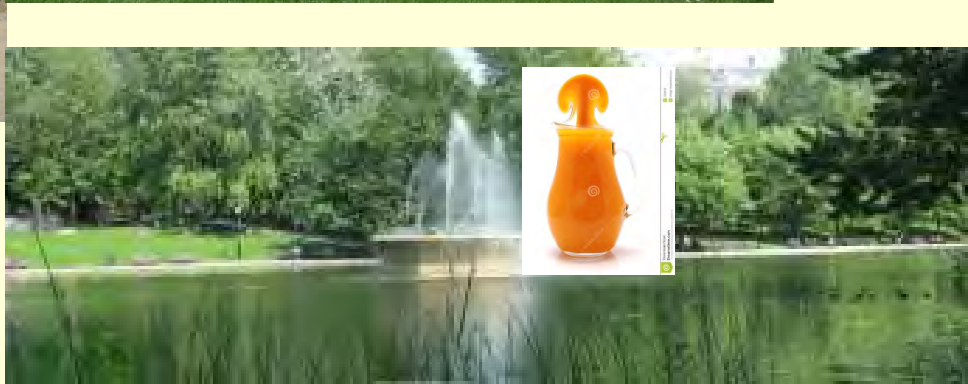
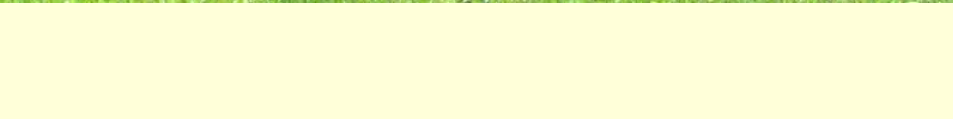
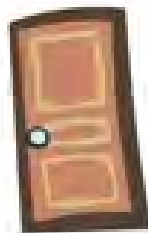
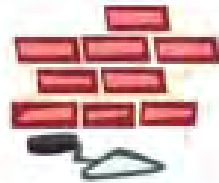


École des profs



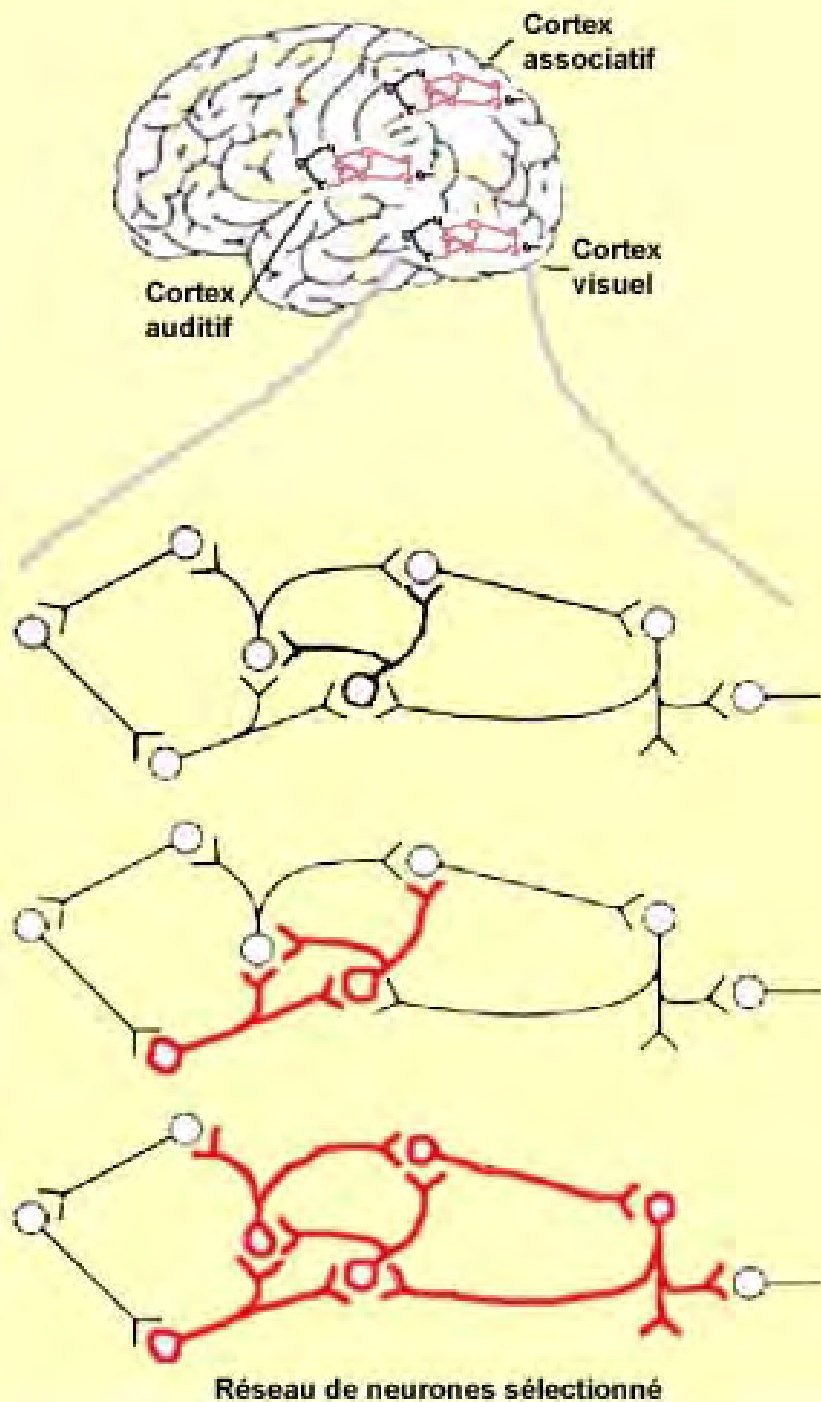




« **Apprendre**, c'est accueillir le **nouveau**
dans le **déjà là.** »

- Hélène Trocme-Fabre





Nos neurones aiment
faire des liens,
et donc notre
mémoire aussi !



Jeudi 11 juin

Séance 1 : ~~Du Big Bang aux sociétés humaines,
en passant par l'évolution des systèmes nerveux~~

Séance 2 : ~~Ancienne et nouvelle « grammaire » de la communication neuronale~~

[dîner]

Séance 3 : ~~Nos mémoires~~

Séance 4 : ~~Cartographier notre connectome~~

Vendredi 12 juin

Séance 5 : ~~Des réseaux qui oscillent à l'échelle du cerveau~~

Séance 6 : ~~Les « fonctions supérieures »~~

[dîner]

Séance 7 : ~~Le corps-cerveau-environnement~~

Séance 8 : ~~Vers une « neuropédagogie » ?~~

Jeudi 11 juin

Séance 4 : Cartographier notre connectome

L'organisation en couche et en colonnes dans le cortex ;

The Human Brain Project ;

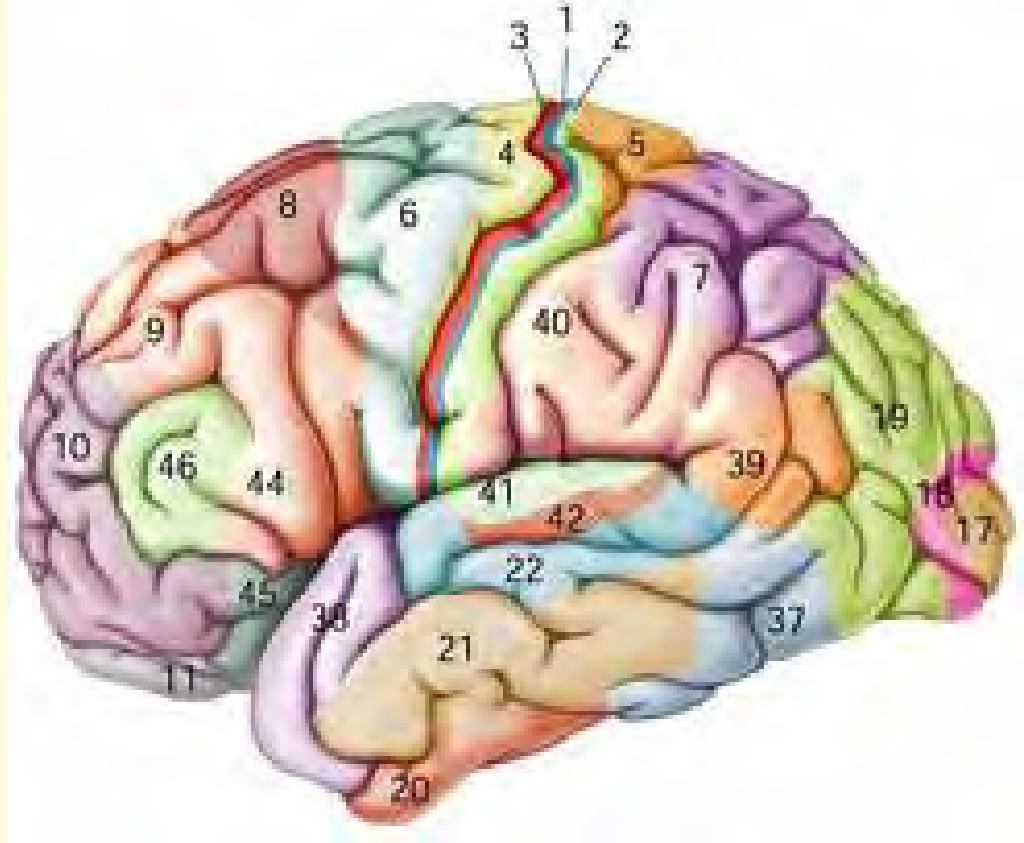
Cartes 3D de nos réseaux de neurones ;

Échelle micro, méso et macro ;

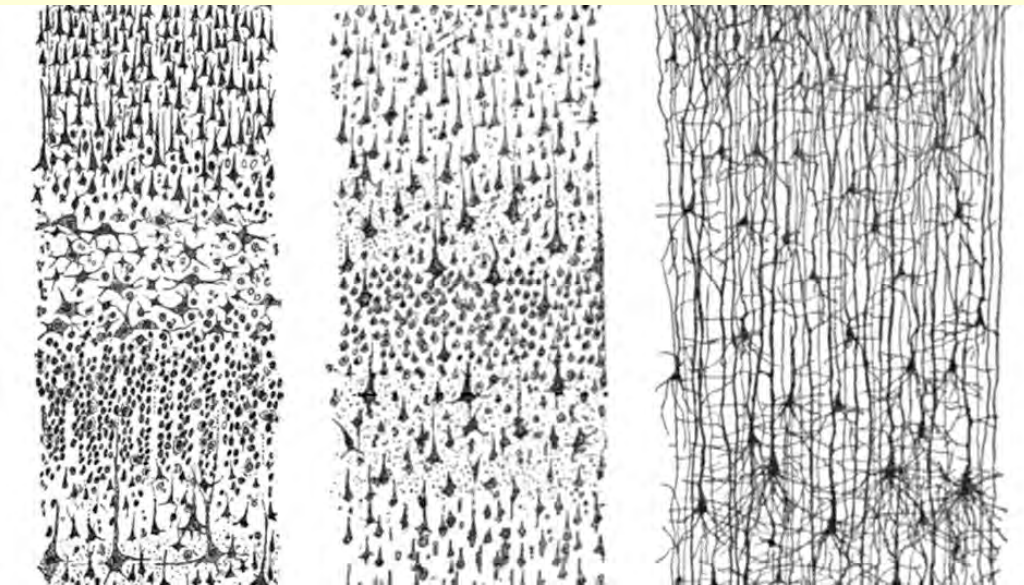
Différentes techniques d'imagerie cérébrale
(IRM, IRMf, de diffusion, de connectivité fonctionnelle) ;

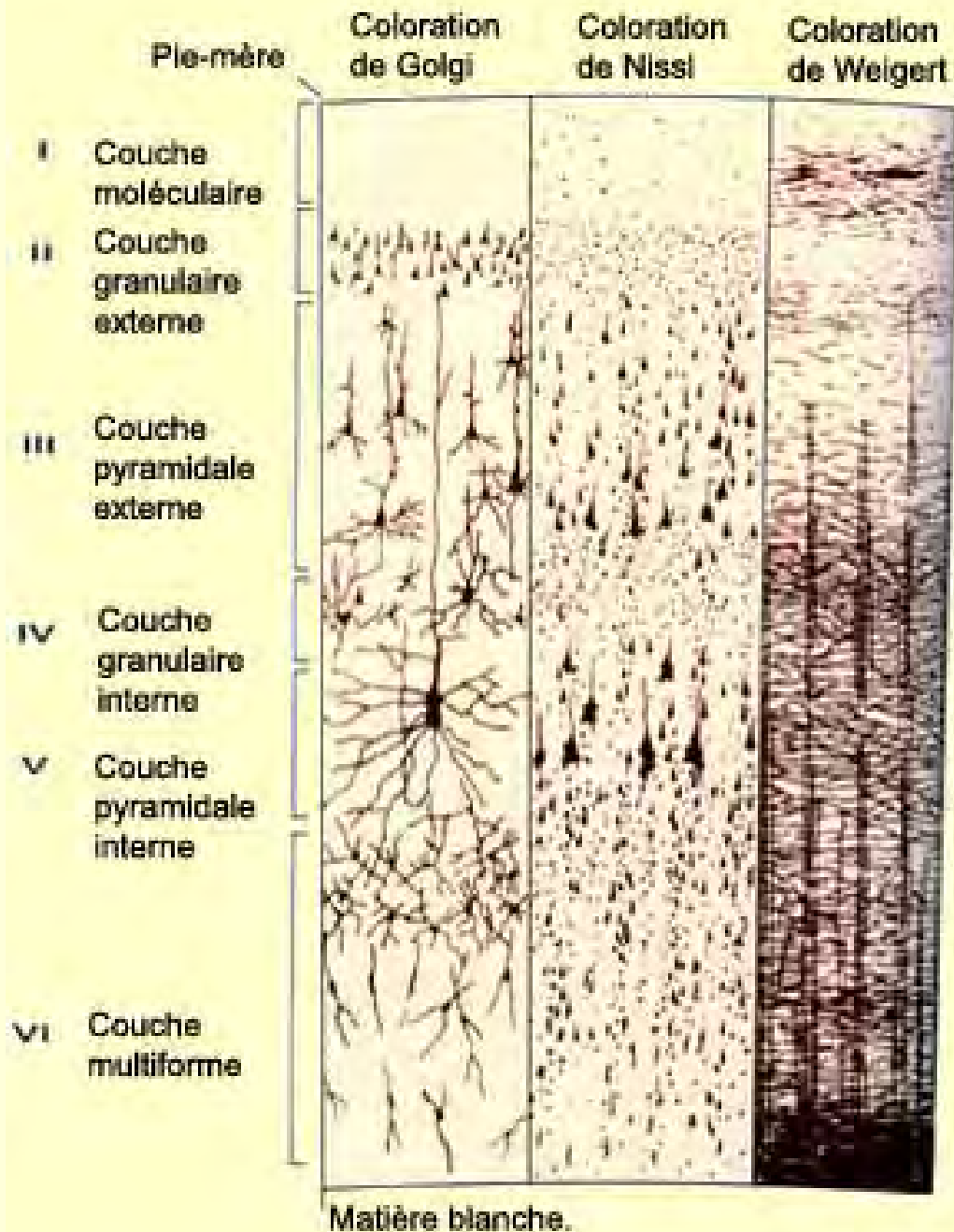
Théorie des réseaux.

Au début du XXe siècle, Korbinian **Brodmann** subdivise le cortex cérébral en **52 aires** distinctes



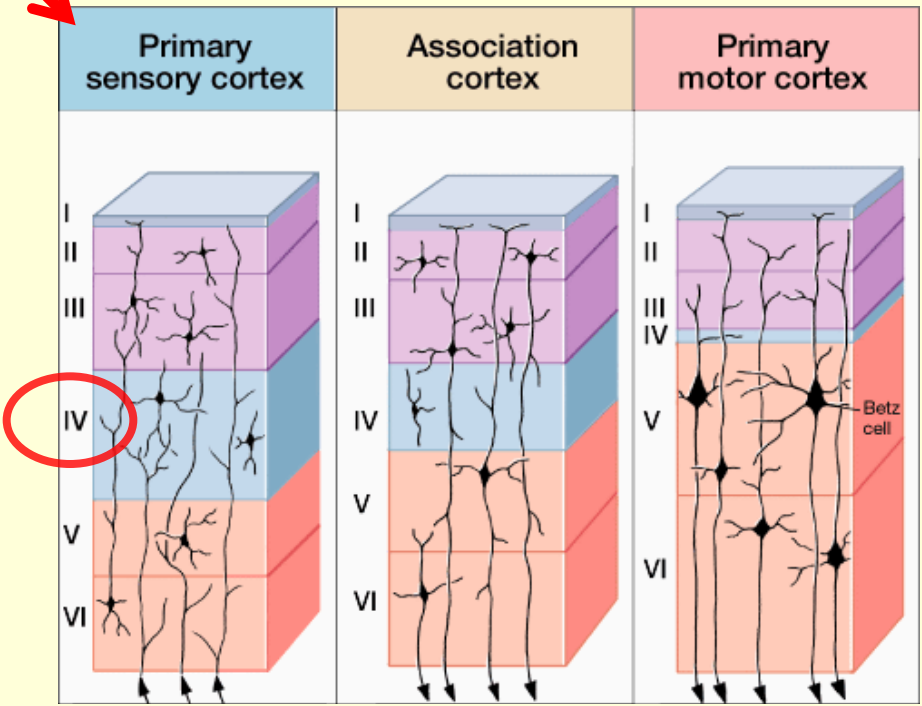
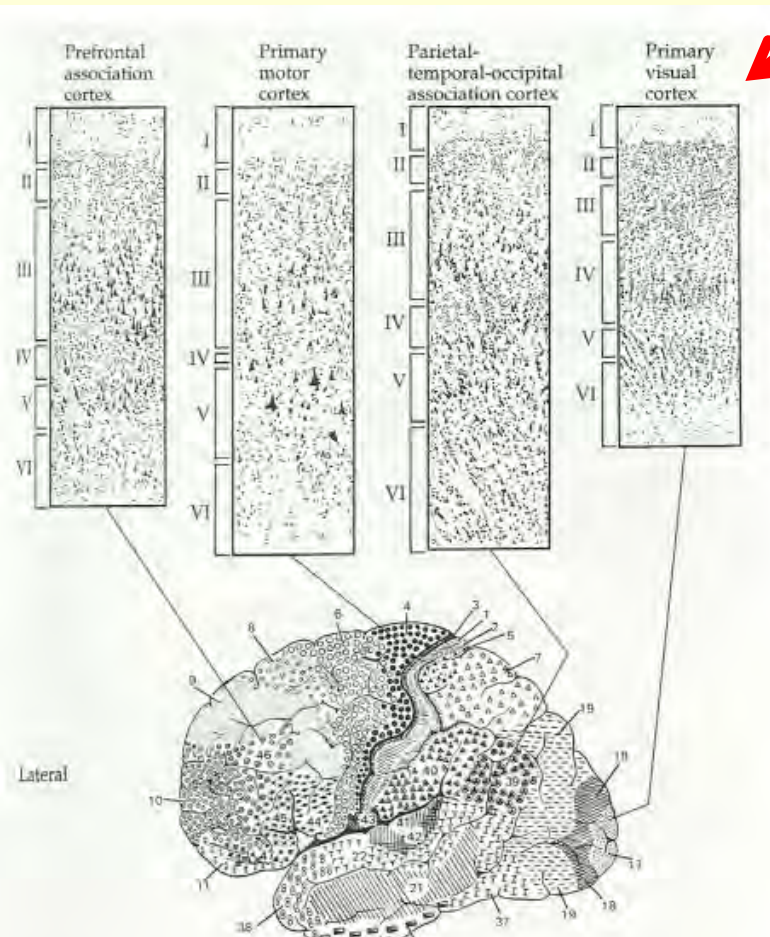
selon leurs caractéristiques **cytoarchitectoniques**, c'est-à-dire la densité, la taille des neurones et le nombre de couches observées sur des coupes histologiques.





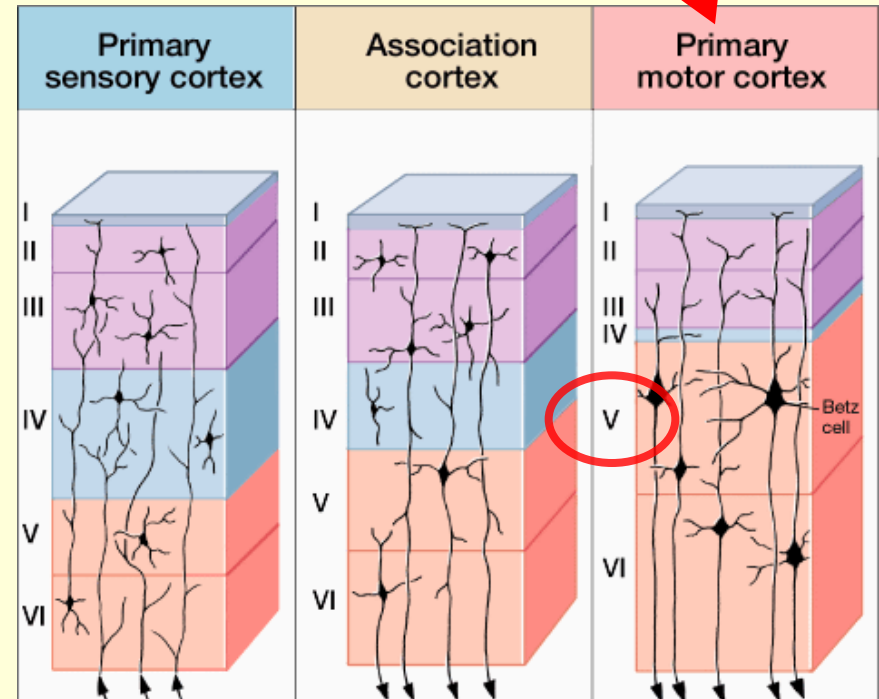
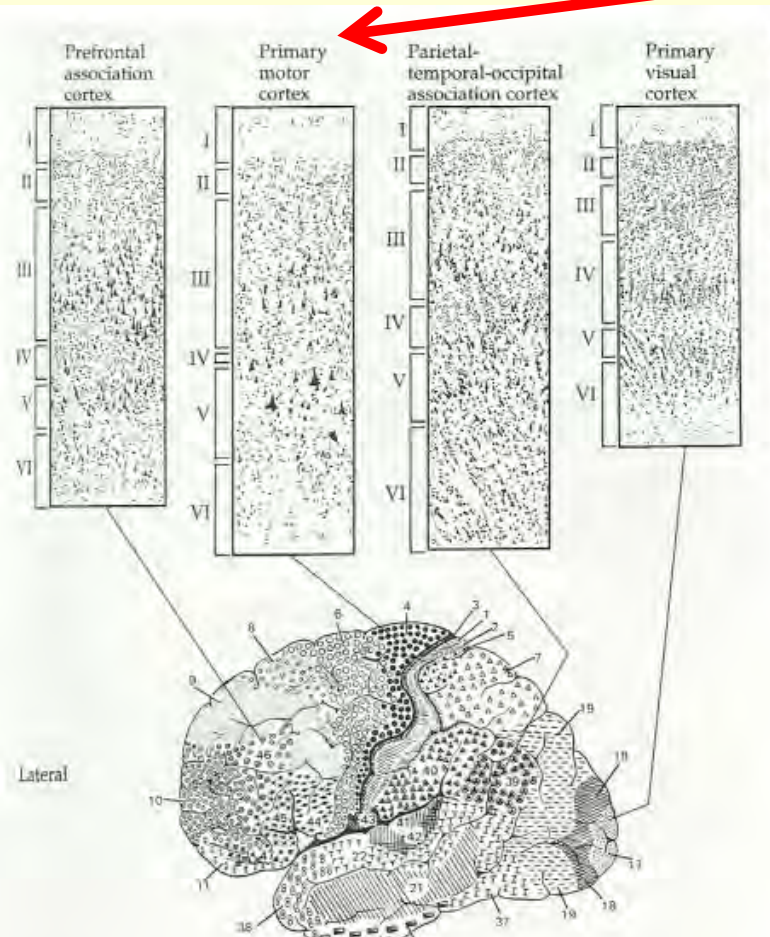
On sait aujourd'hui qu'effectivement cette **organisation cellulaire du cortex** n'est pas sans rapport avec les fonctions des différentes aires corticales.

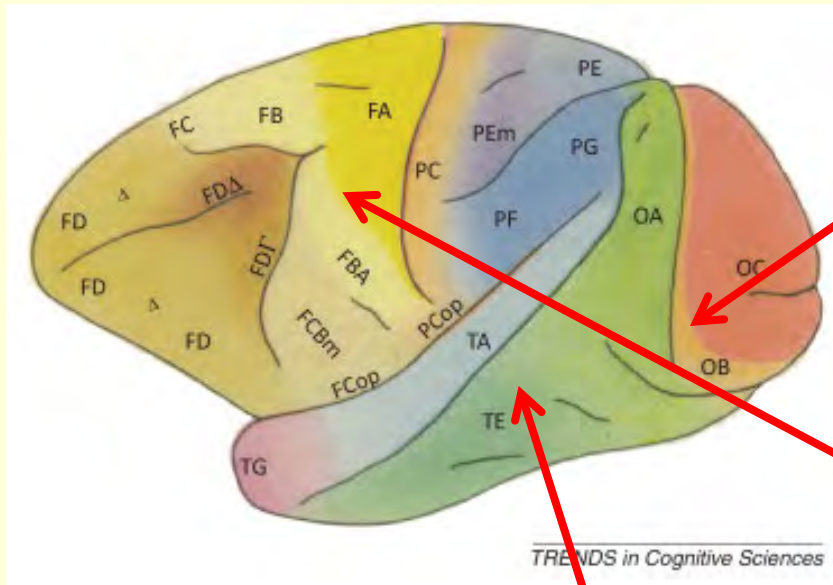
Certaines des **six couches** du cortex sont par exemple plus épaisses dans les régions sensorielles du cortex, comme dans l'aire 17 de Brodmann, qui reçoit les axones du corps genouillé latéral du thalamus en provenance de la rétine, qui correspond au **cortex visuel primaire**.



Certaines des six couches du cortex 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 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**.





La transition entre différentes zones peut être abrupte, comme entre la couche IV dense en neurones du cortex **visuel primaire V1** et la couche IV moins dense de **V2**;

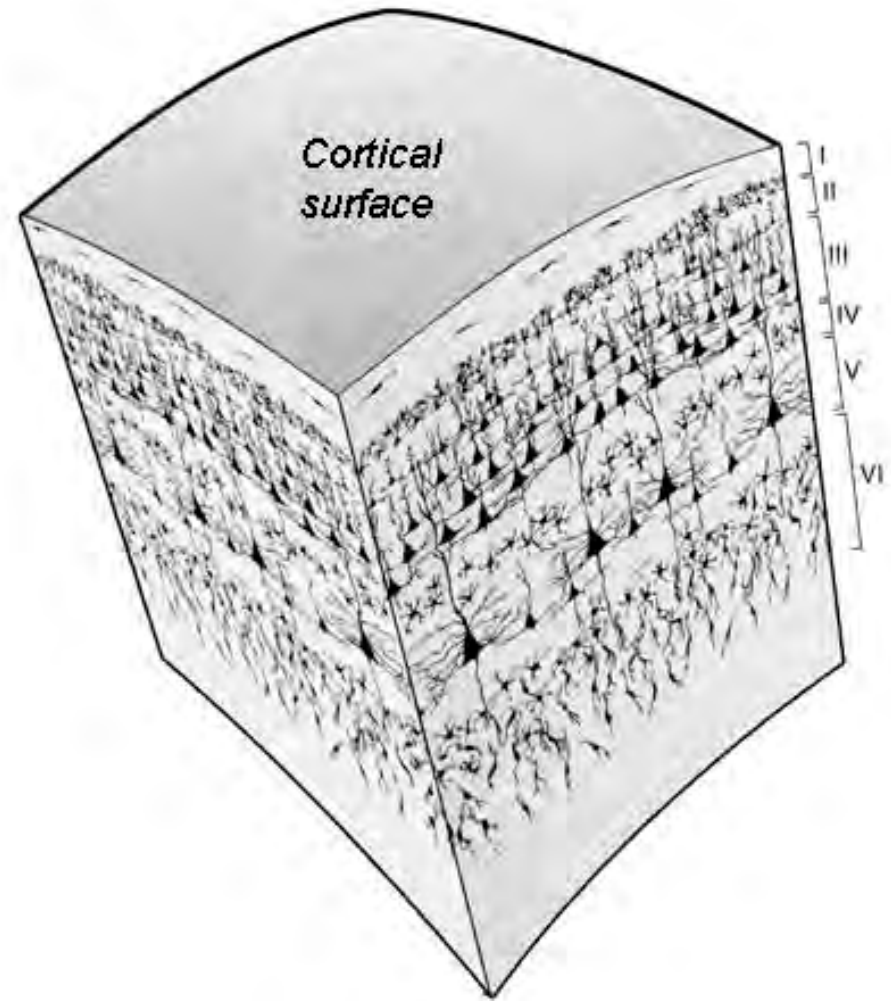
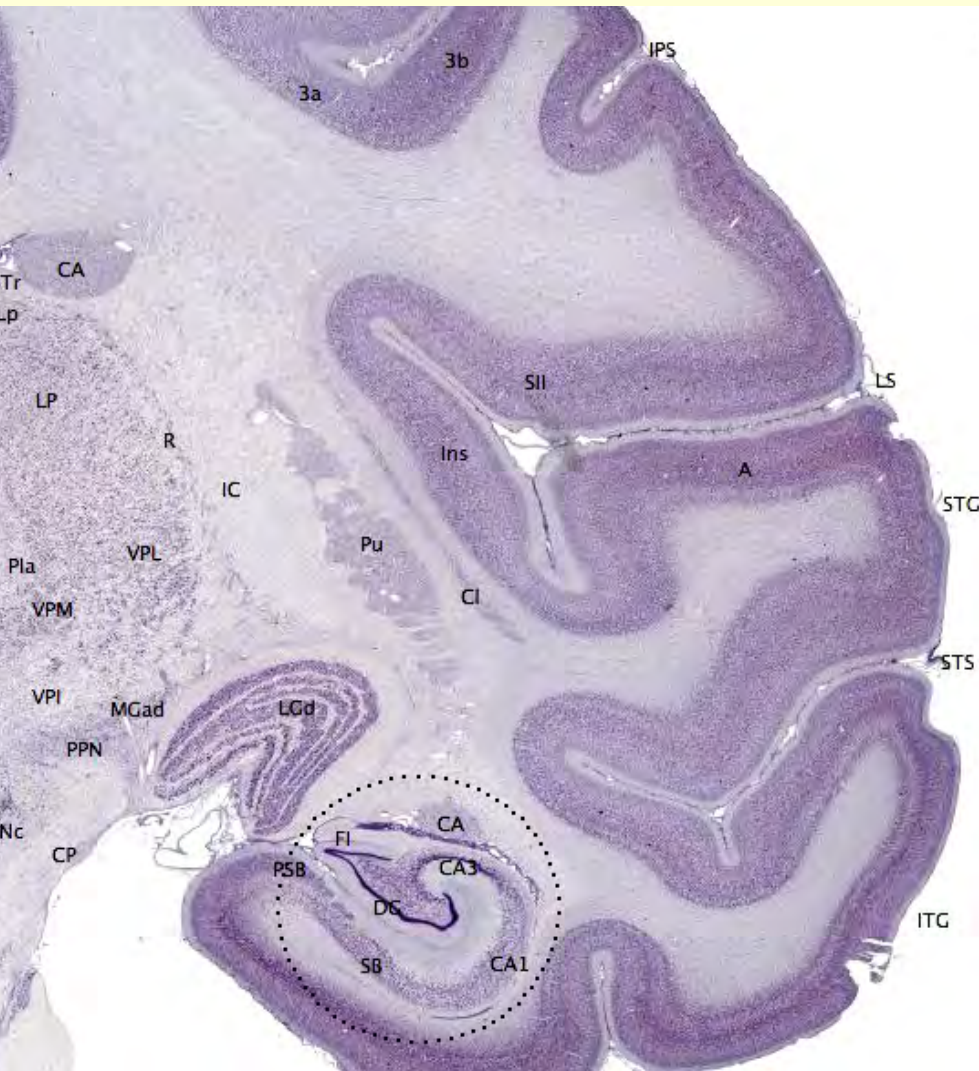
ou encore, entre l'épaisse couche V de neurones pyramidaux du cortex **moteur primaire** et les zones environnantes.

D'autres transitions sont plus graduelles.

Des zones limitrophes affichant un continuum graduel avec des propriétés intermédiaires ont été reconnues, par exemple dans plusieurs régions du cortex associatif

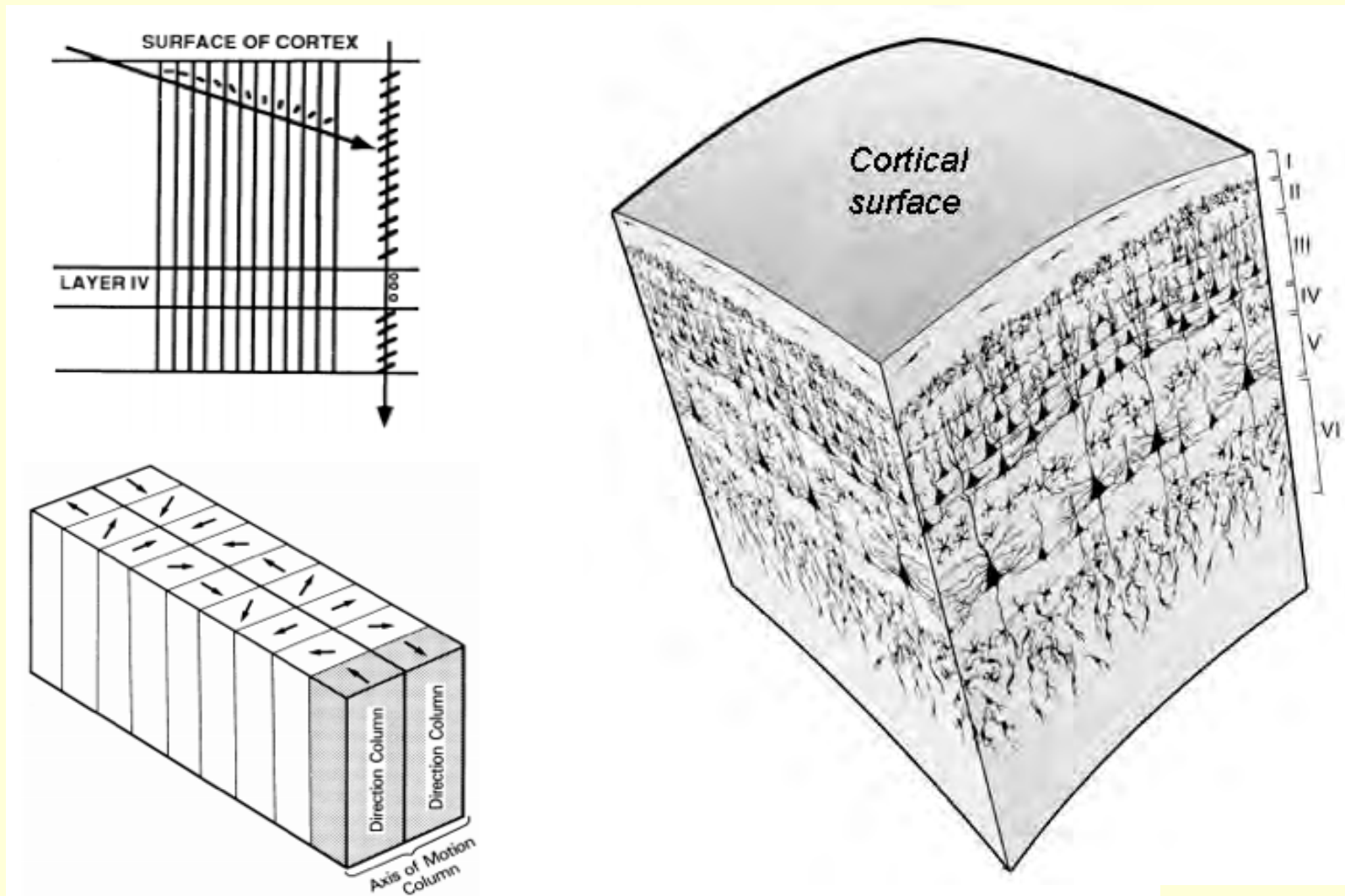
(carte corticale du macaque)

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

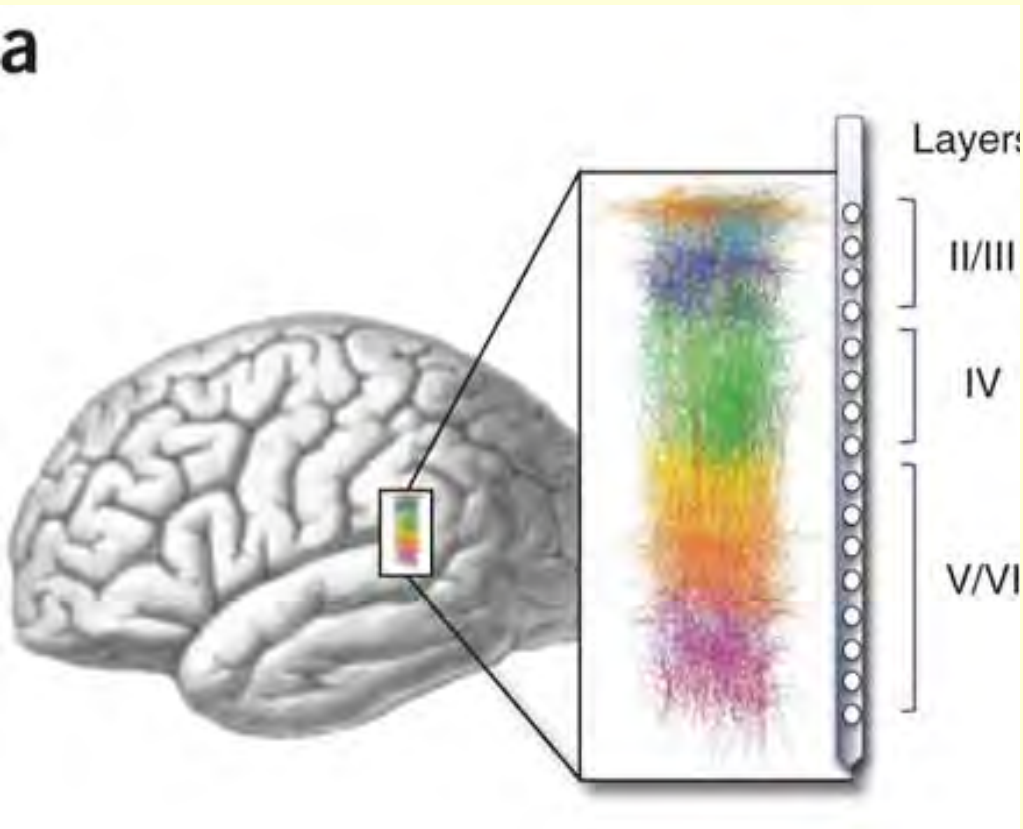


...il y a également une organisation **en colonne** !

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



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 similaire** organisées en parallèle.

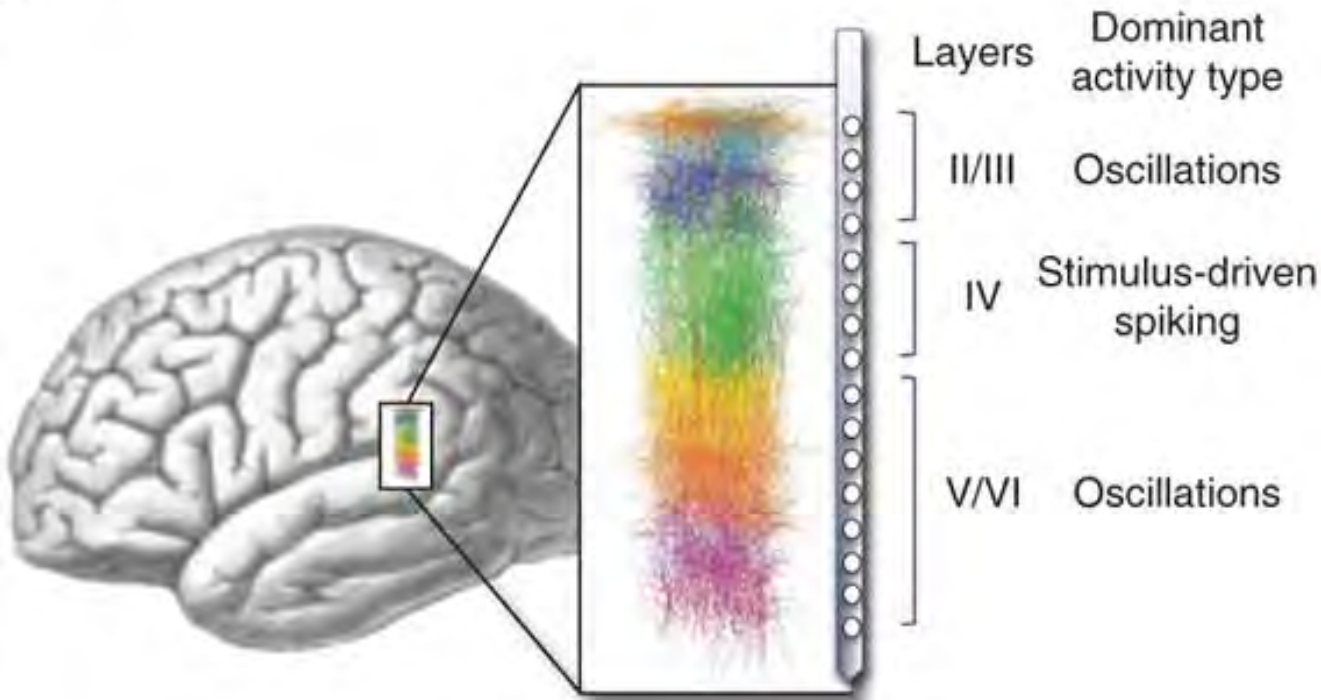


Le problème devient soudainement plus abordable:

comprenez une colonne, et vous les comprendrez toutes !

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

a



b



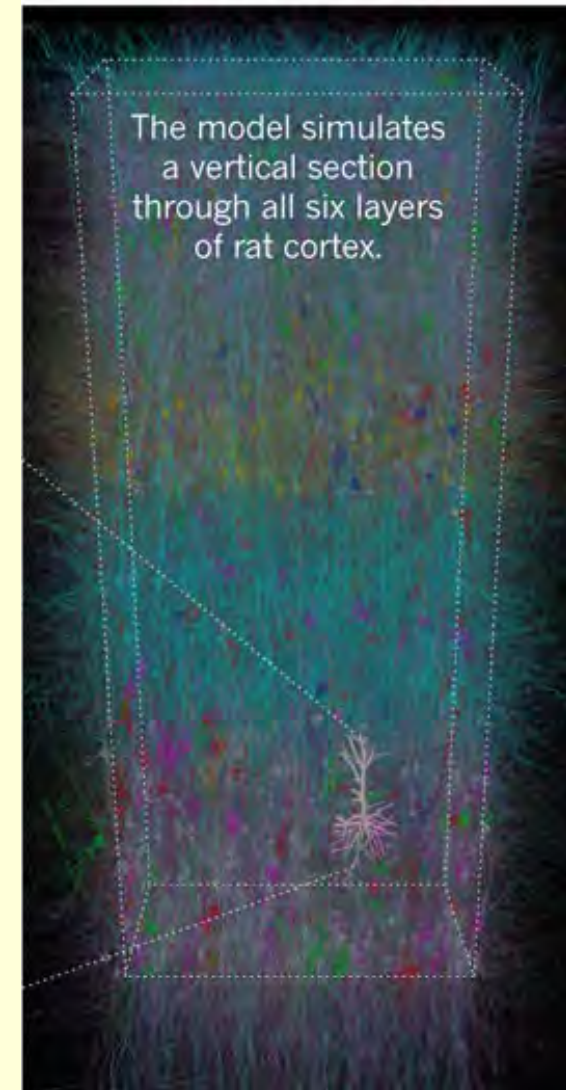
Extrait du site de **Henry Markram**

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.”*

NEOCORTICAL COLUMN (10,000 neurons)



Le “**Blue Brain Project**”, dirigé par Henry Markram, 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)

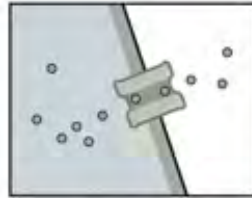
Et en cherchant à **mettre à jour constamment** le modèle avec les données publiée (avec une interface **opensource**).

Vaste programme...

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

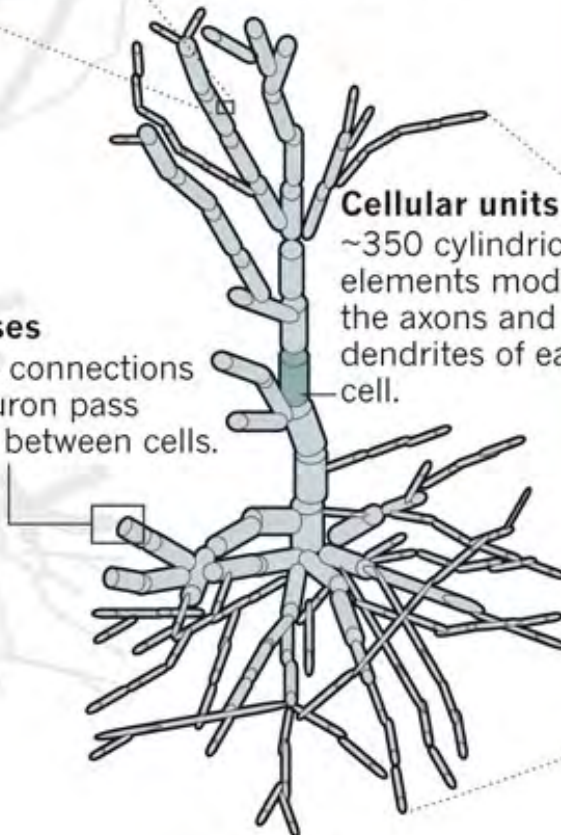
In each model neuron, ~7,000 ion channels control membrane traffic.

Synapses

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

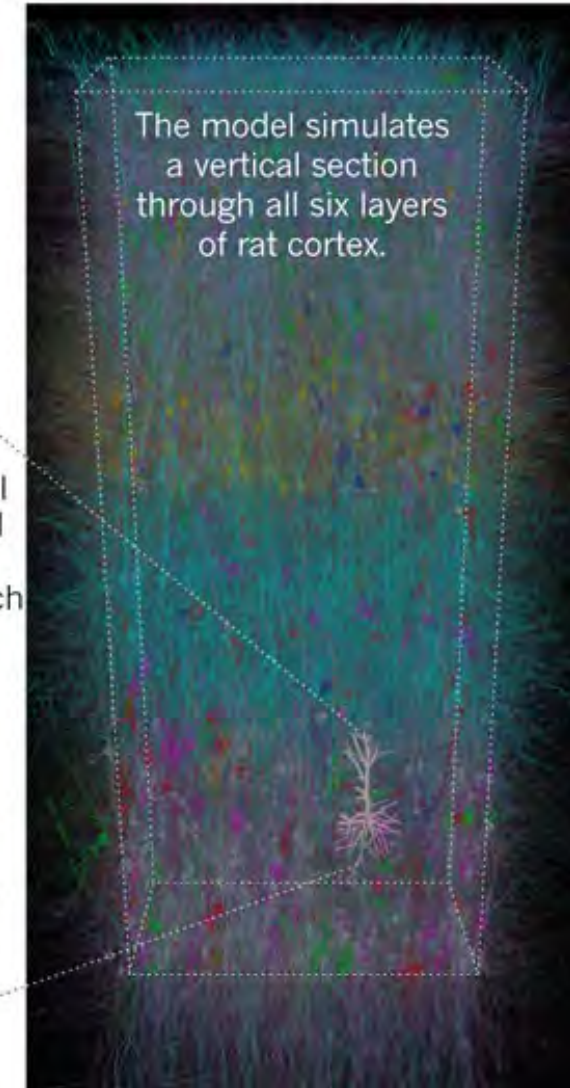
Cellular units

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



NEOCORTICAL COLUMN

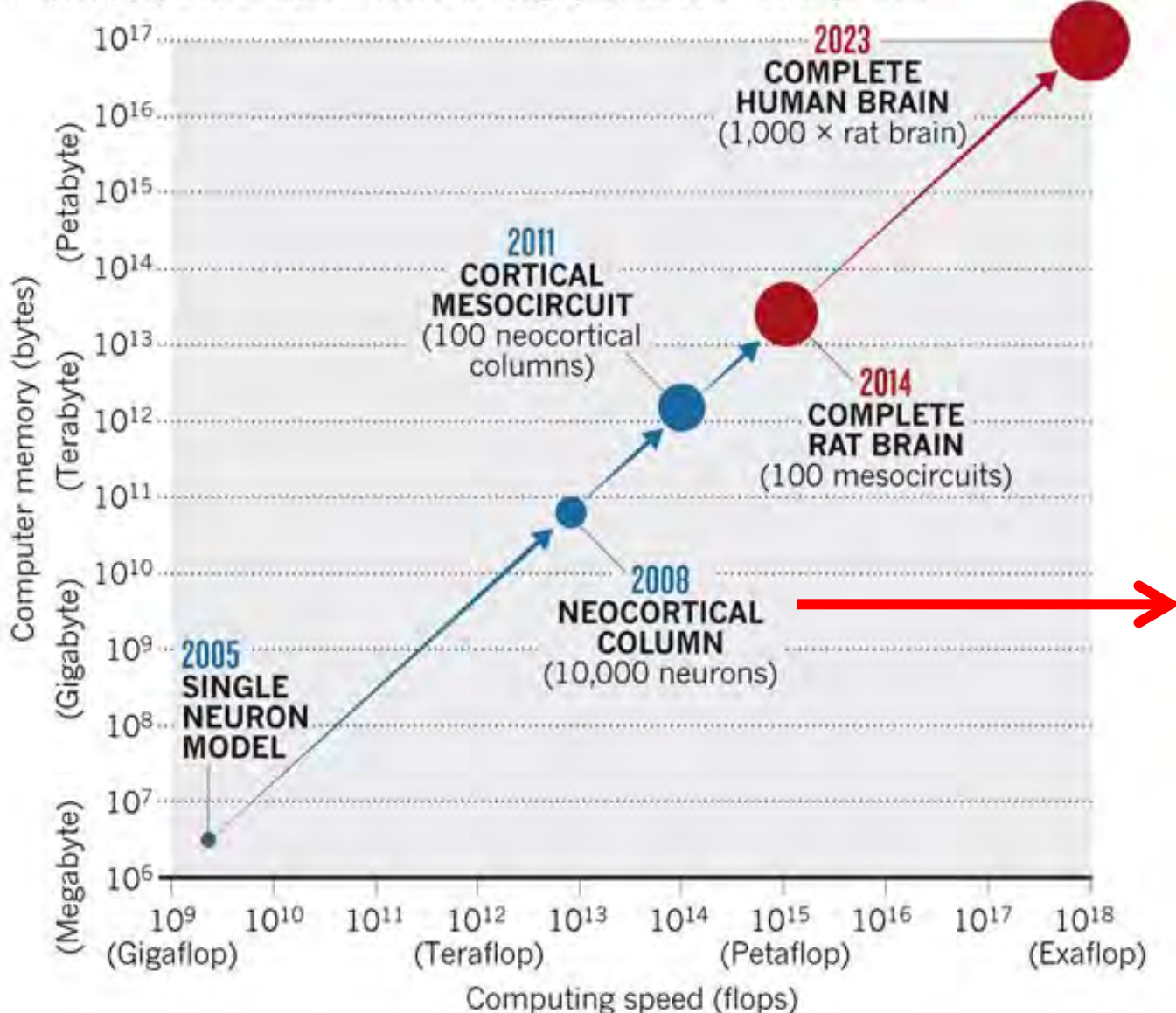
(10,000 neurons)



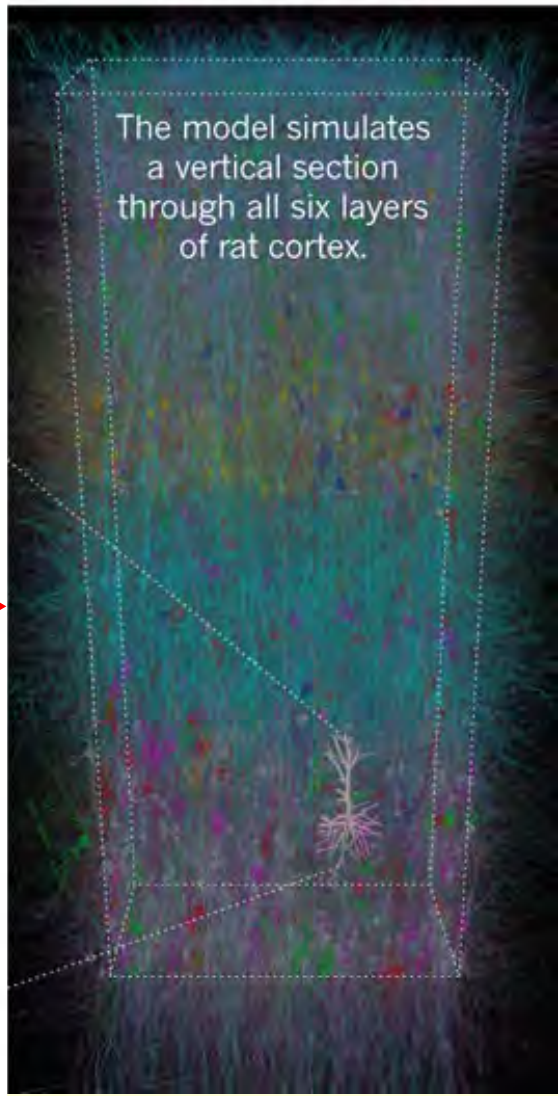
The model simulates a vertical section through all six layers of rat cortex.

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)



Et “ça joue dur” entre équipes concurrentes...

Meow! IBM cat brain simulation dismissed as 'hoax' by rival scientist

[http://www.computerworld.com/s/article/9141430/Meow IBM cat brain simulation dissed as hoax by rival scientist](http://www.computerworld.com/s/article/9141430/Meow_IBM_cat_brain_simulation_dissed_as_hoax_by_rival_scientist)

Novembre 2009

La déclaration d'IBM à l'effet qu'il auraient réussi la première simulation correspondant à une **plus grande surface corticale que le cortex de chat** a été qualifié de canular et de buzz de relations publiques par une équipe rivale dirigée par Henry Markram.

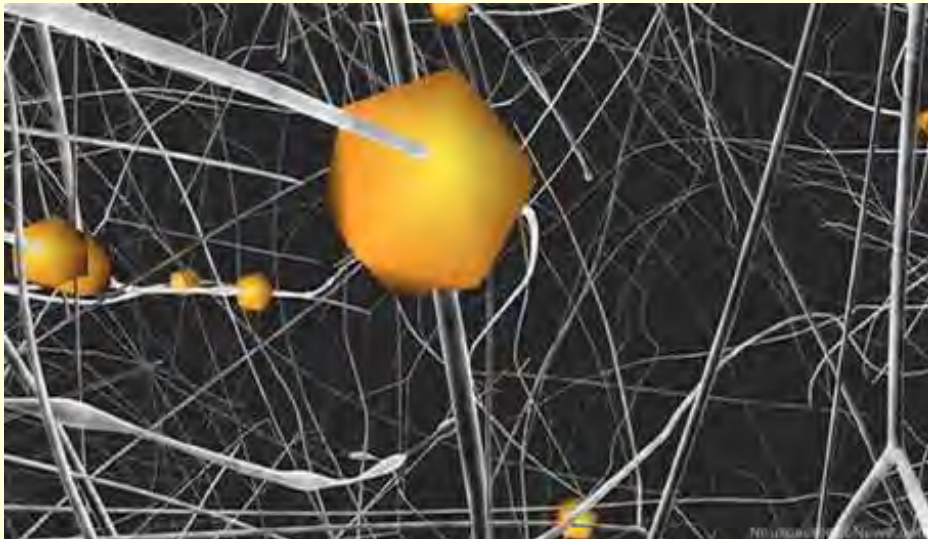
Le chercheur d'IBM Dharmendra Modha avait parlé de “moment historique” à propos de la simulation de son équipe. Ce à quoi Markram, directeur du Blue Brain Project, a répliqué dans une lettre ouverte :

“Cela est à des années lumière d'un cerveau de chat, même pas proche du cerveau d'une fourmi en terme de complexité. C'est un manque flagrant d'éthique de Mohda de faire croire au public qu'ils ont simulé un cerveau de chat. C'est carrément choquant.”

Exemple de résultat :

Blue Brain Project (BBP) a permis d'identifier [in PNAS, **September 2012**] des principes clés qui déterminent la connectivité à l'échelle de la synapse en reconstruisant virtuellement un microcircuit cortical et en le comparant au cortex de mammifère.

Et ces principes permettraient de prédire la localisation des synapses dans le cortex des mammifères.



Le **Blue Brain Project** est donc appelé à évoluer vers le **Human Brain Project** car...

“In late **January 2013**, **The Human Brain Project** announced that it had successfully arranged **a billion Euro funding package for a 10-year run.**”



Le **Blue Brain Project** est donc appelé à évoluer vers le **Human Brain Project** car...

“In late **January 2013**, **The Human Brain Project** announced that it had successfully arranged **a billion Euro funding package for a 10-year run.**”

“At the inaugural meeting of the Human Brain Project earlier this month (début **octobre 2013**), researchers from **more than 80 European institutions** converged on the Lausanne campus to thrash out who would contribute to what platform.

Presumably, **€1bn buys you more friends than enemies...**”

The Human Brain Project - Video Overview

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

(0 à 2 min., 4 à 6 min.)

Mais les critiques du Human Brain Project sont nombreuses :

- 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

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-](http://www.nature.com/news/neuroscience-where-is-the-brain-in-the-human-brain-project-1.15803)

[1.15803](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 areas³ that could guide simulations. There is no unified format for building functional databases or for annotating data sets that encompass data collected under varying conditions.

Most importantly, there are no formulated biological hypotheses for these simulations to test⁴.

Nature | Editorial <http://www.nature.com/news/rethinking-the-brain-1.17168>

Rethinking the brain

24 March 2015

Critics of the European Human Brain Project were justified,

says an independent report on the project. Both its governance and its scientific direction need to be adjusted.

This climaxed in a full-scale uprising last summer, when hundreds of researchers signed a critical open letter to the commission.

Autocratic management, they complained, was running the project off its scientific course and exaggerating its clinical reach.

An independent committee was established to investigate and mediate on the dispute. Last week it [published its report](#). This time, the main points were easier for outsiders to decipher. **The rebellious neuroscientists who made the complaints were correct.** The brain project is failing and must be fixed.

“The depth of the governance issues are exemplified by this statement in the report, which refers to the project’s de facto leader, **Henry Markram** of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne.

“The co-ordinating scientist ... is not only a member of all decision-making, executive and management bodies within the HBP, but also chairs them and supervises the administrative processes supporting these bodies. Furthermore, he is a member of all the advisory boards and reports to them at the same time. In addition, he appoints the members of the management team, and leads the operational project management.”

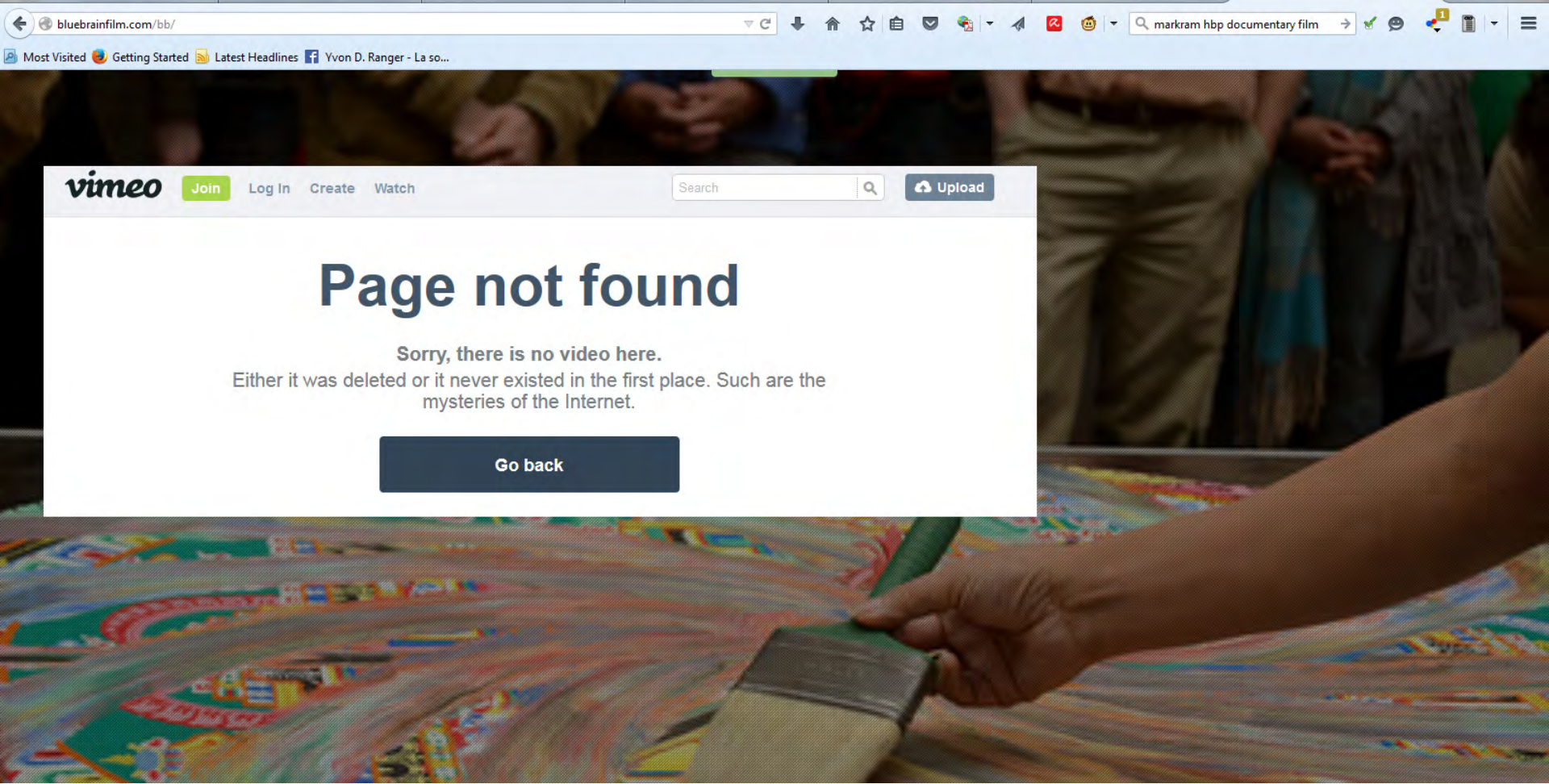
"We're dealing here with a new paradigm," Prof Markram told the BBC.

"Every new paradigm comes with this kind of difficulty, as some fight the inevitable change."



The failure to include the opinions of most of the neuroscience community is huge

- Dr Zachary Mainen, Director, Champalimaud Neuroscience Programme, Portugal

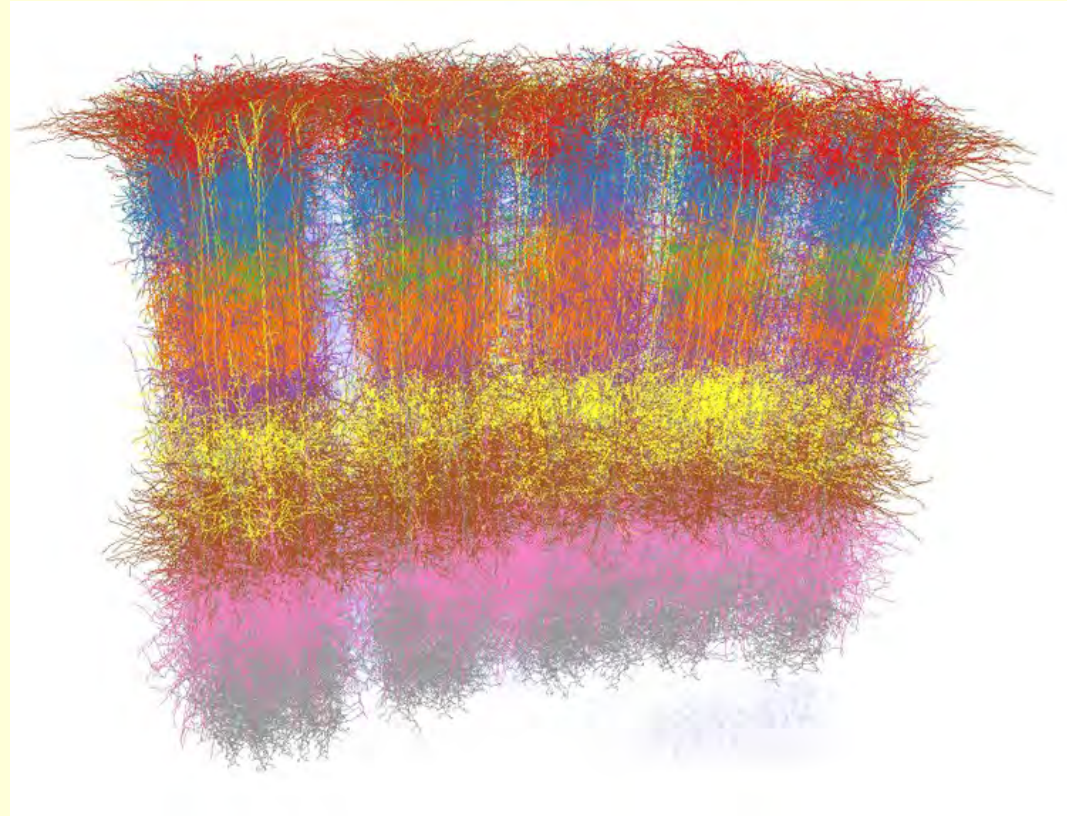


Autre critique du Human Brain Project :

- au niveau du concept même de “**colonnes corticales uniformes**”...

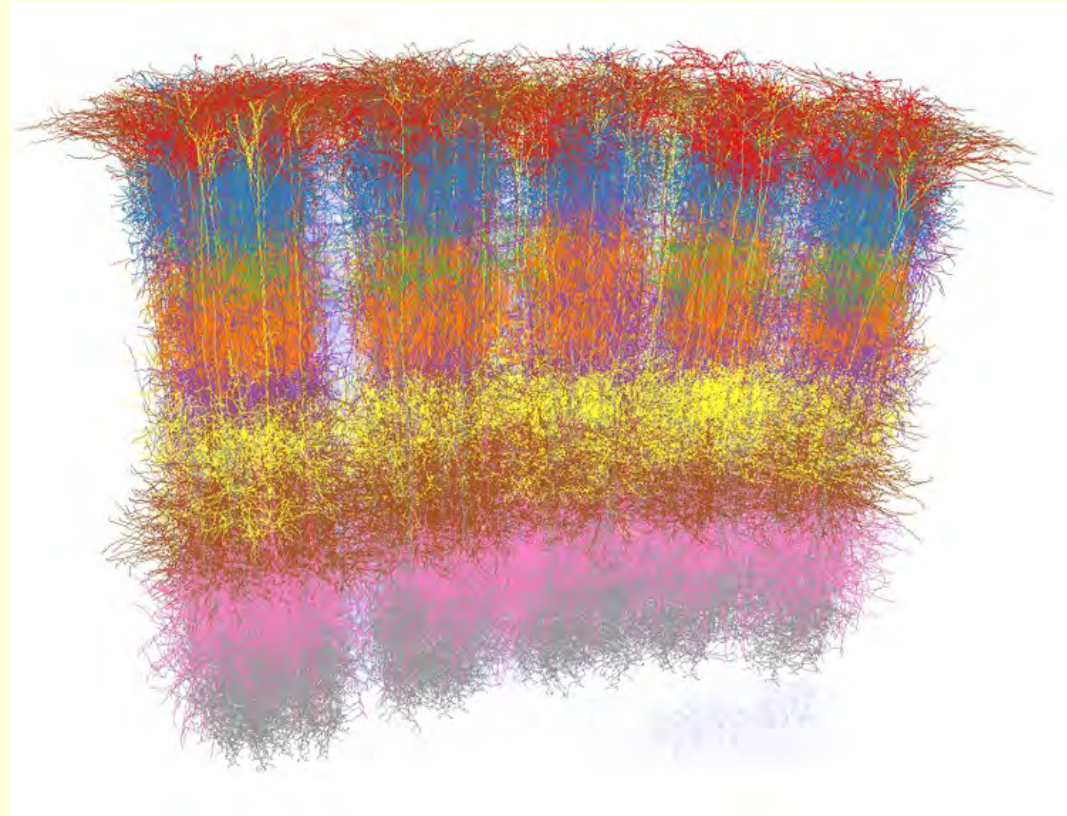
Cellular organization of cortical barrel columns is whisker-specific

Hanno S. Meyer et al., approved
September 20, **2013**



Ont calculé que le nombre de neurones par colonne chez le rat **varie entre 10 000 et 30 000.**

Donc grande différence selon les colonnes et ce n'est **pas dû au hasard** mais à la fonction : le nombre de neurones dans une colonne reflète la distance de la vibrisse correspondante avec le sol.



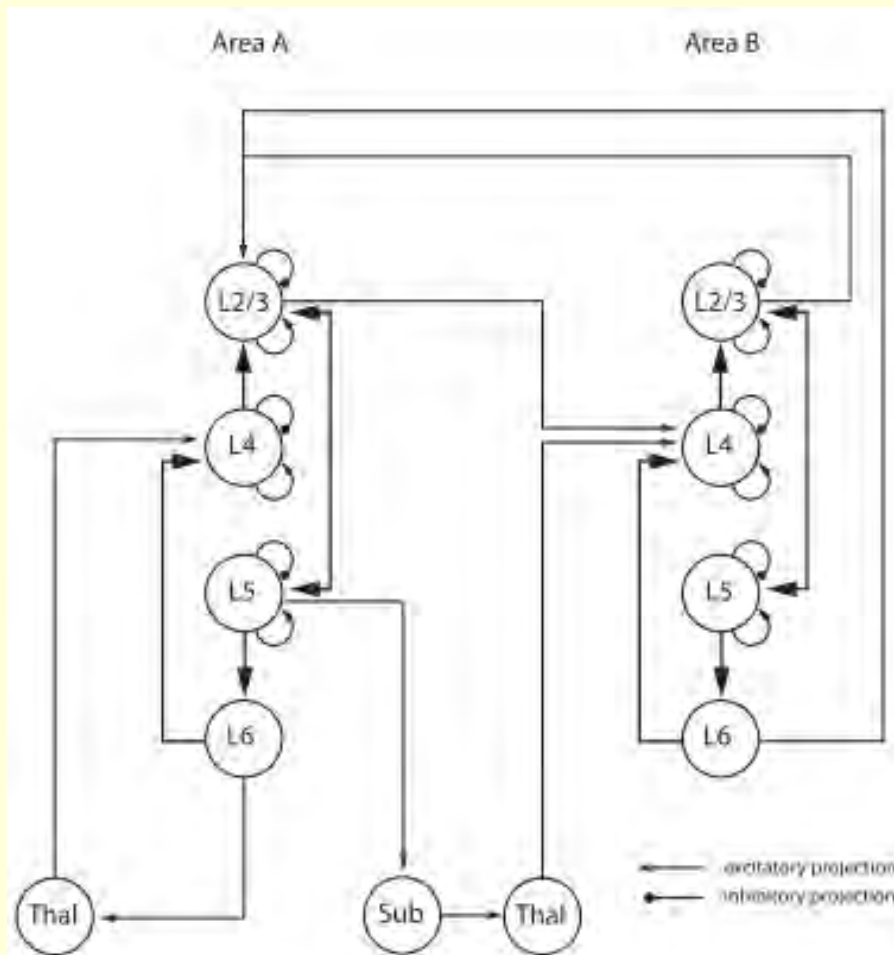
*“Our findings **challenge the concepts underlying contemporary **simulation efforts** that build up large-scale network models of repeatedly occurring identical cortical circuits.”***

Autre comparaison de deux articles qui montre que les colonnes corticales sont loin d'avoir livré tous leurs secrets :

Whose cortical column would that be?

Nuno Maçarico da Costa and Kevan A. C. Martin.

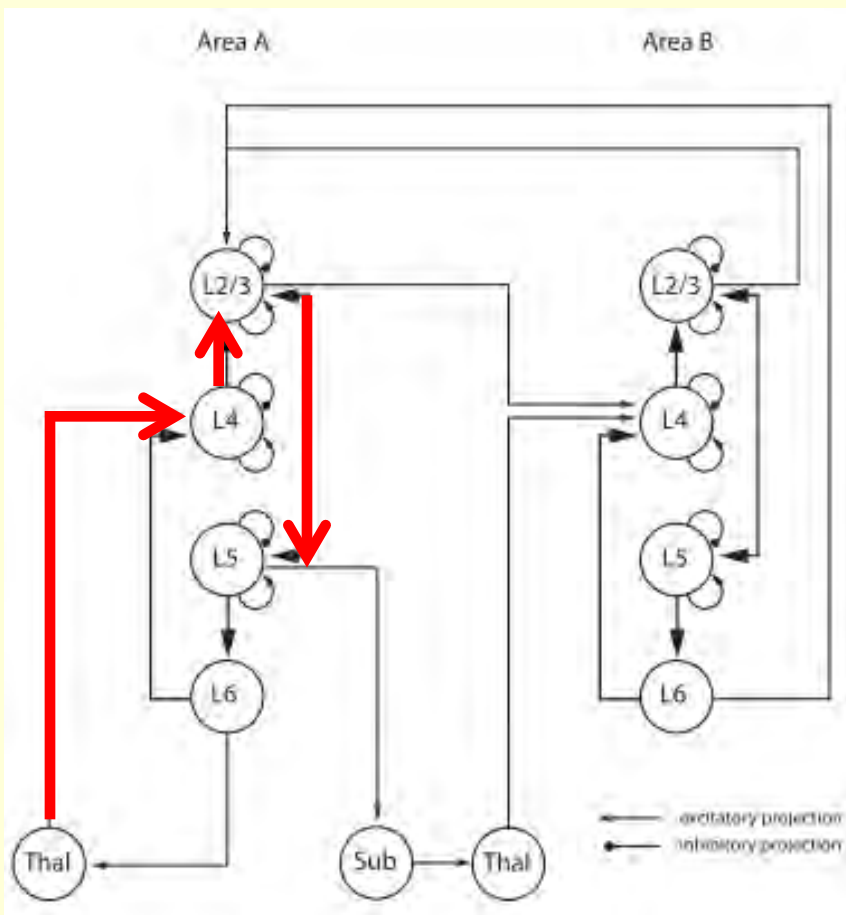
Front. Neuroanat., 31 May 2010



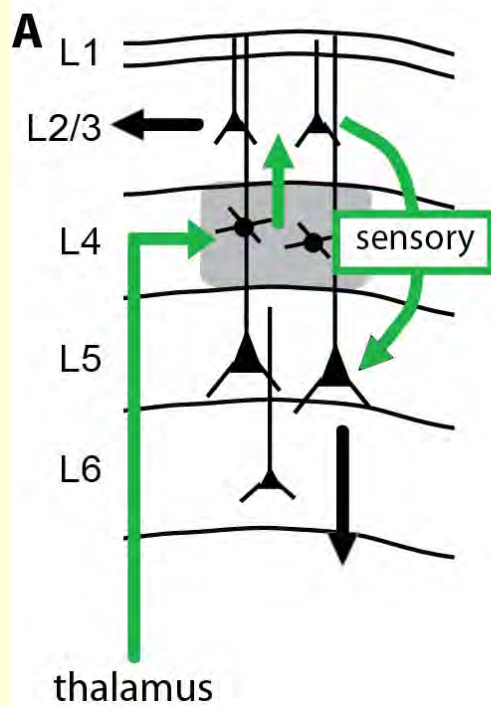
Dans ce premier article, les auteurs vont proposer un concept de **circuit canonique** qui respecte la connectivité connue des différentes couches corticales

et est suffisamment flexible pour être capable de modifier cette organisation de base pour effectuer les computations nécessaires dans telle ou telle régions du cortex.

Ce circuit canonique inclut le circuit bien connu : $L4 \rightarrow L2/3 \rightarrow L5$

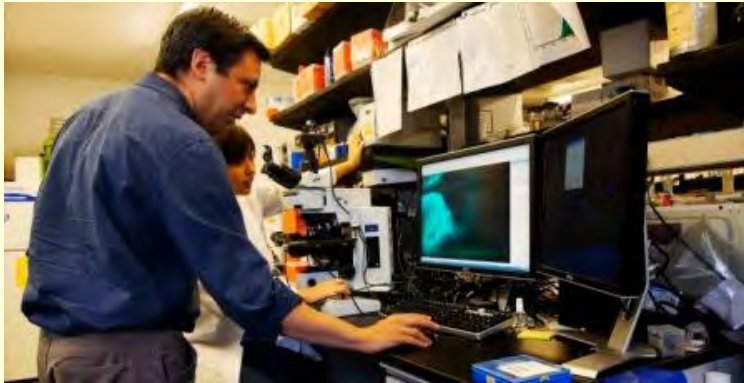


Constantinople & Bruno

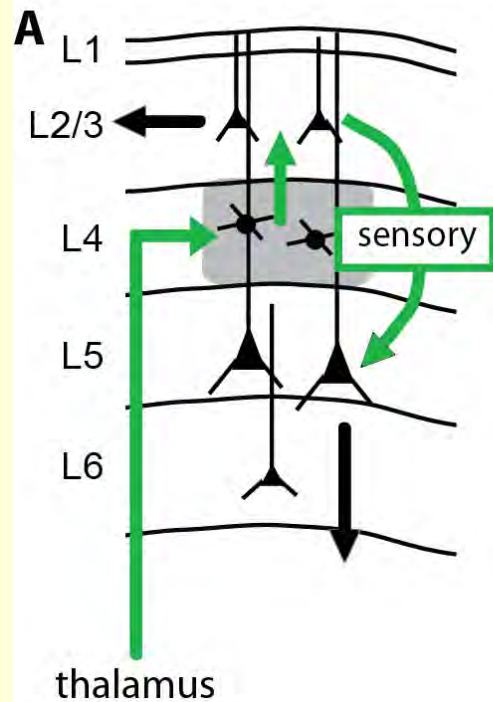


Deep Cortical Layers Are Activated Directly by Thalamus

Christine M. Constantinople, Randy M. Bruno. *Science* 28 June 2013:
Vol. 340 no. 6140 pp. 1591-1594



Constantinople & Bruno



This Brain Discovery May Overturn a Century-Old Theory

<http://blogs.scientificamerican.com/mind-guest-blog/2013/08/08/this-brain-discovery-may-overturn-a-century-old-theory/>

Deep Cortical Layers Are Activated Directly by Thalamus

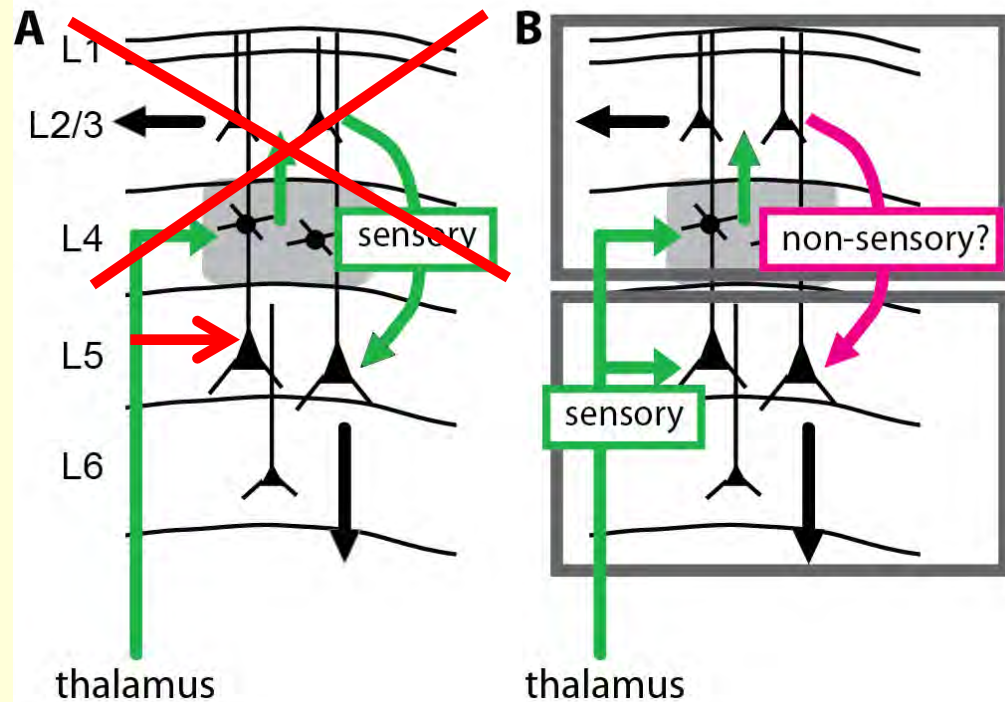
Christine M. Constantinople, Randy M. Bruno. *Science* 28 June 2013:
Vol. 340 no. 6140 pp. 1591-1594



Dans ce second article, quand ils désactivent les couches supérieures du cortex, **les couches V et VI continuent à recevoir l'input thalamique** comme si de rien n'était !

Constantinople & Bruno

Figure 4



On semble avoir deux systèmes de traitement sensoriel similaire mais **distincts reposant l'un sur l'autre**.

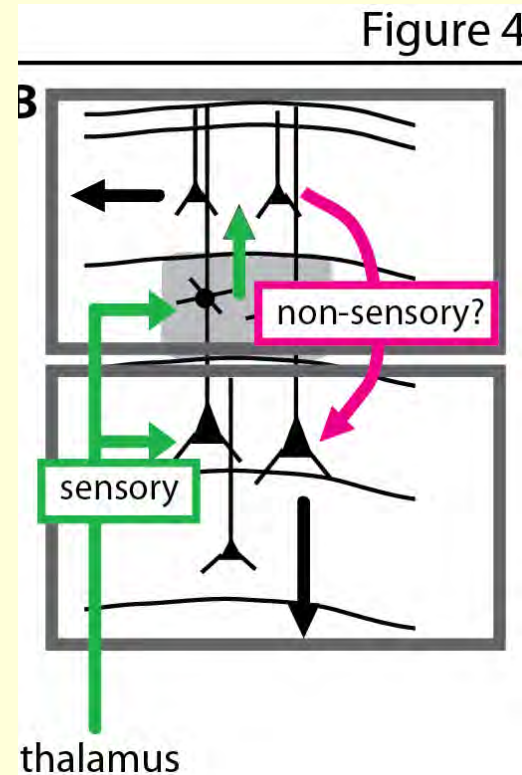
“It’s almost as if you have two brains built into one cortex.”

Les connexions entre les couches pourraient être utilisées pour autre chose que construire des champs récepteurs :

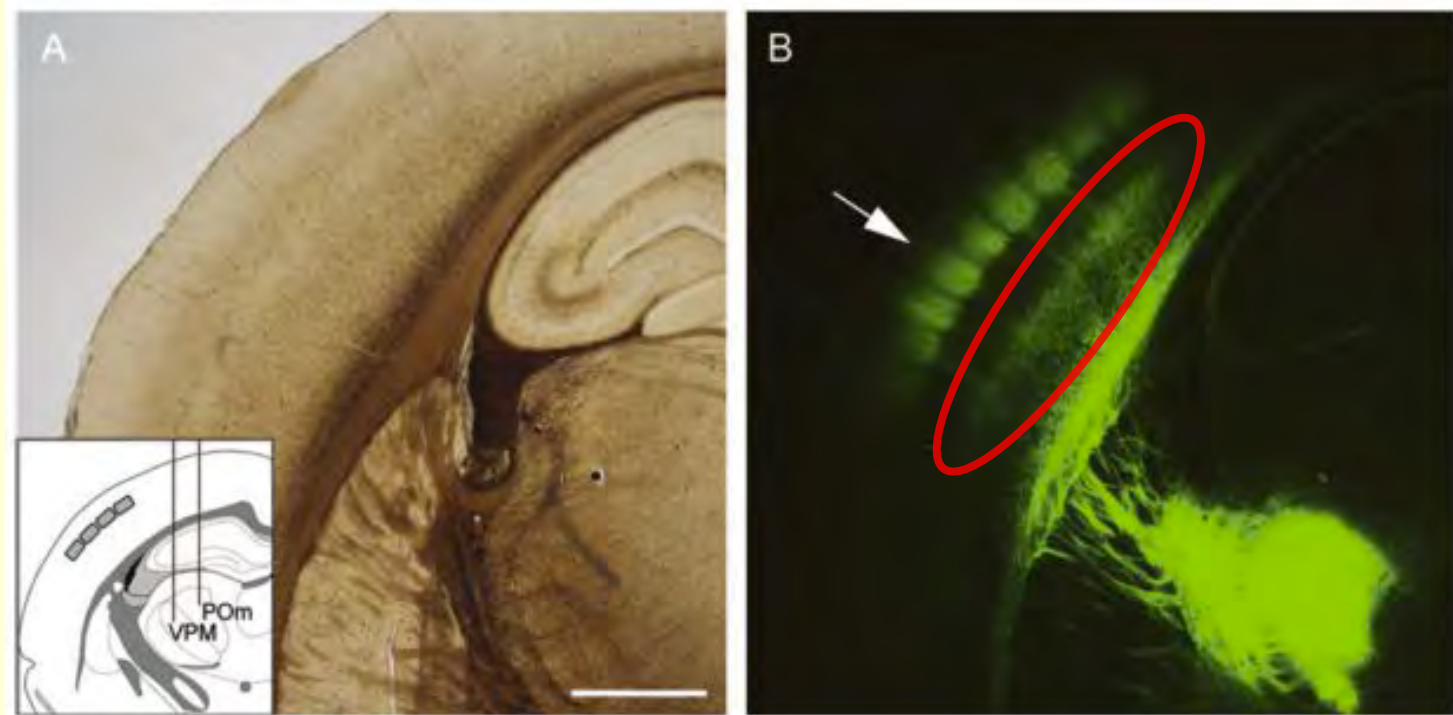
L2, 3 et 4 liées au **contexte** tandis que

L5 et 6 créent une **boucle stimulus-réponse**?

L2, 3 et 4 auraient un rôle dans l'**apprentissage**?



En tout cas, cela veut dire que ce que l'on a assumé pendant près d'un siècle (un "traitement de l'information" suivant un circuit sériel spécifique dans les couches du cortex) ne tient plus vraiment.



Ce qui est remarquable dans cette histoire, c'est que les connexions directes du thalamus à L5 avaient été observées plusieurs fois en histologie et même mentionnées dans les monographies avec une ligne pointillée signifiant seulement "**modulation**"...

“In fact, what is surprising is not that we missed these connections, but rather that we saw them and, for the most part, ignored them – they did not fit into the simplifying model that we had built to help us understand the circuit.



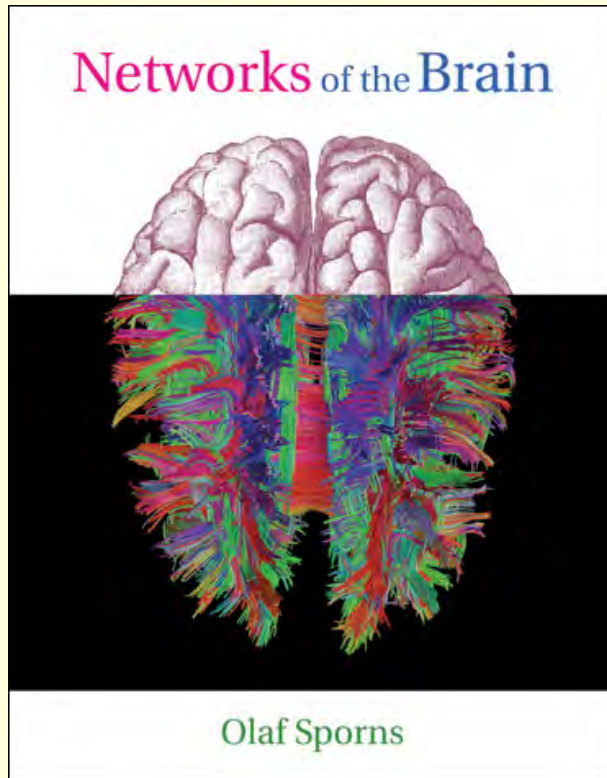
Mais contrairement aux
photos de neurones prises
à partir de minces
tranches de tissu nerveux
observées au microscope
optique,

et qui semblent par
conséquent se déployer
uniquement dans un plan
à **deux dimensions...**

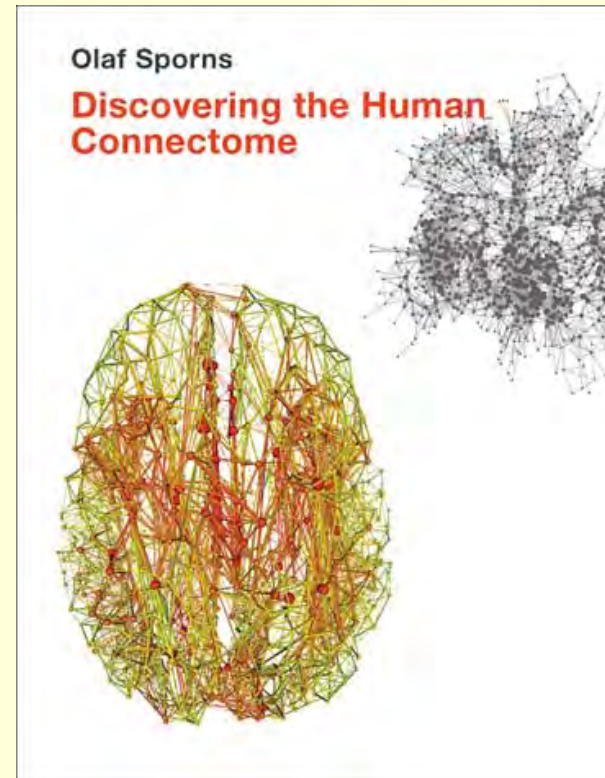
...notre cerveau
est un objet en
trois dimensions !



Il y a plusieurs grands projets qui tentent d'établir la carte réelle des grandes « **autoroutes** » de notre réseau de neurones en 3D et à l'échelle du **cerveau entier**.



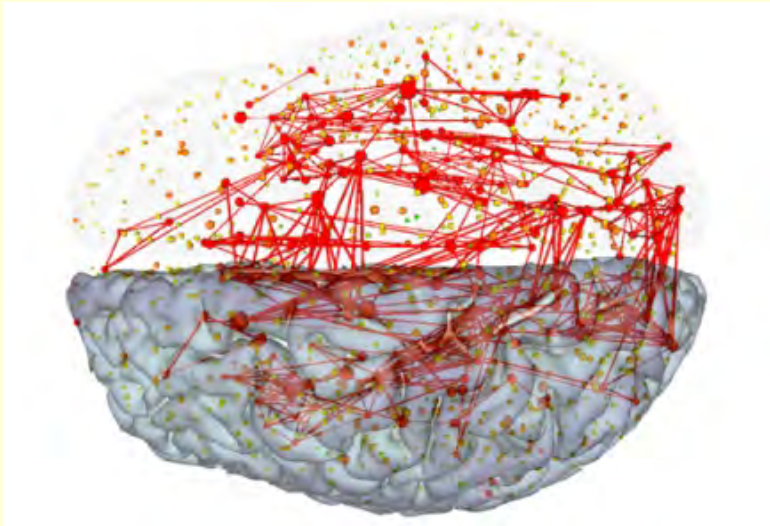
2010



2012

C'est l'idée d'établir une cartographie de ces réseaux densément interconnectés :

le « **connectome** » humain
(par analogie au génome).



*“The **connectome** is the complete description of the structural connectivity (the physical wiring) of an organism’s nervous system.”*

(Sporns et al., 2005, Hagmann, 2005),

Différentes approches récentes d'investigation **anatomique**
de ces « réseaux densément interconnectés »

(« microscale, mesoscale and macroscale ») :

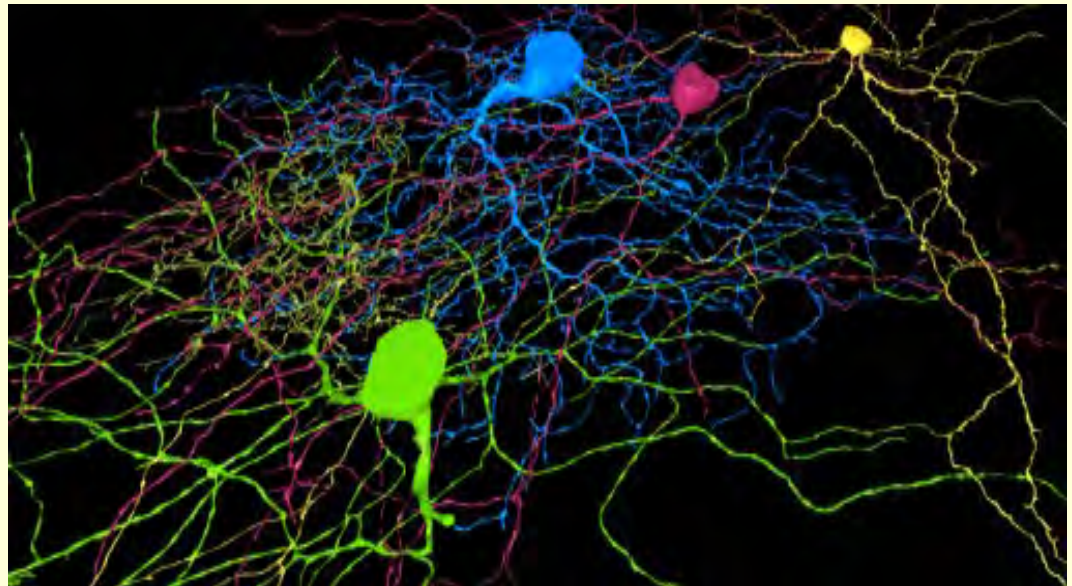
À l'échelle « micro » :

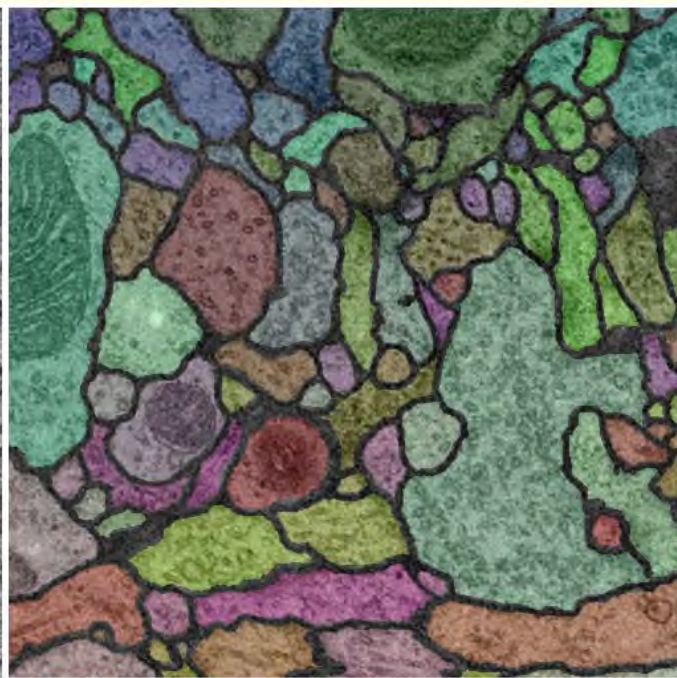
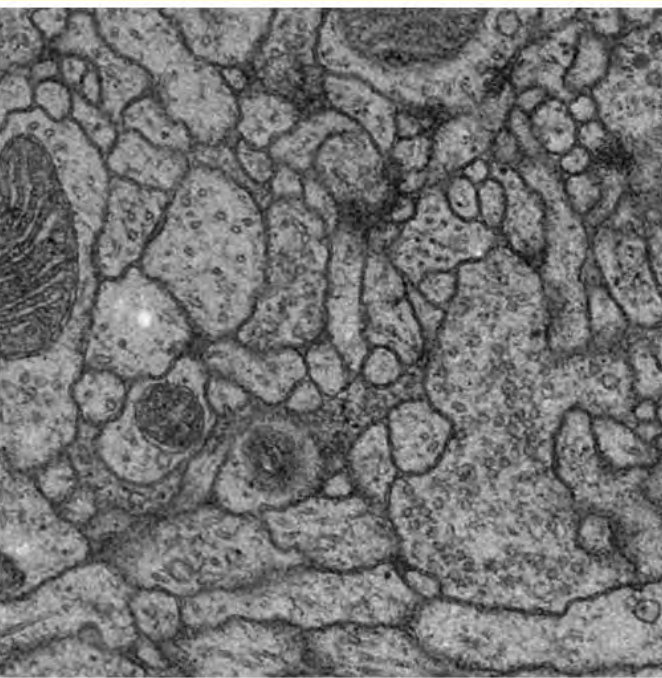
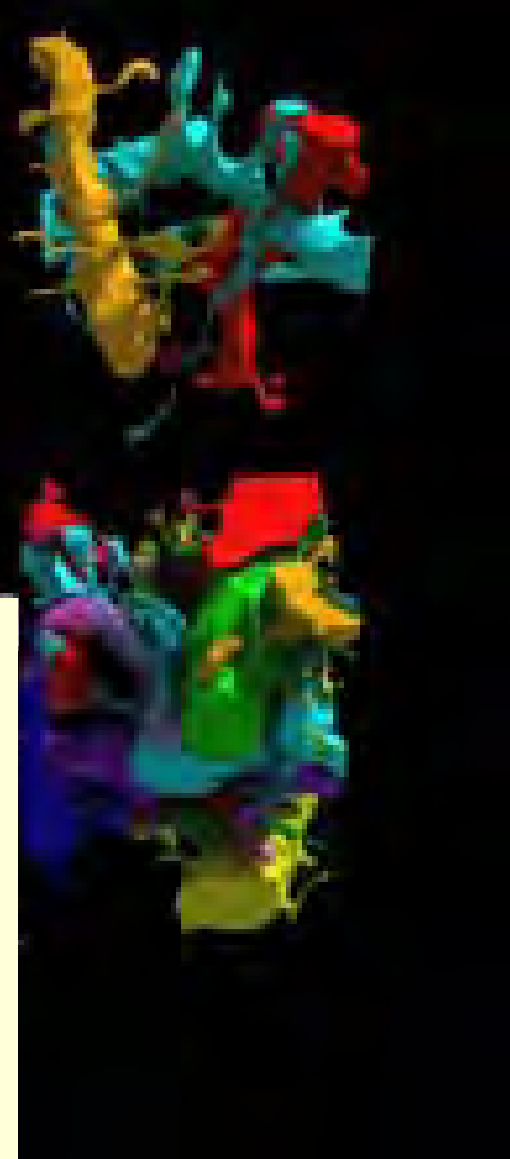
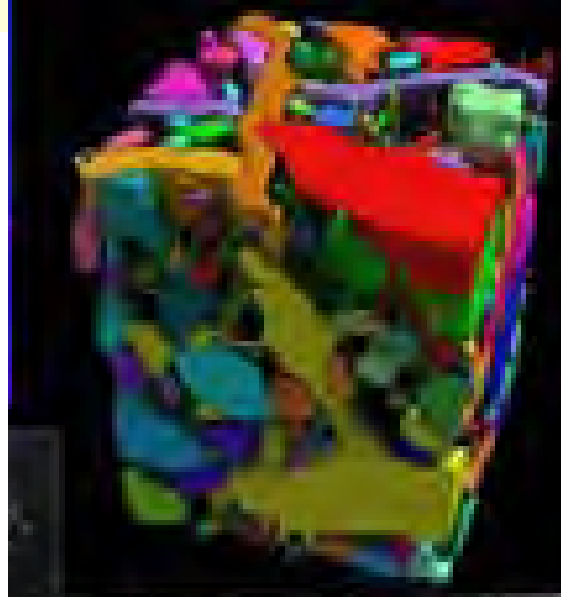
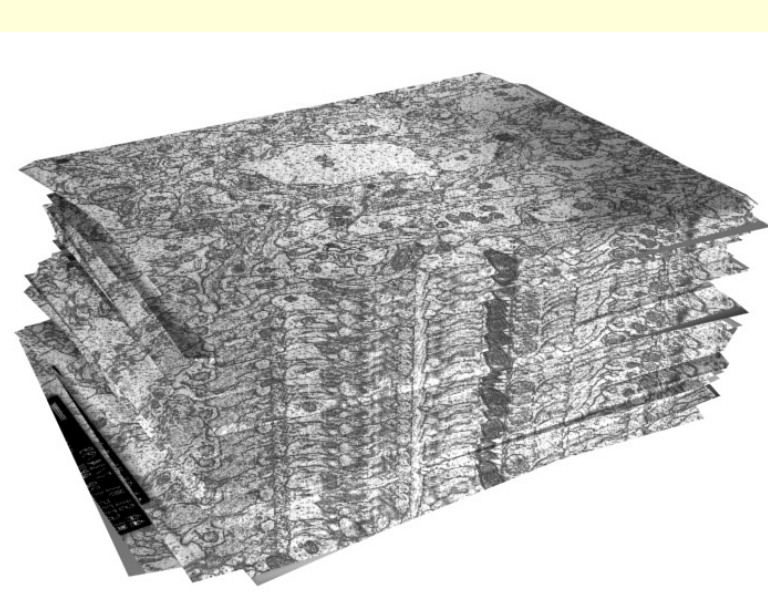
Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Aidez à cartographier nos connexions neuronales

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

« **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.

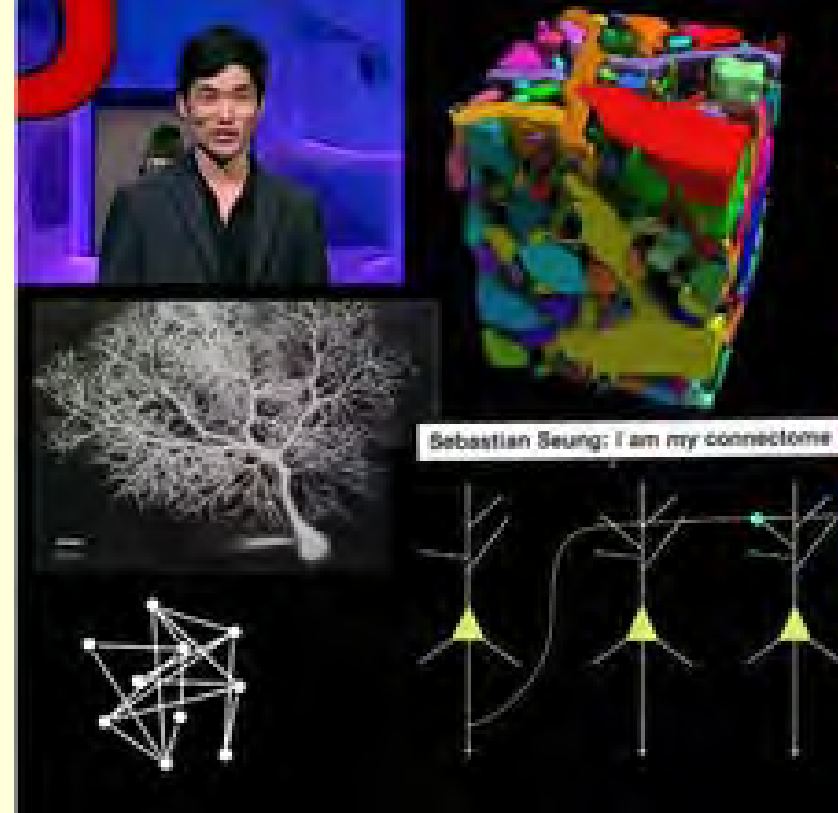




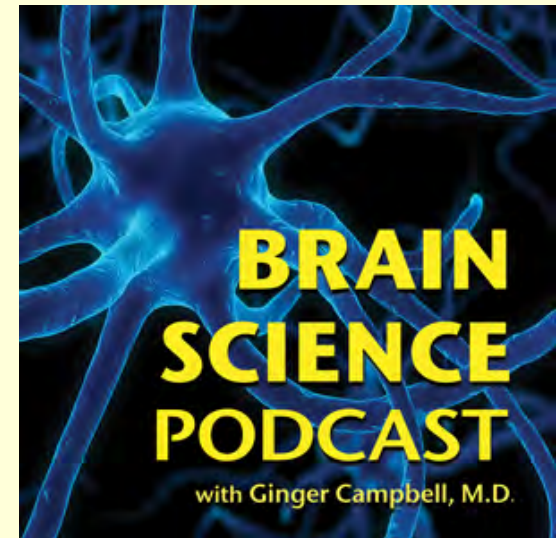
C'est de ce point de vue **microscopique** (c'est-à-dire où précisément, et comment, les axones et les épines dendriques se connectent) que Seung va critiquer par exemple le Blue Brain Project de Markram.

Sebastian Seung, Brain Science Podcast, Episode 85

<http://brainsciencepodcast.com/bsp/sebastian-seung-explores-brains-wiring-bsp-85.html>



<http://brainsciencepodcast.com/>

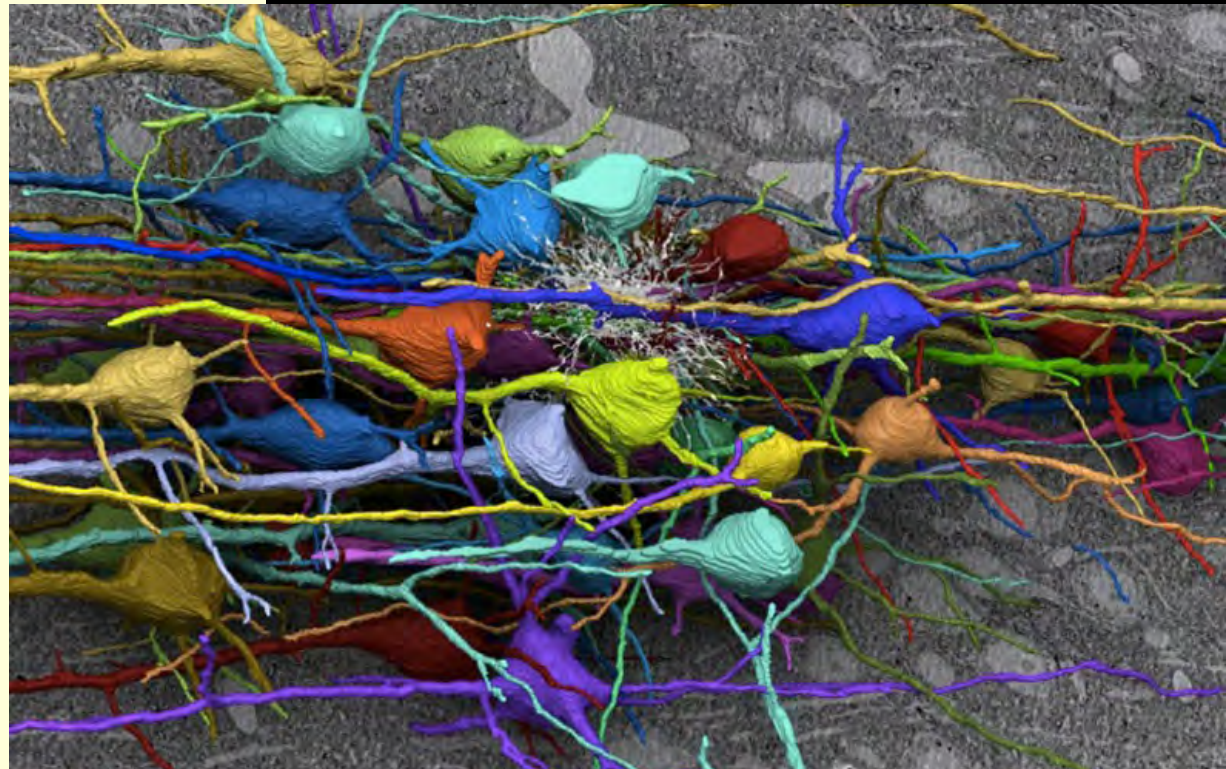


C'est aussi la démarche de :
Jeff Lichtman, *Professor of
Molecular and Cellular Biology*
Harvard University

<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.”*



À l'échelle « meso » :

Mouse Brain Architecture Project

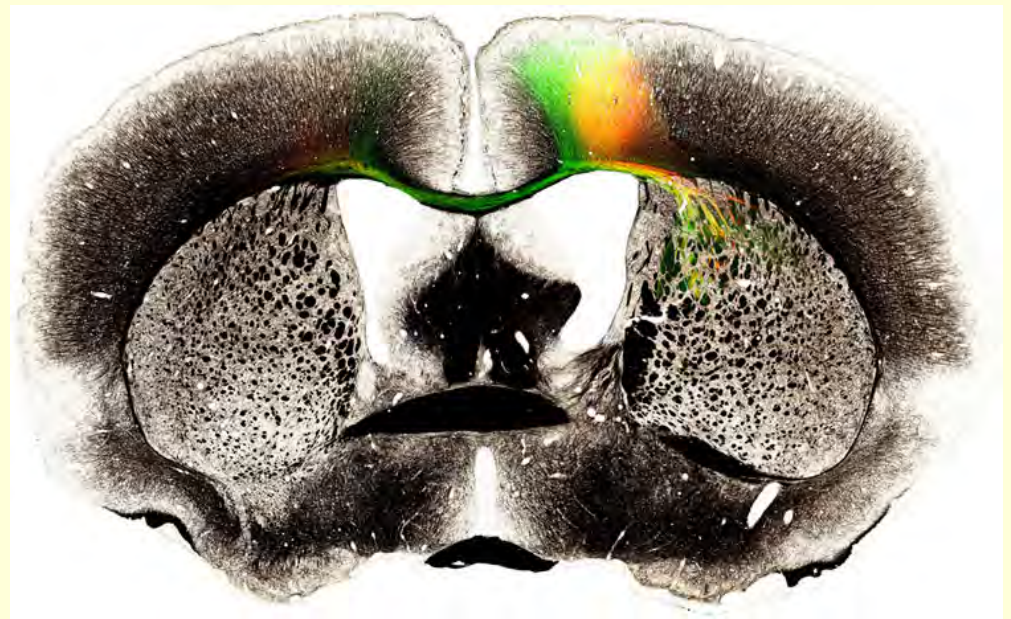
<http://brainarchitecture.org/mouse/about>

Projet de cartographie de l'ensemble des connexions cérébrales de la souris à l'échelle « **mésoscopique** », 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.
(mais applicable sur des cerveaux entiers que pour de très petits cerveaux, comme celui de la mouche à fruits)

Les neurobiologistes du Cold Spring Harbor Laboratory, aux États-Unis, ont rendu public le **1^{er} juin 2012** les premiers 500 téraoctets de données.

Ce genre de projet est rendu possible par les bas coûts et les grandes capacités de **stockage** des ordinateurs d'aujourd'hui.

Ils étaient simplement impensable il y a une dizaine d'années à peine.



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).

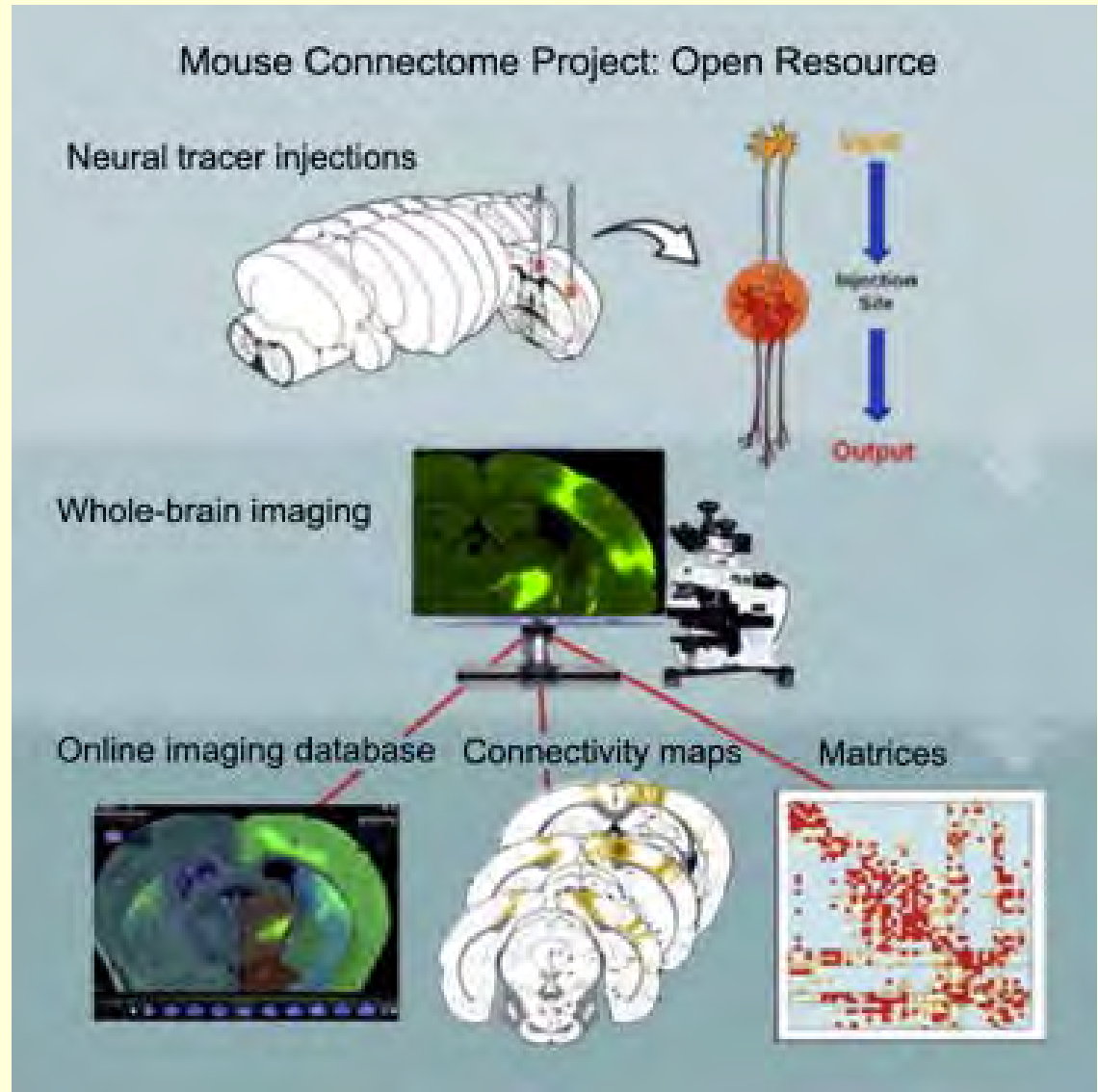
Cell, 156 (5) 1096-1111.

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

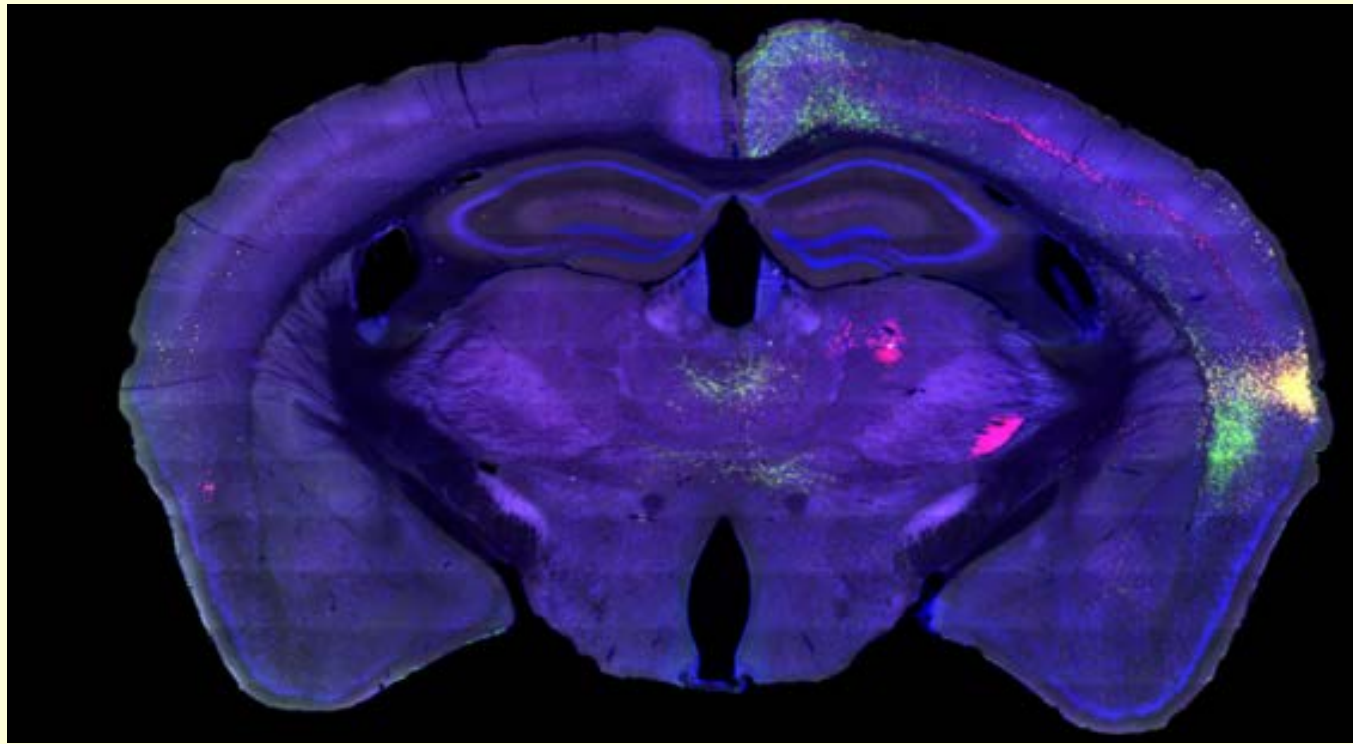
Mouse Connectome Project (MCP)

Mapping the Information Highway in the Brain

<http://knowingneurons.com/2014/03/26/mapping-the-information-highway-in-the-brain/http://knowingneurons.com/2014/03/26/mapping-the-information-highway-in-the-brain/>



Mouse
Connectome
Project (MCP)



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

*The researchers injected one **anterograde** tracer, which travels down the axons of the cell, and one **retrograde** tracer, which travels up toward the cell body, simultaneously to examine the input and output pathways of the cortex.”*

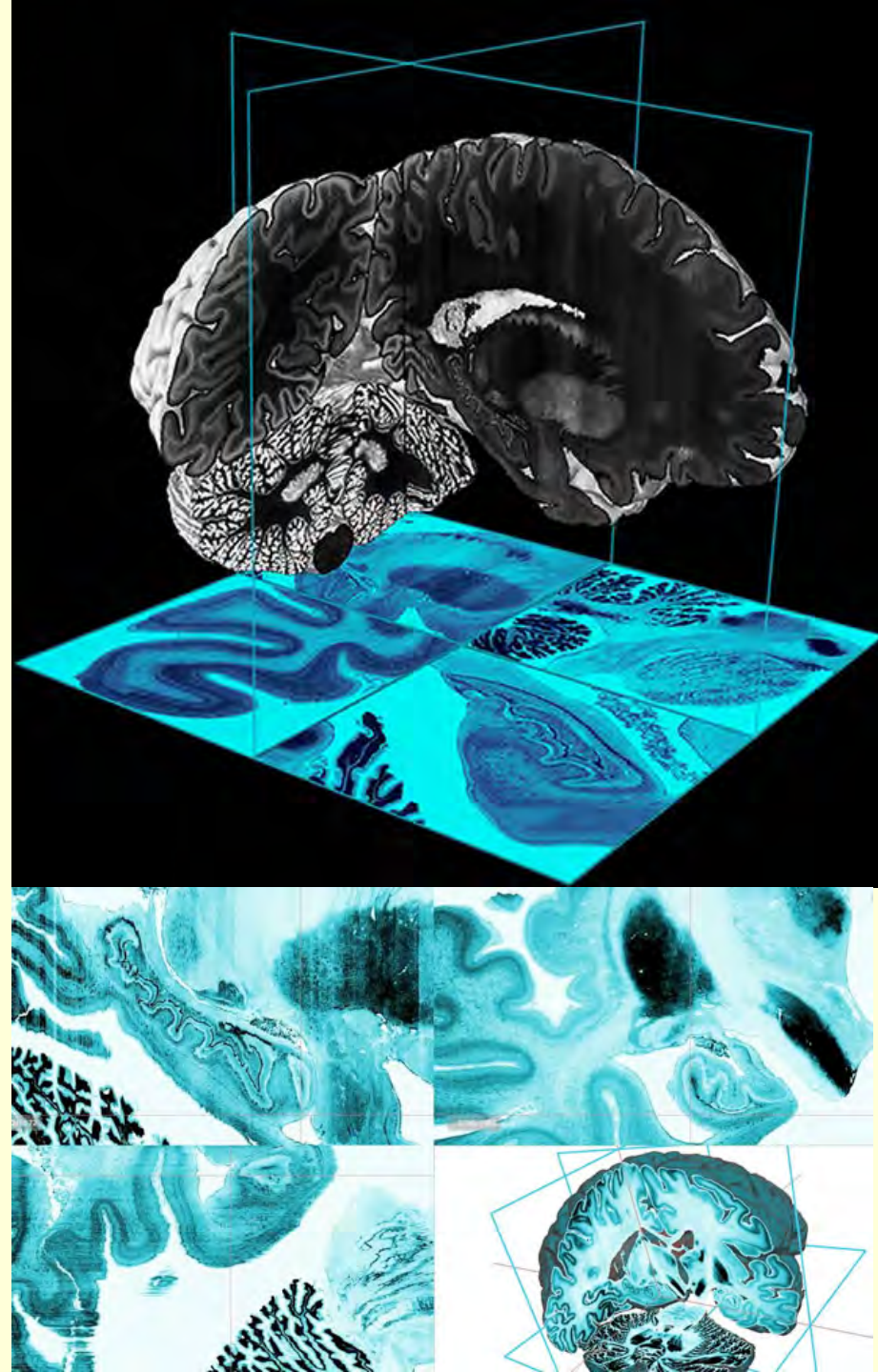
BigBrain

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 μm de BigBrain permettent une **résolution 50 fois meilleure.**

À l'échelle « macro » :

Human **Connectome** Project

(<http://www.humanconnectomeproject.org/>)

Projet de 5 ans **initié en 2010** qui a reçu US \$40-million de l'US National Institutes of Health (NIH) à Bethesda, Maryland et qui aspire à cartographier le connectome humain en utilisant **plusieurs techniques**:

Diffusion-spectrum imaging (DSI)

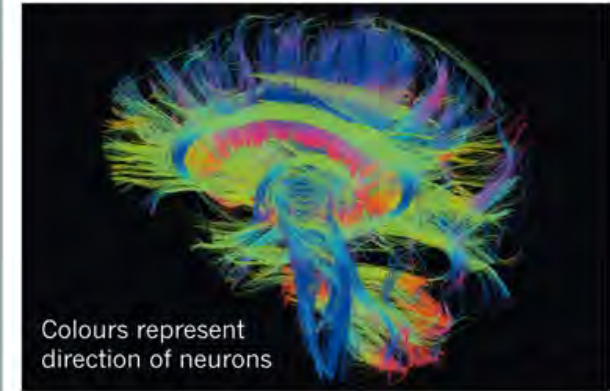
Resting-state functional MRI (rs-fMRI)

SCANNING THE CONNECTOME

The Human Connectome Project aims to trace the brain's neural network using advanced imaging techniques, both of which rely on magnetic resonance imaging (MRI).

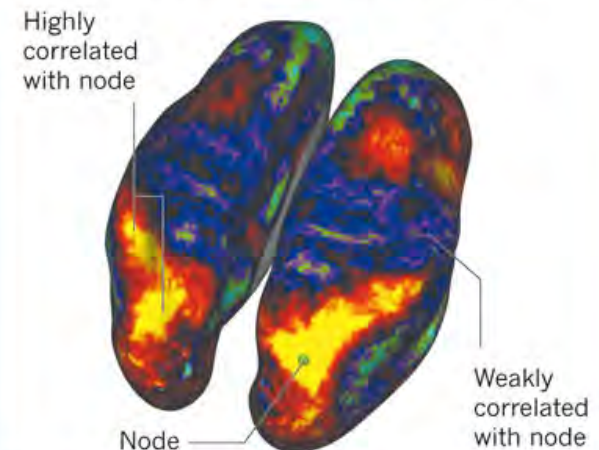
Mapping structure

Diffusion spectrum imaging detects the movement of water molecules that flow along nerve fibres in the brain. The result is a map of the brain's neuronal network.



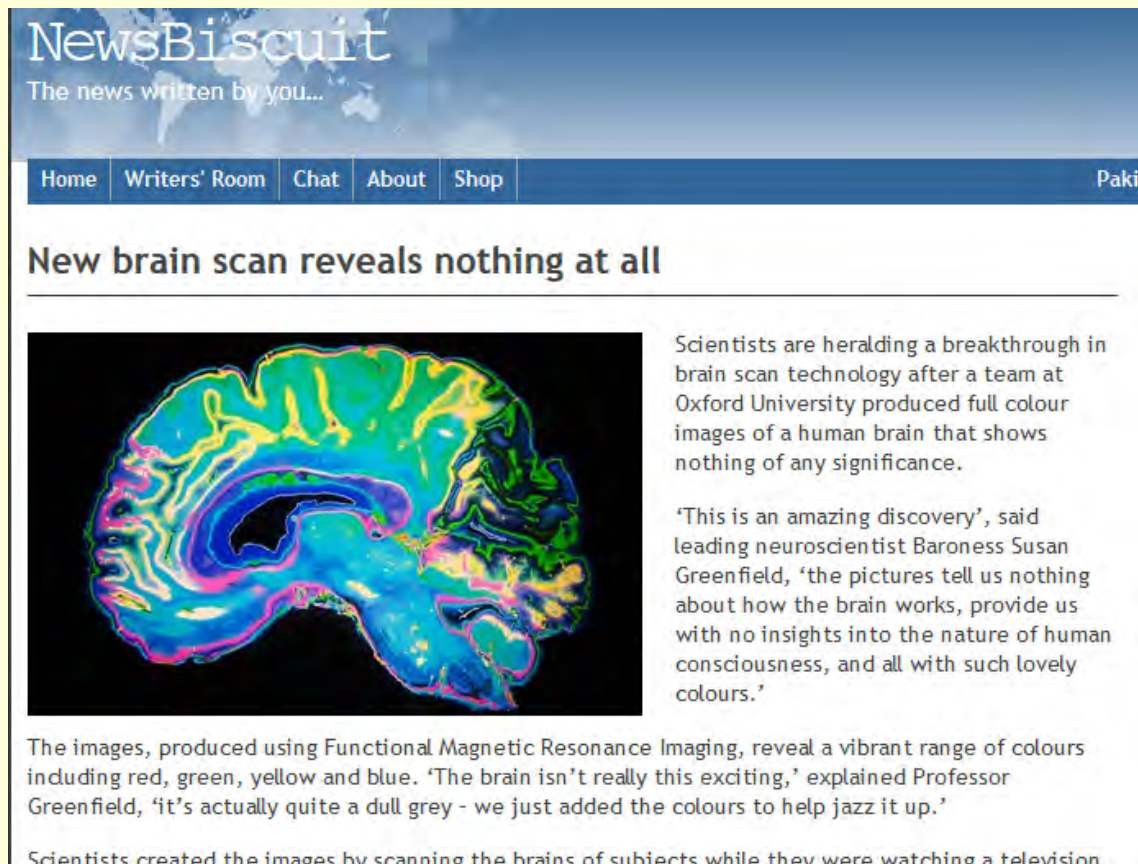
Mapping function

Resting-state functional MRI maps resting brain activity, then looks for correlations between one area and another. Highly correlated areas are thought to have some kind of functional link.



Mais avant de présenter ces deux techniques, j'aimerais en présenter deux autres desquelles elles découlent toutes les deux : l'IRM et l'IRMf

Et d'abord, quelques articles pour rentrer dans le sujet, en commençant par cette parodie :

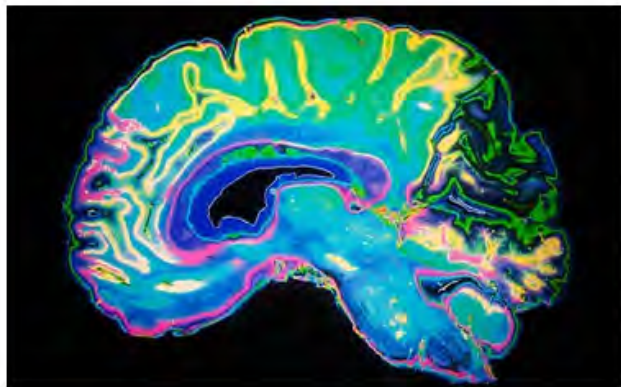


The screenshot shows a website header for 'NewsBiscuit' with the tagline 'The news written by you...'. A navigation bar includes links for 'Home', 'Writers' Room', 'Chat', 'About', 'Shop', and a partially visible 'Paki'. The main article title is 'New brain scan reveals nothing at all'. Below the title is a colorful, multi-colored cross-section of a human brain. To the right of the image is a text block containing a satirical article snippet. Below the image and text is a paragraph of text, and at the very bottom, the start of another paragraph is visible.

NewsBiscuit
The news written by you...

Home Writers' Room Chat About Shop Paki

New brain scan reveals nothing at all



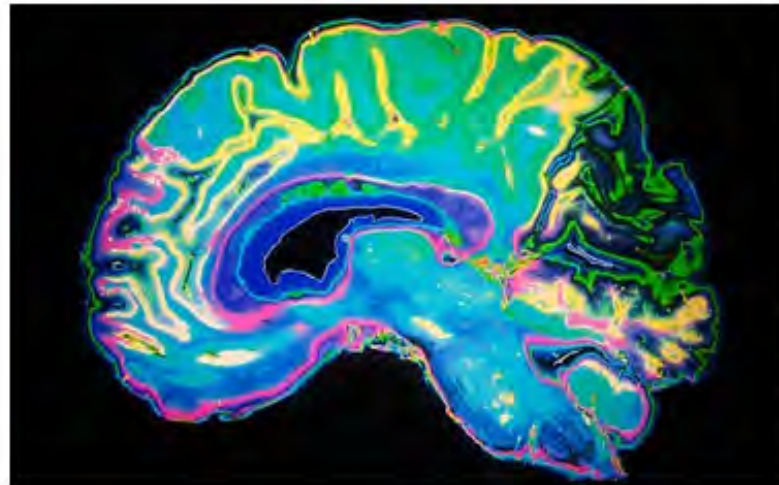
Scientists are heralding a breakthrough in brain scan technology after a team at Oxford University produced full colour images of a human brain that shows nothing of any significance.

'This is an amazing discovery', said leading neuroscientist Baroness Susan Greenfield, 'the pictures tell us nothing about how the brain works, provide us with no insights into the nature of human consciousness, and all with such lovely colours.'

The images, produced using Functional Magnetic Resonance Imaging, reveal a vibrant range of colours including red, green, yellow and blue. 'The brain isn't really this exciting,' explained Professor Greenfield, 'it's actually quite a dull grey - we just added the colours to help jazz it up.'

Scientists created the images by scanning the brains of subjects while they were watching a television

New brain scan reveals nothing at all



Scientists are he
brain scan techn
Oxford Universit
images of a hum
nothing of any s

'This is an amaz
leading neurosci
Greenfield, 'the
about how the b
with no insights
consciousness, a
colours.'

The images, produced using Functional Magnetic Resonance Imaging, reveal a
including red, green, yellow and blue. 'The brain isn't really this exciting,' exp
Greenfield, 'it's actually quite a dull grey - we just added the colours to help j

Scientists created the images by scanning the brains of subjects while they w
weather forecast. 'We know that the human brain automatically switches off d
explained Baroness Greenfield, 'usually at precisely the moment the forecaster
region. These scans capture that moment of mental 'nothingness' in full and g

The development, which has been widely reported around the world, is also si
allows journalists to publish big fancy pictures of the brain that look really imp
or no explanatory value.

"This is an amazing discovery,
the pictures tell us nothing
about how the brain works,
provide us with
no insights into the nature of
human consciousness, and all
with such **lovely colours.**' [...]

None of this helps to explain
anything, but it does it **so**
much better the old black
and white pictures. [...].

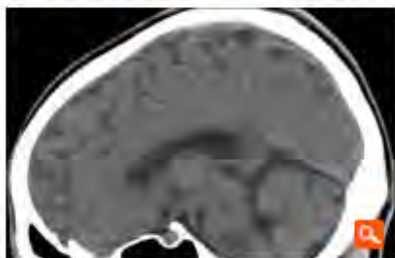
'I particularly like the way
different regions of the brain
light up for no apparent reason.
It's so **cool.**'"



Brain scans indicate ... this blog is informative

Wednesday, March 05, 2008 - 12:09 PM

By [Søren 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.”

Comment is free

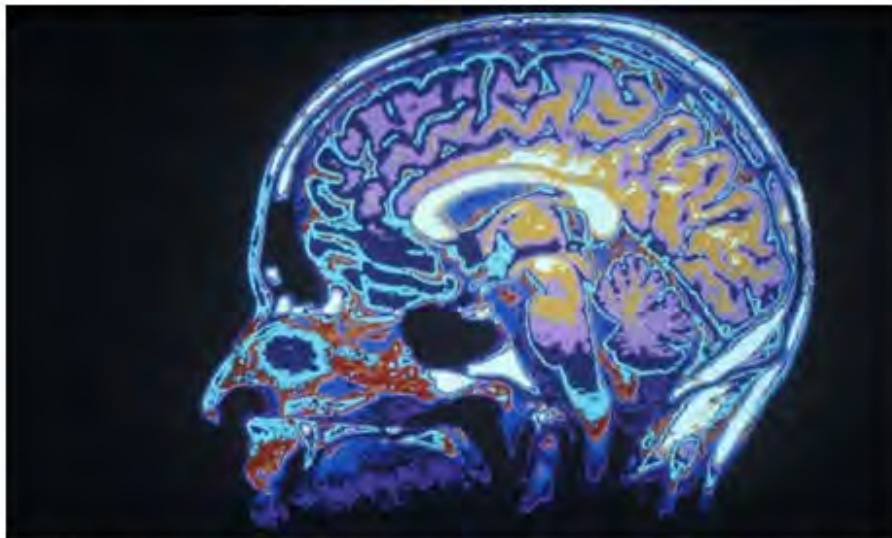
Think brain scans can reveal our innermost thoughts? Think again

Increasing claims for neuroscience – that it can locate jealousy or Muslim fundamentalism – are ludicrous



Raymond Tallis
The Observer, Sunday 2 June 2013

 Jump to comments (306)



Brain scans cannot reveal our innermost thoughts. Photograph: Black Star /Alamy

The grip of [neuroscience](#) on the academic and popular imagination is extraordinary. In recent decades, brain scientists have burst out of the laboratory into the public forum. They are everywhere, analysing and explaining every aspect of our humanity, mobilising their expertise to

[...] Few people realise how **indirect** is the relationship between what the scan detects and what is happening in the brain.

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,

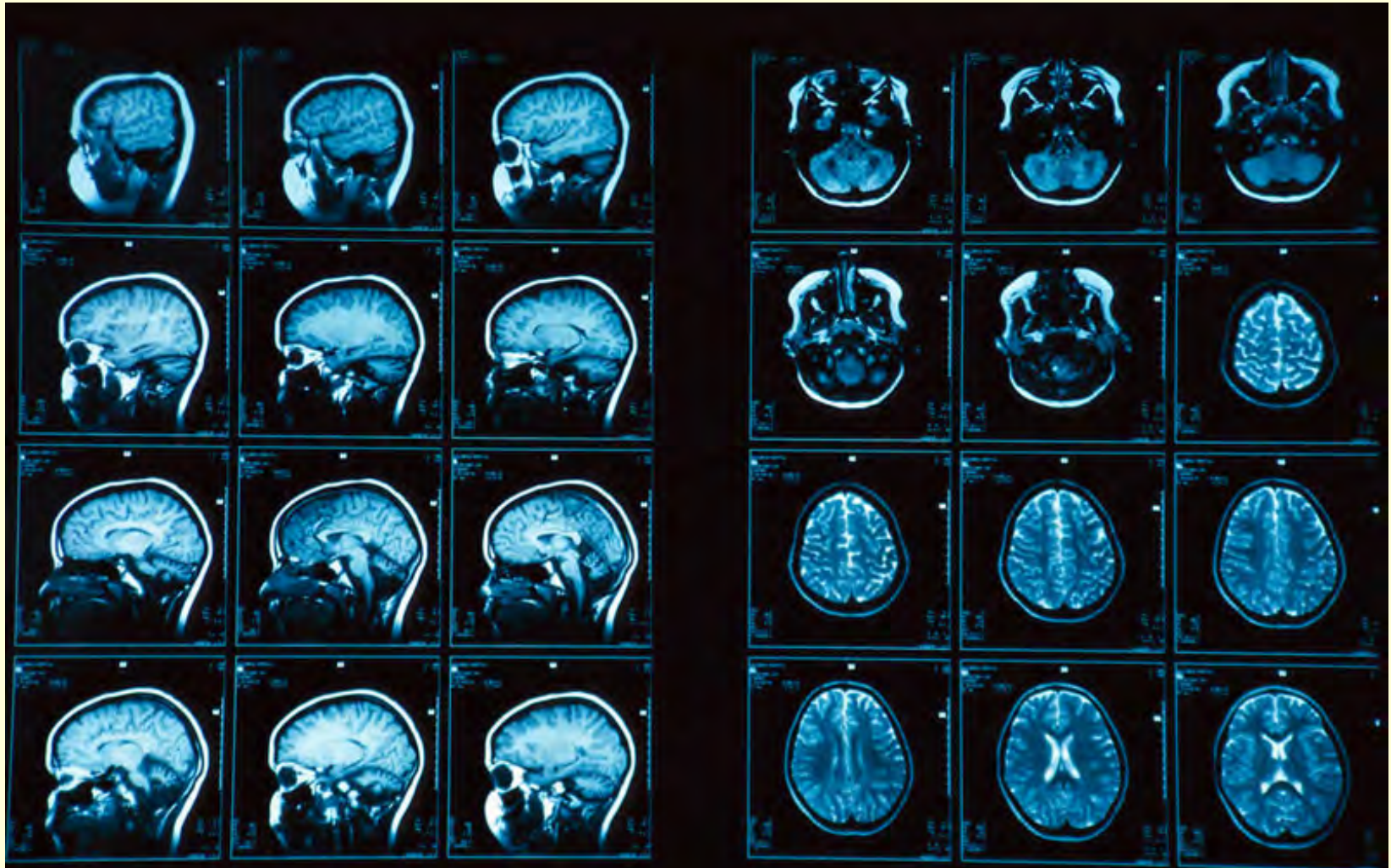
en particulier de l'eau qui constitue environ les trois quart de la masse du corps humain.



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



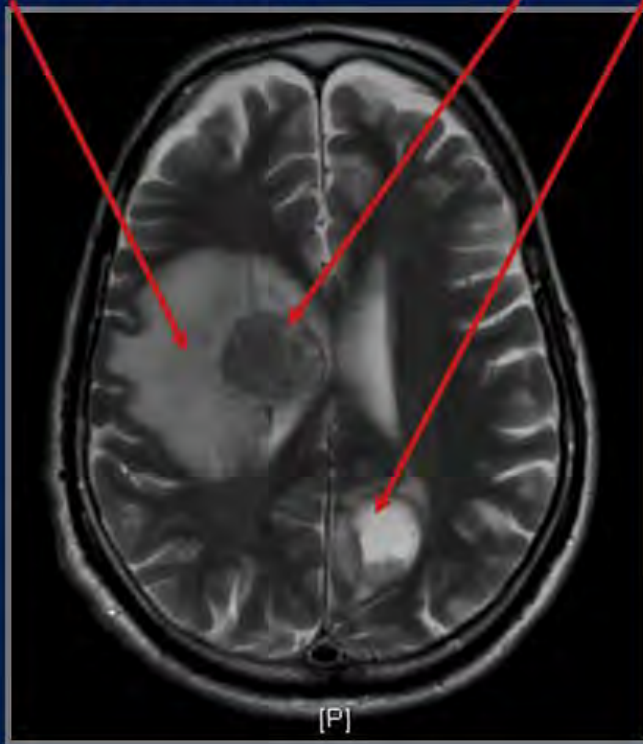
permet aussi d'obtenir non seulement des coupes axiales du cerveau (comme avec le CT scan),
mais aussi des coupes sagittales et coronales.



Brain Metastases on MRI Images

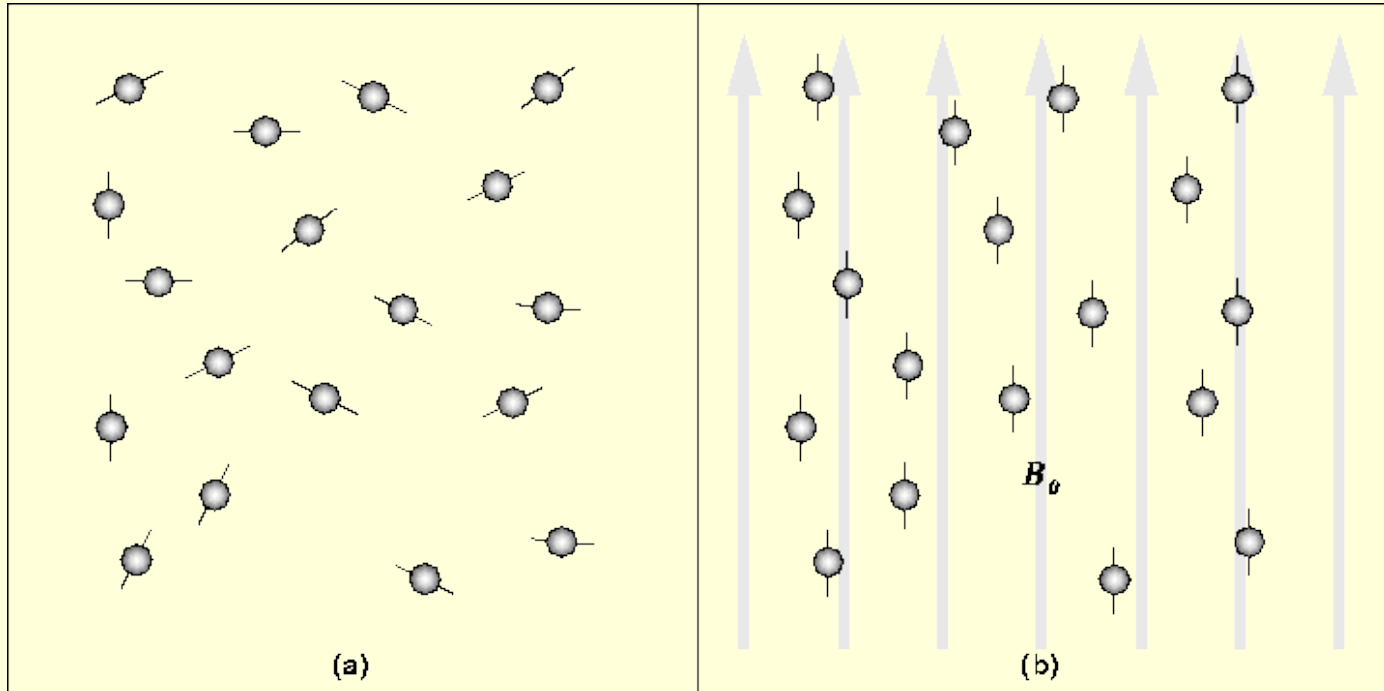
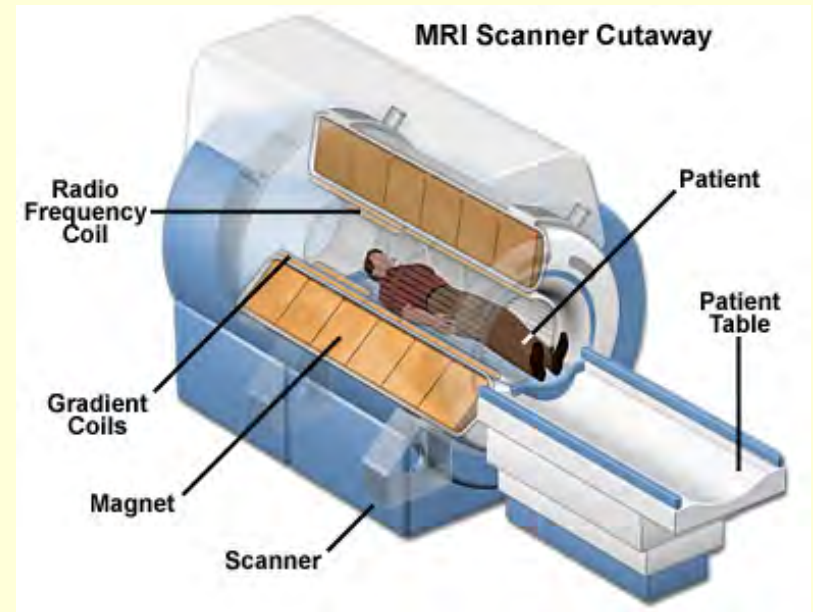
Edema (swelling)

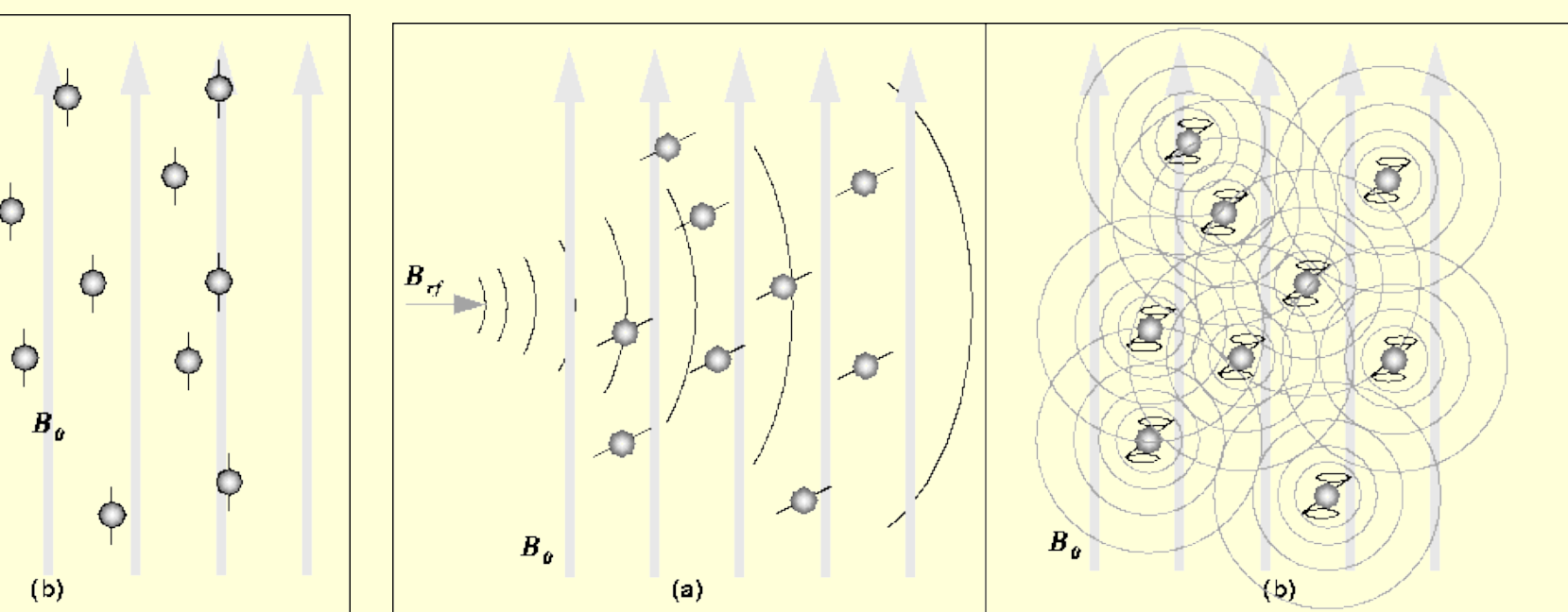
Brain metastases



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 axiale (à droite) du cerveau du sujet.

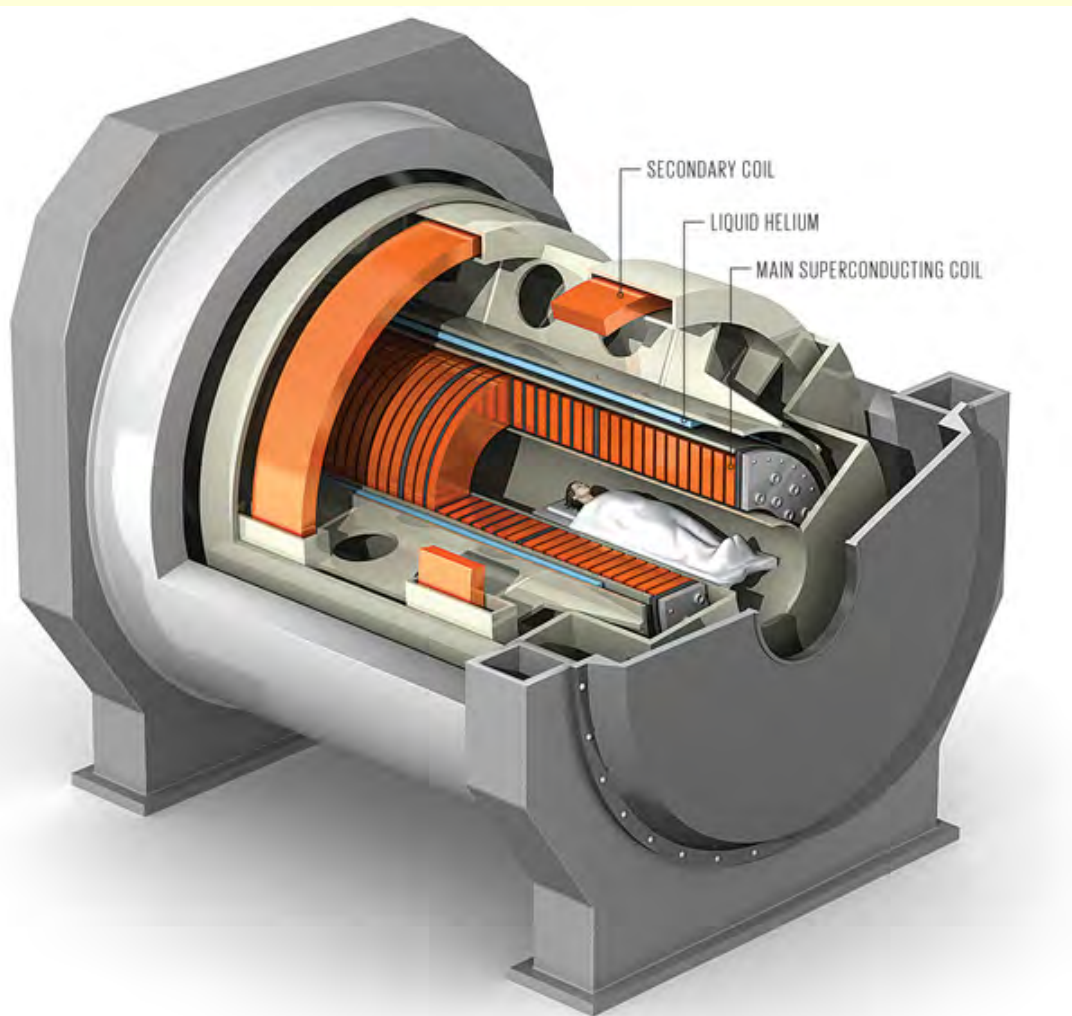


Une coupe sagittale mettant en évidence l'intérieur de l'hémisphère cérébral gauche du sujet.

World's most powerful MRI gets set to come online

Oct 24, **2013** by John Hewitt

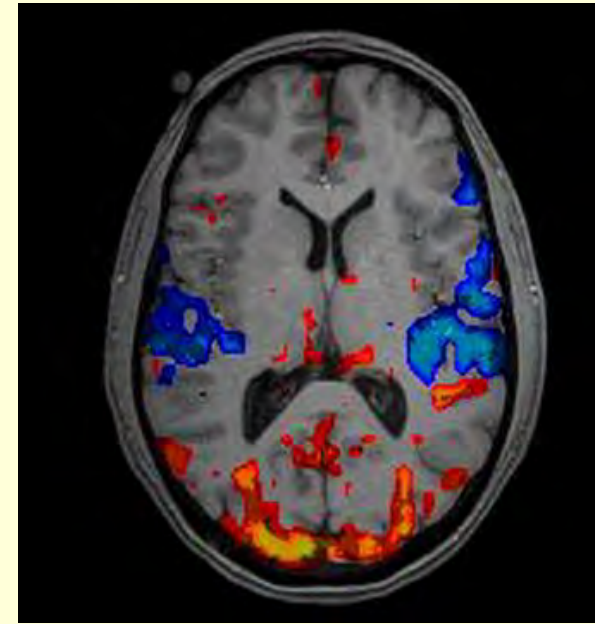
<http://phys.org/news/2013-10-world-powerful-mri-online.html>



- Capable de générer **11,75 Tesla** (le record précédent était de 9,4 Tesla)
- Champ magnétique assez fort pour soulever 60 tonnes métriques (plus fort que celui du Grand Collisionneur de Hadron)
- Fera passer la taille des voxels de 1 mm à **0.1 mm** (un volume pouvant encore contenir plus de 1000 neurones)
- Nécessitera des implants spéciaux pour les patients qui auront à l'utiliser

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

- À partir des années **1990**
- nous renseigne sur l'activité des différentes régions cérébrales (et pas seulement en surface comme l'EEG)
- 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**.

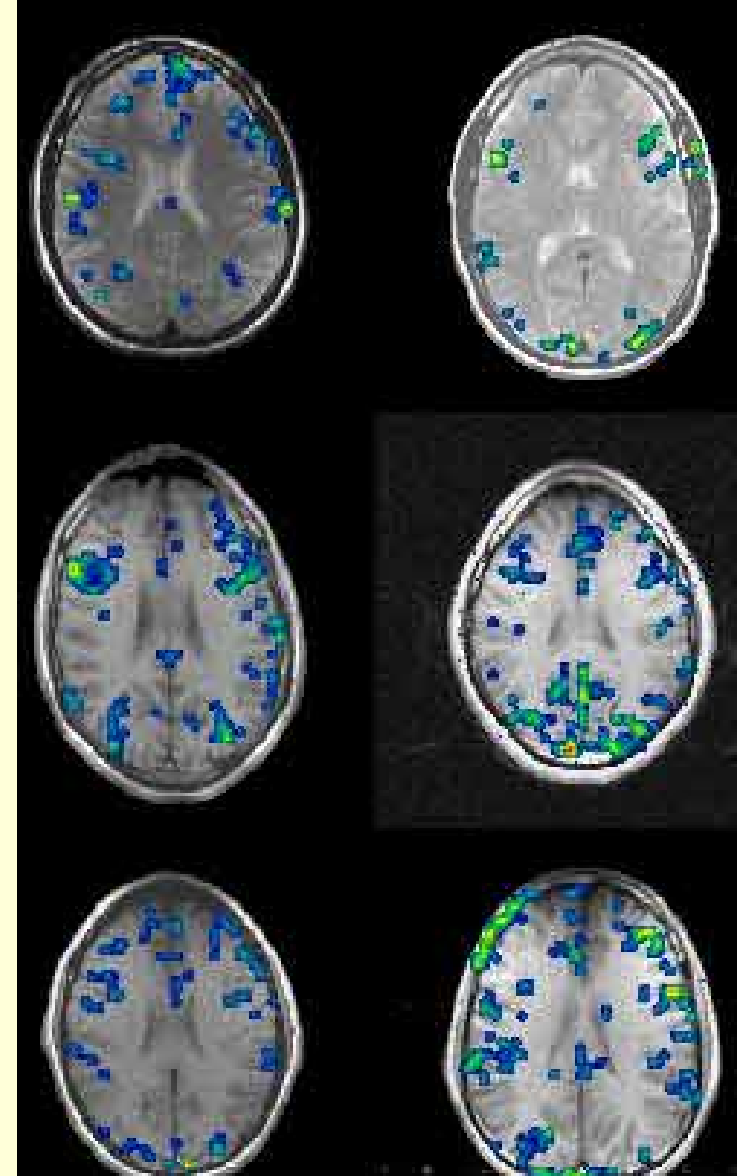


Peut être utilisée sans l'injection de substance dans l'organisme du sujet (contrairement au PET scan).

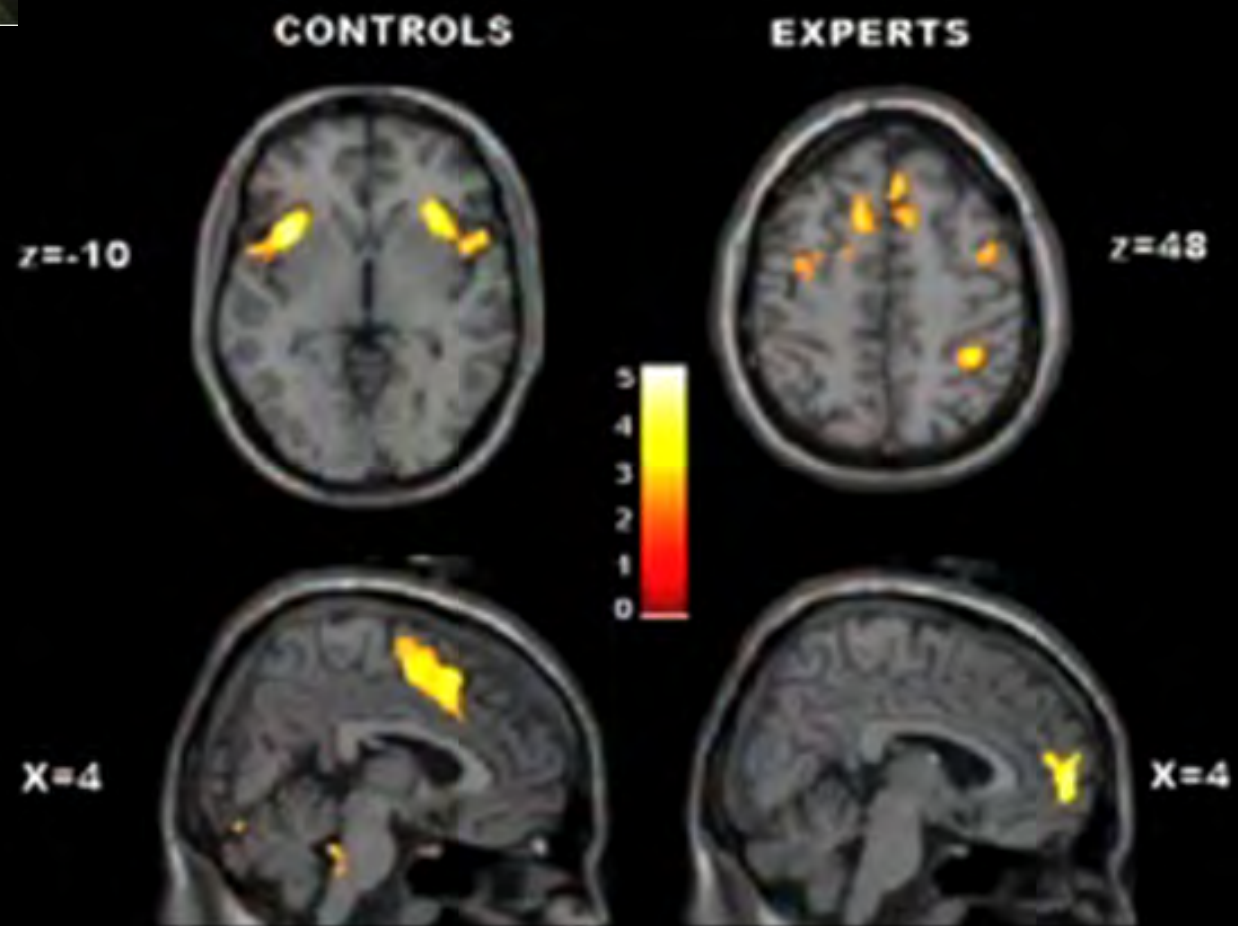
Peut fournir une image **structurelle** et **fonctionnelle** du même cerveau, facilitant ainsi les correspondances anatomo-fonctionnelles.

La **résolution spatiale** est de l'ordre du millimètre (de **3 mm** (pour les machine à 3 Tesla) à **1 mm** pour celles à 7 Tesla)

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)

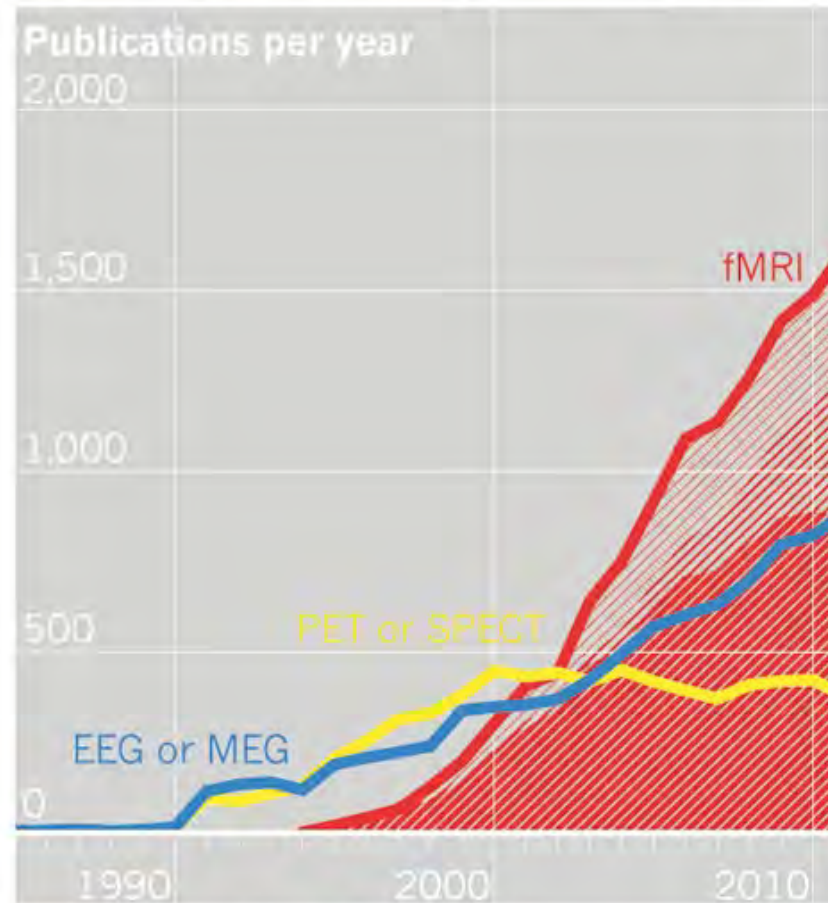


Résonance magnétique fonctionnelle durant le test de Stroop pour six sujets différents démontrant la **grande variabilité** entre les participants.



THE RISE OF fMRI

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



fMRI publications by subject:

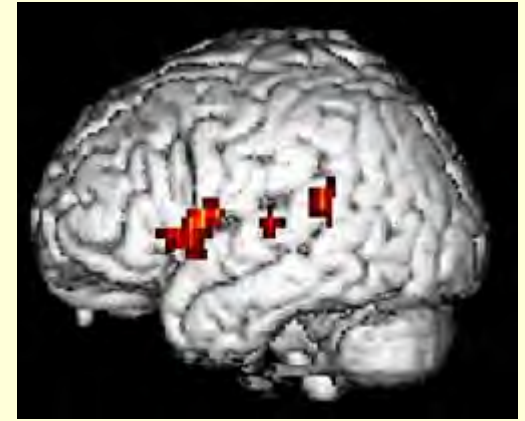
Activation  Connectivity  Other 

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.

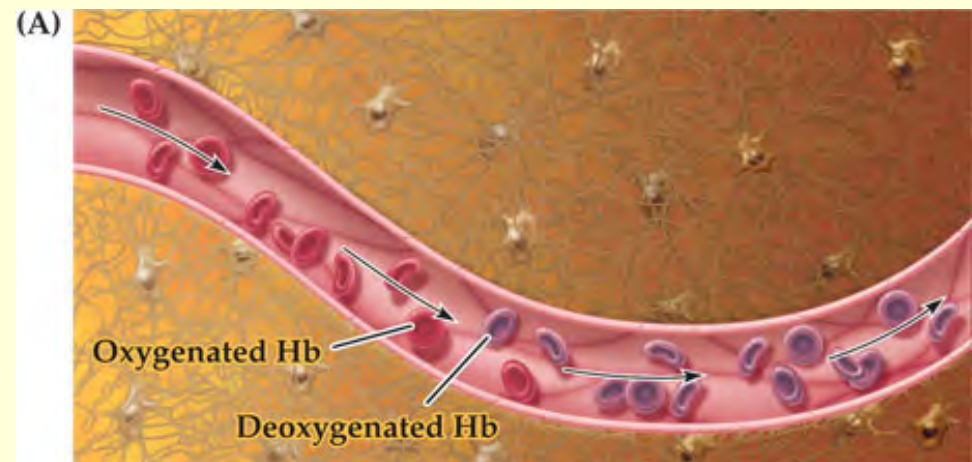
Principe :

Le principe sur lequel s'appuie l'IRMf (tout comme la TEP d'ailleurs) part de l'observation que 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.

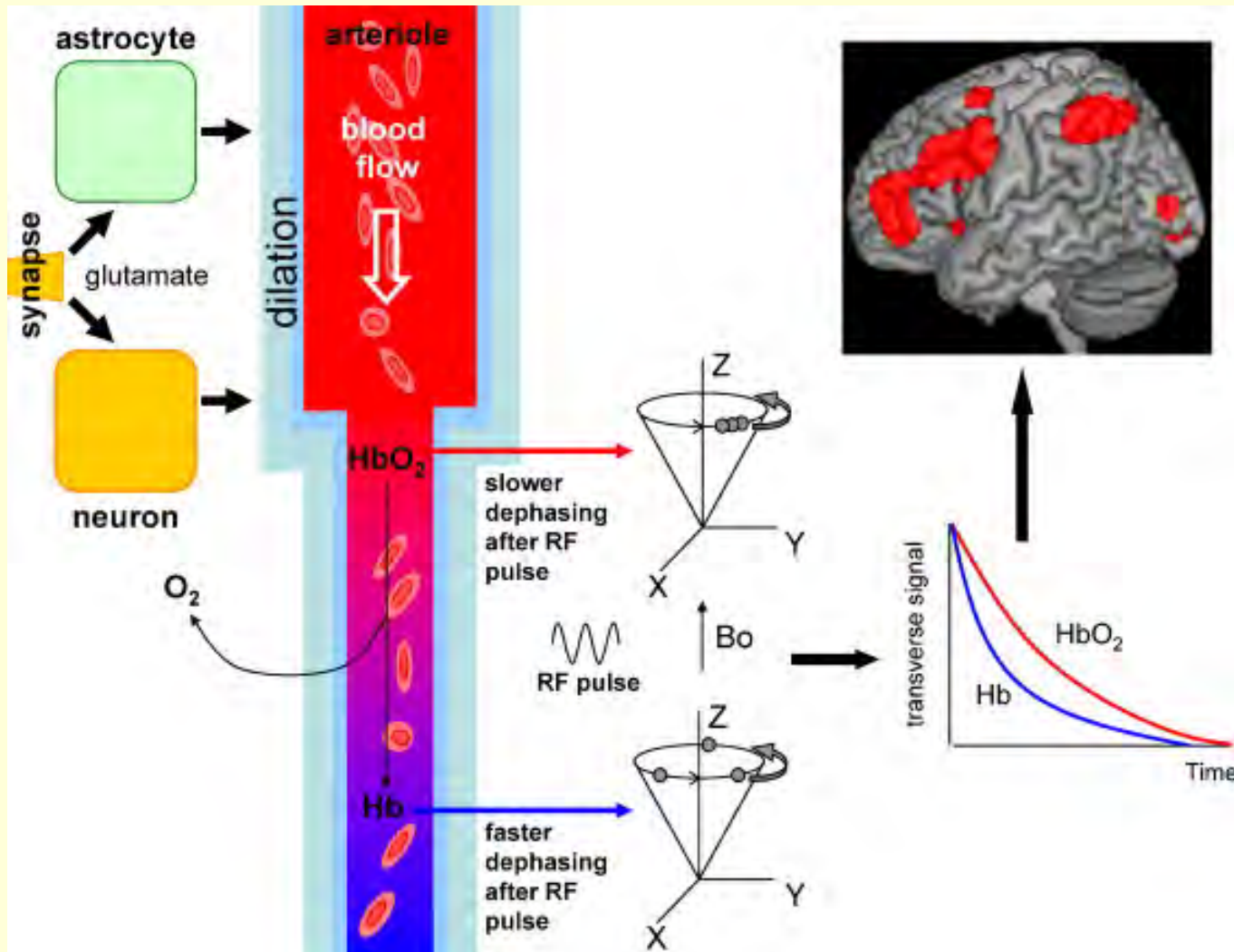
Or l'**hémoglobine**, cette protéine possédant un atome de fer qui transporte l'oxygène, a des **propriétés magnétiques différentes** selon qu'elle transporte de l'oxygène ou qu'elle en a été débarassée par la consommation des neurones les plus actifs.



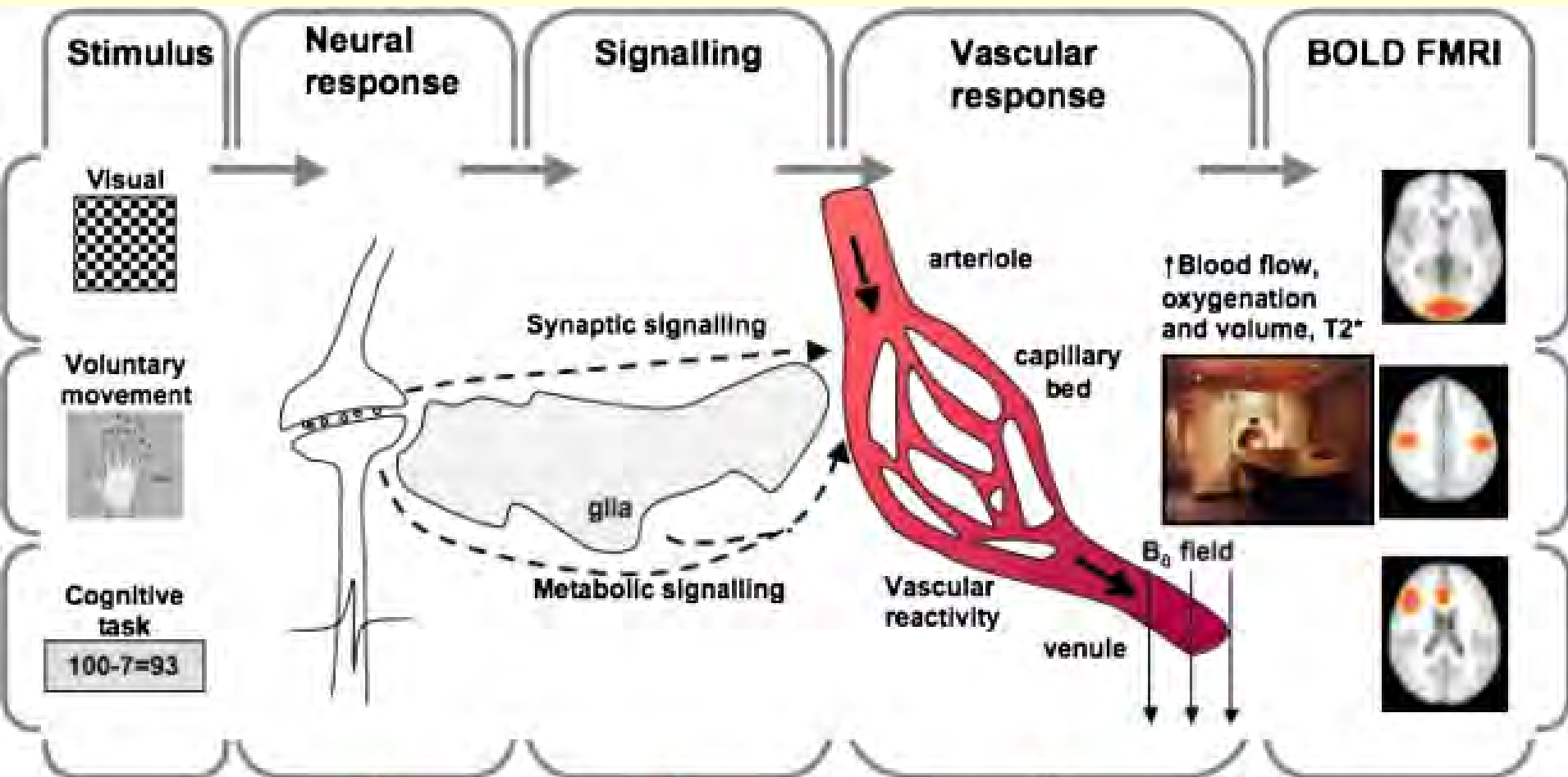
Résonance magnétique fonctionnelle durant une tâche de génération de mots.



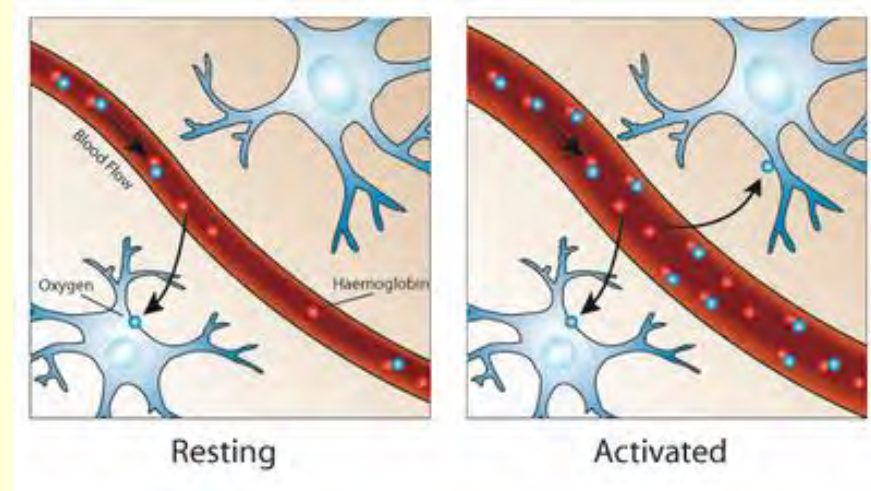
Cette **désoxy-hémoglobine** (l'hémoglobine débarrassée de son oxygène) a la propriété d'être paramagnétique : sa présence engendre dans son voisinage une faible perturbation du champ magnétique.



Ce signal 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** des processus physiologique dont les rapports avec l'activité neuronale sont complexes.



Et comparant les réponses de l'IRMf de différents sujets, difficile de dire si les différences observées ont une origine neuronale ou simplement physiologique.

Donc pas une véritable mesure quantitative de l'activité cérébrale

(mais des méthodes se développent en ce sens pour les mesures chez un même individu).

Neurophysiological and metabolic basis of the BOLD signal



How to interpret fMRI and compare it to other methods

S.F.W. Neggers

*Rudolf Magnus Institute for Neuroscience, Division of Brain Research
University Medical Center Utrecht*

(b. neggers@umcutrecht.nl)

Cet article de **2009** suggère que le niveau d'oxygène sanguin pourrait s'élever en préparation d'une activité neurale **anticipé** (et ensuite durant l'activité).

Full text access provided to

nature

International weekly journal of science

Search This journal

Journal home > Archive > Letter > Full Text

Journal home
Advance online publication
Current issue
Nature News
Archive

Supplements
Web focuses
Multimedia
About the journal
For authors and referees
Online submission
Advertising
Reprints and permissions
Nature Awards
Nature Conferences
Help

Letter

Nature **457**, 475-479 (22 January 2009) | doi:10.1038/nature07664; Received 29 May 2008; Accepted 24 November 2008; **Corrected** 5 February 2009

Anticipatory haemodynamic signals in sensory cortex not predicted by local neuronal activity

Yevgeniy B. Sirotni¹ & Aniruddha Das^{1,2,3,4,5,6}

1. Department of Neuroscience,
2. Department of Psychiatry,
3. W. M. Keck Center on Brain Plasticity and Cognition,
4. Mahoney Center for Brain and Behavior,
5. Department of Biomedical Engineering, Columbia University, New York, New York 10027, USA
6. New York State Psychiatric Institute, 1051 Riverside Drive, Unit 87, New York, New York 10032, USA

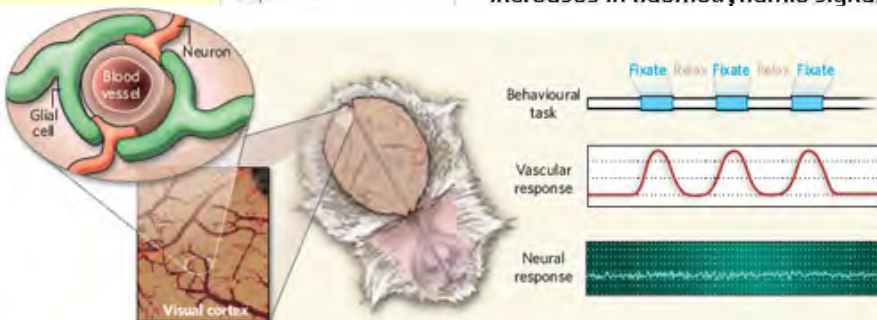
Correspondence to: Aniruddha Das[✉] (Email: ad2069@columbia.edu). Correspondence and requests for materials should be addressed to A.D.

Haemodynamic signals underlying functional brain imaging (for example, functional magnetic resonance imaging (fMRI)) are assumed to reflect metabolic demand generated by local neuronal activity, with equal increases in haemodynamic signal implying equal increases in the ^{1, 5, 6}. Few studies have compared

← Top

“These findings (tested in two animals) challenge the current understanding of the link between brain haemodynamics and local neuronal activity.

They also suggest the existence of a novel preparatory mechanism in the brain that brings additional arterial blood to cortex in anticipation of expected tasks.”



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"...
- ces méthodes statistiques peuvent être mal comprises ou mal utilisées;
Par exemple :

POWER FAILURE: WHY SMALL SAMPLE SIZE UNDERMINES THE RELIABILITY OF NEUROSCIENCE

Katherine Button et al.

Nature Reviews Neuroscience, avril **2013**

Le nombre de sujets participant aux études d'imagerie cérébrale serait en général **trop petit** pour assurer la fiabilité du phénomène décrit.

Car quand ces tests sont faits sur un petit échantillon, leur « puissance statistique » s'en trouve d'autant plus réduite.

Tellement que, selon l'analyse de Button, sur 48 expériences d'imagerie publiées durant l'année 2011, la plupart n'aurait une puissance statistique qu'avoisinant les **20 %**.

Autrement dit, il n'y aurait **qu'une chance sur cinq** que l'activation cérébrale suspectée soit mise en évidence de manière fiable.

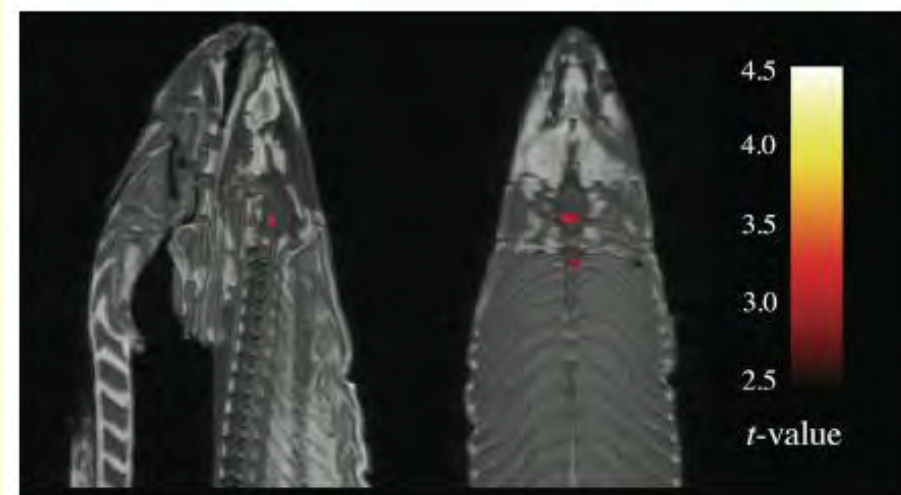
Bref, si les premières études d'imagerie ont pu identifier les circuits cérébraux de comportements simples avec de petits échantillons de sujets seulement, les effets recherchés aujourd'hui sont beaucoup plus subtils et nécessiteraient des échantillons autrement plus grands.

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.

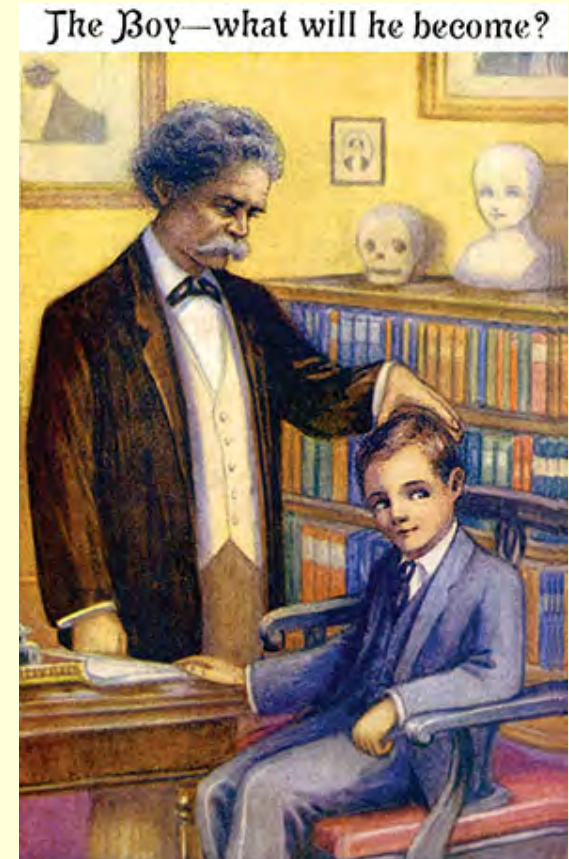
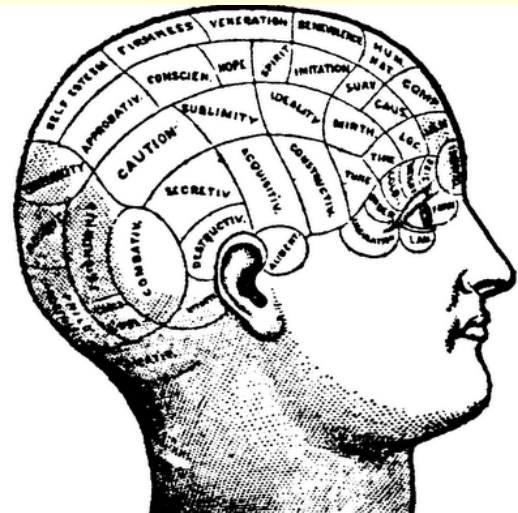
Alors qu'il devait servir de simple test pour **calibrer les contrastes de l'appareil**, le célèbre saumon mort allait devenir le caillou dans le soulier que l'IRMf traîne encore aujourd'hui...



Bref, pour certains :

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

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



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



Comment sortir de la phrénologie ?



Lundi, 9 mars 2015

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

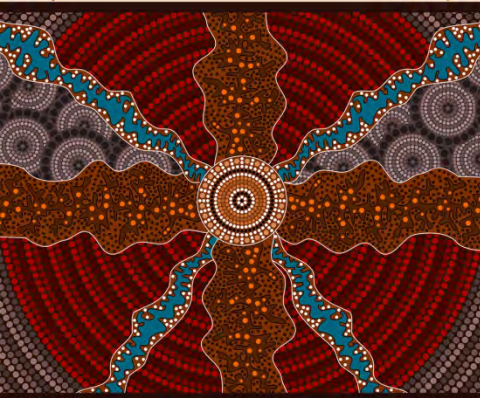
Dans son livre *After Phrenology : Neural Reuse and the Interactive Brain*, **Michael Anderson** nous propose d'aller au-delà de la phrénologie

avec une approche alternative fondée sur ce qu'il appelle la « **réutilisation neuronale** » (« neural reuse », en anglais).

Le cerveau est aussi complexe parce que c'est du bricolage sur des milliers et des millions d'années !

AFTER PHRENOLOGY

Neural Reuse and the Interactive Brain

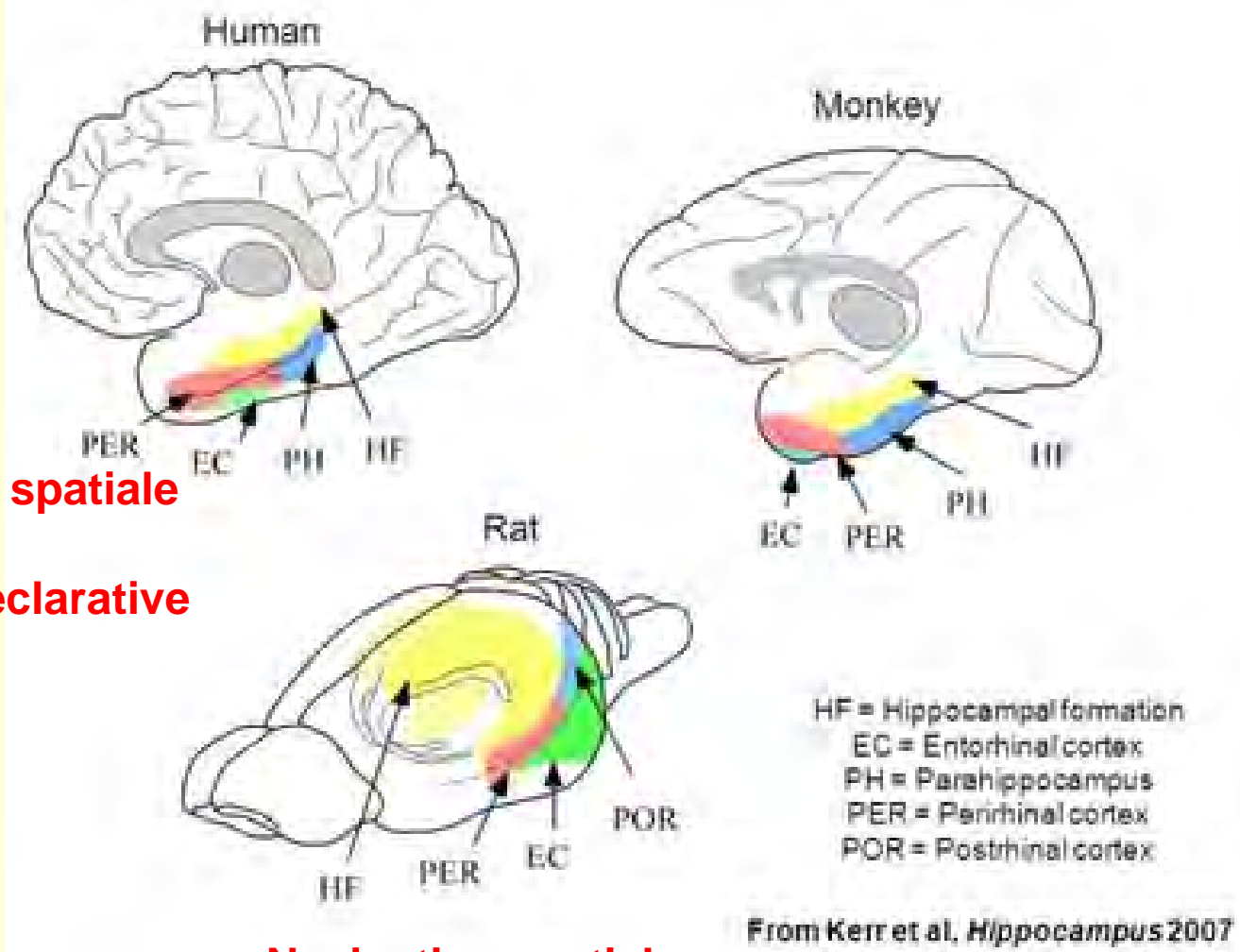


MICHAEL L. ANDERSON

Le bricolage
de l'évolution



Navigation spatiale
+
Mémoire déclarative



Navigation spatiale

Exemple très général.

Mais Michael Anderson va plus loin...

Précis of After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain

To be published in Behavioral and Brain Sciences (in press)

Cambridge University Press **2015**

http://journals.cambridge.org/images/fileUpload/documents/Anderson_M_BBS-D-15-00178_preprint.pdf

“Neural reuse is a form of neuroplasticity whereby neural elements originally developed for one purpose are put to multiple uses.

A diverse behavioral repertoire is achieved via the creation of multiple, nested, and overlapping neural coalitions, in which each neural element is a member of multiple different coalitions and cooperates with a different set of partners at different times.

For example, Russell Poldrack (2006) estimated the **selectivity of Broca's area** by performing a Bayesian analysis of 3,222 imaging studies from the BrainMap database (Laird et al. 2005).

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

Similarly, several statistical analyses of experiments from large collections of neuroimaging results (Anderson et al. 2010; Anderson & Pessoa 2011; Anderson, Kinnison & Pessoa 2013) demonstrate that **most regions of the brain—even fairly small regions—appear to be activated by multiple tasks** across diverse task categories (Anderson 2010b).

These results, [...] also suggest that the brain achieves its variety of function by using the same regions in a variety of circumstances, putting them together in different patterns of **functional cooperation**.

“given these findings, we should conceptualize the functional structure of the brain in terms of **a set of fundamental computational operators—I called them “workings”** (Bergeron 2007)—each of which have many different higher-level cognitive “uses”.

This differed from the sort of strict localization advocated by Posner, Kanwisher and others (Posner et al. 1988; **Kanwisher** 2010) only in the expectation that these workings would be multi-modal, multi-domain operators, capable of contributing to task processes across perceptual modalities and cognitive domains—a conceptual and architectural reform that suggested that the operators might *not* look like **those typically postulated by contemporary cognitive theories**. [...]

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

Nancy Kanwisher, professor of cognitive neuroscience in the Department of Brain & Cognitive Sciences at Massachusetts Institute of Technology.



- 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

Thus, the best current evidence seems to suggest that while some of the observed functional diversity is due to the fact that a given circuit in a given configuration **is often useful in multiple contexts**,

some of the observed diversity is likely *a/so* due to the fact that the local network **can be in multiple different states.**”

(Neuromodulation : vendredi pm)



« 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.*

À l'échelle « macro » :

Human **Connectome** Project

(<http://www.humanconnectomeproject.org/>)

Projet de 5 ans **initié en 2010** qui a reçu US \$40-million de l'US National Institutes of Health (NIH) à Bethesda, Maryland et qui aspire à cartographier le connectome humain en utilisant **plusieurs techniques**:

Diffusion-spectrum imaging (DSI)

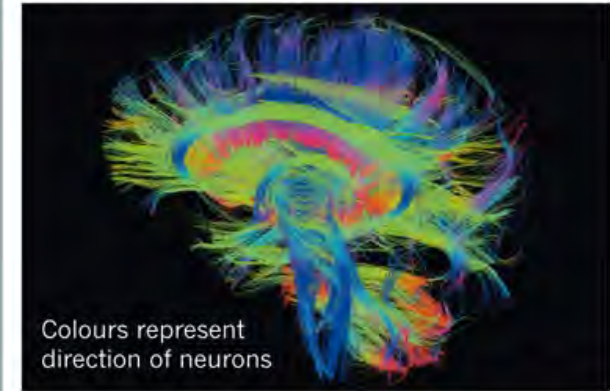
Resting-state functional MRI (rs-fMRI)

SCANNING THE CONNECTOME

The Human Connectome Project aims to trace the brain's neural network using advanced imaging techniques, both of which rely on magnetic resonance imaging (MRI).

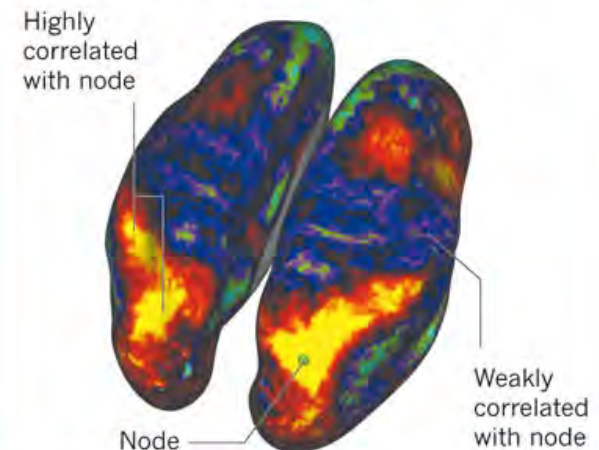
Mapping structure

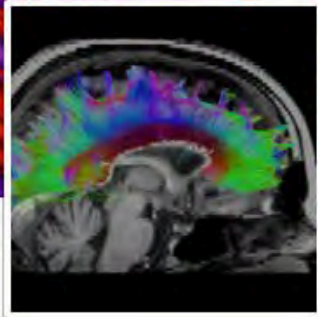
Diffusion spectrum imaging detects the movement of water molecules that flow along nerve fibres in the brain. The result is a map of the brain's neuronal network.



Mapping function

Resting-state functional MRI maps resting brain activity, then looks for correlations between one area and another. Highly correlated areas are thought to have some kind of functional link.



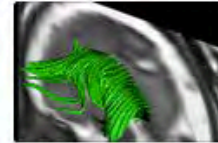


Diffusion Imaging

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)



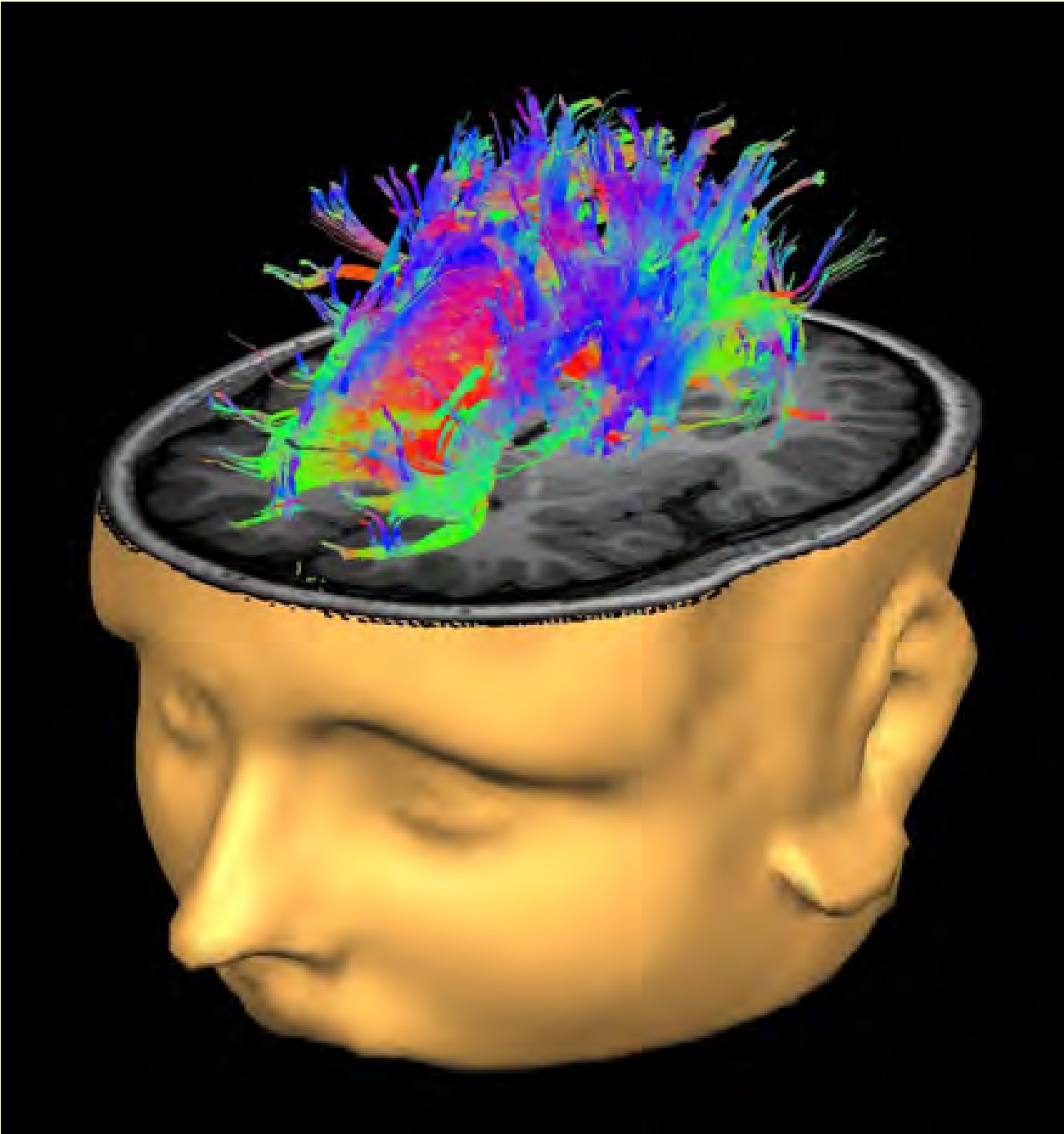
Diffusion Tensor Imaging (DTI)

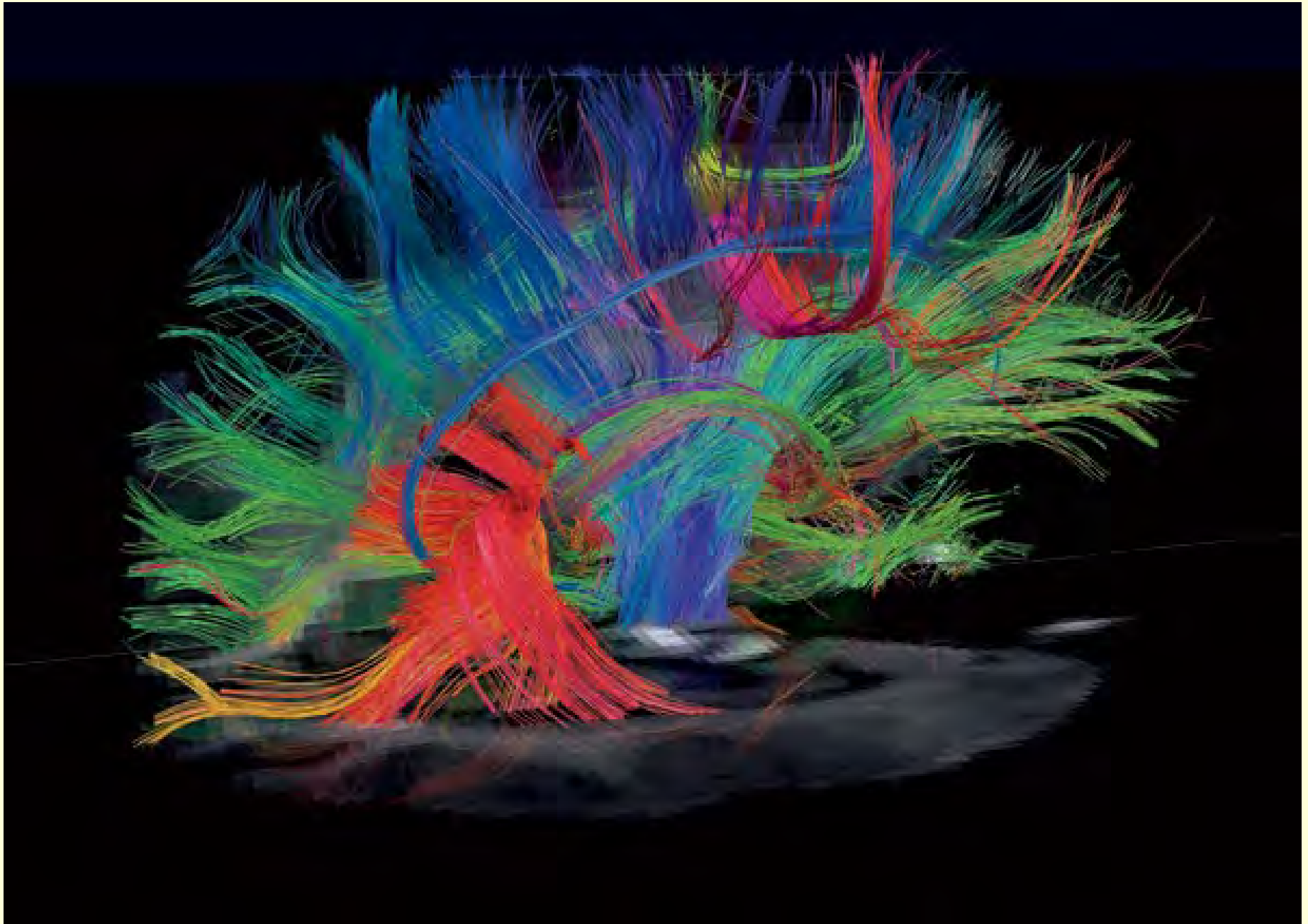
Variantes :

diffusion weighted imaging (DWI)

diffusion spectrum imaging (DSI)

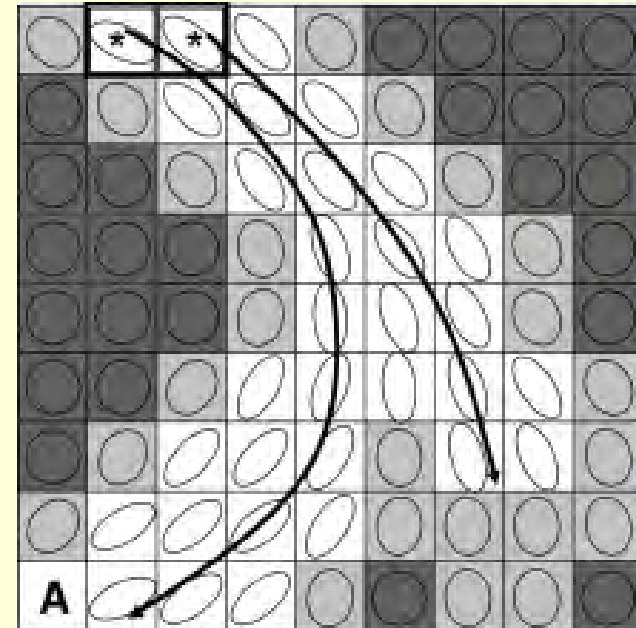
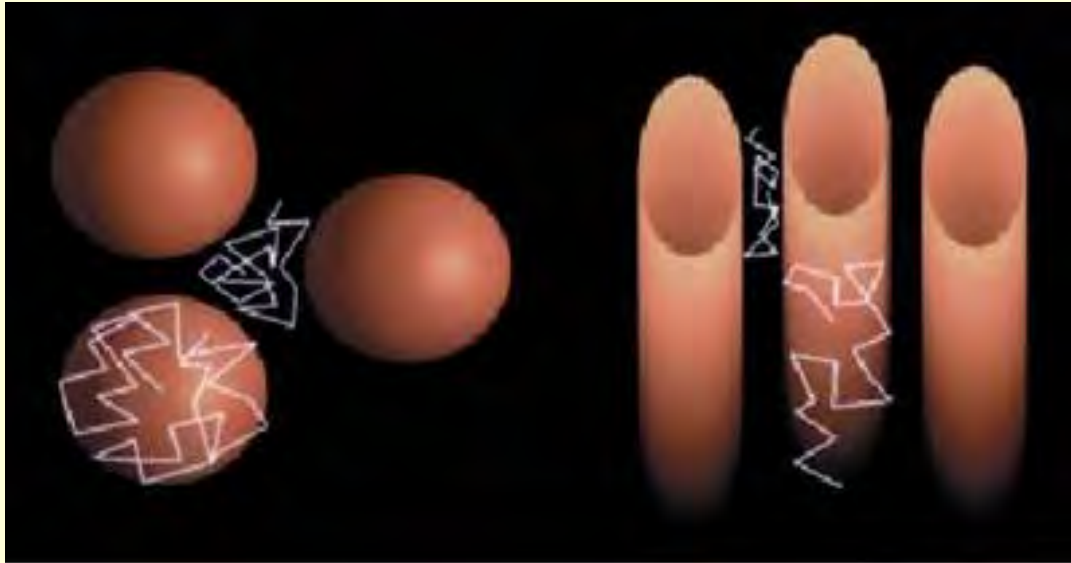
- Premières images : **1985**
- Applications cliniques, en particulier pour visualiser les voies nerveuses lésées par des ACVs ou des pathologies impliquant la matière blanche.
- Méthode **non invasive** qui permet de visualiser les grandes connections entre différentes parties du cerveau sur une base individuelle
- Outil majeur pour le projet du **Connectome Humain**



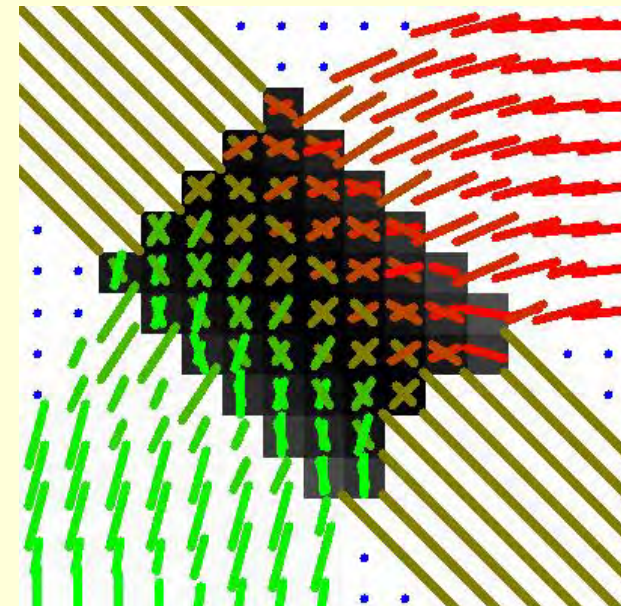


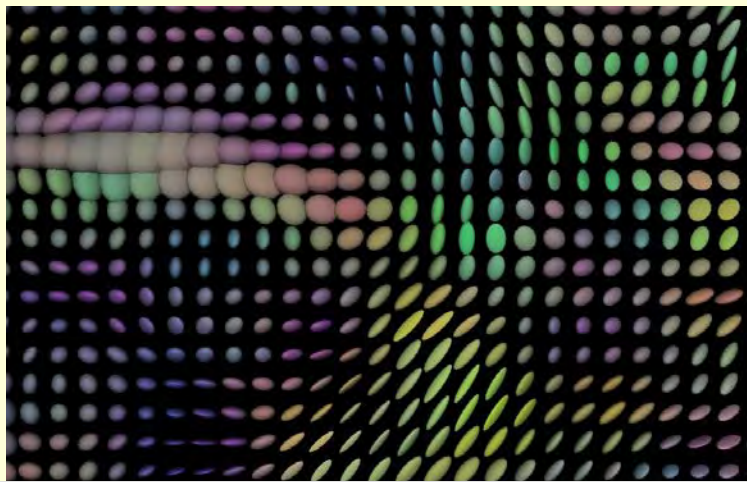
Principe à la base de l'imagerie de diffusion

Diffusion Tensor Imaging (DTI)



diffusion spectrum imaging (DSI)





PD Orientation Viewer

Scheme file options

no flip
 flip x
 flip y
 flip z
 Y X Z
 SAVE SC

Show vectors
 Zoom

Grey gamma

 RGB gamma

96 137 0
0.704768 0.176565 -0.687114 (0.000000)

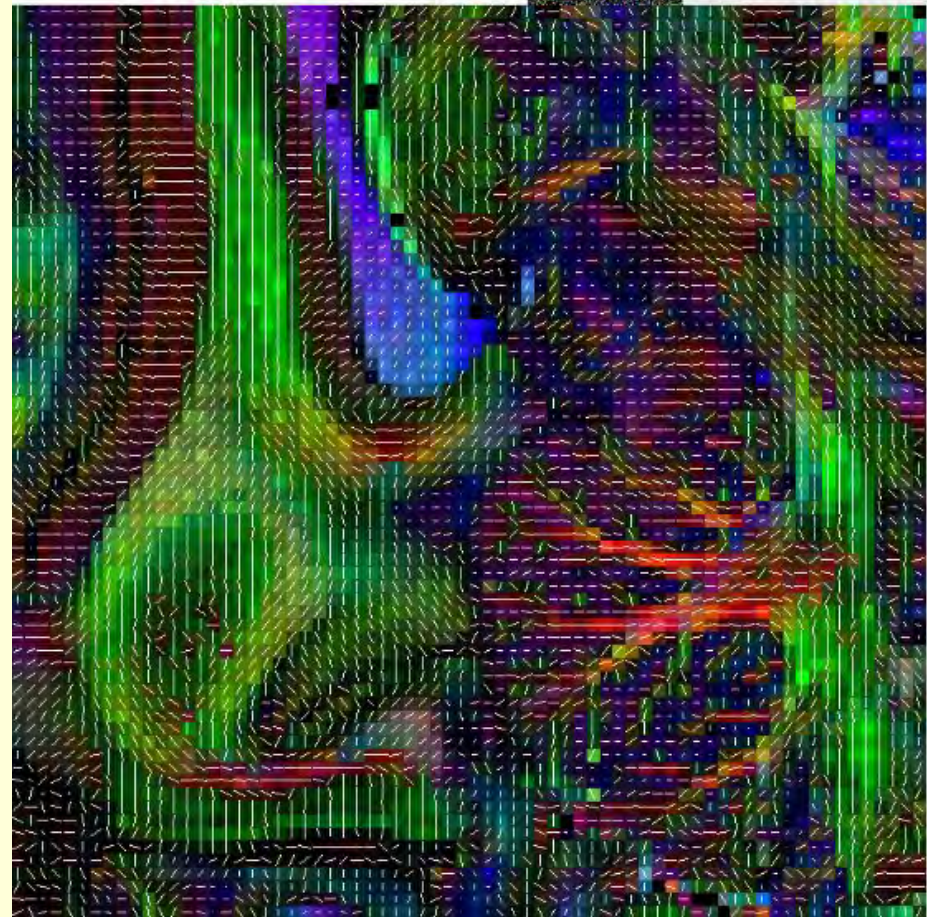
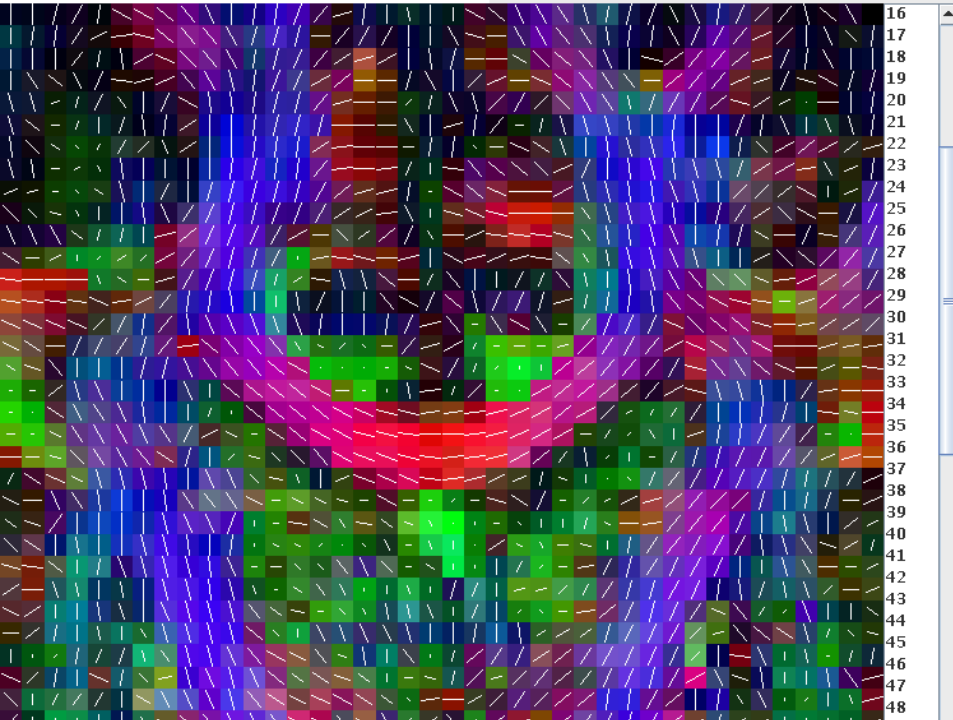
PD Orientation Viewer

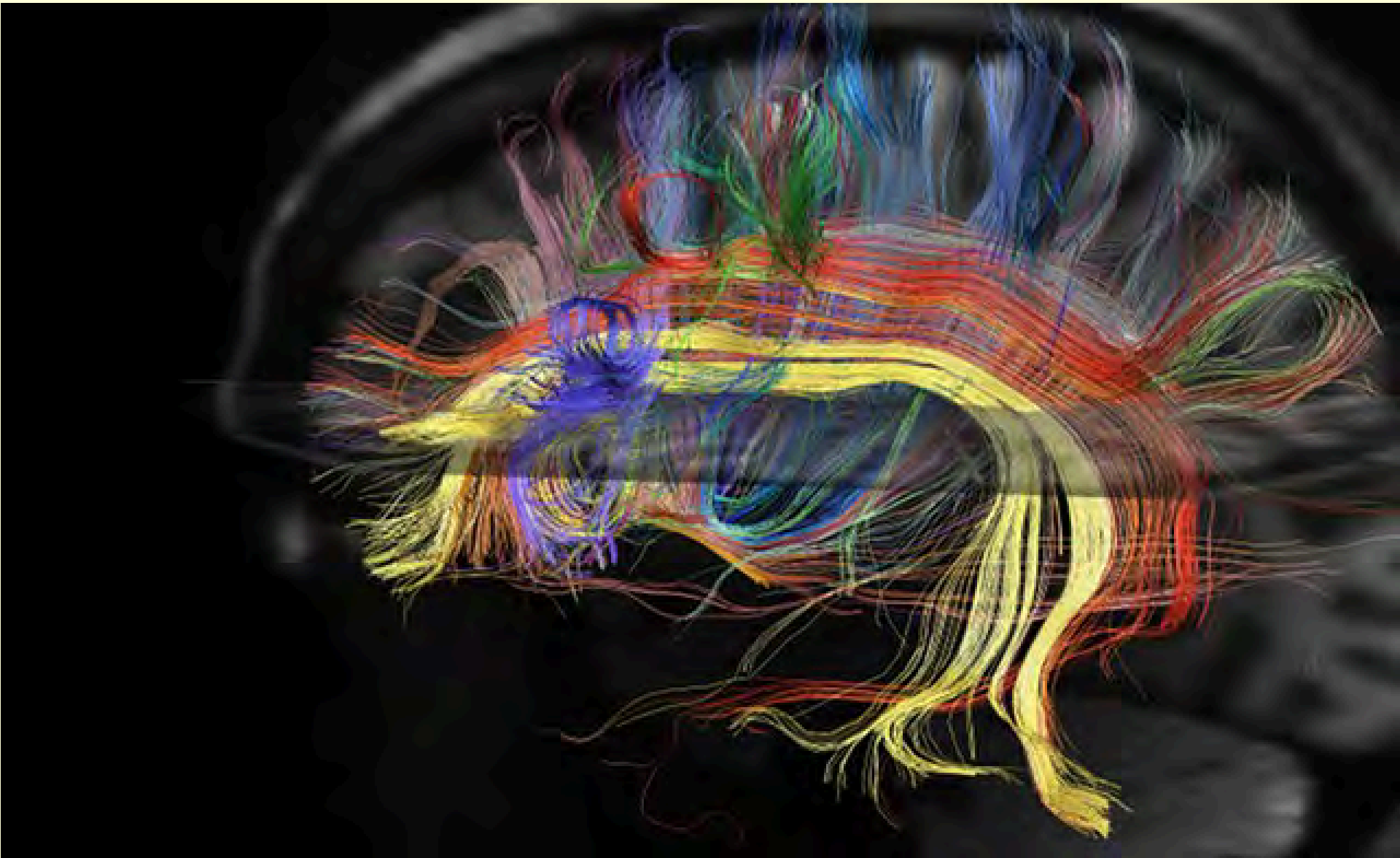
Show vectors
 Zoom

Grey gamma 0.7

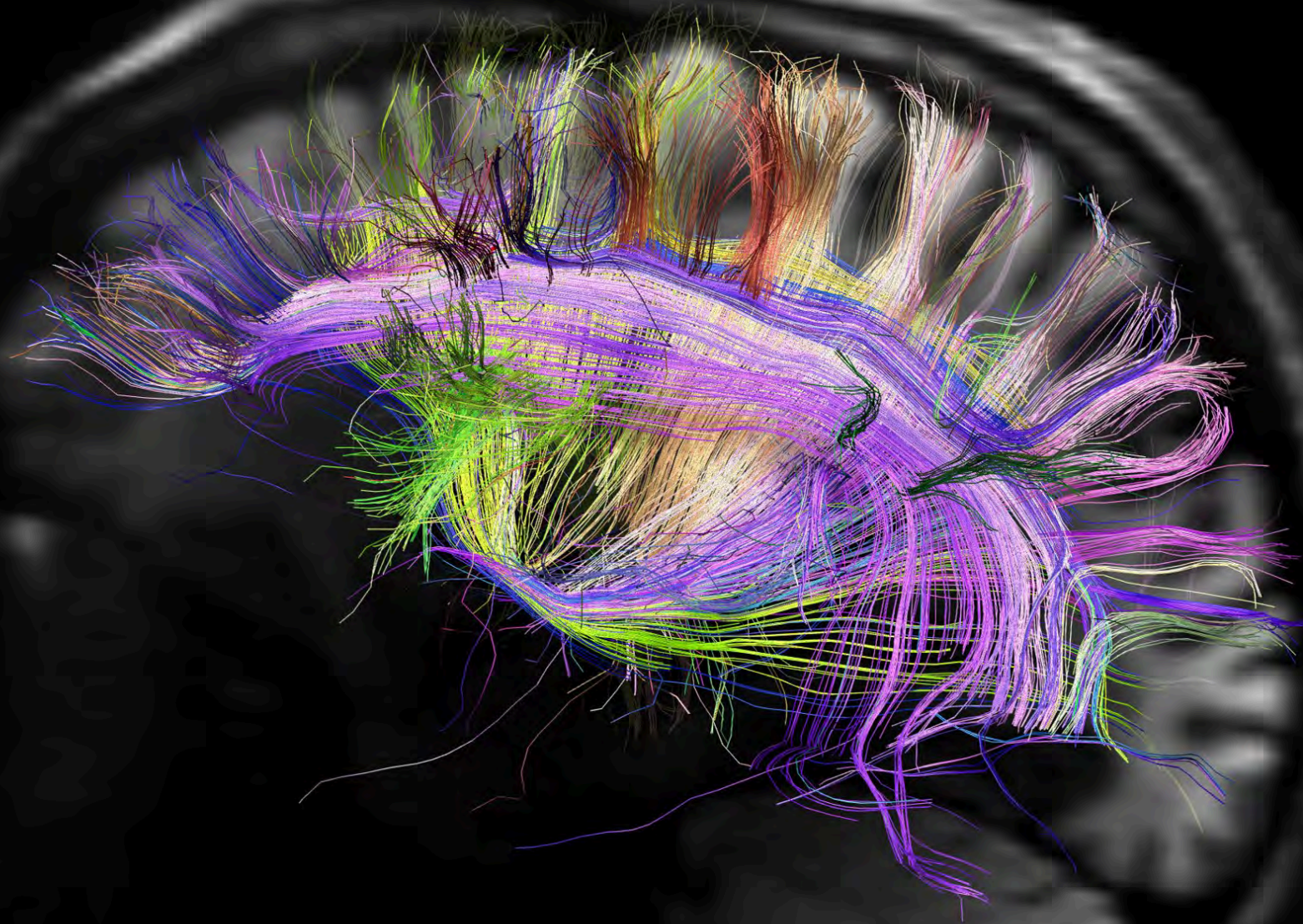
 RGB gamma 1.0

74 56 37
-0.293338 0.759015 0.581248 (0.135361)





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



Sherbrooke Connectivity Imaging Lab > Videos

http://scil.dinf.usherbrooke.ca/?page_id=468&lang=en

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]

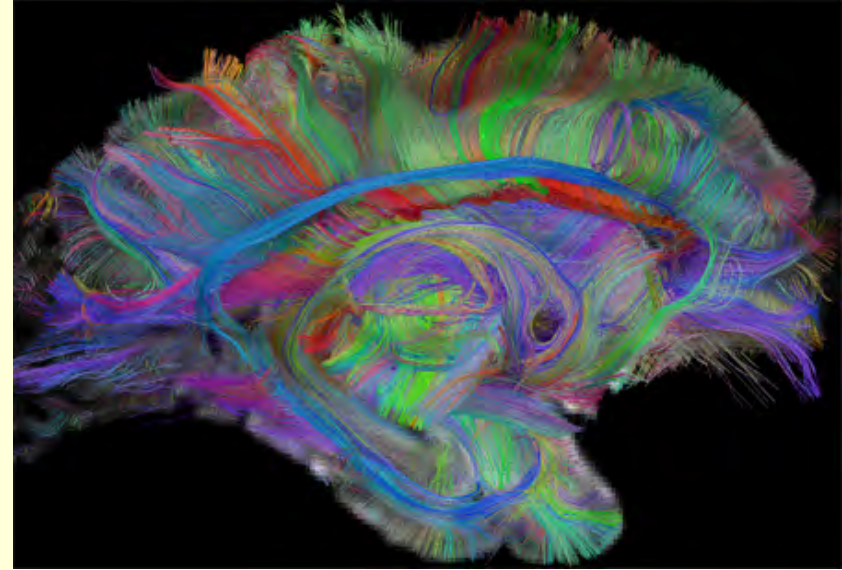
<http://tvanouvelles.ca/lcn/infos/regional/sherbrooke/archives/2014/01/20140127-192013.html>

27 janvier **2014**



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. »

Sans parler des cellules gliales : dans aucun connectome...

Diffusion-spectrum imaging (DSI)

Resting-state functional MRI (rs-fMRI),

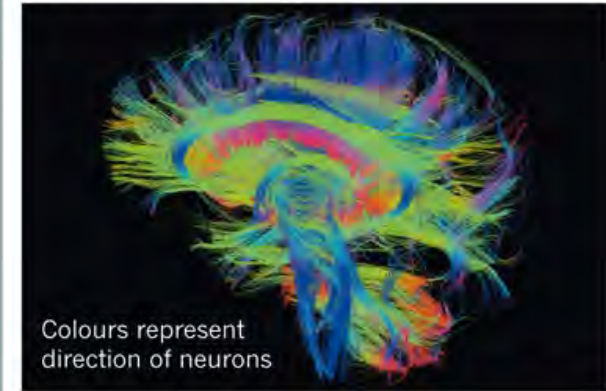
Outre les approches d'investigation **anatomique** de ces « réseaux densément interconnectés », il y a tout la recherche en imagerie cérébrale sur la **connectivité fonctionnelle (fcMRI)**.

SCANNING THE CONNECTOME

The Human Connectome Project aims to trace the brain's neural network using advanced imaging techniques, both of which rely on magnetic resonance imaging.

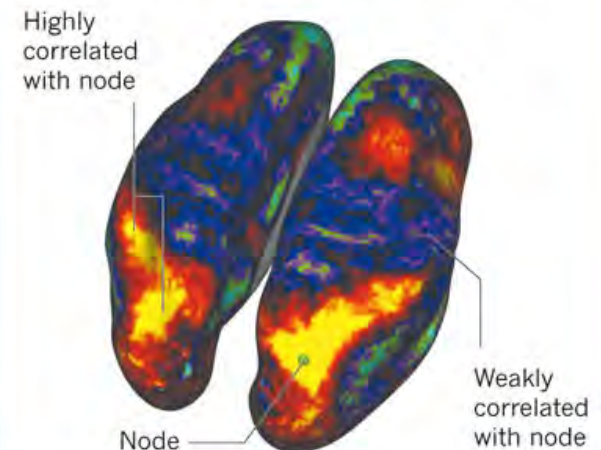
Mapping structure

Diffusion spectrum imaging detects the movement of water molecules that flow along nerve fibres in the brain. The result is a map of the brain's neuronal network.



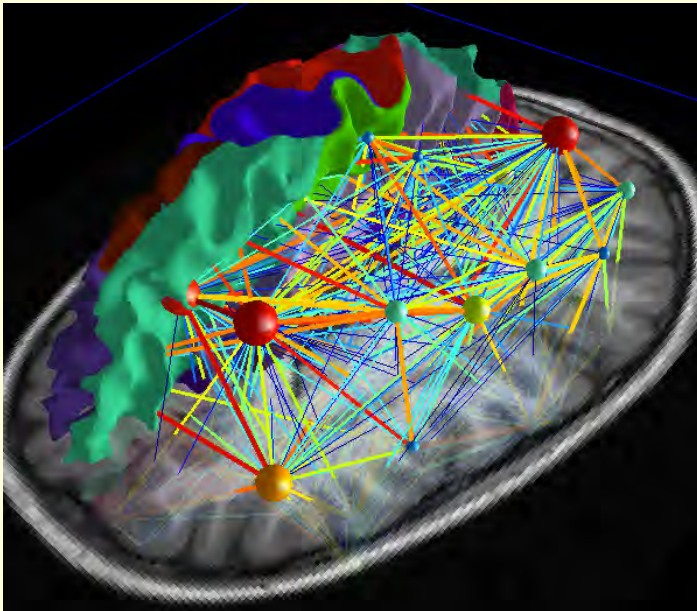
Mapping function

Resting-state functional MRI maps resting brain activity, then looks for correlations between one area and another. Highly correlated areas are thought to have some kind of functional link.

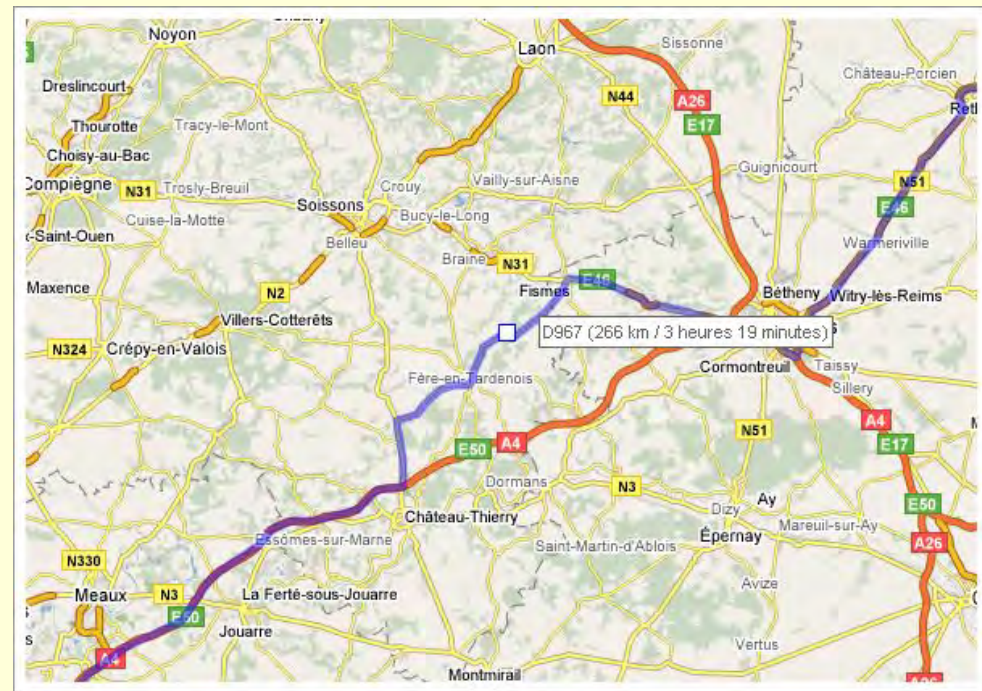


Établir la **connectivité fonctionnelle (fcMRI)** entre différentes régions du cerveau :

- en mesurant les fluctuations spontanées de l'activité cérébrale on tente d'identifier des régions qui ont naturellement tendance à « **travailler ensemble** ».



<http://its5www.epfl.ch/diffusion>



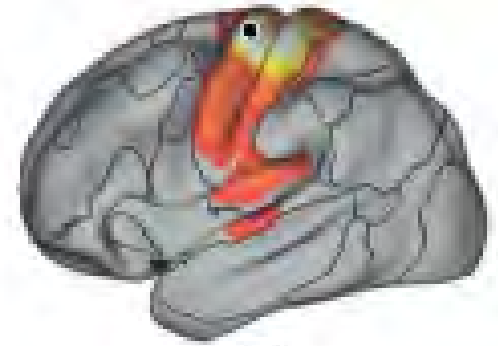


Visual

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

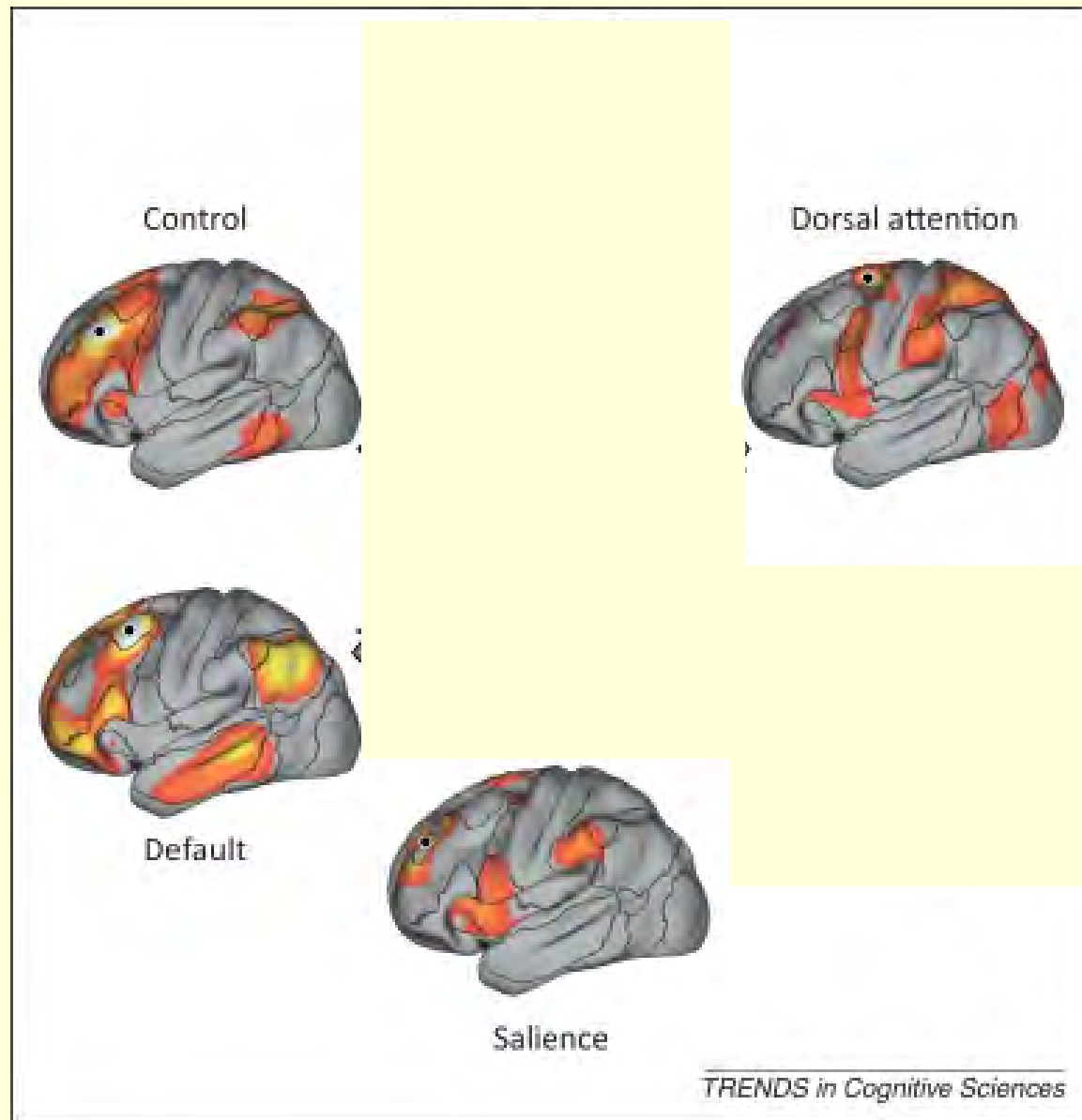
les réseaux obtenus affichent une **connectivité largement locale** (réseaux visuels et sensorimoteurs).

Somatomotor

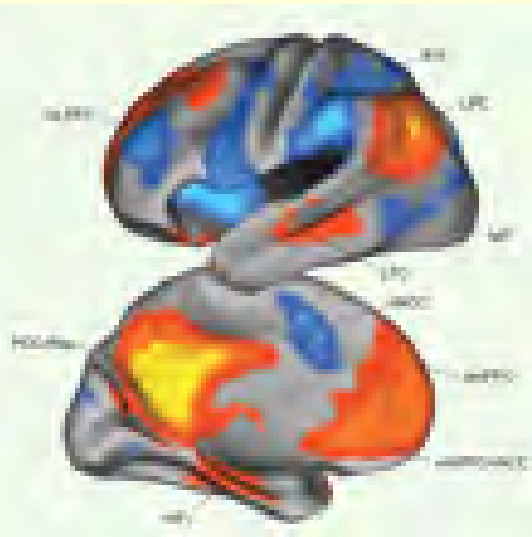


Mais si la « région semence » est placée dans les zones associatives, on observe des **réseaux distribués à l'échelle du cerveau**.

- Ceux-ci possèdent **peu de couplages forts dans les zones sensorielles ou motrices**.
- Ils sont aussi actifs durant des **processus cognitifs de haut niveau**.
- Et ils sont susceptibles **d'entretenir des relations complexes entre eux**.



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**

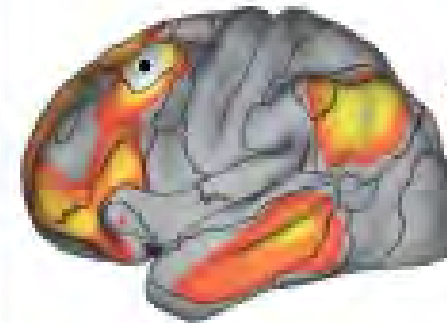


Lundi, 29 septembre **2014**

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

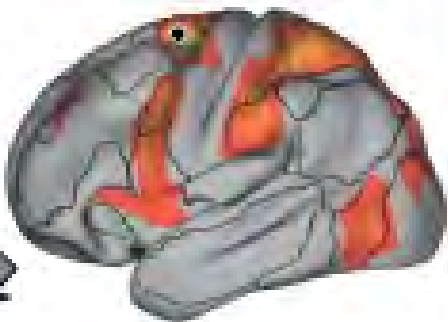
On se trouve souvent dans **deux grands états mentaux qui s'opposent** et sont, d'une certaine façon, mutuellement exclusifs.

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



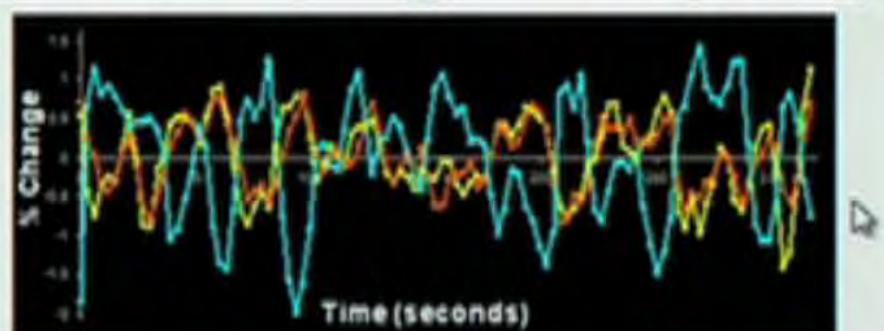
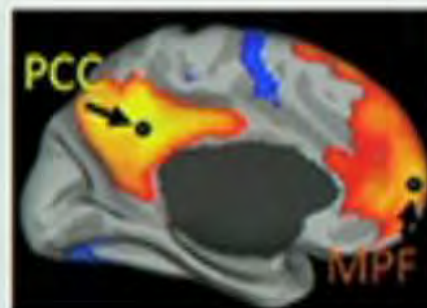
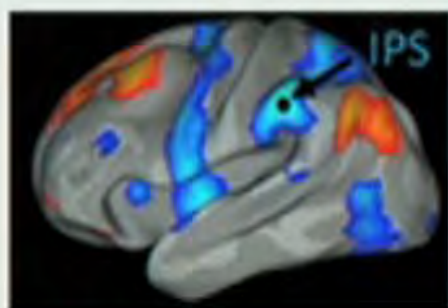
Ou soit, par l'entremise fréquente de régions frontales de notre cortex, nous concentrons notre **attention** sur une tâche cognitive pour la résoudre.



Default Mode Network



Dorsal Attention Network



Fox et al (2005) PNAS

Et certaines pratiques comme les thérapies cognitives ou la méditation peuvent infléchir la balance entre les deux modes vers une plus grande prise en charge par le mode **attentionnel**.

Autrement dit, nous fournir les outils mentaux pour un **meilleur contrôle « top down »** (ou d'une certaine «autodéfense», pour employer un terme à la mode) face à la jungle médiatique et publicitaire qui nous assaille quotidiennement.

Critique / limites du connectome :

Olaf Sporns

Discovering the Human
Connectome

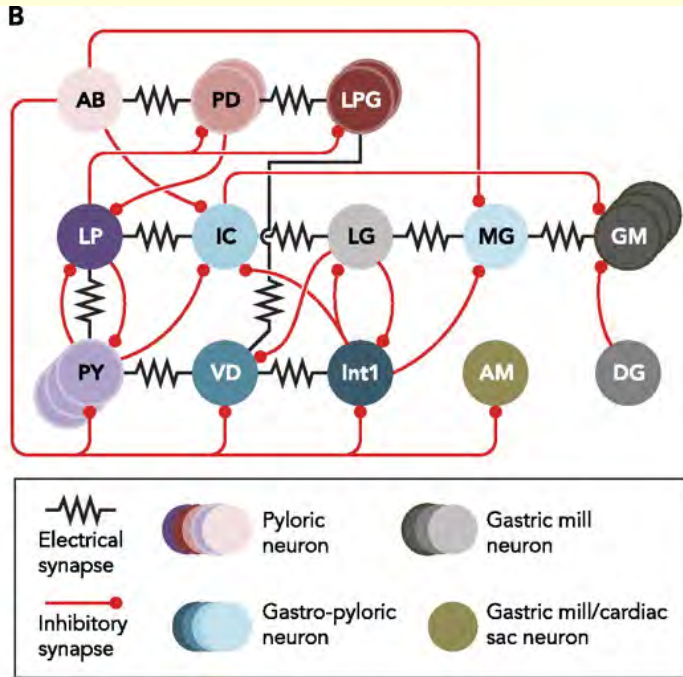


2012

Olaf Sporns :

*“When I was a graduate student back in the 1980s, I remember **people at the time selling the Human Genome Project, rather aggressively**, as that is the one thing that, if we knew, we would know everything about human biology. It has not turned out that way. And for good reason; because there is much more to us than our genome is.”*

***Same thing for the connectome.** I think we will now have connectome data. Over the next few years, there will be more and more of these studies; more and more data sets will arrive. 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.”*

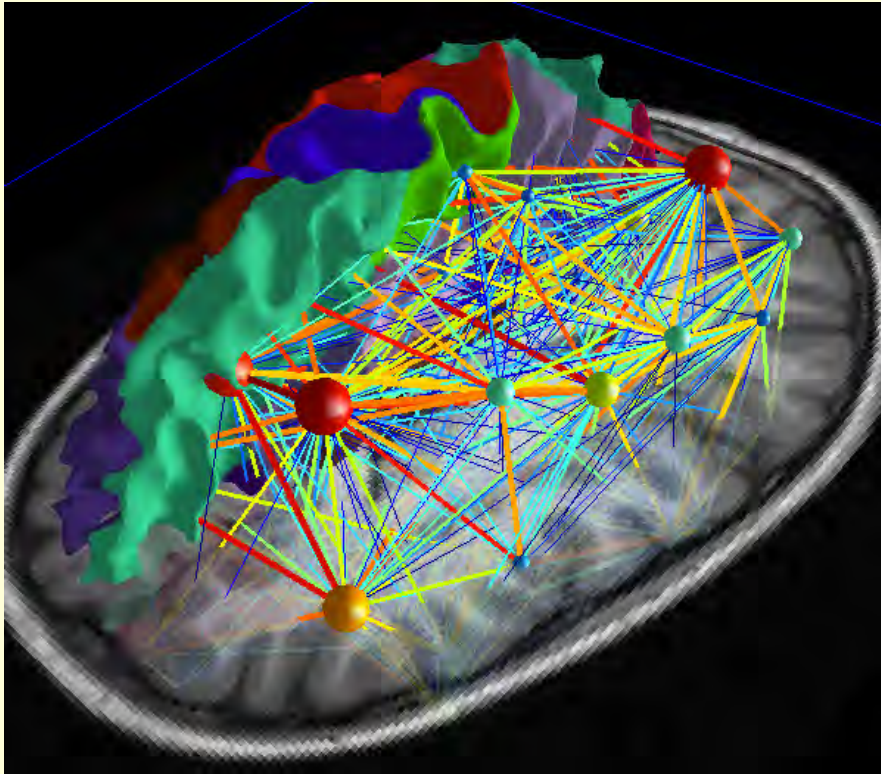


“What Eve Marder has shown, quite convincingly, is that **you can have the same structural circuit**—the same circuit of neurons connected by synaptic connections—and depending on what kind of neurotransmitters, what kind of neuromodulators are active at each given time in the circuit, **the circuit can do different things.**

- Olaf Sporns



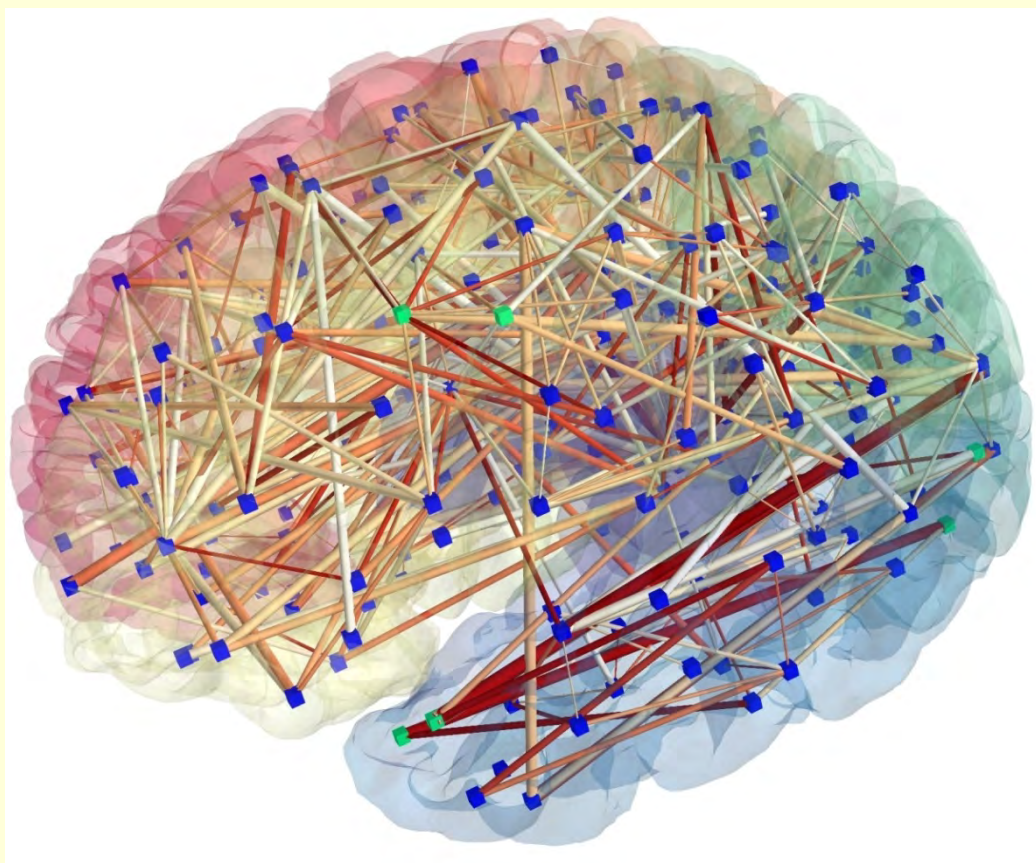
[Le même circuit pouvait avoir plusieurs types d’outputs différents dépendamment des neuromodulateurs qu’on lui appliquait.]



The message here is that **having the structural layout—the wiring diagram of the circuit—alone, may not be the whole story.”**

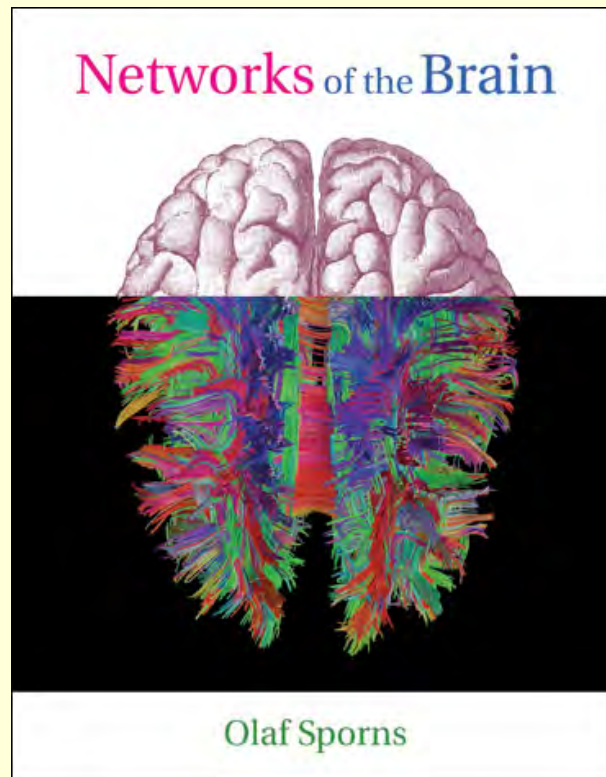
- Olaf Sporns

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



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

La théorie des réseaux



Publié en 2010

Modular and hierarchically modular organization of brain networks

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

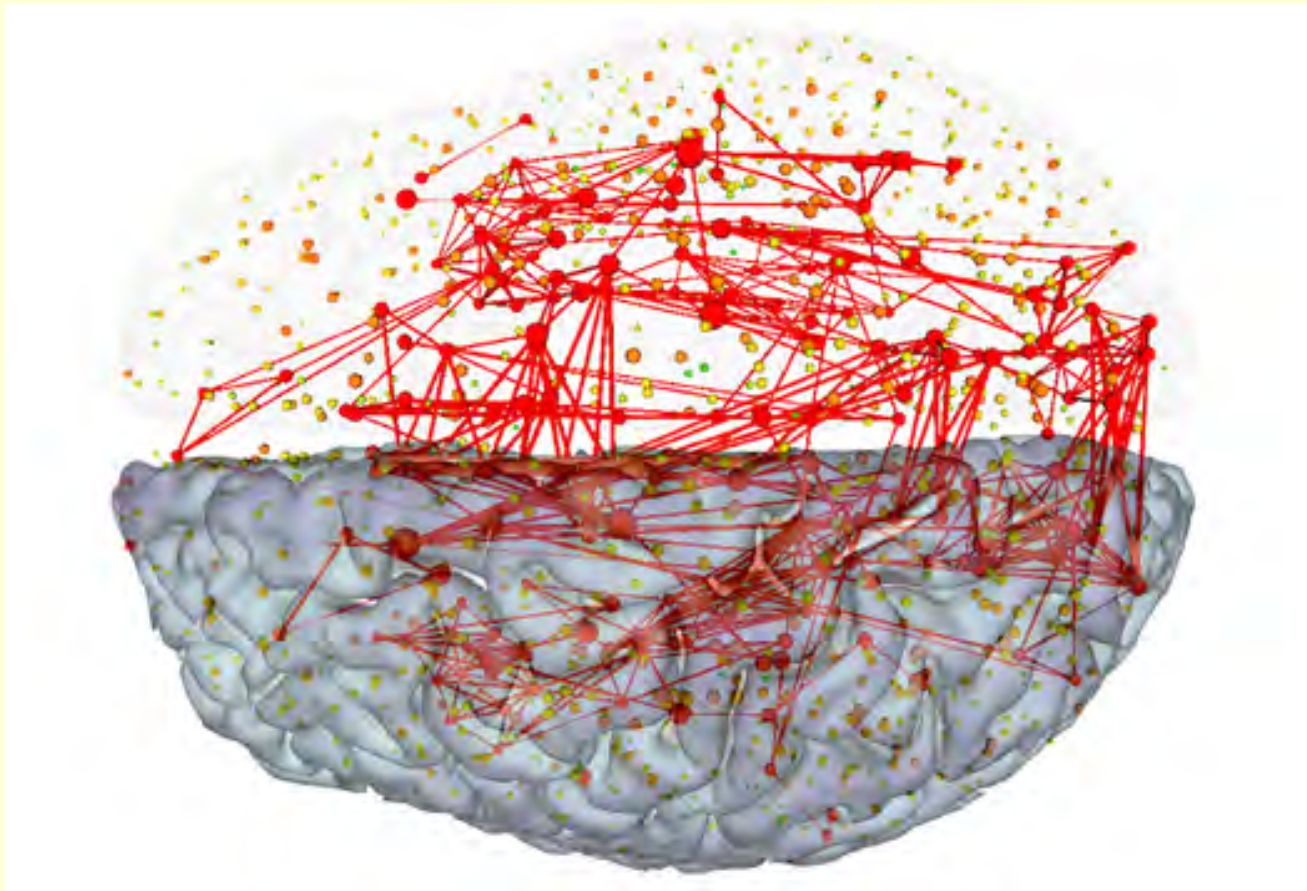
Workshop : **Dynamiques
invariantes d'échelle et
réseaux en neurosciences**

on April 8, **2013**

Where: Centre de recherches
mathématiques Université
de Montréal

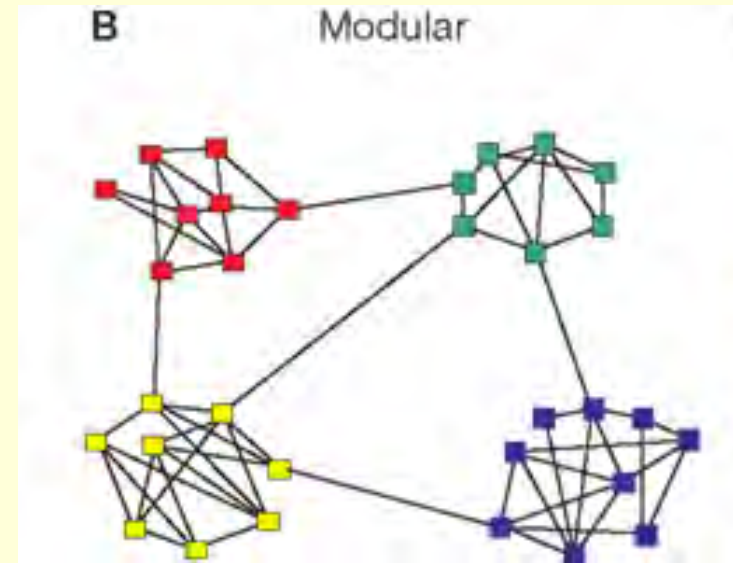
La « théorie des graphes » considère le « **réseau** » comme un ensemble d'arcs reliant des *nœuds* ou *pôles* (qui peuvent être des points massiques simples ou des sous-réseaux complexes) via des **liens** ou *canaux* (qui sont à leur tour des flux de force, d'énergie ou d'information).

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



De tels outils mathématiques ont permis de mettre en évidence une organisation **modulaire** du cerveau d'un type particulier appelé "**small world**".

(mais pas "un module = une fonction", plutôt dans le sens d'unité de traitement)

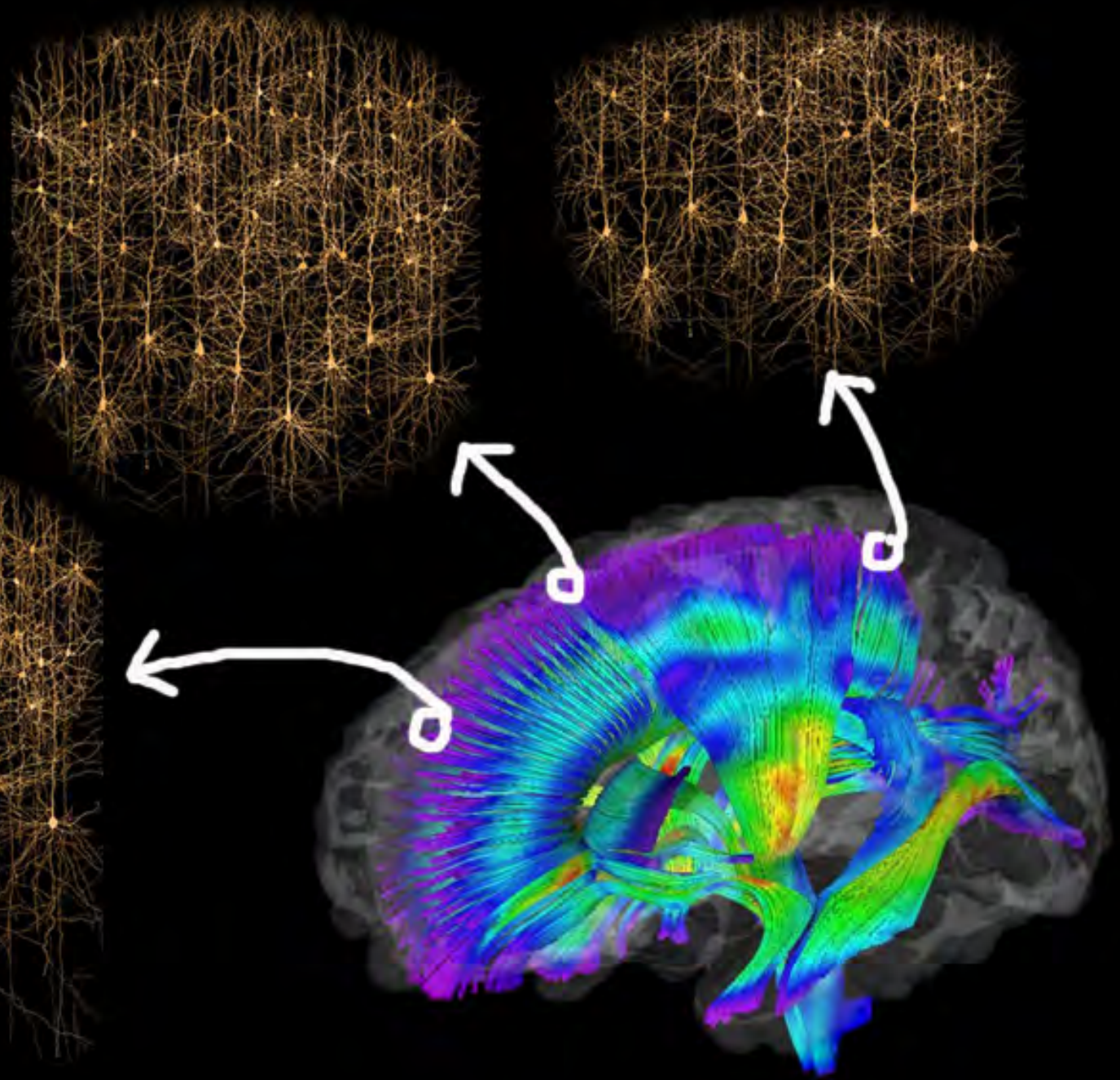


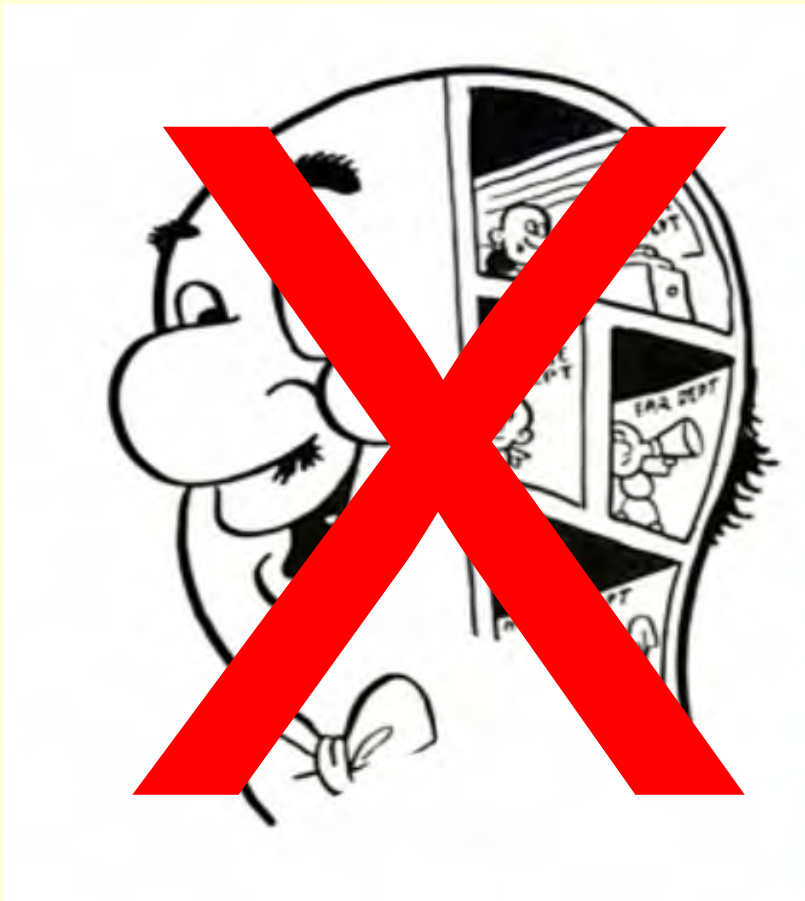
Ces études ont montré que les nœuds de tels réseaux, qu'ils soient des neurones ou des individus, ont tendance à établir des connexions avec **deux types bien distincts de ses semblables** : avec ses nombreux voisins immédiats, mais aussi avec quelques autres neurones ou individus très éloignés ou très populaires.

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.

« Grandes
autoroutes...

...et petites
rues locales.



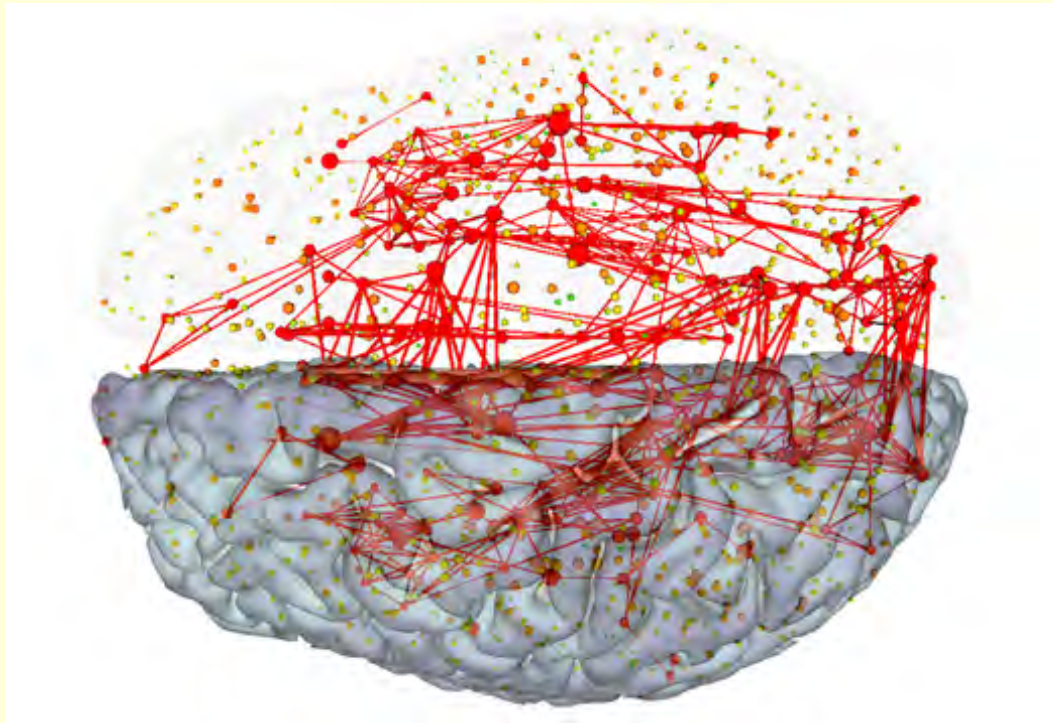


En résumé,
non seulement il n'y a pas
de « centre de.. »
dans le cerveau...

« There is no boss in the brain. »

- M. Gazzaniga

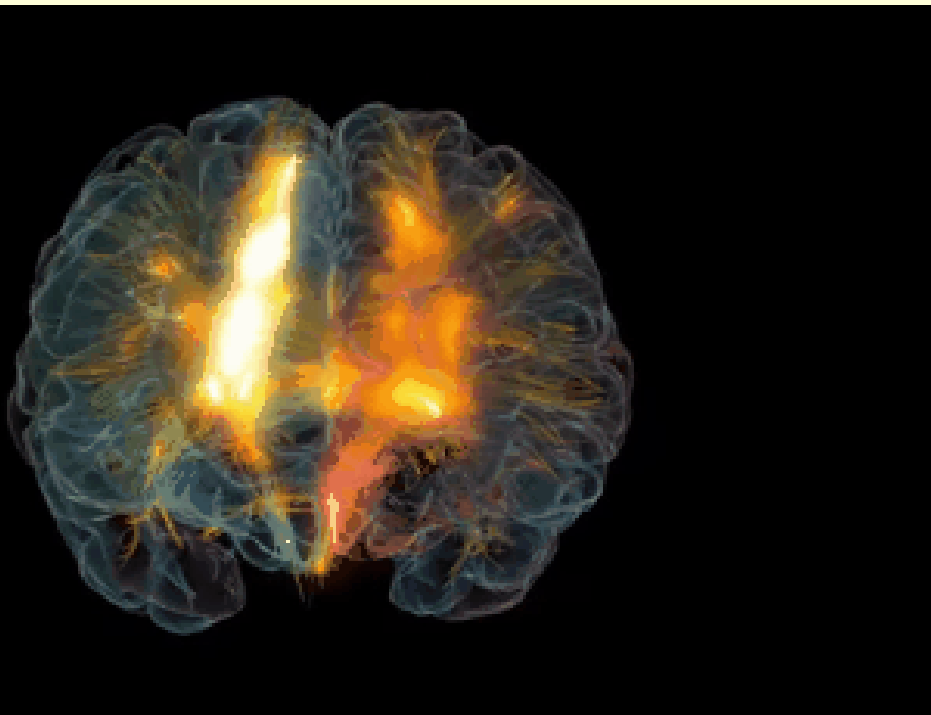


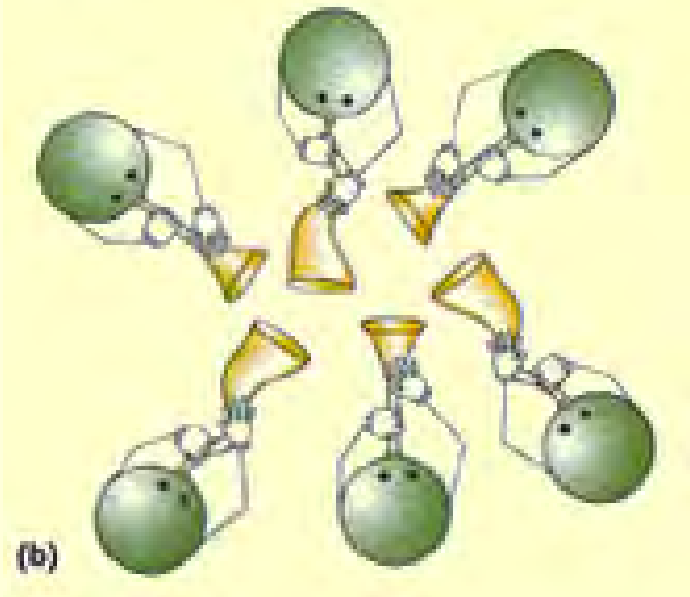


...et que c'est une machine qui
fonctionne massivement en
**parallèle et de manière
distribuée...**

...mais il faut aussi penser le cerveau en terme **d'activité dynamique** dans un **réseau largement distribué** !

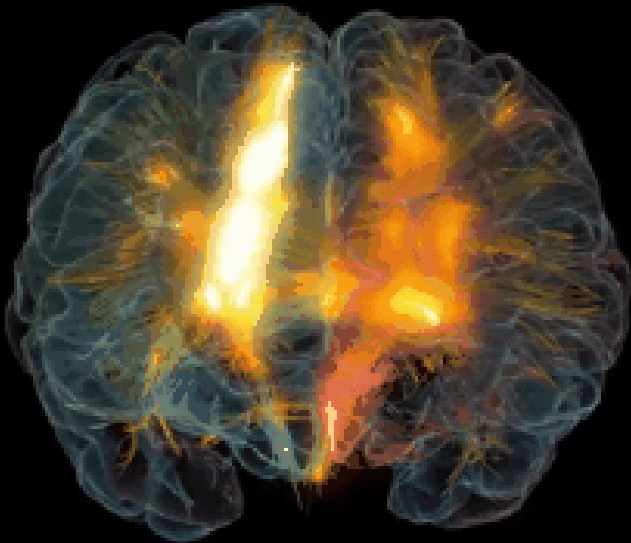
Un peu comme une **symphonie** !

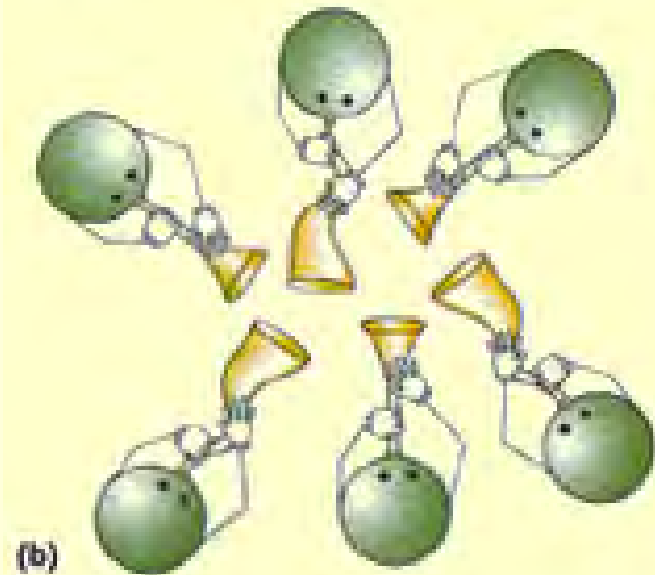




Ou mieux :

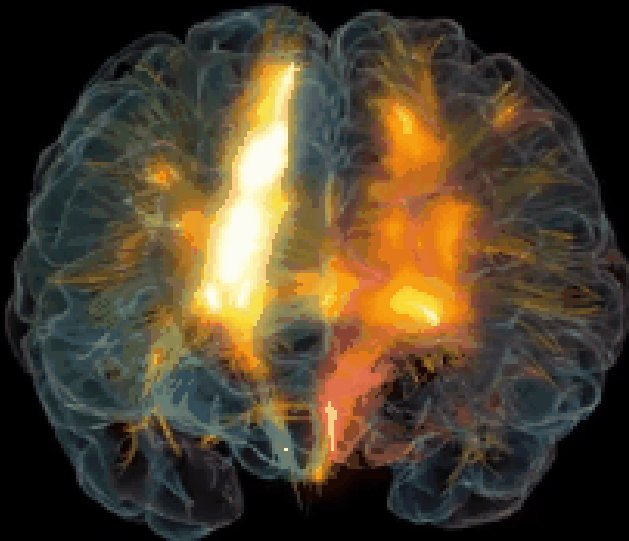
des musiciens de jazz
qui improvisent
en s'écoutant
mutuellement !





Ou mieux :

des musiciens de jazz
qui improvisent
en s'écoulant
mutuellement !



**C'est avec cette
activité dynamique**
dans les réseaux
cérébraux que nous
reprendrons demain...