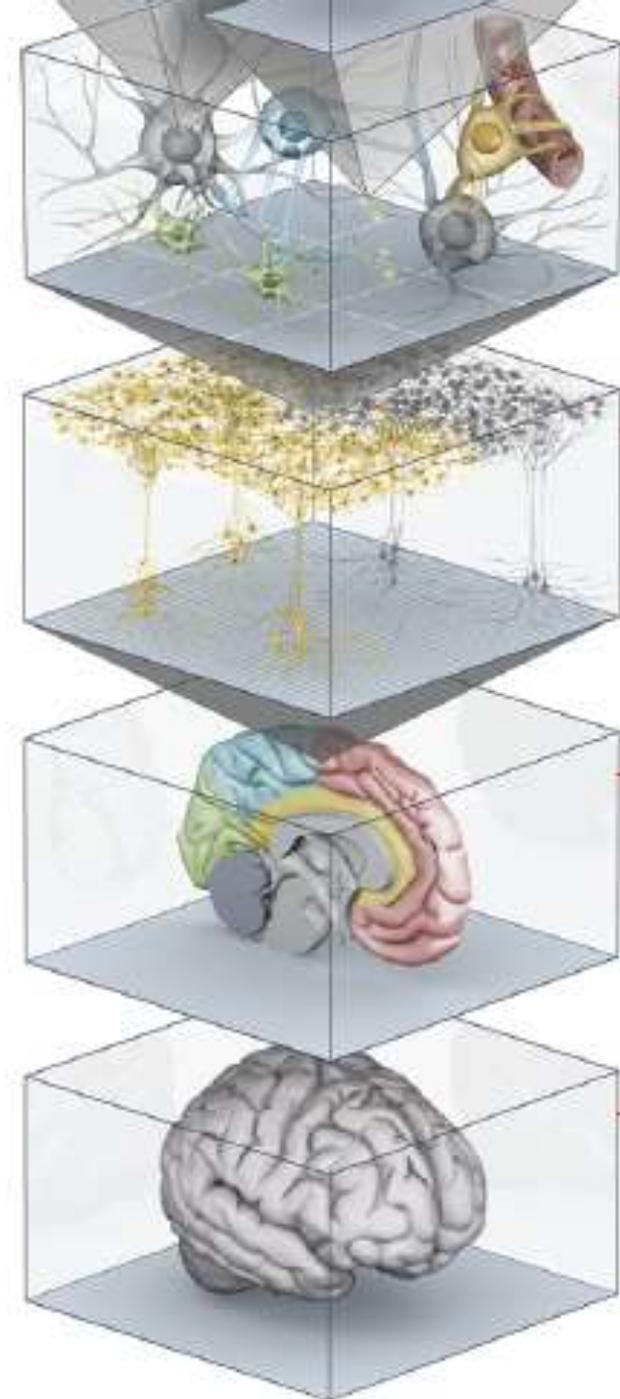
→ October 2018

*The **Hierarchically** Mechanistic Mind:  
A Free-Energy Formulation of the Human Psyche.*

<https://www.researchgate.net/publication/328260653> The Hierarchically Mechanistic Mind  
A Free-Energy Formulation of the Human Psyche

“More recently, sophisticated structural and functional imaging studies in network neuroscience have furnished extensive evidence that **the brain exhibits a nested, fractal-like structure**;

extending from **cellular microcircuits in cortical columns** at the lowest level, to **cortical areas** at intermediate levels, to **distributed clusters of highly interconnected brain regions** at the global level.”



# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

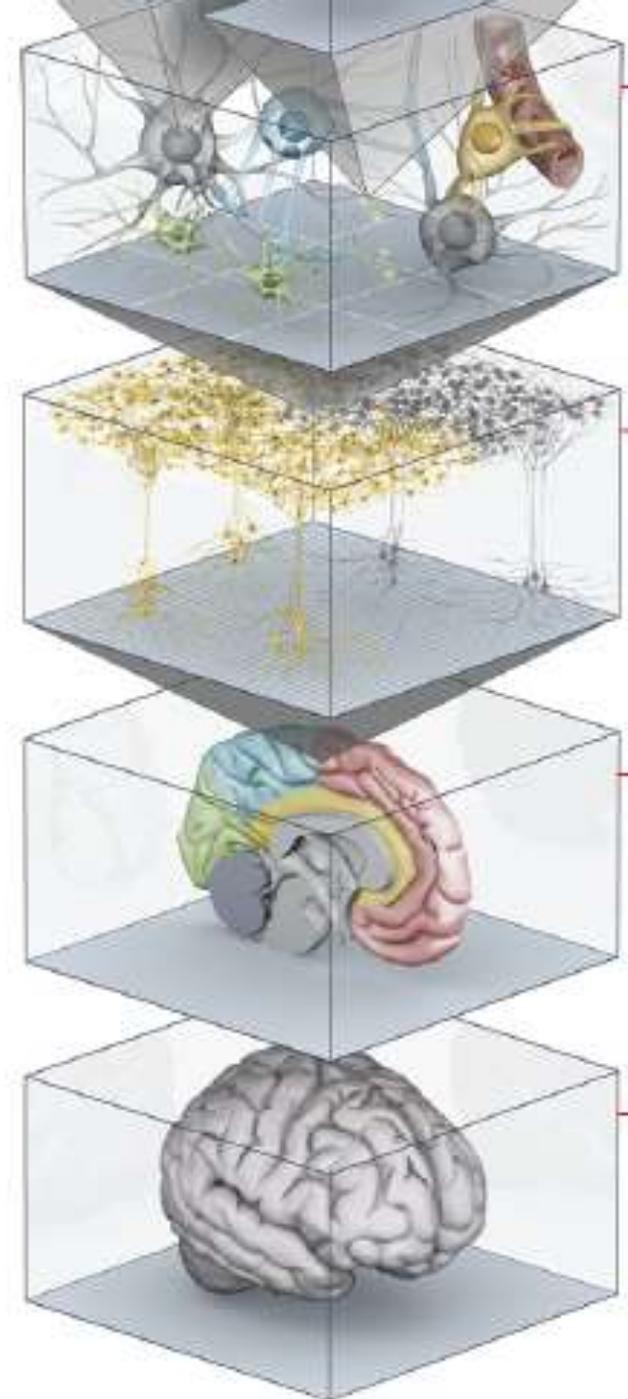
Séance 5 :

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

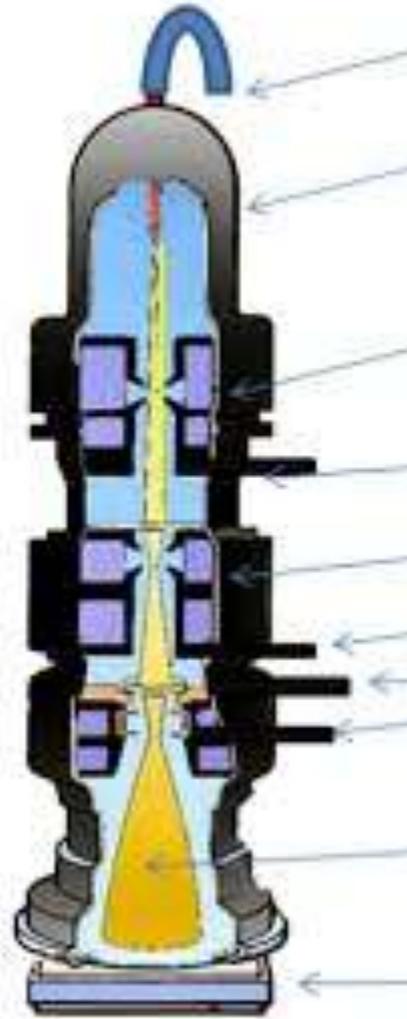
**l'échelle « micro »**

l'échelle « meso »

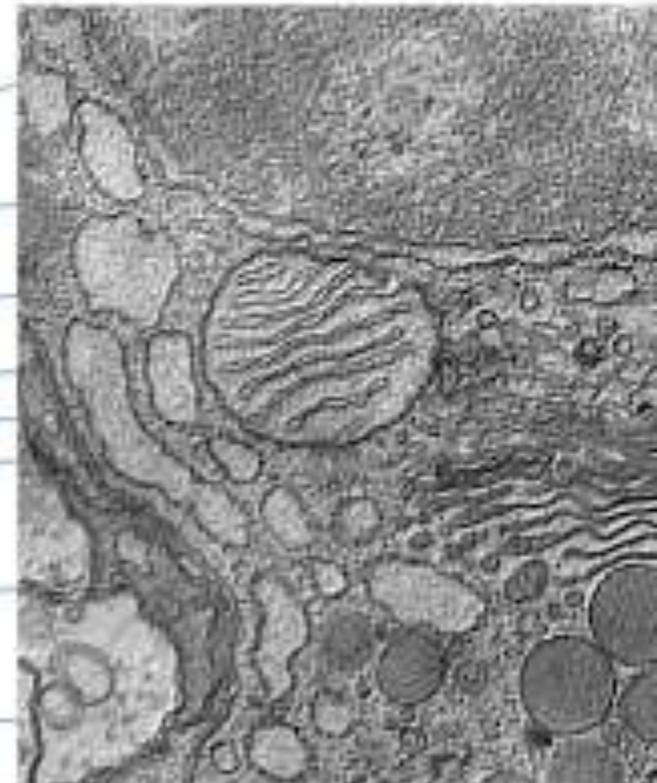
l'échelle « macro »



À la plus petite échelle, il faut utiliser...



**TEM**



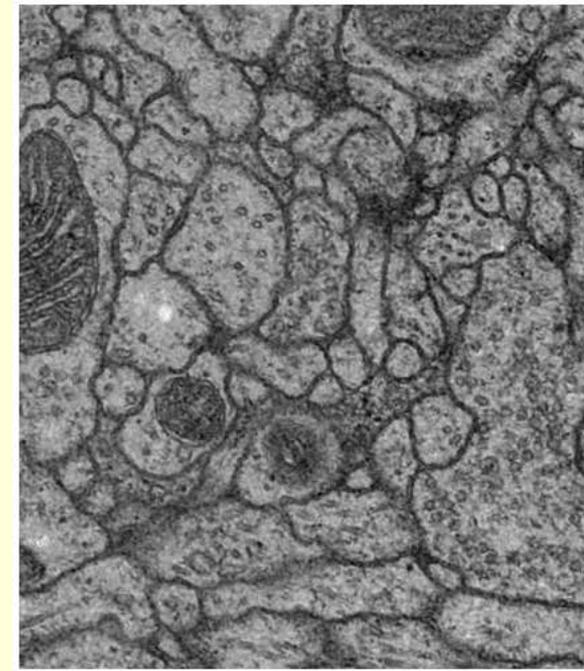
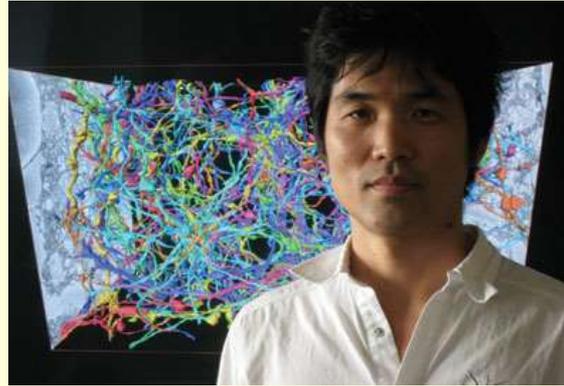
...le microscopie électronique (« Transmission Electron Microscopy » (TEM))

À l'échelle « micro » :

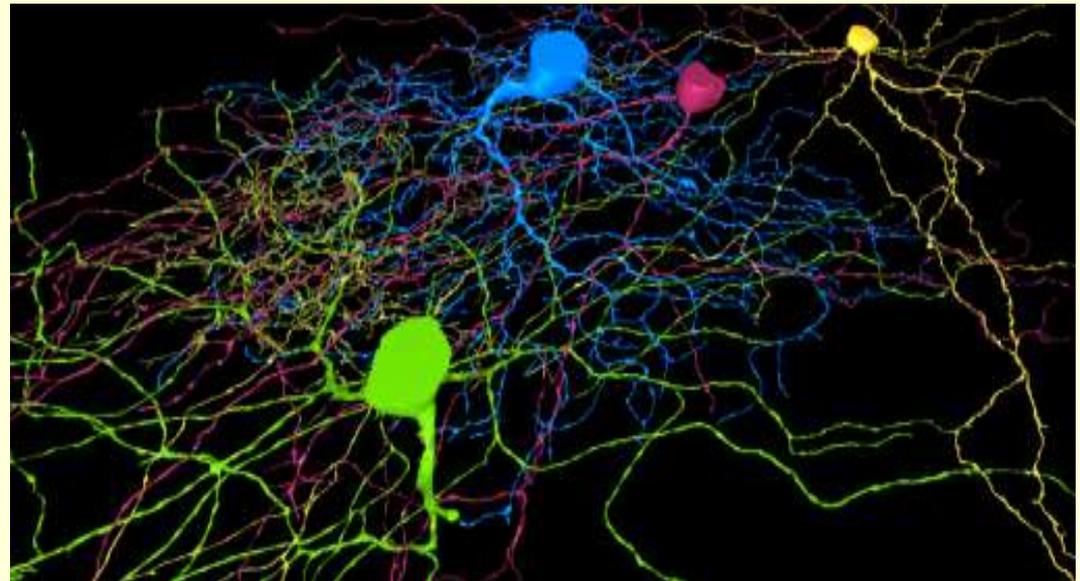
**Le BLOGUE** du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

## Aidez à cartographier nos connexions neuronales

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/06/10/aidez-a-cartographier-nos-connexions-neuronales/>



« **EyeWire** », mené par **Sebastian Seung**, que l'on pourrait traduire par « le câblage de l'œil », se concentre uniquement sur un sous-groupe de **cellules ganglionnaires de la rétine** appelées « cellules J » et fait appel au public.



# Sebastian Seung's Quest to Map the Human Brain

By GARETH COOK

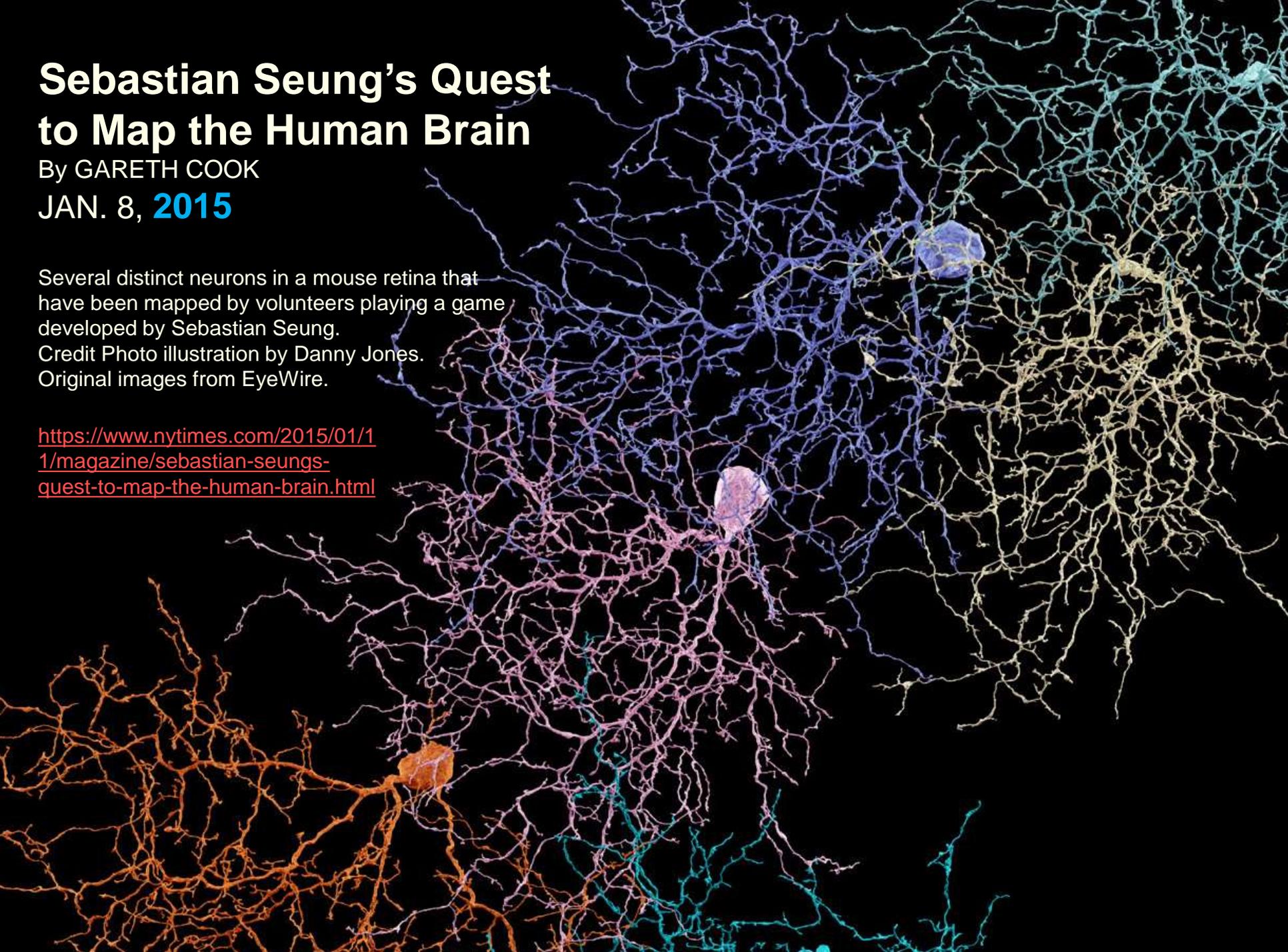
JAN. 8, 2015

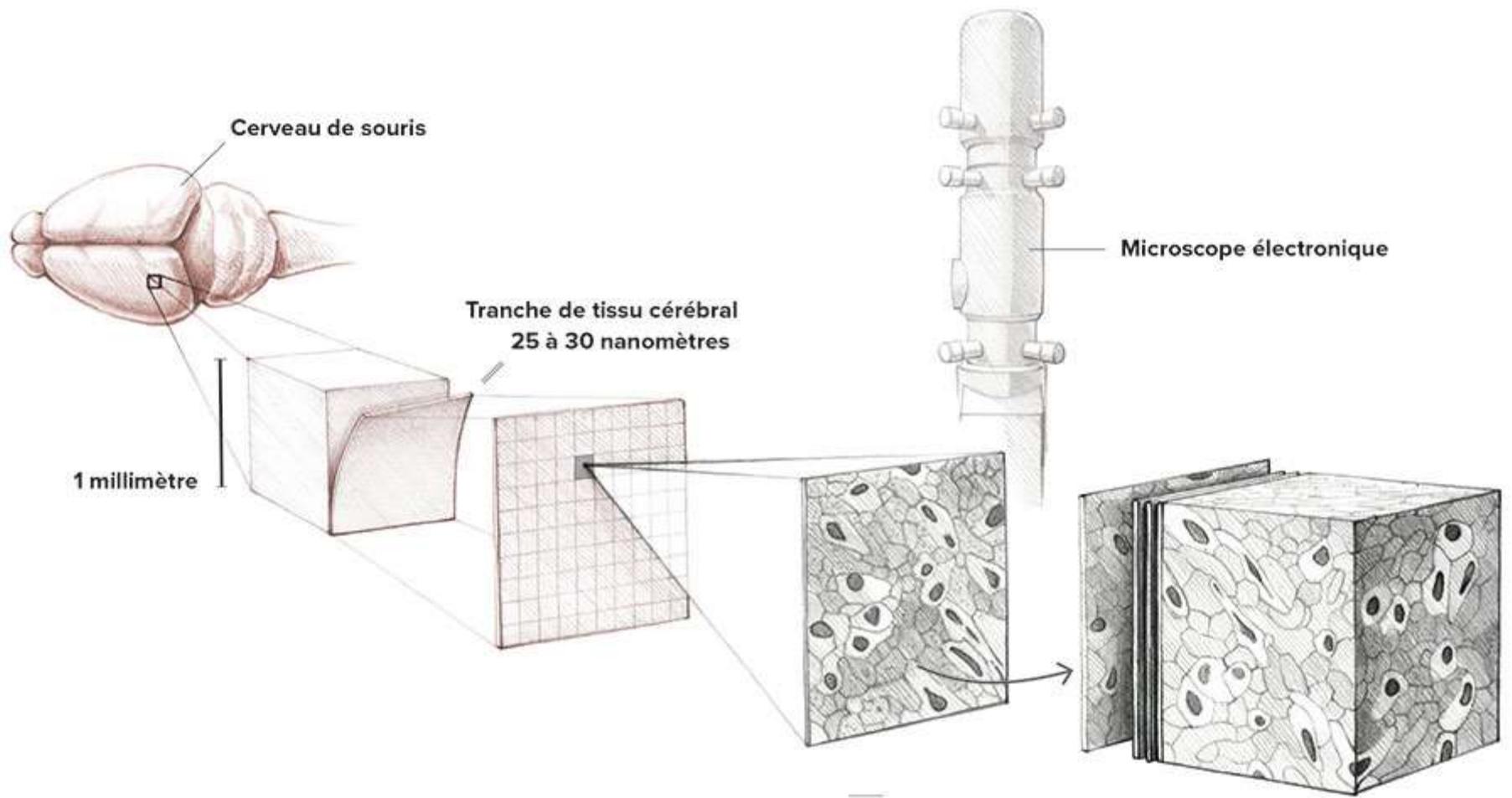
Several distinct neurons in a mouse retina that have been mapped by volunteers playing a game developed by Sebastian Seung.

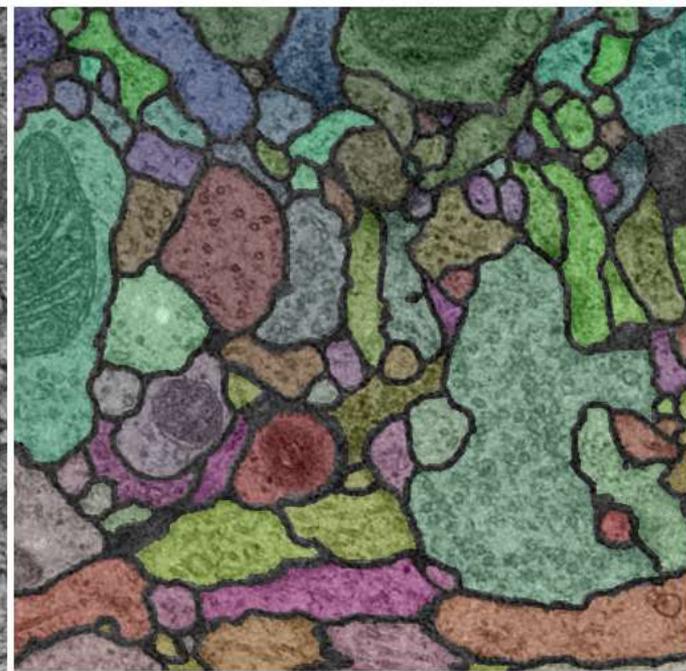
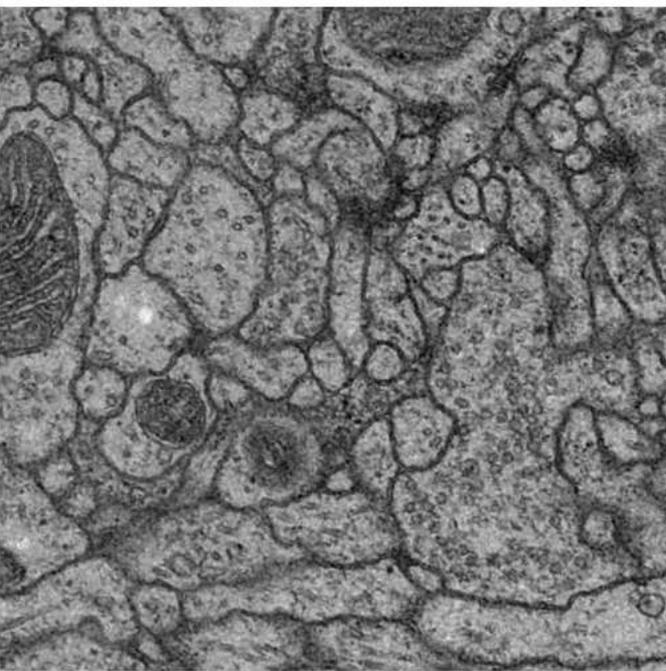
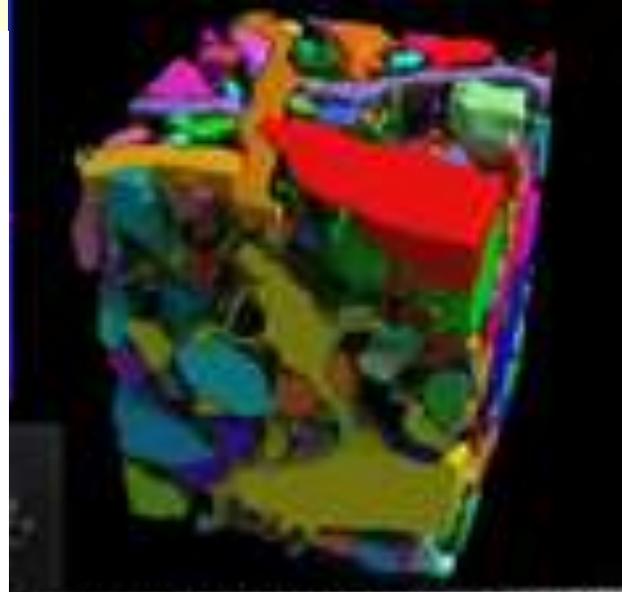
Credit Photo illustration by Danny Jones.

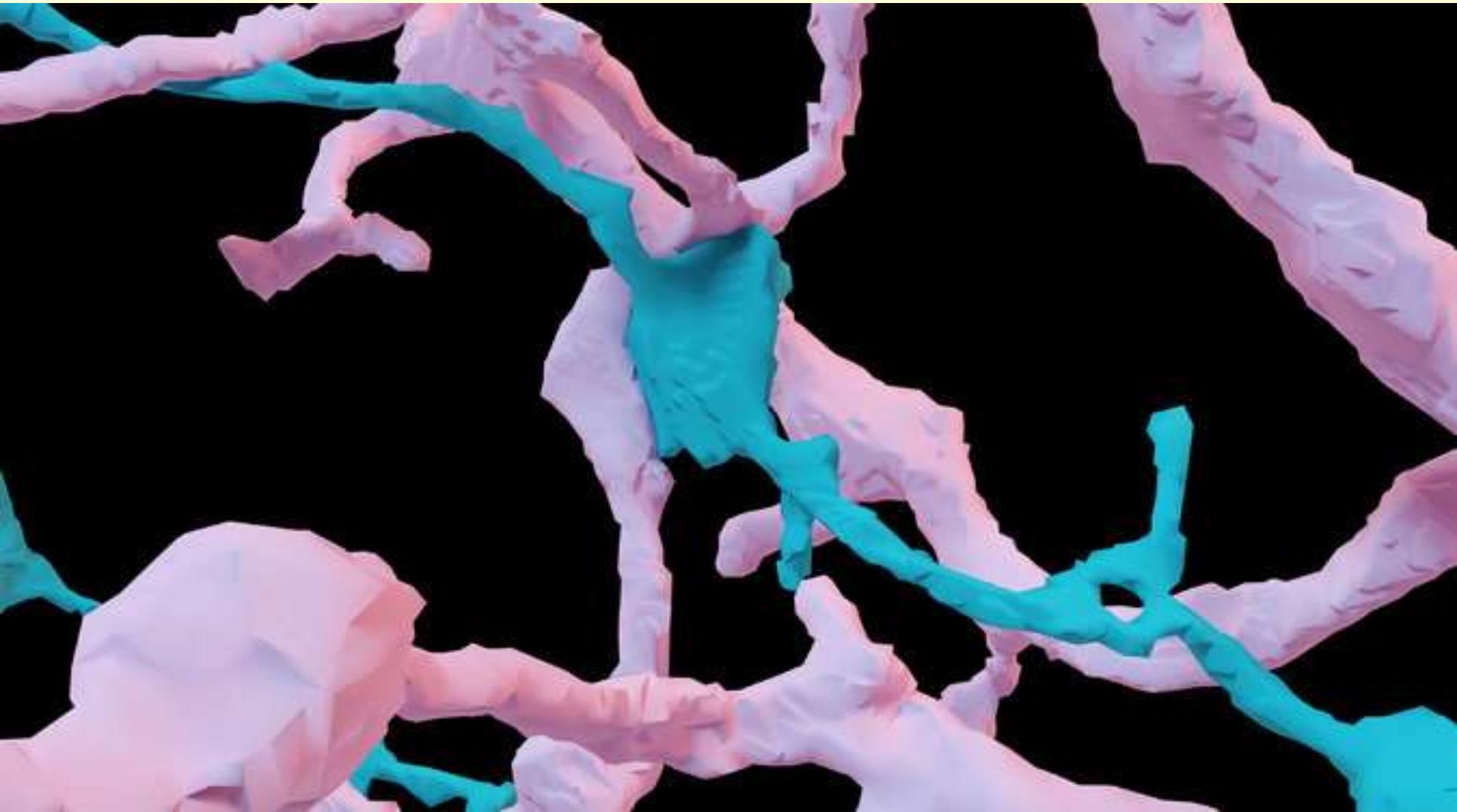
Original images from EyeWire.

<https://www.nytimes.com/2015/01/11/magazine/sebastian-seungs-quest-to-map-the-human-brain.html>









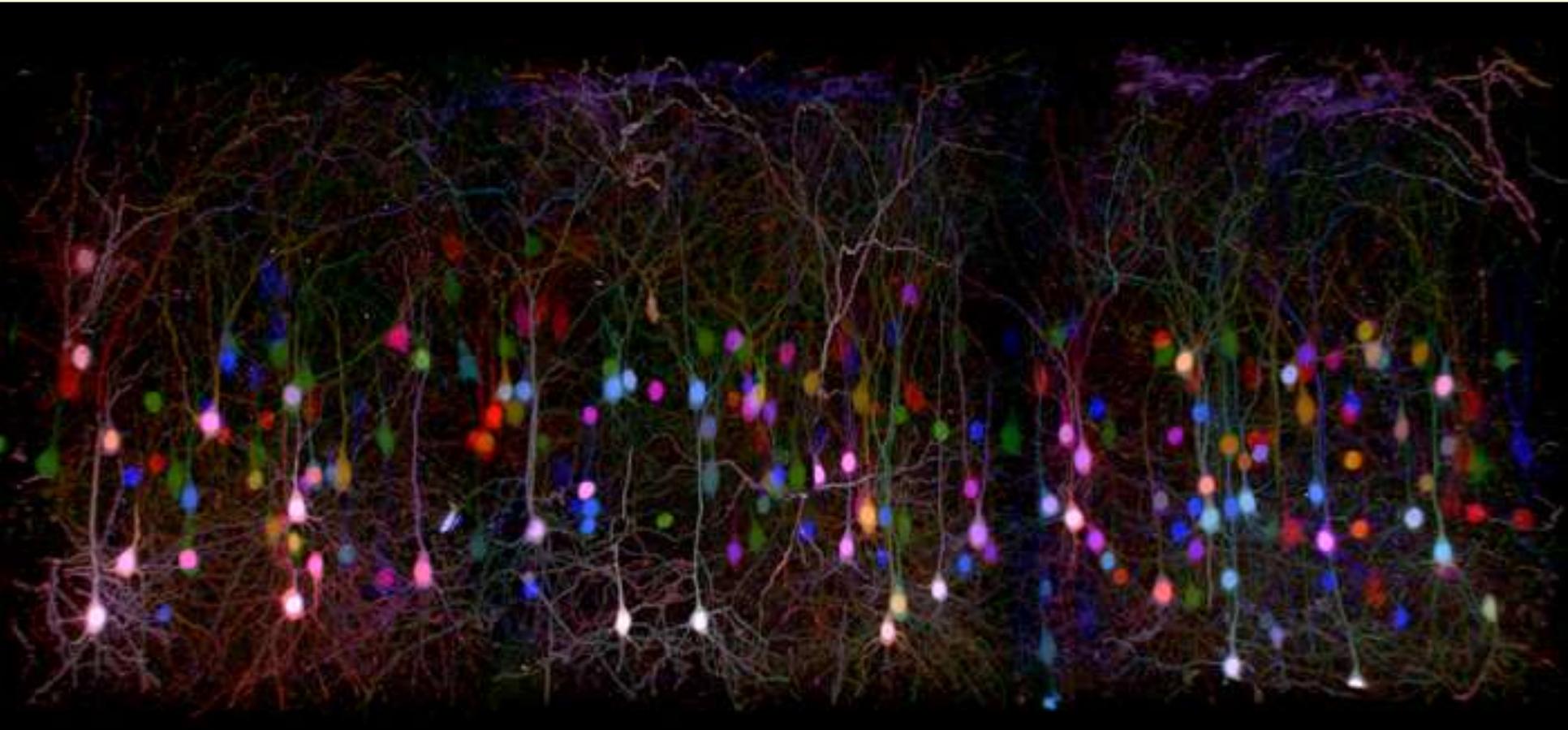
Two neurons, mapped by EyeWire players, making contact at a synapse. Credit Photo illustration by Danny Jones. Original images from EyeWire.

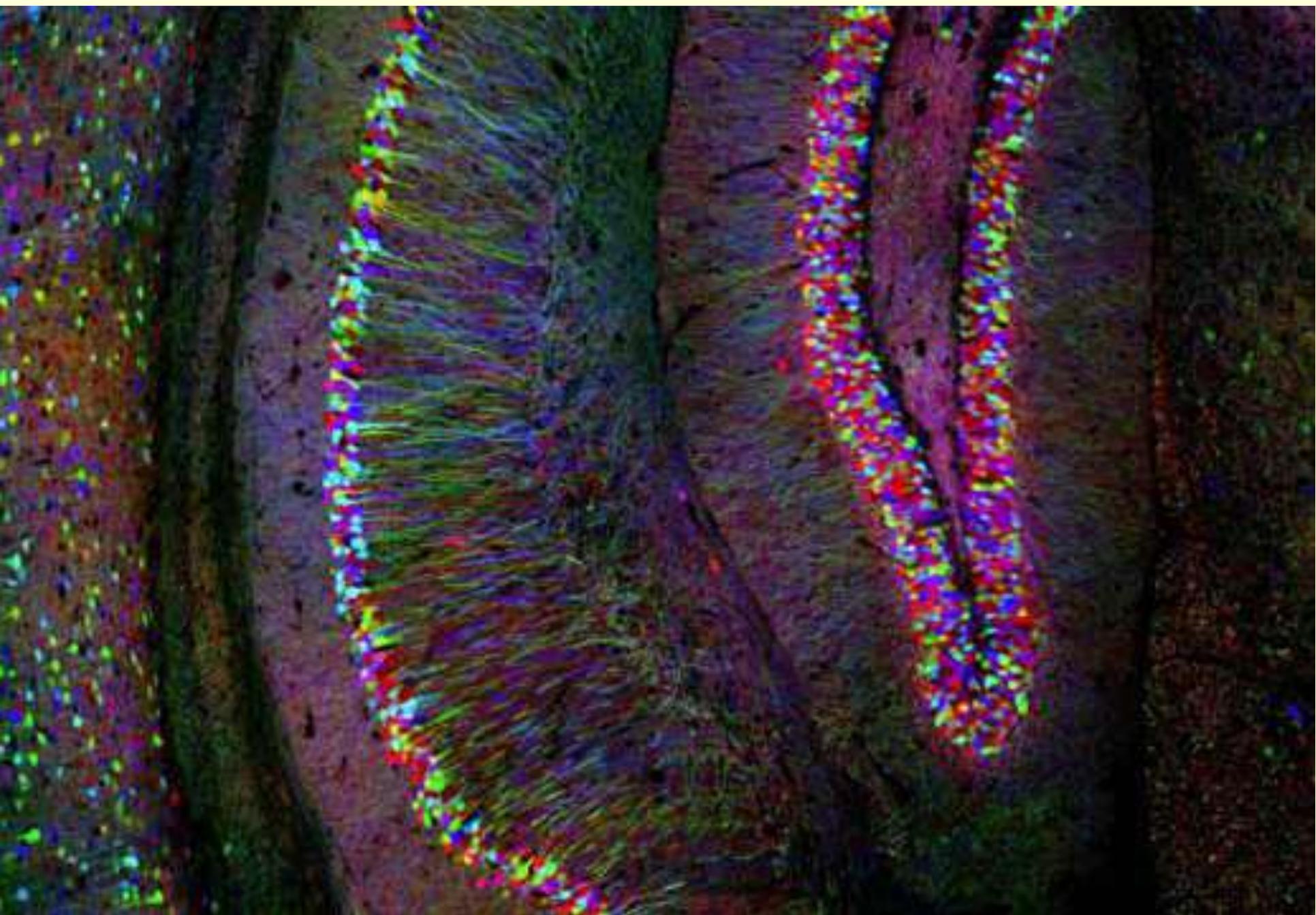
<https://www.nytimes.com/2015/01/11/magazine/sebastian-seungs-quest-to-map-the-human-brain.html>

C'est aussi la démarche de :  
**Jeff Lichtman**, *Professor of  
Molecular and Cellular Biology*  
Harvard University

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

Avec sa coloration **Brainbow**,





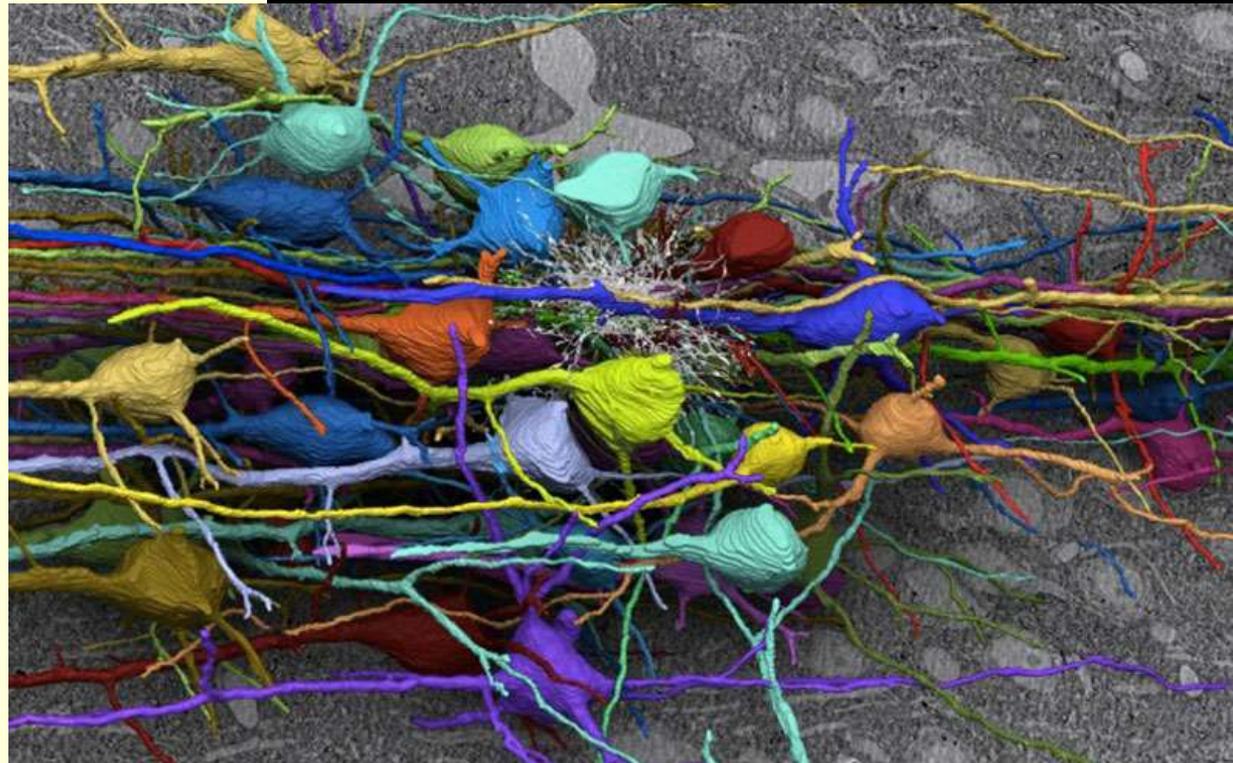
C'est aussi la démarche de :  
**Jeff Lichtman**, *Professor of  
Molecular and Cellular Biology*  
Harvard University

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

Avec sa coloration **Brainbow**,

mais aussi :

*“In addition we have  
developed automated  
tools to map neural  
connections  
(connectomics) at  
nanometer resolution  
using a new method of  
**serial electron  
microscopy.**”*



Cell, Volume 162, Issue 3, p648–661, **30 July 2015**

## **Saturated Reconstruction of a Volume of Neocortex**

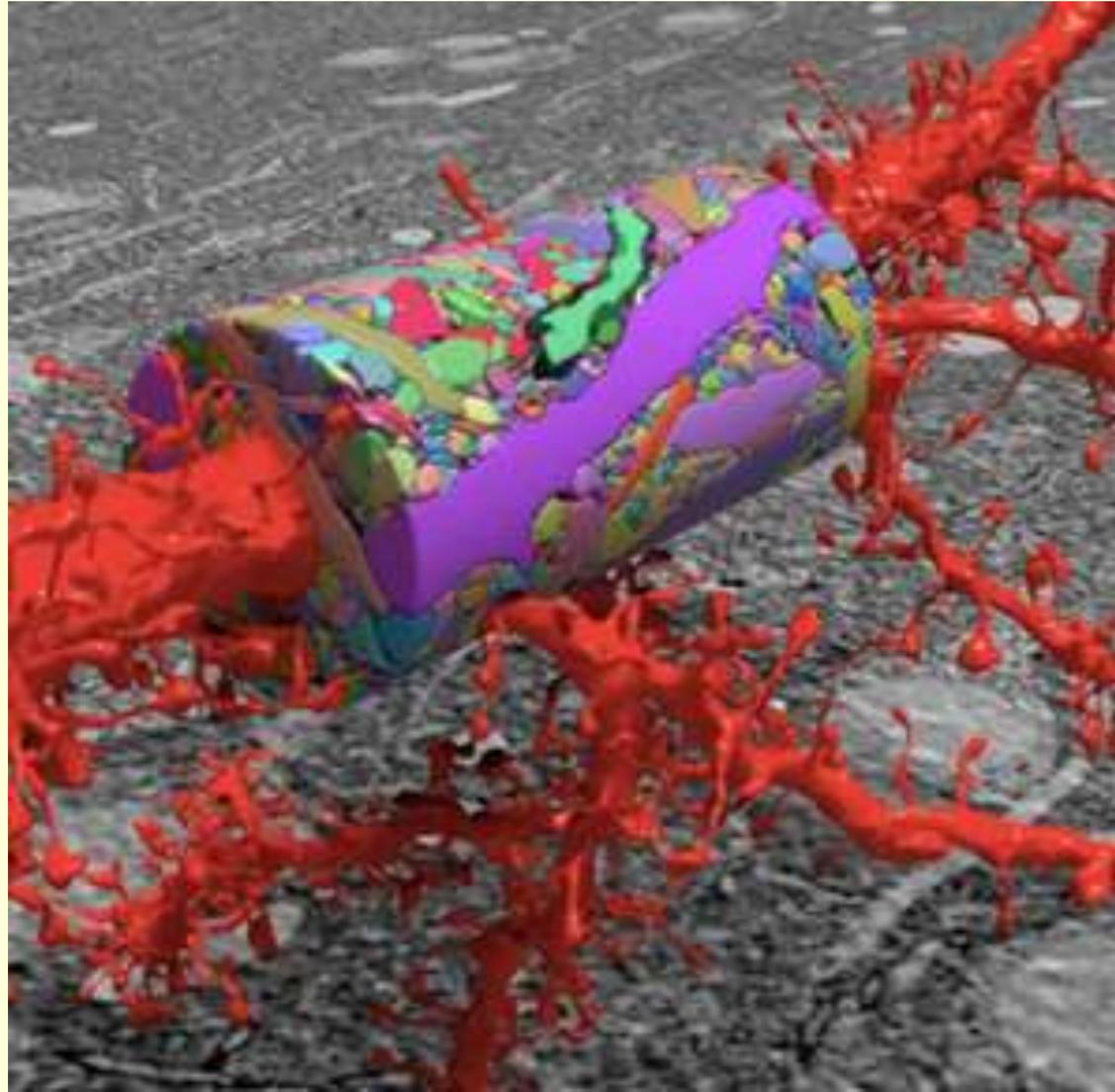
<http://www.cell.com/cell/abstract/S0092-8674%2815%2900824-7>

**Video : An incredibly detailed tour through the mouse brain :**

<http://news.sciencemag.org/brain-behavior/2015/07/detailed-video-mouse-brain-will-make-you-think-twice-about-studying>

“Without seeing the brain’s wiring on a **synaptic level**, some neuroscientists believe we’ll never truly understand how it works.

Others worry that a flood of data will drown the field...”



Cell, Volume 162, Issue 3, p648–661, **30 July 2015**

# Saturated Reconstruction of a Volume of Neocortex

<http://www.cell.com/cell/abstract/S0092-8674%2815%2900824-7>

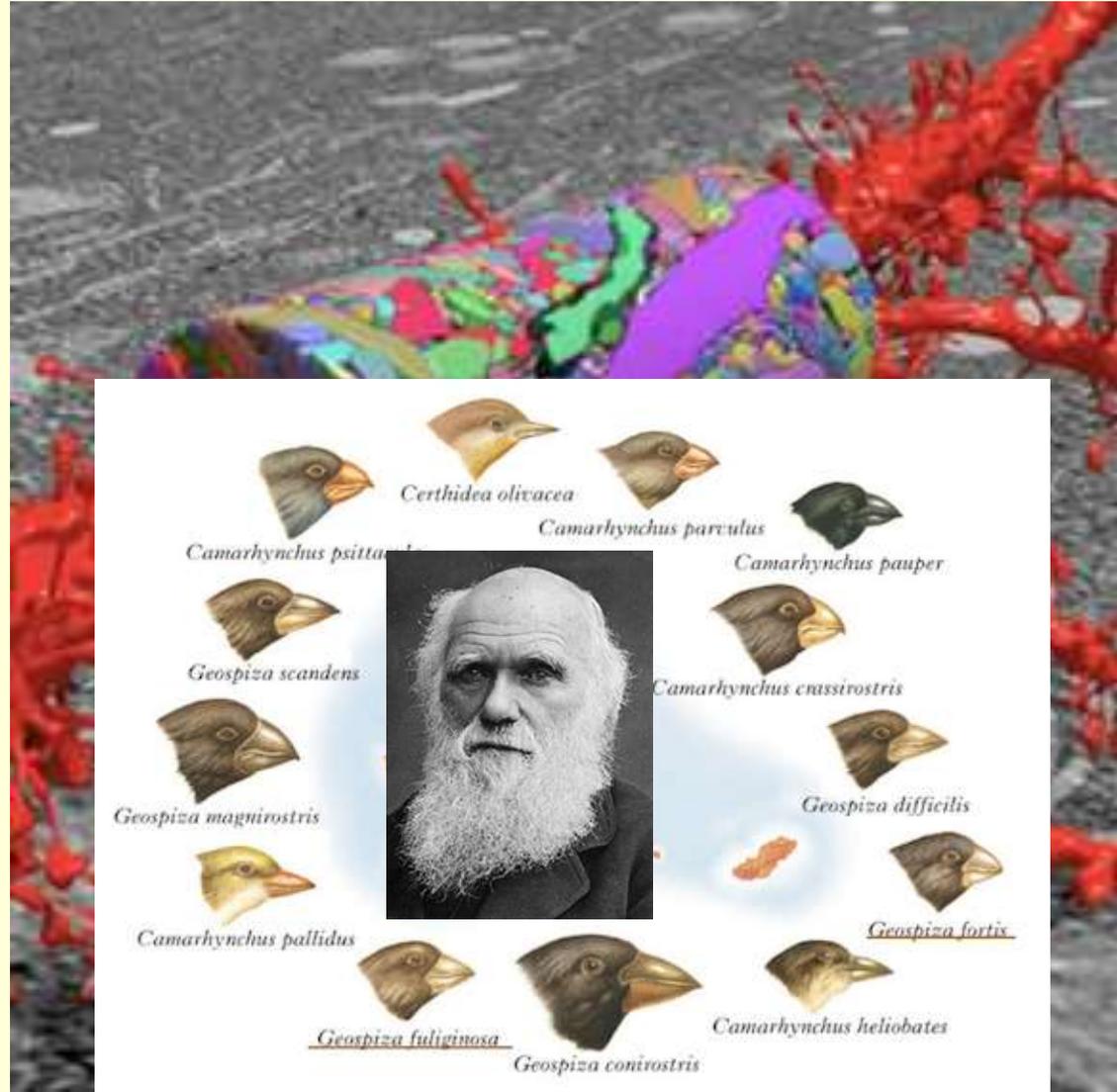
**Video** : An incredibly detailed tour through the mouse brain :

<http://news.sciencemag.org/brain-behavior/2015/07/detailed-video-mouse-brain-will-make-you-think-twice-about-studying>

“Without seeing the brain’s wiring on a **synaptic level**, some neuroscientists believe we’ll never truly understand how it works.

Others worry that a flood of data will drown the field...”

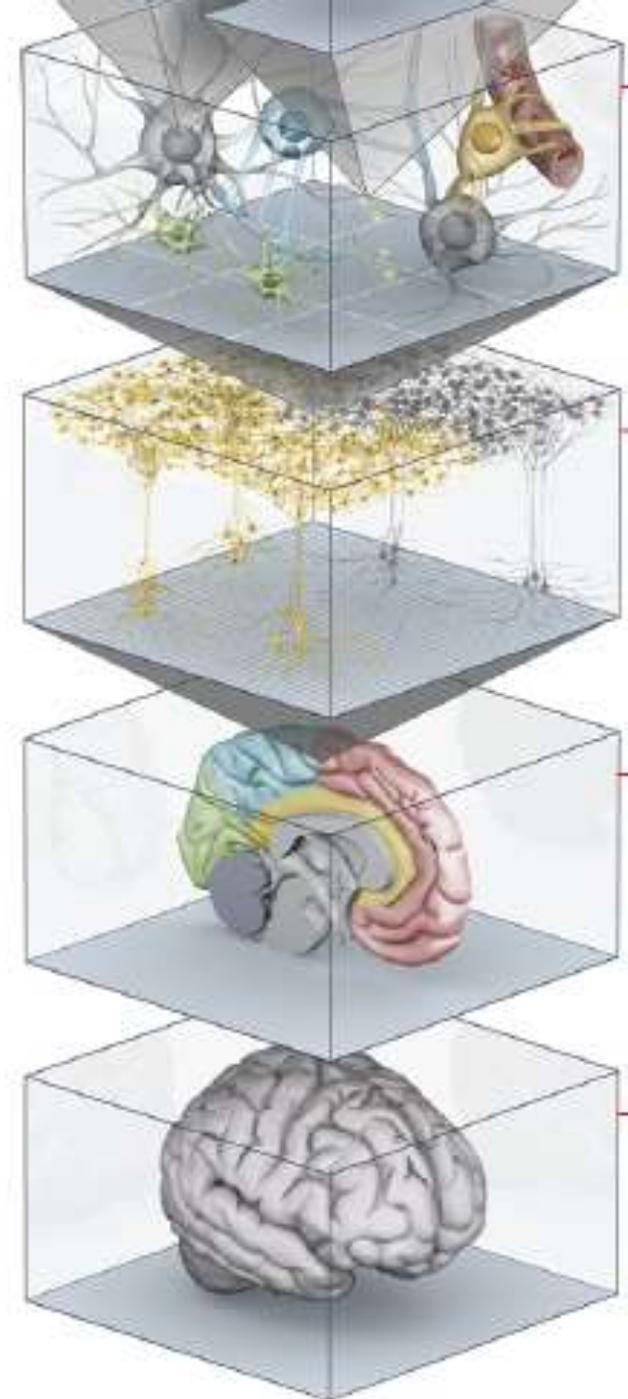
D’autres pensent le contraire...



l'échelle « micro »

**l'échelle « meso »**

l'échelle « macro »

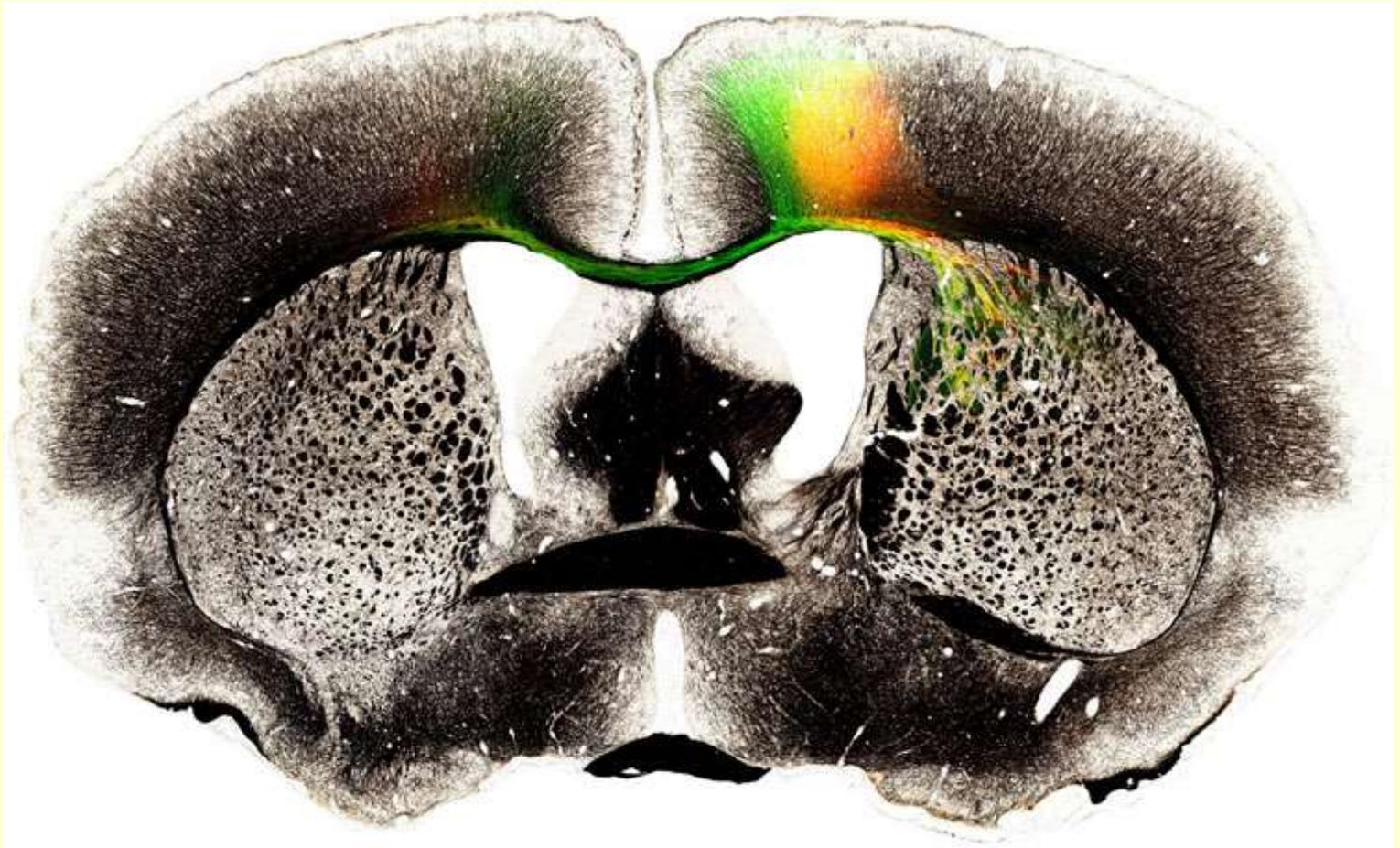


À l'échelle « meso » :

## Mouse Brain Architecture Project

<http://brainarchitecture.org/mouse/about>

Projet de cartographie du **cerveau entier de la souris** à une échelle plus fine que celle que l'on peut obtenir avec l'imagerie cérébrale, mais allant moins dans le détail que la microscopie électronique capable de montrer le détail des synapses.



# Mouse Connectome Project (MCP)

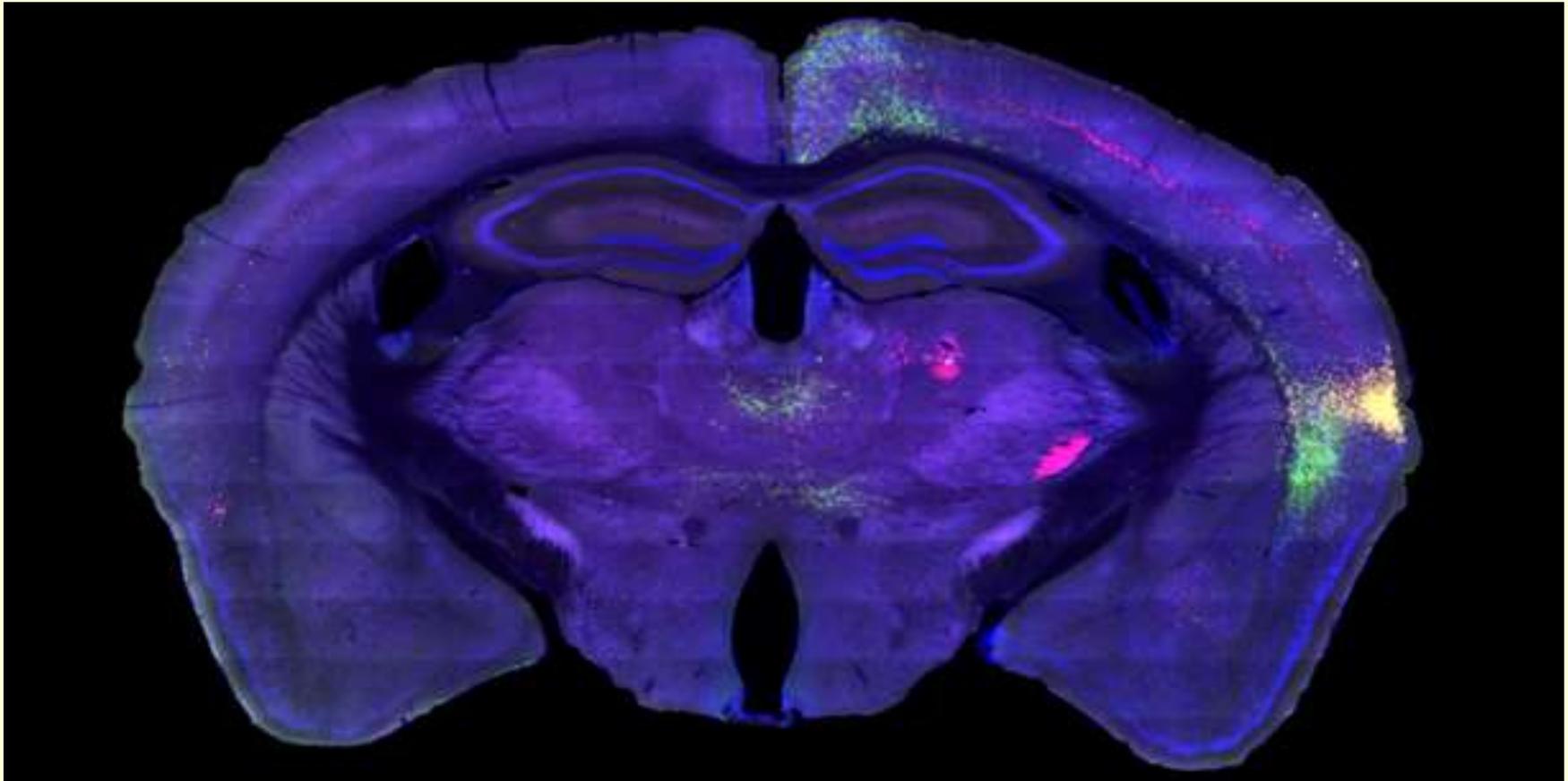
## Neural Networks of the Mouse Neocortex

Zingg B., Hintiryan H., Gou L., Song M., Bay M., Bienkowski M., Foster N., Yamashita S., Bowman I. & Toga A. & Dong H.W. (2014).

*Cell*, 156 (5) 1096-1111.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867414002220>

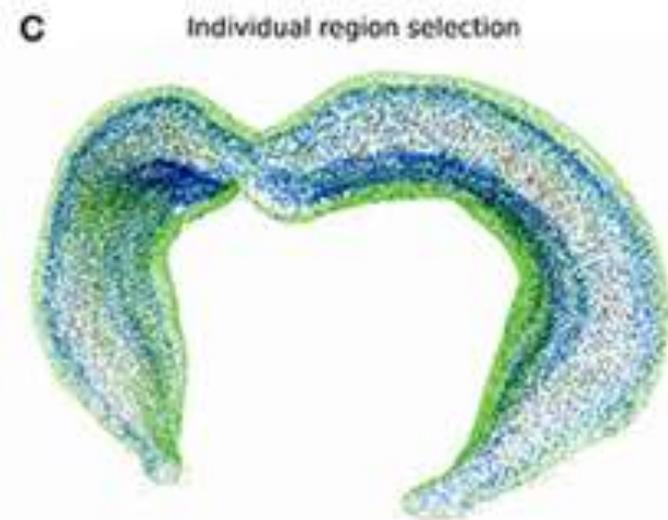
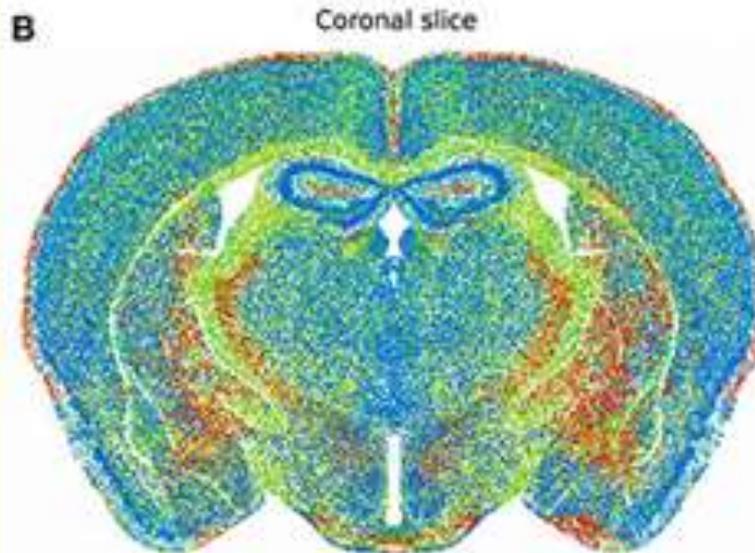
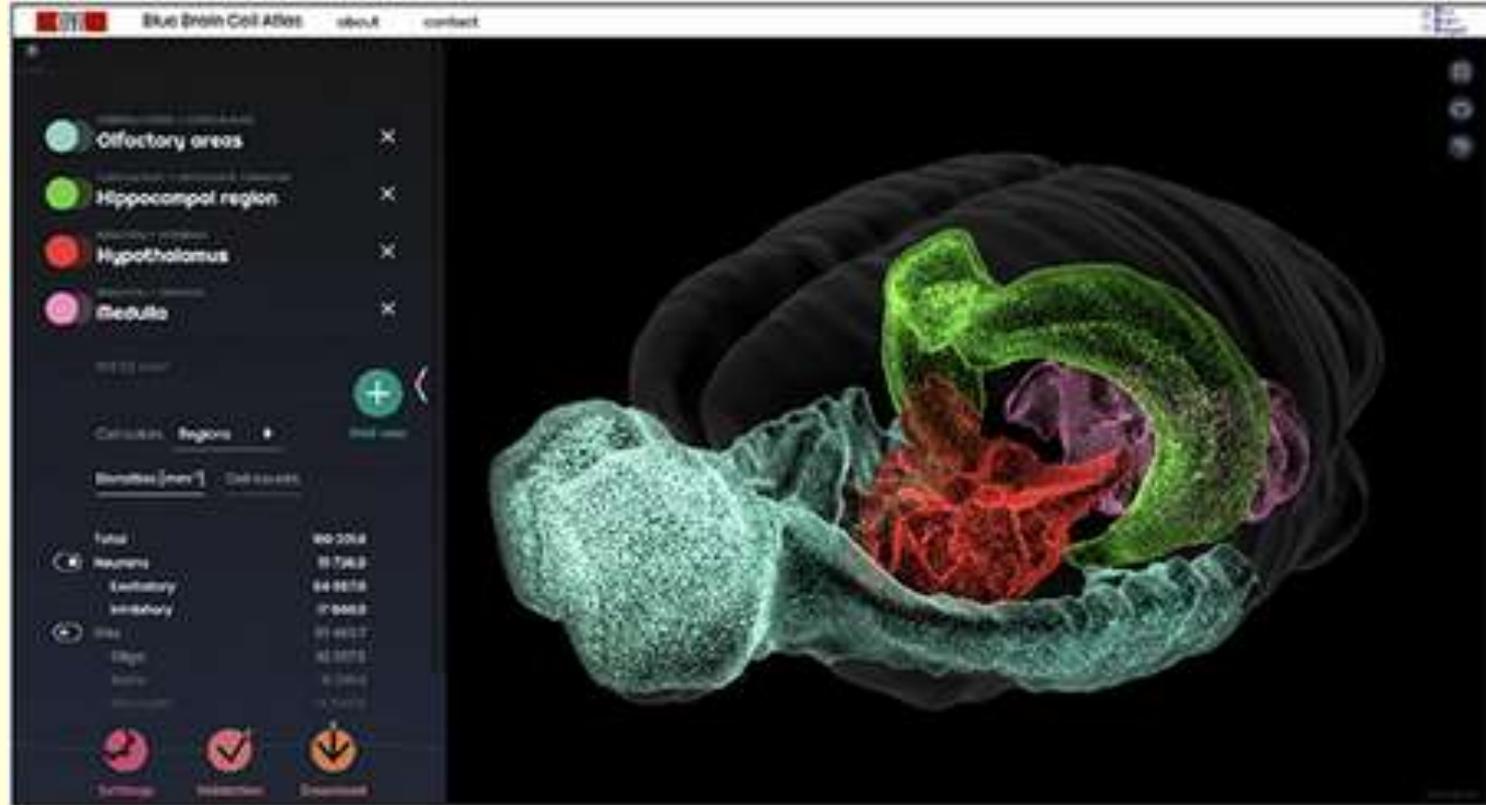
*“The MCP also used an advanced method to map the brain circuits better: **double coinjection tract tracing**.”*



10 décembre 2018

# Premier atlas virtuel en 3D de toutes les cellules du cerveau de souris

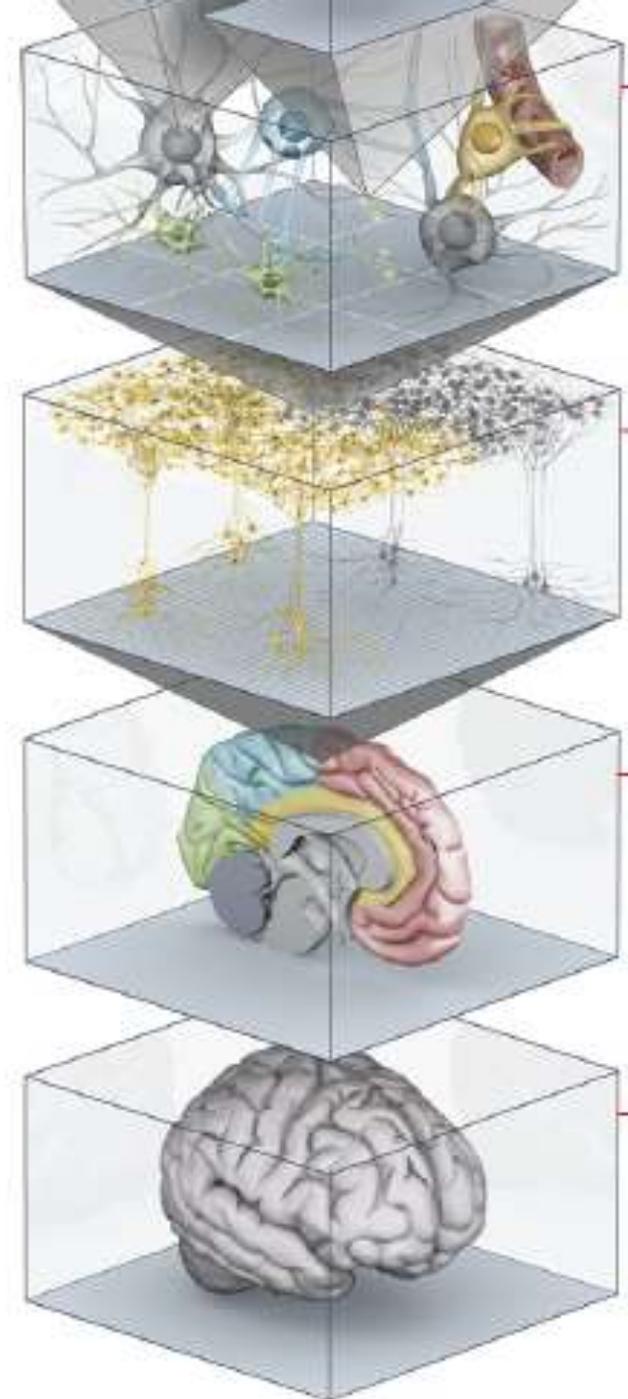
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2018/12/10/7752/>



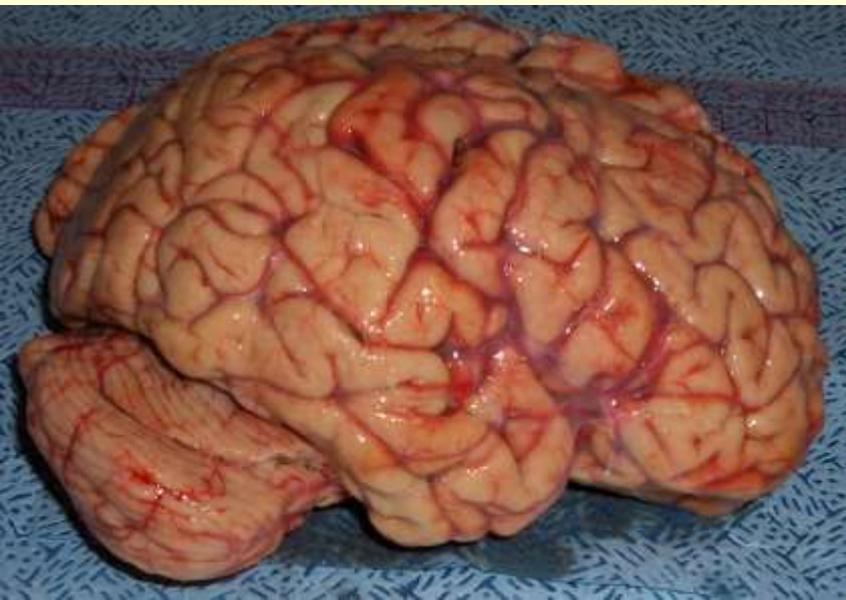
l'échelle « micro »

l'échelle  
« meso »

**l'échelle  
« macro »**



Cerveau humain



À l'échelle « macro » :

## BigBrain

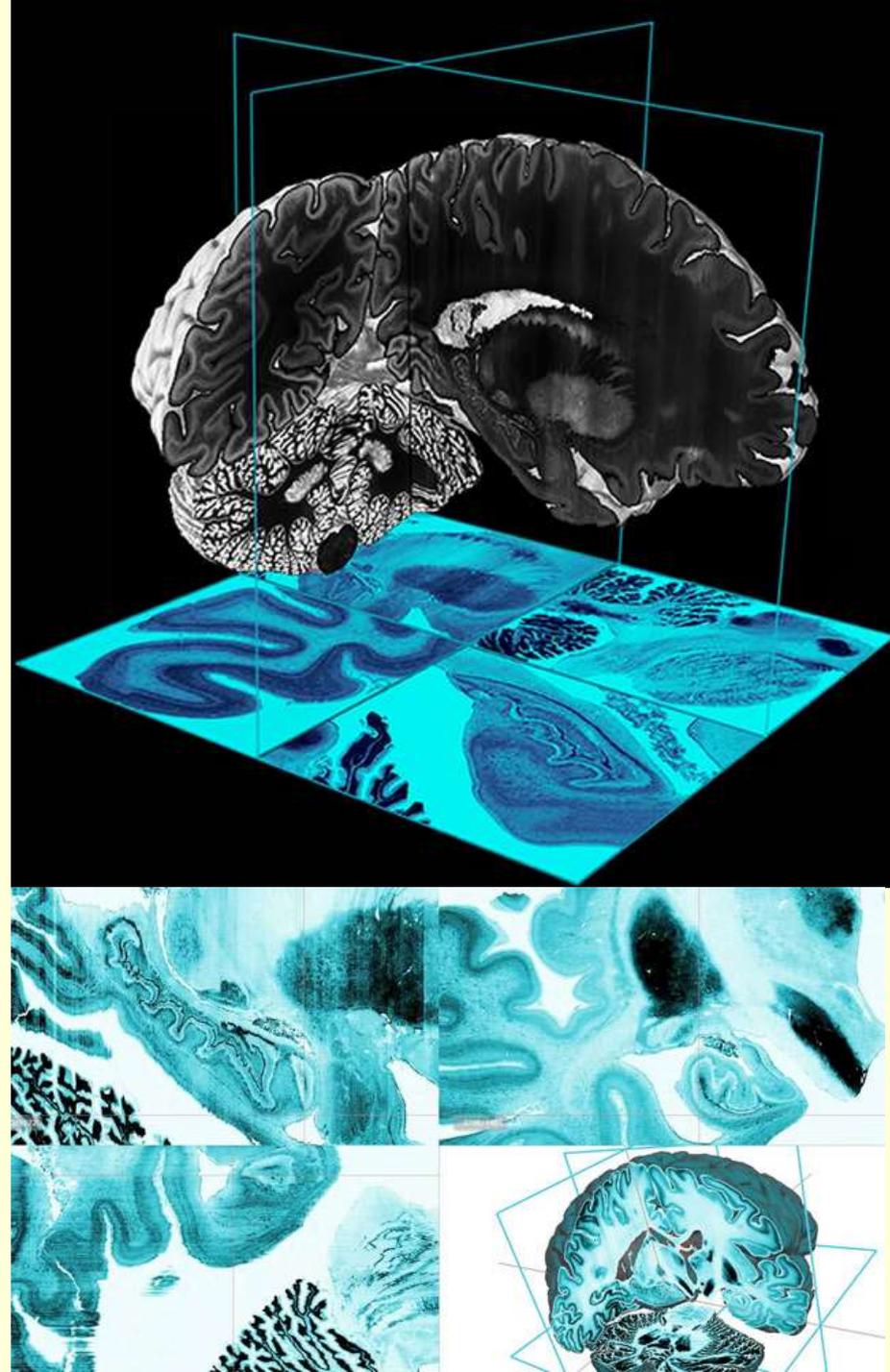
<https://bigbrain.loris.ca/>

Un groupe international de chercheurs en neurosciences ont tranché, imagée et analysé le cerveau d'une femme de 65 ans, pour créer **la carte la plus détaillée de l'intégralité d'un cerveau humain.**

Cet atlas 3D a été rendu public en **juin 2013** et est le fruit du travail de scientifiques du Montreal Neurological Institute et du German Forschungszentrum Jülich et fait partie du Human Brain Project.

3D Map Reveals Human Brain in Greatest Detail Ever

<http://www.livescience.com/37605-human-brain-mapped-in-3d.html>



L'atlas a été réalisé grâce à la compilation de 7400 des tranches de ce cerveau conservé dans de la paraffine, chacune plus fine qu'un cheveu humain (20-microns).

Il a fallu 1000 heures pour les imager à l'aide d'un scanner à plat, générant ainsi 1 milliard de milliards d'octets de données pour **reconstruire le modèle 3D du cerveau sur un ordinateur.**



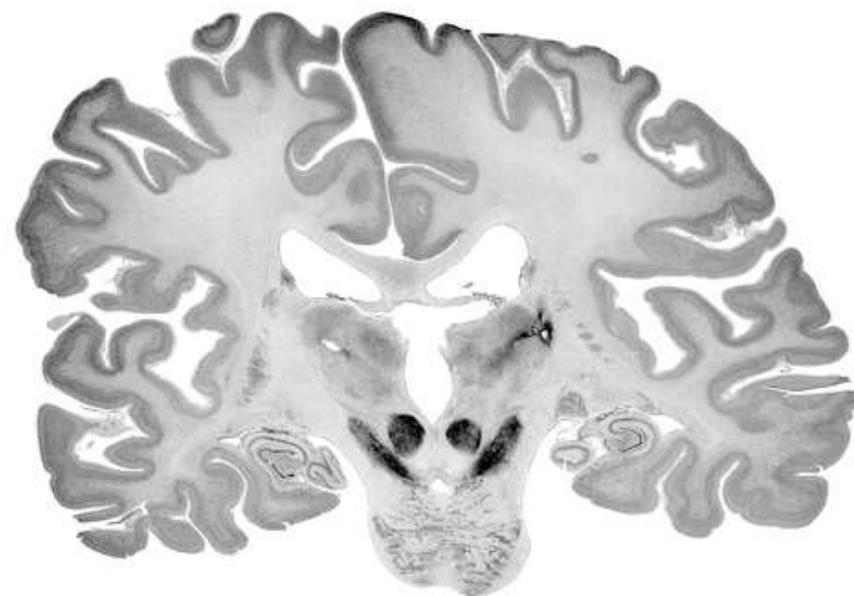
Des **cerveaux de référence** ont déjà été cartographiés avec l'IRMf, mais ils n'ont une résolution que de 1 mm cube alors que les tranches de 20  $\mu\text{m}$  de BigBrain permettent une **résolution 50 fois meilleure.**

## To download BigBrain

The full resolution histological MINC or PNG file of a selected section can be obtained by clicking on the download links to the right of the viewer.

[Previous Section](#)

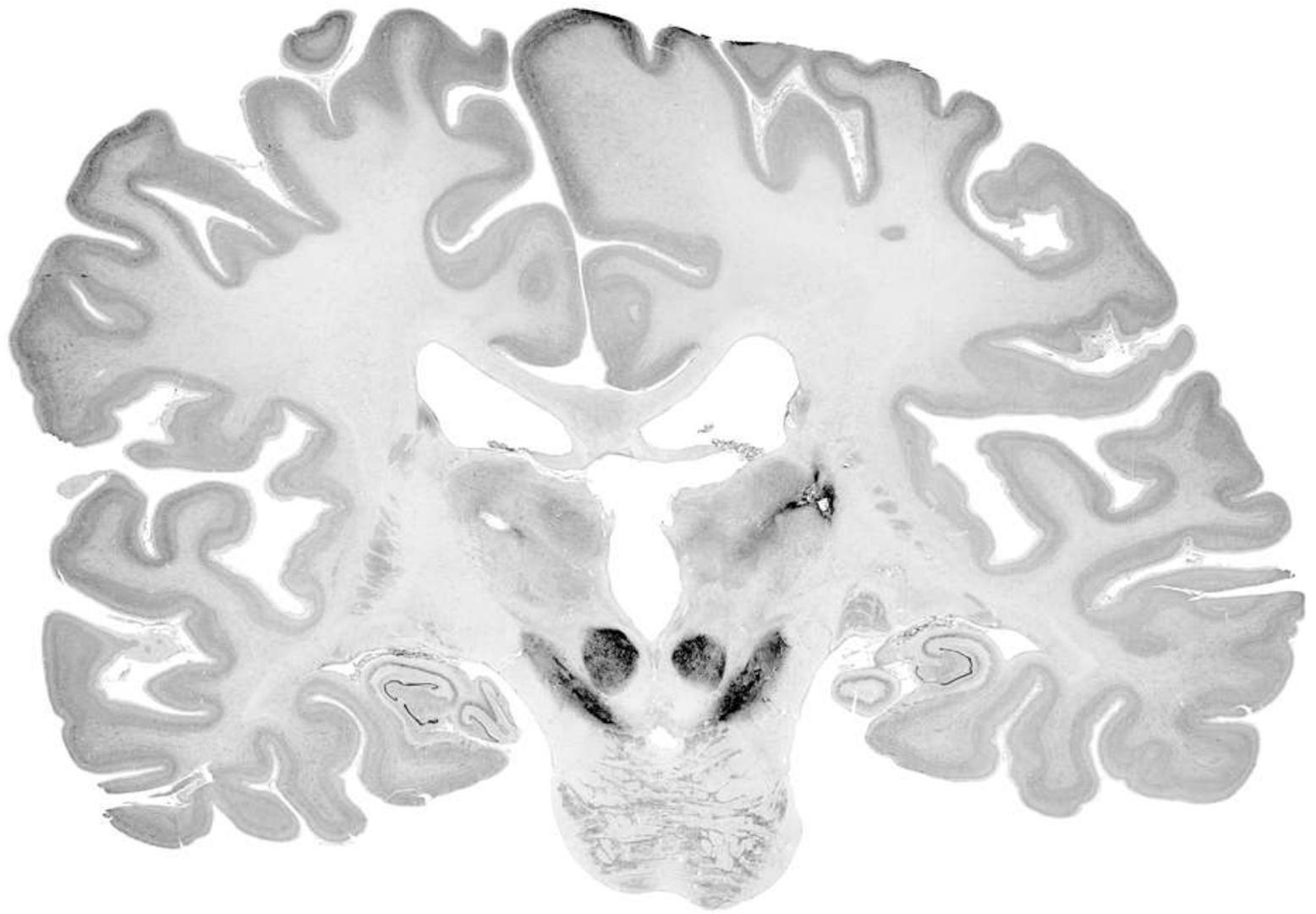
[Next Section](#)

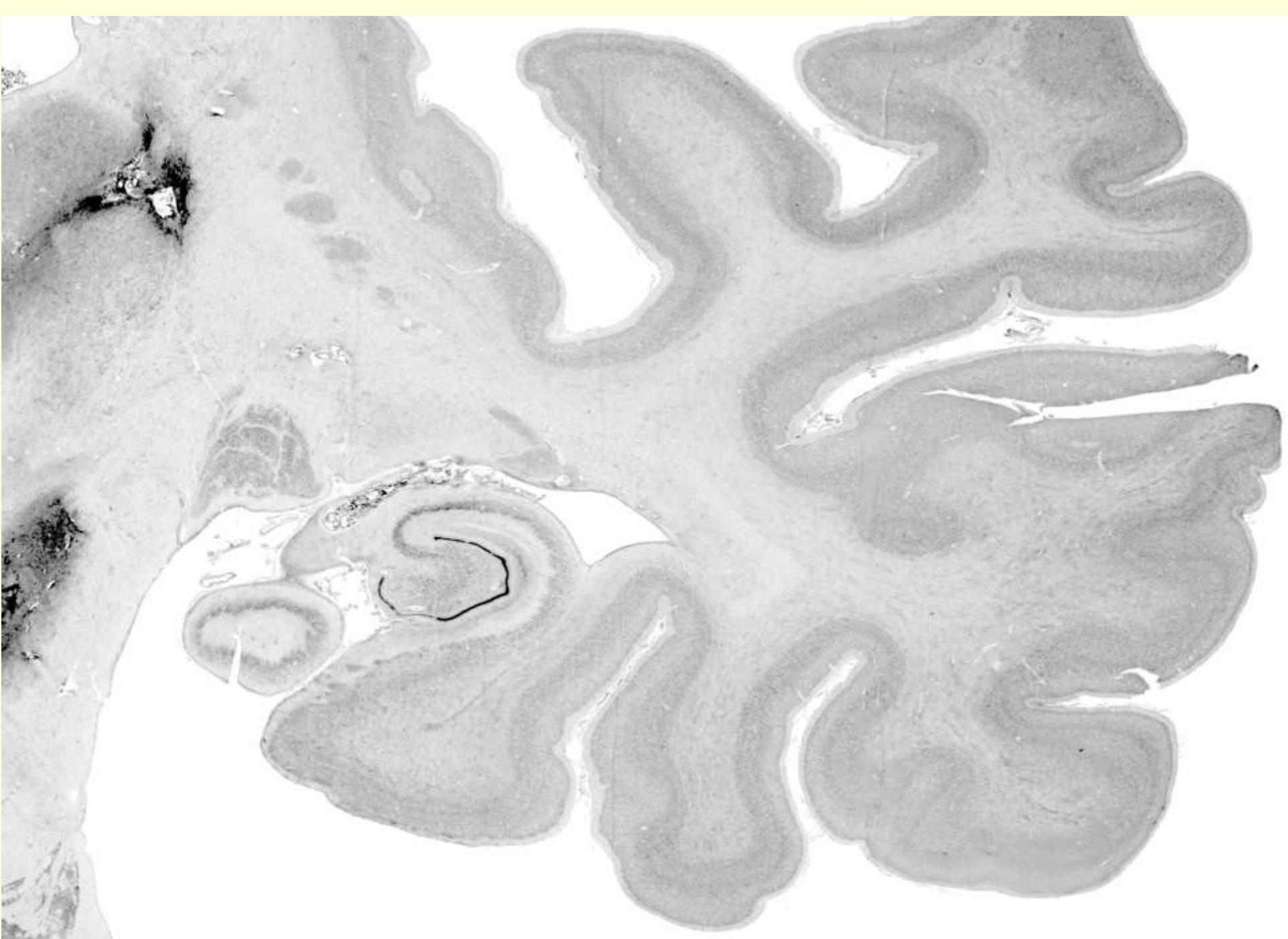


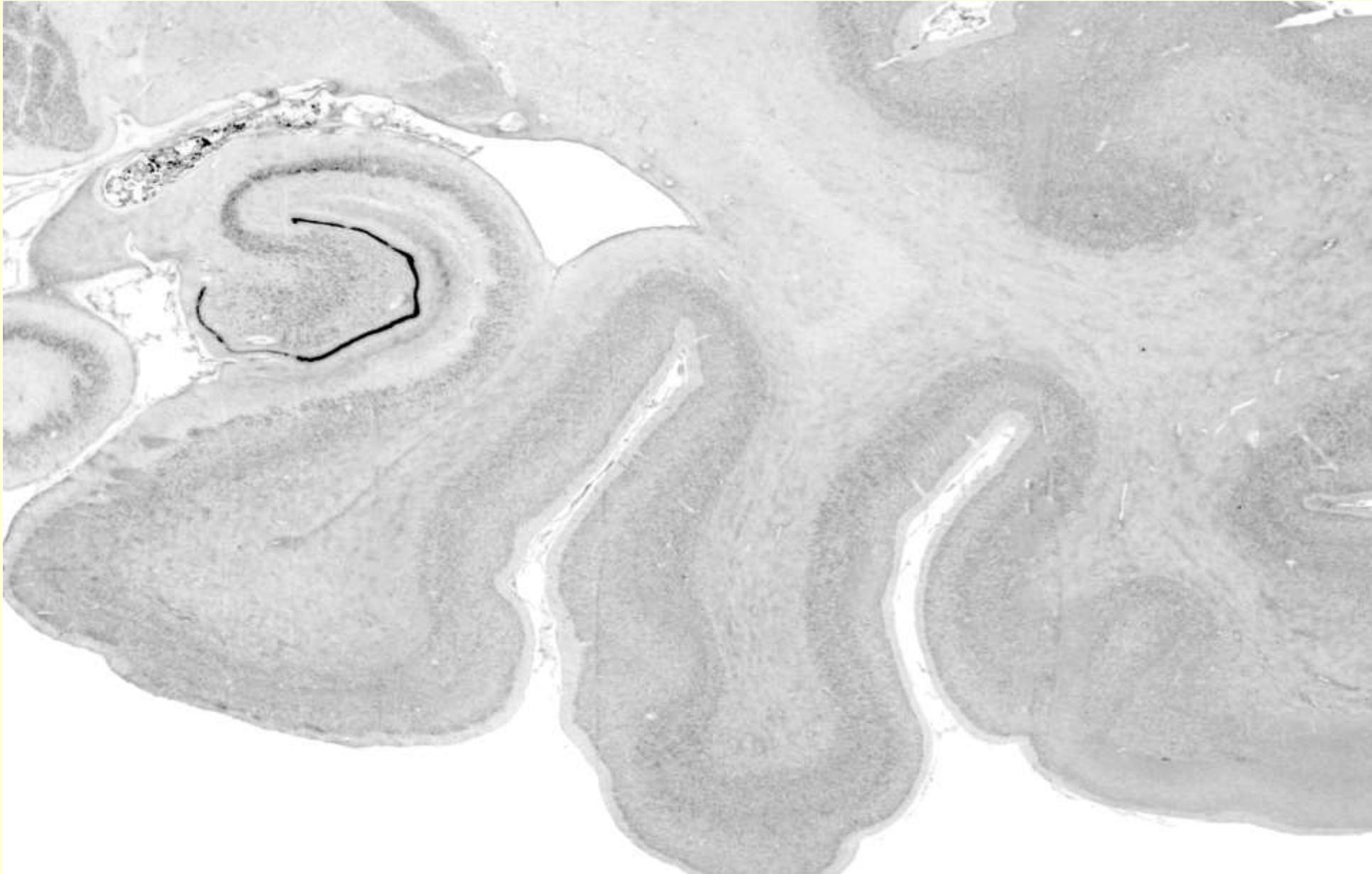
| [Loris Website](#) | [BigBrain FTP](#) |

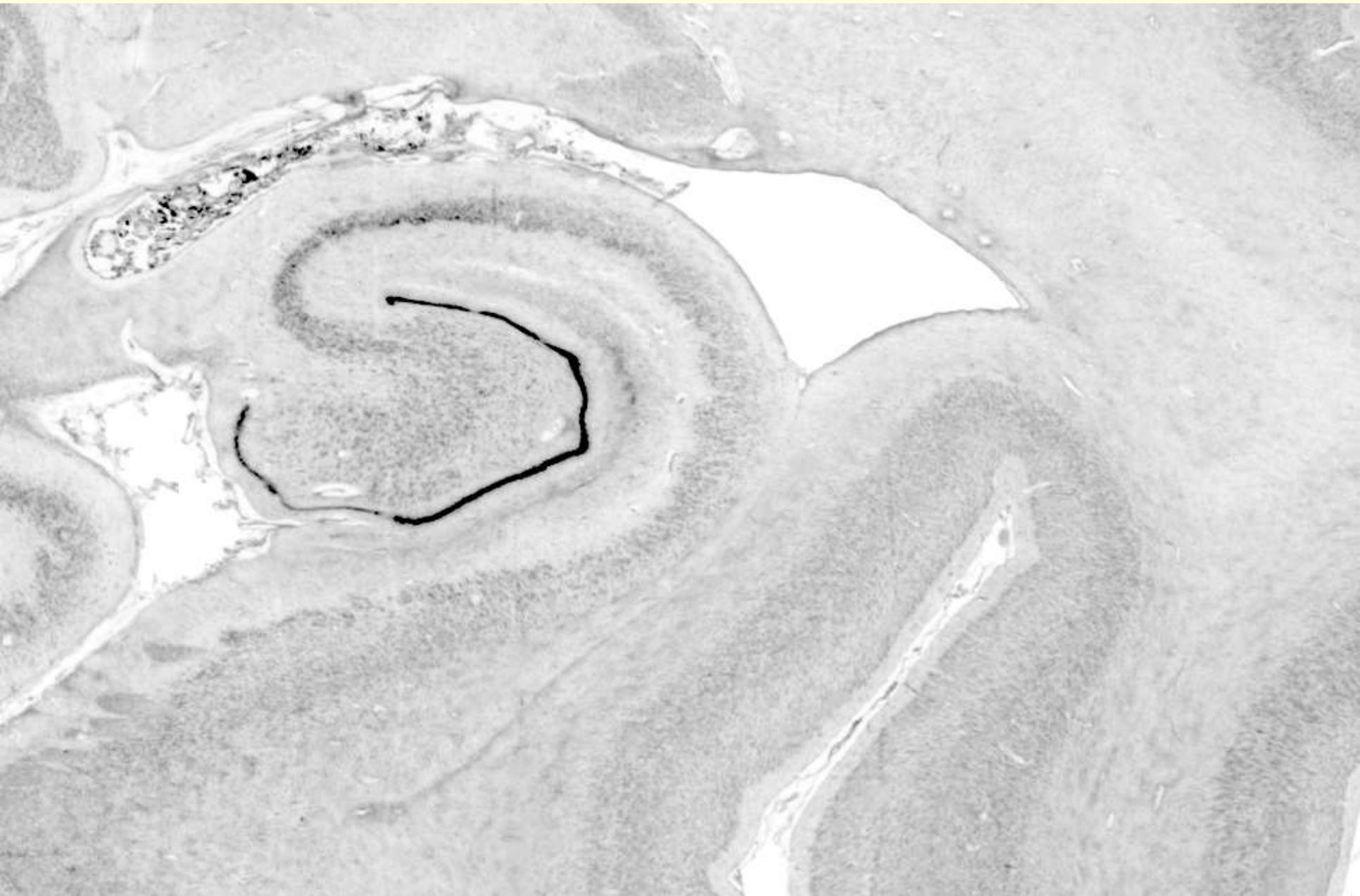
Powered by LORIS © 2017. All rights reserved.

Created by [MCIN](#)









Jusqu'ici, on regardait des cerveaux **morts**.

À partir d'ici on va voir des techniques permettant de regarder des cerveaux **vivants** !

Le vôtre, par exemple, si l'on vous met dans un scanner...

# L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

L'avènement de l'IRM à la fin des années **1970** a eu l'effet d'une bombe dans le milieu médical.



Cette nouvelle technique n'utilisait ni les rayons X, ni les ultrasons, mais faisait plutôt appel aux **champs magnétiques** en exploitant des propriétés physiques de la matière au niveau sub-atomique,

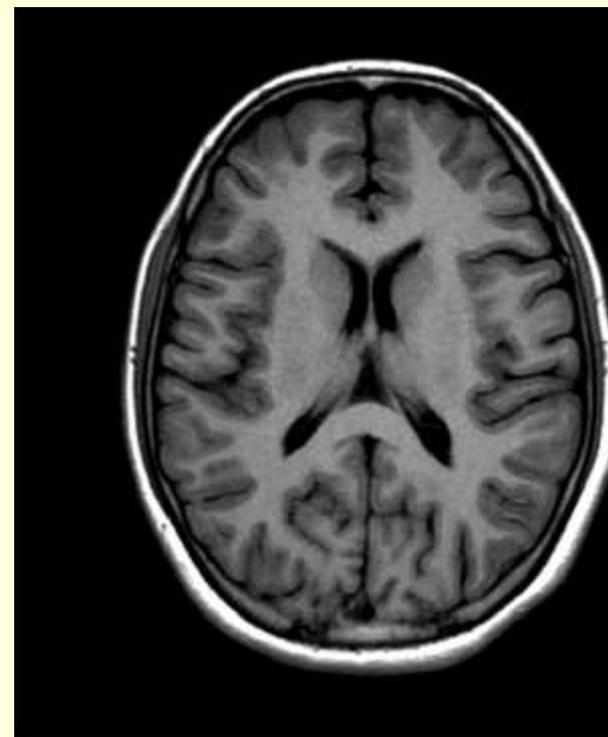
en particulier de l'eau qui constitue environ les trois quarts de la masse du corps humain.

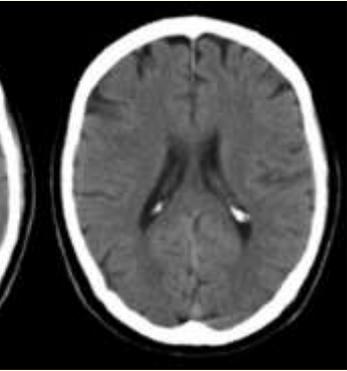
L'IRM, en plus d'une **définition supérieure au CT scan**  
(rayons X assistés par ordinateur),

CT  
scan

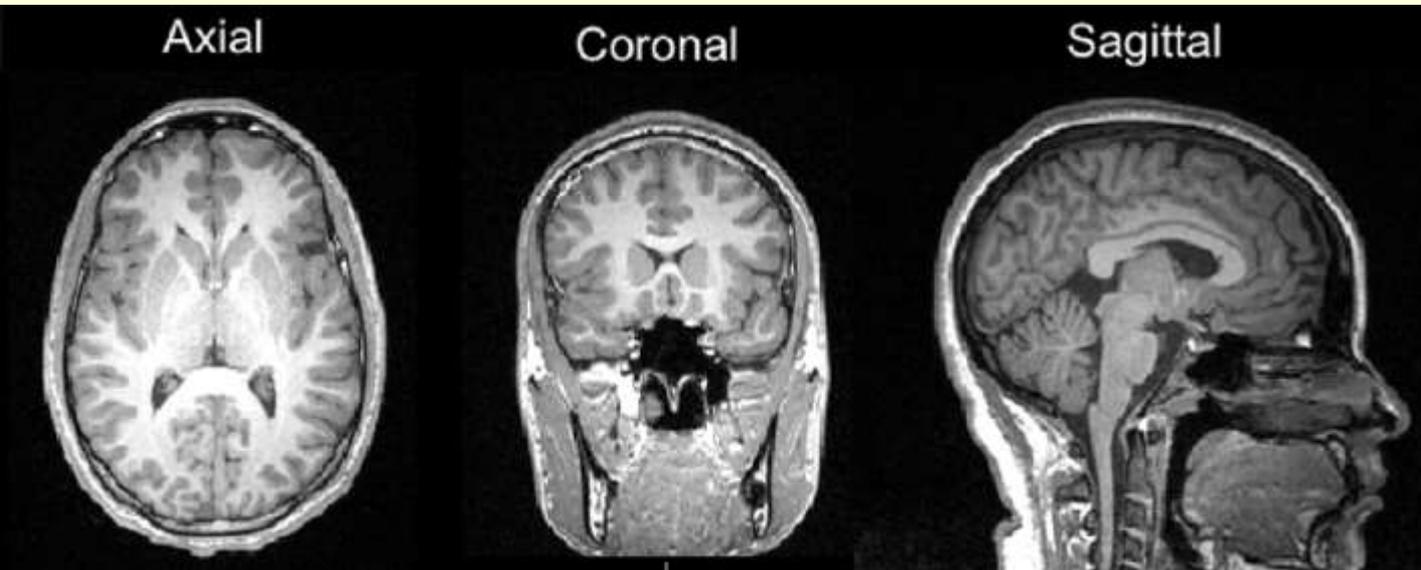


IRM





permet aussi d'obtenir non seulement des coupes axiales du cerveau (comme avec le CT scan), mais aussi des coupes coronales et sagittales.

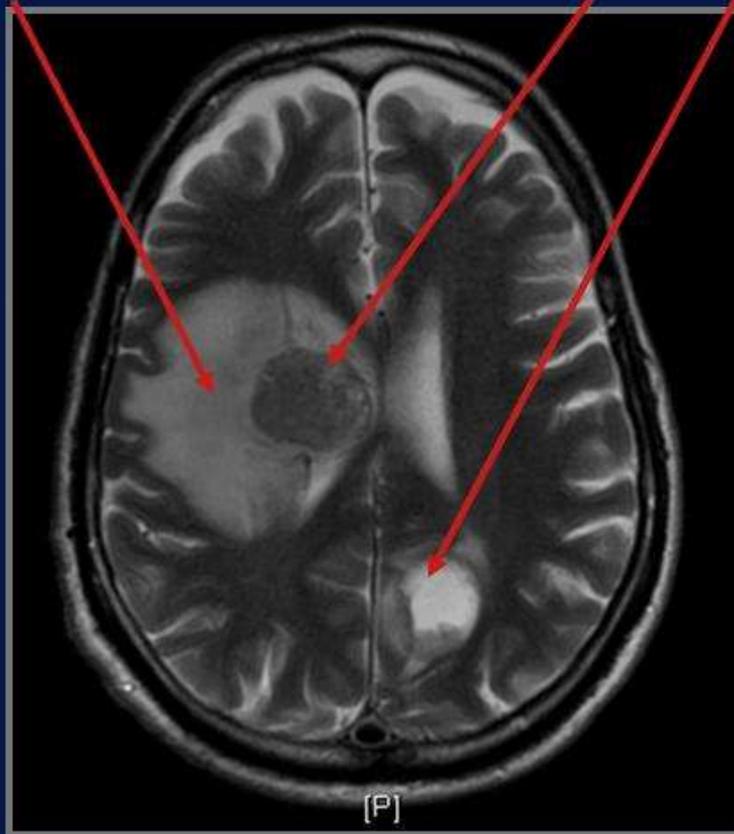


# Brain Metastases on MRI Images

---

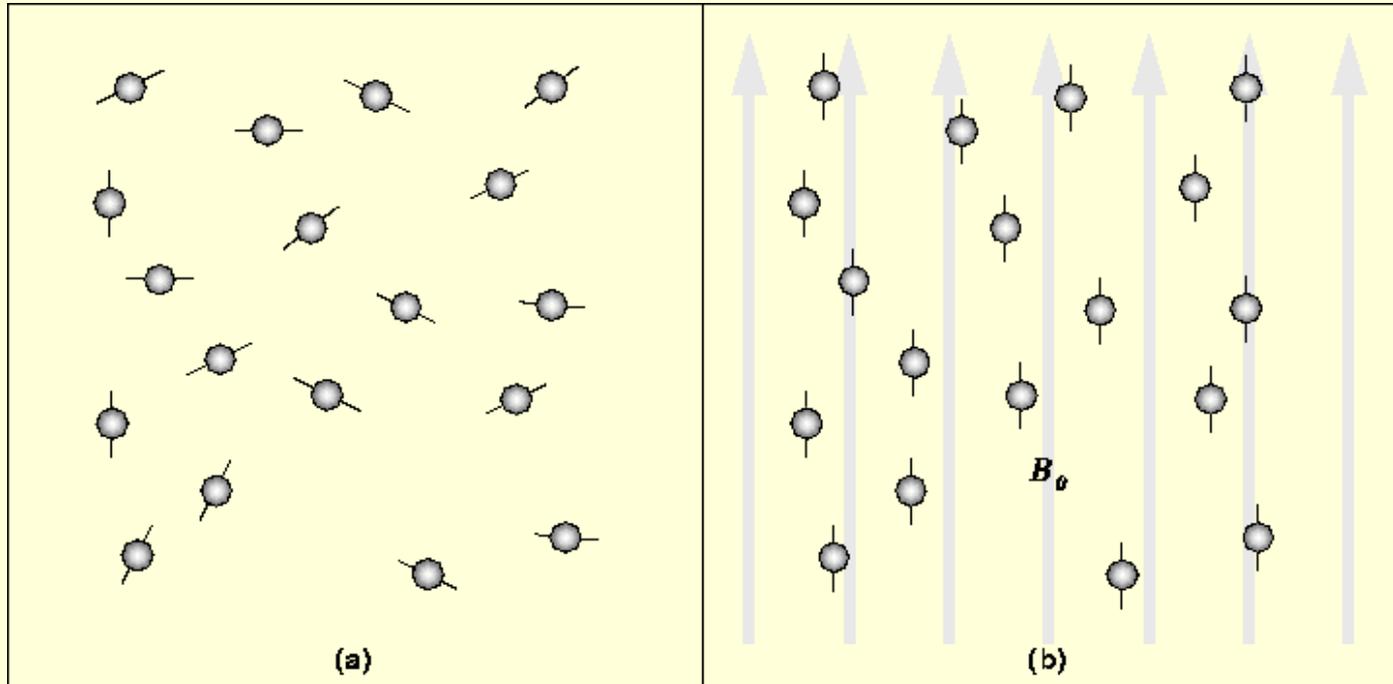
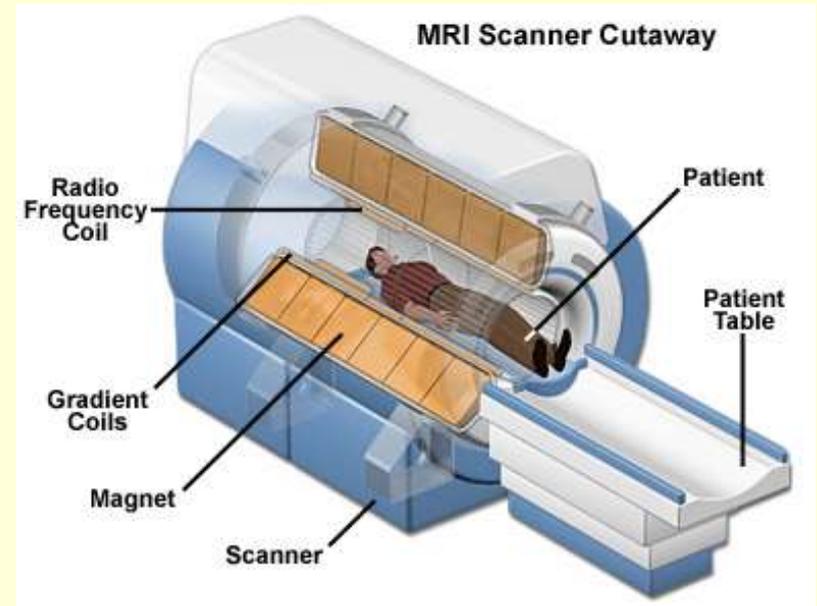
Edema (swelling)

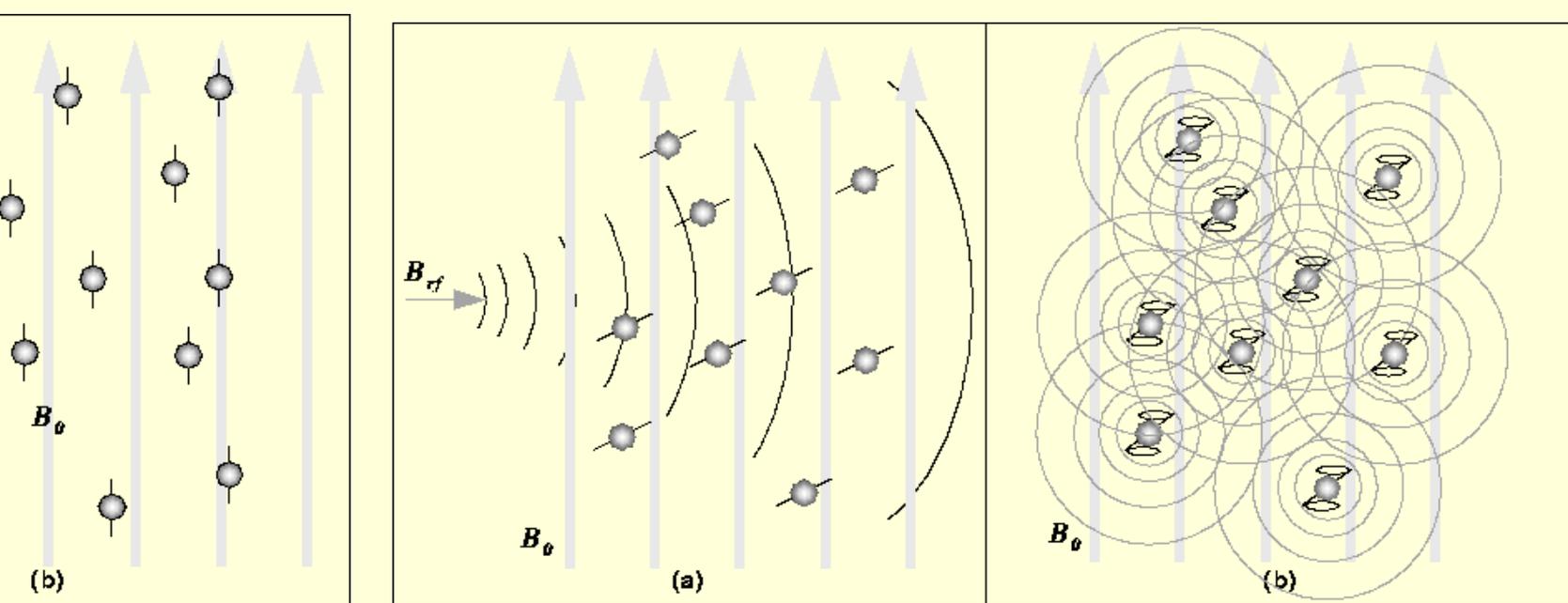
Brain metastases



## Principe de fonctionnement :

- le **champ magnétique** de l'appareil de résonance magnétique **va aligner** celui, beaucoup plus faible, de chaque proton des **atomes d'hydrogène** contenus dans l'eau des différents tissus de l'organisme;





- la région dont on veut avoir une image est ensuite bombardée par des **ondes radios**;
- à l'arrêt des ondes radios, les protons retournent à leur alignement original en **émettant un faible signal radio** (la fameuse «résonance magnétique»);
- l'intensité de la résonance magnétique est **proportionnelle à la densité des protons dans le tissu**, et par conséquent à son taux d'hydratation;
- des capteurs spéciaux relaient cette information à un ordinateur qui combine ces données pour créer des images de coupe du tissu dans différentes orientations.



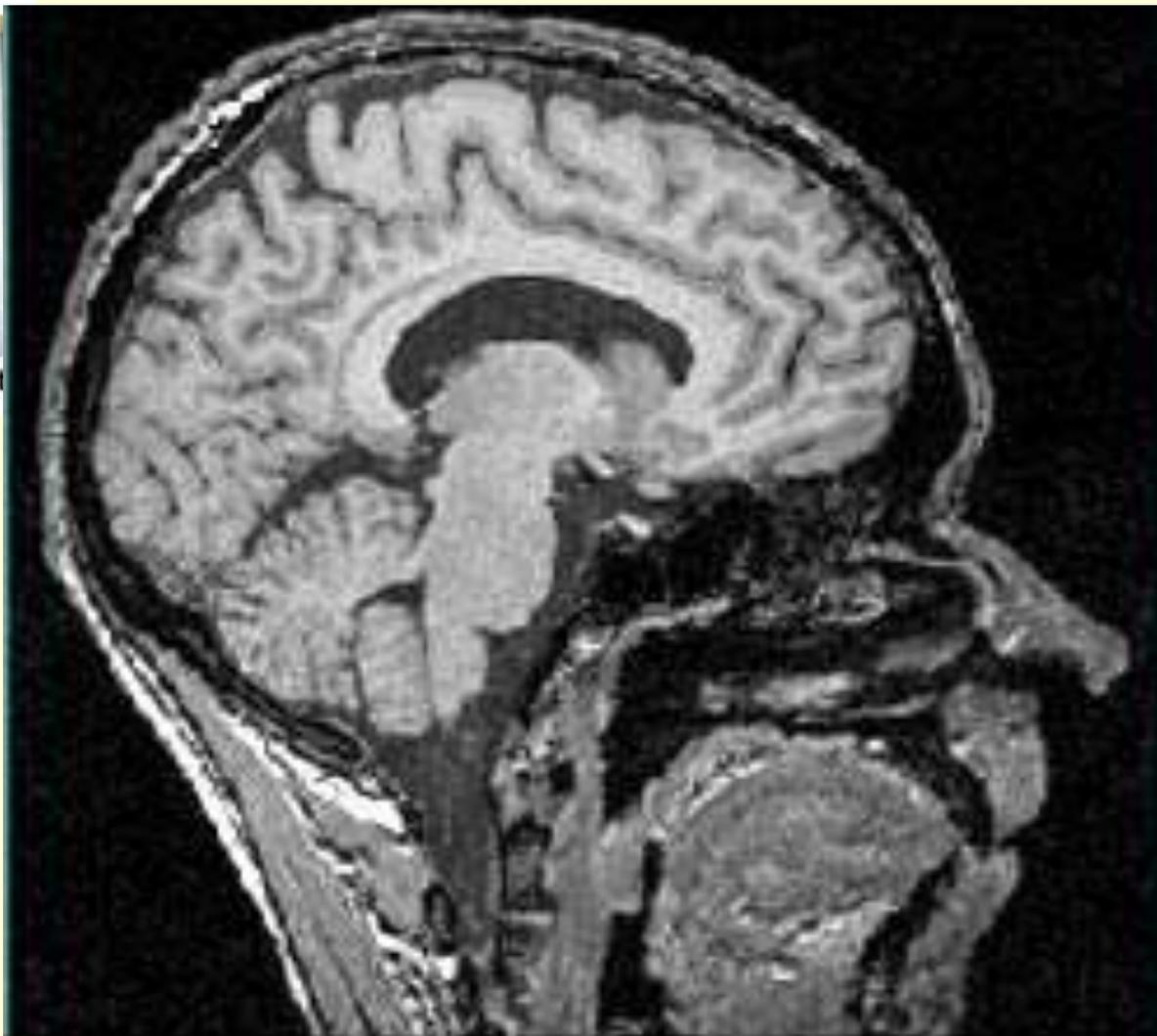
Le sujet reçoit les consignes et est introduit dans le scan d'IRMf.



Au bout de quelques minutes, l'ordinateur est en mesure de produire des images structurales en IRM de coupes sagittales (à gauche) et axiales (à droite) du cerveau du sujet.



Le sujet reçoit les consignes et

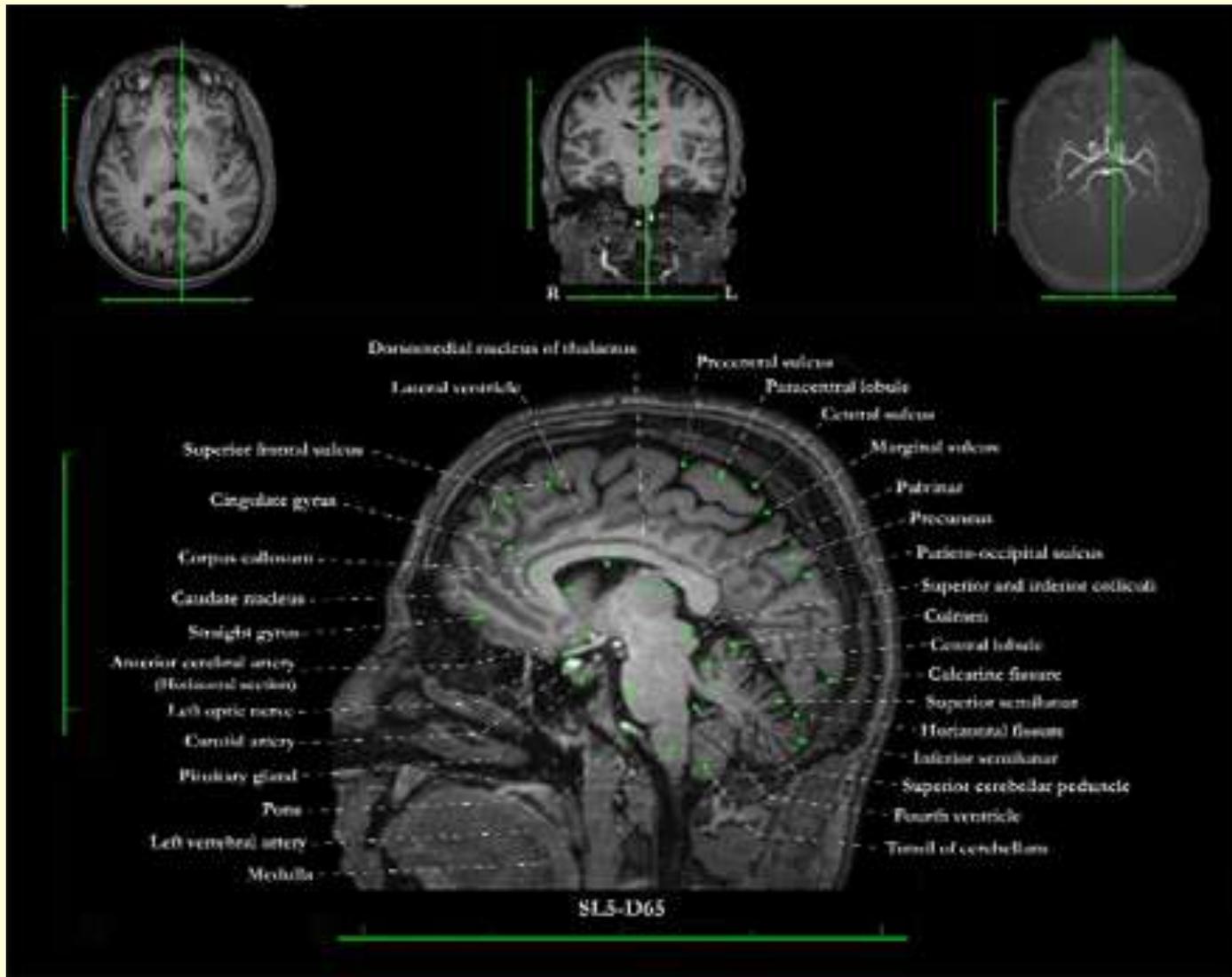


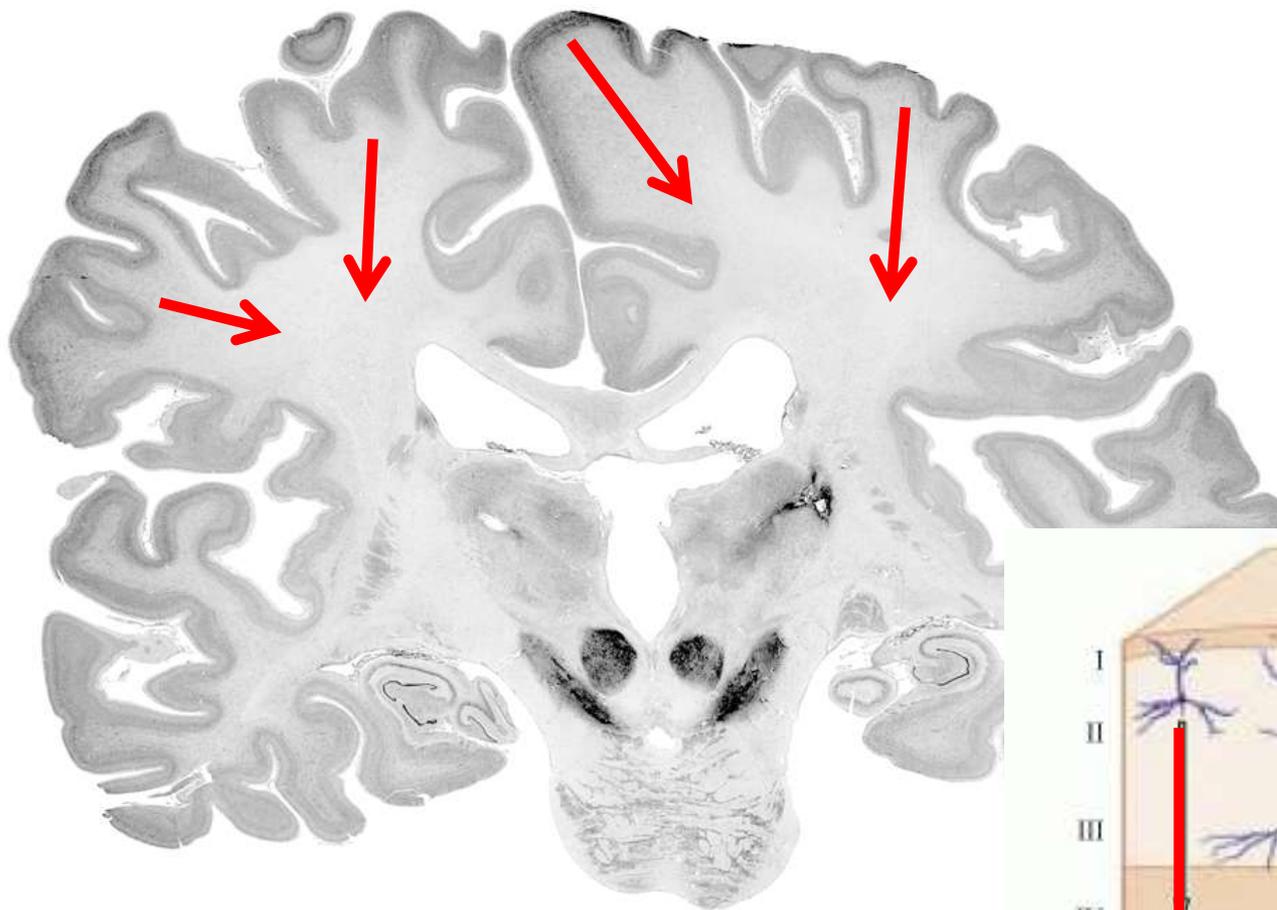
Une coupe sagittale mettant en évidence l'intérieur de l'hémisphère cérébral gauche du sujet.

5 février 2019

## Trois atlas de vrais cerveaux humains accessibles en ligne

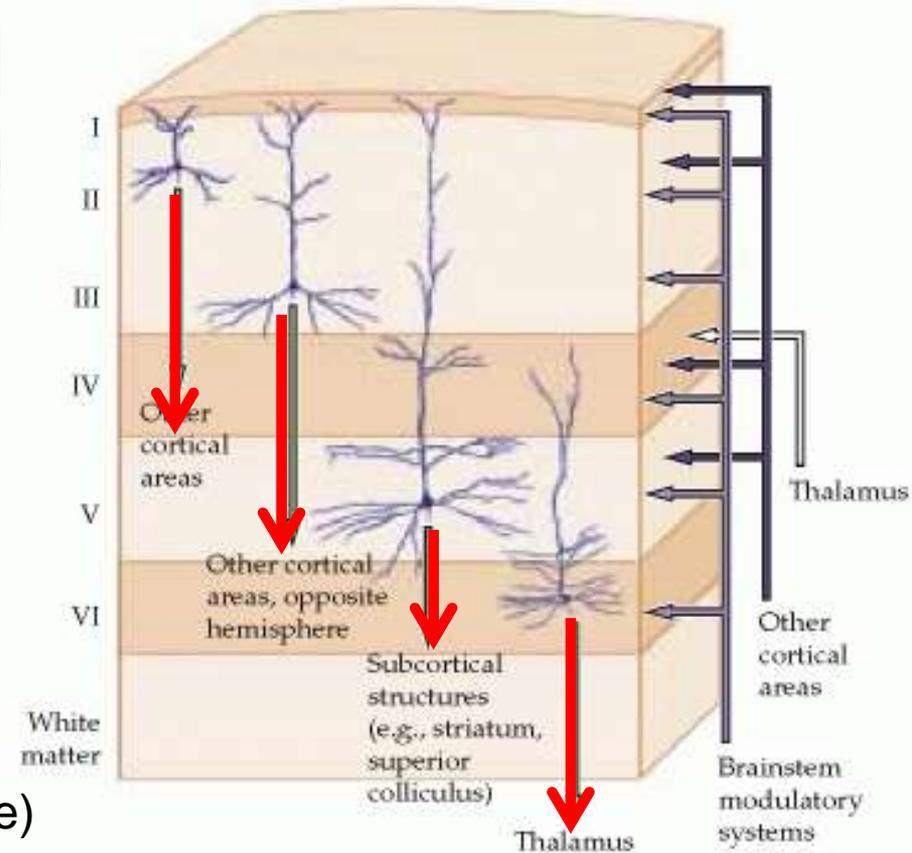
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2019/02/05/trois-atlas-de-vrais-cerveaux-humains-accessibles-en-ligne/>





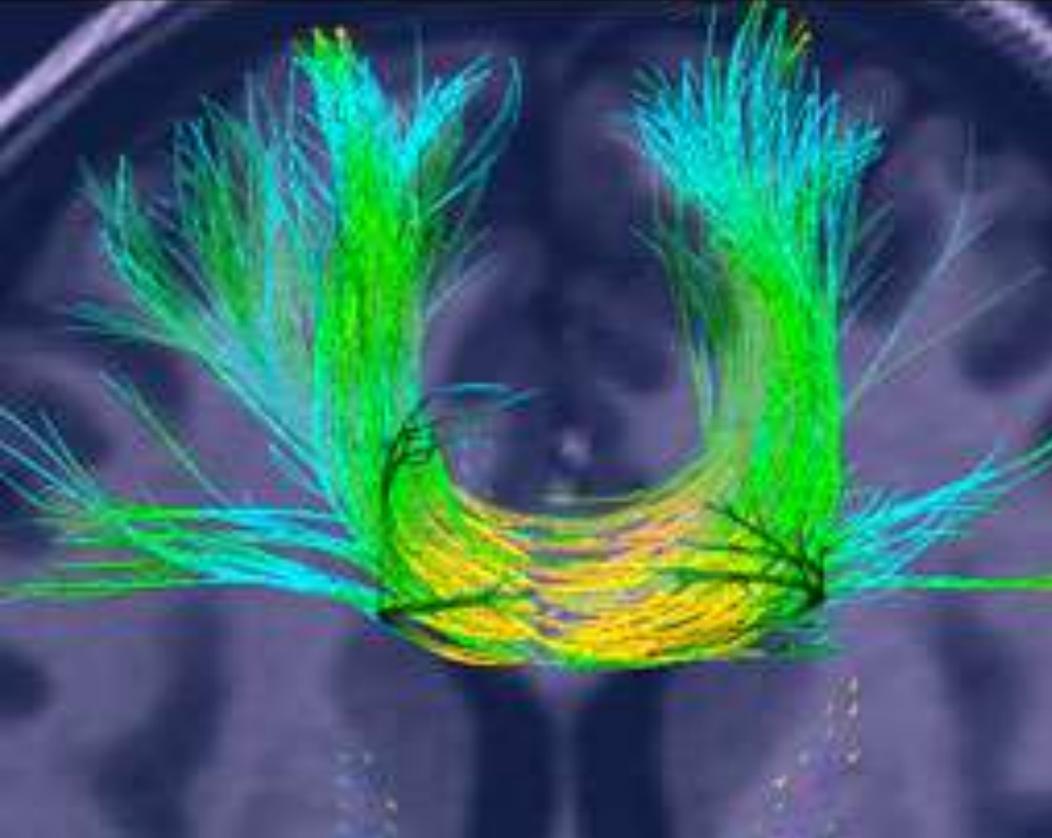
Les **axones** des neurones du cortex se projettent vers l'intérieur du cerveau pour aller rejoindre diverses cibles.

Ils forment ainsi de nombreux **faisceaux** de fibres nerveuses difficiles à distinguer avec les colorations classiques (« matière blanche » car recouvert de myéline)



# DTI

Diffusion Tensor Imaging



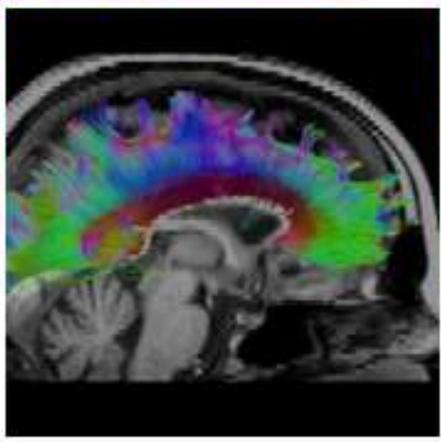
## L'IRM de diffusion

**Diffusion Tensor Imaging (DTI)**

Variantes :

**diffusion weighted imaging (DWI)**

**diffusion spectrum imaging (DSI)**

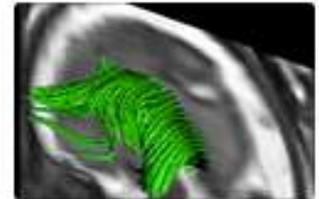


## Diffusion Imaging

13 likes

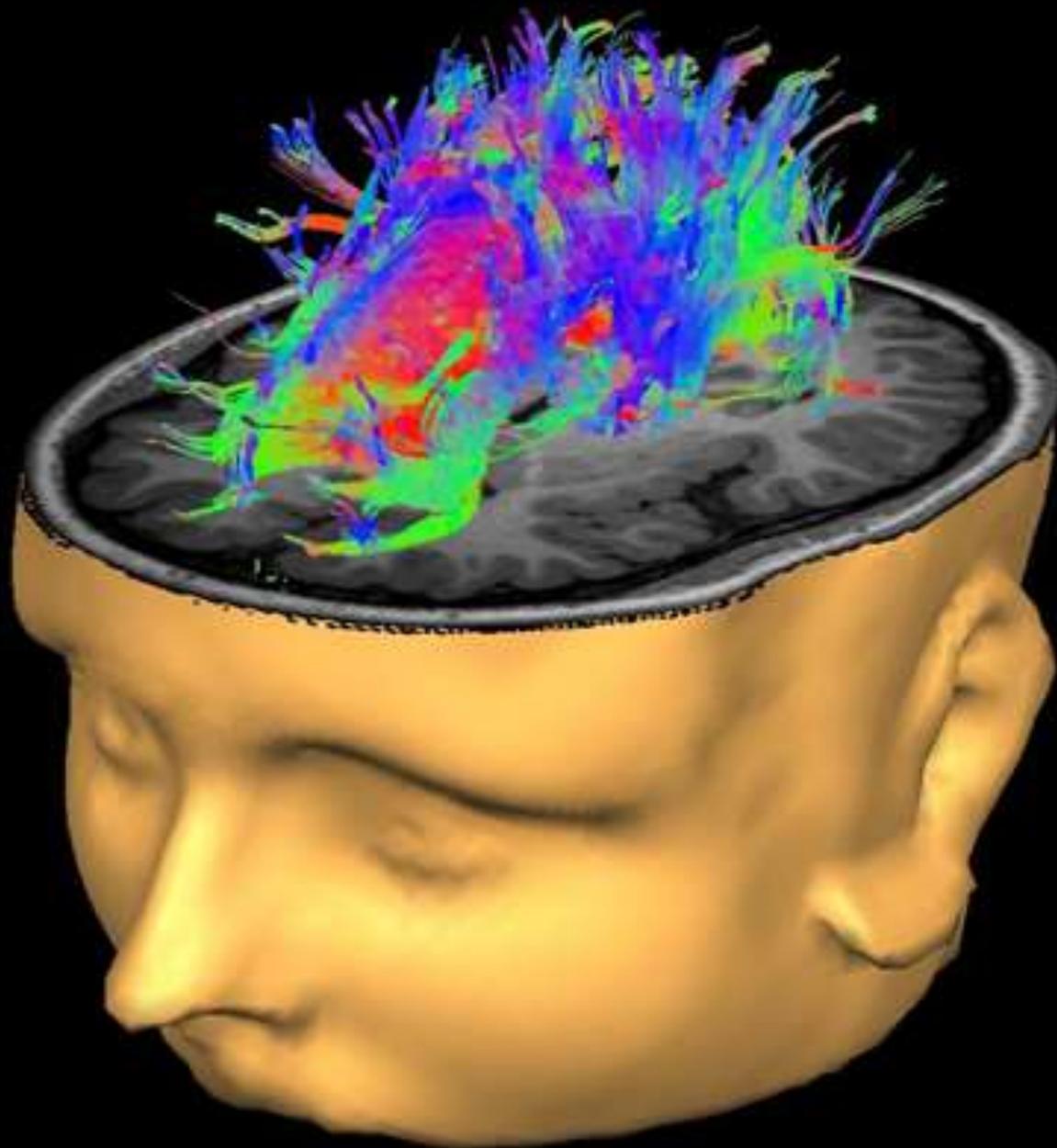
Community [?]

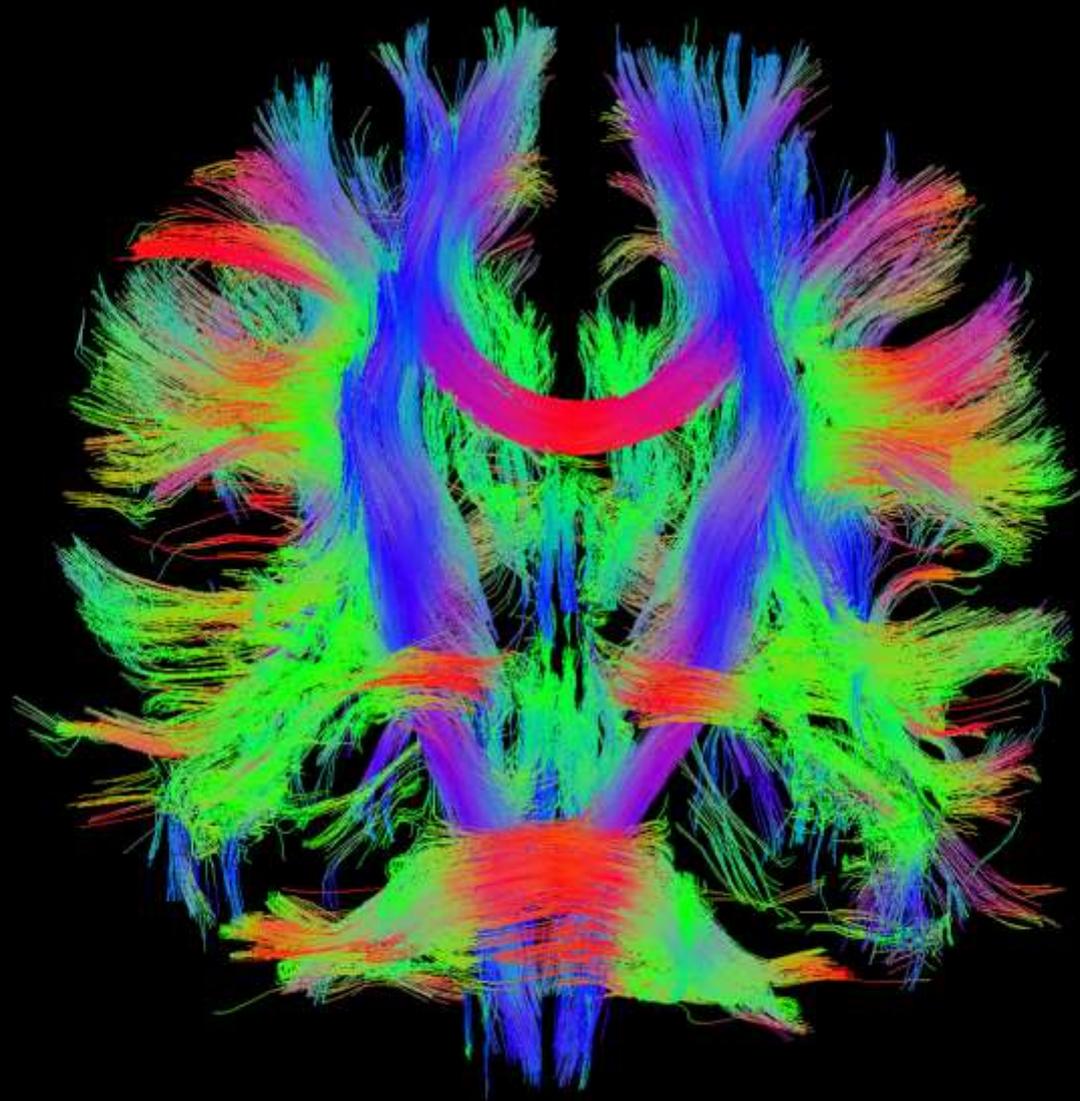
Diffusion Tensor Imaging is a cutting edge imaging technique that provides quantitative information with which to visualize and study connectivity and continuity of neural pathways in the central and peripheral nervous systems in vivo (Basser et al. 2000)



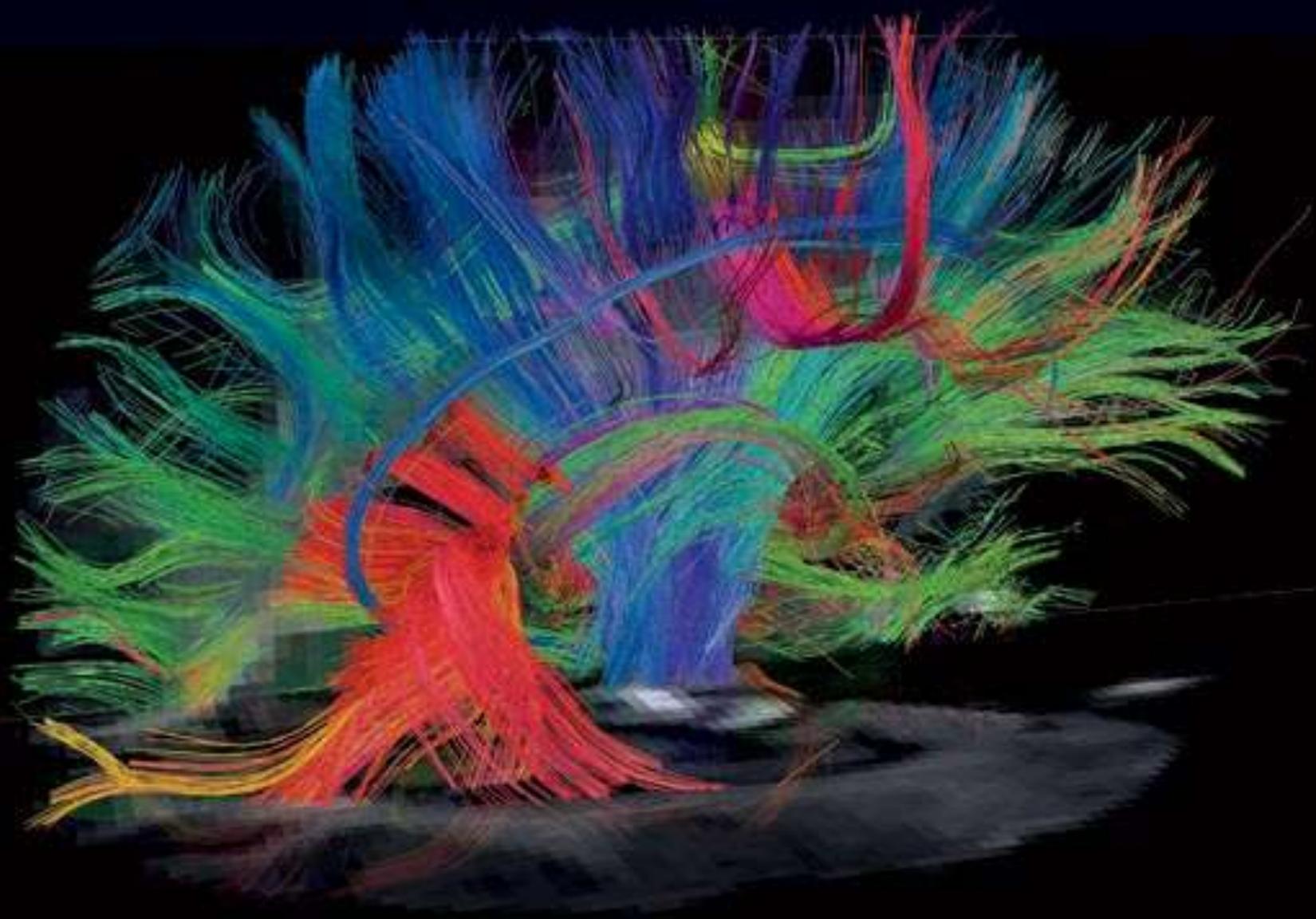
- Premières images : **1985**
- Méthode **non invasive** qui permet de visualiser les grandes connections entre différentes parties du cerveau sur une base individuelle

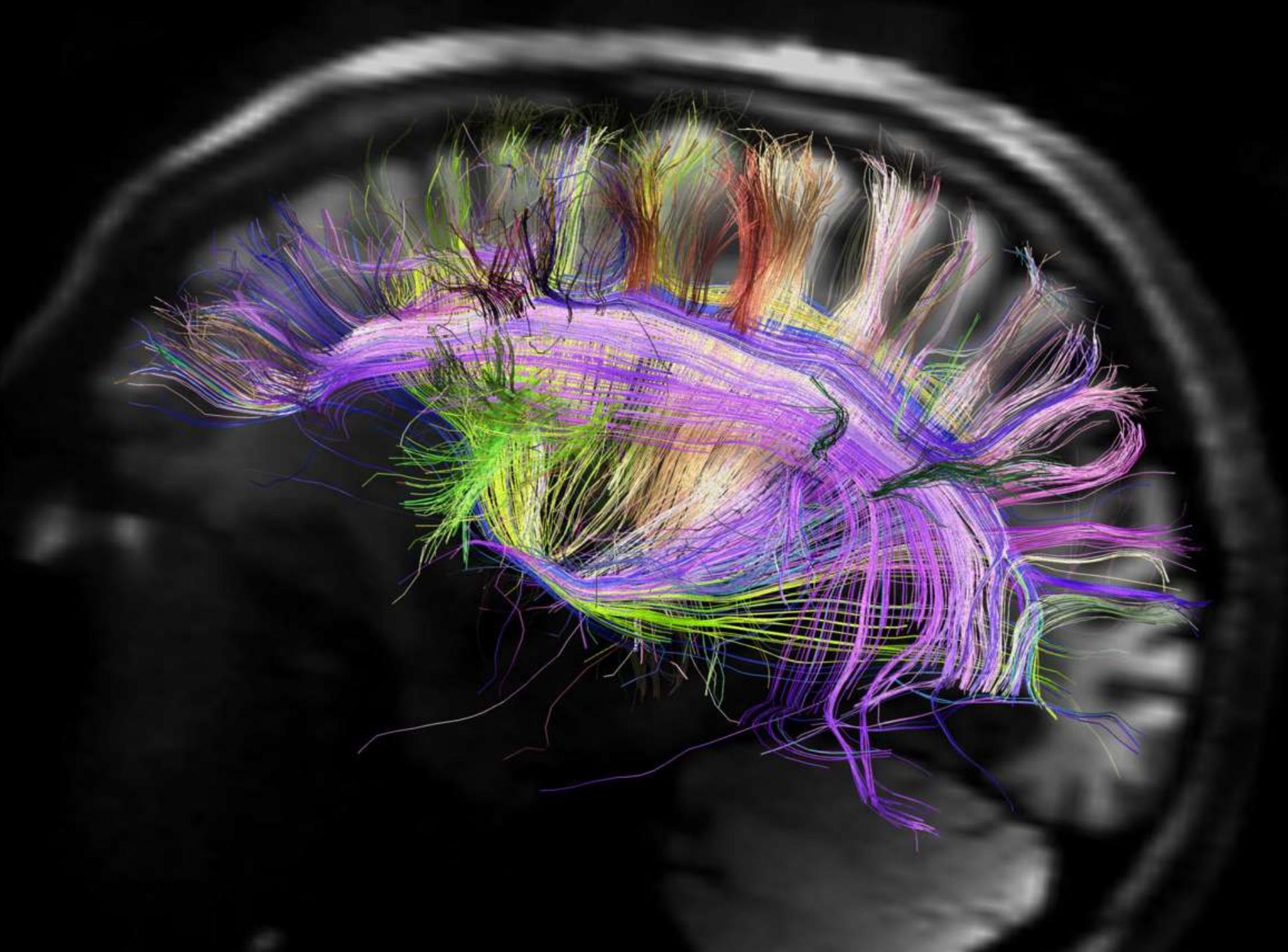
Avec la puissance de traitement des ordinateurs, la qualité des images s'est amélioré au fil des années.



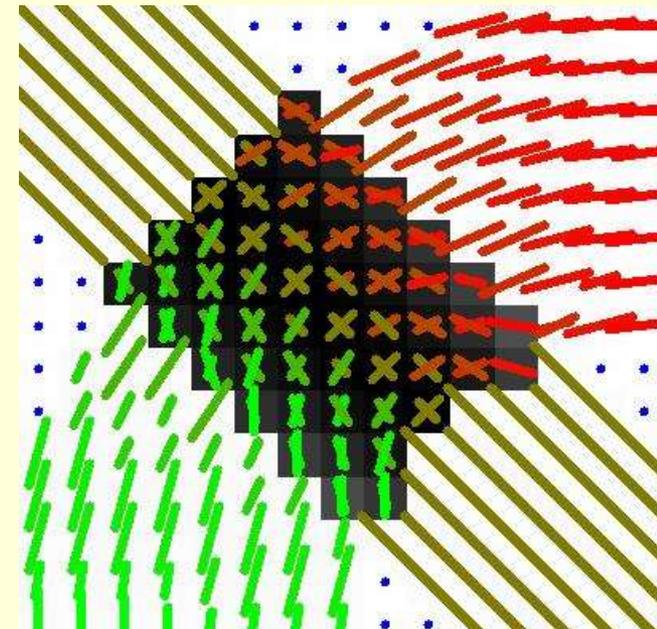
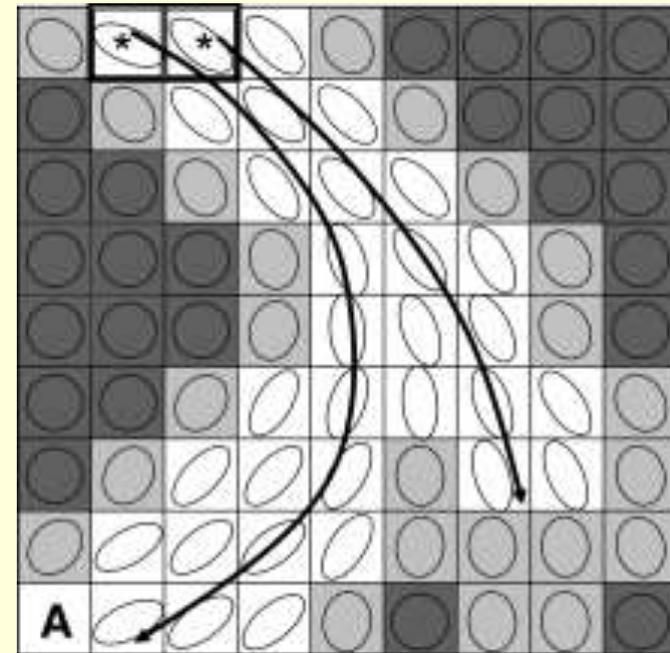
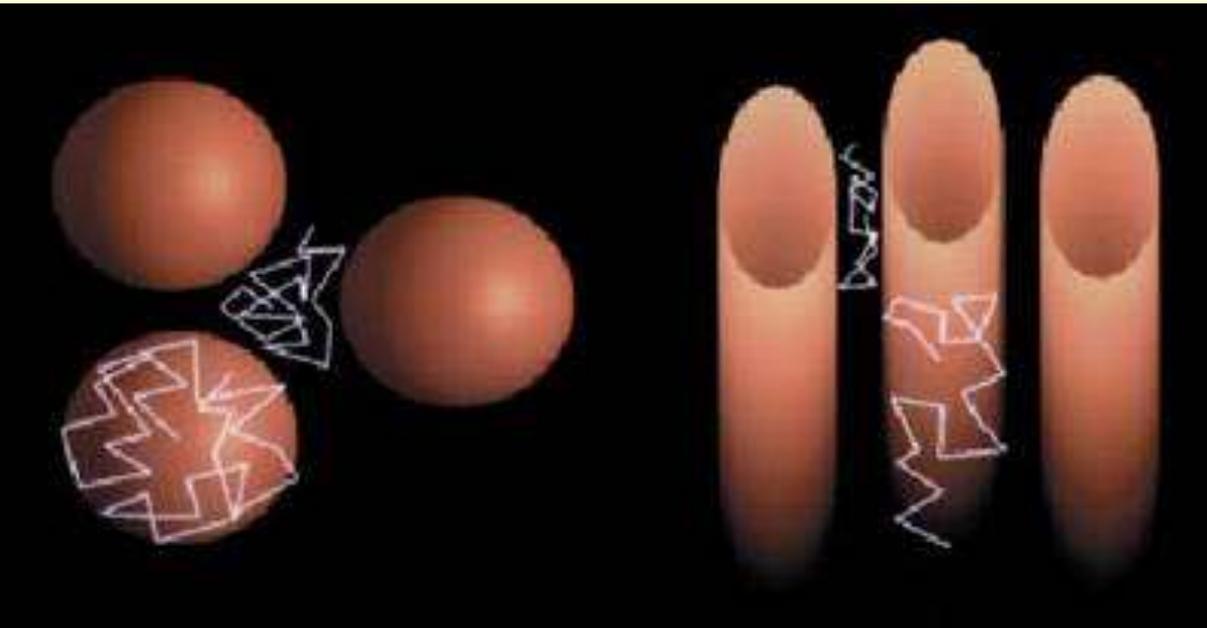








# Principe à la base de l'imagerie de diffusion



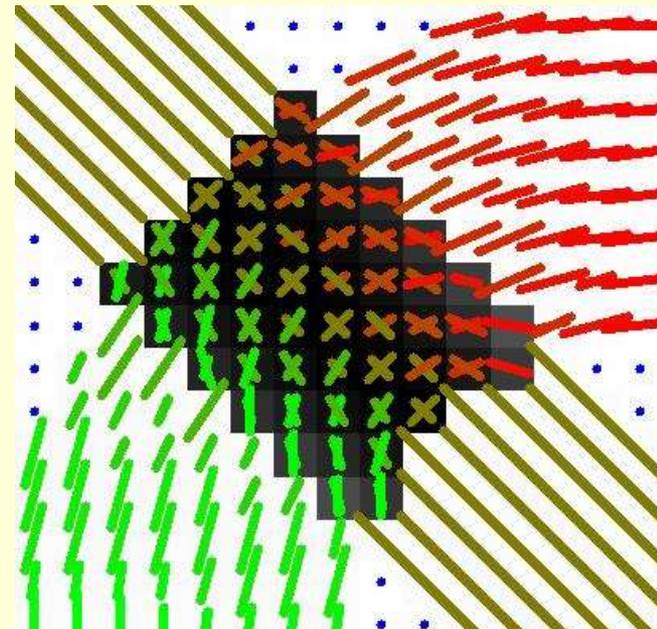
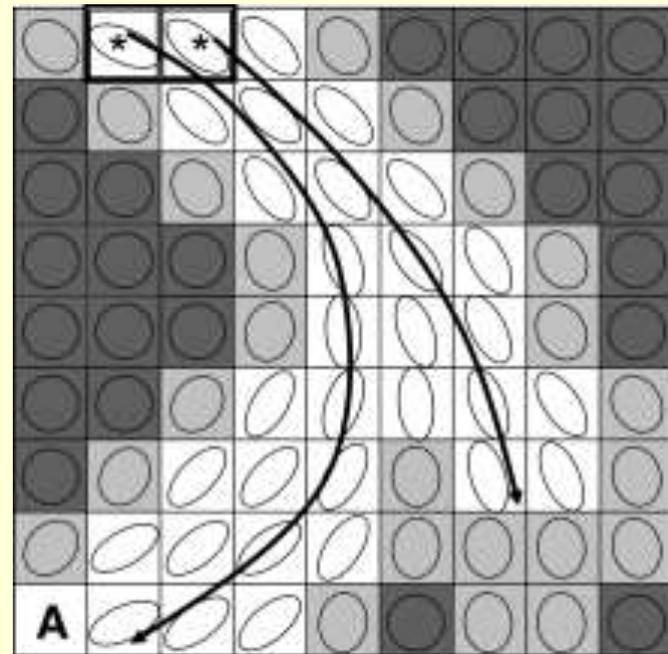
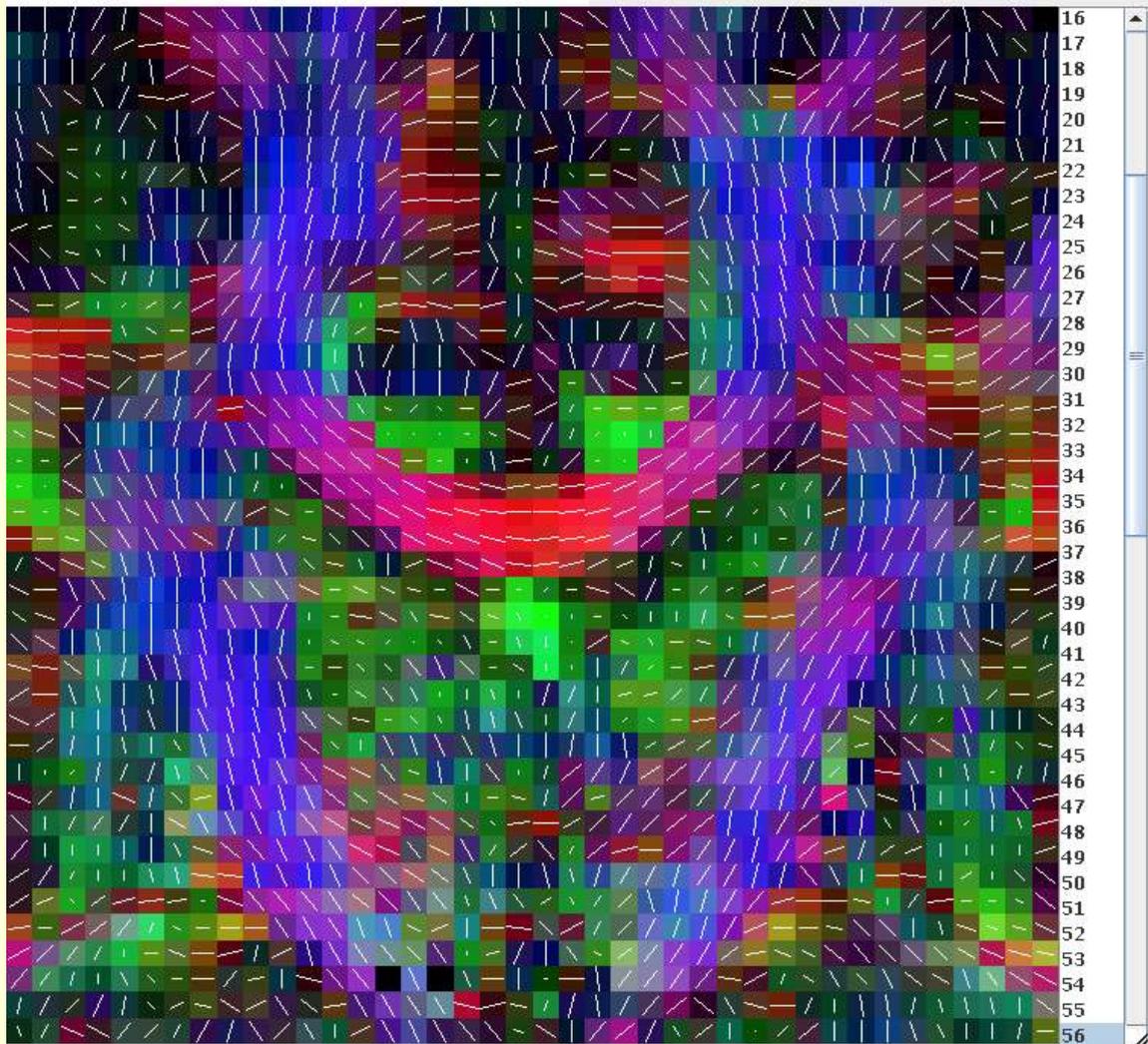
PD Orientation Viewer

AXIAL CORONAL SAGITTAL SAVE RGB

Show vectors Zoom

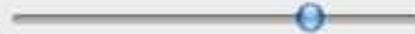
74 56 37  
-0.293338 0.759015 0.581248 (0.135361)

Grey gamma 0.7  
RGB gamma 1.0



Show vectors

Zoom



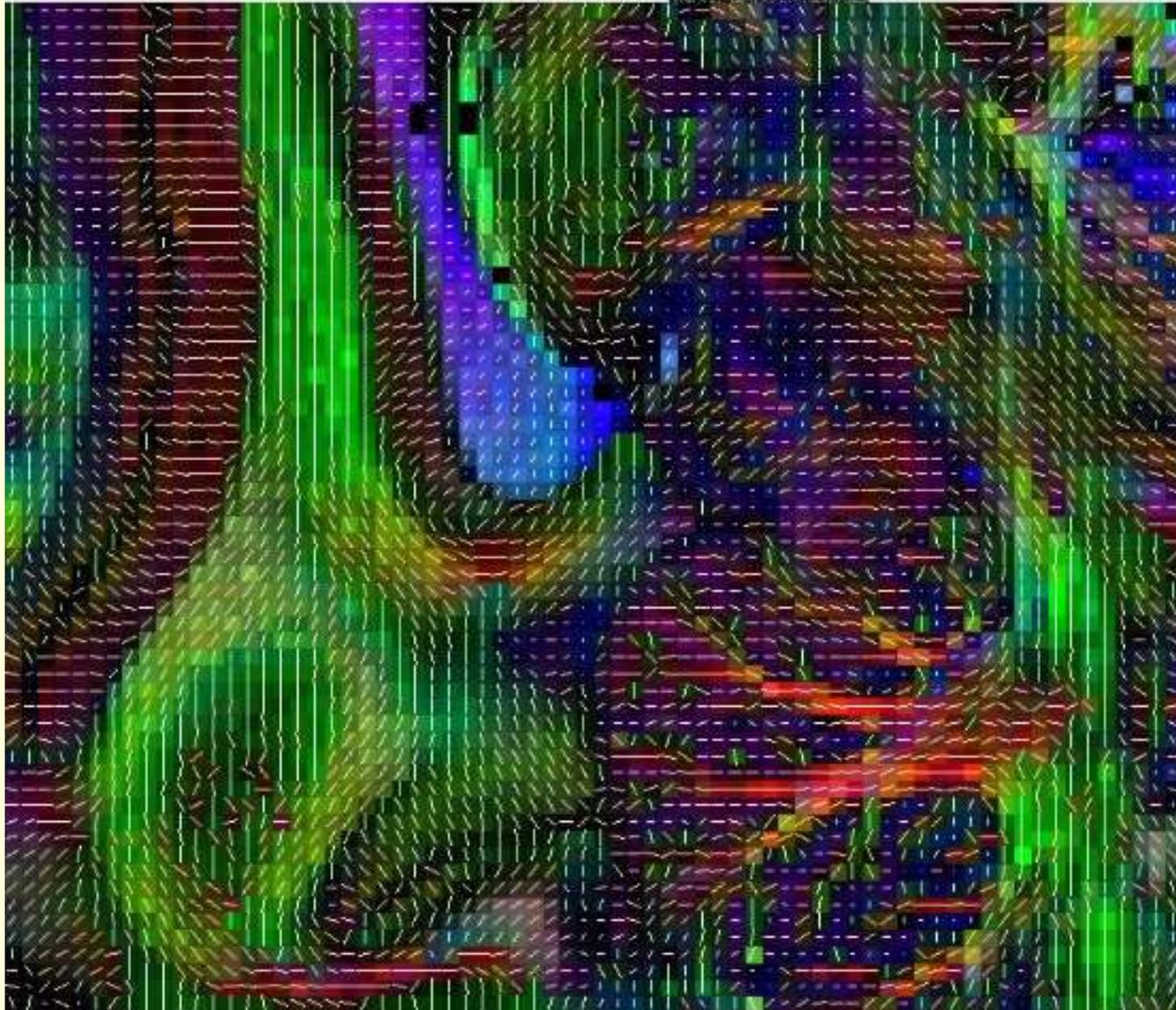
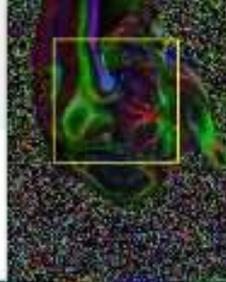
RGB gamma



1.0

96 137 0

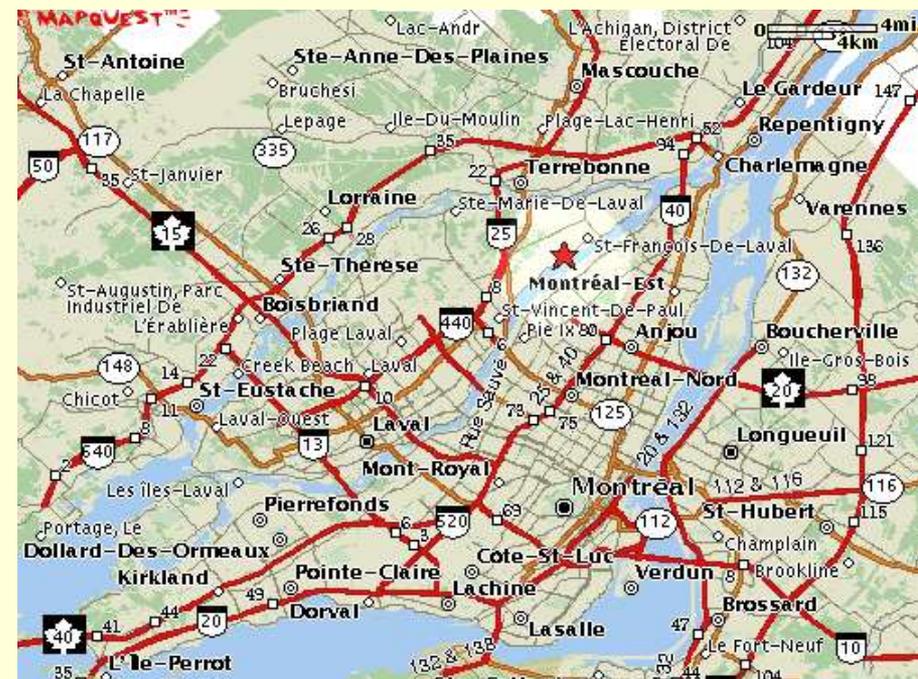
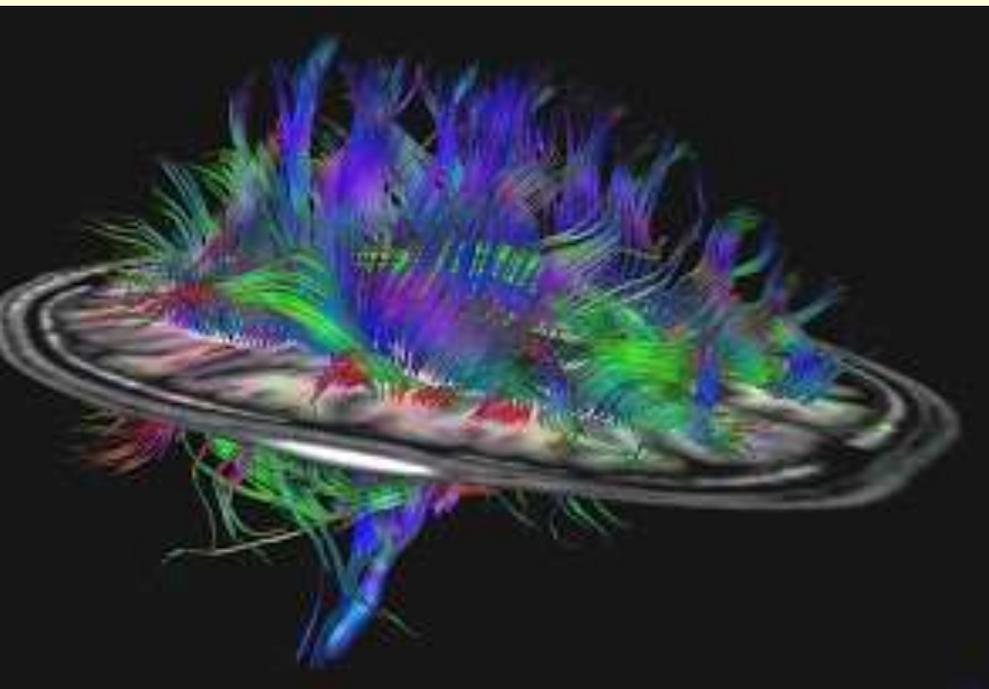
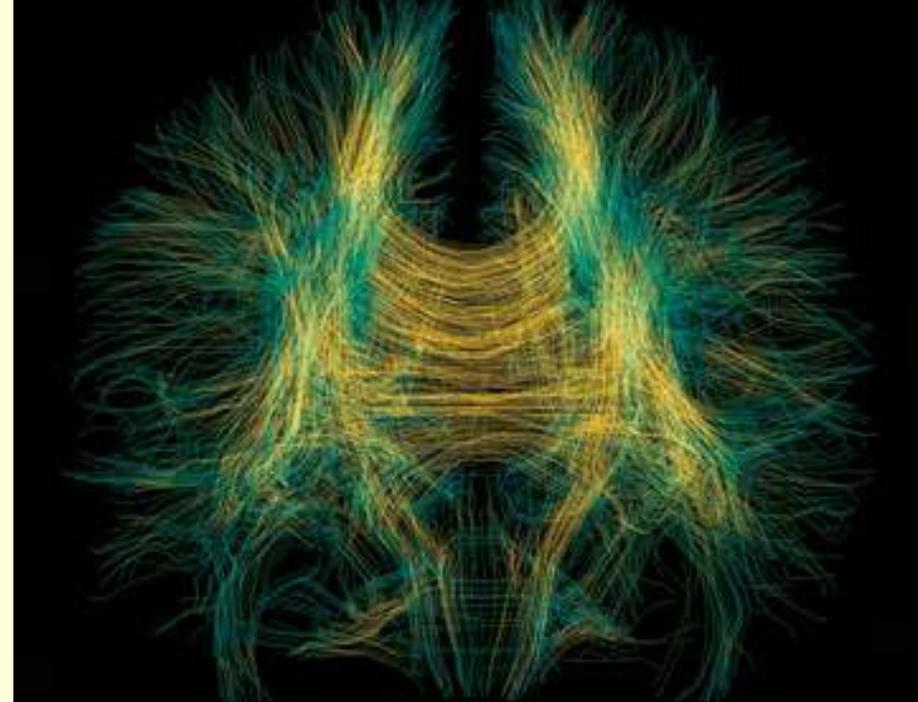
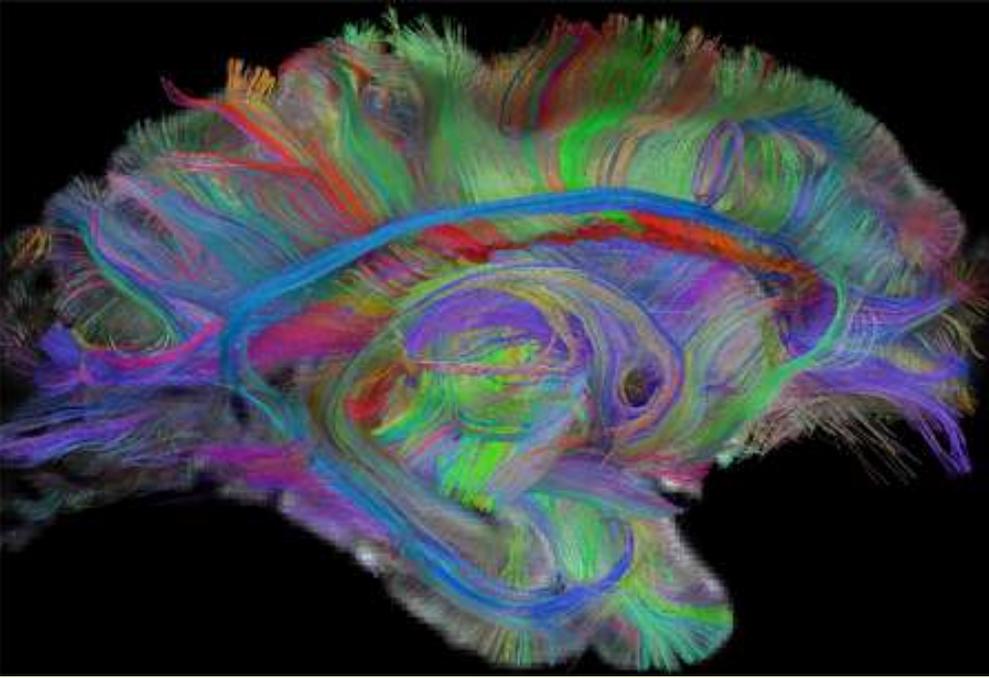
0.704768 0.176565 -0.687114 (0.000000)



0  
1  
2



Courtesy of VJ Wedeen and LL Wald, Martinos Center, Harvard Medical School, Human Connectome Project



# New Discoveries in Brain Structure and Connectivity

29 / Mar / 2012

“Think your brain is wired randomly like a bowl of spaghetti? Think again. Dr. Van Wedeen of the Martinos Center for Biomedical Imaging at Massachusetts General Hospital has found that brain connections are organized in a 3D grid structure and far simpler than previously thought.



Detail of diffusion spectrum MR image of **rhesus monkey** brain showing the fabric-like, three-dimensional structure of neural pathways.

# Application clinique de l'IRM de diffusion

27 janvier **2014**

<http://tvanouvelles.ca/lcn/infos/regional/sherbrooke/archives/2014/01/20140127-192013.html>

Le prestigieux **National Geographic** s'est intéressé aux travaux d'un informaticien de l'Université de Sherbrooke et d'un neurochirurgien du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke (CHUS).

«Mon travail, c'est d'enlever la tumeur sans abîmer l'état des connexions encore fonctionnelles. Ces images nous permettront d'être beaucoup plus précis lorsqu'on va essayer de limiter l'étendue de la tumeur qu'on va enlever», explique le **neurochirurgien, David Fortin**.

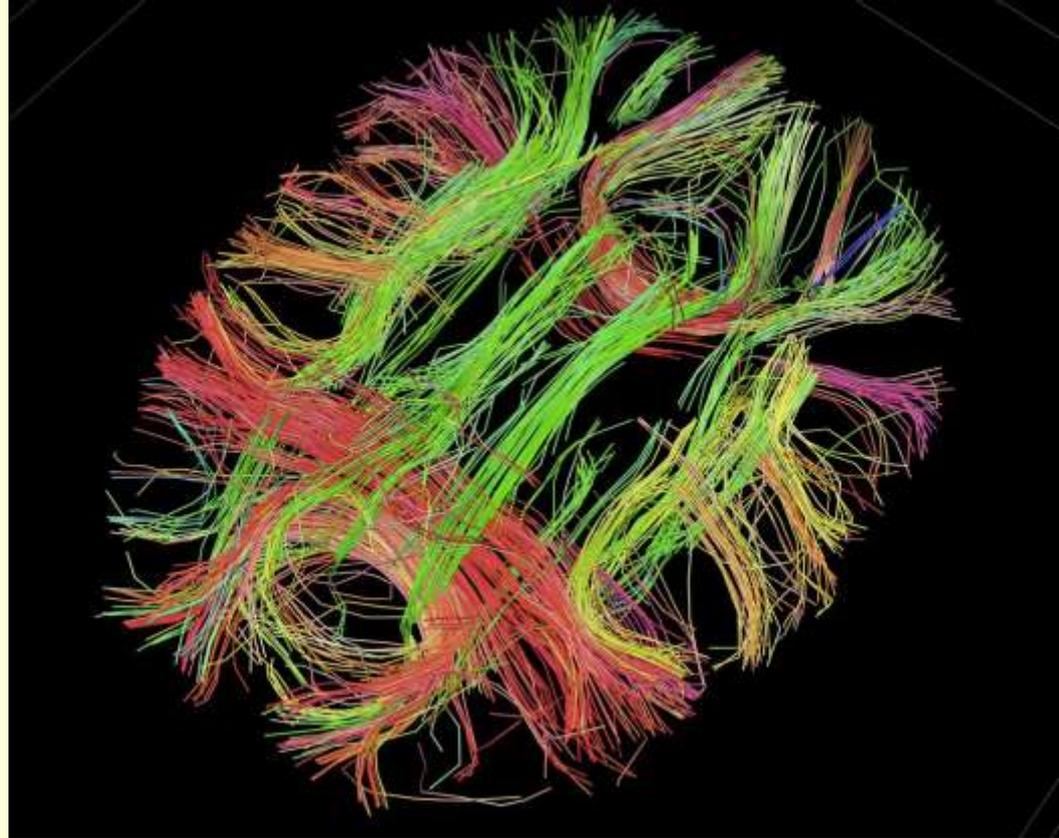
[qui travaille en collaboration avec **Maxime Descoteaux** et son équipe ]

**Sherbrooke Connectivity Imaging Lab > Videos**  
[http://scil.dinf.usherbrooke.ca/?page\\_id=468&lang=en](http://scil.dinf.usherbrooke.ca/?page_id=468&lang=en)



Maxime Descôteaux et David Fortin

**Limite / critique**  
à l'IRM de diffusion :



**Ne voit pas les nombreux embranchements** des axones (collatérales) que l'on observe sur les colorations traditionnelles à haute-résolution car avec l'IRM de diffusion chaque faisceau contient des milliers d'axons.

***« The brain is not made up of point-to-point connections, it's made up of trees. »***

# Human Connectome Project

[Home](#)[About](#)[Data](#)[Informatics](#)[Gallery](#)[Publications](#)[News](#)

## The Human Connectome Project

Navigate the brain in a way that was never before possible; fly through major brain pathways, compare essential circuits, zoom into a region to explore the cells that comprise it, and the functions that depend on it.

The Human Connectome Project aims to provide an unparalleled compilation of neural data, an interface to graphically navigate this data and the opportunity to achieve never before realized conclusions about the living human brain.

[Download Data](#)

*Laboratory of Neuro Imaging*

### News

[RSS News](#)

**National Geographic features the Human Connectome Project**

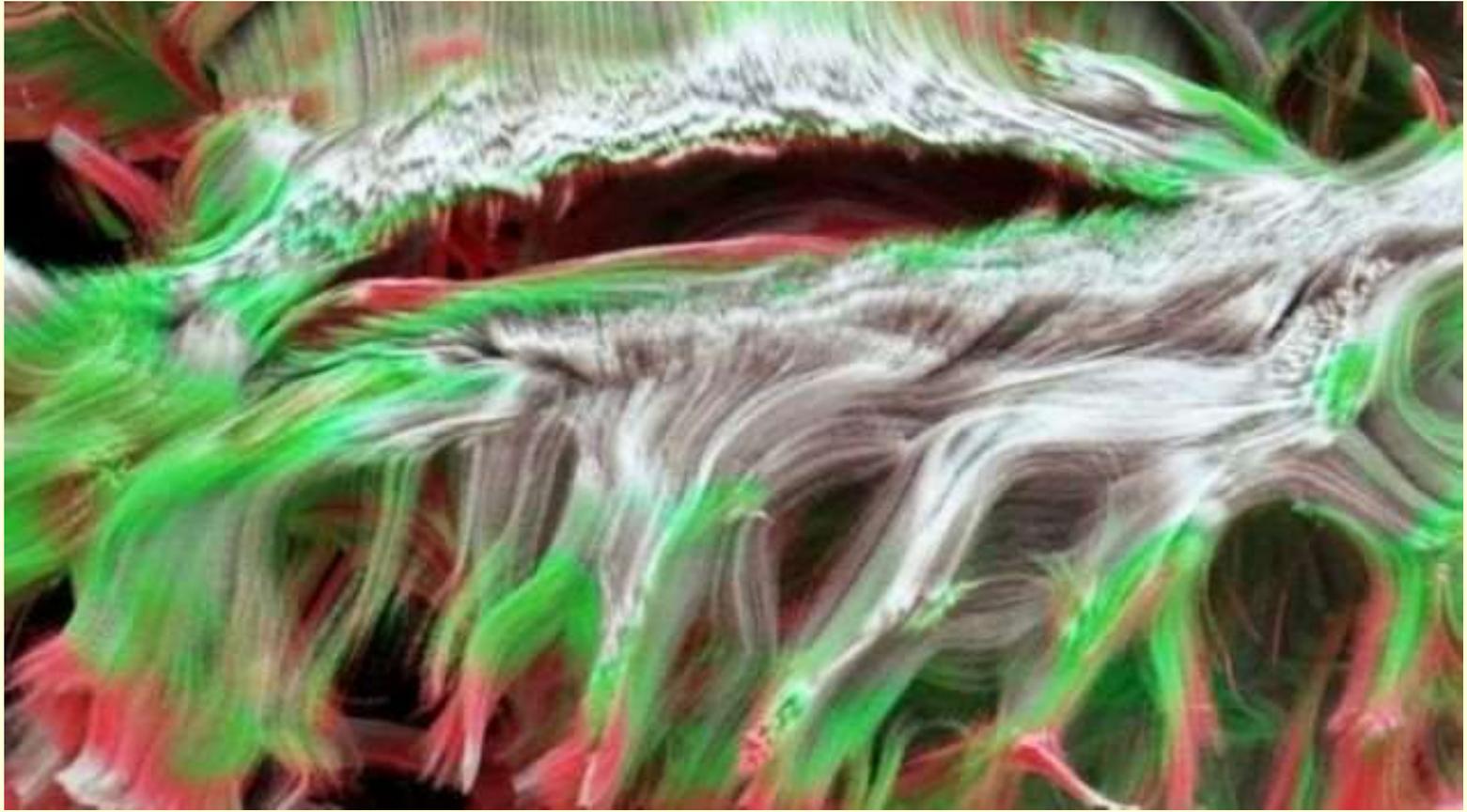
New research from members of our HCP team suggests that brain circuitry is organized more like Manhattan's street grid than London's chaotic tangle of random roadways. Read the full article in the February 2014 issue of National Geographic.

# Voir le cerveau comme jamais auparavant

Publié le mercredi **5 juillet 2017**

<http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1043576/carte-cerveau-imagerie?isAutoPlay=1>

Les images les plus précises à ce jour des axones, le câblage interne du cerveau, ont été produites grâce à un nouvel appareil d'imagerie par résonance magnétique mis au point par des scientifiques britanniques.



# Self-reflected

<http://www.gregadunn.com/self-reflected/>  
(2016)

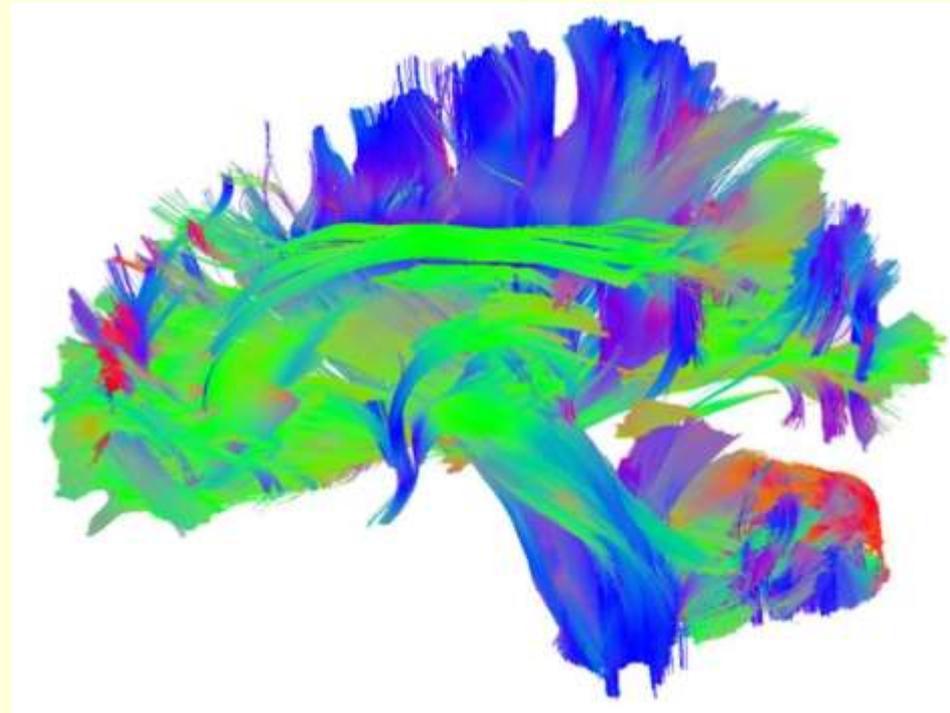
Technique créée par  
le Dr. **Greg Dunn**  
(artiste et neuroscientifique)

et le Dr. **Brian Edwards**  
(artiste et physicien appliqué).



***Self Reflected*** offre un aperçu unique de la structure du cerveau humain à travers une technique nommée “**reflective microetching**” (microgravure réfléchive ?) qui évoque avec de la lumière l’activité dynamique incessante qui soutend toute activité cognitive.

Utilise entre autres l'imagerie de diffusion pour obtenir le tracé des grands faisceaux cérébraux.



Creating the axons

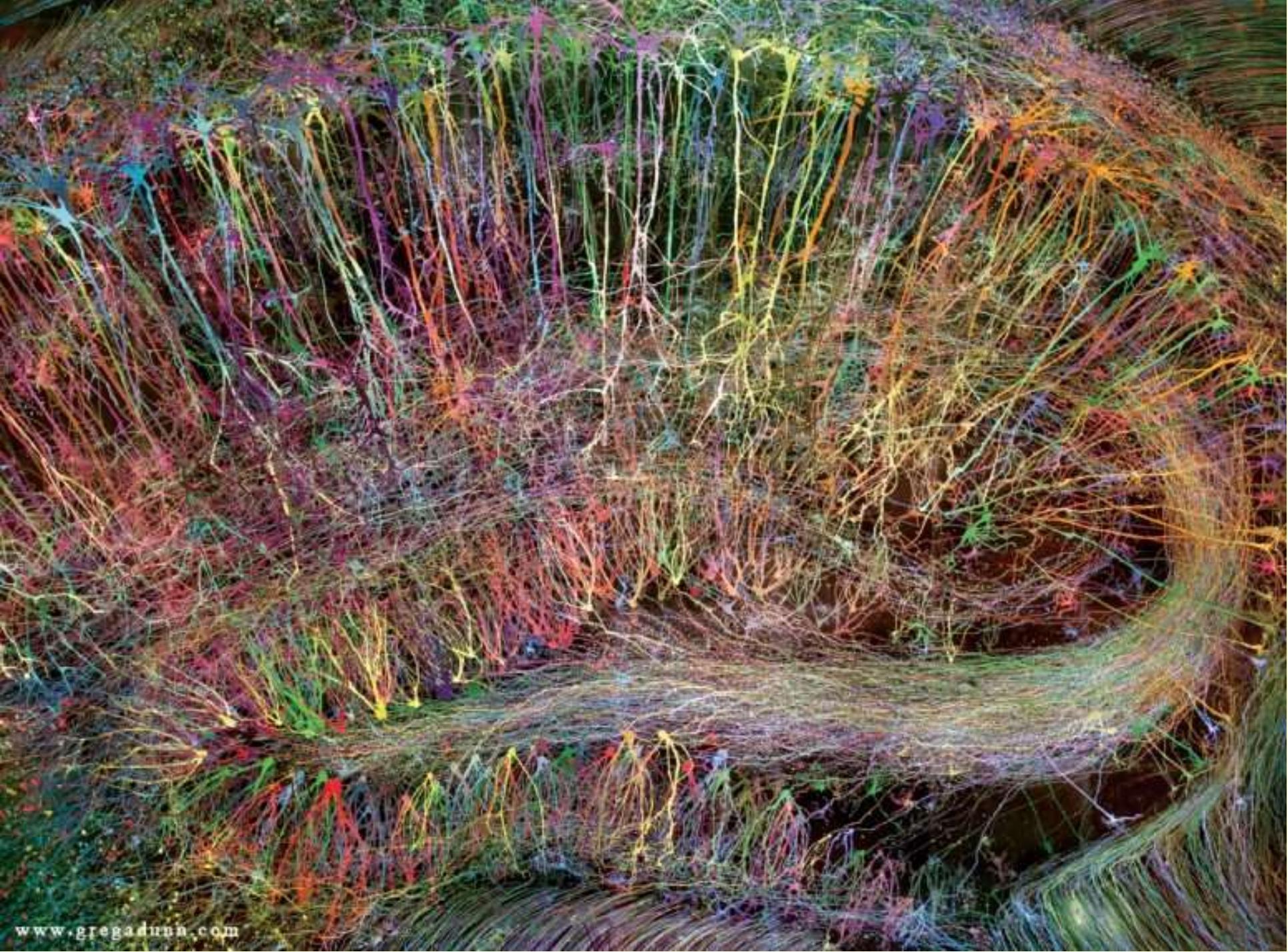
<http://www.gregadunn.com/self-reflected/how-self-reflected-was-made/#1489124937888-d4106de5-453d>

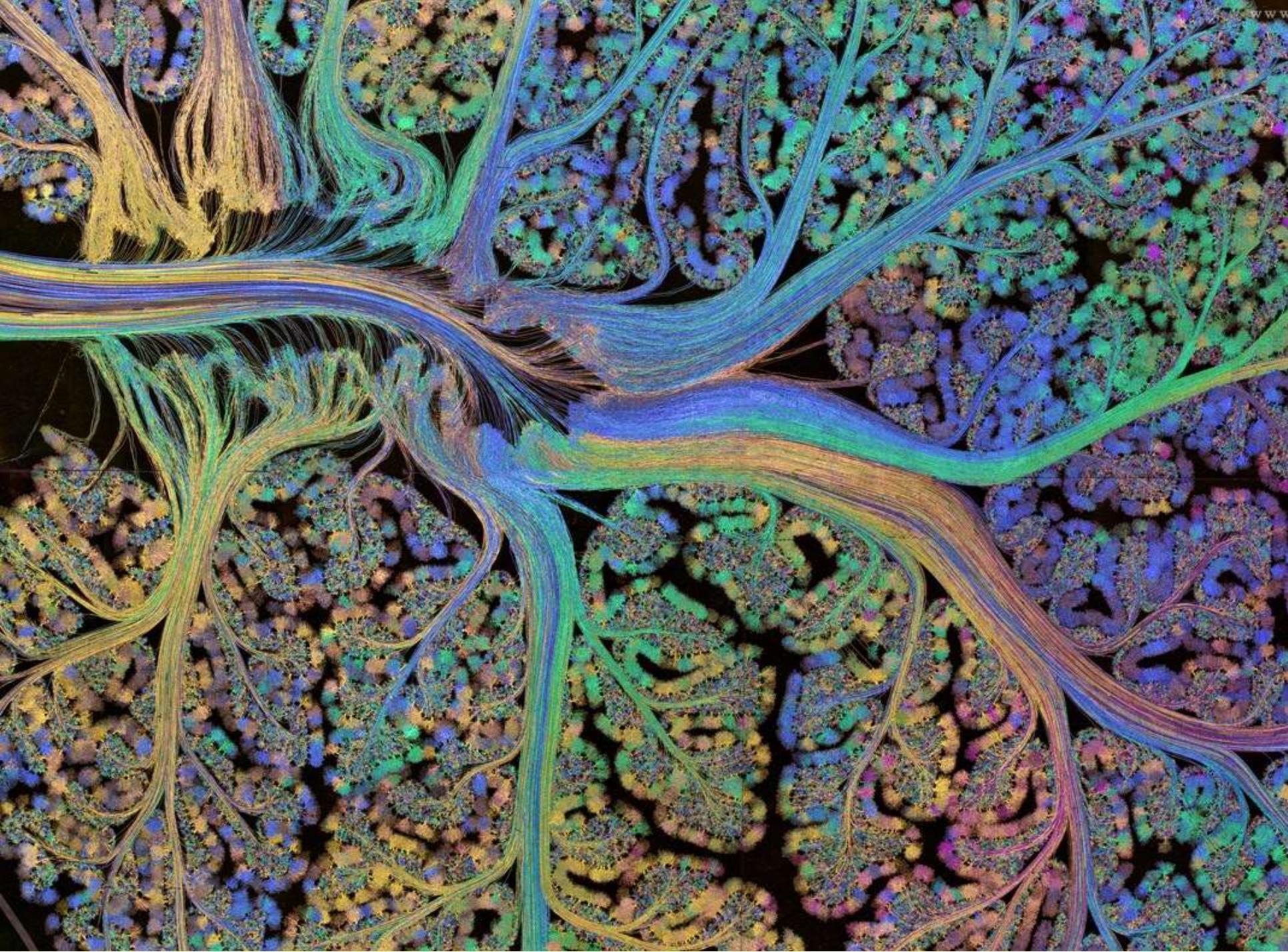
# An Introduction To Microetchching

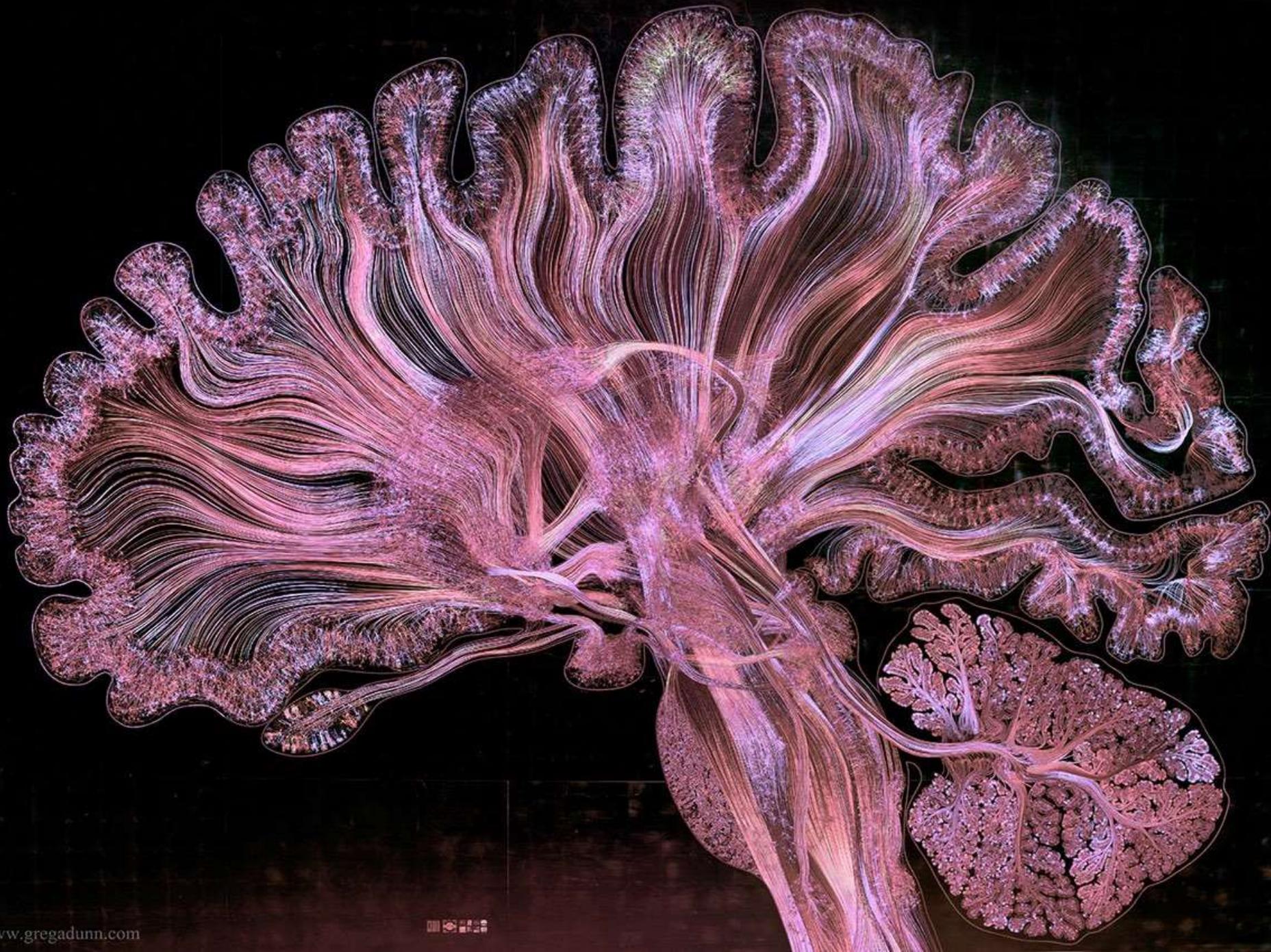
<https://youtu.be/GLt5A29N0zg>

Lorsque le spectateur se déplace par rapport à l'oeuvre, des **changements de coloration évoquant l'activité électrique du cerveau** se produisent (impossible à rendre avec une image fixe).









# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

**Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer**

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

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

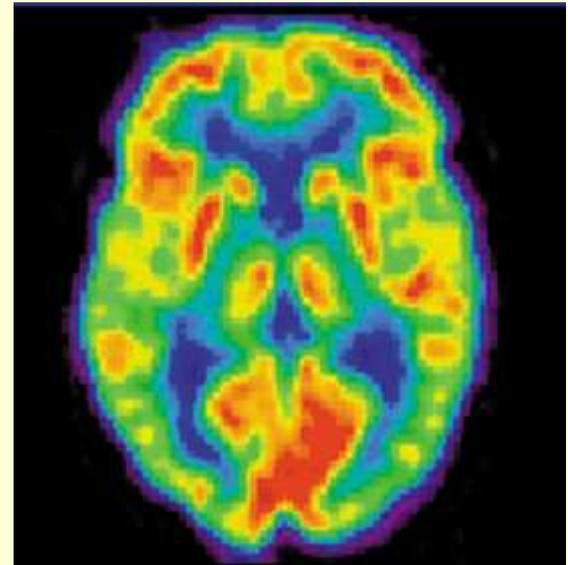
On regarde toujours des cerveaux **vivants**, le vôtre dans un scan par exemple...

Mais pendant que vous êtes dans le scan, vous effectuez une **tâche** et l'on enregistre des **changements d'activité** dans différentes régions cérébrales.



## La tomographie par émission de positons (TEP, ou « PET scan », en anglais)

La tomographie par émission de positons (TEP) fut la première technique d'imagerie cérébrale fonctionnelle à voir le jour au milieu des années **1970** et à devenir accessible dans les années **1980**.

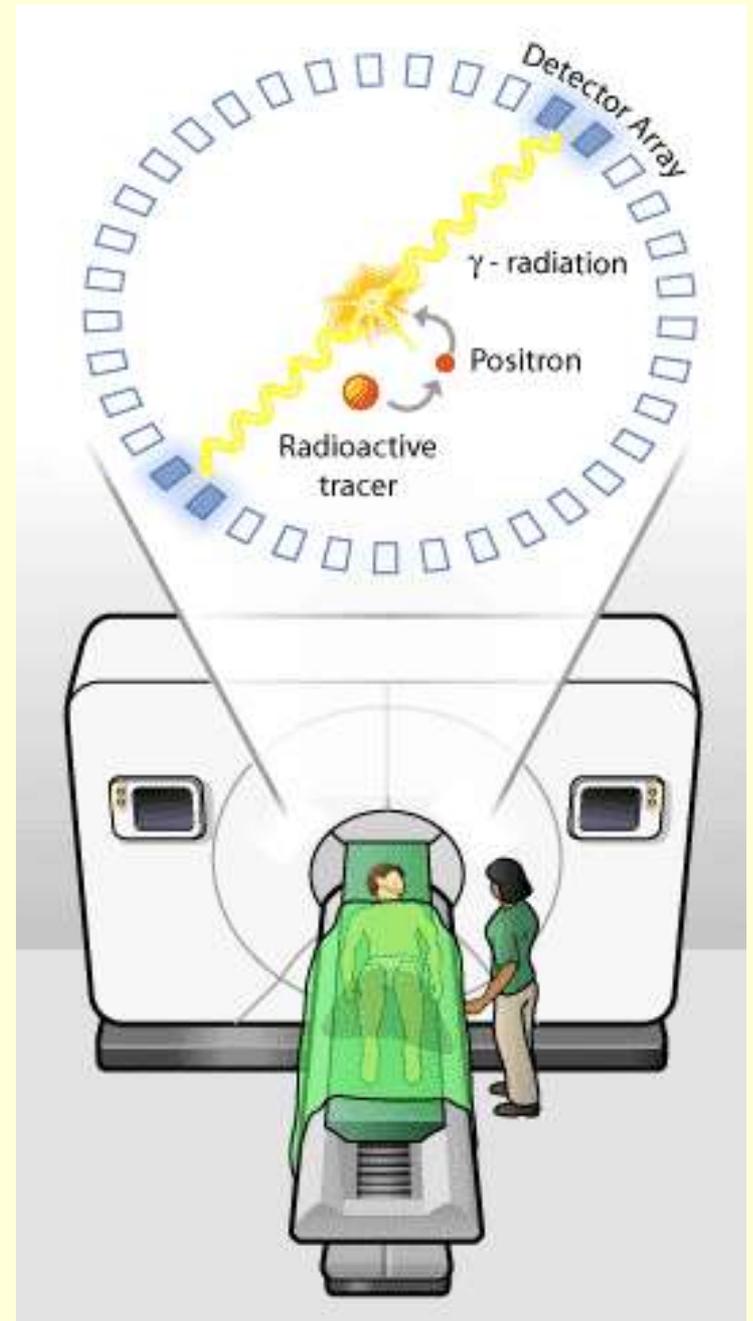


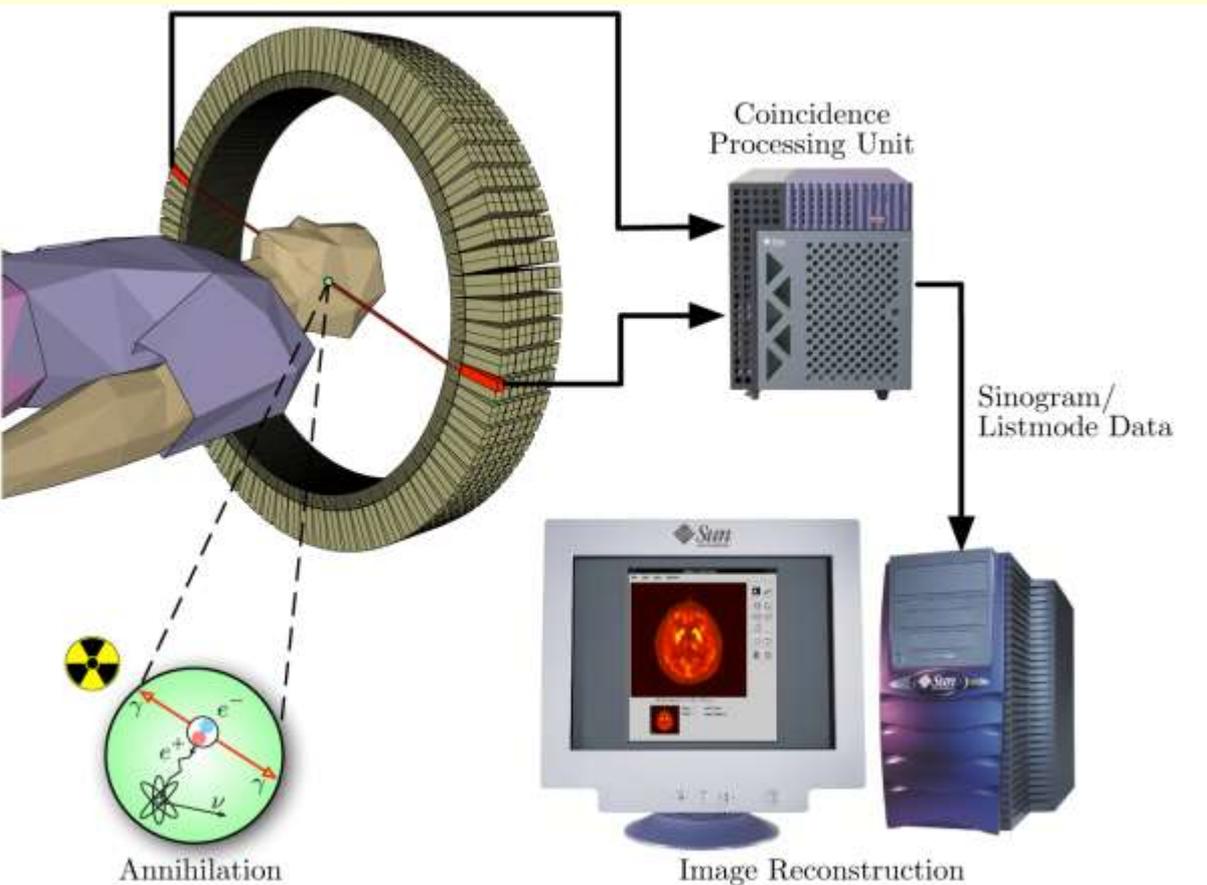
Les fameux **positons** de la TEP proviennent de la dégradation d'un **noyau radioactif** incorporé dans le système sanguin du sujet.

Un positon est une particule élémentaire ayant la même masse qu'un électron mais une charge de signe opposé.

Les positons émis par la dégradation radioactive vont donc immédiatement **s'annihiler** avec les électrons des atomes voisins.

Cette annihilation produit de l'énergie qui prend la forme de **deux rayons gamma** émis dans des directions diamétralement opposées.

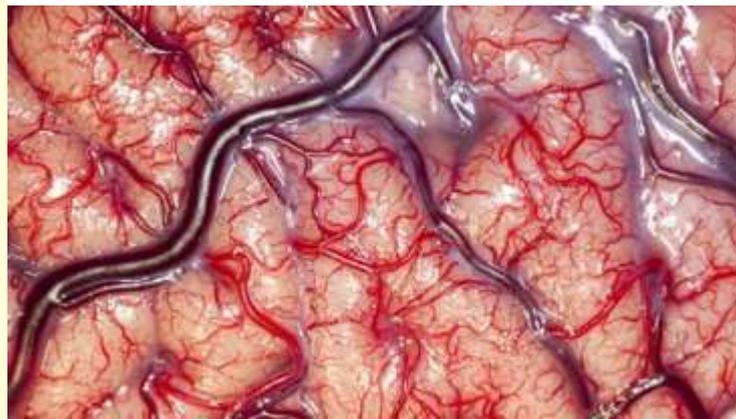
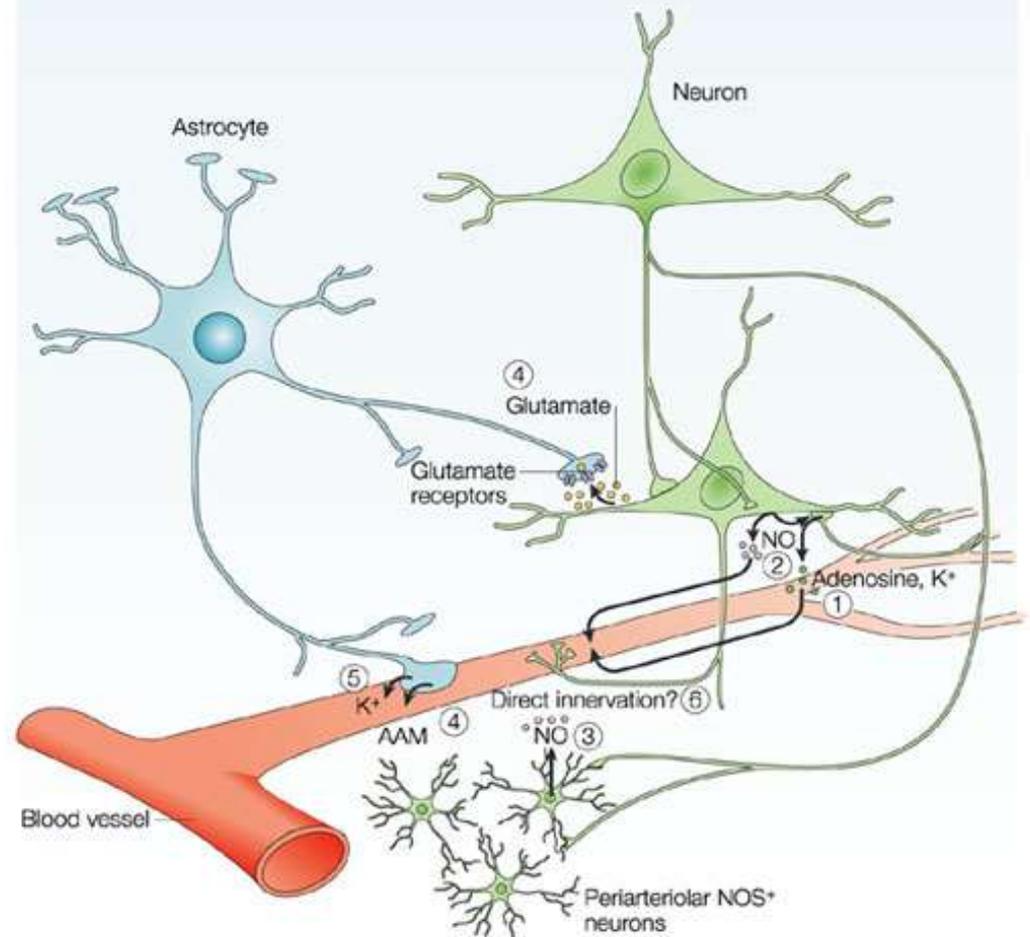




Une série de détecteurs placés autour de la tête du sujet va ensuite **enregistrer les couples de rayons gamma émis** et, grâce aux calculs faits par l'ordinateur, **identifier la position de leur lieu d'émission.**

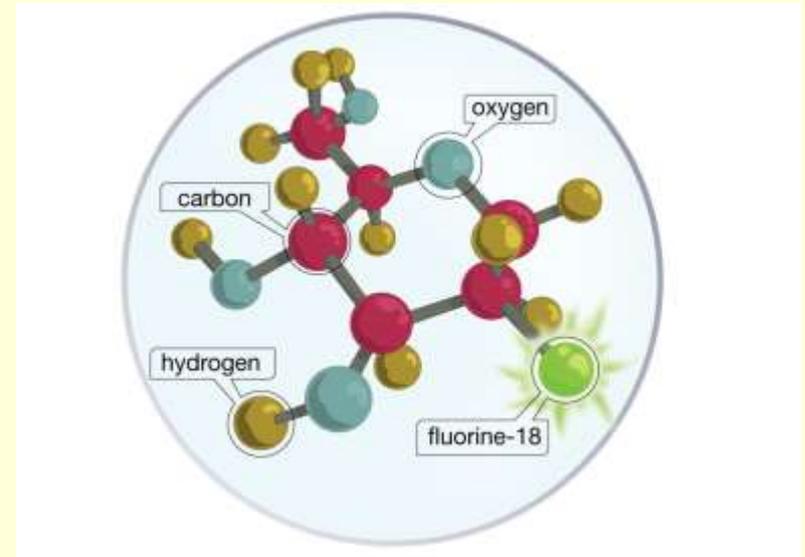
Comme pour comme  
**l'IRMf** [dont on va parler  
tantôt] la TEP va prendre  
partie du phénomène  
physiologique suivant :

lorsqu'un groupe de  
neurones devient **plus  
actif**, une vasodilatation  
locale des capillaires  
sanguins cérébraux se  
produit automatiquement  
pour amener davantage  
de sang, et donc  
d'oxygène, vers ces  
régions plus actives.

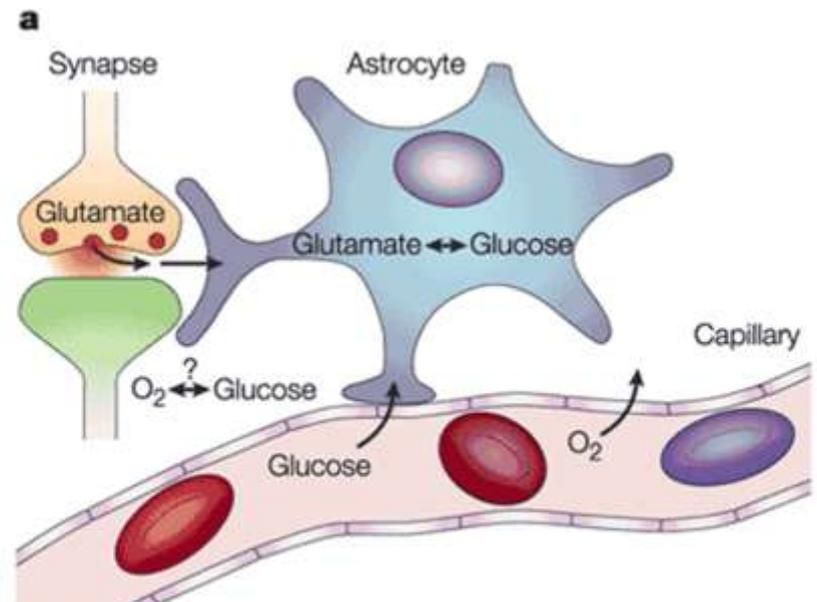


## Fluorodeoxyglucose (FDG), molécule de glucose radioactive

Lors d'une TEP, on doit injecter au sujet une solution contenant un **élément radioactif** qui peut être l'eau elle-même ou du glucose radioactif, par exemple.



Davantage de **radioactivité** sera donc émise des zones cérébrales les plus active à cause de cette **vasodilatation** qui amène plus de solution radioactive dans ces régions.





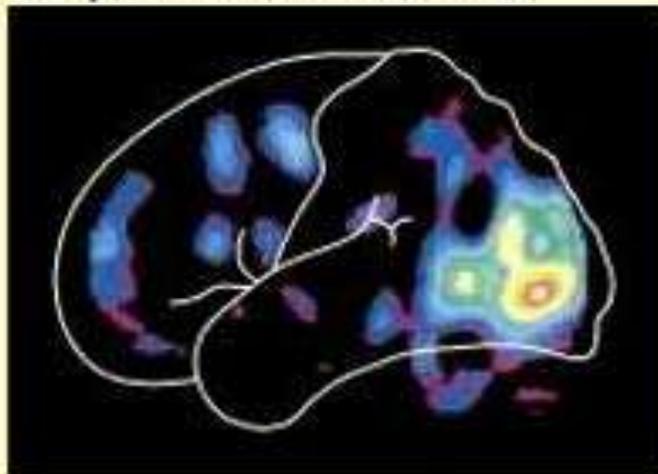
**On installe dans le bras du sujet un cathéter par où la solution d'eau radioactive sera injectée à intervalles réguliers.**



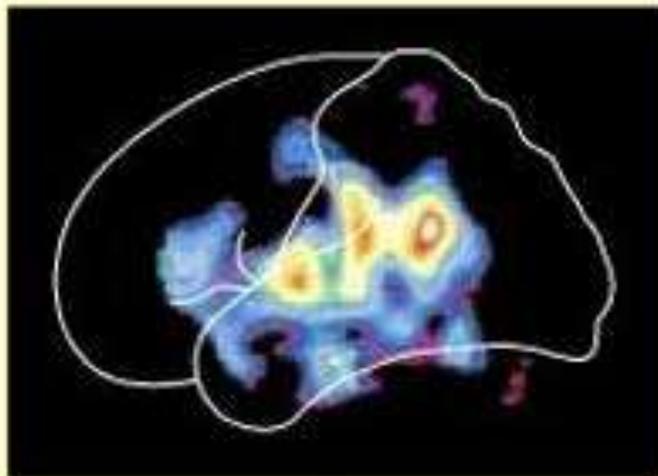
**Vue de derrière du scan qui permet de voir le moniteur où apparaissent les images associées à différentes tâches (ici, les tableaux abstraits associés à la tâche faisant intervenir la mémoire de travail).**

# PET scan

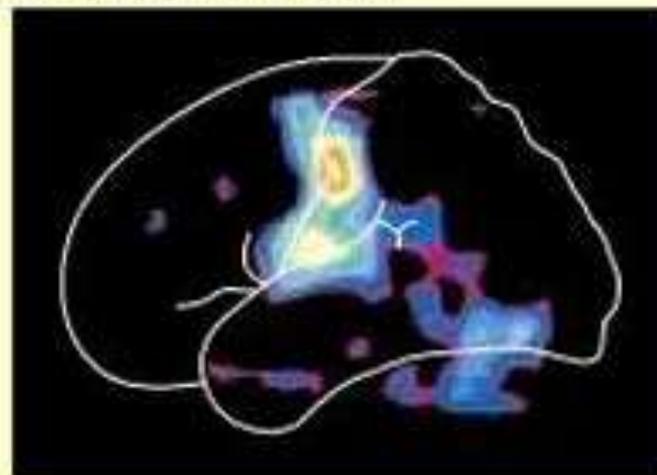
**Voir passivement des mots**



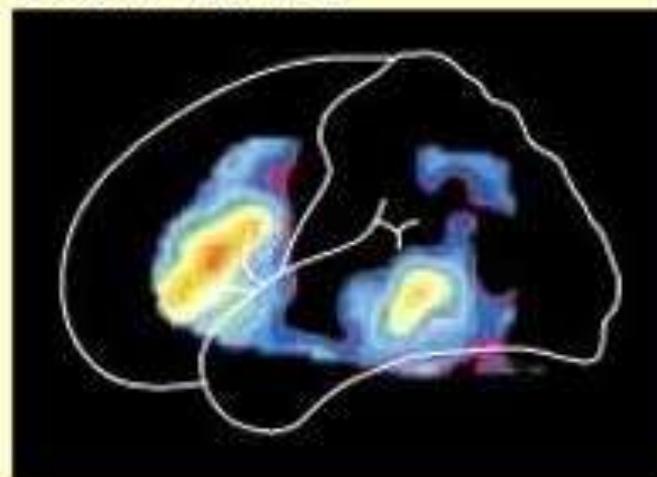
**Écouter des mots**



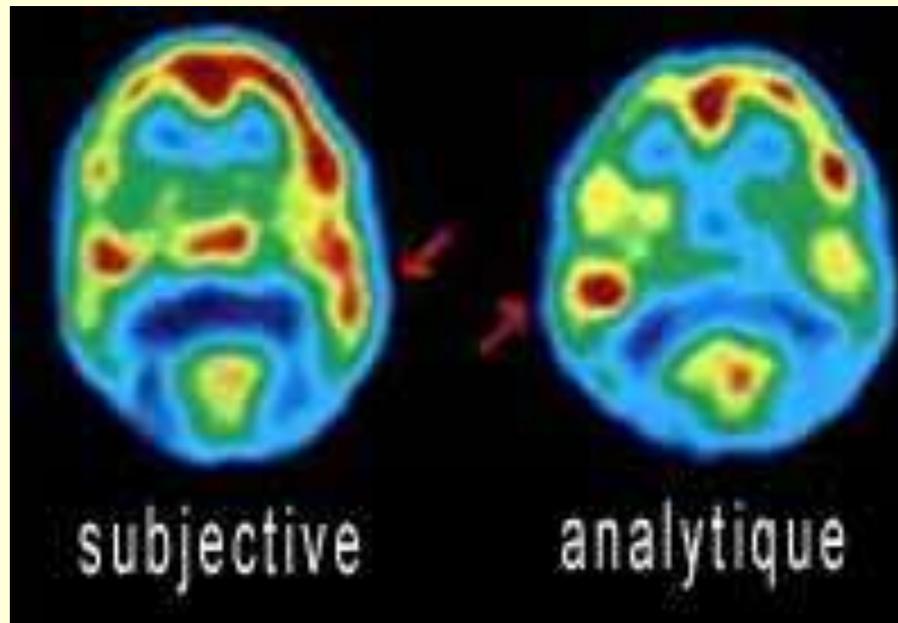
**Prononcer des mots**



**Générer des mots**



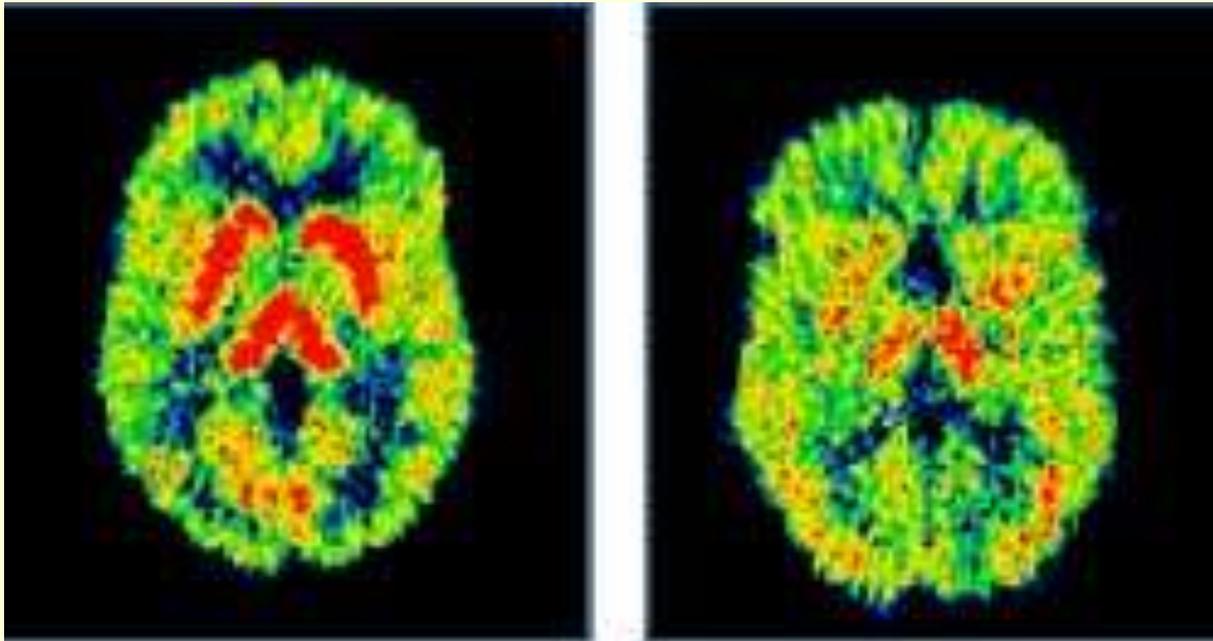
Les images produite par la TEP ne rivalisent pas avec celles de l'IRMf en terme de résolution, mais offrent souvent des contrastes de couleurs où les couleurs les plus chaudes correspondent aux zones les plus actives.



**Une écoute subjective ou analytique d'une même pièce de musique par le même sujet active préférentiellement l'hémisphère droit ou l'hémisphère gauche.**

La TEP permet aussi d'inclure l'isotope radioactif dans certaines substances dont on veut connaître l'utilisation métabolique par certaines régions cérébrales.

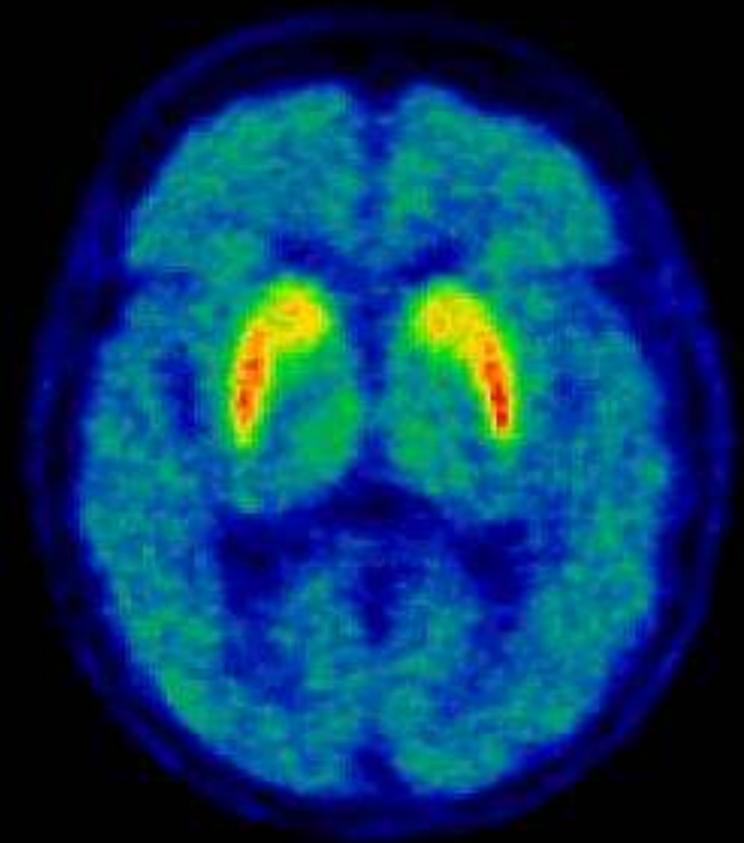
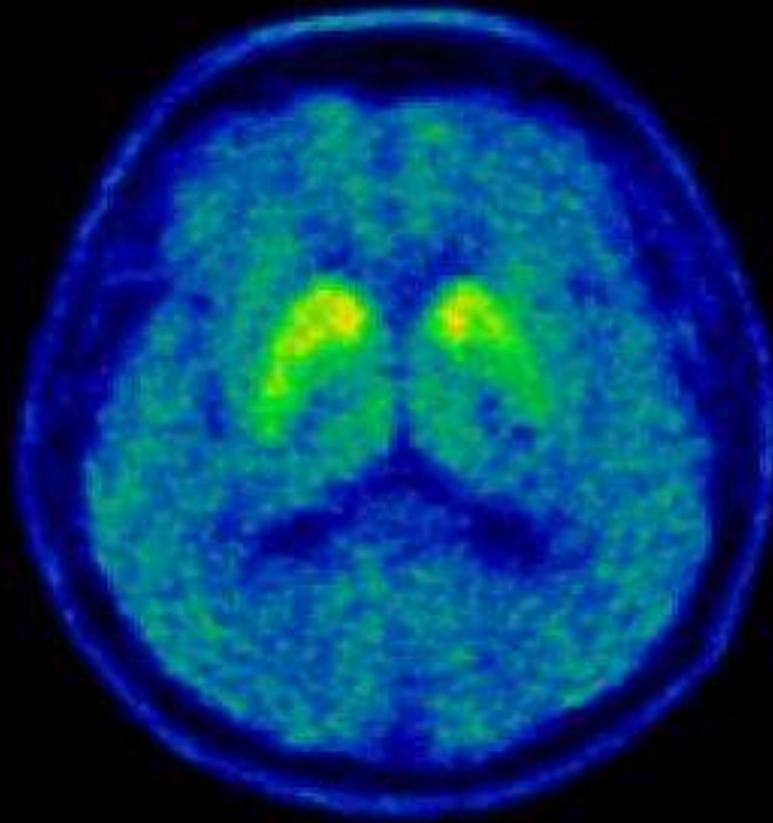
L'étude des neurotransmetteurs a bénéficié d'une façon importante de cette approche qui a permis de préciser la distribution de plusieurs d'entre eux.



L'image de gauche montre la TEP du cerveau d'un sujet normal.  
À droite, la TEP révèle un taux de sérotonine (un neurotransmetteur) plus faible chez un sujet atteint de dépression sévère.

**A: Parkinson's Disease Patient**

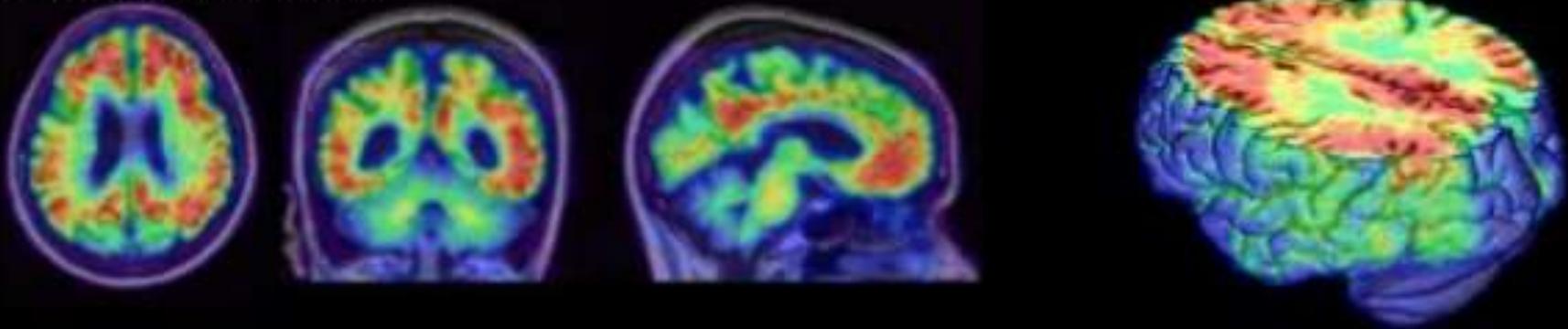
**B: PD Patient's Healthy Parent**



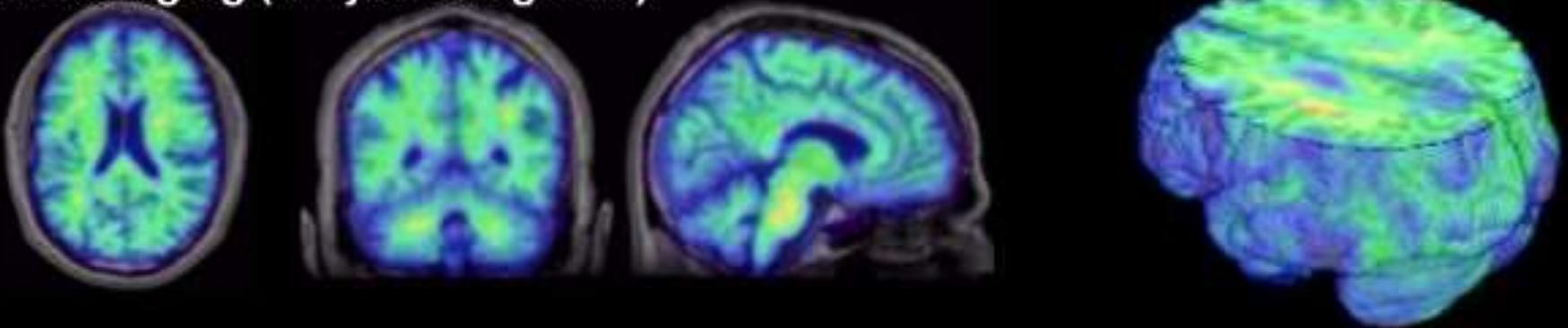
PET images of a subject with Parkinson's Disease (A) and their elderly parent who is unaffected by PD (B). In these images warmer colours indicate increased function of the neurons that produce the chemical **dopamine**. The loss of these neurons, evident in image A, leads to the symptoms of PD.

# Amyloid PET Imaging in Aging

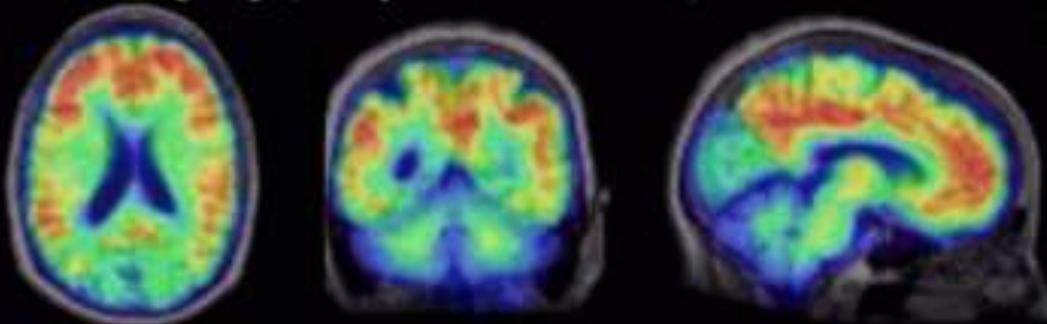
## Alzheimer's Disease



## Normal Aging (Amyloid Negative)



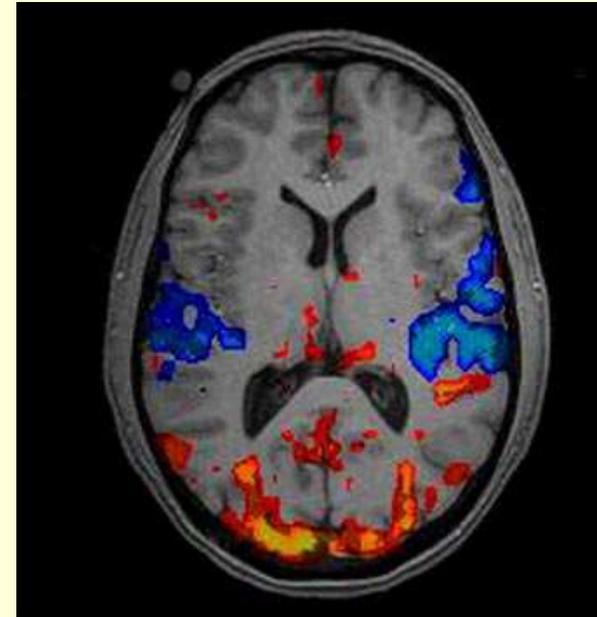
## Normal Aging (Amyloid Positive)



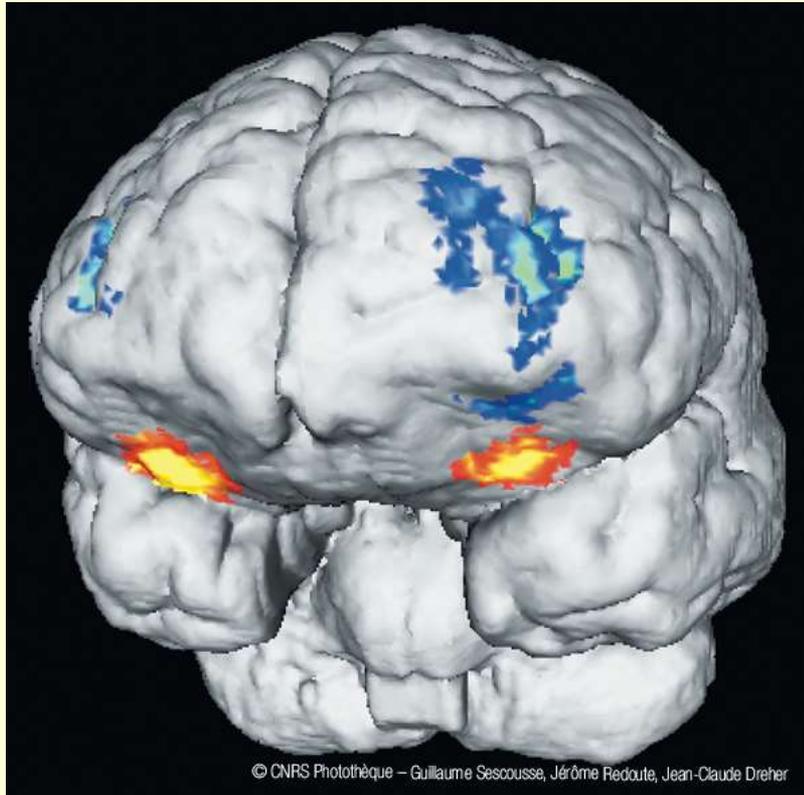
**30% of normal older people are amyloid positive**

# Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ( IRMf )

- À partir des années **1990**
- nous renseigne sur l'**activité nerveuse** des différentes régions cérébrales
- L'appareillage qui entoure le sujet et le fonctionnement de base est sensiblement le même qu'avec l'IRM, mais les **ordinateurs** qui analysent le signal **diffèrent**.

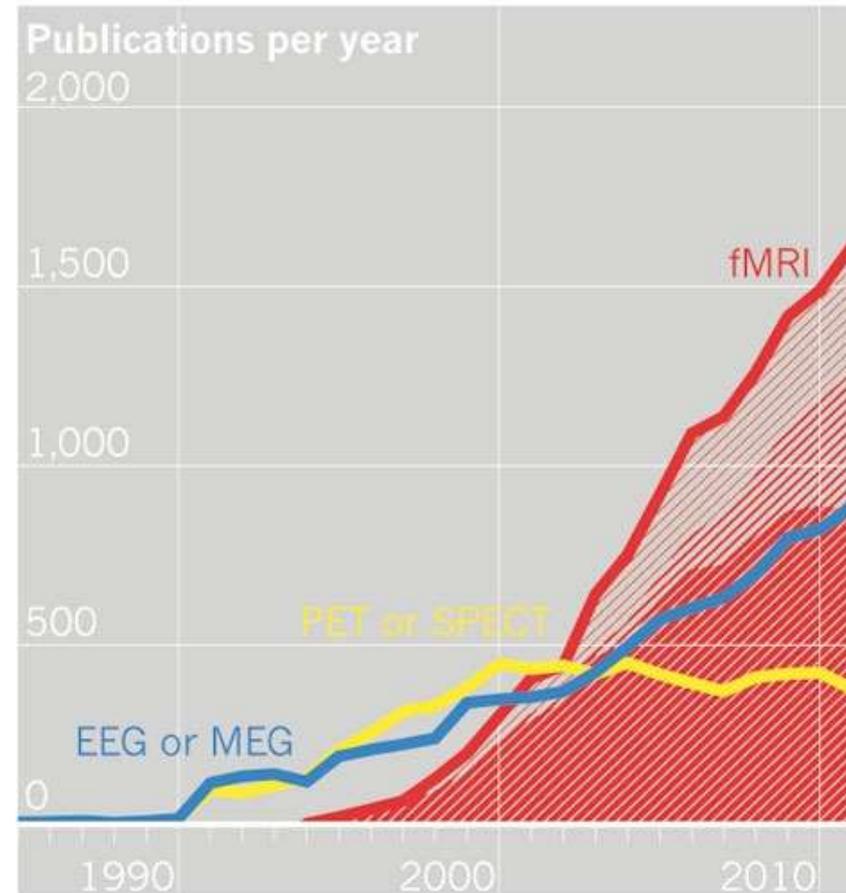


# L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)



## THE RISE OF fMRI

Use of fMRI has rocketed, and now more studies are looking at connectivity between regions.



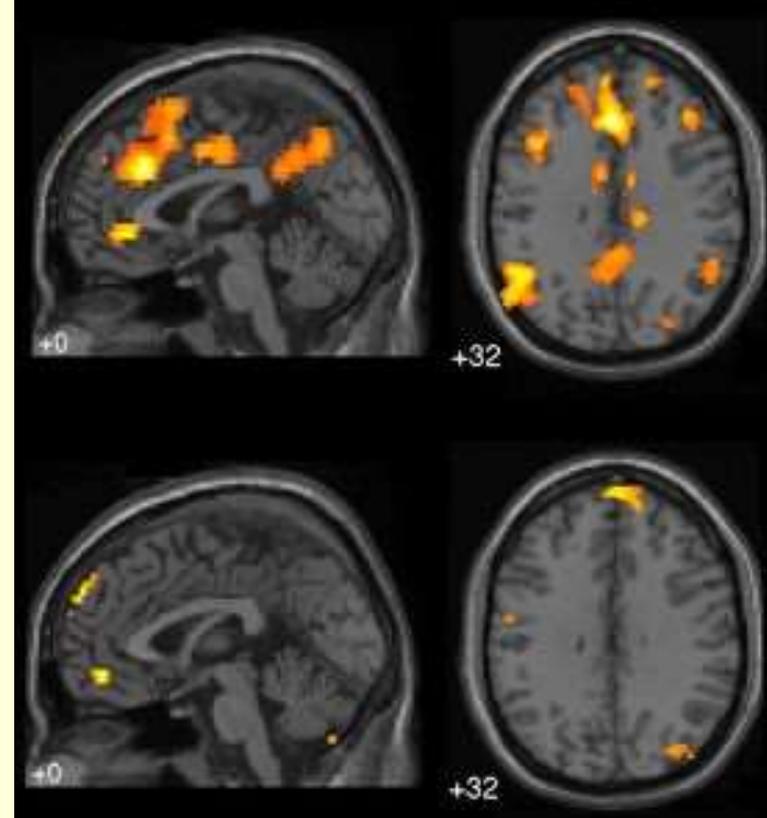
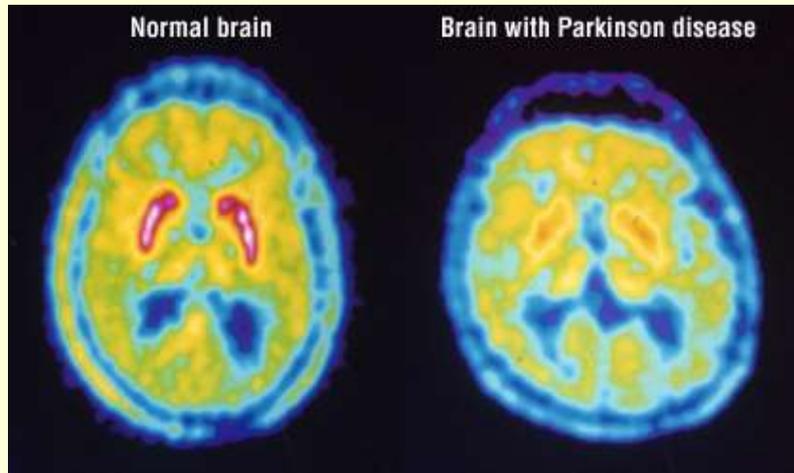
### fMRI publications by subject:

Activation  Connectivity  Other 

fMRI, functional magnetic resonance imaging; PET, positron emission tomography; SPECT, single-photon emission computed tomography; EEG, electroencephalography; MEG; magnetoencephalography  
Data from ISI Web of Knowledge.

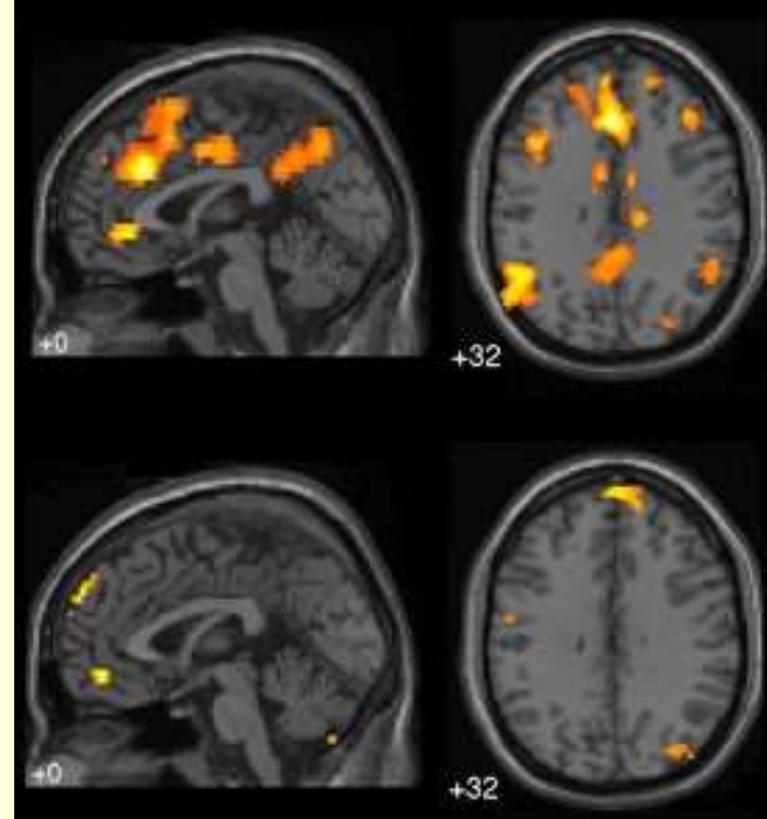
Peut être utilisée sans l'injection de substance dans l'organisme du sujet

(contrairement au PET scan)



Peut être utilisée sans l'injection de substance dans l'organisme du sujet

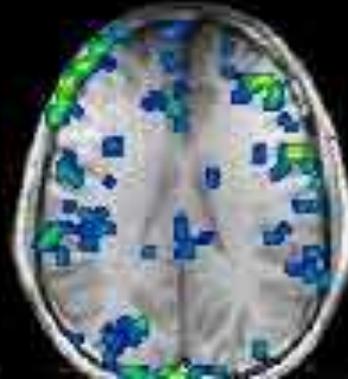
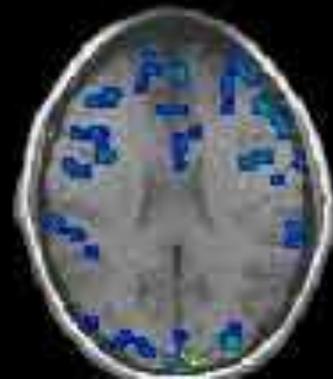
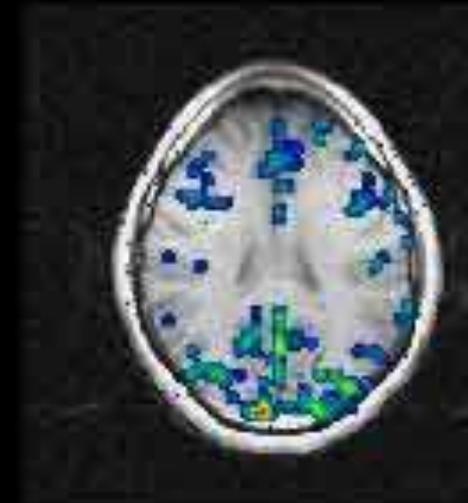
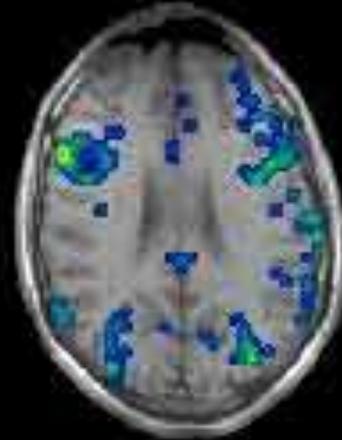
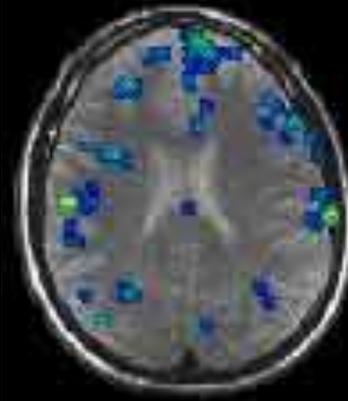
Peut fournir une image **structurelle** et **fonctionnelle** du même cerveau, facilitant ainsi les correspondances anatomo-fonctionnelles.

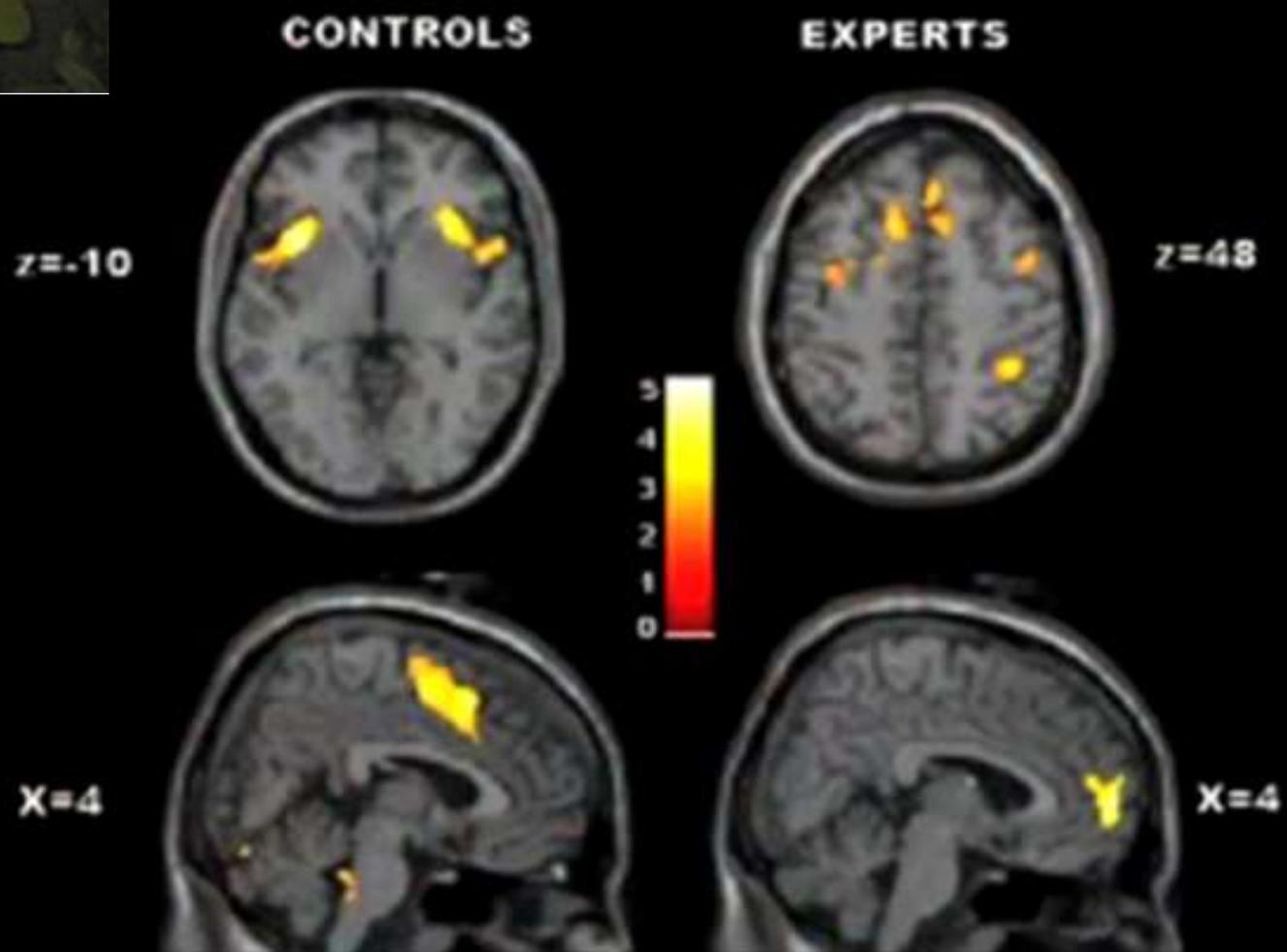


La **résolution spatiale** est de l'ordre du millimètre (de **3 - 4 mm** pour les machines à 3 Tesla à **1 - 0,5 mm** pour celles à 7 Tesla) (  $\geq 5 - 10$  mm pour le PET scan )

La **résolution temporelle** est limitée par la relative lenteur du flux sanguin dont l'IRMf dépend (donc pas à l'échelle des millisecondes comme l'activité neuronale)

Résonance magnétique fonctionnelle  
durant le test de Stroop pour six sujets  
différents démontrant la grande  
**variabilité** entre les participants.

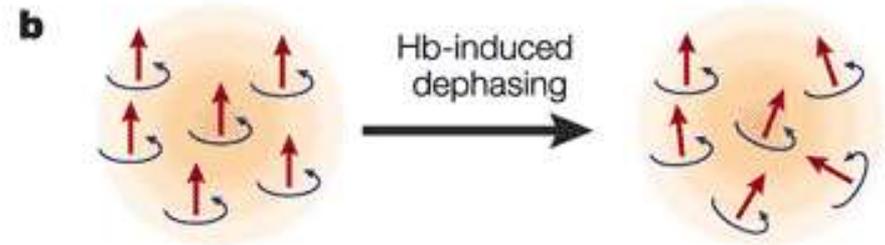
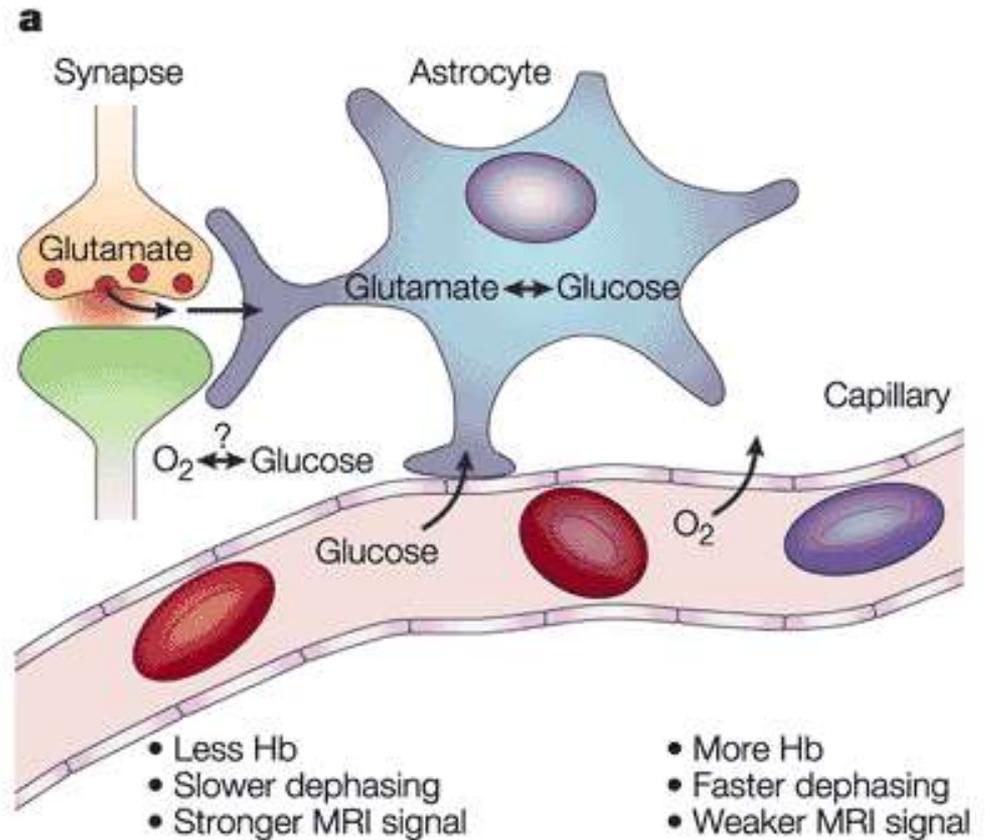


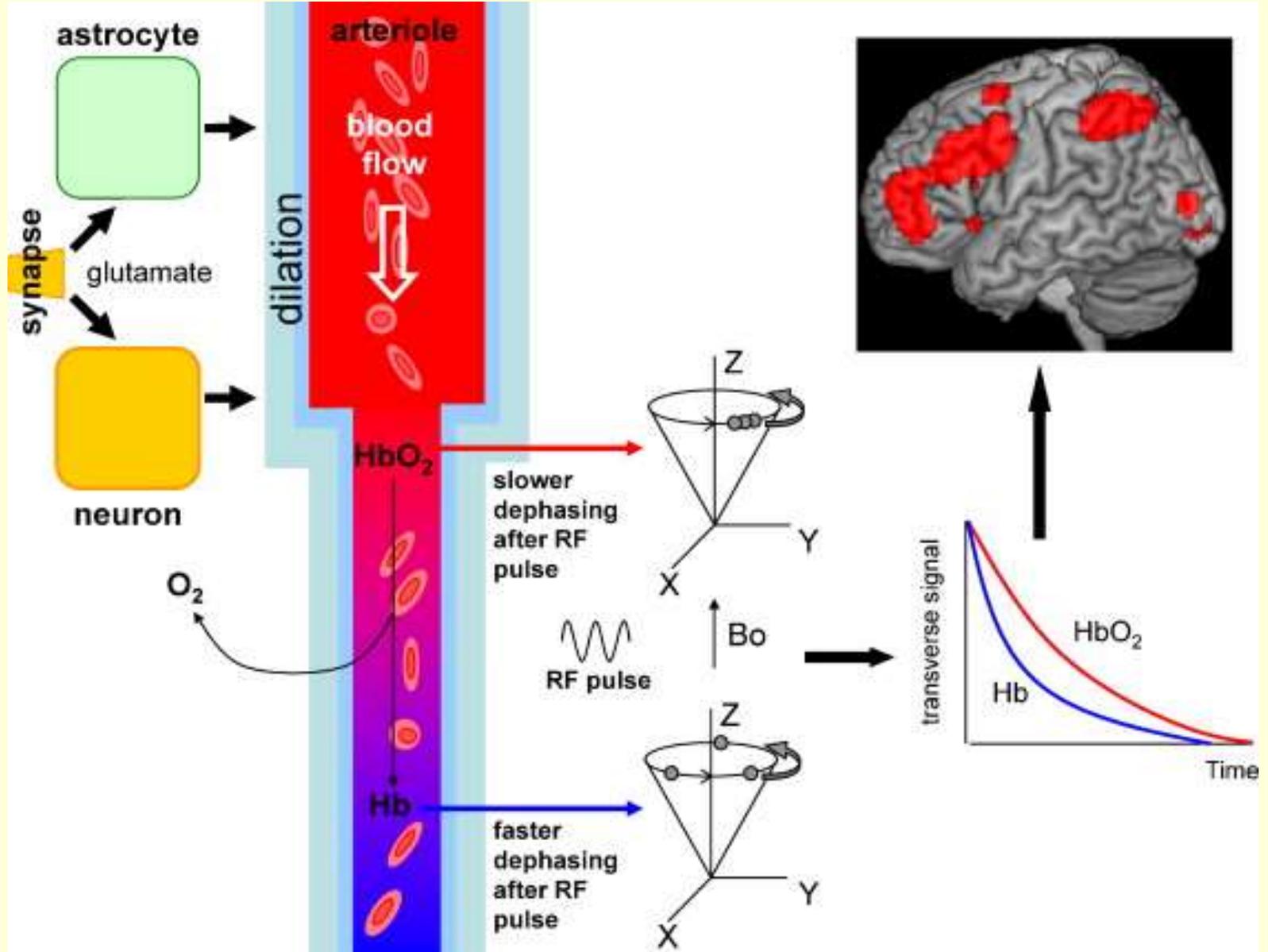


Le principe sur lequel s'appuie l'IRMf part du fait que les globules rouges du sang transportent l'oxygène fixée par l'**hémoglobine**, une protéine possédant un atome de fer.

En libérant l'oxygène, celle-ci devient de la **désoxy-hémoglobine**.

Or l'**hémoglobine** et la **désoxy-hémoglobine** ont des **propriétés magnétiques différentes** que détecte l'appareil d'IRMf.





Mais l'appareil d'IRMf doit aussi pondérer sa réponse en fonction de la **dilatation** des vaisseaux produite par les **astrocytes** qui « sentent » l'activité accrue des neurones.

Ce signal complexe a reçu le nom de **BOLD** (de l'anglais *blood-oxygen-level dependent*, « dépendant du niveau d'oxygène sanguin »)

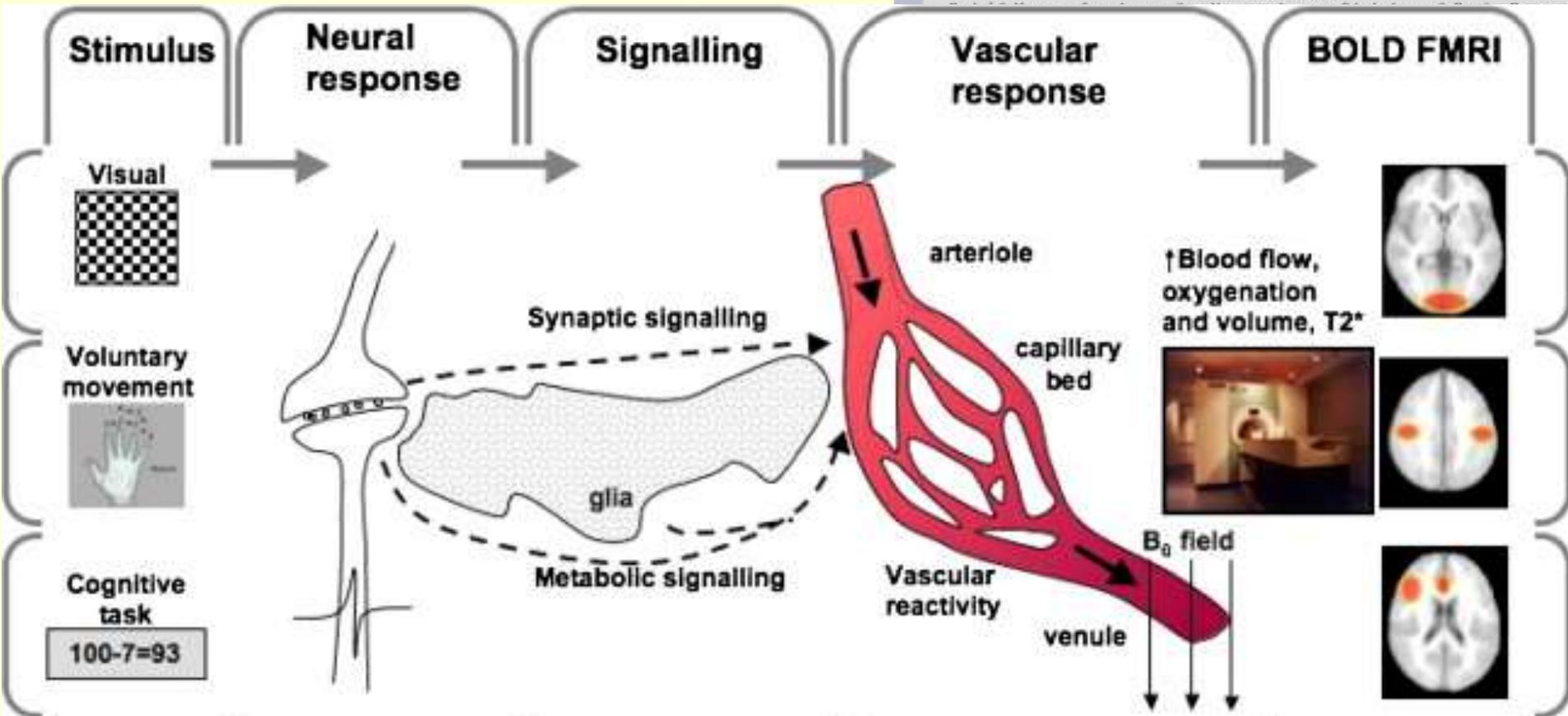
L'IRMf n'est qu'une mesure **indirecte** de l'activité neuronale.

## Neurophysiological and metabolic basis of the BOLD signal



How to interpret fMRI and compare it to other methods

S.F.W. Neggers

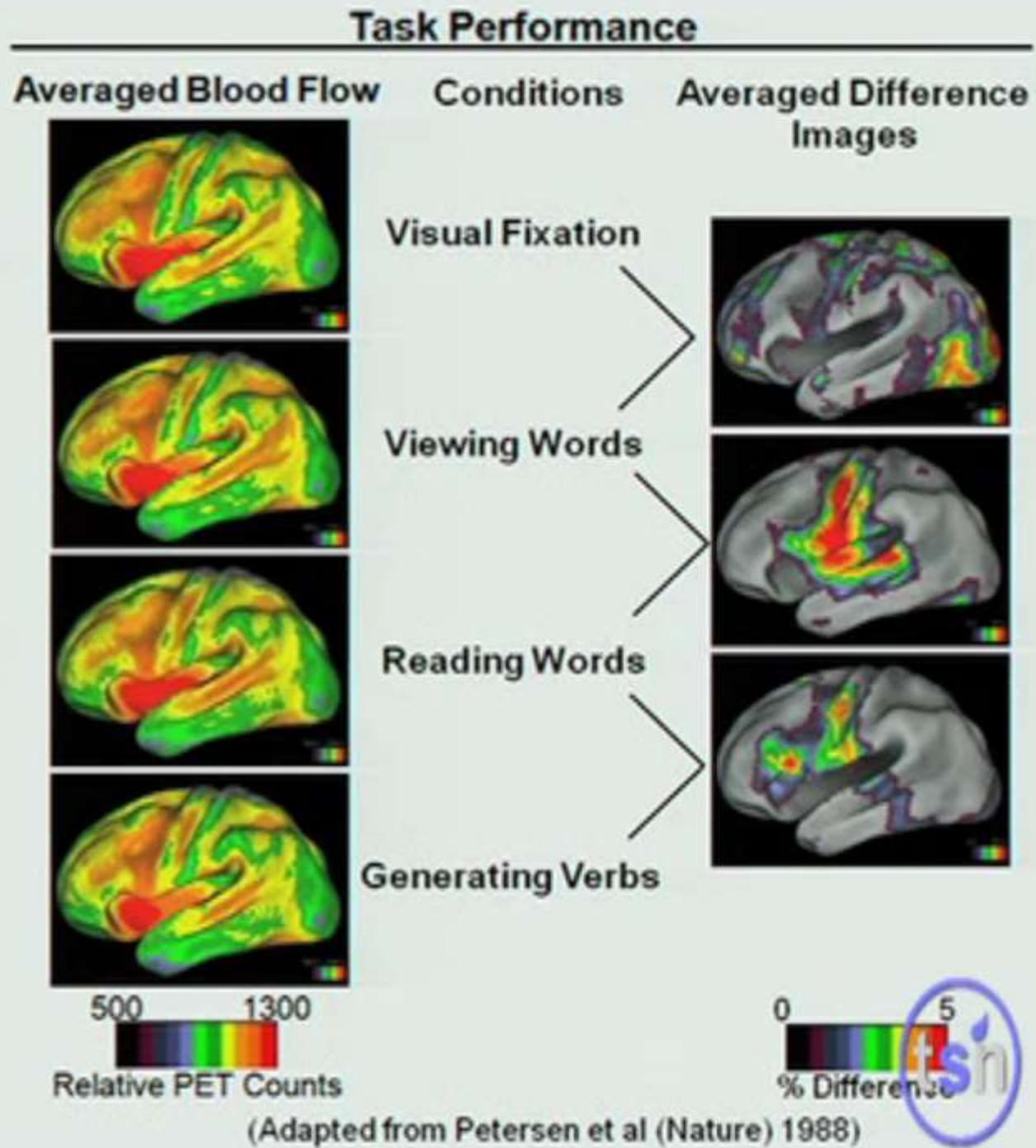


Et bien sûr, c'est toujours **une activité différentielle issue d'une soustraction** entre un état contrôle et l'état de lors d'une tâche.

« Our resting brain is never at rest. »

- Marcus Raichle

Two views of brain function  
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2810%2900029-X>



## Critique de l'IRMf :

Parce que **le ratio signal / bruit est plutôt bas** avec l'IRMf :

- on peut manquer des choses, par exemple un petit groupe de neurones étant actifs dans une zone plus large qui ne l'est pas; ou l'inverse, un petit groupe de neurones moins actifs dans une zone très activée.

In a typical scan, each **voxel** might cover  $3\text{mm}^3$  of tissue, a volume that would encompass ~ **630,000 neurons** in cortex.

[https://www.nature.com/scitable/blog/brain-metrics/what\\_does\\_fmri\\_measure/](https://www.nature.com/scitable/blog/brain-metrics/what_does_fmri_measure/)

(et donc probablement des **dizaines de millions de synapses**)

## Critique de l'IRMf

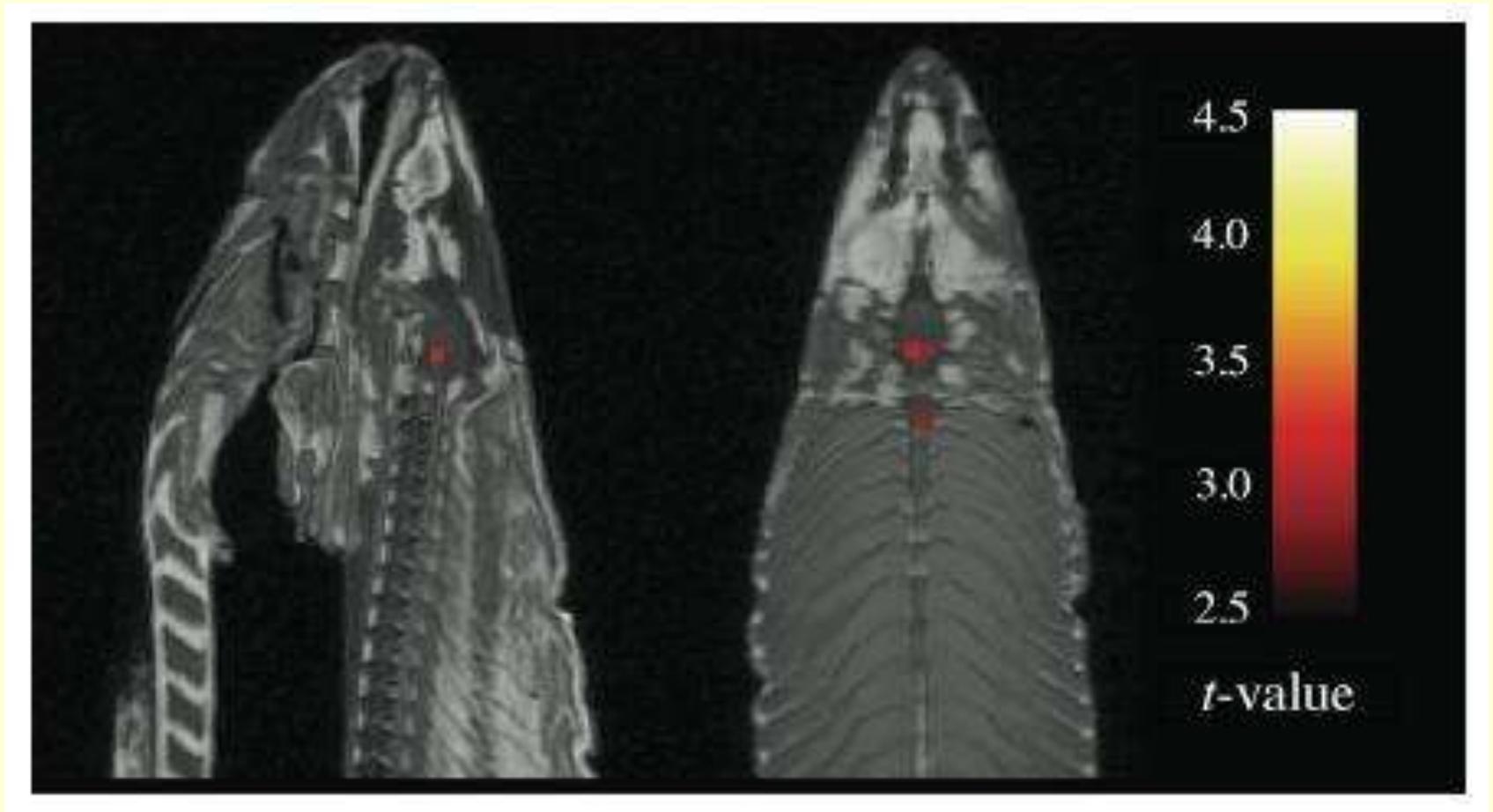
Parce que **le ratio signal / bruit est plutôt bas** avec l'IRMf :

- on peut manquer des choses, par exemple un petit groupe de neurones étant actifs dans une zone plus large qui ne l'est pas; ou l'inverse, un petit groupe de neurones moins actifs dans une zone très activée.
- on doit faire les expériences sur plusieurs sujets et utiliser des **méthodes statistiques** pour identifier ce qui est significatif dans les fluctuations observées. Cela veut donc dire qu'il y aura plusieurs façons d'analyser les données et de les interpréter. Ce qui fait dire à certains que : "If you try them all, you're going to find something"...
- Le nombre de sujets participant aux études d'imagerie cérébrale serait en général **trop petit** pour assurer la fiabilité du phénomène décrit.

**WHY SMALL SAMPLE SIZE UNDERMINES THE RELIABILITY OF NEUROSCIENCE**

Katherine Button et al., *Nature Reviews Neuroscience*, avril **2013**

Et finalement :

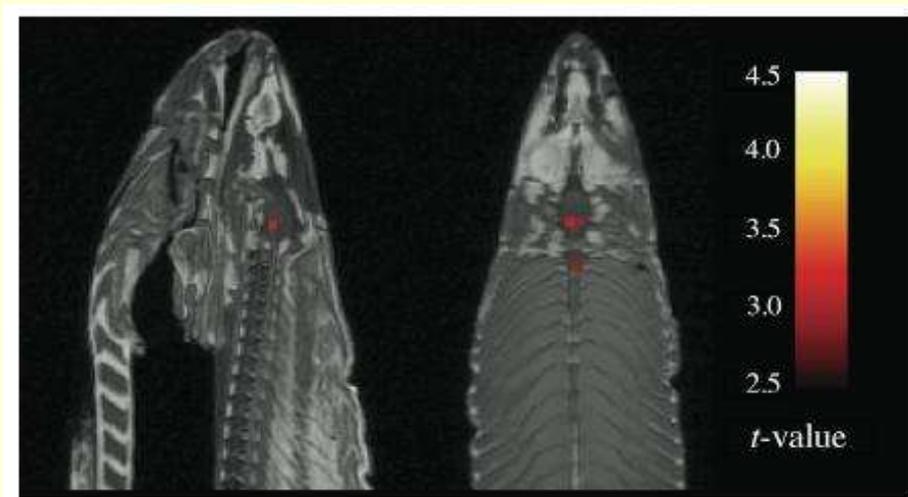


Et finalement :

L'une des critiques les plus médiatisées, de par son caractère impertinent et provocateur : l'histoire du saumon mort dont certaines régions du cerveau et de la moelle épinière **s'activaient en réponse à des stimuli sociaux conçus pour des humains !**

En réalité, il n'y avait évidemment pas d'activation cérébrale, mais la méthodologie et les calculs faits par l'appareil de résonance magnétique fonctionnel (IRMf) faisaient apparaître des taches de couleur au niveau du cerveau.

Alors qu'il devait servir de simple test pour **calibrer les contrastes de l'appareil**, le célèbre saumon mort allait devenir le caillou dans le soulier que l'IRMf traîne encore aujourd'hui...

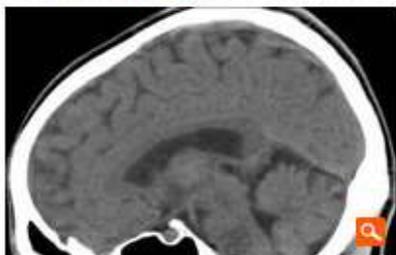




## Brain scans indicate ... this blog is informative

Wednesday, March 05, 2008 - 12:09 PM

By **Soren Wheeler** : Senior Producer



CT scan for a healthy brain (Flickr user B1SHOP (cc: by-nc-sa))

**JOIN THE DISCUSSION [5]**

Brain scans give us a whole new way of explaining how and why we do the things we do. But while brain scans can help scientists understand how the person inside the scanner thinks, they also make those of us outside the scanner a little bit less savvy.

Deena Weisberg, a postdoc at Yale, recently published a study in *The Journal of Cognitive Neuroscience* showing that people swallow poor explanations more readily when the claim is preceded by "Brains scans indicate ..." and sprinkled with neuroscience words like "frontal lobe circuitry." When we read those words—us non-experts, at least—our normal critical thinking instincts get pushed aside. And the neuroscience

information doesn't even need to be relevant to have this effect. According to the study,

"Adding irrelevant neuroscience information thus somehow impairs people's baseline ability to make judgments about explanations."

So be on the lookout. The news these days is flooded with studies that scan people's brain while they spend money, or tell lies, or think about loved ones. And it's hard not to feel like we can actually "see" people thinking. But it's important to keep in mind that these studies often have small sample sizes and are easily misinterpreted.

So we here at Radiolab promise to keep our crap-detectors working full time when we look for explanations about human behavior. But in the meantime, maybe scientists could put someone in a brain scanner while they are reading the words "brain scans indicate ..."

**TAGS:** [idea explorer](#), [the centrifuge](#)

"People swallow poor explanations more readily when the claim is preceded by "**Brains scans indicate**"

Adding irrelevant neuroscience information thus somehow **impairs people's baseline ability to make judgments** about explanations."

### The Seductive Allure of Neuroscience Explanations

Deena Skolnick Weisberg, Frank C. Keil, Joshua Goodstein, Elizabeth Rawson, and Jeremy R. Gray

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2778755/>

## Quelques références pour l'IRMf :

### **Progress and Problems in Brain Mapping** October 11, 2015

[http://jonlieffmd.com/blog/human-brain/progress-and-problems-in-brain-mapping?utm\\_source=General+Interest&utm\\_campaign=b19cb8d838-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_471703a831-b19cb8d838-94278693](http://jonlieffmd.com/blog/human-brain/progress-and-problems-in-brain-mapping?utm_source=General+Interest&utm_campaign=b19cb8d838-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_471703a831-b19cb8d838-94278693)

### **Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal (2001)**

<http://www.nature.com/nature/journal/v412/n6843/full/412150a0.html>

### **What we can do and what we cannot do with fMRI (2008)**

<http://www.nature.com/nature/journal/v453/n7197/abs/nature06976.html>

### **Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie\\_par\\_r%C3%A9sonance\\_magn%C3%A9tique\\_fonctionnelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_par_r%C3%A9sonance_magn%C3%A9tique_fonctionnelle)

### **Limitations of MRIs for Understanding Behavior** October 25, 2015

[http://jonlieffmd.com/blog/limitations-of-mris-for-understanding-behavior?utm\\_source=General+Interest&utm\\_campaign=44bae5a5a4-RSS\\_EMAIL\\_CAMPAIGN&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_471703a831-44bae5a5a4-94278693](http://jonlieffmd.com/blog/limitations-of-mris-for-understanding-behavior?utm_source=General+Interest&utm_campaign=44bae5a5a4-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_medium=email&utm_term=0_471703a831-44bae5a5a4-94278693)

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

**La tentation des étiquettes fonctionnelles :**

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

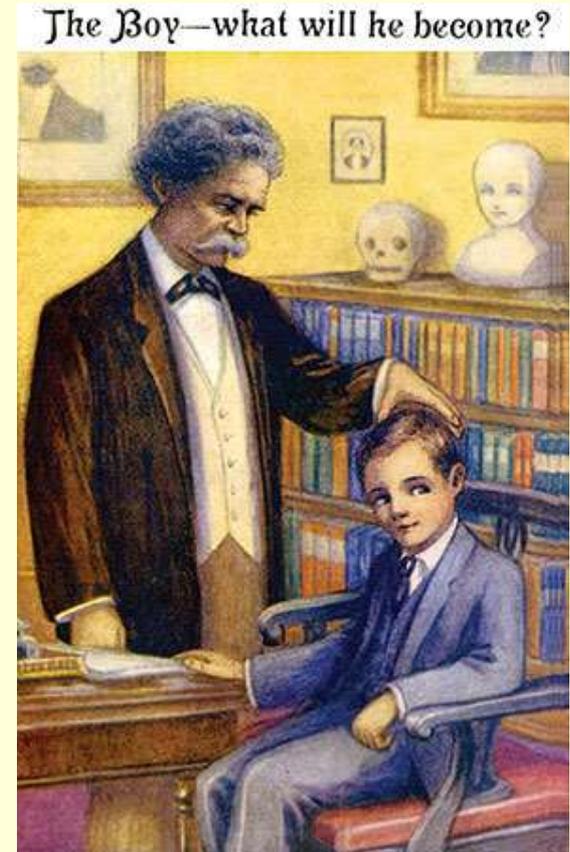
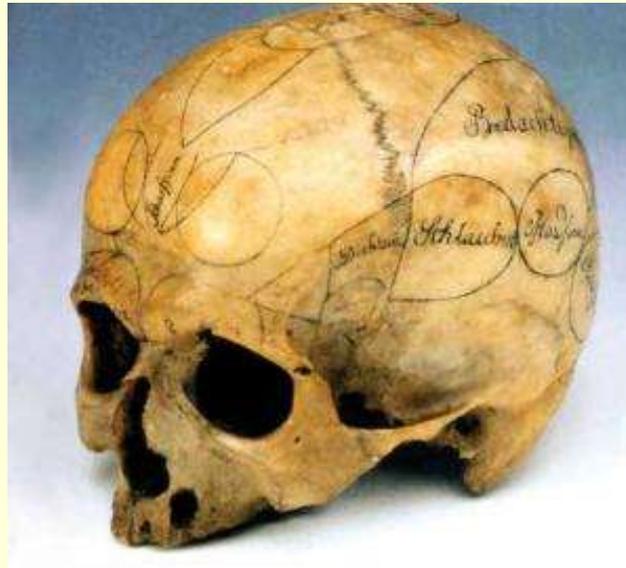
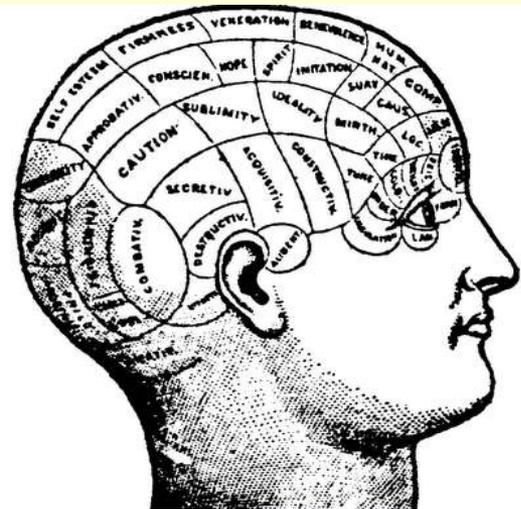
Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

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

Bref, pour certains :

L'IRMf ne serait qu'une **forme moderne de la phrénologie !**



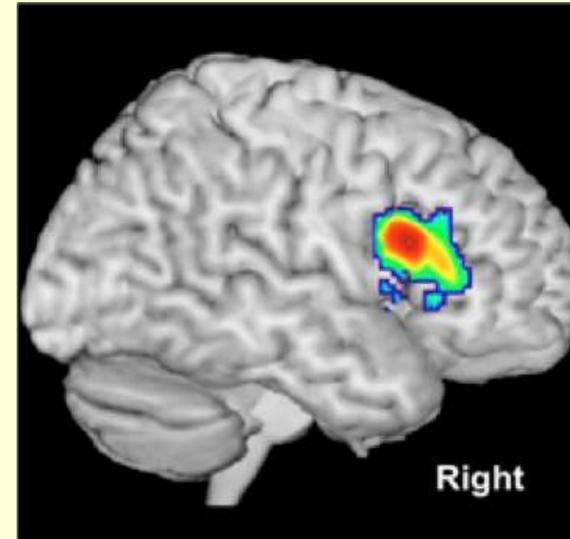
« **Not this ridiculous fMRI phrenology shit again !** »

Ou encore : la « **Blobology** », la « science des tâches de couleur » !

« La question du « où dans le cerveau » n'est sans doute pas la bonne question, car presque tout le cerveau est impliqué dans presque tous les comportements. »

- William Uttal

(auteur de *The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain* (2001))



La “mauvaise” imagerie  
cérébrale serait celle qui ne  
prend pas en considération  
la **nature fondamentalement  
distribuée et réseauté** du  
cerveau humain,

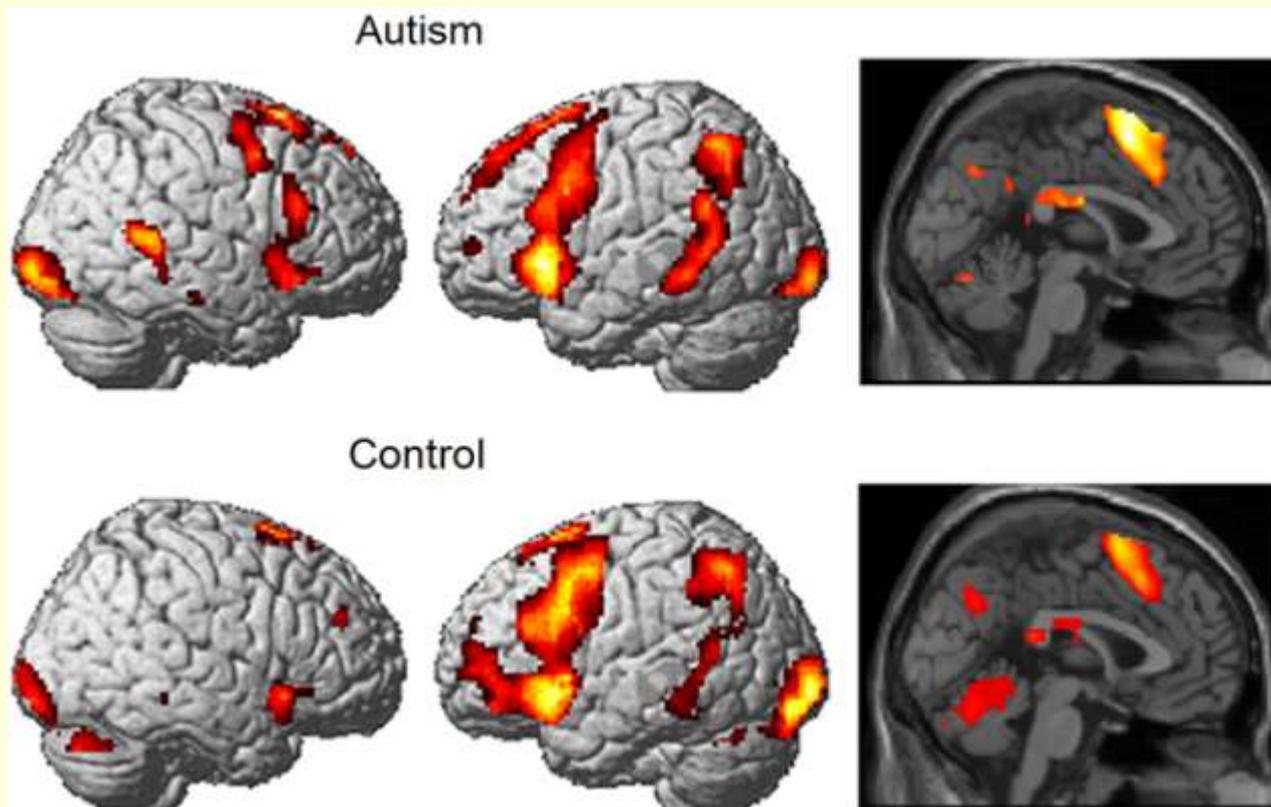
mettant l’emphase sur la  
localisation de l’activité  
neuronale alors que c’est la  
**communication entre les  
régions** qui est fondamentale  
pour nos fonctions cognitives.



Certain.e.s se portent donc à la défense de l'IRMf en disant qu'il s'agit là d'un mauvais usage d'un bon outil.

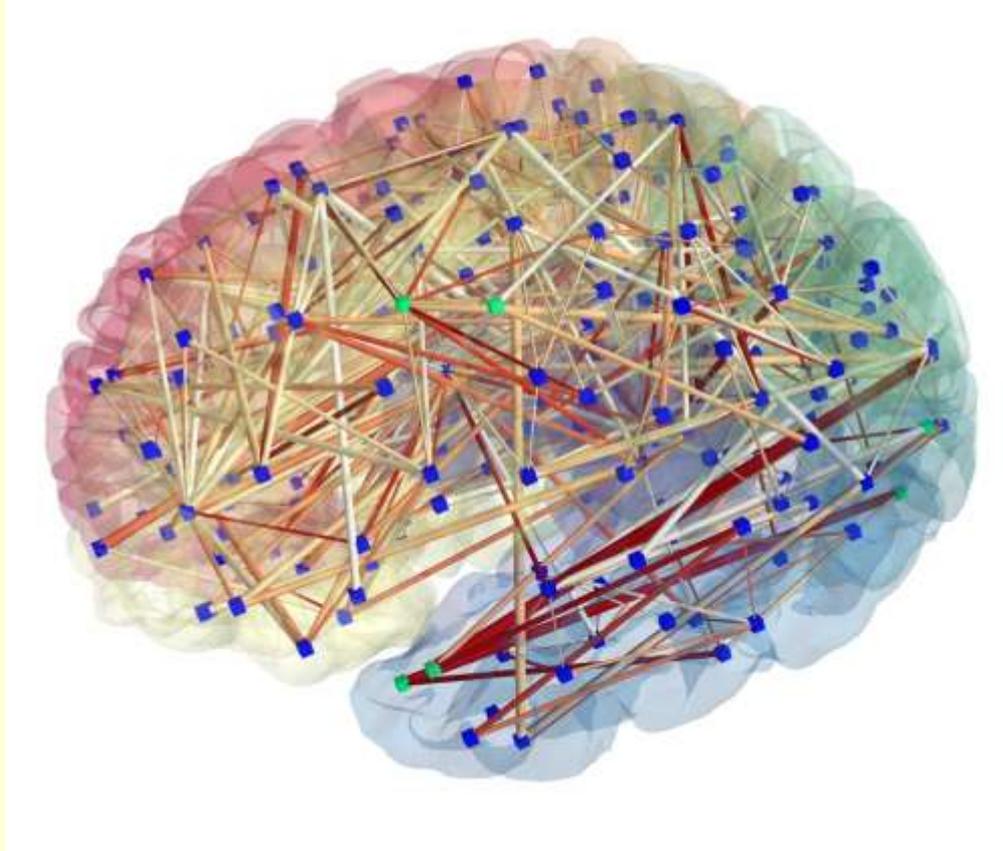
Et soulignent que beaucoup d'expériences en IRMf ne cherchent pas à localiser des fonctions cérébrales

mais justement à **cartographier les régions d'un système qui s'activent en différentes combinaisons pour différentes tâches.**



Diagnostiquer l'autisme de haut niveau & le syndrome d'Asperger à partir d'images cérébrales liées aux **pensées sociales** (PsychoMedia, décembre 2014)

<http://les-tribulations-dune-aspergirl.com/2014/12/04/diagnostiquer-lautisme-de-haut-niveau-le-syndrome-dasperger-a-partir-dimages-cerebrales-liees-aux-pensees-sociales-psycho-media-decembre-2014/>



« Pour comprendre comment la cognition fonctionne, le pari actuellement est que le bon niveau d'analyse est celui de **l'interaction dynamique dans le réseau neuronal** à l'échelle microscopique. »

- William Uttal, *Mind and Brain: A Critical Appraisal of Cognitive Neuroscience.*

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

**La tentation des étiquettes fonctionnelles :**

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

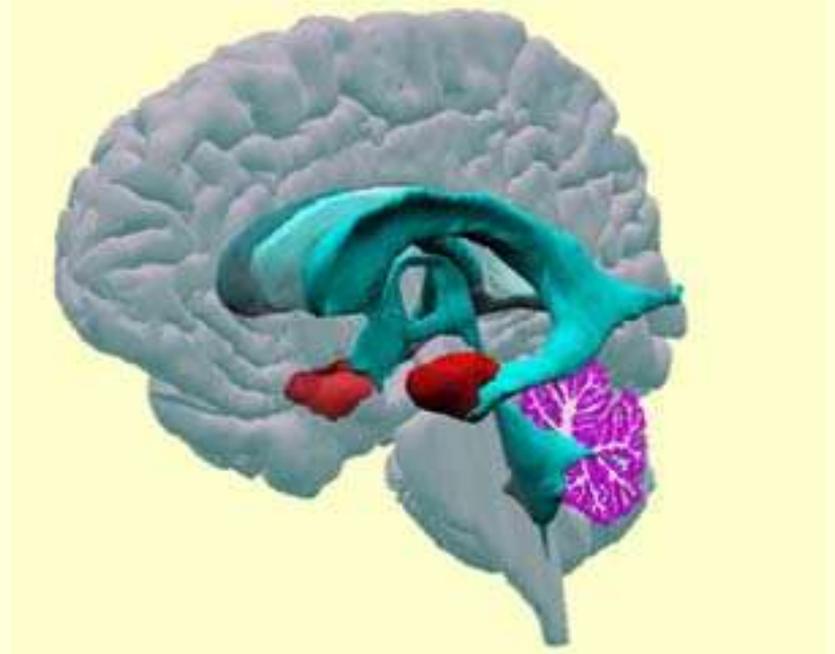
L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

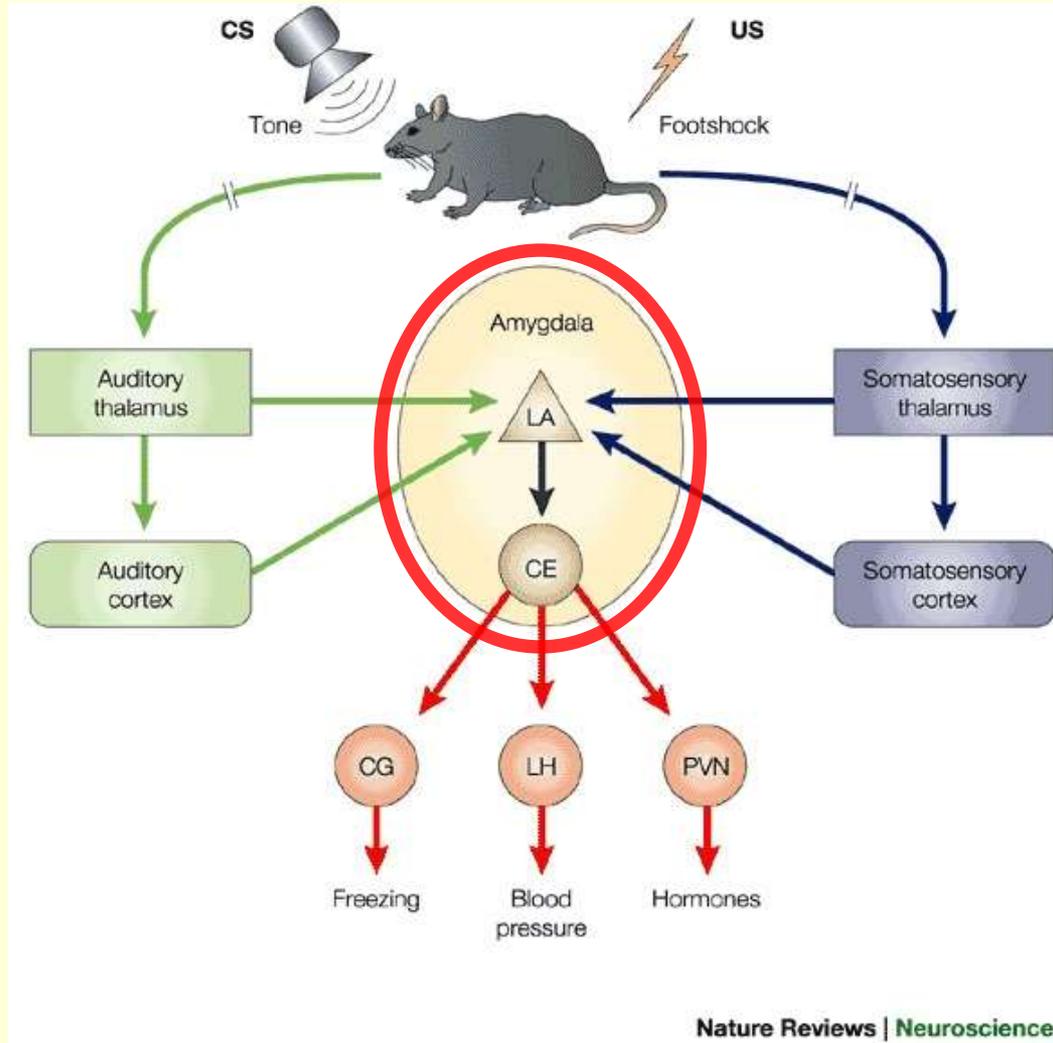
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**



**Amygdale = peur ?**

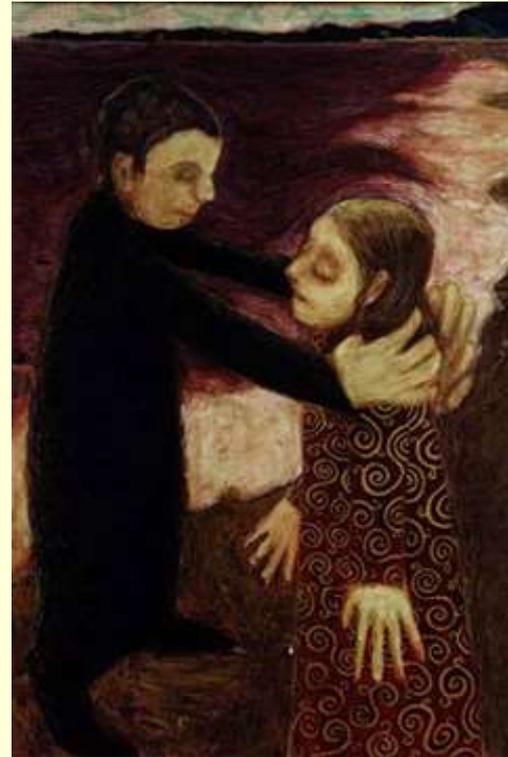


Amygdala = peur ?



Nature Reviews | Neuroscience

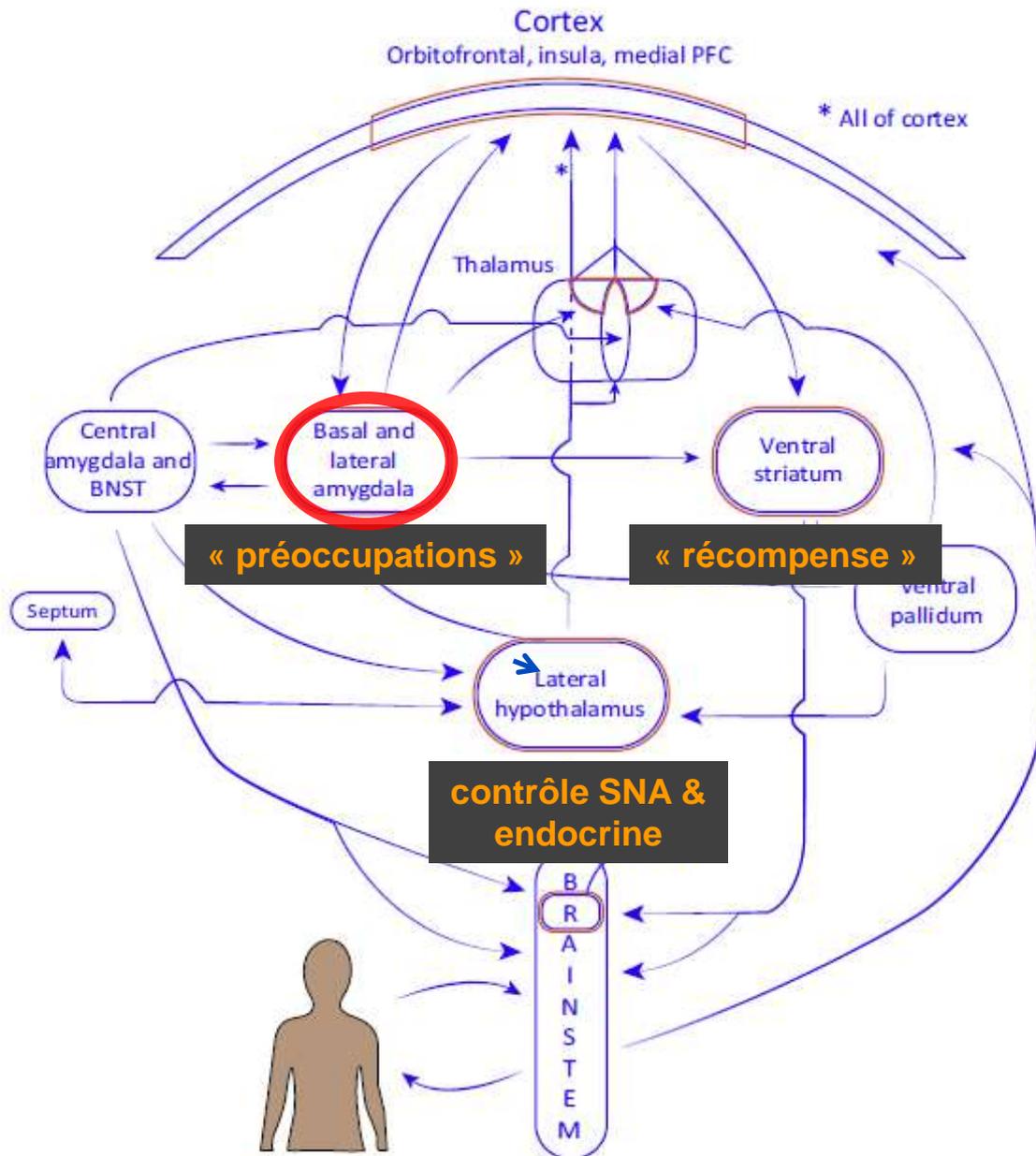
[https://www.researchgate.net/publication/11523425\\_Parallels\\_between\\_cerebellum\\_and\\_amygdala-dependent\\_conditioning](https://www.researchgate.net/publication/11523425_Parallels_between_cerebellum_and_amygdala-dependent_conditioning)



Amygdale ~~X~~ peur ?

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





Autrement dit,  
**l'amygdale n'agit pas seule :**

**elle s'intègre dans différents circuits cérébraux impliquant plusieurs structures,**

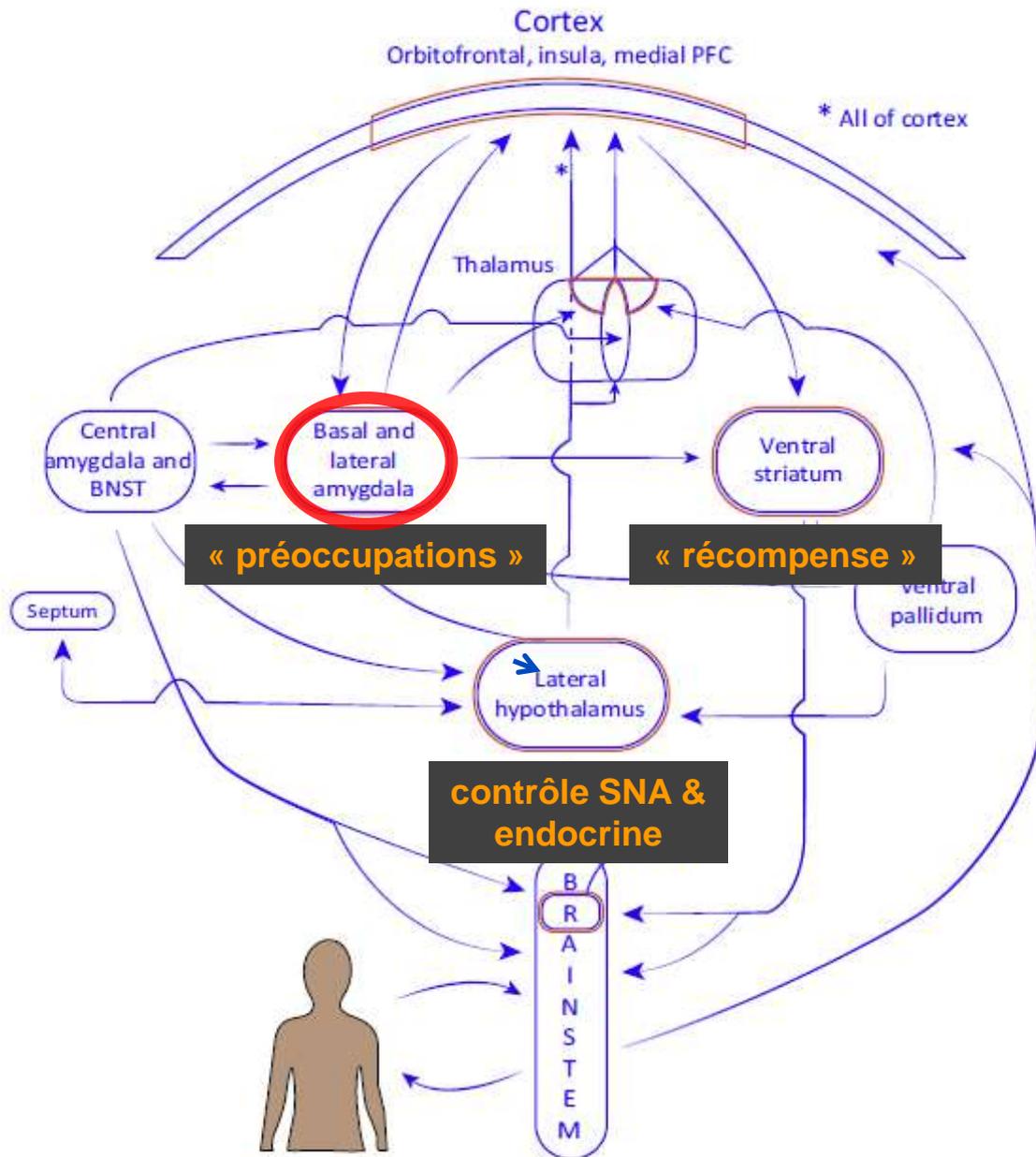
ici dans un réseau relié aux **émotions.**

## A Network Model of the Emotional Brain

Luiz Pessoa

Trends Cogn Sci. **2017** May; 21(5): 357–371

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



a 'functional diversity profile'

For example, in the case of the **amygdala** mentioned above, it would involve **arousal, vigilance, novelty, attention, value determination, and decision making, among others.**

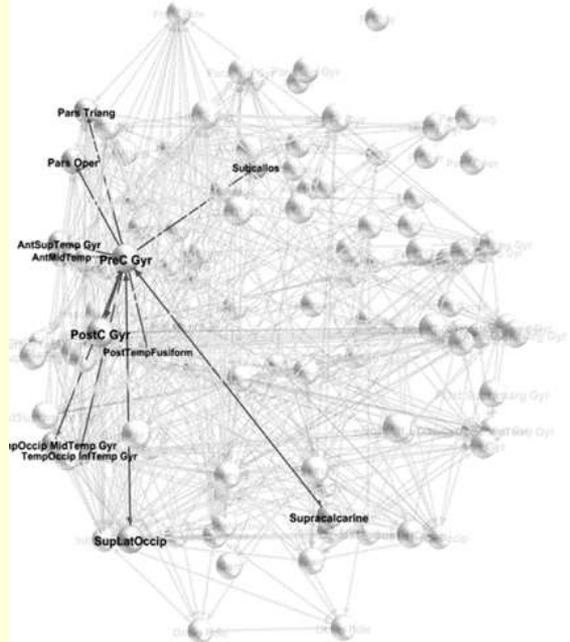
**A Network Model of the Emotional Brain**

Luiz Pessoa

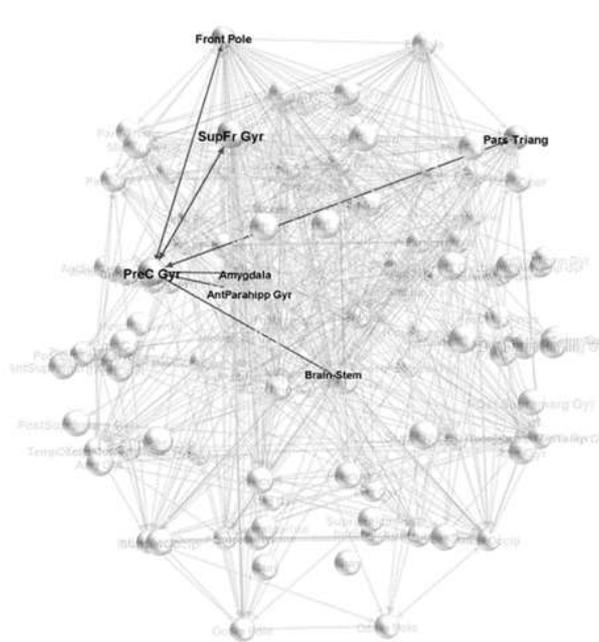
Trends Cogn Sci. **2017** May; 21(5): 357–371

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

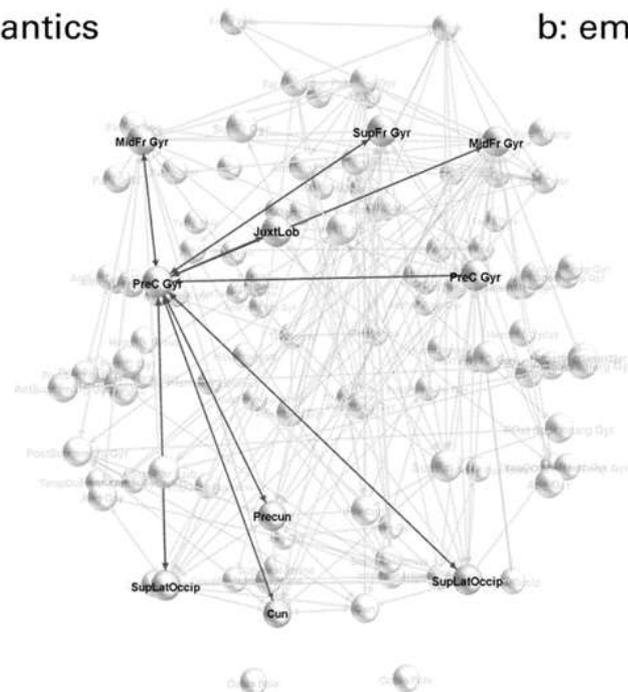
Exemple d'une **même structure** cérébrale impliquée dans **différents réseaux** dans **différentes situations**.



a: semantics



b: emotion



c: attention

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

**La tentation des étiquettes fonctionnelles :**

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

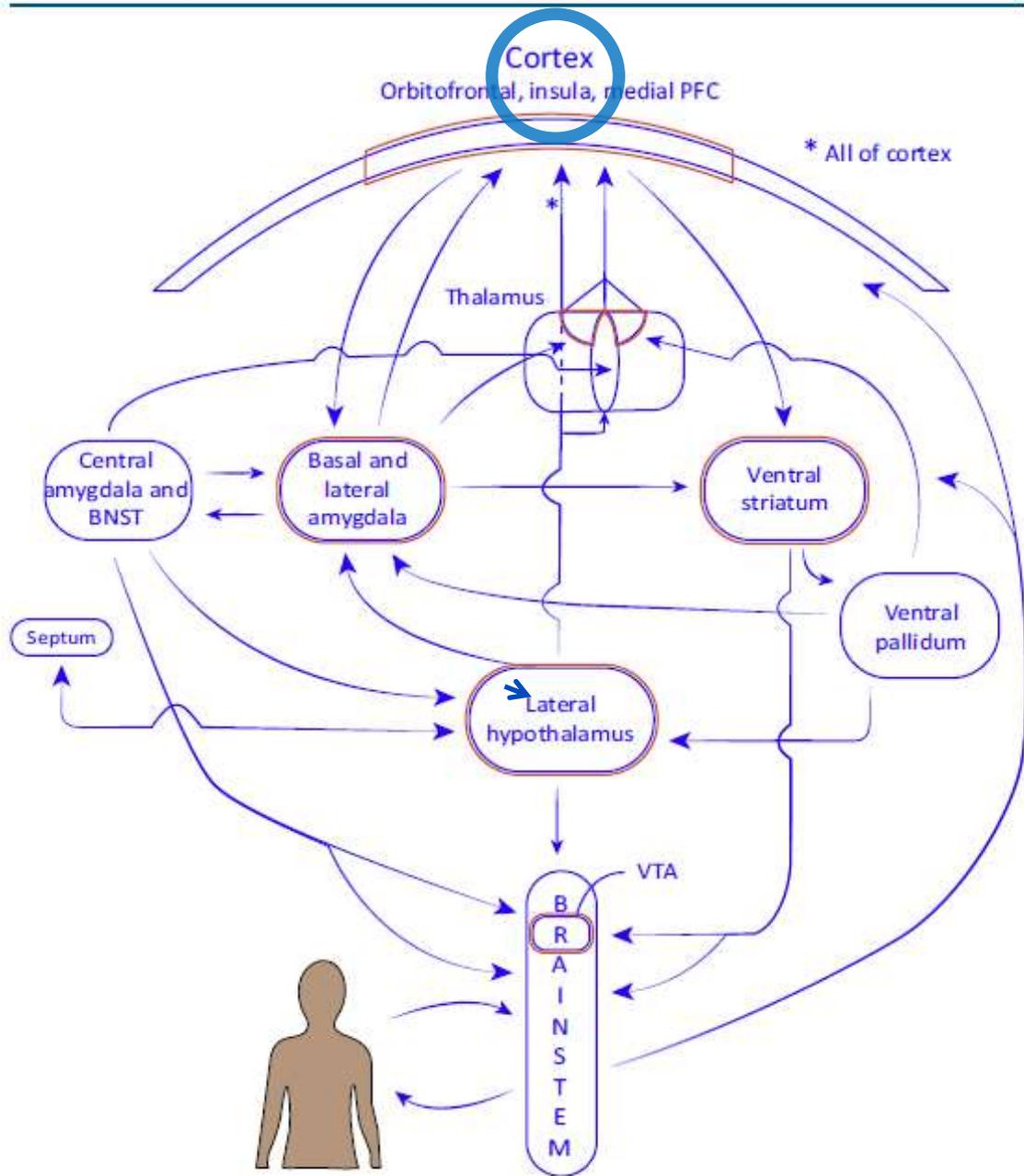
L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Simuler le cerveau pour tenter de mieux le comprendre

Séance 5 :

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



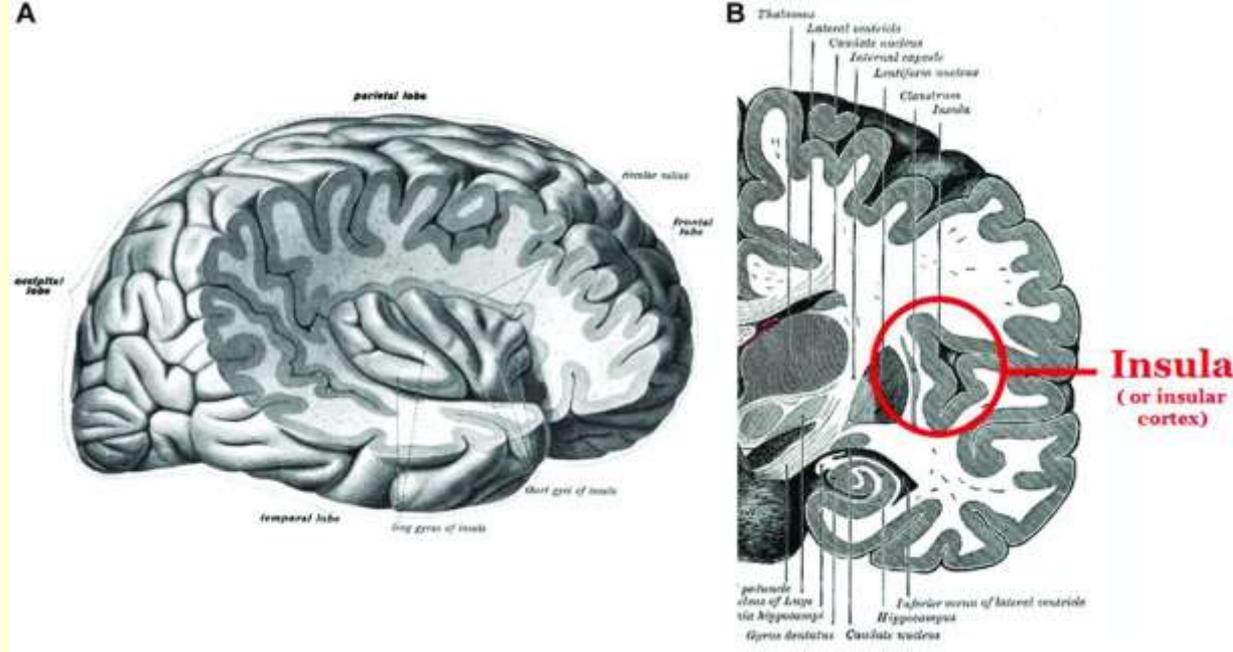
The **insula** is a brain structure implicated in **disparate** cognitive, affective, and regulatory functions, including **interoceptive** awareness, **emotional** responses, and **empathic** processes.

In task-based functional imaging, it has been **difficult to isolate insula responses** because it is often **coactivated** with the ACC, the DLPFC and ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), and the PPC.

→ activée par un **dégoût** alimentaire

→ aussi en présence de caractéristiques propres au « **out group** » (i.e. « Eux »).

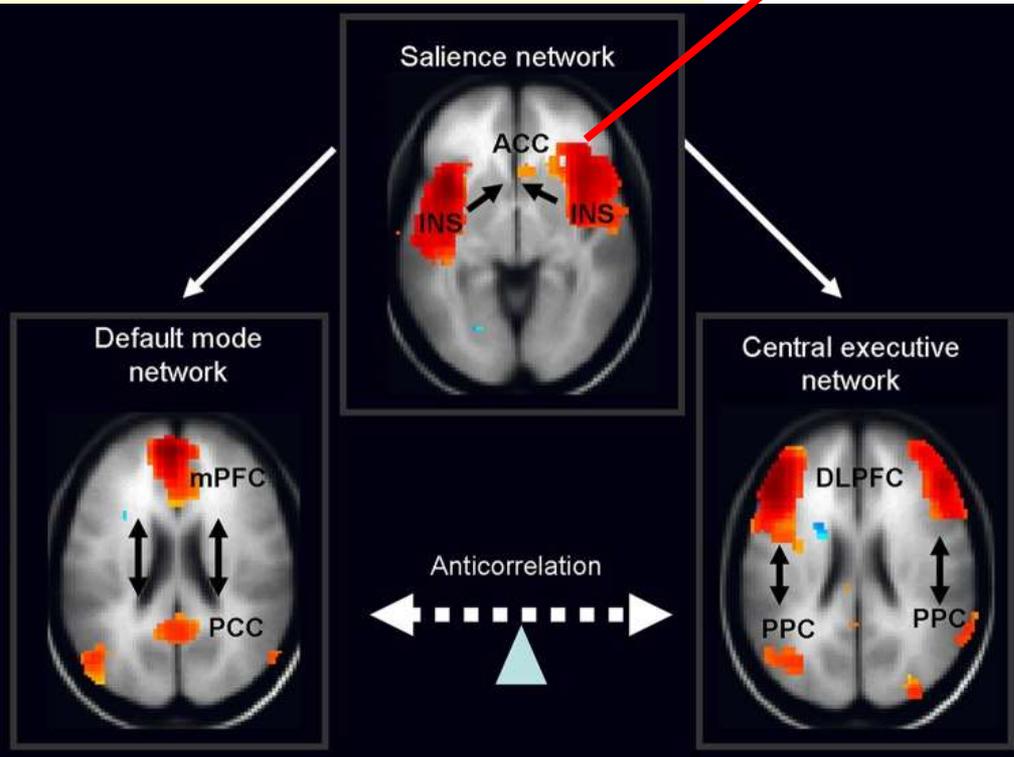
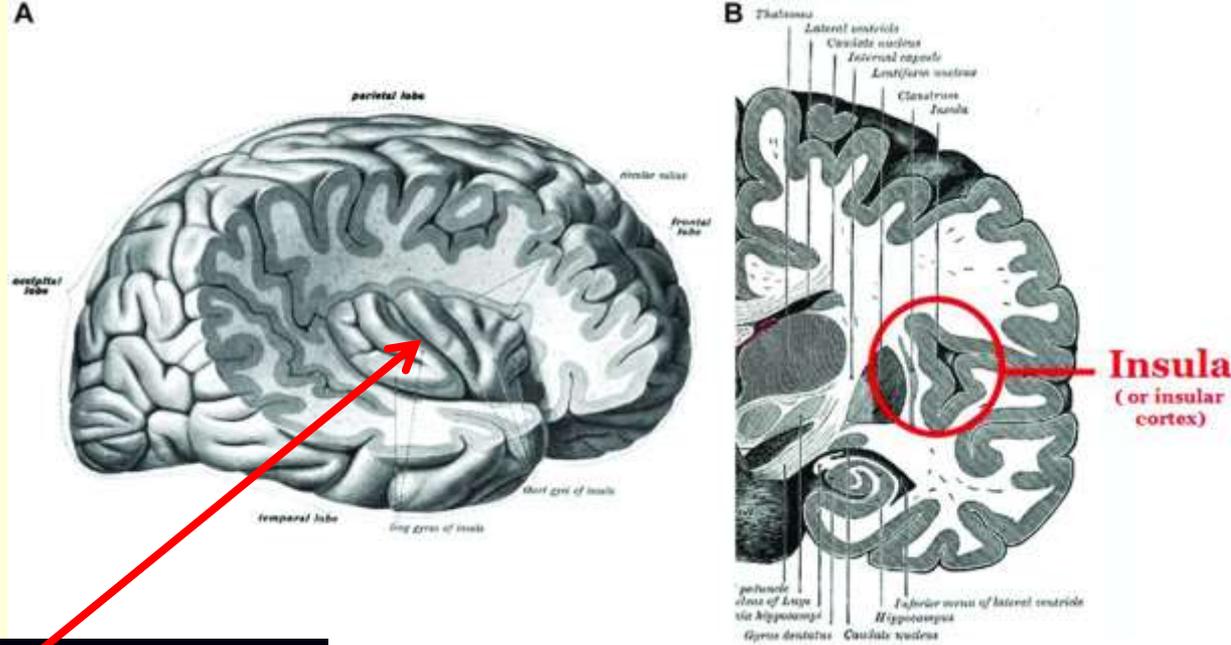
Un autre exemple de **recyclage neuronale**...



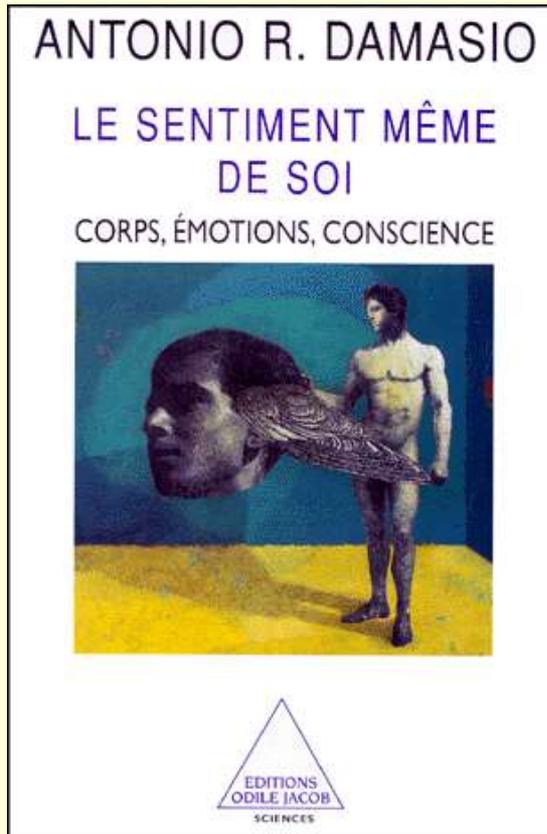
→ activée par un **dégoût** alimentaire

→ aussi en présence de caractéristiques propres au « **out group** » (i.e. « Eux »).

Un autre exemple de **recyclage neuronale**...



Et il ne faut jamais oublier que **l'insula** fait partie, comme toute structure cérébrale, de **différents grands réseaux** comme ici le « réseaux de la saillance »



**En 1999**, dans *Le sentiment même de soi*, Antonio Damasio développe un modèle pour rendre compte des différents niveaux possibles de la conscience de soi.

Celui-ci s'enracine dans un monitoring constant des manifestations somatiques de nos réactions viscérales qui « **marquent** » **d'une valeur affective** l'information perceptuelle en provenance de l'environnement extérieur

(son concept de « marqueur somatique » dont on reparlera à la [séance #9](#)).

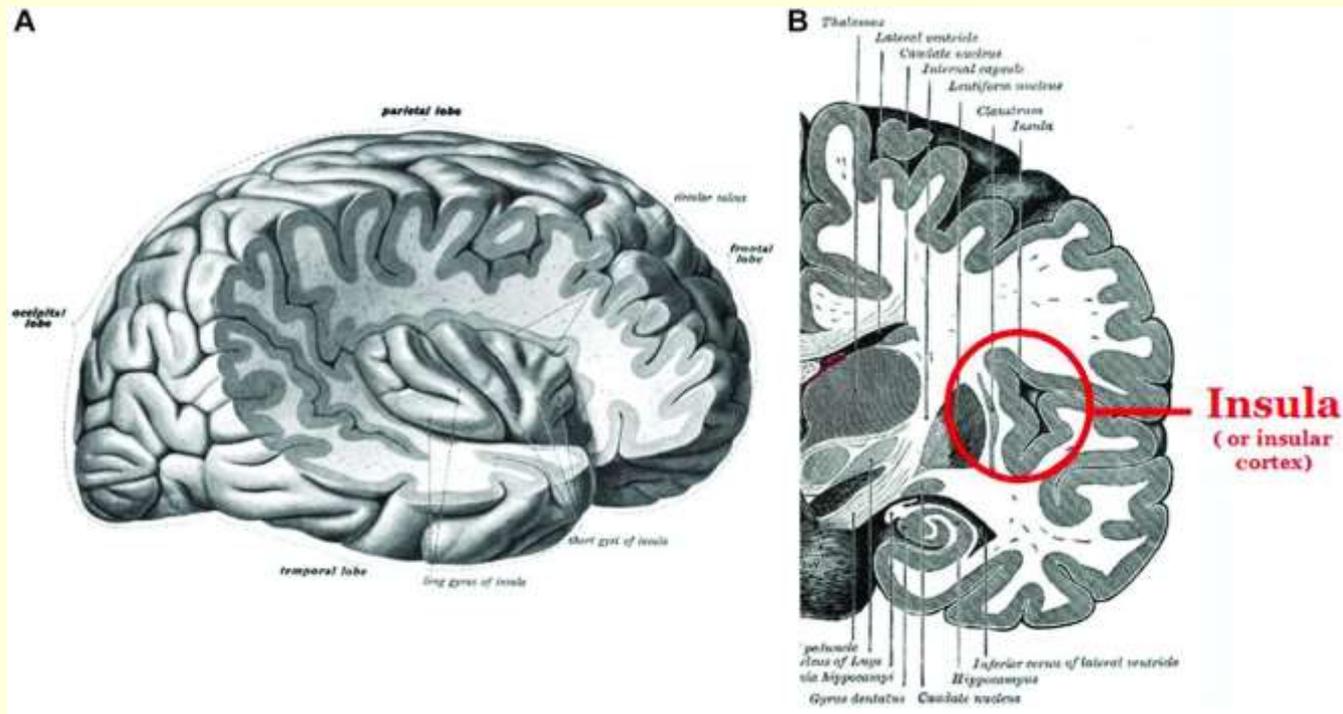
Ce monitoring viscéral à la base de son modèle, il le nomme « **proto-soi** », une perception d'instant en instant de l'état émotionnel interne du corps rendue possible par **l'insula**.

18 mars 2013

## Nos sentiments pourraient se passer de l'insula

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/18/nos-sentiments-pourraient-se-passer-de-linsula/>

Damasio publie un article dans *Nature Neuroscience* où il note que plusieurs observations ne sont pas très compatibles avec son idée première voulant que **l'insula soit la plateforme essentielle de nos émotions** et, par extension, de la **conscience humaine** qui s'élabore à partir de celles-ci.



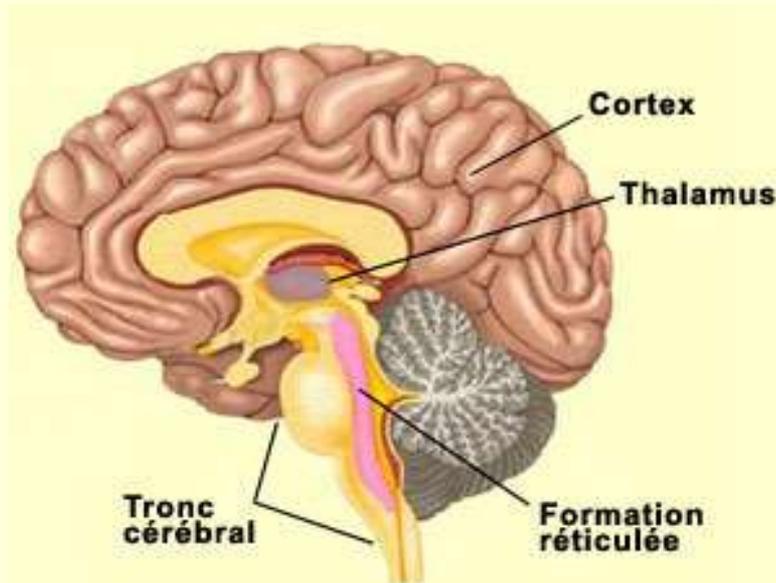
18 mars **2013**

## Nos sentiments pourraient se passer de l'insula

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/18/nos-sentiments-pourraient-se-passer-de-linsula/>

Damasio publie un article dans *Nature Neuroscience* où il note que plusieurs observations ne sont pas très compatibles avec son idée première voulant que **l'insula soit la plateforme essentielle de nos émotions** et, par extension, de la **conscience humaine** qui s'élabore à partir de celles-ci.

→ reconsidère les nombreux noyaux de neurones de la **partie supérieure du tronc cérébral** qui reçoivent d'abord l'information en provenance du corps et qui pourraient eux-mêmes contribuer à l'émergence de nos sentiments.



18 mars 2013

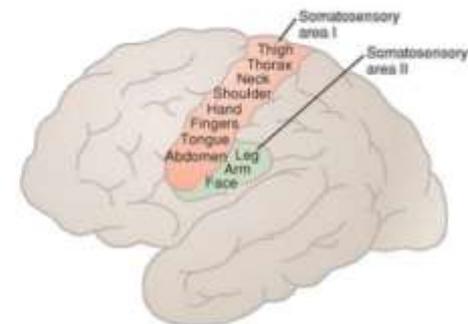
## Nos sentiments pourraient se passer de l'insula

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/18/nos-sentiments-pourraient-se-passer-de-linsula/>

Damasio publie un article dans *Nature Neuroscience* où il note que plusieurs observations ne sont pas très compatibles avec son idée première voulant que **l'insula soit la plateforme essentielle de nos émotions** et, par extension, de la **conscience humaine** qui s'élabore à partir de celles-ci.

- reconsidère les nombreux noyaux de neurones de la **partie supérieure du tronc cérébral** qui reçoivent d'abord l'information en provenance du corps et qui pourraient eux-mêmes contribuer à l'émergence de nos sentiments.
- différents cas où **l'insula est absente ou détruite** (par exemple, les enfants qui naissent sans cortex cérébral ou des victimes d'encéphalites dévastatrices) où les gens conservent une **riche palette d'états émotionnels**.
- nos **cortex somatosensoriels SI et SII** généralement épargnées chez ces sujets à l'insula détruite, seraient aussi impliqués.

### SOMATOSENSORY CORTEX



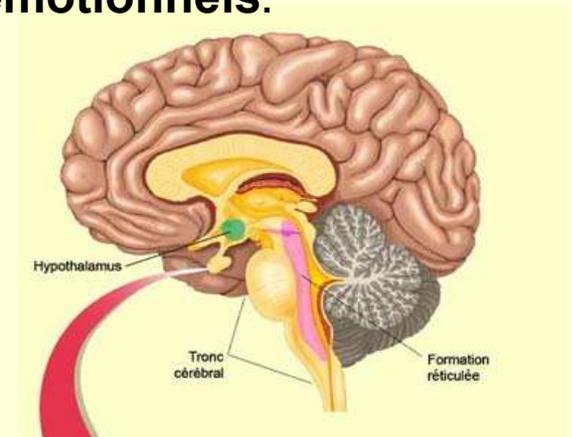
18 mars **2013**

## Nos sentiments pourraient se passer de l'insula

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/03/18/nos-sentiments-pourraient-se-passer-de-linsula/>

Damasio publie un article dans *Nature Neuroscience* où il note que plusieurs observations ne sont pas très compatibles avec son idée première voulant que **l'insula soit la plateforme essentielle de nos émotions** et, par extension, de la **conscience humaine** qui s'élabore à partir de celles-ci.

- reconsidère les nombreux noyaux de neurones de la **partie supérieure du tronc cérébral** qui reçoivent d'abord l'information en provenance du corps et qui pourraient eux-mêmes contribuer à l'émergence de nos sentiments.
- différents cas où **l'insula est absente ou détruite** (par exemple, les enfants qui naissent sans cortex cérébral ou des victimes d'encéphalites dévastatrices) où les gens conservent une **riche palette d'états émotionnels**.
- nos **cortex somatosensoriels SI et SII** généralement épargnées chez ces sujets à l'insula détruite, seraient aussi impliqués.
- même **l'hypothalamus** ! (valeurs de survie évolutivement associées à la moindre émotion).



# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

**La tentation des étiquettes fonctionnelles :**

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

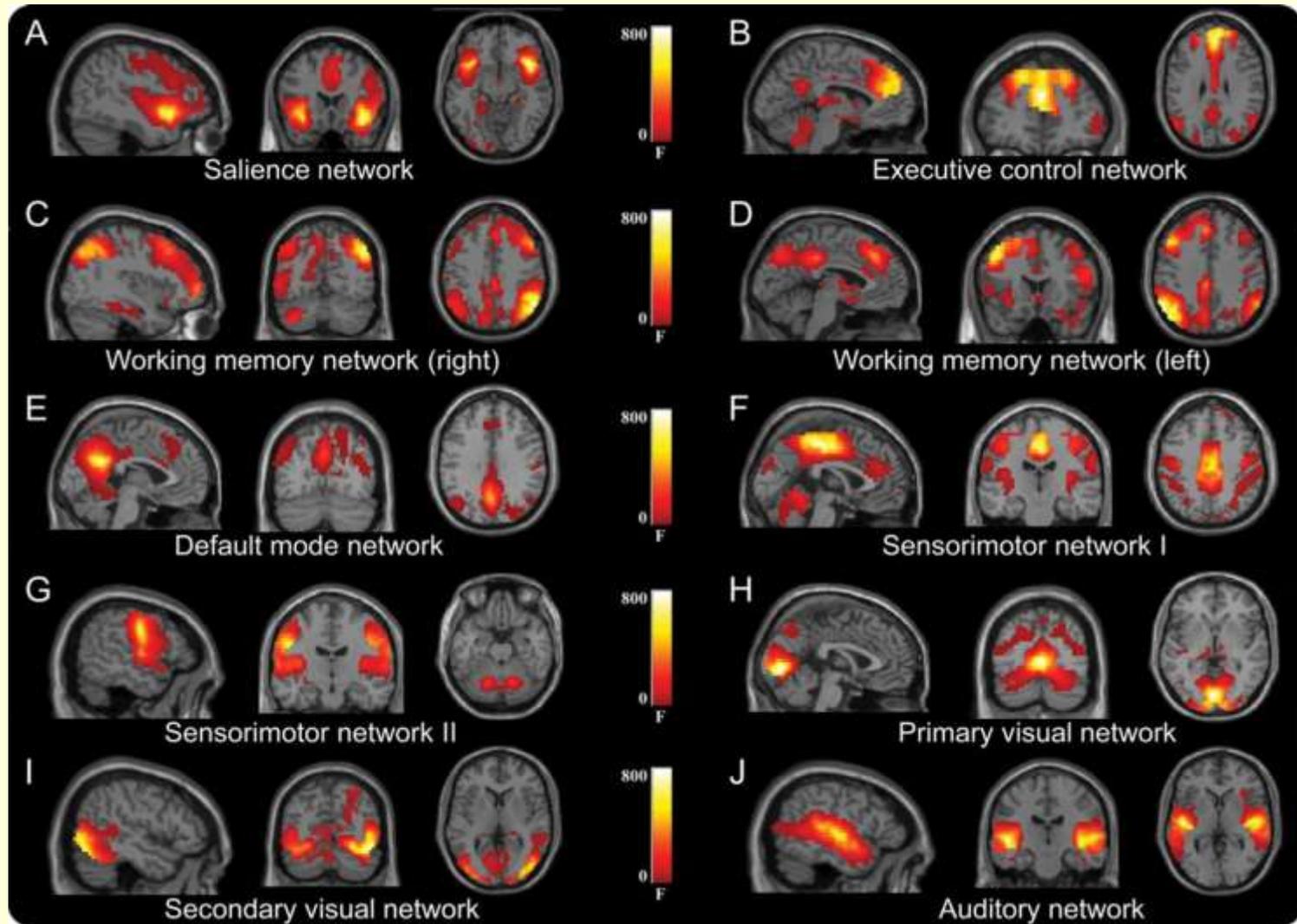
Simuler le cerveau pour tenter de mieux le comprendre

Séance 5 :

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

Si, comme on l'a vu, une structure cérébrale donnée (amygdale, insula, etc.) peut être active dans des situations très différentes, **c'est qu'elle n'agit pas seule.**

Elle s'intègre dans différents circuits cérébraux impliquant d'autres structures.



large. Given that every brain region is getting projections from and sending projections to a zillion other places, it is rare that an individual brain region is “the center for” anything. Instead it’s all networks where, far more often, a particular region “plays a key role in,” “helps mediate,” or “influences” a behavior. The function of a particular brain region is embedded in the context of its connections.

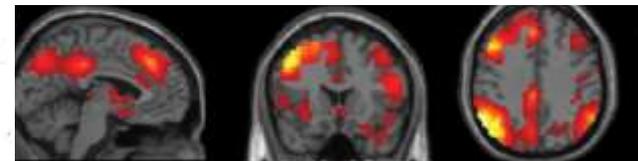


# BEHAVE

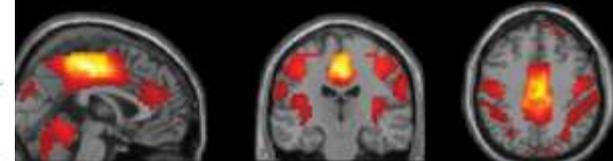
THE BIOLOGY  
of HUMANS at OUR  
BEST and WORST



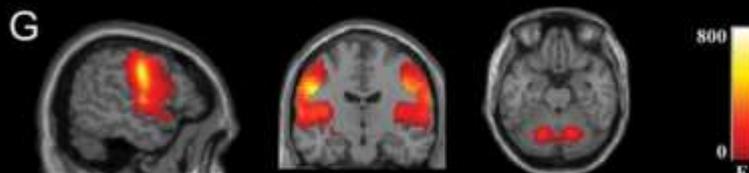
ROBERT M.  
SAPOLSKY



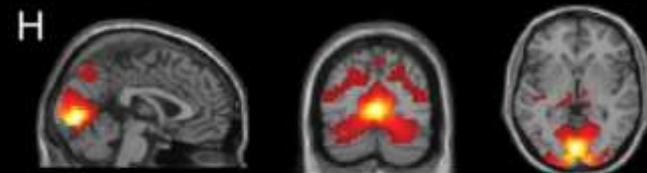
Working memory network (left)



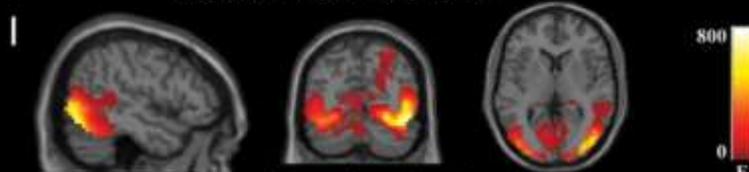
Sensorimotor network I



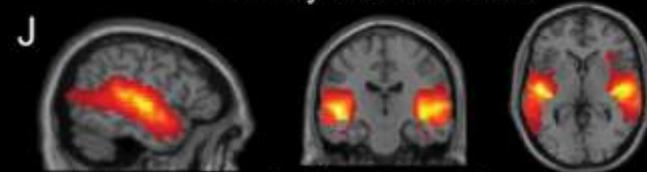
Sensorimotor network II



Primary visual network



Secondary visual network



Auditory network

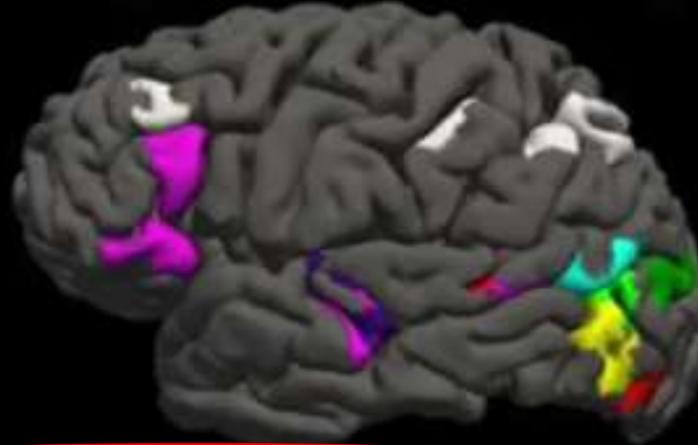
Lundi, 7 novembre 2016

## **Le débat sur la spécialisation fonctionnelle du cerveau**

“Strict localization” :

**Nancy Kanwisher**

<http://nancysbraintalks.mit.edu/>



- ?
- 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

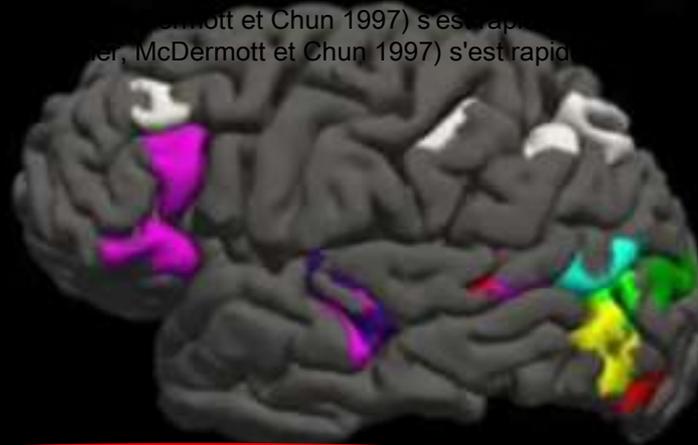
Plusieurs données remettent en question une conception très **spécialisée** des aires cérébrales héritée en grande partie de l'idée de **module spécialisé** (cognitivisme, Fodor...).

L'excitation suscitée par  
L'excitation suscitée p

“Strict localization” :

**Nancy Kanwisher**

<http://nancysbraintalks.mit.edu/>



- 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

L'excitation suscitée par la découverte de « l'aire fusiforme de reconnaissance des visage » (Kanwisher, McDermott et Chun 1997) **s'est calmée rapidement** quand on a découvert que cette région **répond également aux voitures, aux oiseaux et à d'autres stimuli.**

→ The “**expertise hypothesis**”

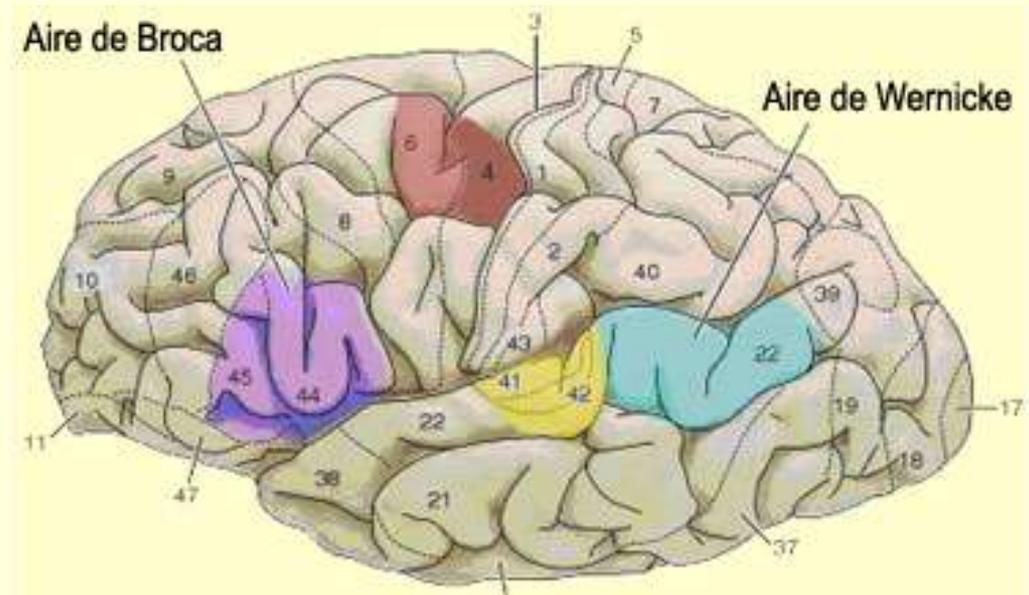
[https://en.wikipedia.org/wiki/Fusiform\\_face\\_area](https://en.wikipedia.org/wiki/Fusiform_face_area)

(Gauthier et al. 2000; Grill-Spector, Sayres, & Ress 2006; Hanson & Schmidt 2011; Rhodes et al. 2004).

Pour illustrer comment il semble y avoir, en réalité, très peu de régions cérébrales dédiées à une fonction cognitive unique, prenons une méta-analyse de 3 222 études d'imagerie cérébrale effectuée par Russell Poldrack en 2006.

L'**aire de Broca**, typiquement associée au langage, s'activait effectivement lors d'une tâche langagière.

Mais elle était **plus fréquemment** activée dans des tâches **non langagières** que dans des tâches reliées au langage !



**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](#)

L'aire de Broca a probablement déjà rempli certaines fonctions sensorimotrices qui se sont par la suite avérées utiles pour l'émergence du langage (et **ces fonctions premières sont conservées !**).

Et de la même façon, il semblerait que la plupart des régions du cerveau, et même des régions très petites, peuvent être activées par **de multiples tâches**.

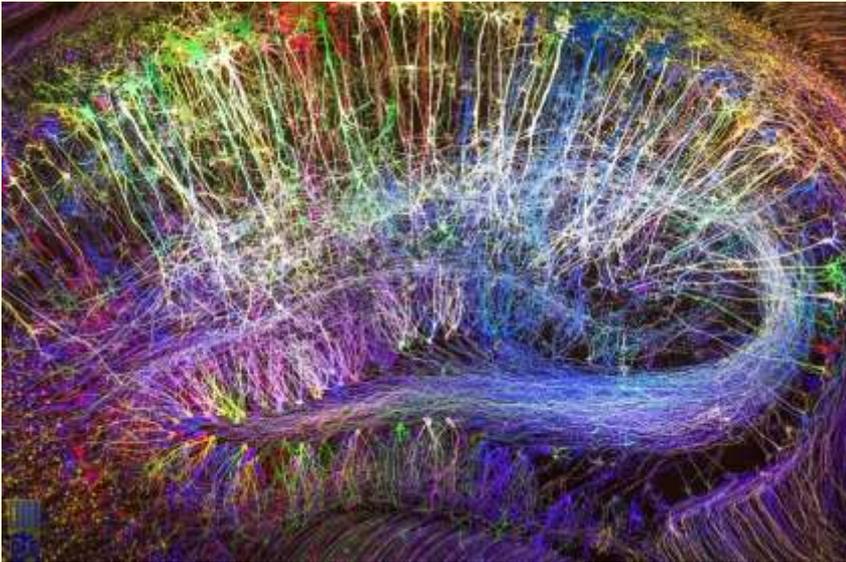


Cela dit, ce n'est pas parce qu'il y a très peu de chance de trouver des « centre de » quoi que ce soit dans le cerveau que l'on ne peut pas y trouver des structures cérébrales bien **différenciées** avec circuits neuronaux aux **capacités computationnelles particulières** comme :

**l'hippocampe**

ou

**le cervelet.**



**Mais on ne peut leur accoler une étiquette fonctionnelle unique.**

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos

**La tentation des étiquettes fonctionnelles**

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Simuler le cerveau pour tenter de mieux le comprendre

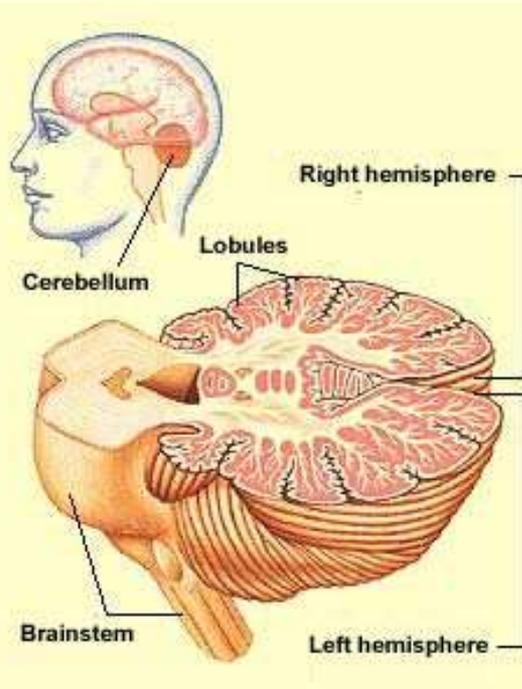


session 3 :

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

À mesure que le corps des animaux s'est complexifié durant l'évolution, Il a reçu une pression adaptative pour être plus efficace.

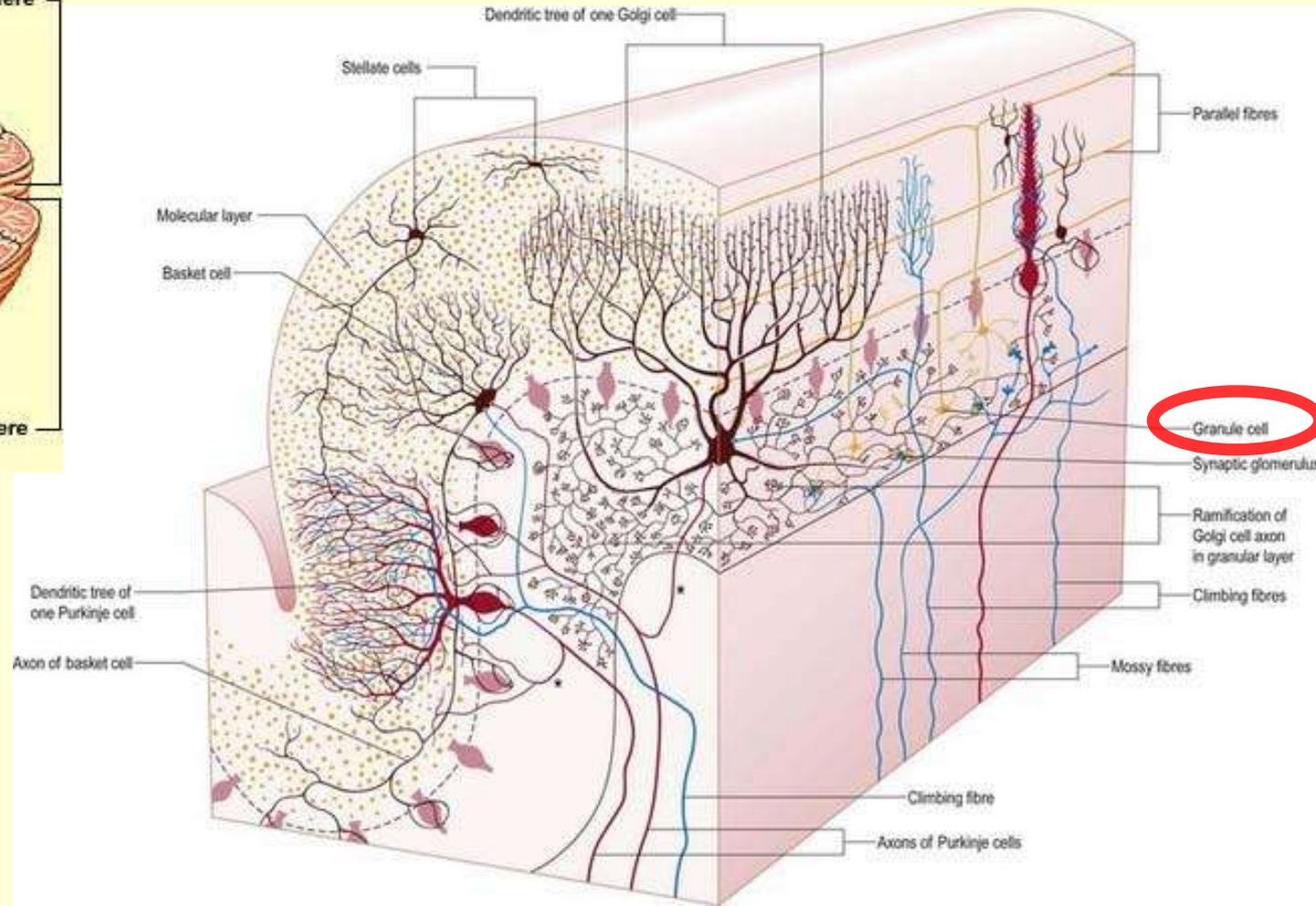
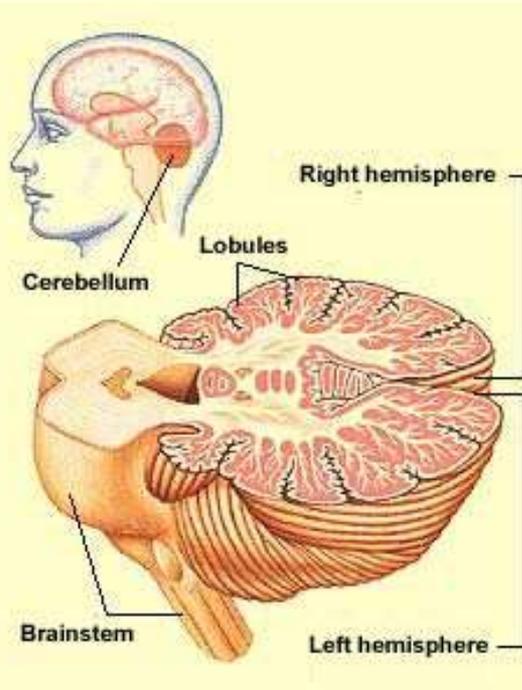
Et une structure cérébrale qui a été très impliquée dans ce processus : le **cervelet**.



- Il y a environ **86 milliards** de neurones dans le cerveau humain.
- Le **cortex** représente environ **80%** du poids du cerveau et comprend environ **16 milliards** de neurones.
- Le **cervelet** représente environ **10%** du poids du cerveau et comprend environ **69 milliards** de neurones.

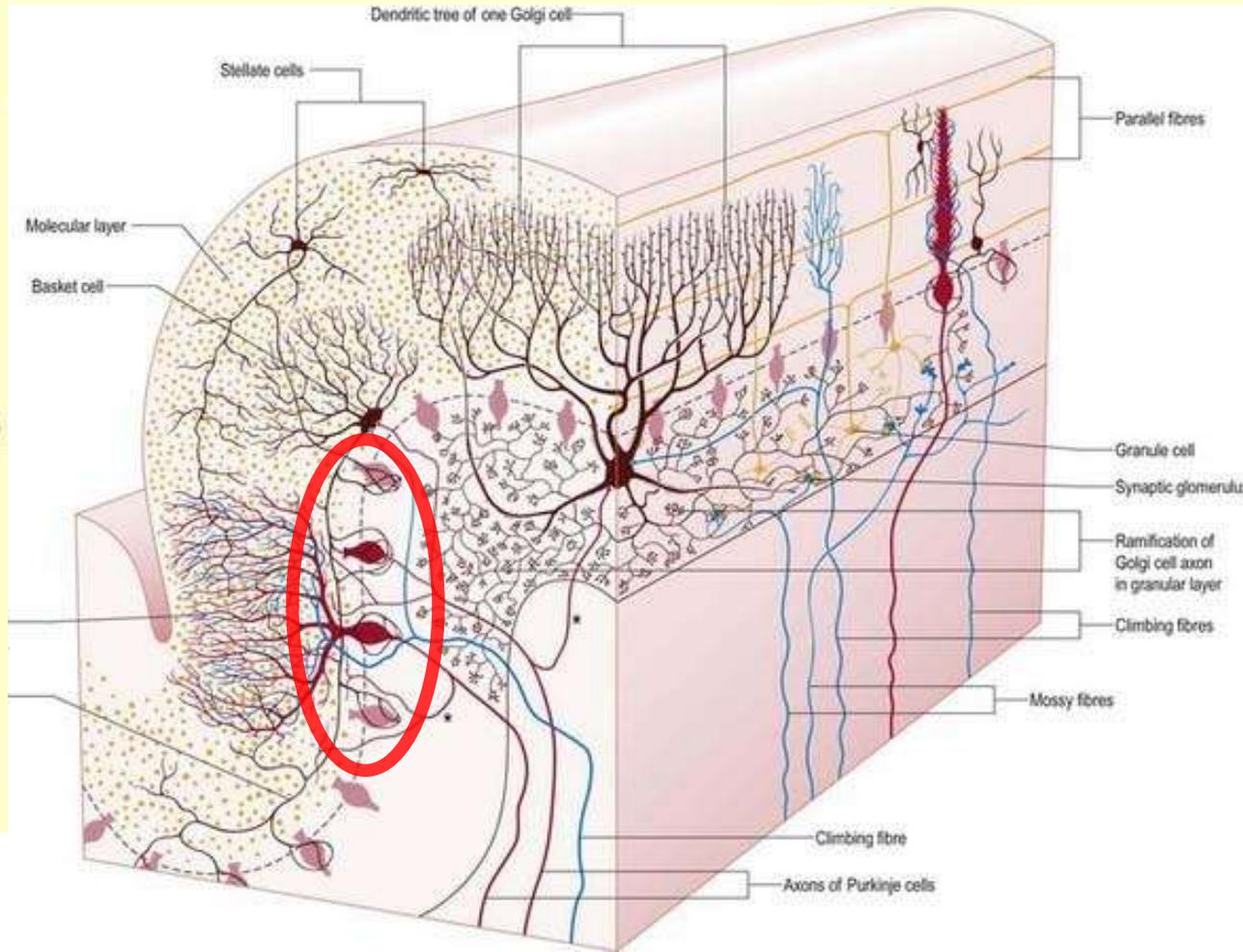
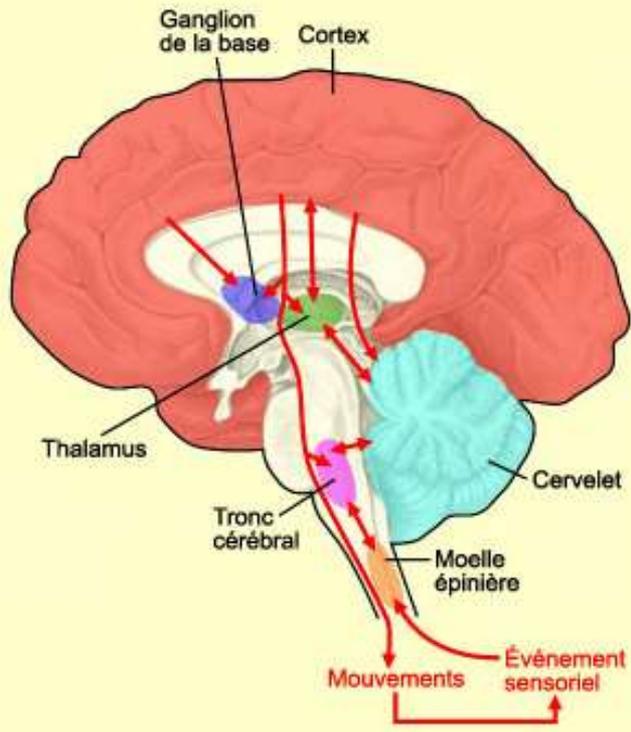
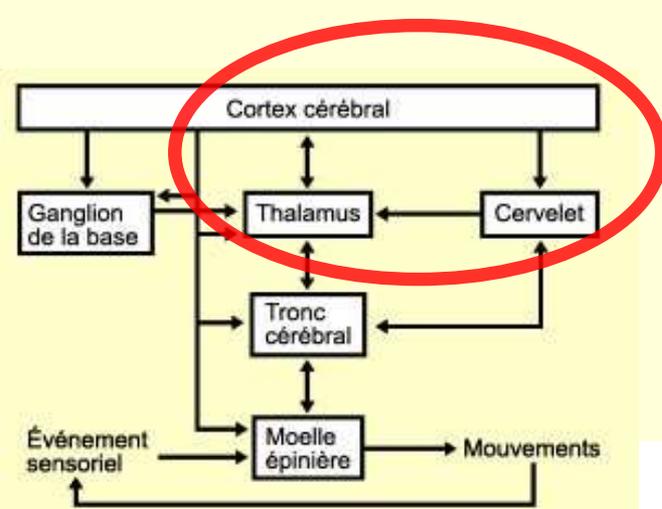
→ Donc plus des trois quart des neurones de notre cerveau sont dans le **cervelet** !

→ Et ce sont des **cellules granulaires**.



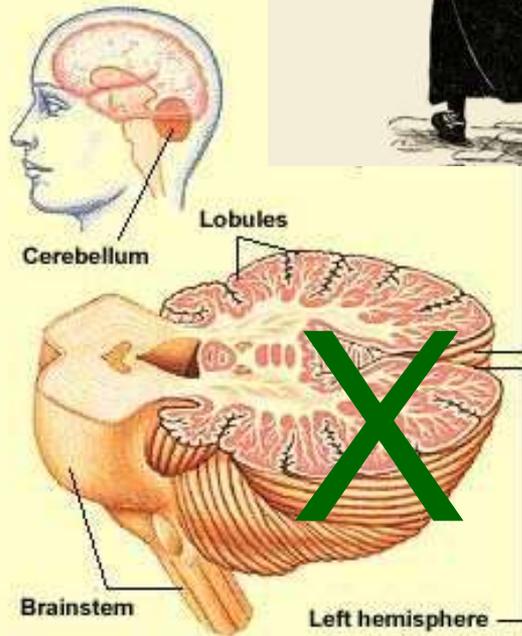
Chaque signal cérébral est traité par environ 10 000 **cellules granulaires** du cervelet qui comptent parmi les plus petits neurones du cerveau.

Puis, le calcul est simplifié : environ 200 000 cellules granulaires sont reliées à une seule **cellule de Purkinje** qui envoie un signal en retour au reste du cerveau.





Les patients atteints de lésions cérébelleuses ont des difficultés à se déplacer ou présentent des troubles de la motricité fine.  
(ce qui est le plus handicapants pour les patients qui s'en plaignent)



**Le cervelet semblait donc essentiellement impliqué dans la coordination et la synchronisation des mouvements.**

Sauf que...

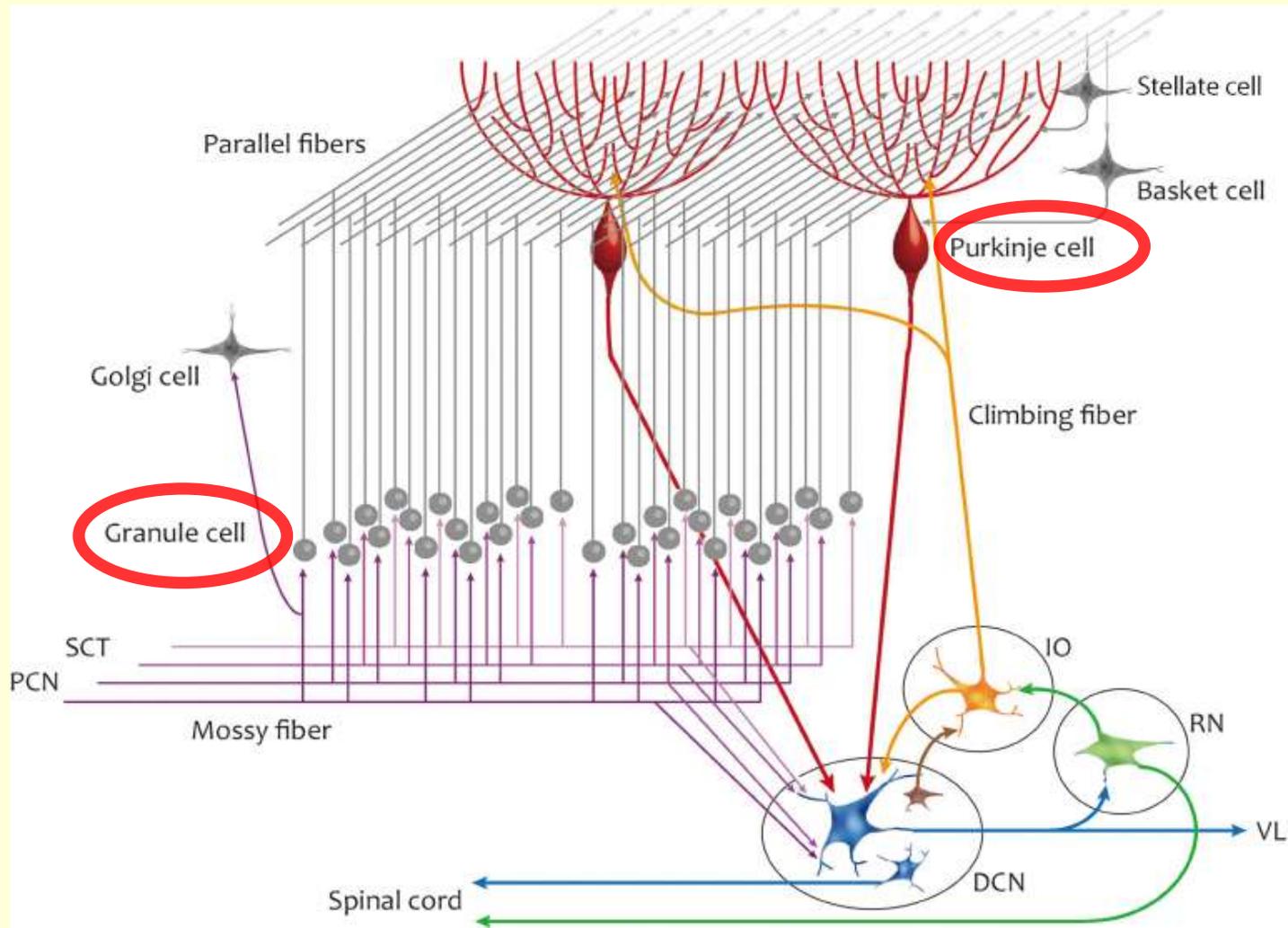
« Si vous regardez l'activité du cervelet en imagerie cérébrale, vous constatez qu'environ 70 % de ses neurones n'ont apparemment presque rien à voir avec le contrôle moteur.

**Seuls 30 % s'activent vraiment quand on réalise des mouvements.**

Il est maintenant clair que cette structure est impliquée dans tous les processus pour lesquels nous utilisons également le reste de notre cerveau : **les pensées, les émotions, le langage et même la mémoire** » - Jörn Diedrichsen, neuropsychologue .

→ le cervelet aide à coordonner dans le temps les schémas d'un apprentissage (par exemple, à partir d'une entrée sensorielle donnée, calculer le bon moment pour une action motrice).

→ Il agit ainsi comme une sorte de **sous-traitant**, étant capable d'effectuer ce type calcul spécifique **pour divers processus mentaux**.



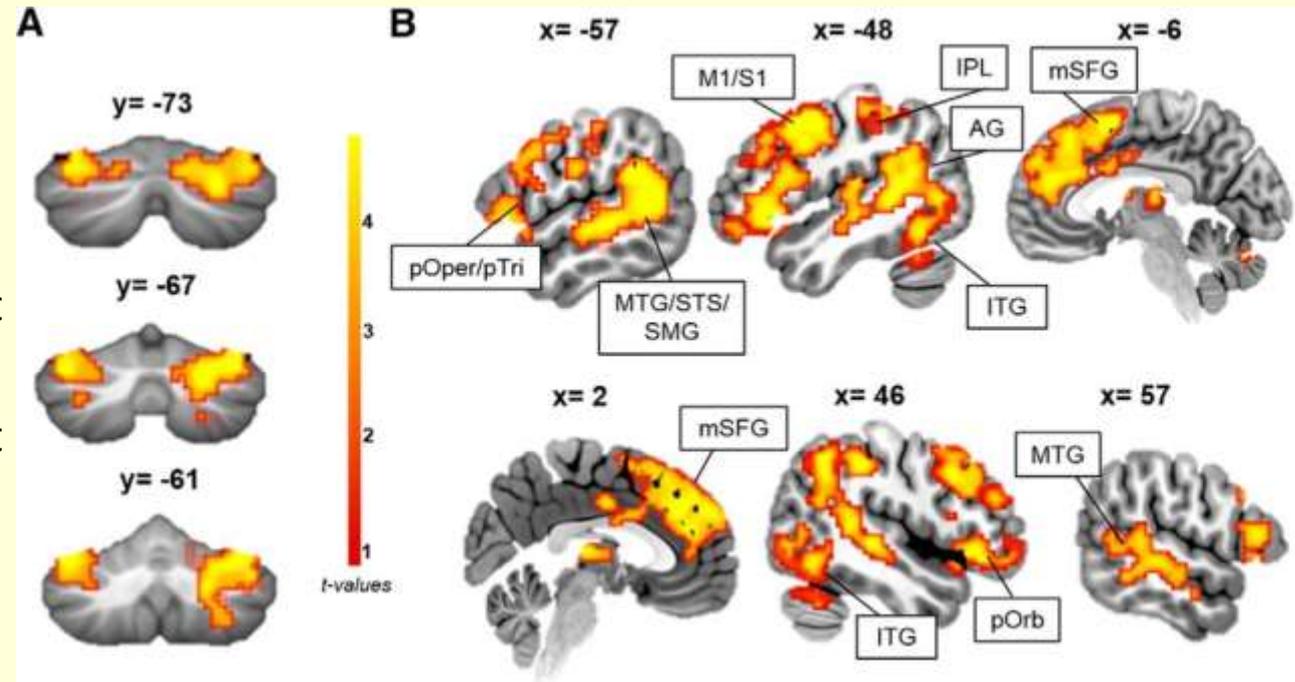
## Exemple : **Sentence completion activates the reading and language network.**

Par conséquent, le cervelet :

- « s'allume » dans presque toutes les tâches en imagerie cérébrale
- son activation est souvent moins analysée au profit du cortex, mieux connu et plus « valorisé »

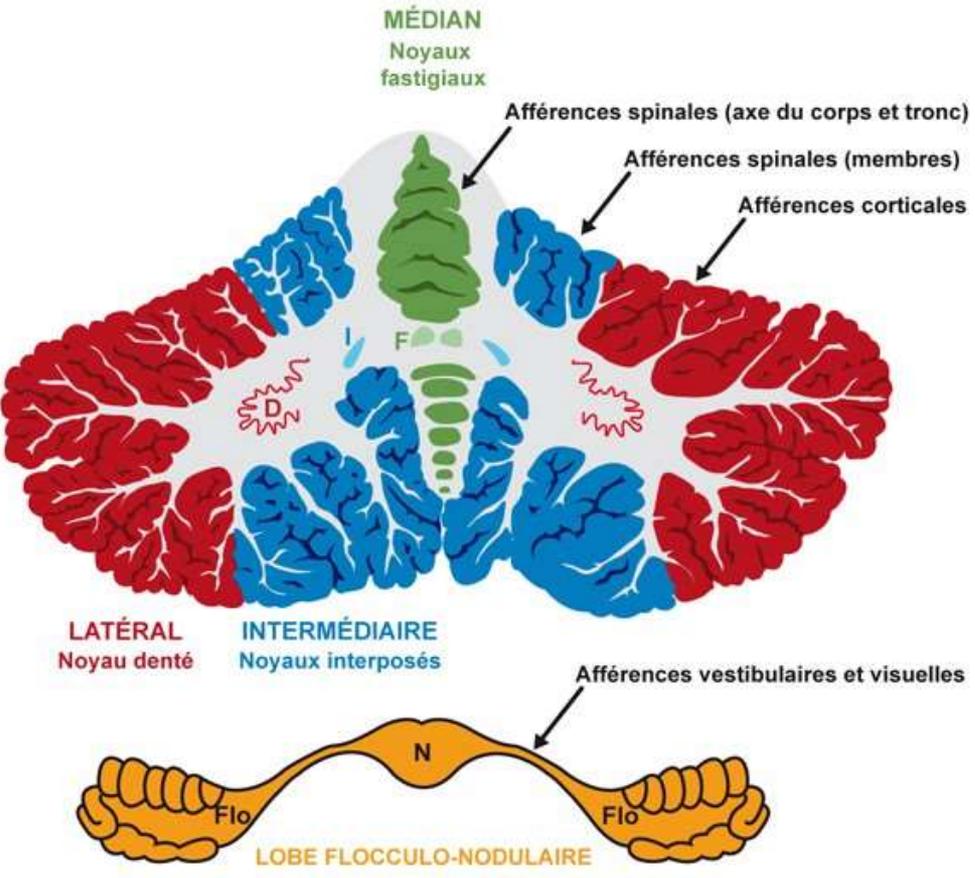
### Anecdote révélatrice :

Diedrichsen reçoit souvent des emails de collègues qui lui demandent pourquoi le cervelet s'active lors de telle ou telle tâche et s'ils n'ont pas fait une erreur lors de la collecte des données...



A, **Cerebellar** results of conjunction analysis across the three task conditions (predictive, nonpredictive, and scrambled) show **activation** of left VI/Crus I and right lobules VI/Crus I/Crus II.

B, **Cerebellar activation** during **sentence processing** is concurrent with supratentorial activation in the **reading and language network**.



C'est la partie en rouge (le néo- ou ponto-cervelet) qui s'est le plus étendue durant l'hominisation et qui rend possible une **"mise au point" rapide**, non seulement des mouvements mais **aussi des pensées...**

**...et des réactions émotionnelles, pour qu'elles soient précises et appropriées aux yeux d'observateurs extérieurs** (ce qui n'est pas le cas suite à des lésions du cervelet, par exemple)

Des images qui suscitent des émotions activent différentes zones du cervelet. Celui-ci est directement connecté à l'**amygdale**, un important centre émotionnel. Et de nombreuses émotions ont une composante motrice : par exemple la peur, avec la réaction de fuite ou de lutte.

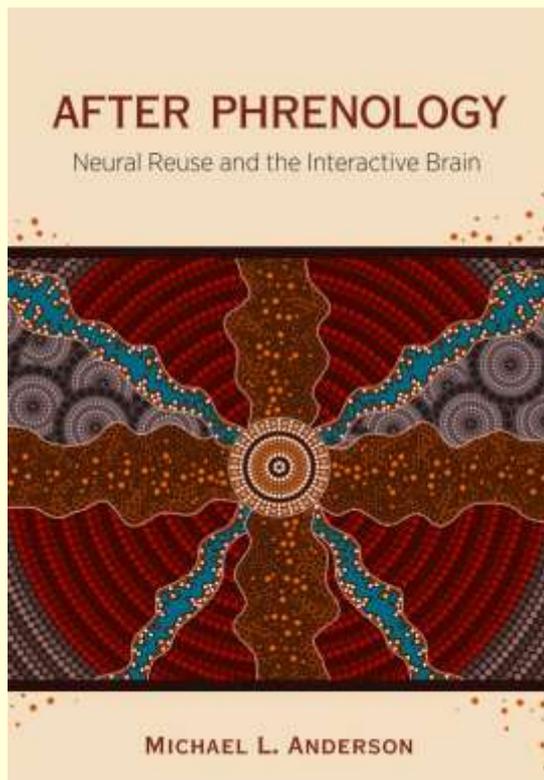
L'énorme capacité de calcul du cervelet nécessaire à l'intégration sensorimotrice semble donc avoir été utilisée pour d'autres processus neuronaux au cours de l'évolution (autre exemple de **recyclage neuronal !**)



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

Lundi, 9 mars 2015

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



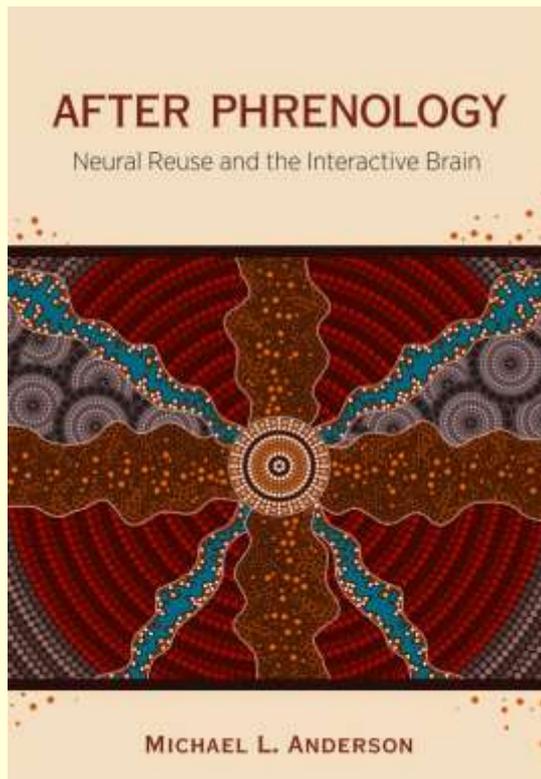
Dans son livre *After Phrenology :  
Neural Reuse and the Interactive Brain,*

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

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

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





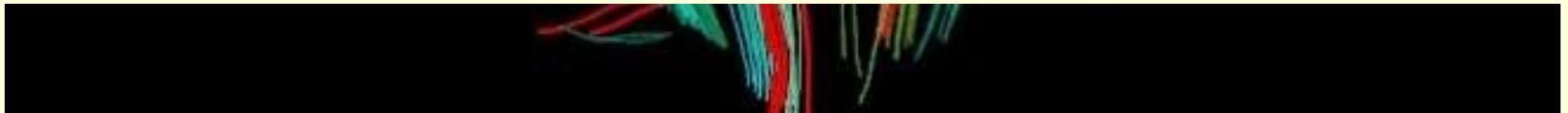
avec une approche alternative  
fondée sur ce qu'il appelle  
la « **réutilisation neuronale** »

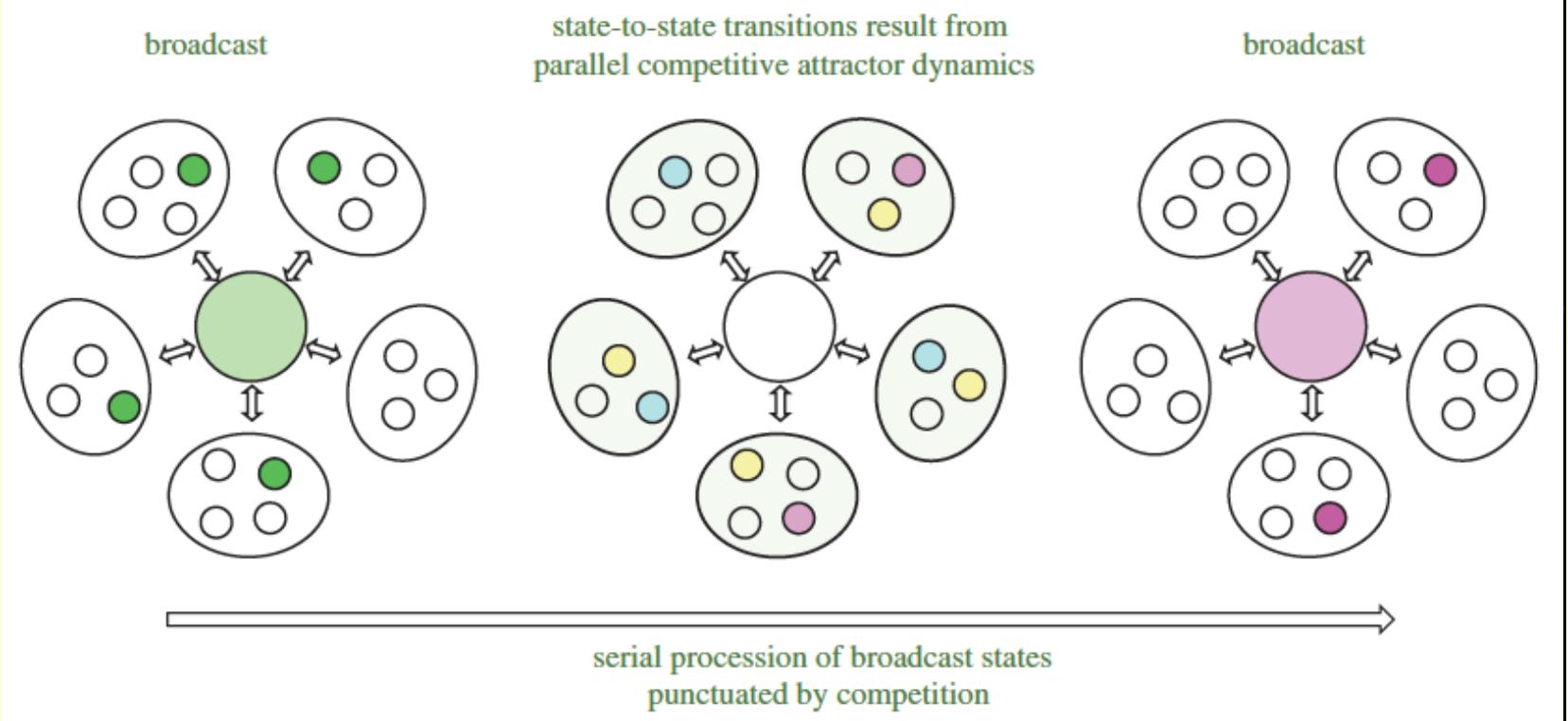
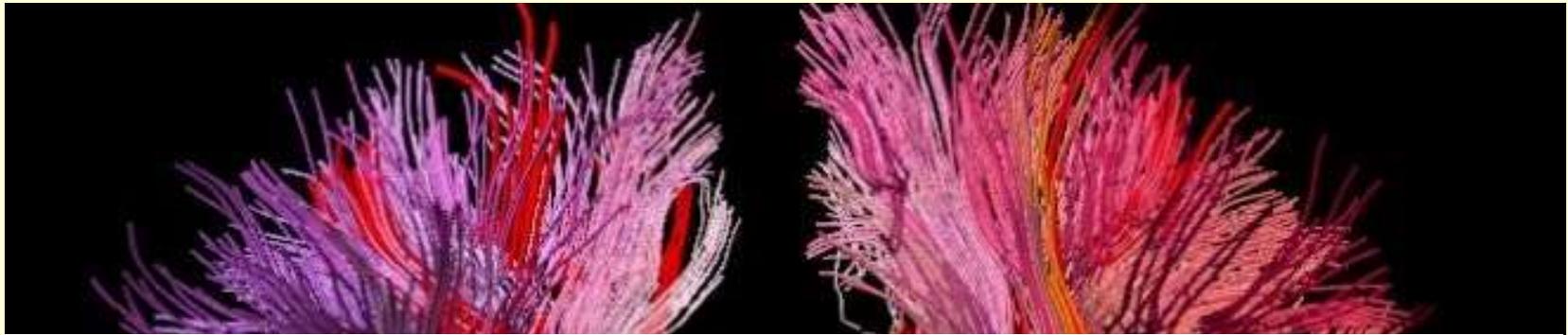
(« neural reuse », en anglais,  
un cas de recyclage neuronal).





On se rend compte que le cerveau est anatomiquement « surconnecté » et doit trouver une façon de **mettre en relation** (de « synchroniser » ?) à tout moment les meilleures « assemblées de neurones » pour faire face à une situation.

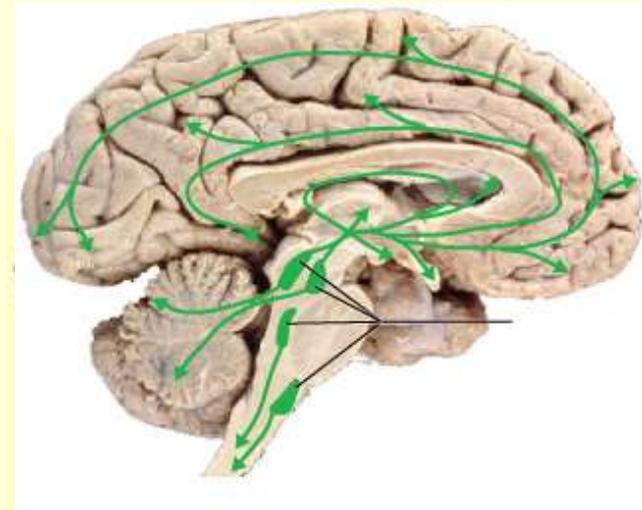




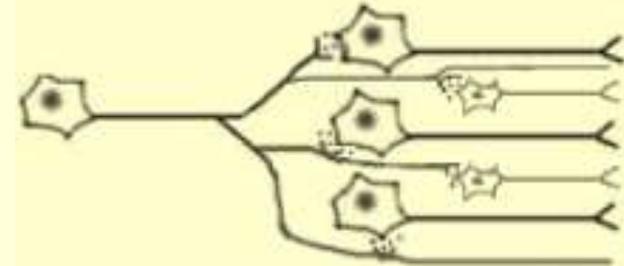
On se rend compte que le cerveau est anatomiquement « surconnecté » et doit trouver une façon de **mettre en relation** (de « synchroniser » ?) à tout moment les meilleures « assemblées de neurones » pour faire face à une situation.



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

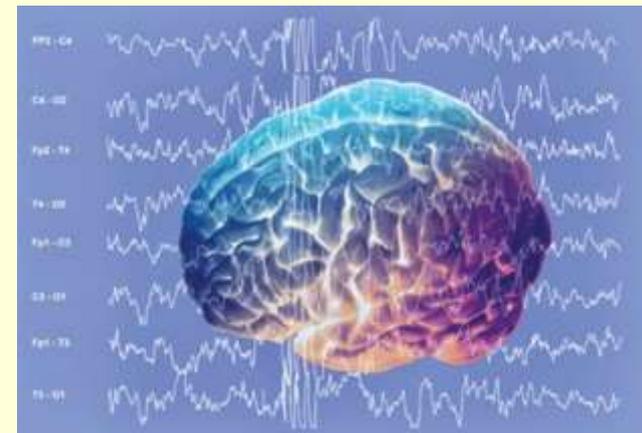


Parmi les mécanismes de recherche de coalitions, Anderson mentionne par exemple la sélection de circuits latents grâce à la **neuromodulation** qui vont permettre d'aller chercher le bon sous-ensemble de régions pour une situation donnée. **[séance #8 !]**



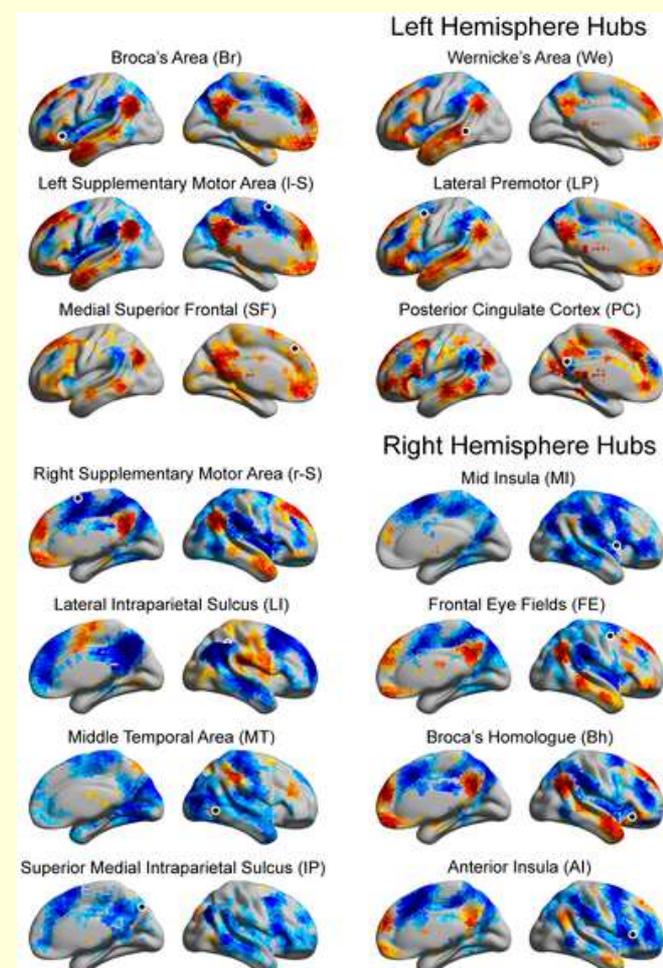
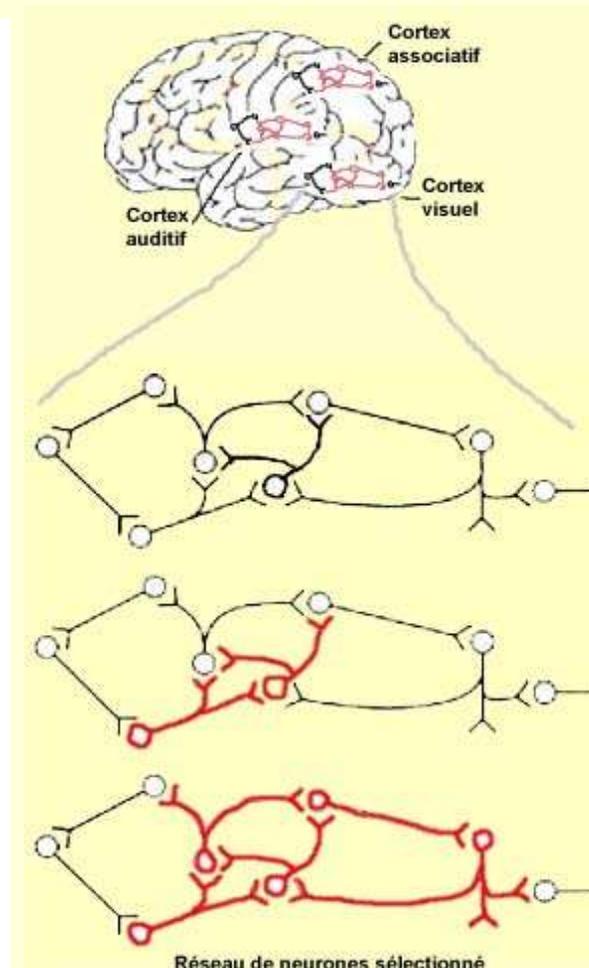
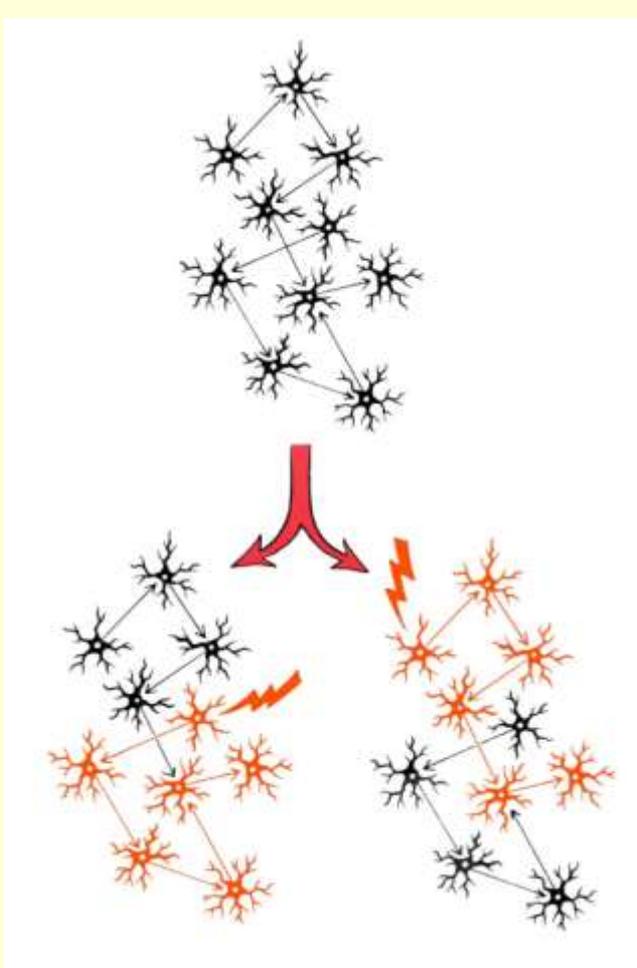
**Neuromodulation**

On pense aussi clairement ici à des phénomènes comme la **synchronisation d'activité oscillatoire** des neurones. **[séance #6 !]**



Pour l'instant, on peut dire ceci :

On a de bonnes raisons de croire que les oscillations et les synchronisations d'activité peuvent contribuer à 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.



# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

**Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants**

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

Les grands projets de simulation informatique du cerveau

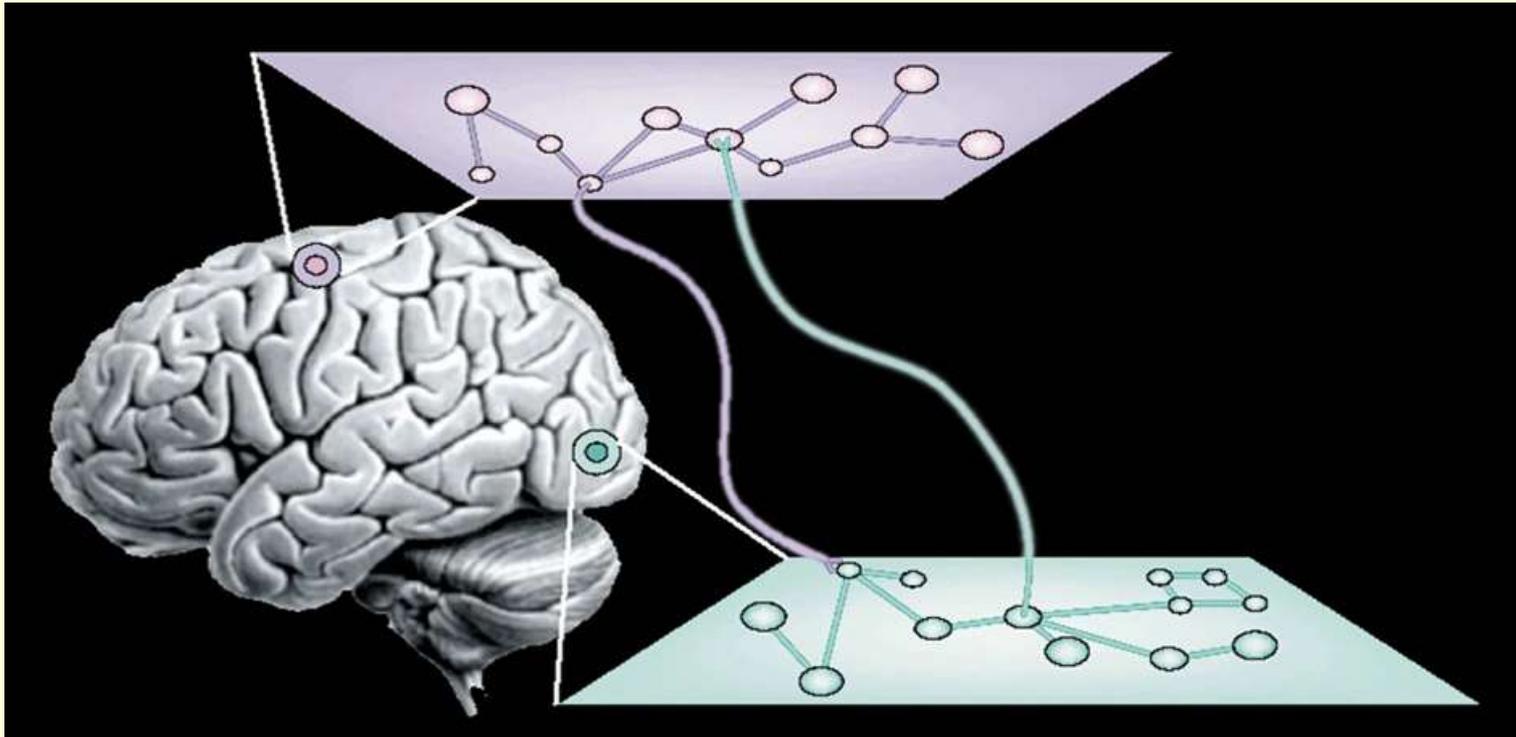
Séance 5 :

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

## La connectivité fonctionnelle

(fcMRI ou rs-fcMRI (pour « resting state » fcMRI)) entre différentes régions du cerveau :

en mesurant les fluctuations spontanées à basse fréquence du signal BOLD (que l'on associe aux fluctuations à basse fréquence des « local field potentials »),

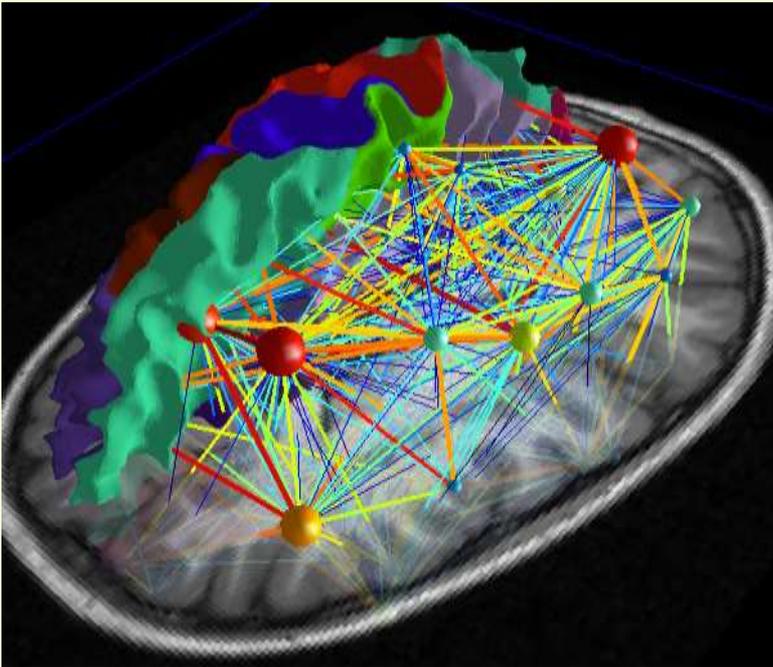


# La connectivité fonctionnelle

(fcMRI ou rs-fcMRI (pour « resting state » fcMRI)) entre différentes régions du cerveau :

en mesurant les fluctuations spontanées à basse fréquence du signal BOLD,

on tente d'identifier des régions qui fluctuent au même rythme et en phase et qui ont ainsi naturellement tendance à « **travailler ensemble** ».



<http://lts5www.epfl.ch/diffusion>

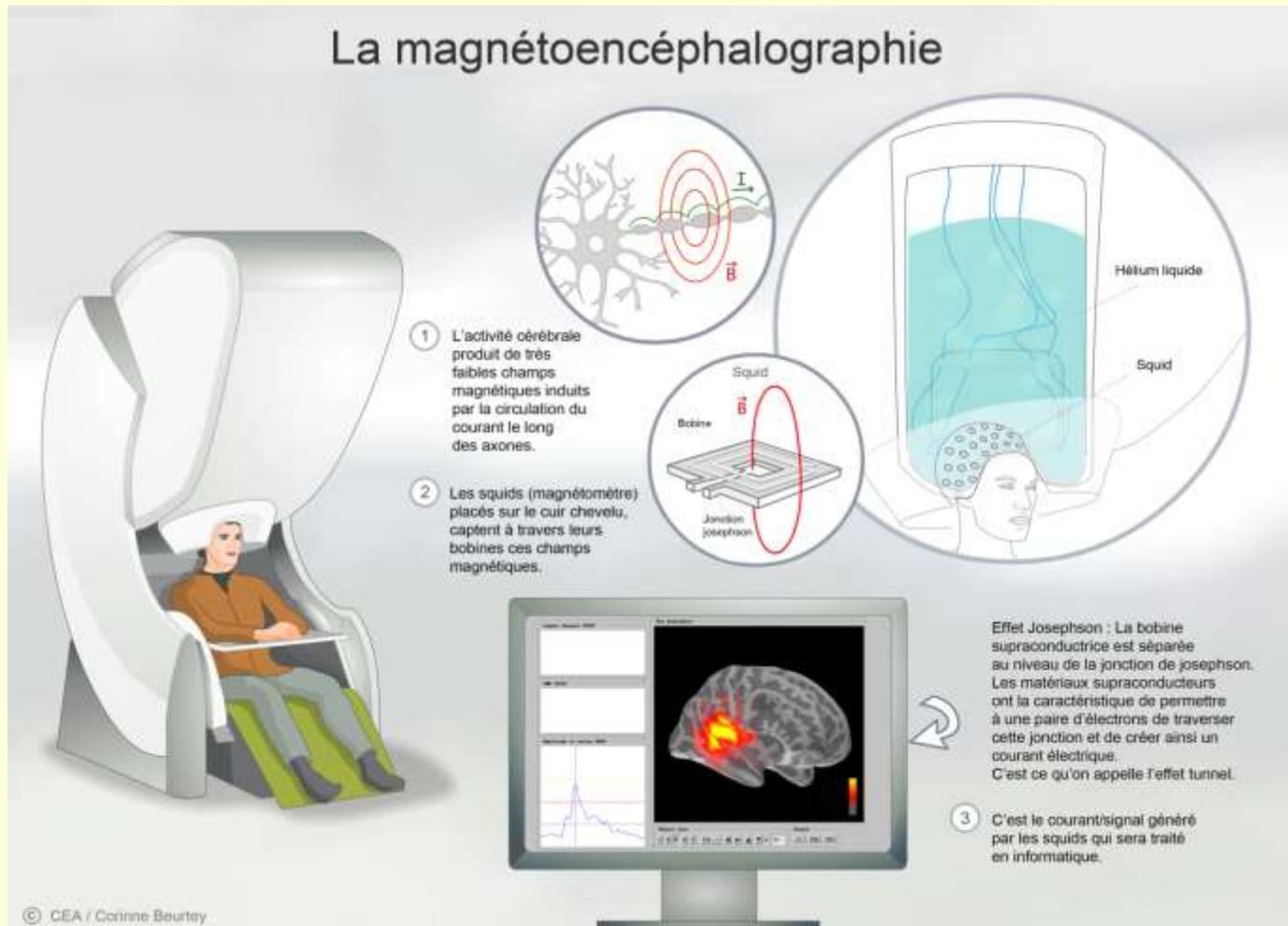


Neuroimage. 2011 Jun 1; 56(3): 1082–1104.

## Measuring functional connectivity using MEG: Methodology and comparison with fcMRI

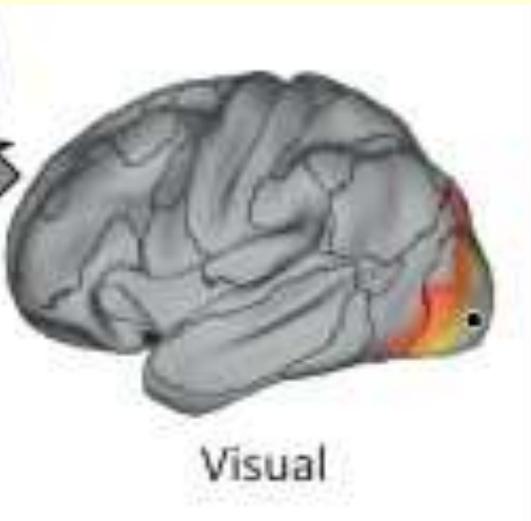
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3224862/>

→ on peut le  
faire avec  
les deux  
techniques.



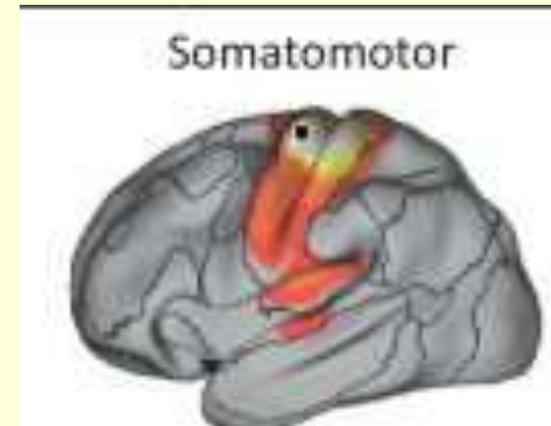
## fc-IRM :

Comment ça marche et qu'observe-t-on ?



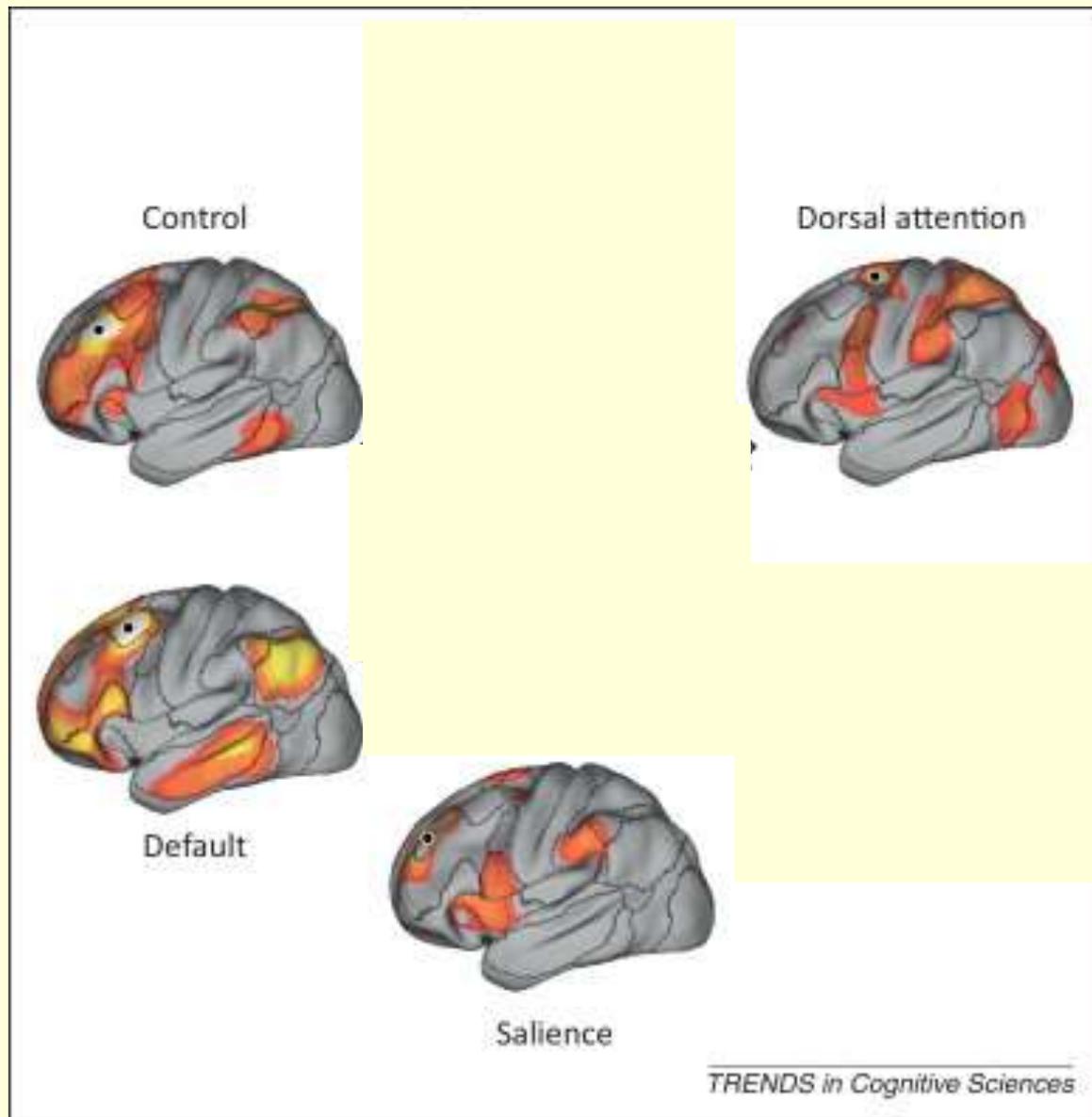
Si la « région semence » est placée dans les zones sensorielles et motrices **primaires**,

les réseaux obtenus affichent une **connectivité largement locale** (réseaux visuels et sensorimoteurs).



Mais si la « région semence » est placée dans les zones associatives, on observe des **réseaux distribués à l'échelle du cerveau entier**.

Et plus un comportement peut être considéré comme **nouveau ou récent** d'un point de vue évolutif, plus ce domaine cognitif utilise des circuits **répartis dans un réseau plus large** que les fonction plus anciennes (sensori-motrice, par exemple).



Mapping Functionally Related Regions of Brain with Functional Connectivity MR Imaging (2000)

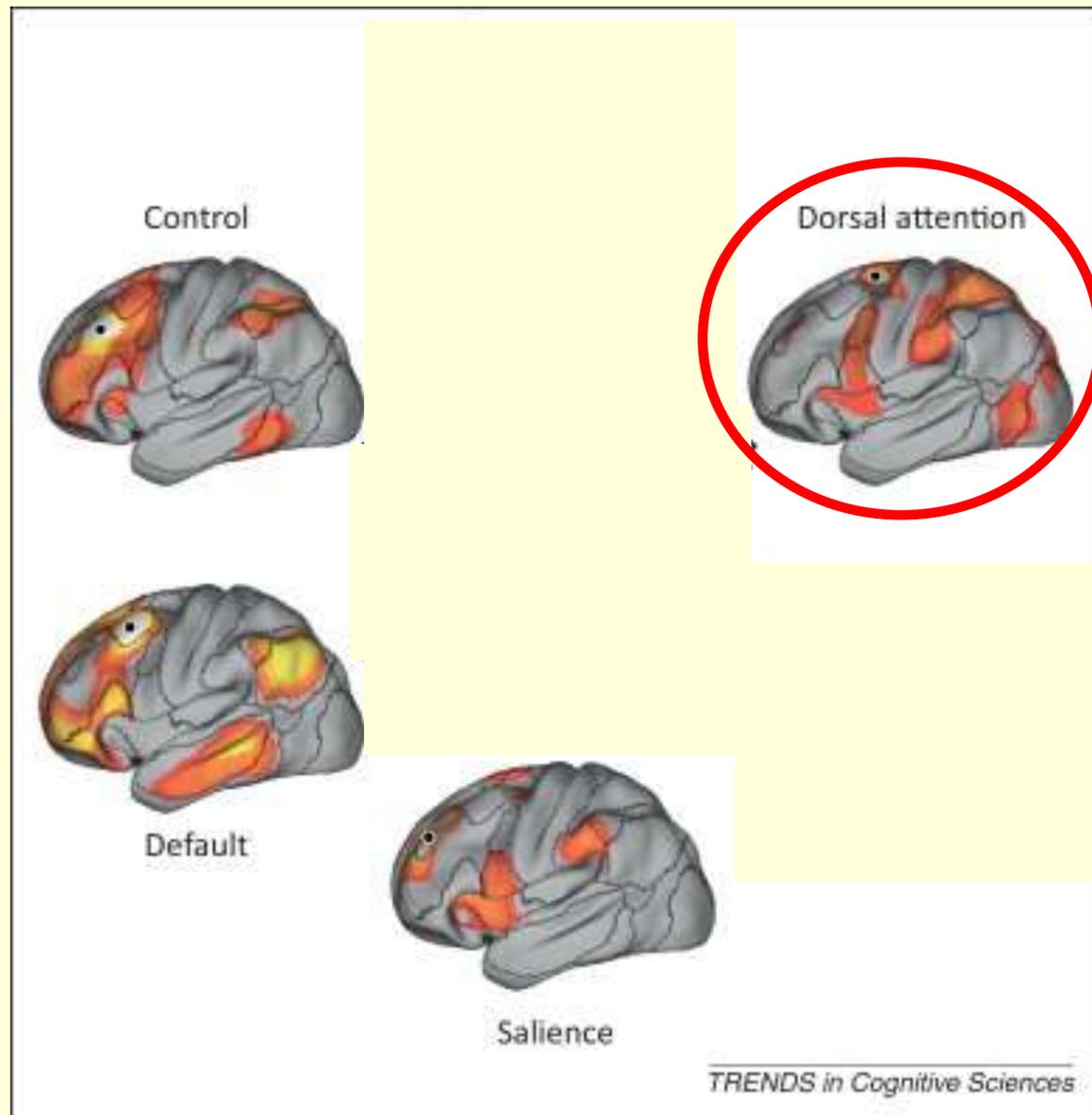
<http://www.ajnr.org/content/21/9/1636.full>

**The evolution of distributed association networks in the human brain**, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, **13 November 2013**

Plus quelque chose émerge **tard** dans l'évolution, plus il y a de chance qu'il y ait déjà de nombreux éléments déjà utiles qui existent et qui sont **répartis un peu partout** dans différentes régions du cerveau.

Et ce sont donc ces régions différentes **qu'il faudra relier entre elles** pour faire émerger le nouveau processus cognitif.

Les réseaux associés au langage sont **les plus dispersés** que l'on connaisse, suivi (par ordre décroissant) par le raisonnement, la mémoire, l'émotion, l'imagerie mentale, etc.

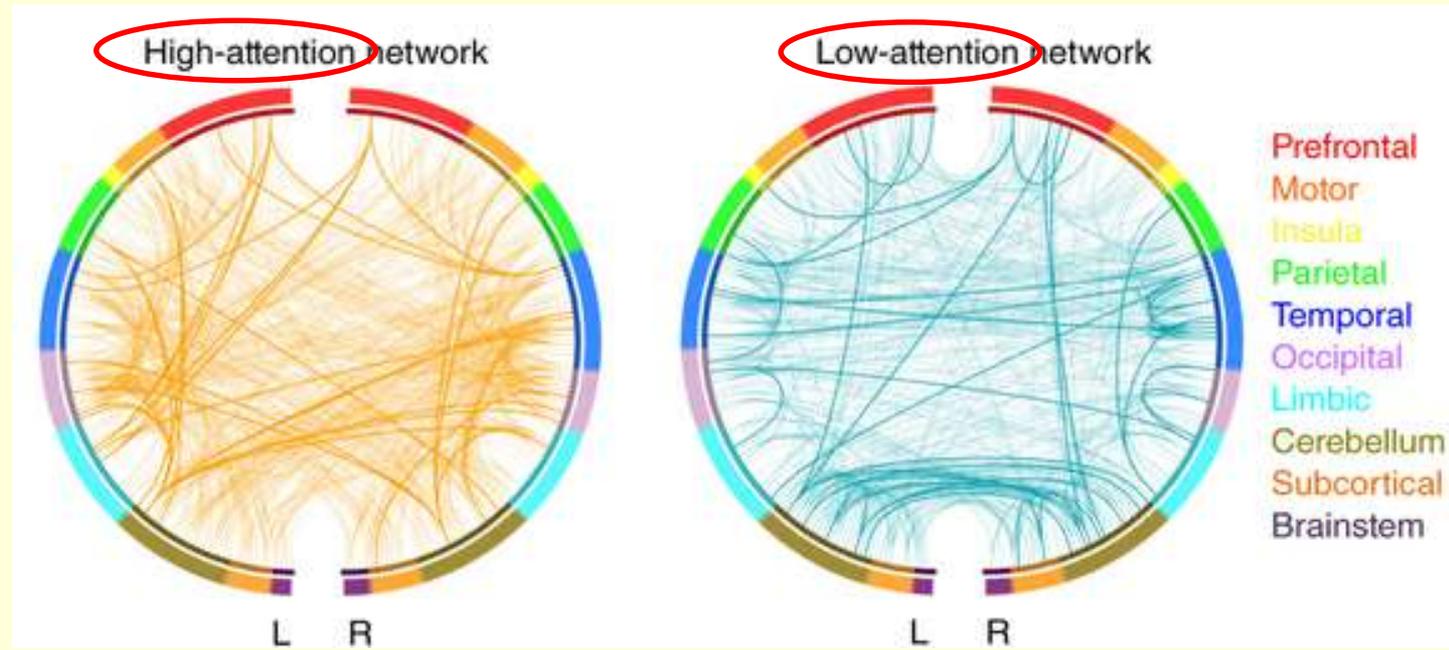


**The evolution of distributed association networks in the human brain**, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, **13 November 2013**

# A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity

Nature  
Neuroscience 19,  
165–171 (2016)

<http://www.nature.com/neuro/journal/v19/n1/full/nn.4179.html>



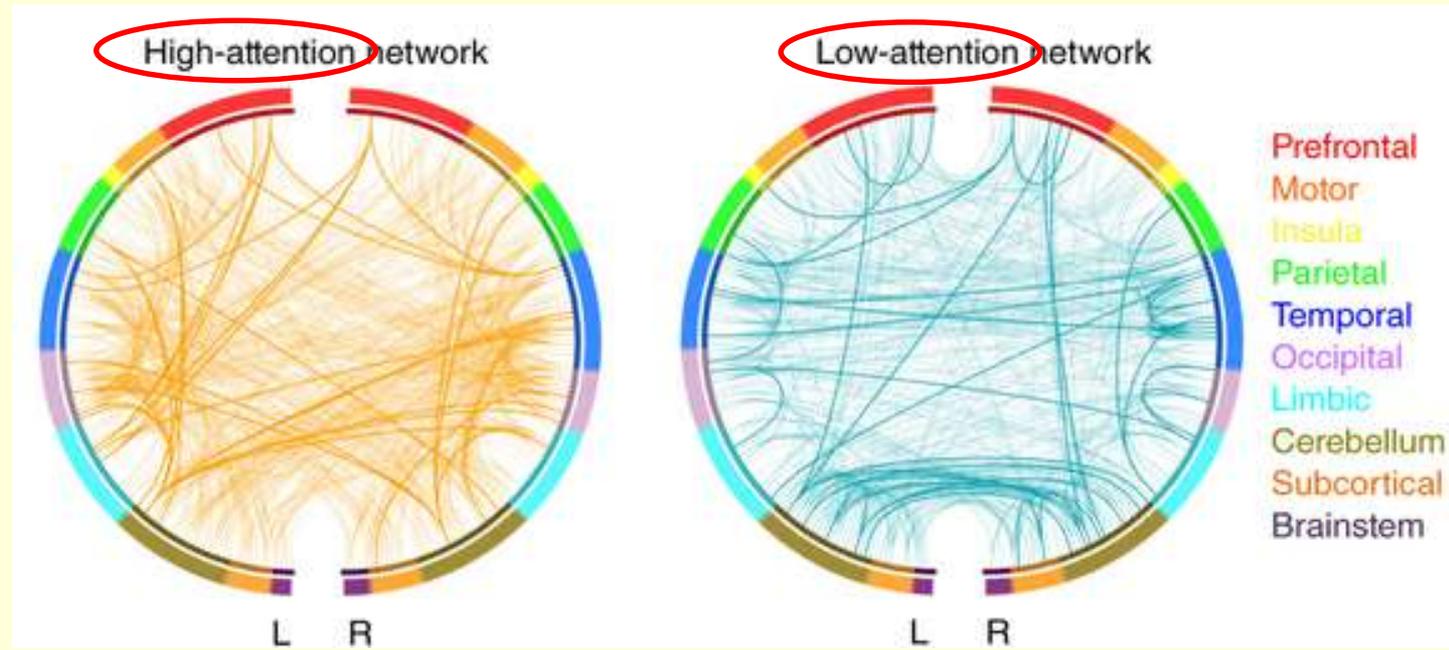
**Des « signatures » de réseaux construits à partir des patterns de connectivité de cerveau d'individus plus ou moins bons pour soutenir leur attention.**

Ça veut dire qu'on peut analyser le pattern de connectivité fonctionnelle de votre cerveau (voir quelles régions ont tendance à « travailler ensemble »), et ensuite prédire à quel point vous aller être capable de soutenir votre attention dans une tâche d'attention subséquente !

# A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity

Nature  
Neuroscience 19,  
165–171 (2016)

<http://www.nature.com/neuro/journal/v19/n1/full/nn.4179.html>



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

Lundi, 15 février 2016

Des prédictions étonnantes basées sur la connectivité cérébrale

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2016/02/15/5126/>

## Functional connectome fingerprinting: identifying individuals using patterns of brain connectivity

Nature Neuroscience 18, 1664–1671 (2015)

<http://www.nature.com/neuro/journal/v18/n11/full/nn.4135.html>

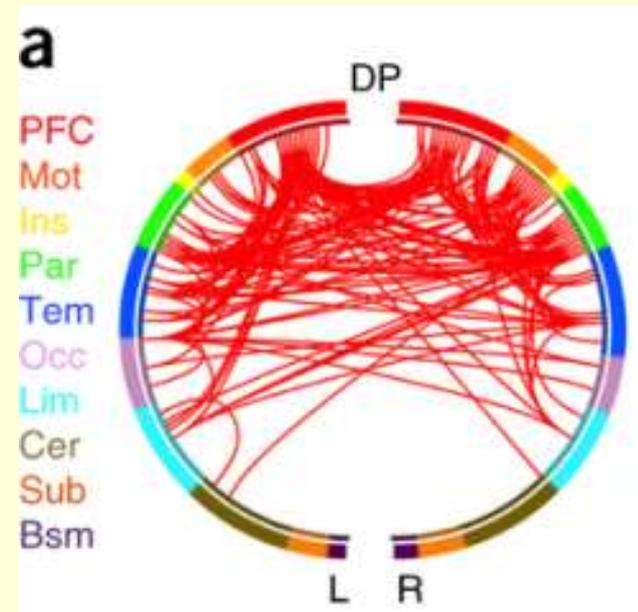
L'imagerie cérébrale de la **connectivité fonctionnelle (fc-MRI)** a permis de prédire avec un taux de réussite supérieur à 90% qui était l'individu dans le scan sur les 26 sujets de l'expérience uniquement en regardant sa connectivité fonctionnelle générale.

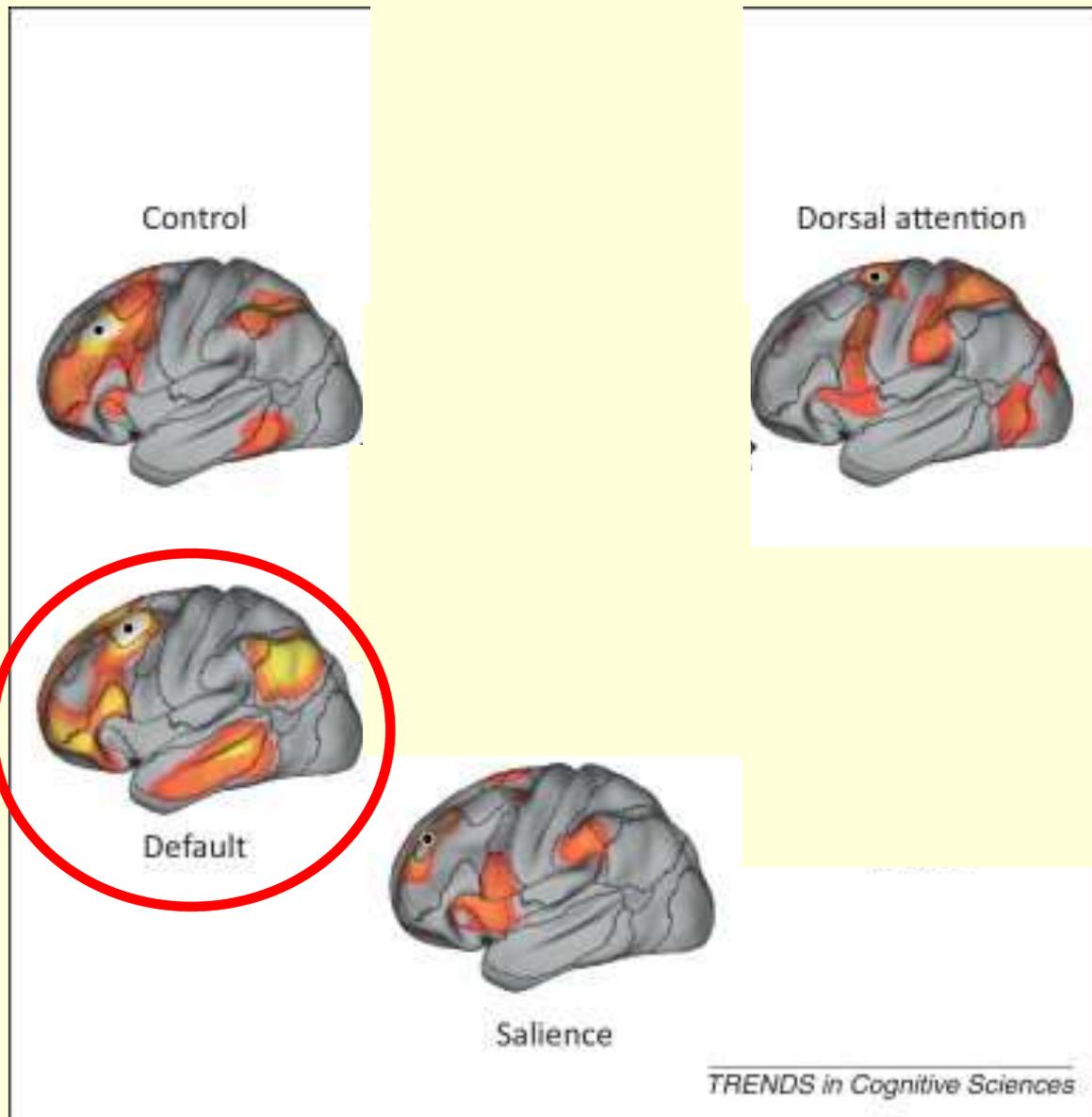
D'où le concept « d'empreinte digitale » du connectome fonctionnel.

L'identification pouvait se faire d'au moins deux façons :

à partir de la comparaison des connectomes du réseau du mode par défaut des différents individus;

ou encore lors du passage du mode par défaut à une tâche donnée.





**The evolution of distributed association networks in the human brain**, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, [13 November 2013](#)

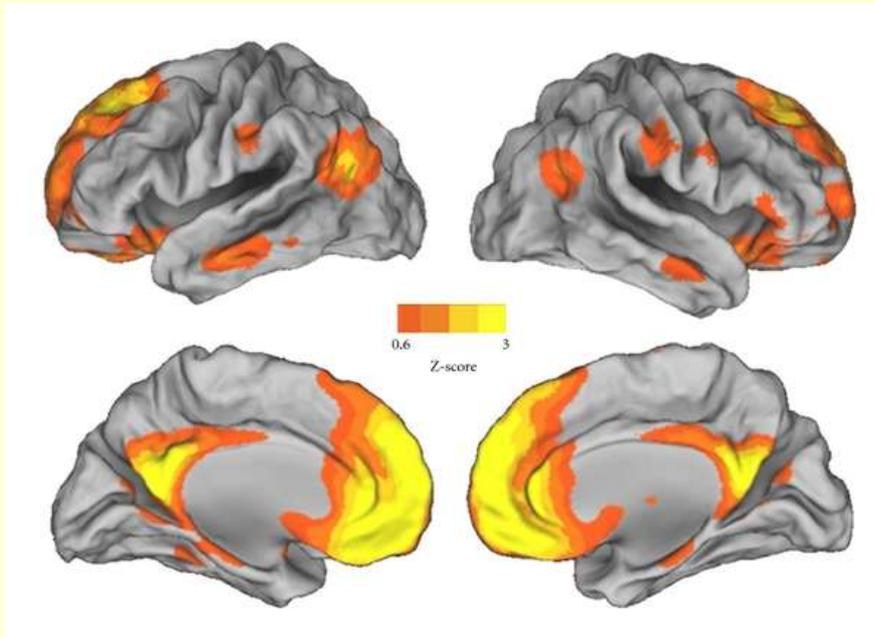
# **A default mode of brain function** (ou « intrinsic-connectivity networks »)

**Raichle** et ses collègues ont renversé la perspective jusque-là admise :

au lieu de voir ces régions comme étant désactivées durant les tâches,

ils les ont considéré comme étant **plus actives** quand les sujets ne **faisaient aucune tâche**.

Et on a par la suite confirmé que ces régions du réseau du mode par défaut sont **connectées anatomiquement** [ **2009** ].



## **Two views of brain function**

<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2810%2900029-X>

## **Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex.**

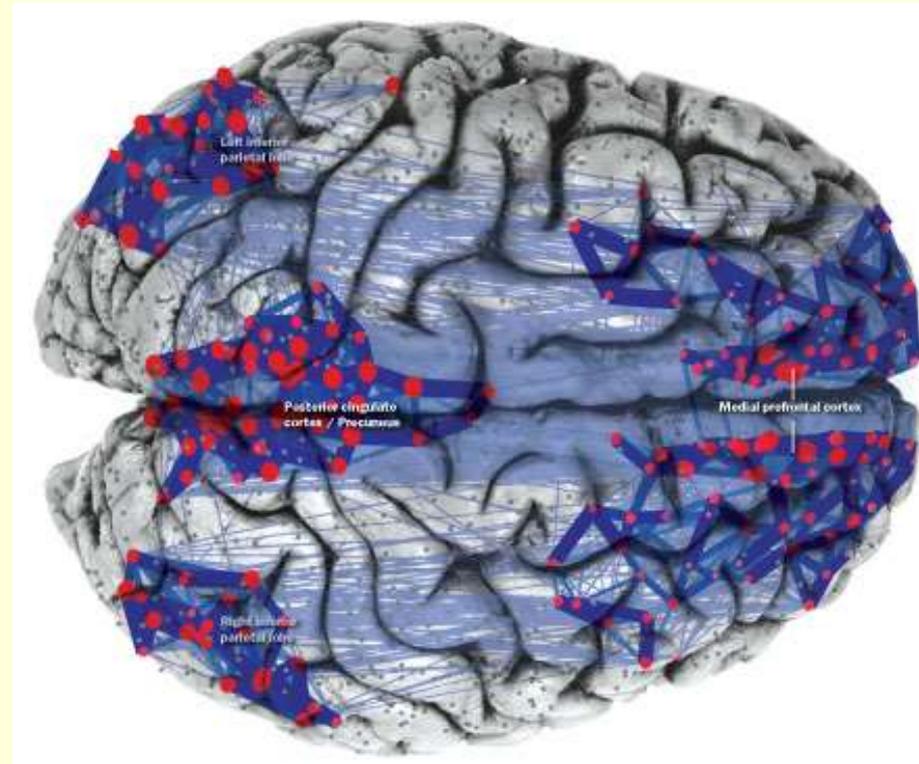
Shulman, G.L. et al. J. Cogn. Neurosci. **1997**; 9: 648–663

**A default mode of brain function.** Raichle, M.E. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **2001**; 98: 676–682

# Réseau du mode par défaut

Les régions impliquées dans ce circuit sont déjà connues pour être plus actives quand :

- notre esprit vagabonde (quand on est « dans la lune »);
- lorsqu'on évoque des souvenirs personnels;
- qu'on essaie de se projeter dans des scénarios futurs;
- ou de comprendre le point de vue des autres.



## On the relationship between the “**default mode network**” and the “**social brain**”

Rogier B. Mars, et al. Front Hum Neurosci. 2012; 6: 189. Published online **2012** June 21.

## What can the organization of the brain’s **default mode network** tell us about **self-knowledge**?

Joseph M. Moran et al. Front Hum Neurosci. **2013** Jul 17;7:391.

→ Aussi : rôle dans la mémoire de travail

**April 25, 2016**

**Essential role of default mode network in higher cognitive processing.**

[http://mindblog.dericbownds.net/2016/04/essential-role-of-default-mode-network.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29](http://mindblog.dericbownds.net/2016/04/essential-role-of-default-mode-network.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29)

Front Neurosci. 2013; 7: 258.

## **Art reaches within: aesthetic experience, the self and the default mode network**

Edward A. Vessel, G. Gabrielle Starr, and Nava Rubin <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3874727/>

Lorsque les sujets de leurs expériences, enfermés dans un scanner IRMf et confrontés à des images, font état d'un **ravisement esthétique maximal**, l'appareil révèle une activation des zones cérébrales qui forment le «réseau du mode par défaut».



« l'expérience esthétique me dit qu'un accord se réalise – et que c'est important pour **moi**. »

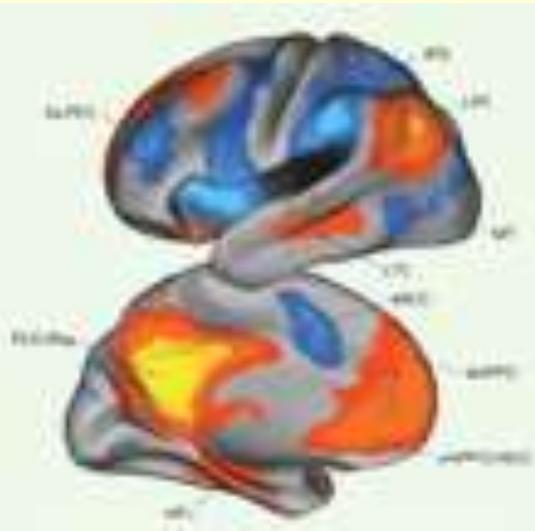
## **How Your Brain Finds Meaning in Life Experiences**

Do stories have the power to help us thrive?

Dec 29, 2017

<https://www.psychologytoday.com/blog/the-moment-youth/201712/how-your-brain-finds-meaning-in-life-experiences>

...The study found something extraordinarily universal about **how people process stories**, regardless of their alphabet or language. In fact, researchers discovered that the part of the brain called the **default mode network (DMN)** is involved in **high-level meaning and comprehension**.

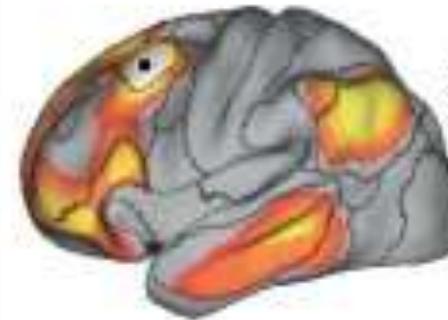


Lundi, 29 septembre 2014

## **Qu'est-ce qui détermine « ce qui nous trotte dans la tête » ?**

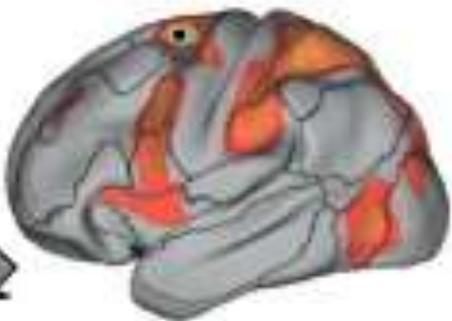
On se trouve souvent dans **deux grands états mentaux qui s'opposent** et sont, d'une certaine façon, mutuellement exclusifs.

Soit nous sommes envahis par les innombrables stimuli de notre environnement (et ils sont fort nombreux à l'heure des téléphones intelligents et des réseaux sociaux) et notre **réseau du mode par défaut** nous repasse ensuite des extraits de ce film de notre vie personnelle et sociale quand il est moins sollicité.



Default

Dorsal attention



Ou soit, par l'entremise fréquente de régions frontales de notre cortex, nous concentrons notre **attention** sur une tâche cognitive pour la résoudre.

Et ce que l'on observe c'est :

une **anti-corrélation** entre les activités de ces deux systèmes qui est visible dans leur activité spontanée au repos,

### Two views of brain function

Marcus Raichle (2010)

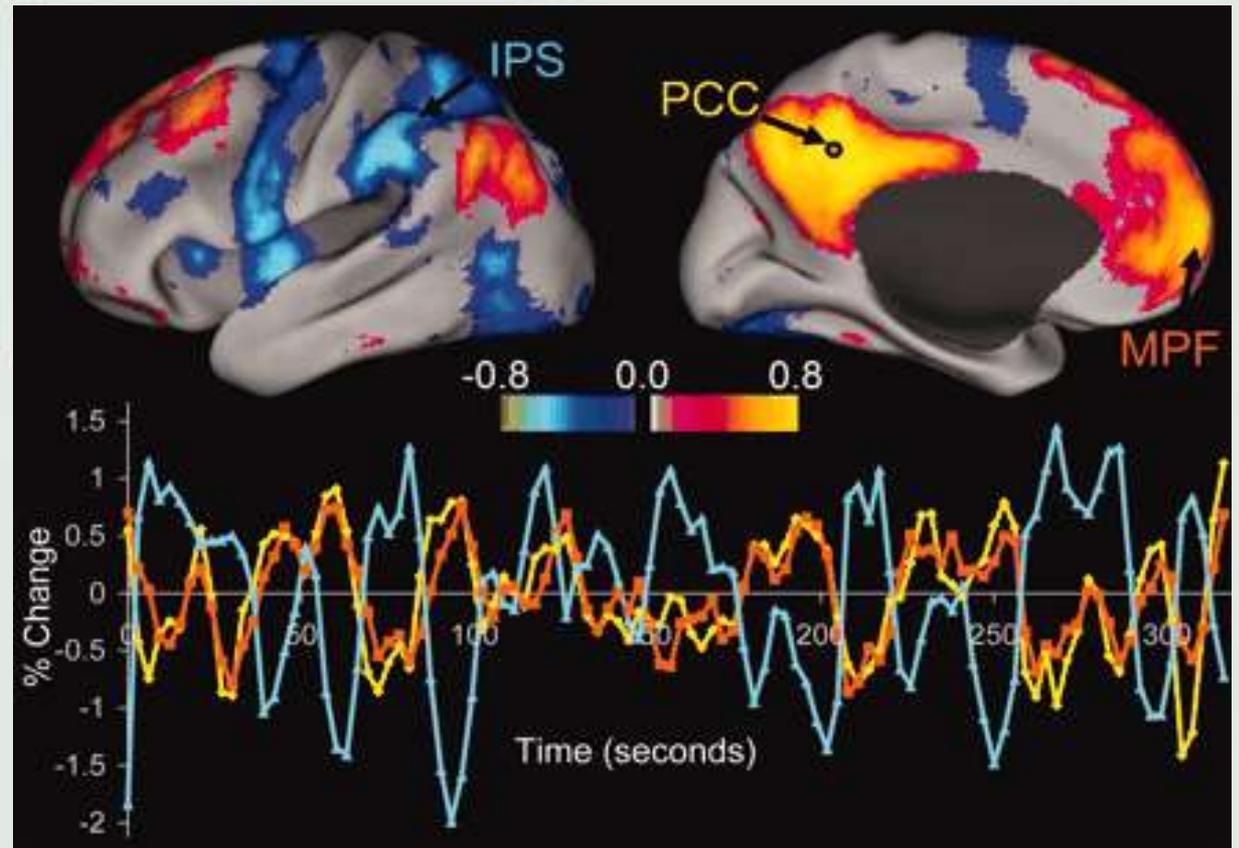
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2810%2900029-X>

The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks

Fox et al (2005) PNAS

<http://www.pnas.org/content/102/27/9673.full>

« idées noires » ?



Modèles impliquant le réseau du mode par défaut en psychiatrie  
**pour la dépression :**

## **Depressive Rumination, the Default-Mode Network, and the Dark Matter of Clinical Neuroscience**

J. Paul Hamilton, Madison Farmer, Phoebe Fogelman, Ian H. Gotlib

**February 24, 2015**

<http://www.biologicalpsychiatryjournal.com/article/S0006-3223%2815%2900143-2/abstract>

## **Default mode network mechanisms of transcranial magnetic stimulation in depression.**

Liston C, Chen AC, Zebley BD, Drysdale AT, Gordon R, Leuchter B, Voss HU, Casey BJ, Etkin A, Dubin MJ.

**2014 Feb 5.**

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24629537>

## Un célèbre neuropsychologue explique comment le fait de « ne rien faire » est en fait vital pour la santé

<http://share2give.eu/un-celebre-neuropsychologue-explique-comment-le-fait-de-ne-rien-faire-est-en-fait-vitale-pour-la-sante/>

Une étude a été menée qui démontre que lorsque le corps humain ne fait pas d'activité, son cerveau se met **en mode « par défaut »** et **fait alors le tri** des informations qu'il contient. Cette étape est absolument indispensable pour le neuropsychologue **Francis Eustache** qui exerce au CHU de Caen.

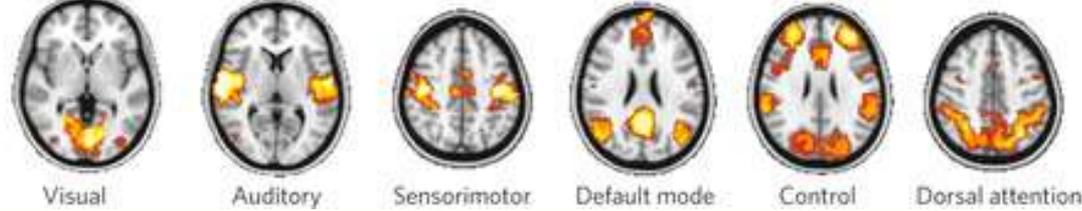
De cette façon, il pourra mieux comprendre l'environnement qui l'entoure et pourra mieux composer avec les situations ultérieures qui se présenteront à vous.

### Why Your Brain Needs More Downtime

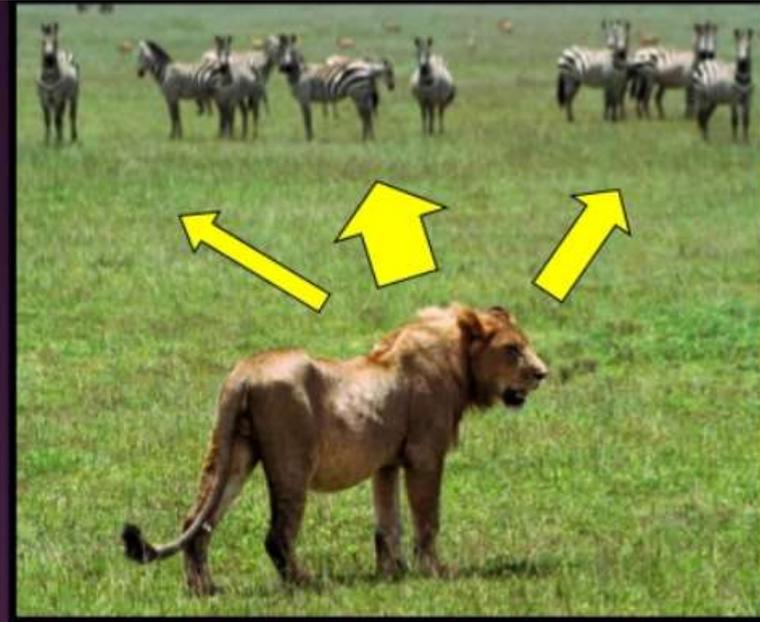
Research on naps, meditation, nature walks and the habits of exceptional artists and athletes reveals how mental breaks increase productivity, replenish attention, solidify memories and encourage creativity

By Ferris Jabr on October 15, **2013**

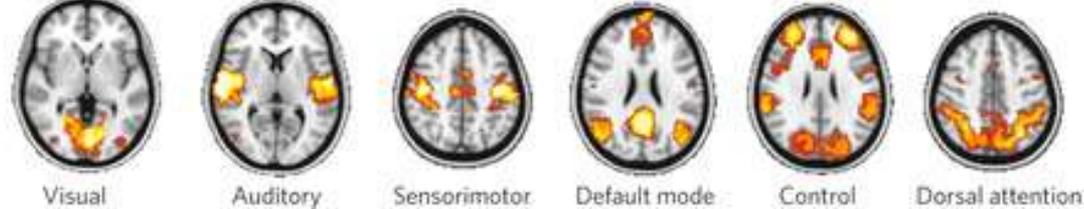
<https://www.scientificamerican.com/article/mental-downtime/>



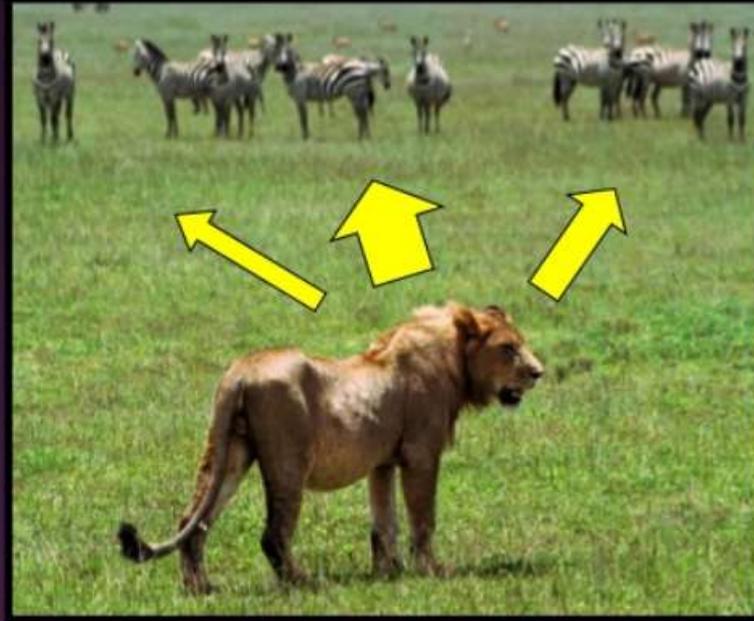
Ces réseaux ne sont évidemment pas les seules configurations que notre cerveau peut prendre.



Car à tout moment, le monde lui présente des possibilités d'action.



Ces réseaux ne sont évidemment pas les seules configurations que notre cerveau peut prendre. Car à tout moment, le monde lui présente des possibilités d'action.



Séance #7

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

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

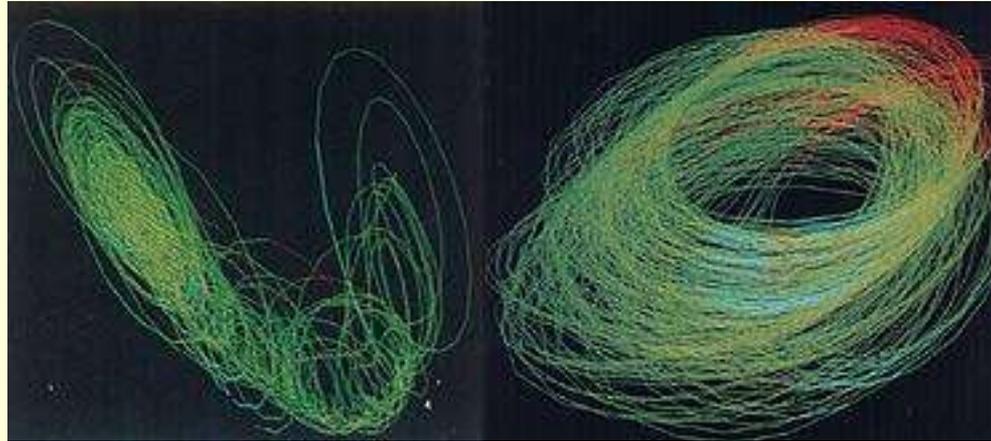
<http://www.slideshare.net/BrainMoleculeMarketing/uqam2012-cisek>



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

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

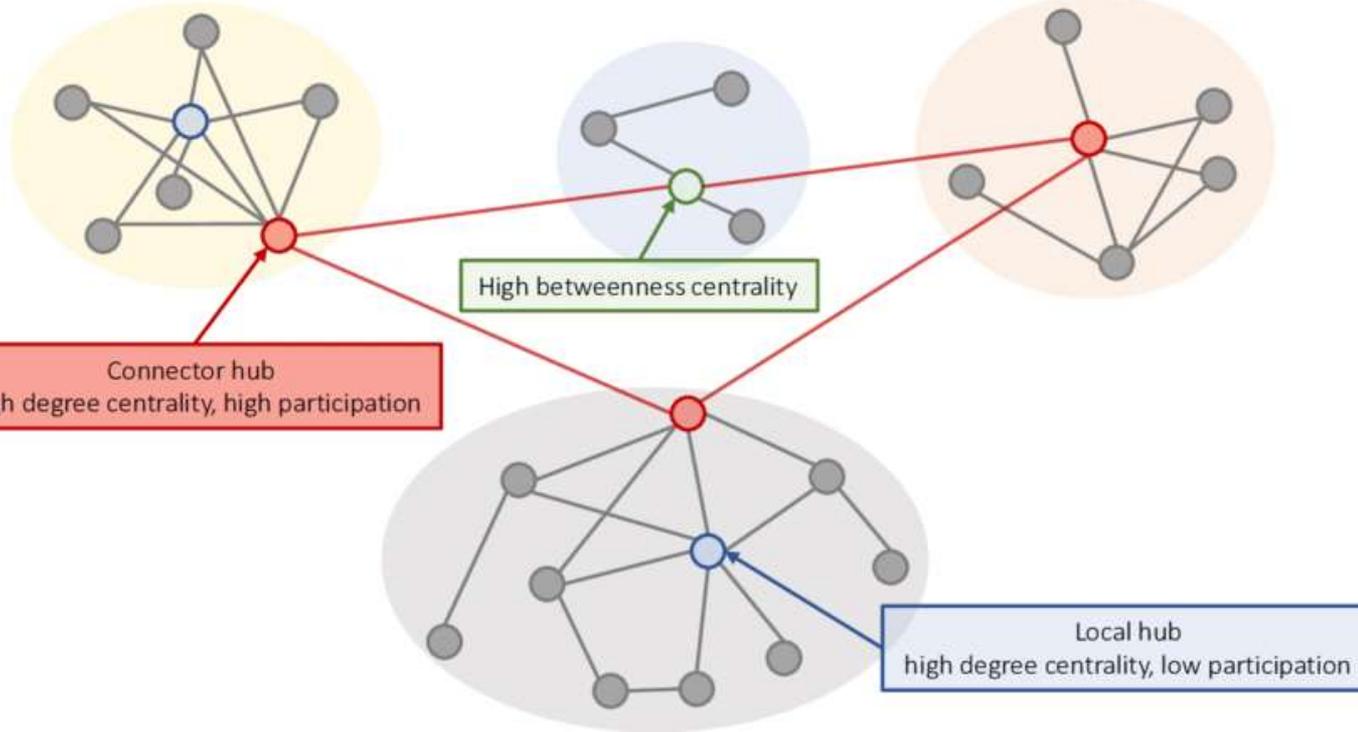
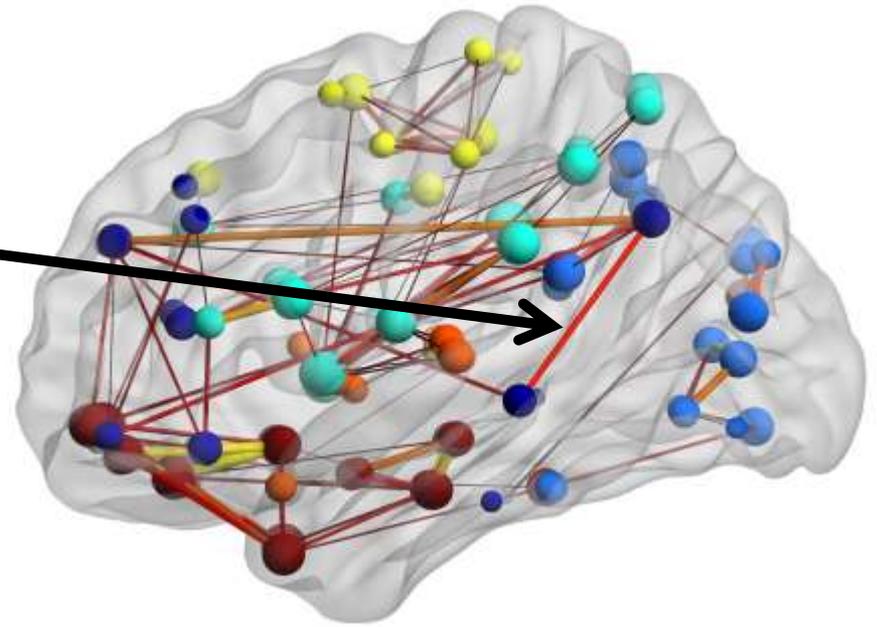
D'où une **succession de configurations changeantes** qui surgissent et se dissipent.



Dernière remarque :

Il semble exister certains **circuits à haut débit** capables de changer rapidement leurs patterns de connectivité et de **basculer** ainsi d'un réseau fonctionnel à un autre selon les demandes de différentes tâches.

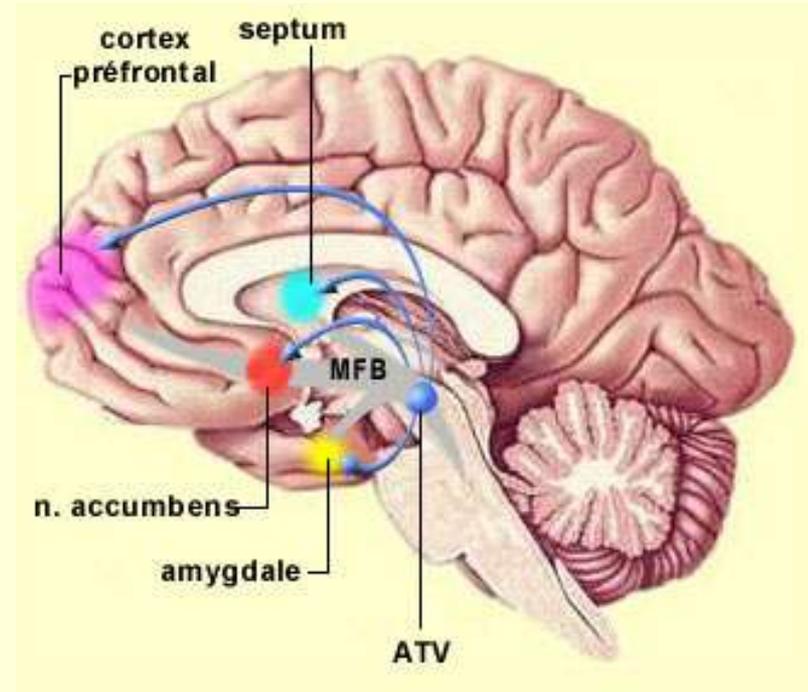
Car on peut ainsi, dans un **système complexe en réseau** comme le cerveau, dégager un certain nombre de “**hubs**”, c’est-à-dire de points de passage plus fréquemment utilisés pour construire les coalitions entre assemblées de neurones.



Un exemple :

- **Le noyau accumbens :**

hub central du “système de récompense” du cerveau



**Cartographie du cerveau et grandes voies nerveuses :  
le « MFB » toujours à l'étude !**

Publié le 15 octobre **2016**

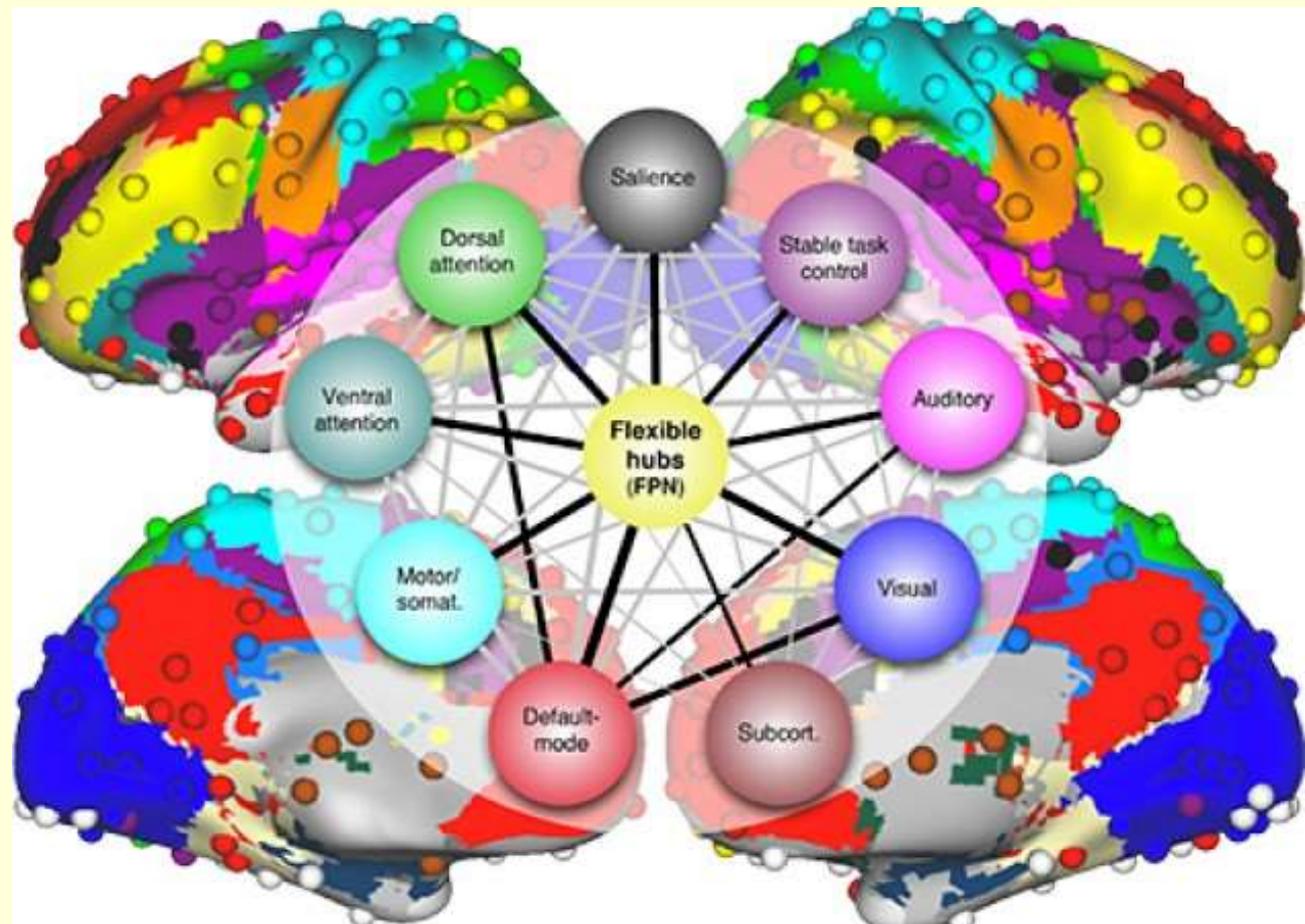
<http://www.elogedelasuite.net/?p=3297>

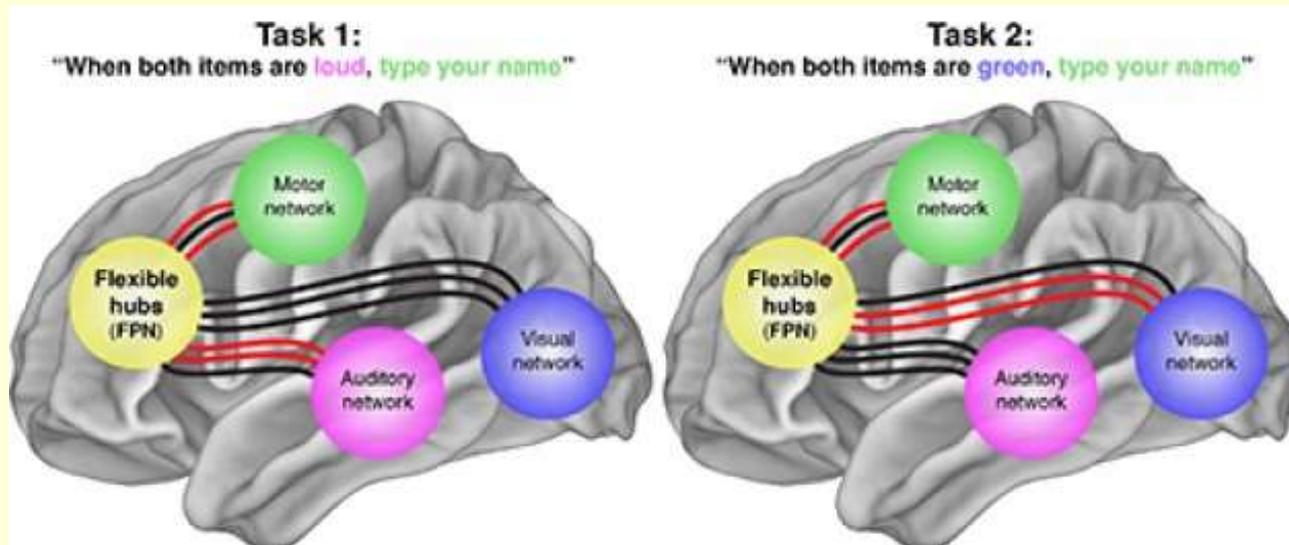
En **2016**, une étude publiée dans la revue Cerebral Cortex avait pour titre  
« **A hedonism hub in the human brain.** »

# 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.





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”*

# Rich-Club Organization of the Human Connectome

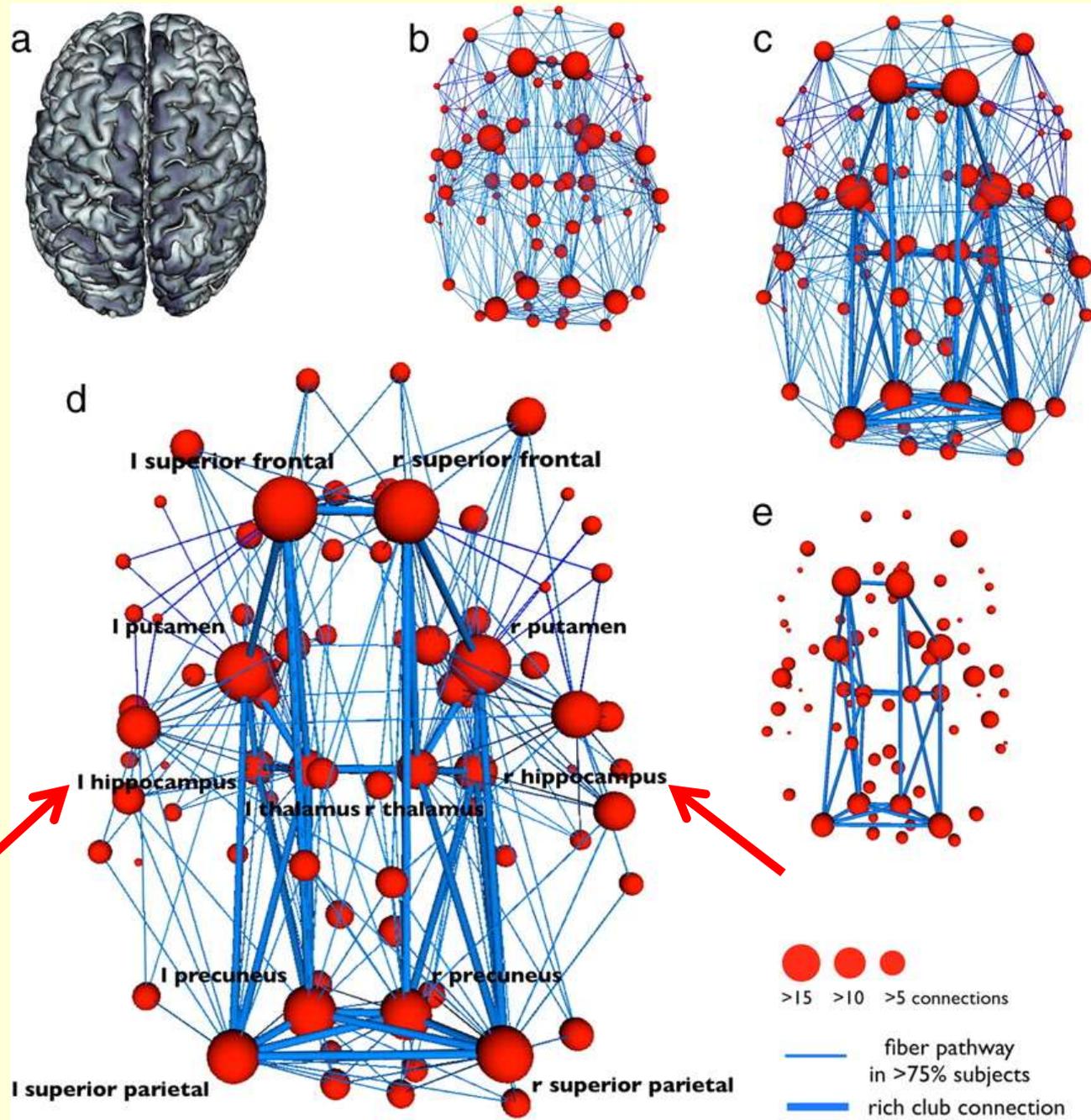
Martijn P. van den Heuvel  
and Olaf Sporns

Journal of Neuroscience

2 November 2011

<http://www.jneurosci.org/content/31/44/15775>

“ Here, we demonstrate that brain hubs form a so-called **“rich club,”** characterized by a tendency for high-degree nodes to be **more densely connected among themselves** than nodes of a lower degree, providing important information on the higher-level **topology** of the brain network.”



# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

**L'organisation générale de nos réseaux cérébraux**

**Après la pause et quelques questions/échanges:**

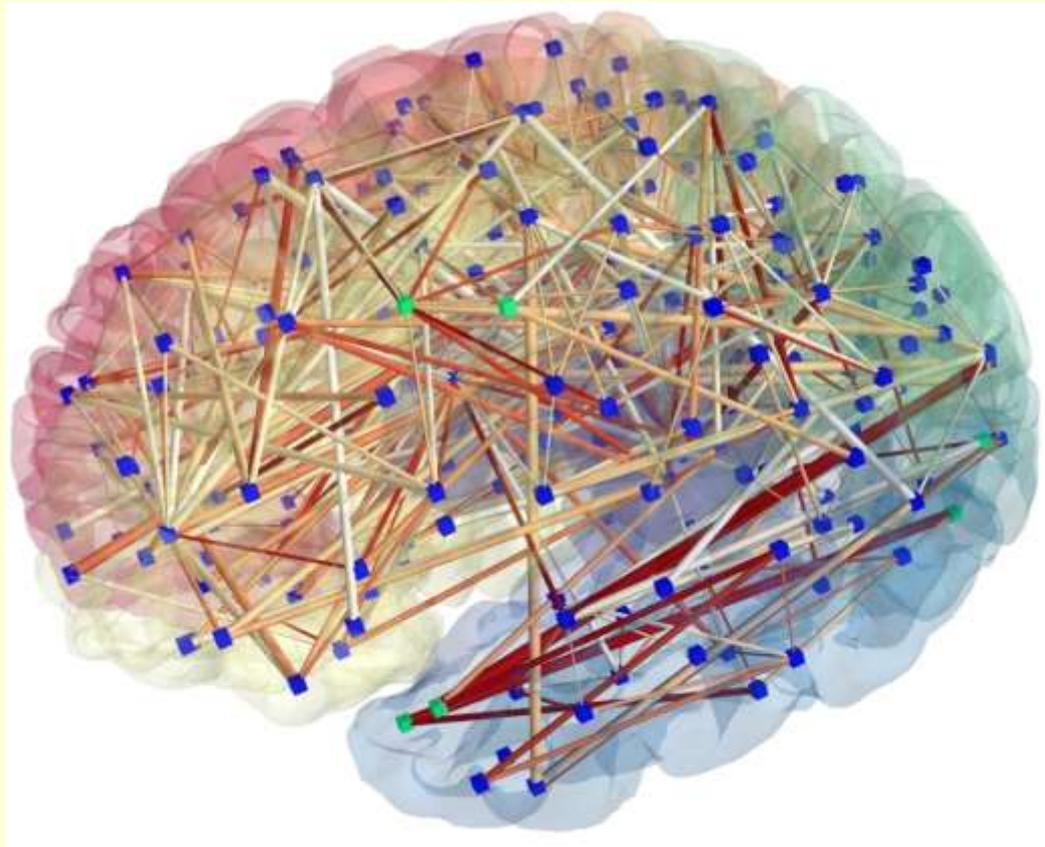
Les grands projets de simulation informatique du cerveau

Séance 5 :

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

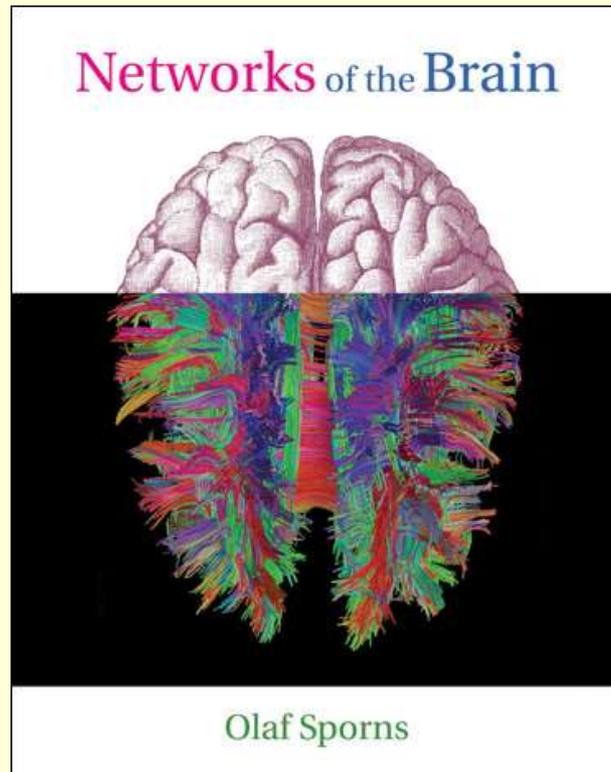
Une dernière approche :

essayer de voir avec des **modèles théoriques**  
si ces réseaux ont un type d'organisation particulier.



# La théorie des réseaux

Une approche qui s'est beaucoup développée depuis une dizaine d'années.



Publié en 2010

## **Modular and hierarchically modular organization of brain networks**

David Meunier, Renaud Lambiotte and Edward T. Bullmore *Front. Neurosci.*, 08 December 2010

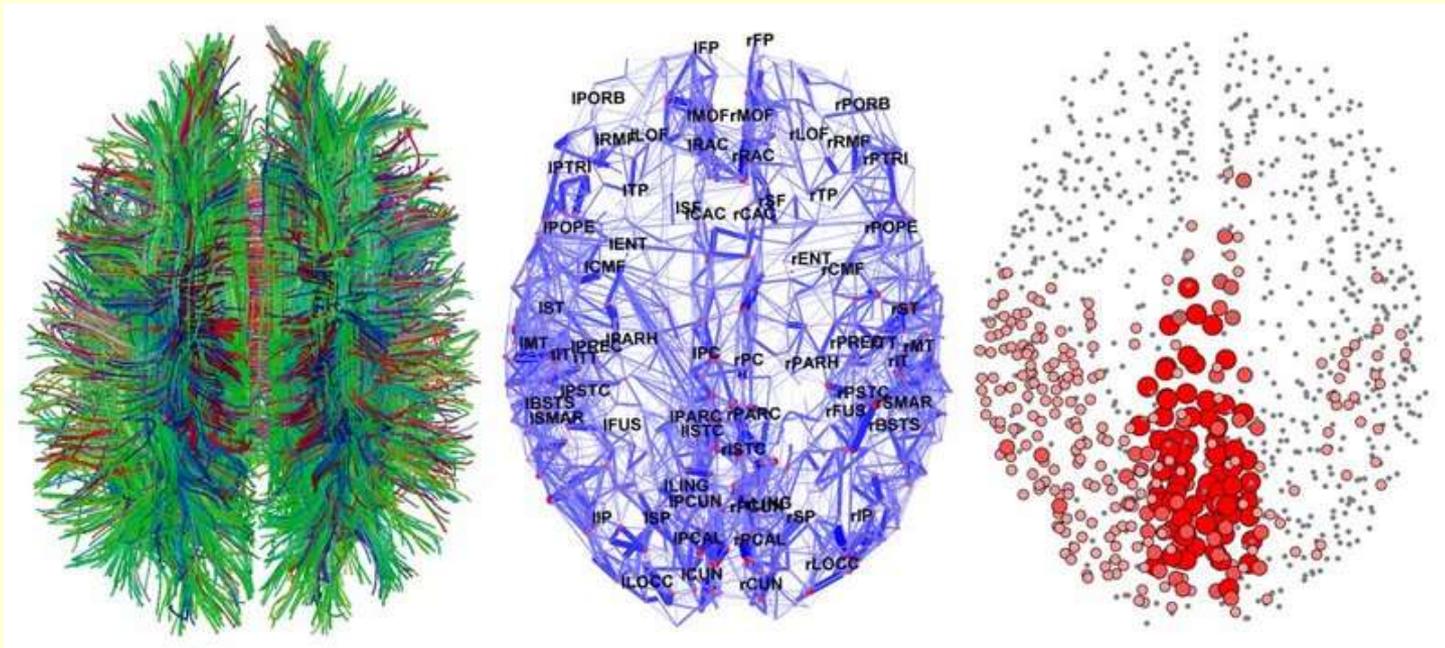
Workshop : **Dynamiques invariantes d'échelle et réseaux en neurosciences** on April 8, 2013

Where: Centre de recherches mathématiques Université de Montréal

Il s'agit de comprendre l'**organisation générale d'un système complexe en réseau**, c'est-à-dire d'un système de points reliés par des connections,

en utilisant des **outils mathématique**, issus principalement de la théorie des graphes,

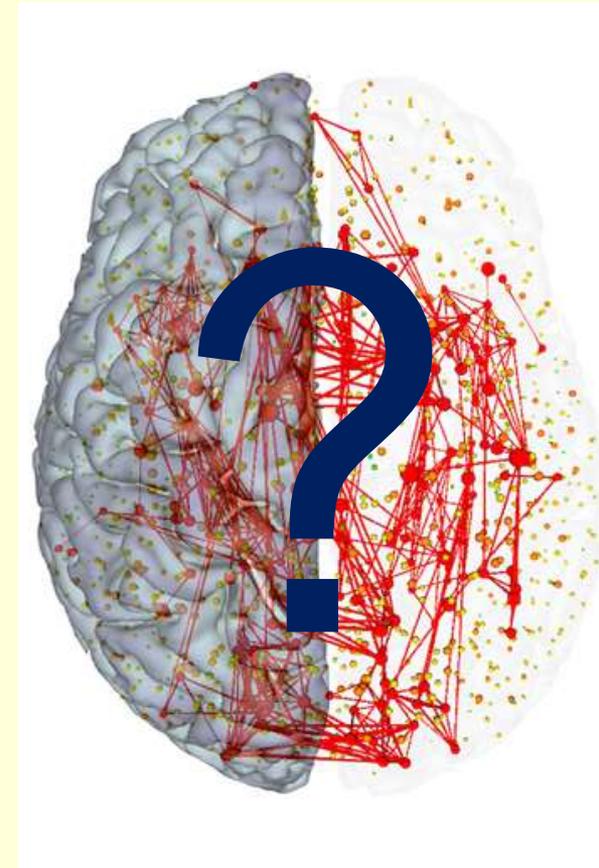
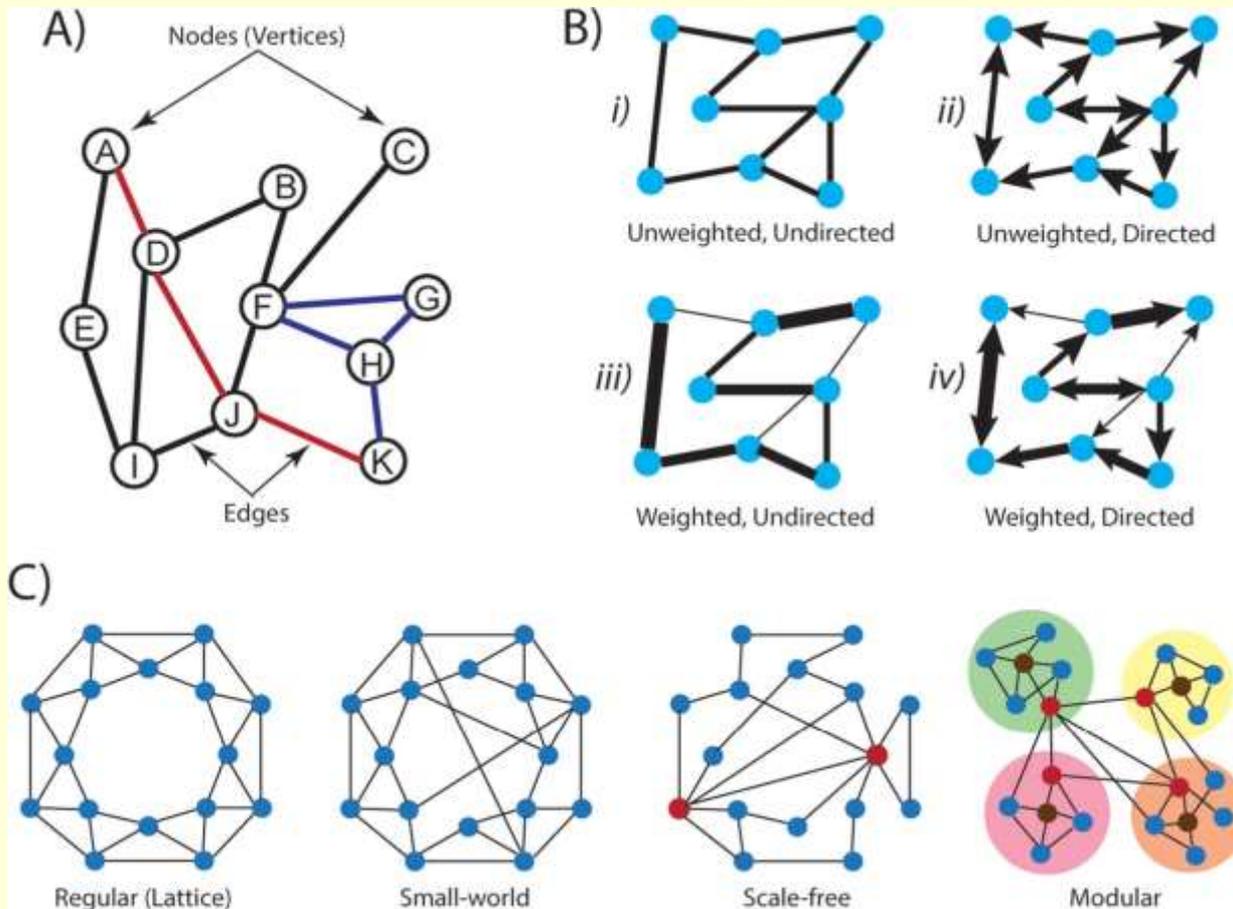
qui permettent de révéler l'**organisation modulaire** d'un tel système complexe.



The fiber architecture of the human brain as revealed by diffusion imaging (left), a reconstructed structural brain network (middle) and the location of the brain's core, its most highly and densely interconnected hub (right).

La « théorie des graphes » considère le « **réseau** »  
comme un ensemble **d'arcs** reliant des **nœuds** via des **liens**

<http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau>

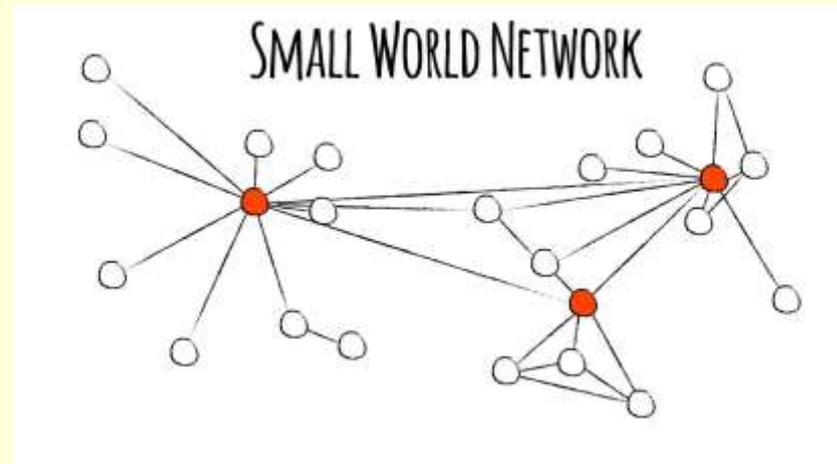


## Mapping Brain Connectivity Using Graph Theory

October 21, 2015 by Joel Frohlich

<http://knowingneurons.com/2015/10/21/mapping-brain-connectivity-using-graph-theory/>

De tels outils mathématiques ont permis de mettre en évidence une organisation d'un type particulier appelé **“small world”**.

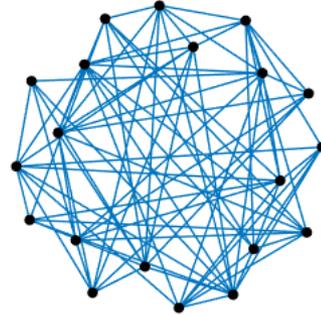
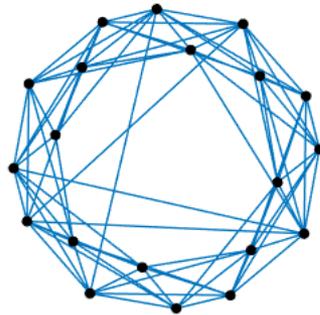
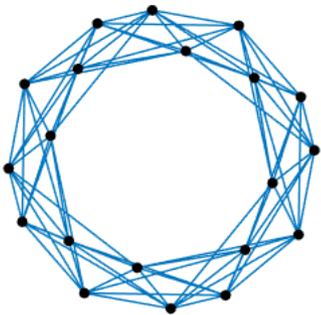


Ces réseaux small world ont tendance à établir des connexions avec avec ses nombreux voisins immédiats, mais aussi avec quelques autres neurones ou individus très éloignés ou très populaires.

Watts-Strogatz Lattice  
( $N = 20$  nodes,  $K = 4$ )

Watts-Strogatz  
Small-World Network

Random Network



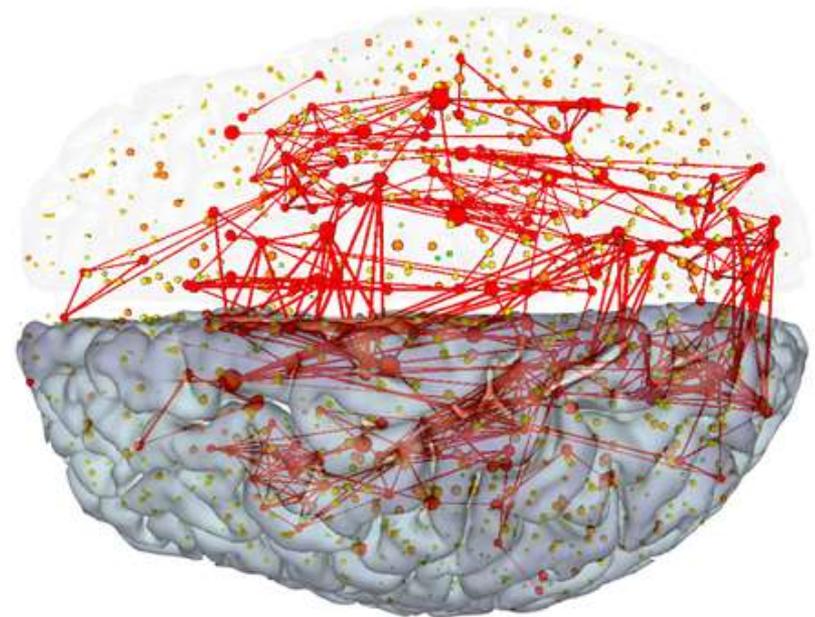
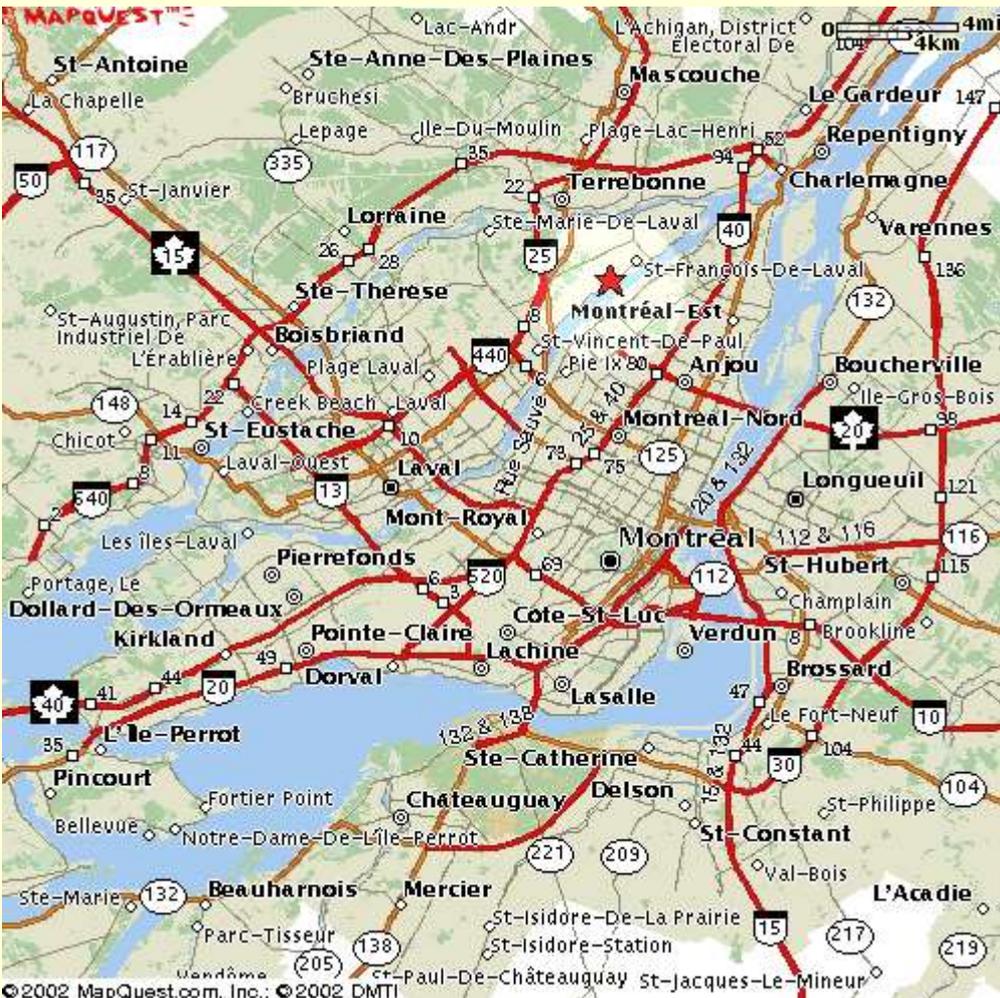
$p=0$

$p=0.15$

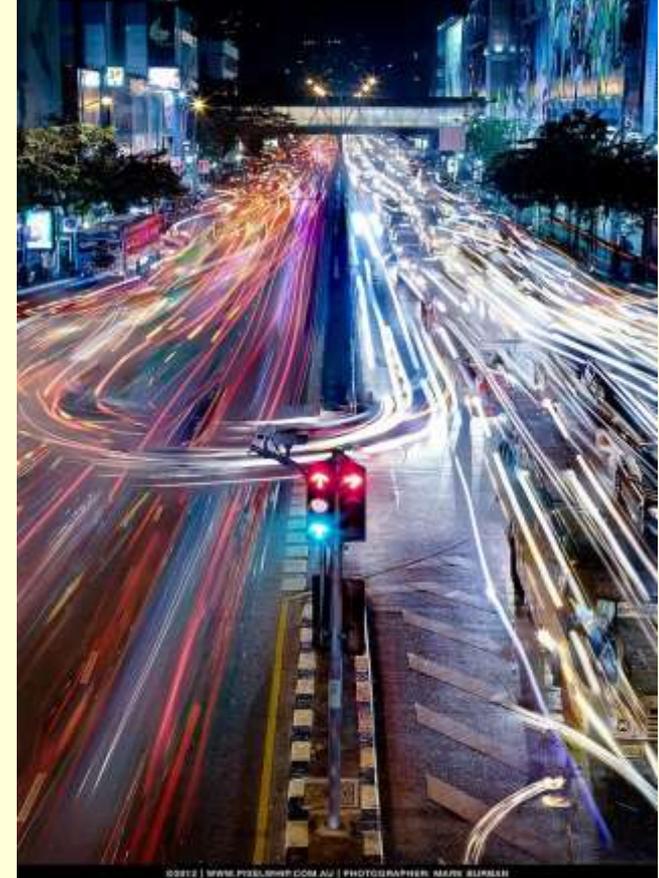
$p=1$

Un peu comme un collectionneur de timbres va visiter les sites web spécialisés très peu fréquentés de ses amis, mais également à l'occasion quelques moteurs de recherches généraux à grand trafic.

Ou encore comme pour le réseau de nos autoroutes qui relie les grandes villes, ces voies sont **coûteuses** mais permettent de **franchir plus rapidement** de grandes distances qu'en empruntant le réseau de petites rues (ou de voies nerveuses) locales...



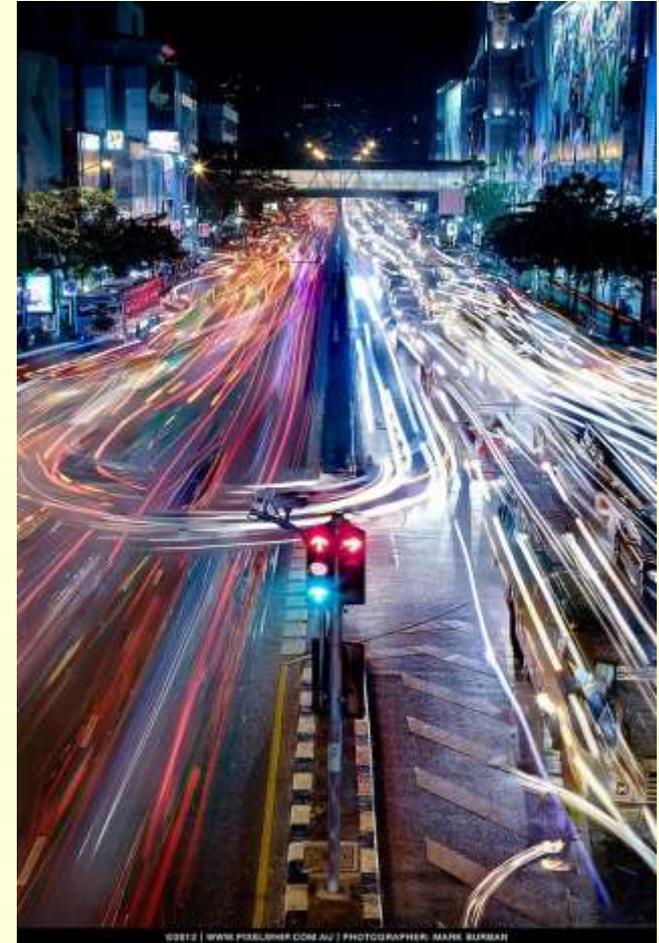
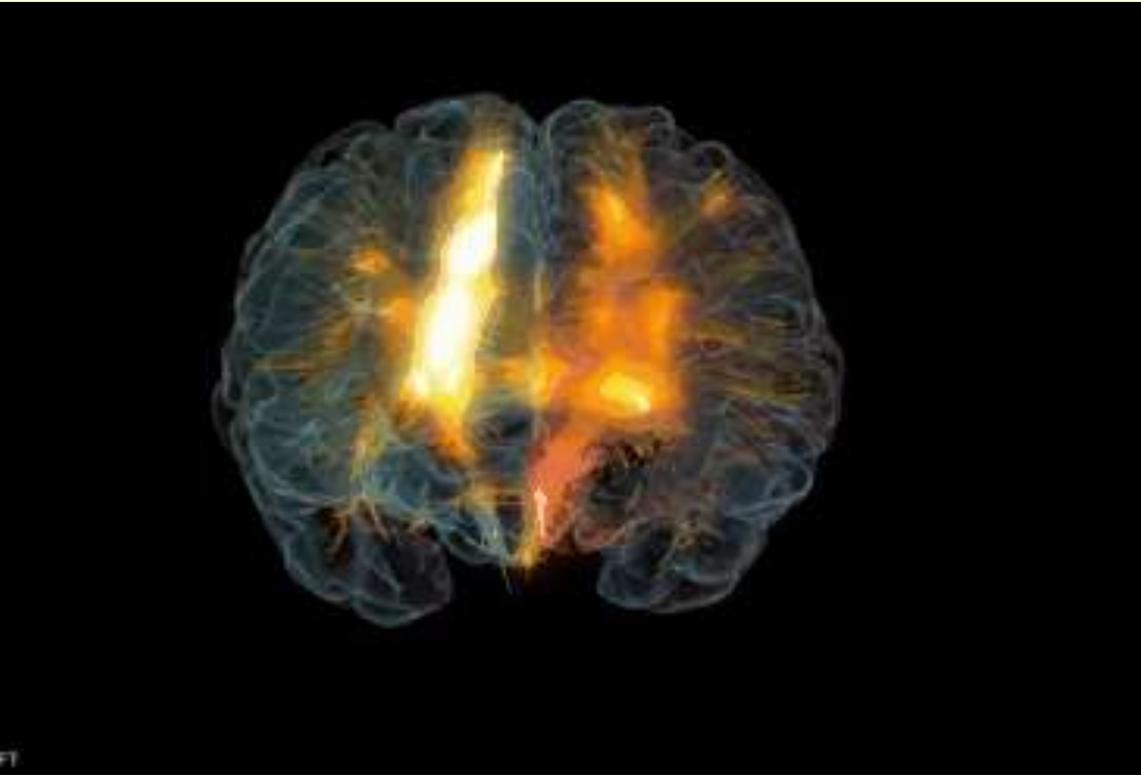




... l'utilisation effective du réseau à un instant donné,

comme l'**intense** trafic du matin et du soir versus le **calme** du milieu de journée, la **direction** prédominante du trafic à ces différents moments, ses **cycles** plus lents comme la tranquillité des vacances d'été et de Noël versus la plus grande activité le reste de l'année, etc.

Et ces rythmes ne sont pas les mêmes en banlieue qu'au centre-ville.



Et ce sera la même chose pour le cerveau qui possède **toutes sortes de rythmes à différentes échelles de temps** et selon les régions observées.

C'est ce que nous verrons après les Fêtes à la **séance #6** !

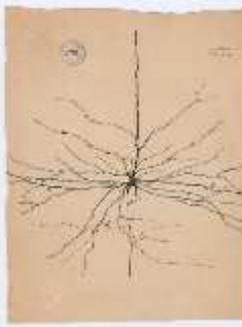
Séance 1 :  
Le « cor  
toi-mêm  
Socrate  
des scie  
cognitiv



Séance 2 :  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarre  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3 :  
L'hum  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



EKG powered by BCLAB | SFT

Séance 4 :  
De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



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

Séance 5 :



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

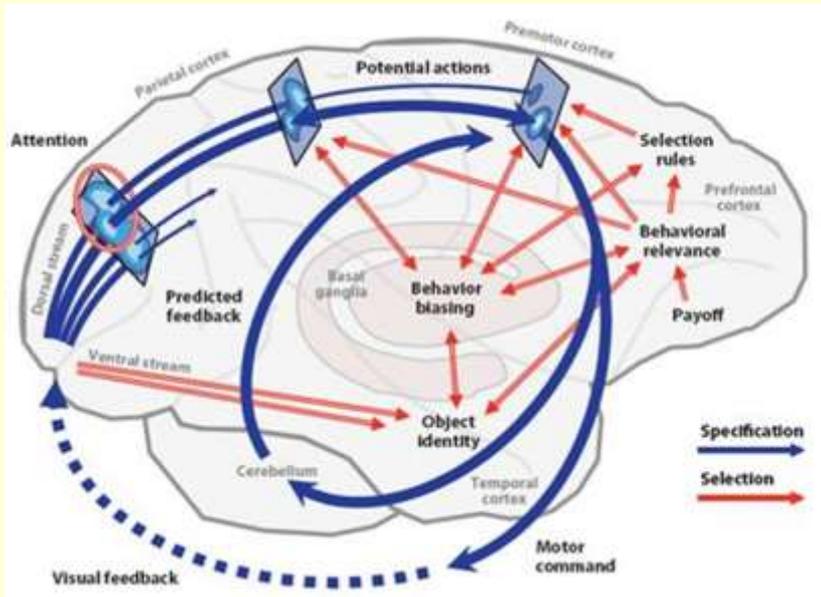
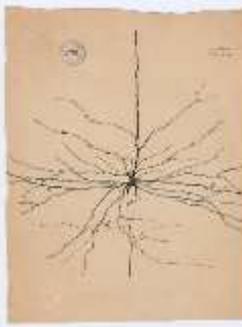
Séance 1  
Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv



Séance 2  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarre  
font qu  
aujourd'hui

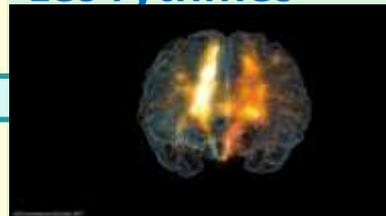


Séance 3 :  
L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



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

Séance 6 :  
Les rythmes  
régner



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



Séance 4 :  
De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



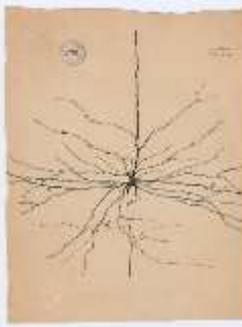
Séance 1  
Le « cor  
toi-mêm  
Socrate  
des scie  
cognitiv



Séance 2  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarre  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3:  
L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



Séance 4 :  
De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 5 :



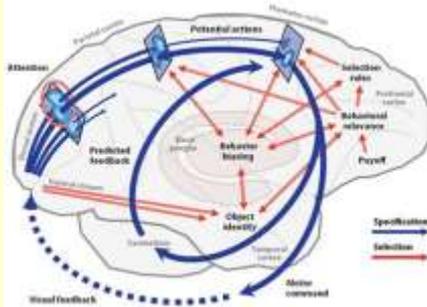
Séance 5 :  
Cartographier  
des réseaux de  
milliards de neurones  
à l'échelle du cerveau entier

Séance 6 :  
Les rythmes



régner

Séance 7 :



décider quoi faire

Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un  
et sont  
constamment  
affectés par  
l'environnement



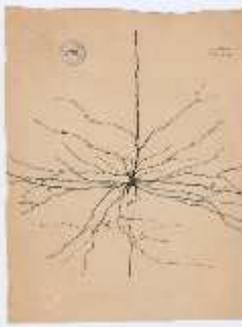
Séance 1  
Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv



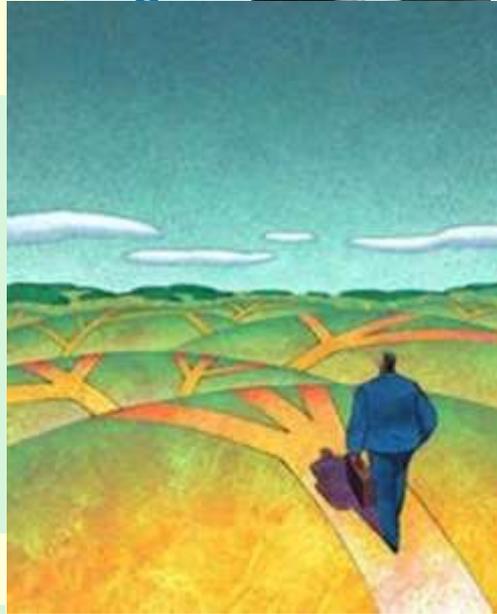
Séance 2  
De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu  
aujourd'hui



Séance 3:  
L'huma  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux



Séance 9 :  
Conscient,  
inconscient et  
langage : quel est  
ce « je » qui se  
dit libre ?



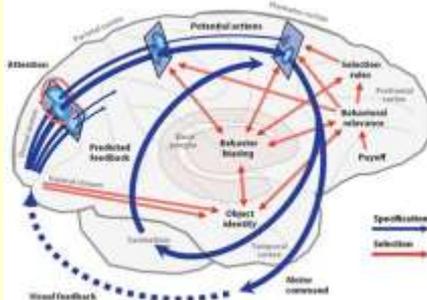
Séance 4 :  
De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire



Séance 8 :  
l'environnement



Séance 7 :  
décider quoi faire



Séance 6 :  
Les rythmes  
régner



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



Séance 10 :  
**Morale de l'histoire : notre espèce a-t-elle de l'avenir ?**

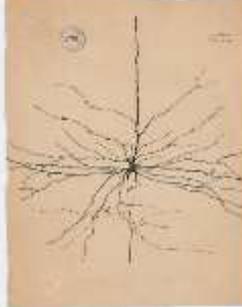


Séance 1  
**Le « cor toi-mên Socrate des scie cognitiv**

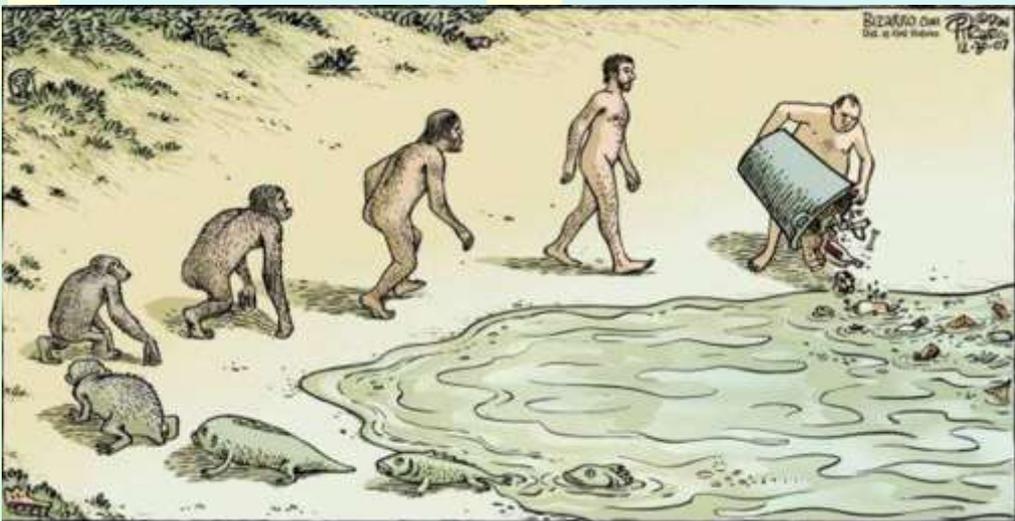
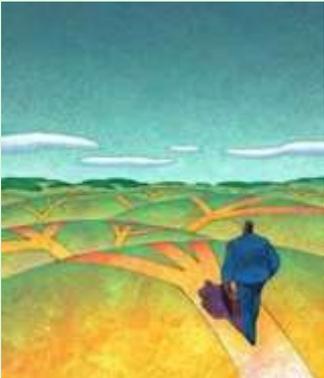


Séance 2  
**De la « d'étoile à la vie bizarre font qu**

Séance 3 :  
**L'huma découv gramm base de système nerveux**



Séance 9 :  
**est**



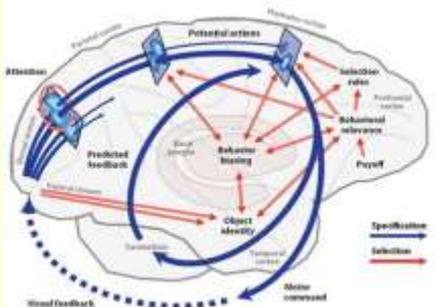
Séance 4 :  
**De mi ne plaisir, douleur, apprentissage, mémoire**



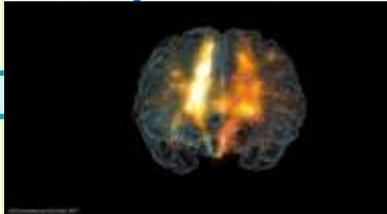
Séance 8 :  
**l'environnement**



Séance 7 :  
**décider quoi faire**



Séance 6 :  
**Les rythmes régner**



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



Séance 10 :  
**Morale de**

Séance 1  
**Le « cor  
toi-mên  
Socrate  
des scie  
cognitiv**

Séance 2  
**De la «  
d'étoile  
à la vie  
bizarres  
font qu**

Séance 3 :  
**L'humana  
découv  
gramm  
base de  
système nerveux**

Séance 9 :  
**est**

Séance 7 :  
**décider quoi faire**

Séance 4 :  
**De  
mil  
ne  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire**

Séance 8 :  
**l'environnement**

Séance 7 :  
**décider quoi faire**

Séance 6 :  
**Les rythmes  
régner**

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

# Plan de ce soir

Intro historique : de la phrénologie à l'homonculus de Penfield

Un objet difficile à cartographier

(problème de « consistance », de dimension, d'échelle spatiale)

La cartographie anatomique du cerveau (aux niveaux micro, méso, macro)

Imagerie cérébrale fonctionnelle : voir nos réseaux cérébraux s'activer

La tentation des étiquettes fonctionnelles :

- l'amygdale et l'insula
- l'aire de Broca
- le « cas » du cervelet

Le "réseau du mode par défaut" et autres réseaux prédominants

L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

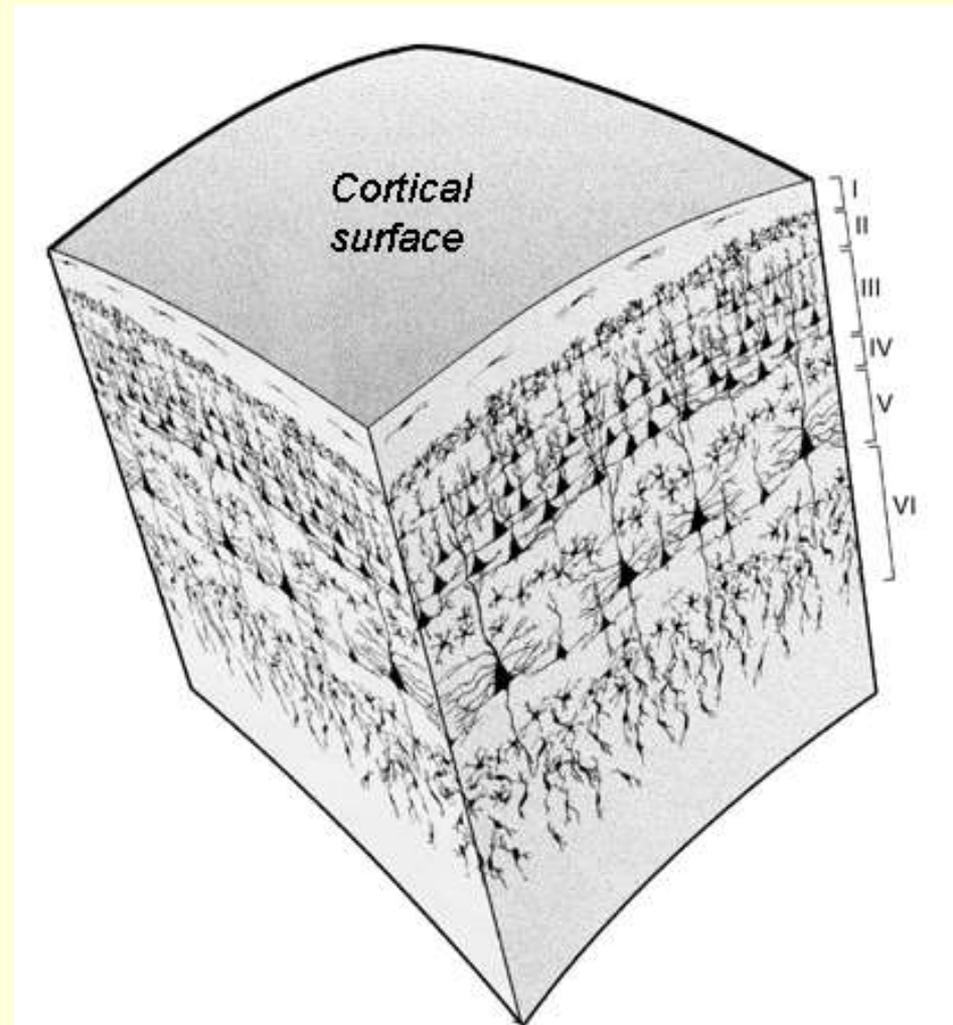
**Après la pause et quelques questions/échanges:**

**Simuler le cerveau pour tenter de mieux le comprendre**

Séance 5 :

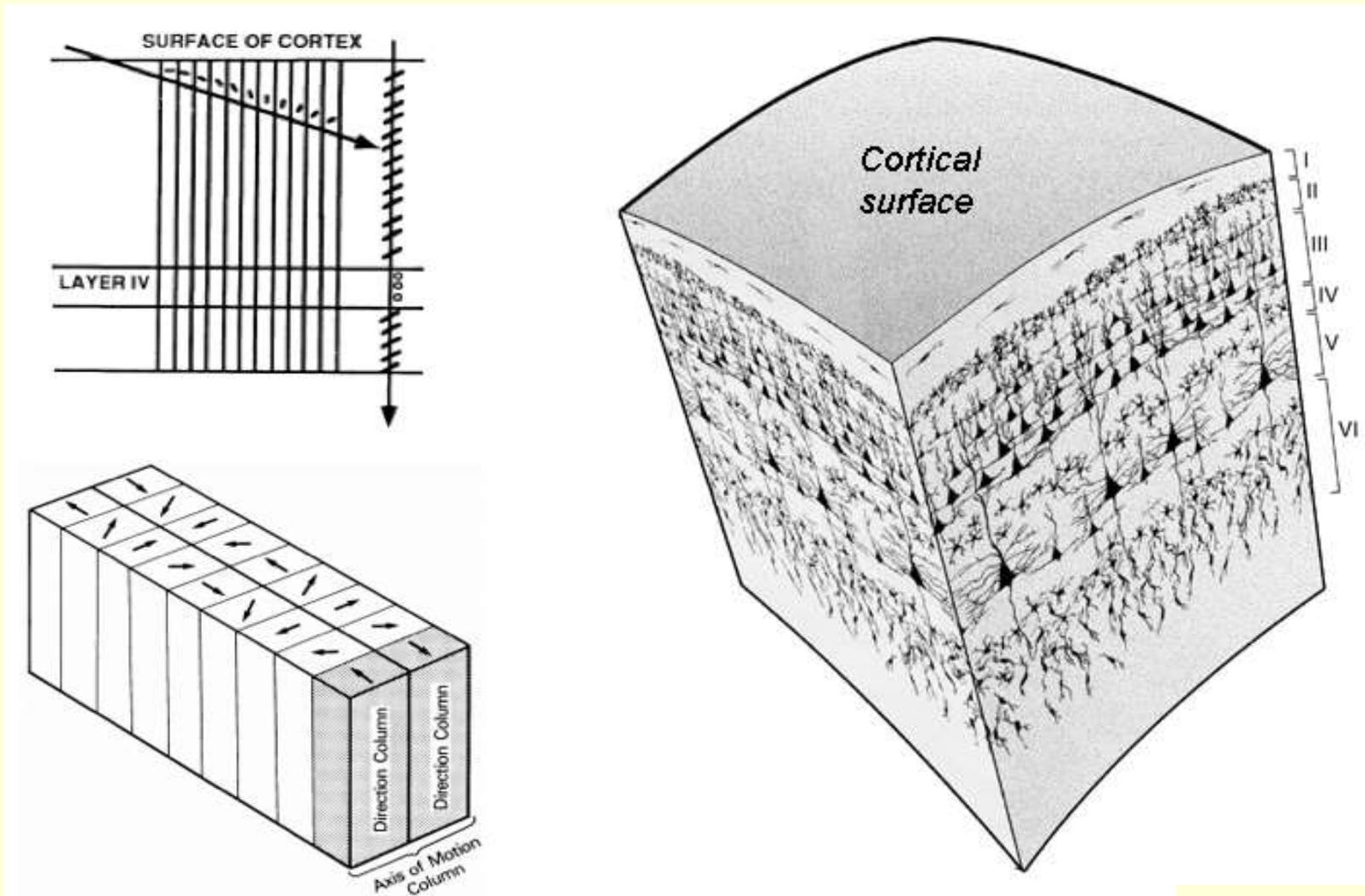
**Cartographier des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier**

En plus de cette organisation en couches dans le cortex...



...il y a également une organisation **en colonne** !

Les neurones ont des connexions préférentielles à la **verticale**.

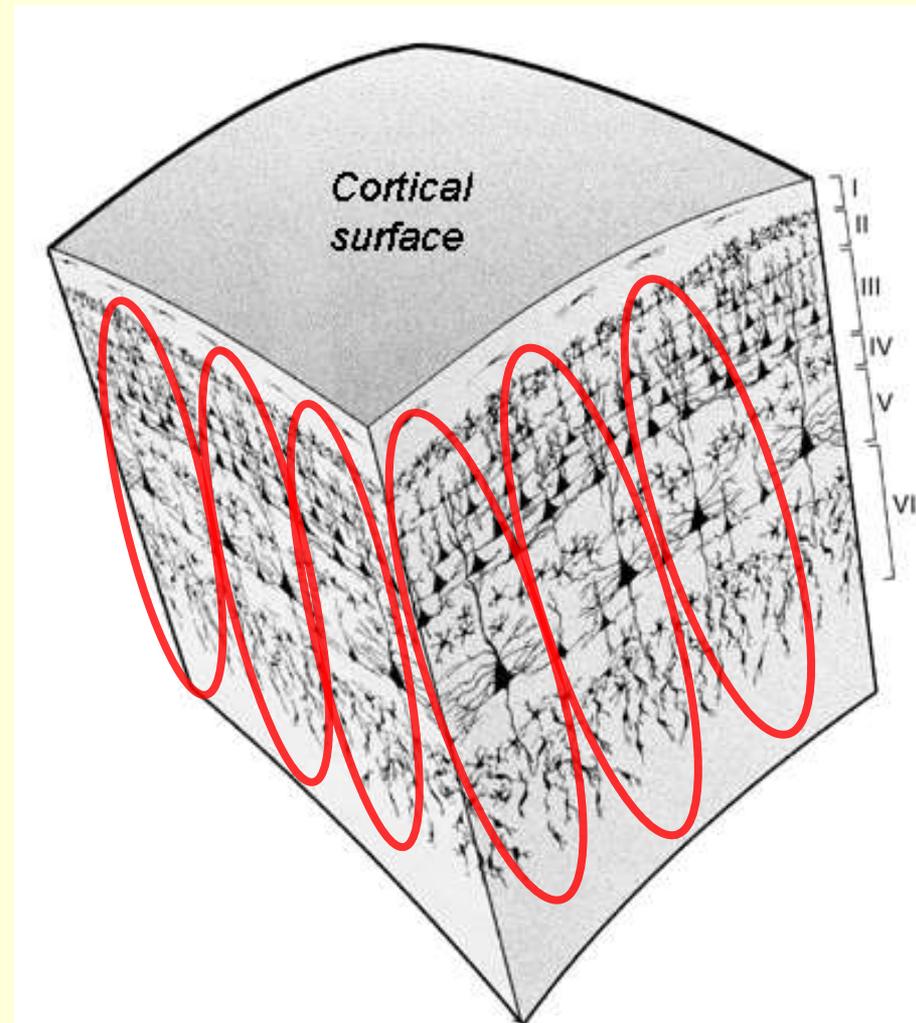


...il y a également une organisation **en colonne** !

Les neurones ont des connexions préférentielles **à la verticale**.

Mais ces colonnes ne sont **pas visibles** par coloration comme les couches du cortex;

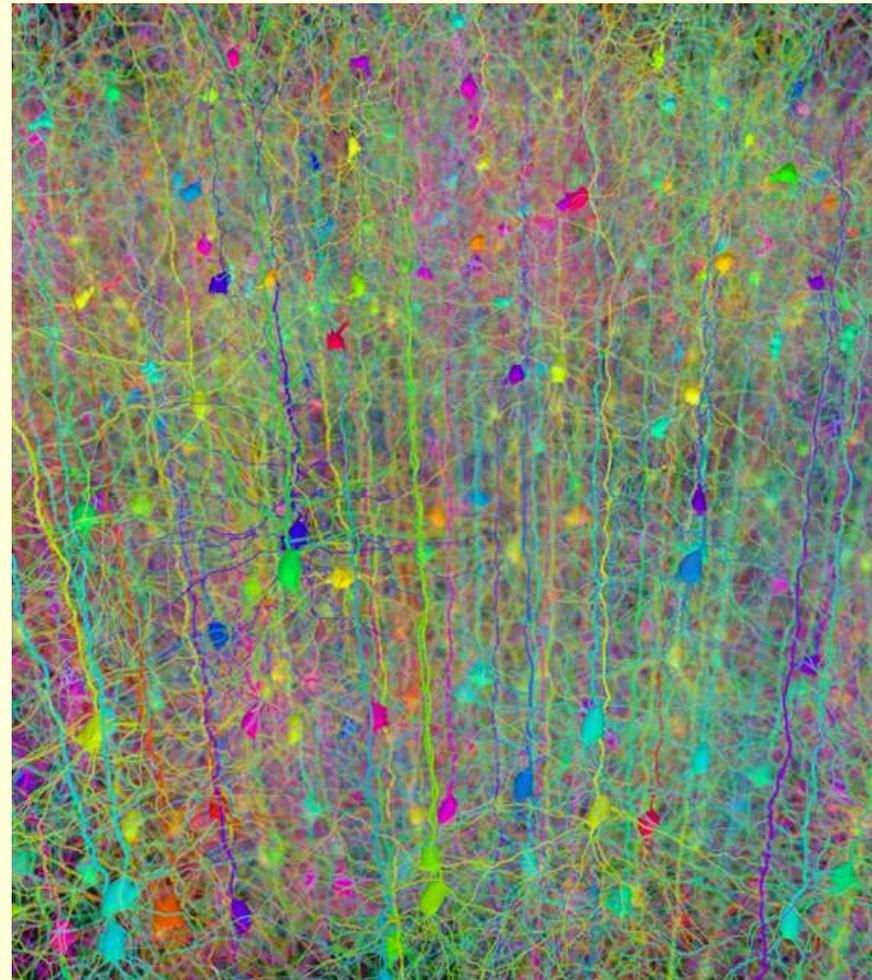
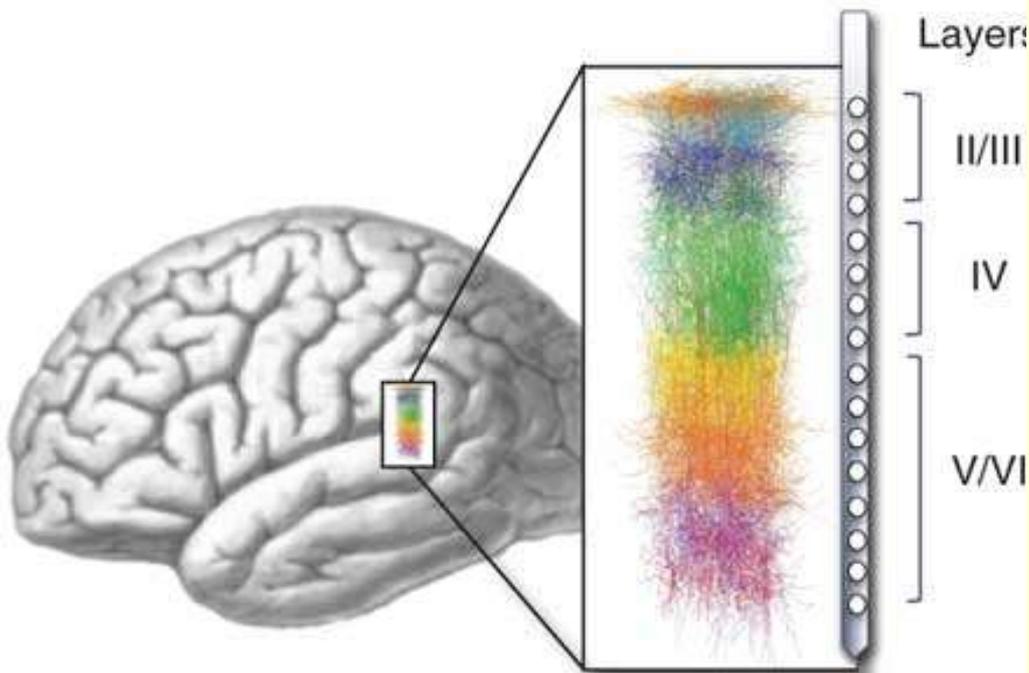
elles sont plus **fonctionnelles** qu'anatomiques.



Même s'il est difficile de définir une **colonne corticale** de façon formelle, la notion demeure **attrayante** parce qu'elle suggère qu'on peut simplifier l'insurmontable complexité du câblage cérébral

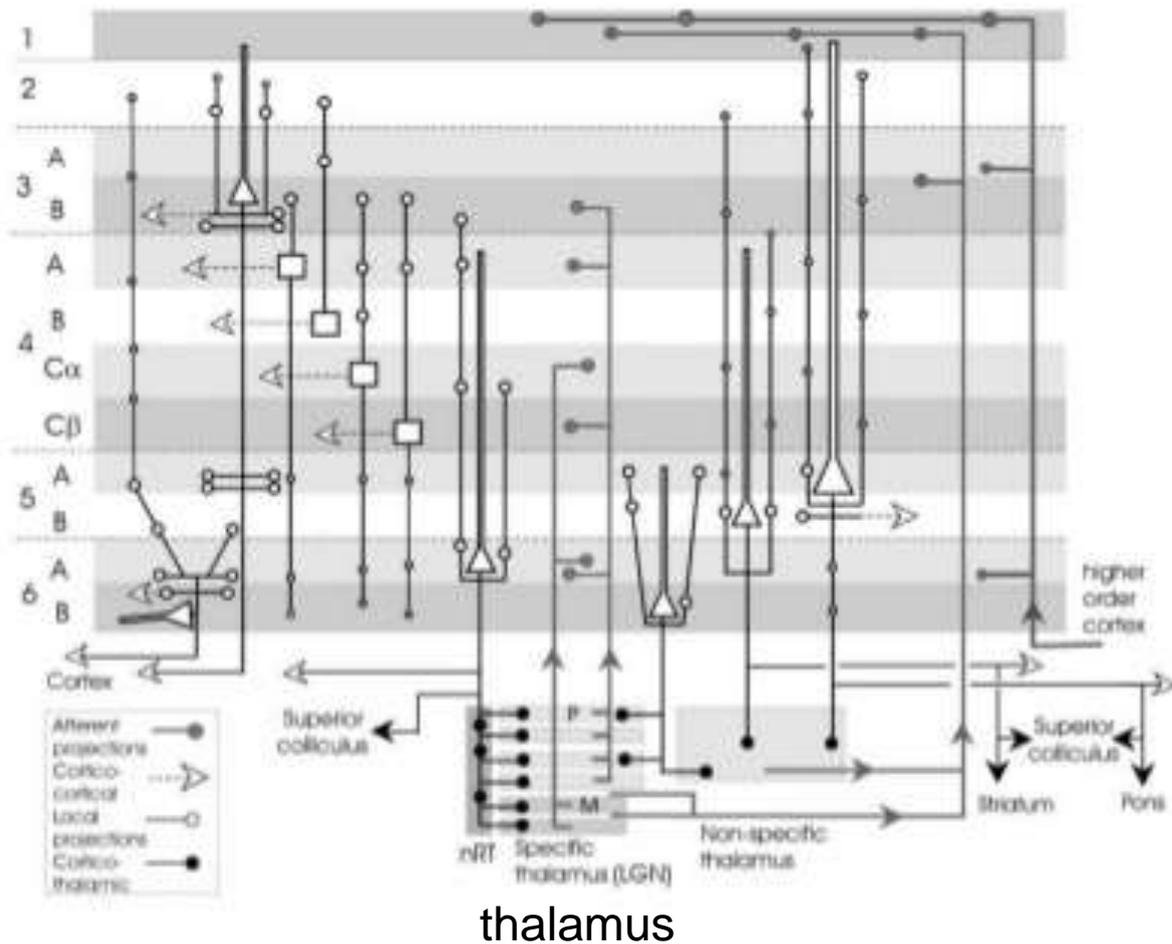
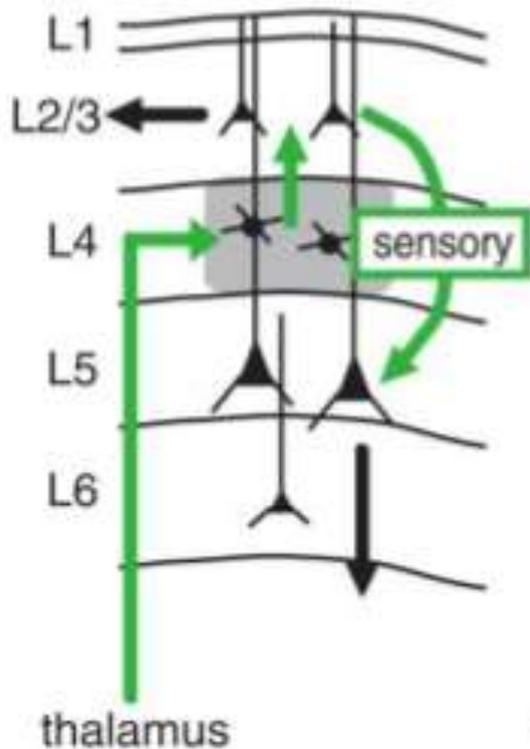
en un **arrangement de d'unités similaires** organisées en parallèle.

a

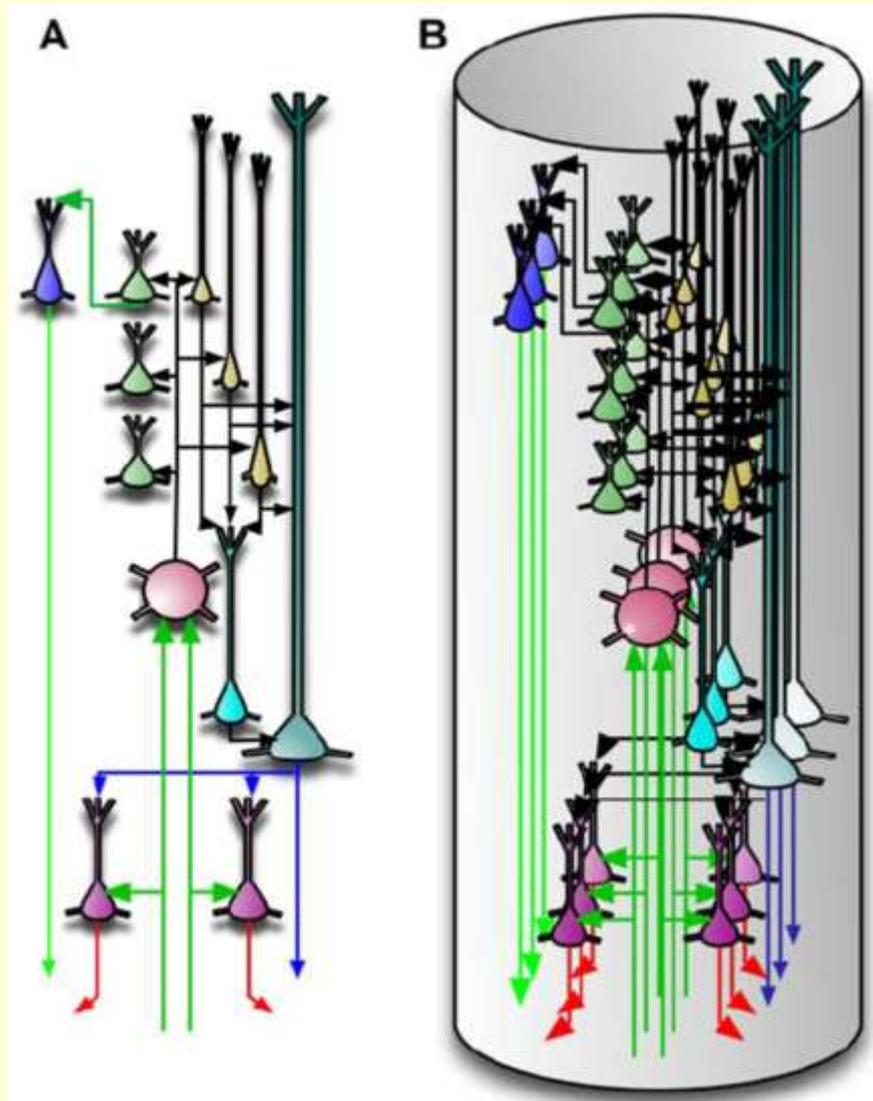


Exemples de représentations schématiques de :

## Cortical Column Anatomy



Chaque colonne = plusieurs milliers de neurones



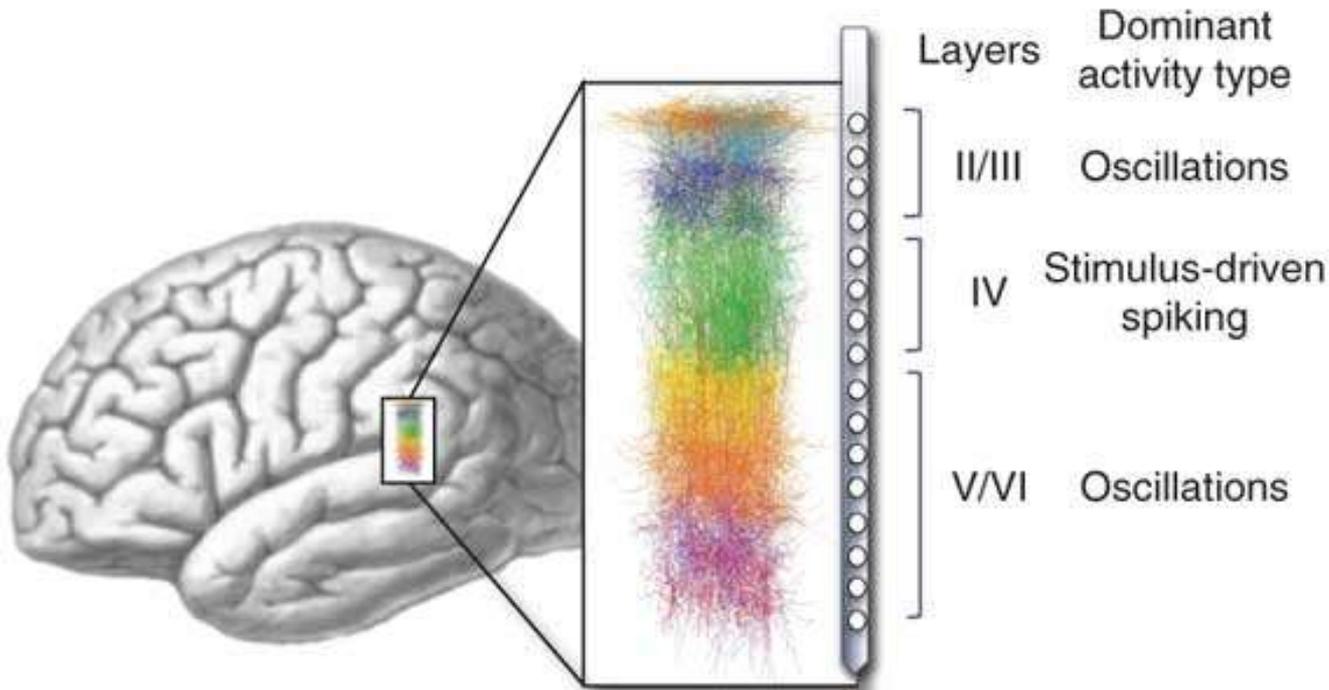
→ **Cortex** : grande diversité de fonctions, mais circuits remarquablement similaires

Le problème devient soudainement plus abordable:

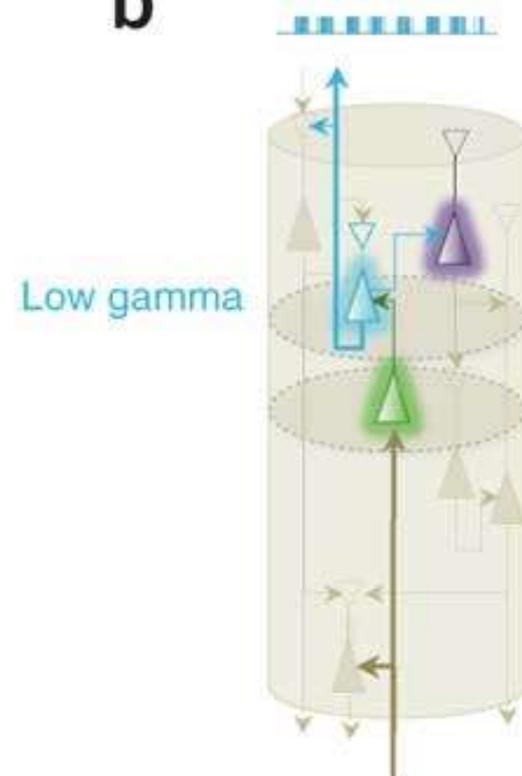
**comprenez une colonne, et vous les comprendrez toutes !**

Donc modèle très populaire, surtout auprès de ceux qui font des **simulations informatiques**, comme le **Human Brain Project**, par exemple.

a



b



Extrait du site de **Henry Markram**

au <http://markram-lab.epfl.ch/>

qui va tout à fait en ce sens :

« *The neocortex constitutes nearly 80% of the human brain and **is made of repeating stereotypical microcircuits** composed of different neuron subtypes. [...]*

*We believe that the neocortical microcircuits within such functional cortical columns represent **a fundamental unit of computation**, constituting the essence of neocortical computation.”*

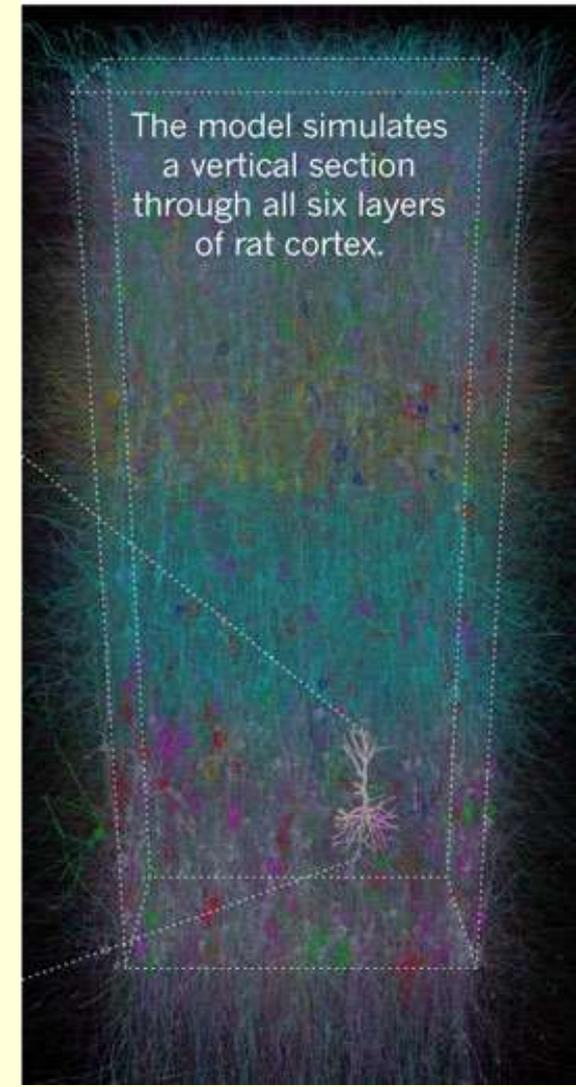
**The Human Brain Project - Video Overview**

<https://www.youtube.com/watch?v=JqMpGrM5ECo>

(0 à 2 min., 4 à 6 min.)

**NEOCORTICAL COLUMN**

(10,000 neurons)



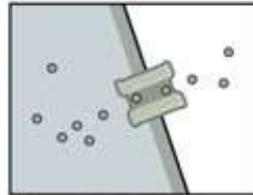
# Le “Human Brain Project”

(anciennement le « Blue Brain Project»), tente de modéliser jusqu’au niveau moléculaire une colonne corticale entière de cerveau de mammifère avec des unités de base proches des neurones (et non de simples points)

## BUILDING A BRAIN

The Blue Brain simulation — a prototype for the Human Brain Project — constructs simulated sections of cortex from the bottom up, starting from detailed models of individual neurons.

### → SIMULATED NEURON



#### Ion channels

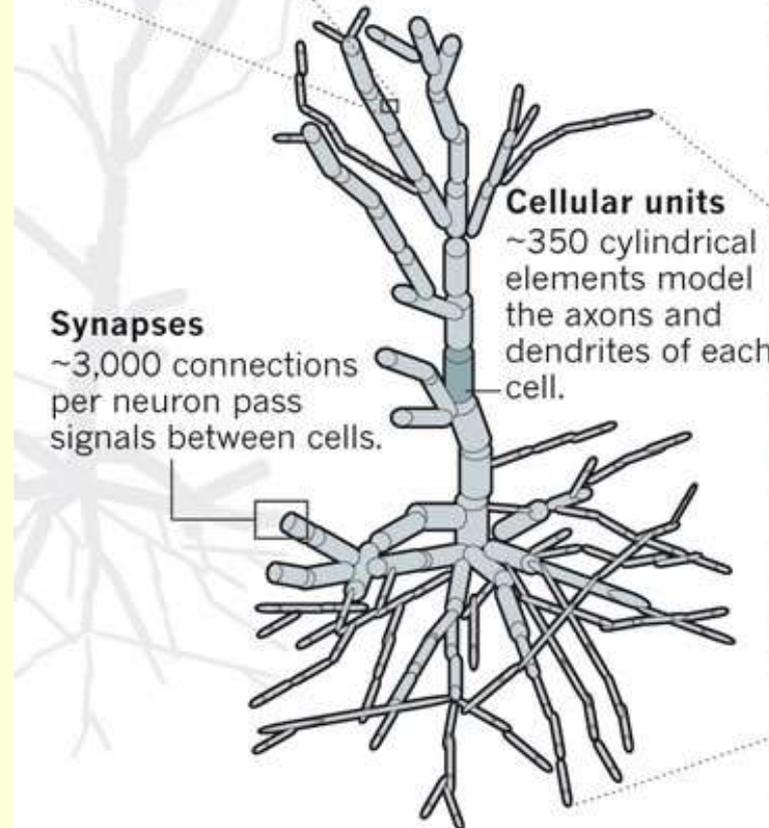
In each model neuron, ~7,000 ion channels control membrane traffic.

#### Synapses

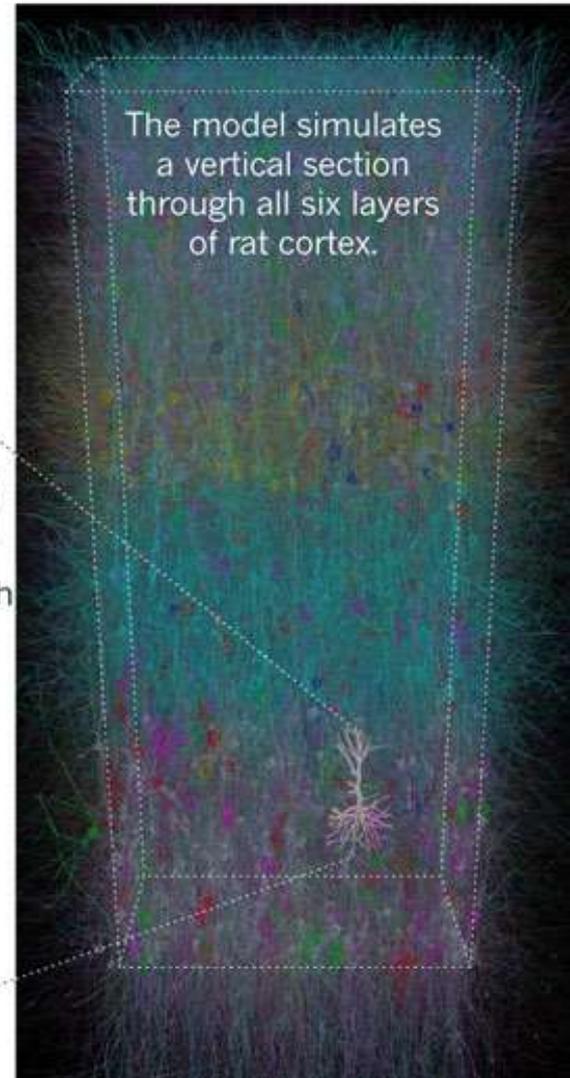
~3,000 connections per neuron pass signals between cells.

#### Cellular units

~350 cylindrical elements model the axons and dendrites of each cell.



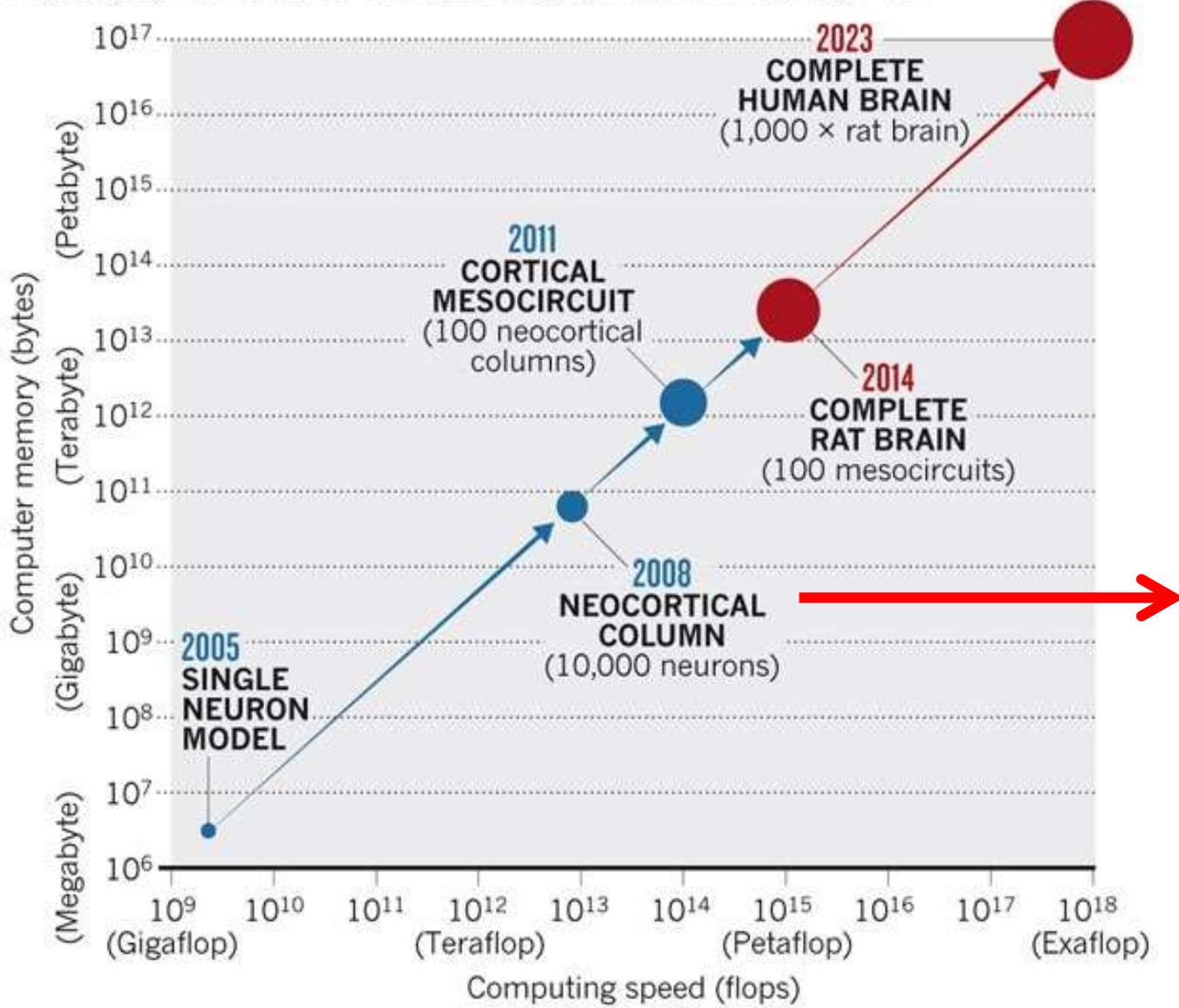
### SIMULATED NEOCORTICAL COLUMN (10,000 neurons)



The model simulates a vertical section through all six layers of rat cortex.

# FAR TO GO

The Blue Brain Project has steadily increased the scale of its cortical simulations through the use of cutting-edge supercomputers and ever-increasing memory resources. But the full-scale simulation called for in the proposed Human Brain Project (red) would require resources roughly 100,000 times larger still.

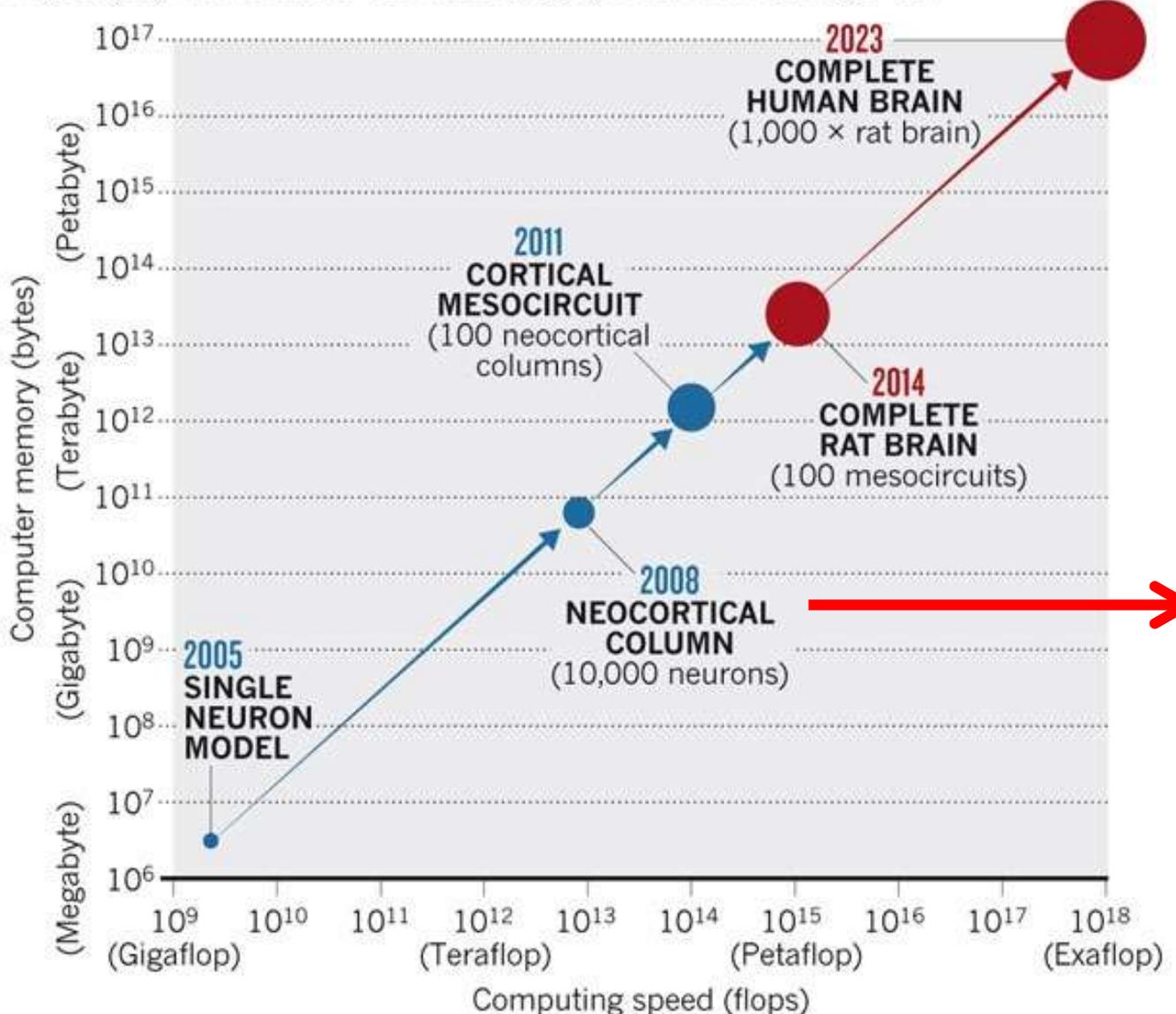


## NEOCORTICAL COLUMN (10,000 neurons)



# FAR TO GO

The Blue Brain Project has steadily increased the scale of its cortical simulations through the use of cutting-edge supercomputers and ever-increasing memory resources. But the full-scale simulation called for in the proposed Human Brain Project (red) would require resources roughly 100,000 times larger still.



October 21, 2015  
Hoopla over a bit of rat brain...a complete brain simulation?  
[http://mindblog.dericbownds.net/2015/10/hoopla-over-bit-of-rat-brain-complete.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29](http://mindblog.dericbownds.net/2015/10/hoopla-over-bit-of-rat-brain-complete.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29)

Cell,  
Volume 163, Issue 2,  
p456–492,

**8 October 2015**

**Reconstruction and Simulation of Neocortical Microcircuitry**  
Henry Markram et al.  
(environ 70 auteurs...)

# European neuroscientists revolt against the E.U.'s Human Brain Project

<http://news.sciencemag.org/brain-behavior/2014/07/updated-european-neuroscientists-revolt-against-e-u-s-human-brain-project>

**11 July 2014**

An open letter published today that has so far received 213 signatures **sharply criticizes the project for having a narrow focus,**

questions the **"quality of the governance,"**

and calls for a tough review and more independent oversight.

# Where is the brain in the Human Brain Project?

## September 2014

<http://www.nature.com/news/neuroscience-where-is-the-brain-in-the-human-brain-project-1.15803>

The crisis results mainly from ambiguities concerning the place of neuroscience in the HBP.

In fact, **we lack**, among other resources, a **detailed 'connectome'**, a map of connections between neurons within and across brain areas<sup>3</sup> that could guide simulations. [...]

Most importantly, there are no formulated biological hypotheses for these simulations to test<sup>4</sup>.

# Why the Human Brain Project Went Wrong -- and How to Fix It

By [Stefan Theil](#) | **Sep 15, 2015**

Two years in, a \$1-billion-plus effort to simulate the human brain is in disarray.

Was it poor management, or is something fundamentally wrong with Big Science?

<http://www.scientificamerican.com/article/why-the-human-brain-project-went-wrong-and-how-to-fix-it/>

## Exemples de critiques du Human Brain Project :

- Le modèle pourrait devenir si détaillé qu'il ne serait pas plus facile à comprendre que le cerveau !
- Pas d'organes sensoriels ou d'effecteurs, donc ne simule certainement pas comment une colonne fonctionne chez un véritable animal...
- Et surtout, la critique d'un projet « **prématuré** » de la part des scientifiques qui travaillent sur le **connectome** à l'échelle la plus fine.

### **Bluebrain: Noah Hutton's 10-Year Documentary about the Mission to Reverse Engineer the Human Brain**

<http://www.scientificamerican.com/article/bluebrain-documentary-premiere/>

De 7:50 à 12: 00 (environ 4 minutes)  
**Sebastian Seung** versus Henry Markram

# Autre programme de recherche à partir de simulations des colonnes corticales : ceux de **Jeff Hawkins**

Wed, Mar 30, **2016**

## **Why Neurons Have Thousands of Synapses, A Theory of Sequence Memory in Neocortex**

Jeff Hawkins & Subutai Ahmad • Published in Frontiers in Neural Circuits Journal

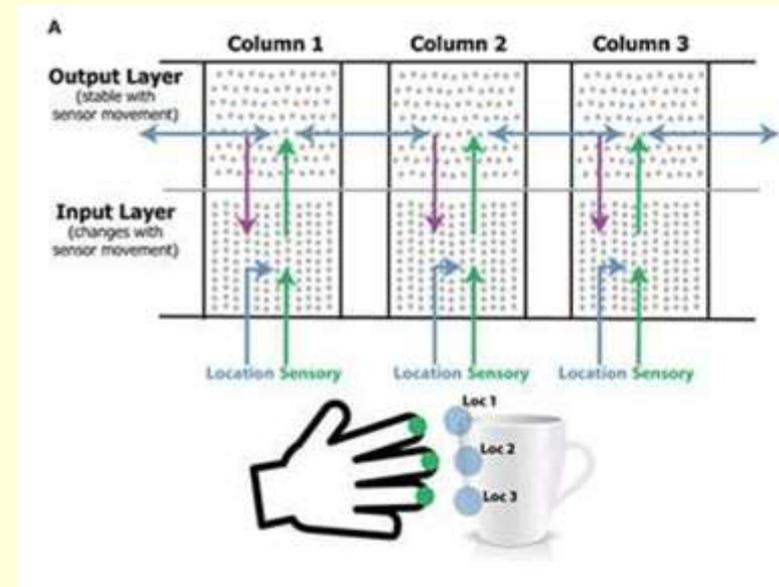
<https://numenta.com/papers/why-neurons-have-thousands-of-synapses-theory-of-sequence-memory-in-neocortex/>

Wed, Oct 25, **2017**

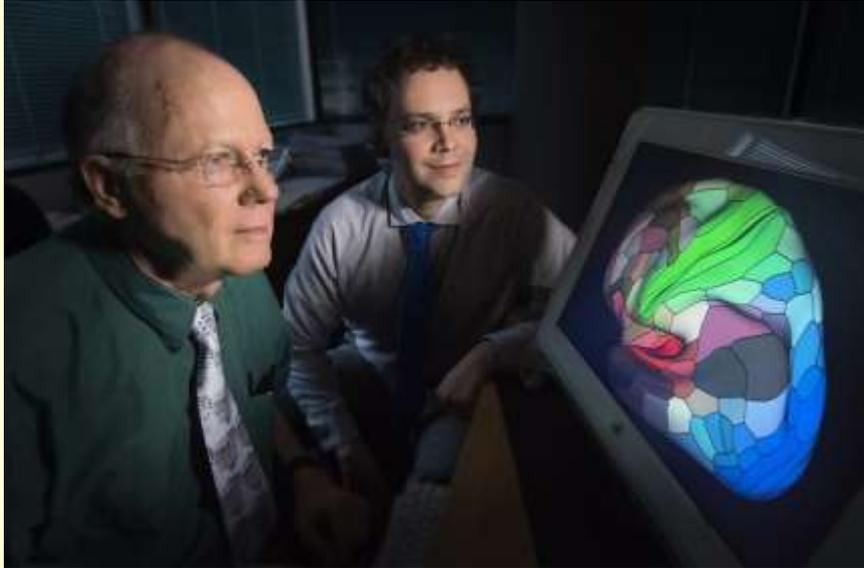
## **A Theory of How Columns in the Neocortex Enable Learning the Structure of the World**

Jeff Hawkins, Subutai Ahmad & Yuwei. Frontiers in Neural Circuits Journal

<https://numenta.com/papers/a-theory-of-how-columns-in-the-neocortex-enable-learning-the-structure-of-the-world/>



On va terminer en présentant la cartographie la plus récente du cerveau impliquant plusieurs des techniques que l'on vient d'explorer...

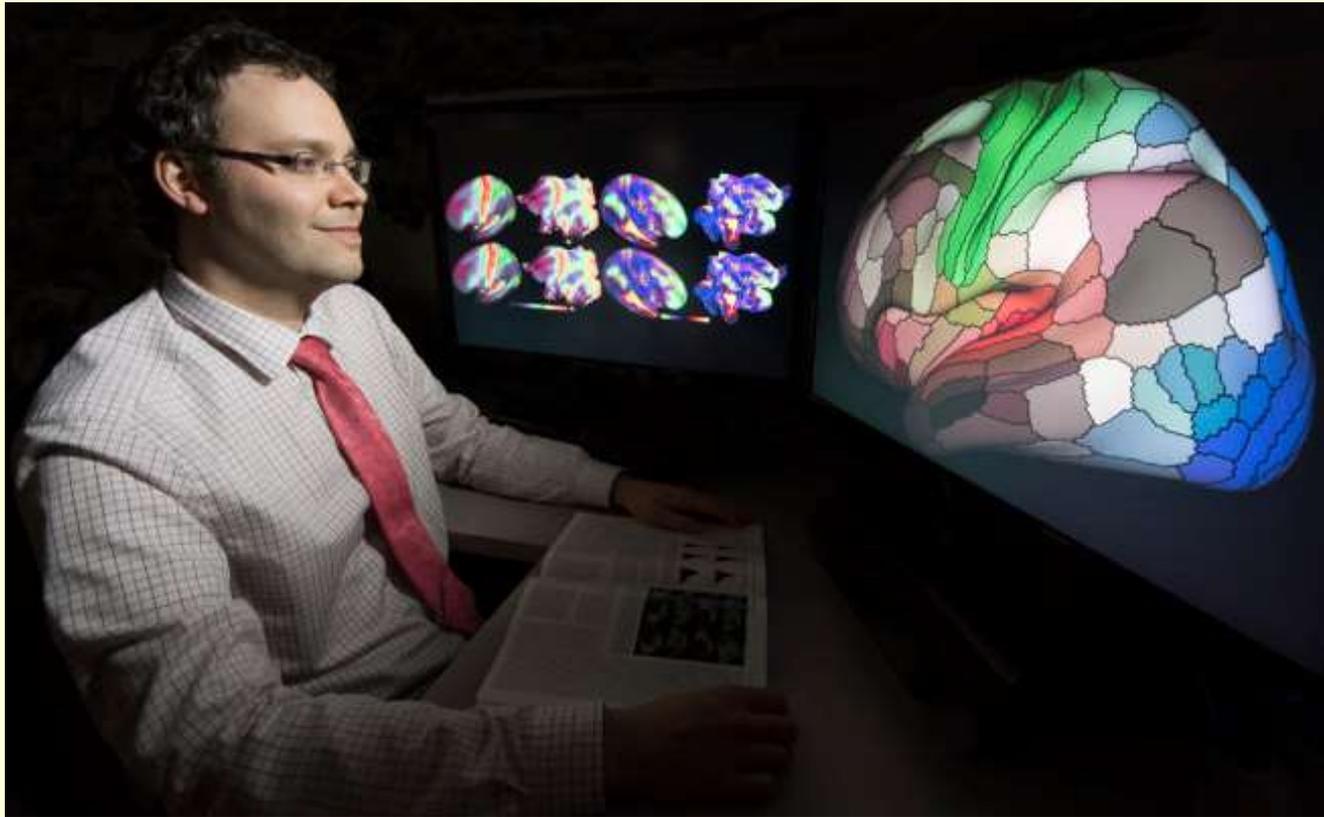


## Neuro-Cartographers Should Tread Carefully When 'Mapping' the Brain

August 8, 2017

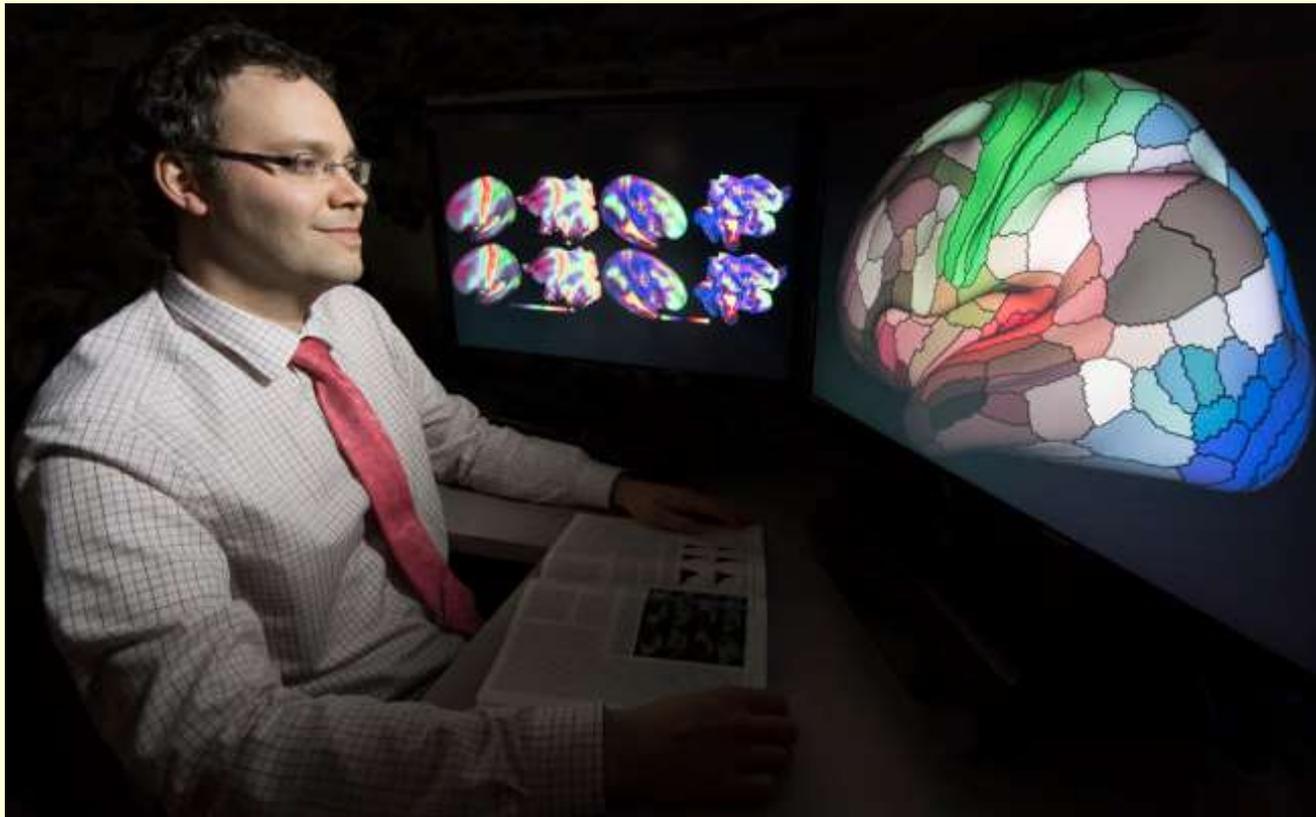
<https://www.inverse.com/article/35268-map-the-brain-challenges>

Notons d'abord que faire la carte DU cerveau humain ne sera jamais possible puisqu'il existe une très grande **variabilité** dans le volume, la forme, l'épaisseur, etc., des différentes structures cérébrales **entre les individus**.



Notons d'abord que faire la carte DU cerveau humain ne sera jamais possible puisqu'il existe une très grande **variabilité** dans le volume, la forme, l'épaisseur, etc., des différentes structures cérébrales **entre les individus**.

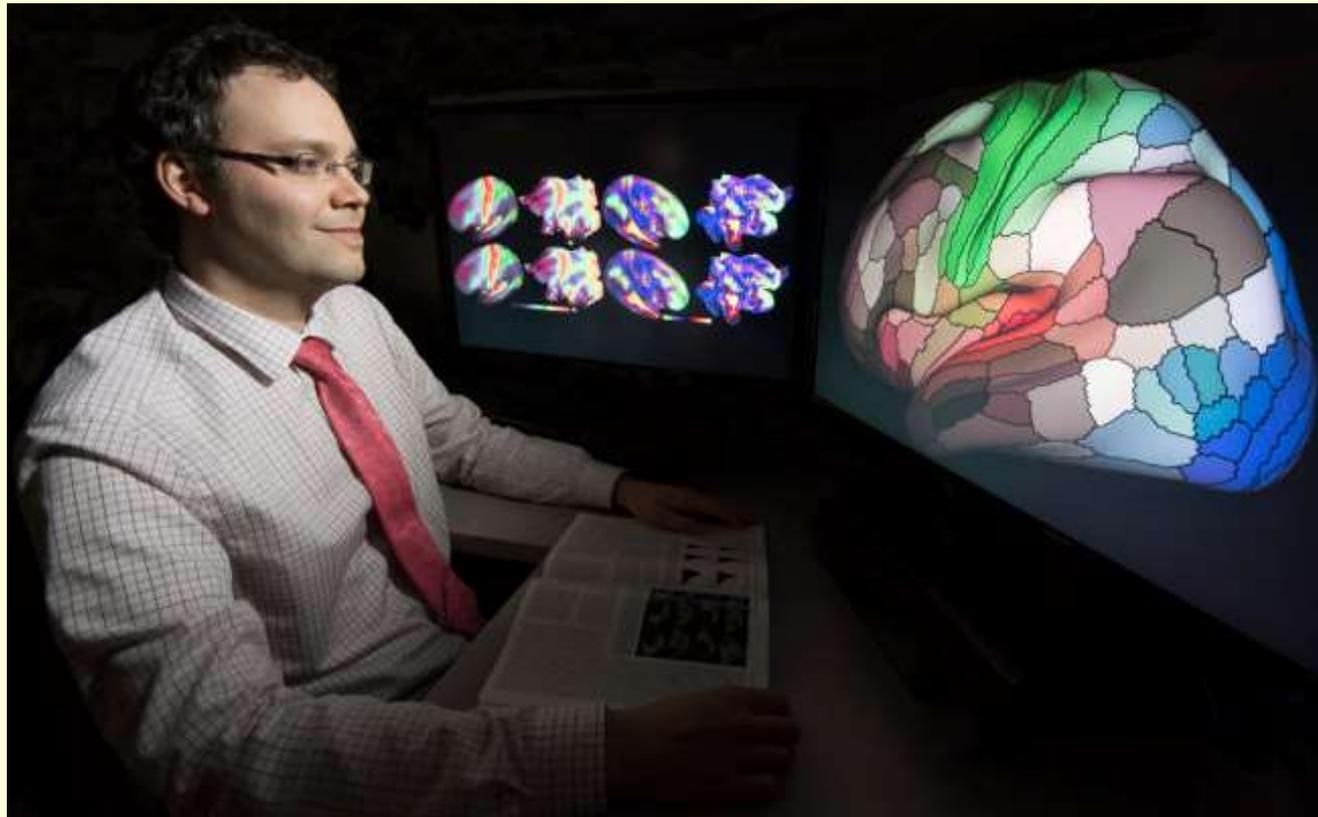
Ces différences reflètent les influences génétiques et environnementales qui façonnent le cerveau d'un individu durant toute sa vie. **[cours #4]**



Nature. 2016 Aug 11;536(7615):171-8.

## A multi-modal parcellation of human cerebral cortex.

Glasser MF, Coalson TS, Robinson EC, Hacker CD, Harwell J, Yacoub E, Ugurbil K, Andersson J, Beckmann CF, Jenkinson M, Smith SM, Van Essen DC.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27437579>



**Cortical  
brain maps  
at the  
highest  
resolution  
to date**

<http://humanconnectome.org/about/pressroom/nature-article-cortical-brain-maps-at-the-highest-resolution-to-date/>

July 20, **2016**

Matthew Glasser, Ph.D. of the Van Essen lab at Washington University in St. Louis.

En se basant sur des données du Human Connectome Project, ils ont pu caractériser **180 régions cérébrales par hémisphère** délimitées par des changements nets dans la cytoarchitecture, la fonction, la connectivité et/ou la topographie.

(97 nouvelles régions en plus des 83 déjà connues)

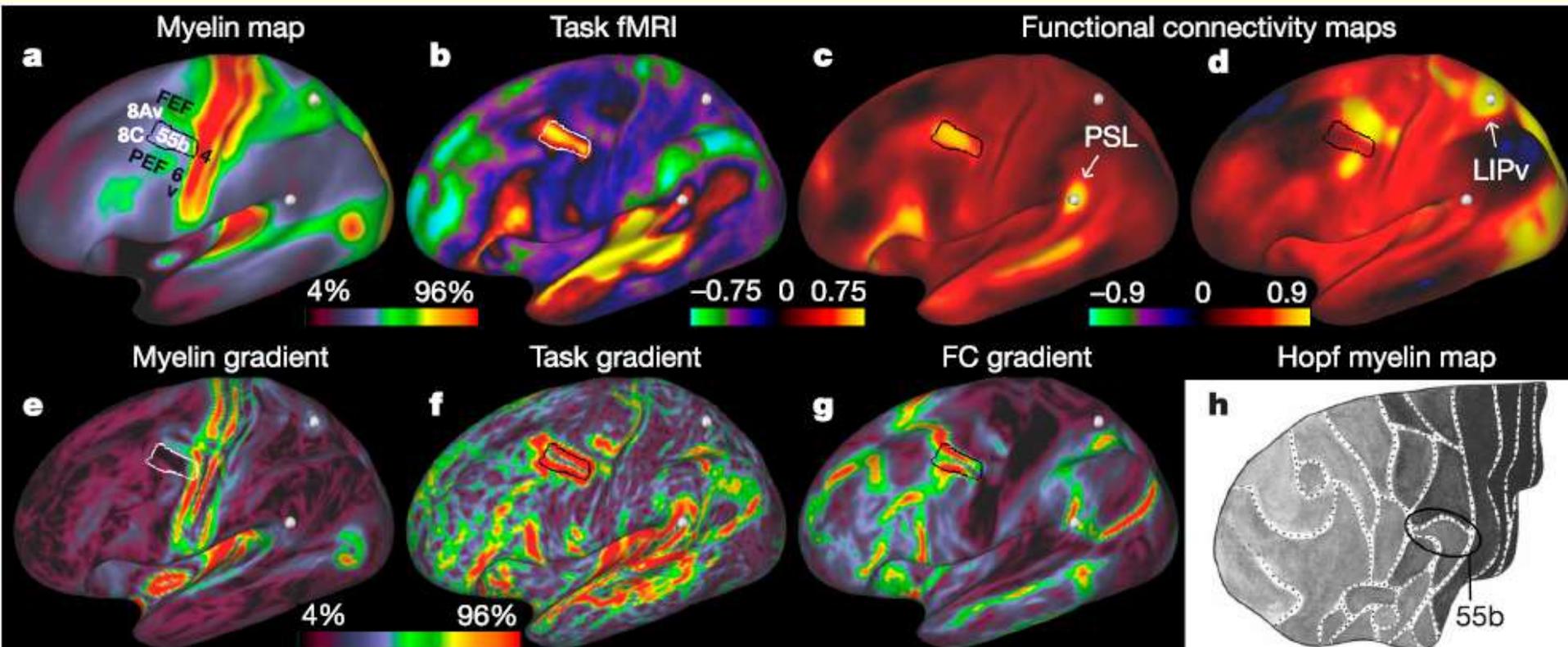
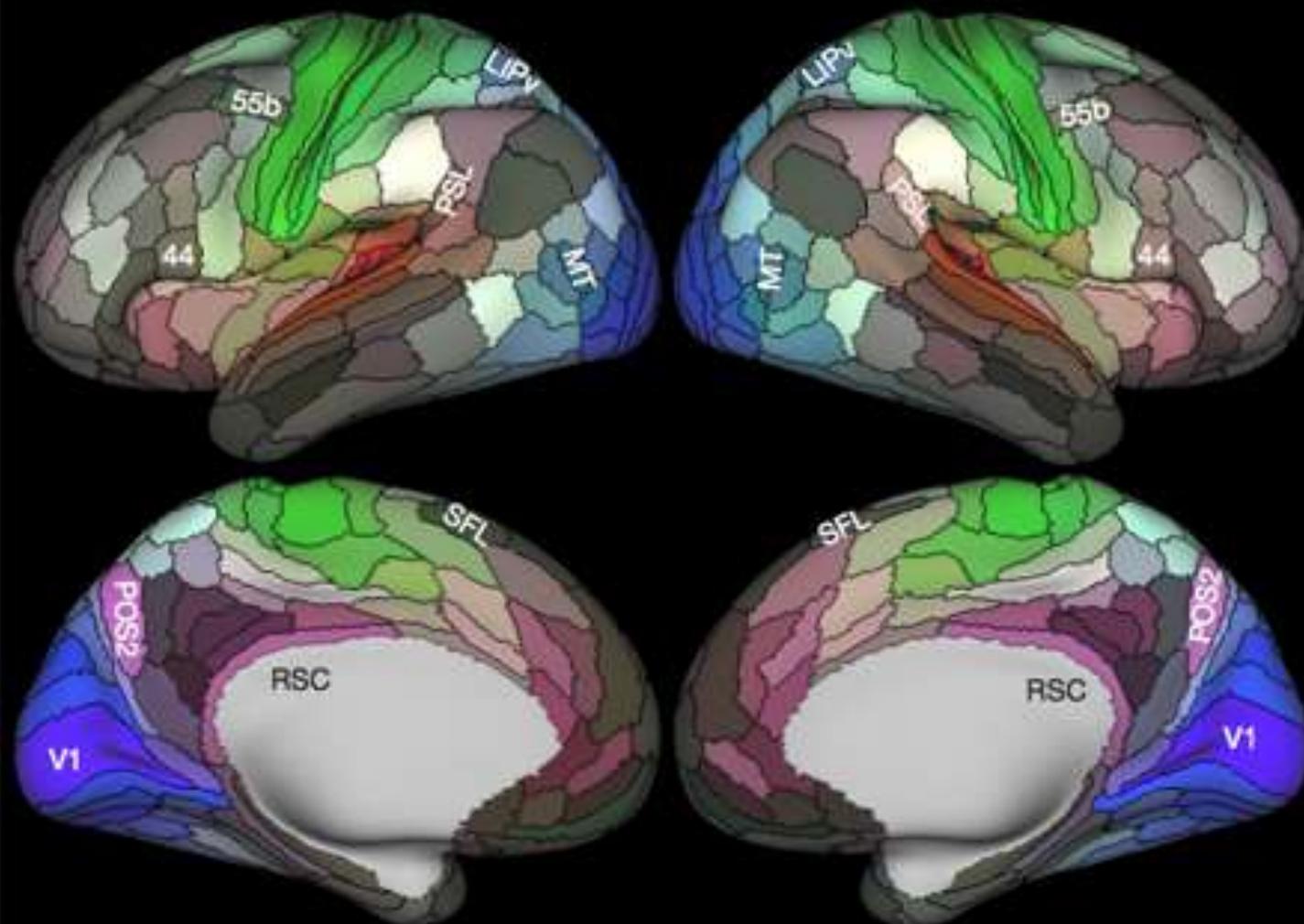


Figure 2 | Parcellation of exemplar area 55b using multi-modal information.

# The HCP's multi-modal cortical parcellation (HCP\_MMP1.0)



Auditory



Sensory/motor



Visual



Task positive



Task negative



Oct-03-2016: Michael Petrides

[Van Essen's Multi-Modal Parcellation of Human Cerebral Cortex]

« Technically : « the state of the art »,  
**but certainly not THE final map... »**

L'une de ses critiques : nomment des régions avec des étiquettes fonctionnelles comme « superior frontal language area ».

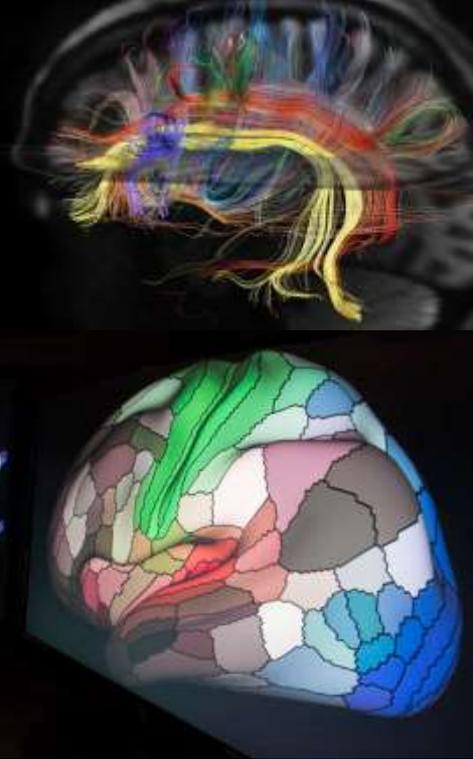
Mais ce n'est **peut-être pas la seule fonction de cette région !**

Autre critique durant la période de question : on peut toujours changer les critères de sélection quand on construit une carte et on obtient alors des cartes différentes.

En fait, pour certains, on peut presque dire que chaque point dans le cerveau a ses caractéristiques uniques !

Petrides pense pour sa part qu'on peut établir une « vraie » carte cytoarchitectonique et que « **some patches have common properties** ».

Autre projet du même genre : le groupe chinois « **Brainnetome** » <http://atlas.brainnetome.org/>

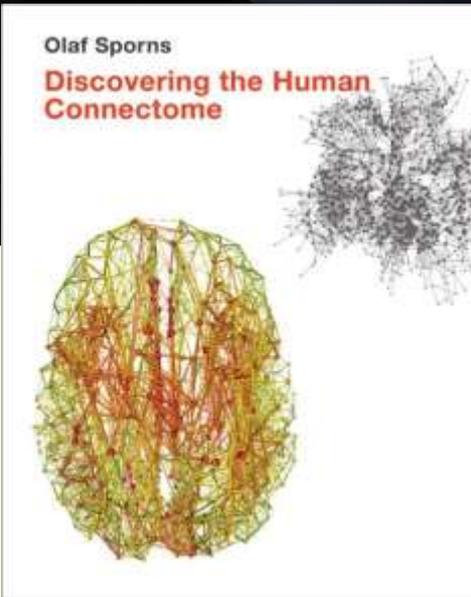


Peu importe les techniques utilisées pour cartographier le cerveau :

On peut faire une analogie avec la **cartographie du génome humain** (achevée en 2003) et qui ne nous a pas permis de comprendre d'un coup toutes les maladies génétiques.

De même, on ne croit pas que la carte générale du **connectome** humain nous permettra de comprendre instantanément les maladies mentales.

Mais comme pour le génome, elle permettra d'élaborer de nouvelles hypothèses et l'on ne pourra sans doute plus s'en passer.



Olaf Sporns :

*“We will ultimately have a very good understanding of what the connectome looks like. It will be fundamental. **But it will not give us all the answers.**”*

*I think it's more like it will allow us to ask new questions that perhaps we couldn't ask before.”*

2012