

1^{ère} heure :
NOTRE HISTOIRE

évolution cosmique,
chimique, et biologique

émergence des systèmes
nerveux

hominisation



DÎNER

3^e heure :
CERVEAU HUMAIN

connectome

spécialisation cérébrale ?

oscillation et synchronisation

réseaux

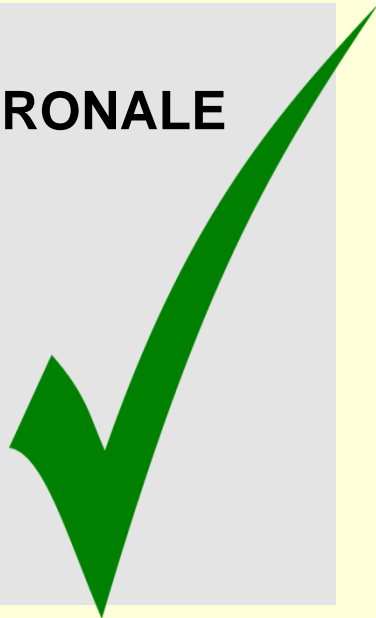
2^e heure :
GRAMMAIRE NEURONALE

neurone

cellule gliale

plasticité

mémoires



4^e heure :
FONCTIONS SUPÉRIEURES

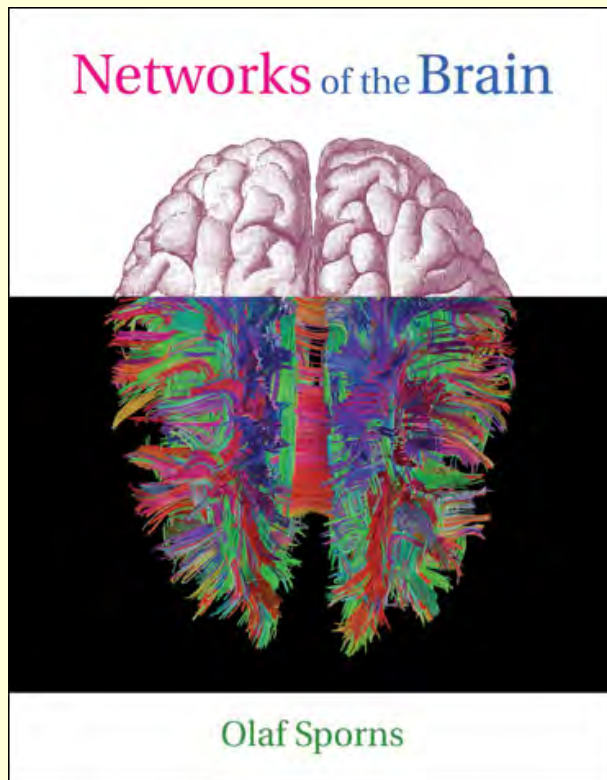
neuromodulation

attention

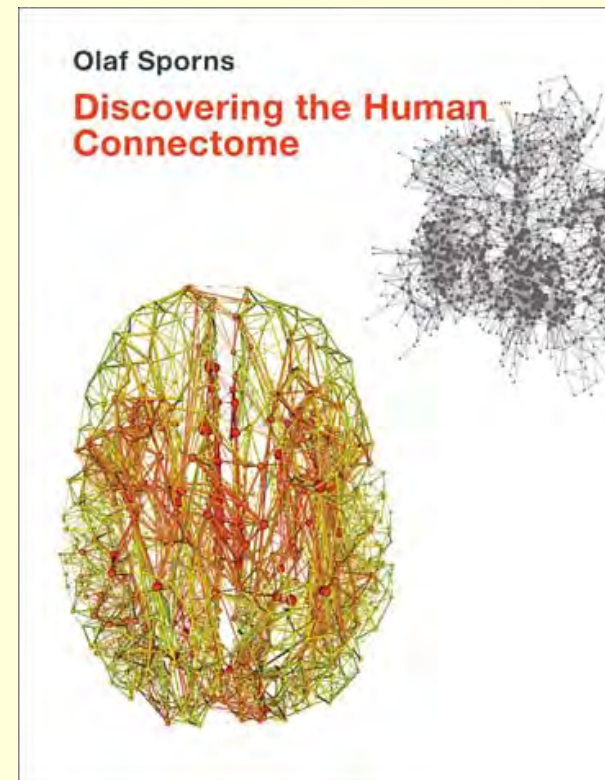
décision

conscience

Il y a plusieurs grands projets qui tentent d'établir la carte réelle des voies nerveuses des « vrais » cerveau humains.



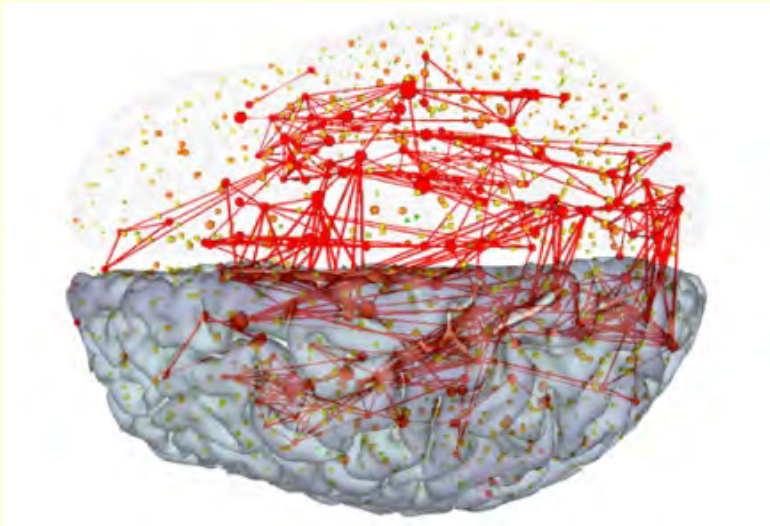
2010



2012

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

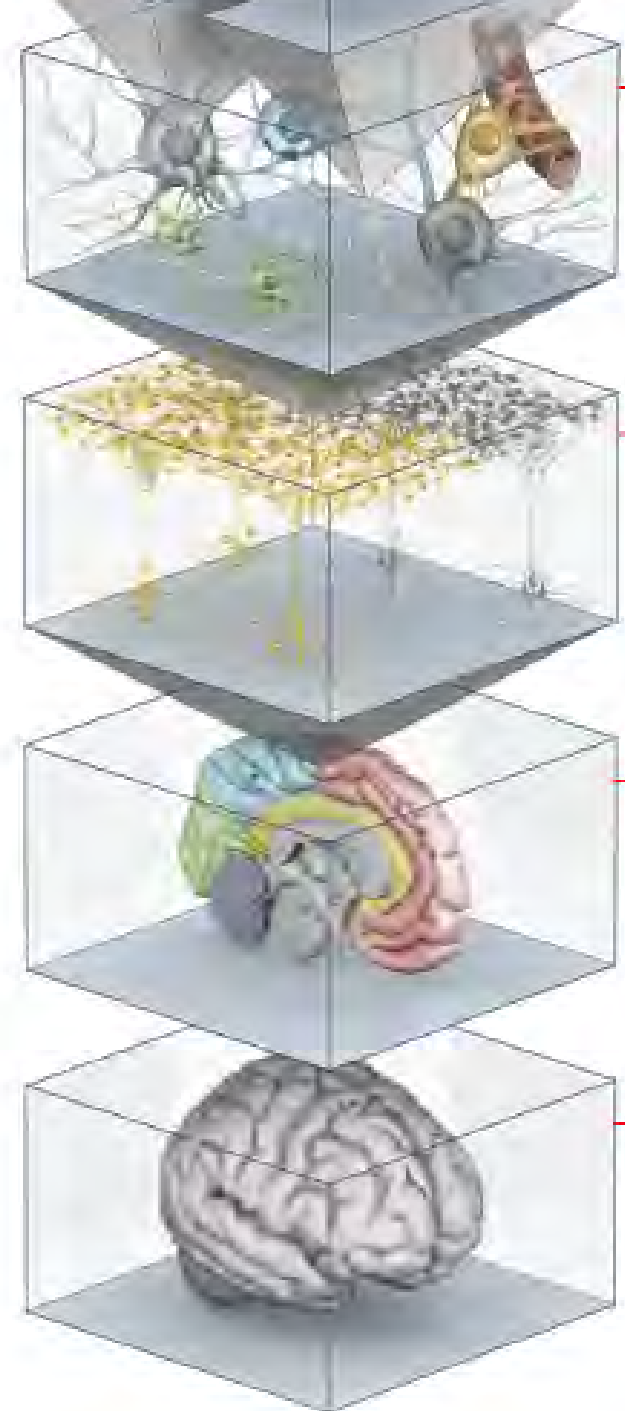
le « **connectome** » humain
(par analogie au génome).



*“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),

Mais il y a un problème d'échelle

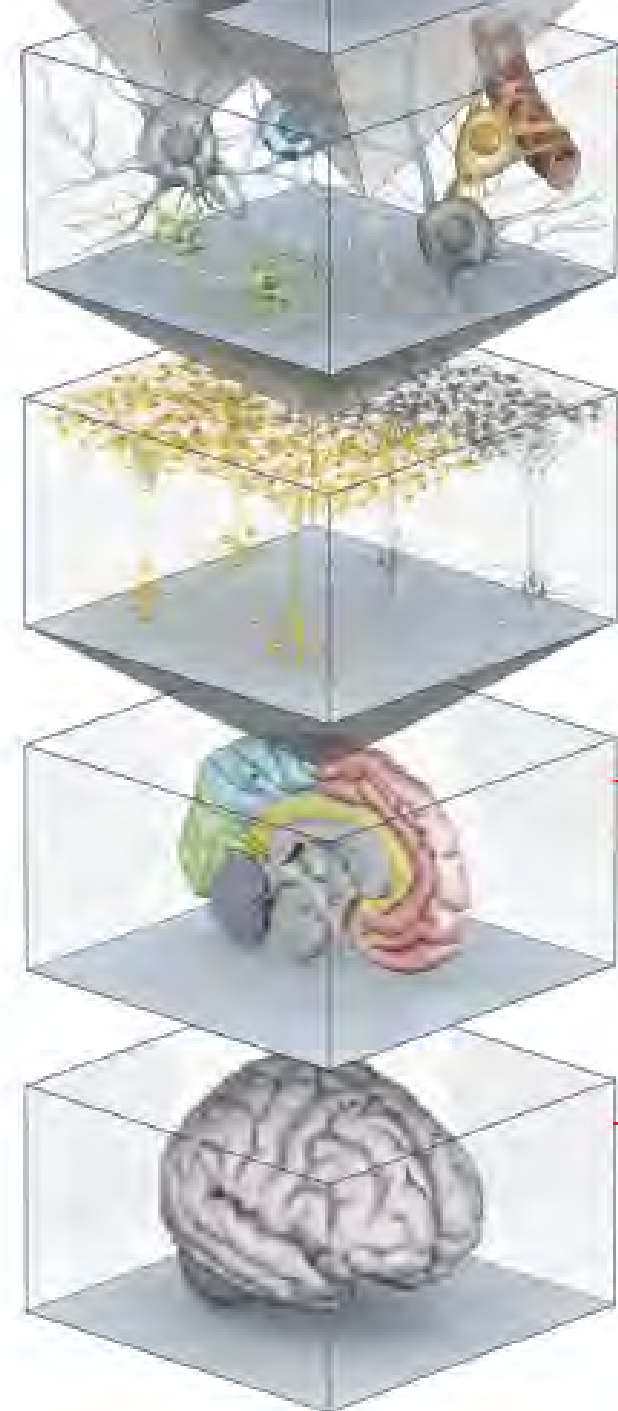


Aucune technique ne permet de considérer en même temps ce qu'il a...

à l'échelle « micro »

à l'échelle « meso »

à l'échelle « macro »



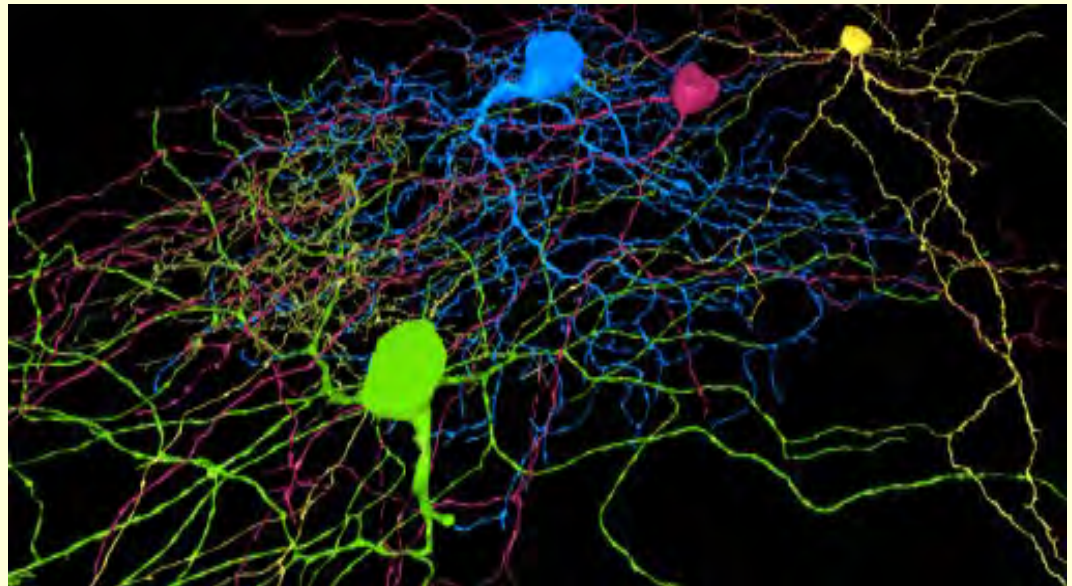
À l'échelle « micro » :

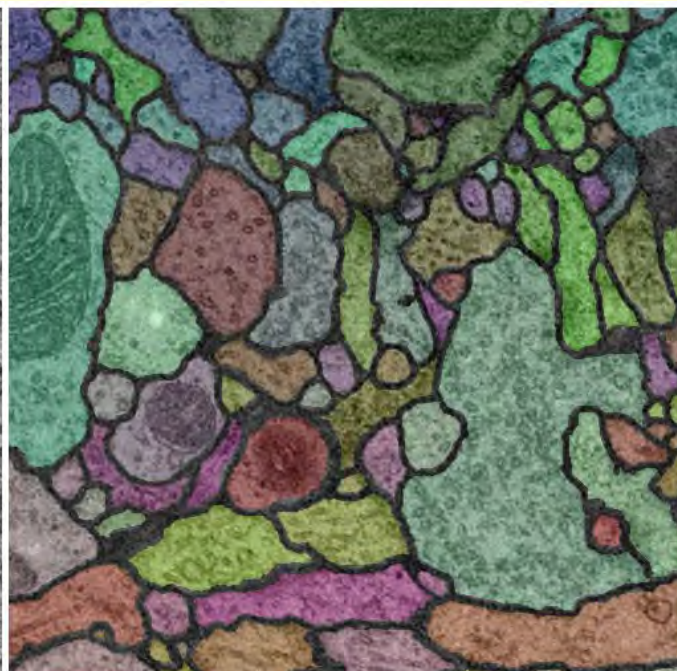
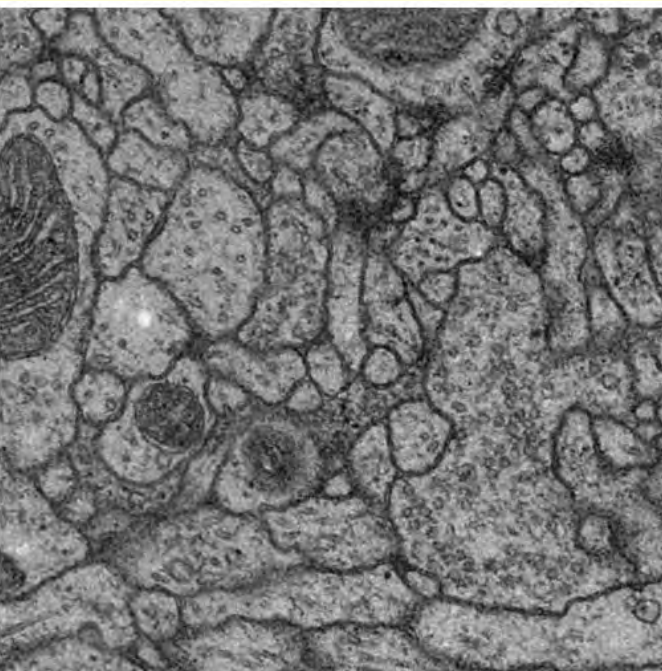
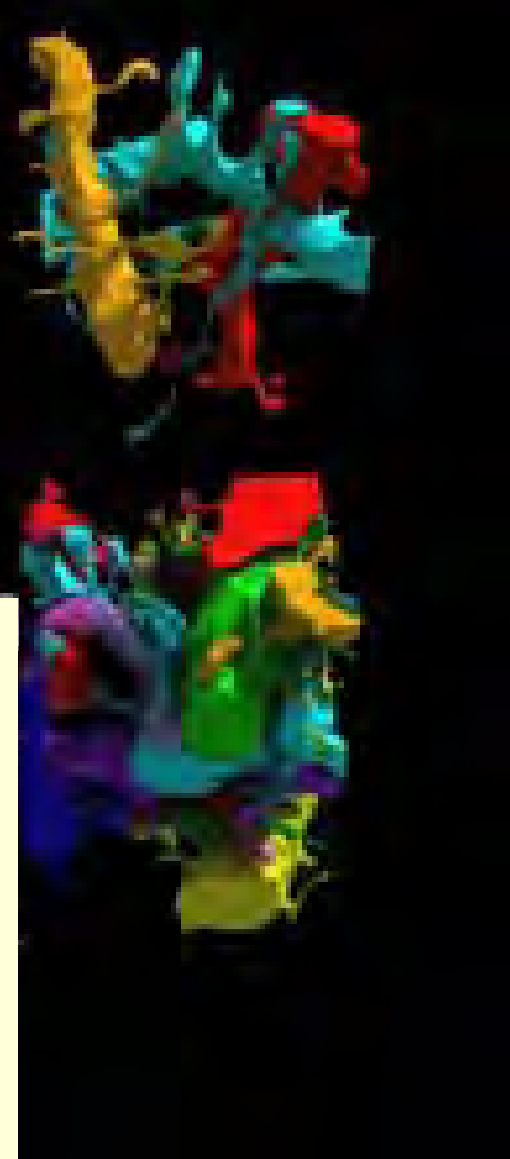
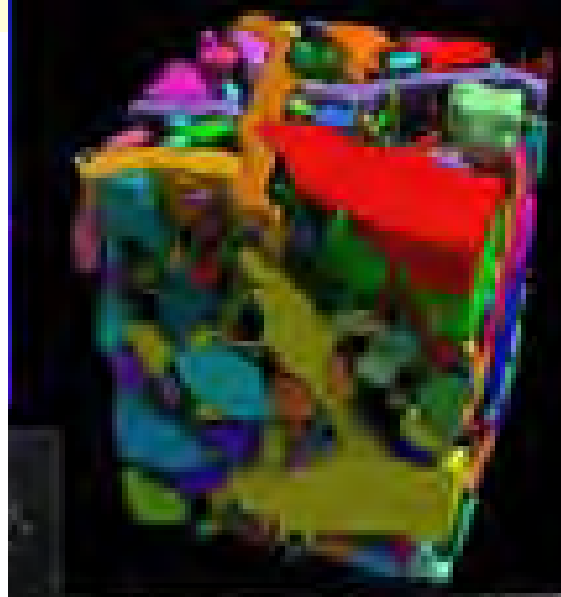
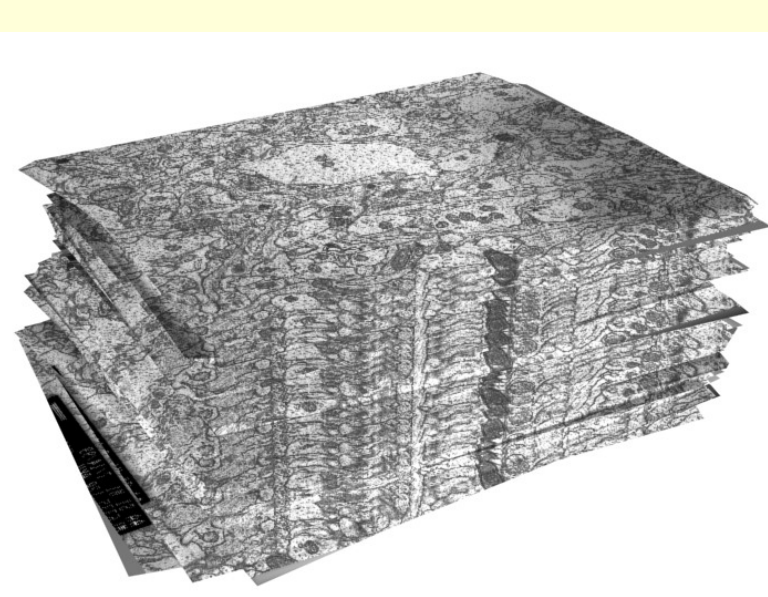
Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

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.

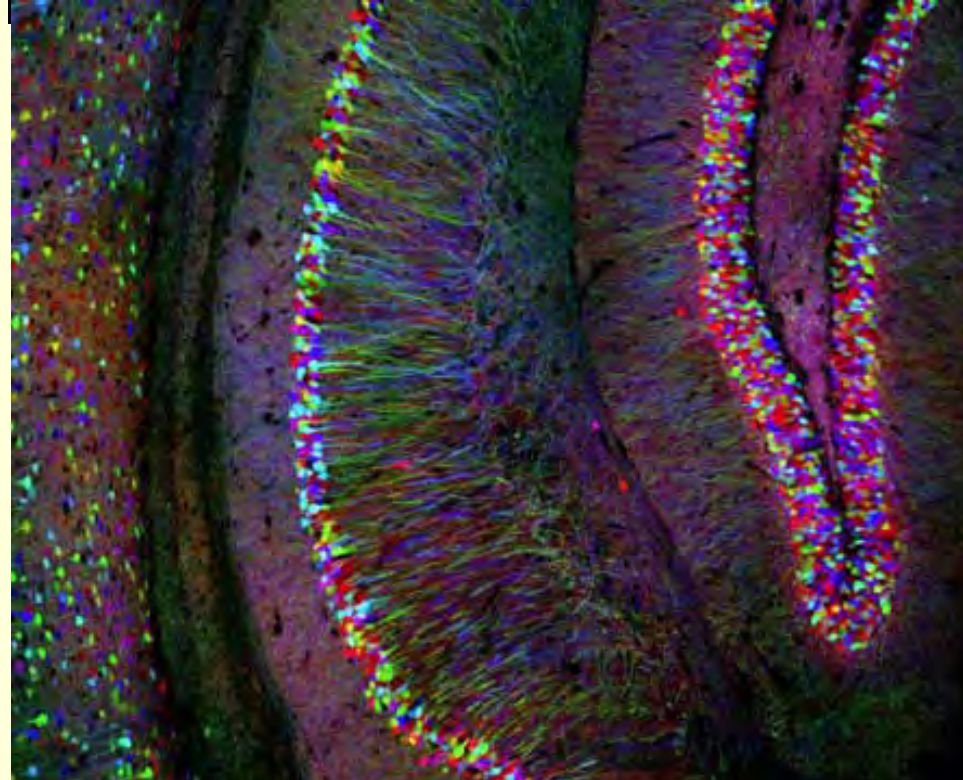
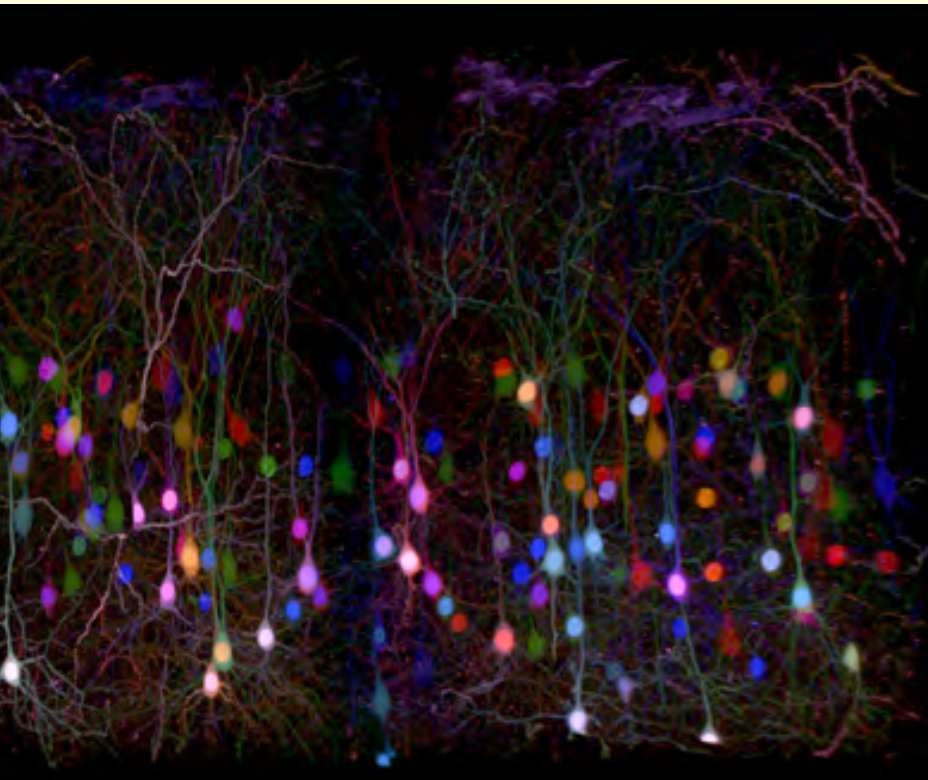




C'est aussi la démarche de :
Jeff Lichtman, *Professor of
Molecular and Cellular Biology*
Harvard University

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

Avec sa coloration **Brainbow**,

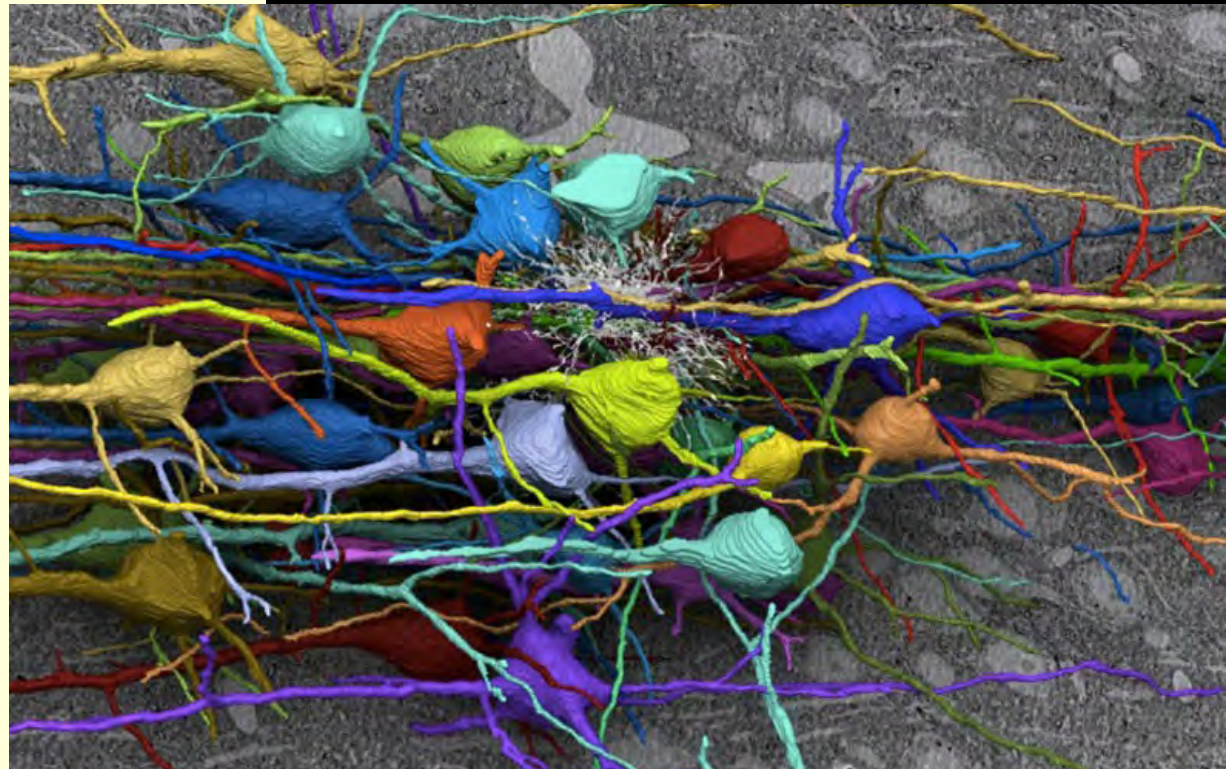


C'est aussi la démarche de :
Jeff Lichtman, *Professor of
Molecular and Cellular Biology*
Harvard University

<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.”*



Lundi, **15 septembre 2014**

Des synapses microscopiques et des microscopes gigantesques

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2014/09/15/des-synapses-microscopiques-et-des-microscopes-gigantesques/>

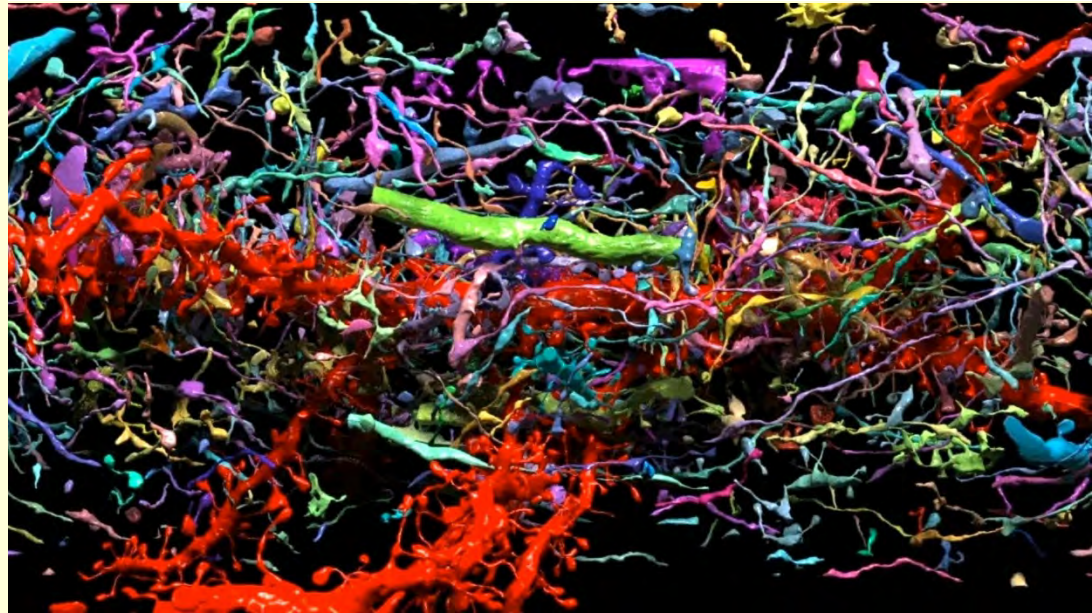
[...] Lichtman rappelle en outre que **les scientifiques de sa génération** ont vécu à une époque de **grandes idées théoriques** qui ont pu foisonner parce qu'il y avait peu de données accessibles sur le cerveau. Ce n'est que dans un deuxième temps que l'on cherchait des indices empiriques pour confirmer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

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

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

Lichtman de conclure :

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



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

Saturated Reconstruction of a Volume of Neocortex

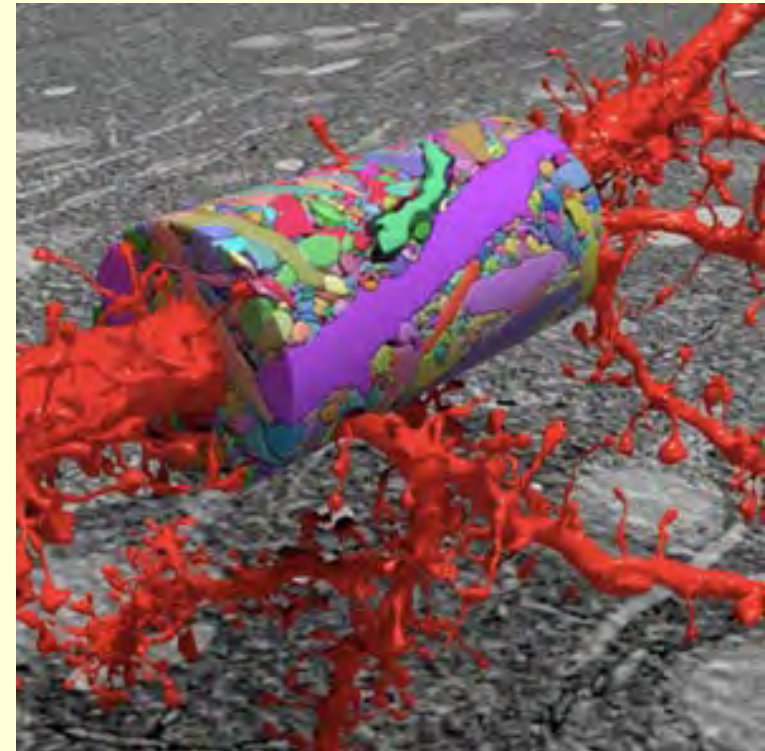
<http://www.cell.com/cell/abstract/S0092-8674%2815%2900824-7>

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...



À l'échelle « meso » :

Mouse Brain Architecture Project

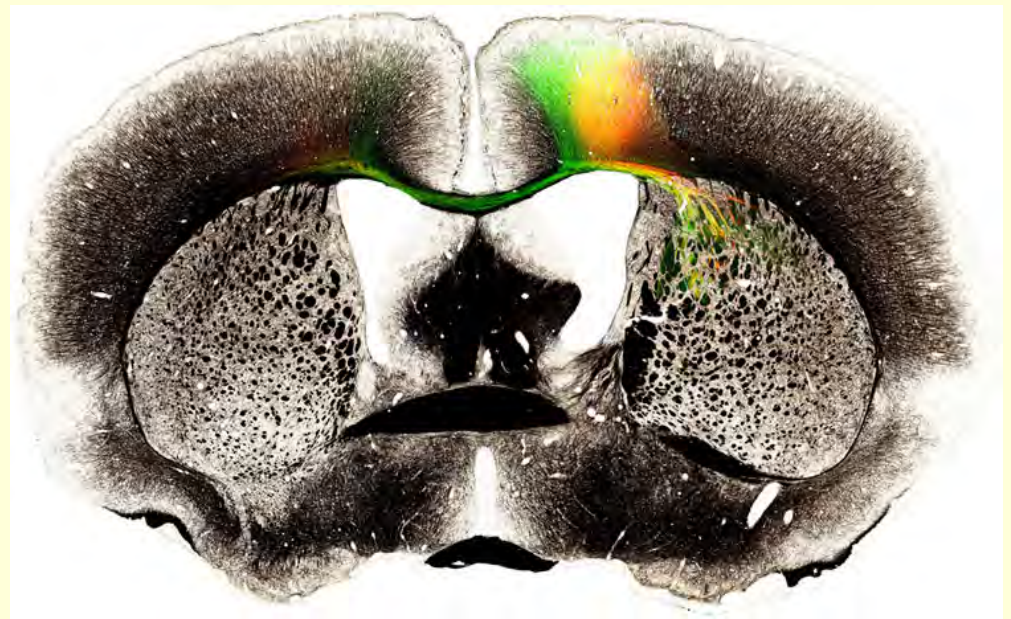
<http://brainarchitecture.org/mouse/about>

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.

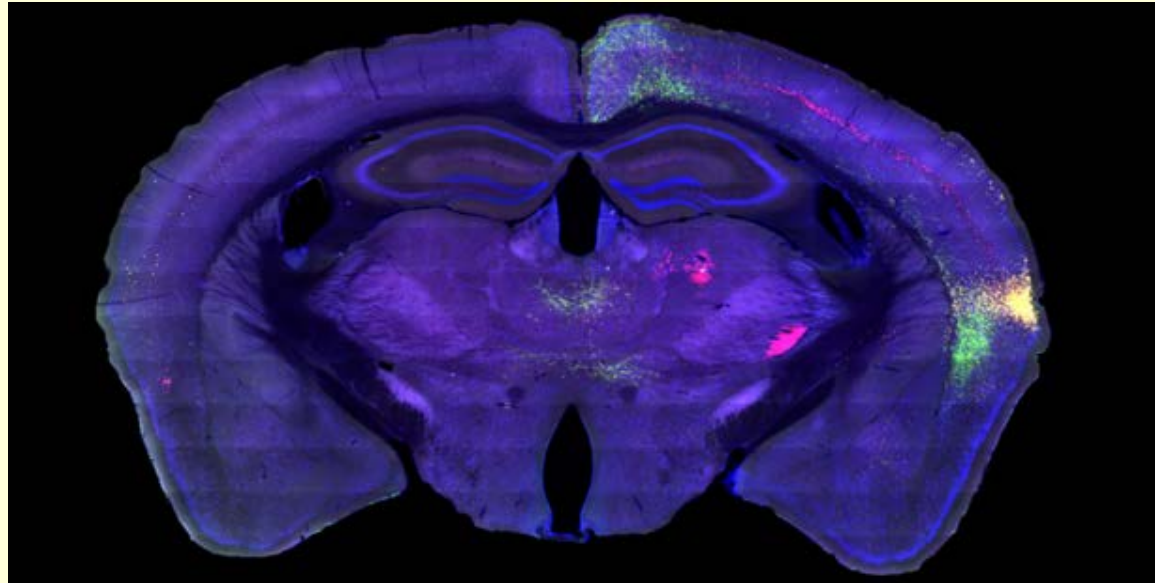


Neural Networks of the Mouse Neocortex

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)



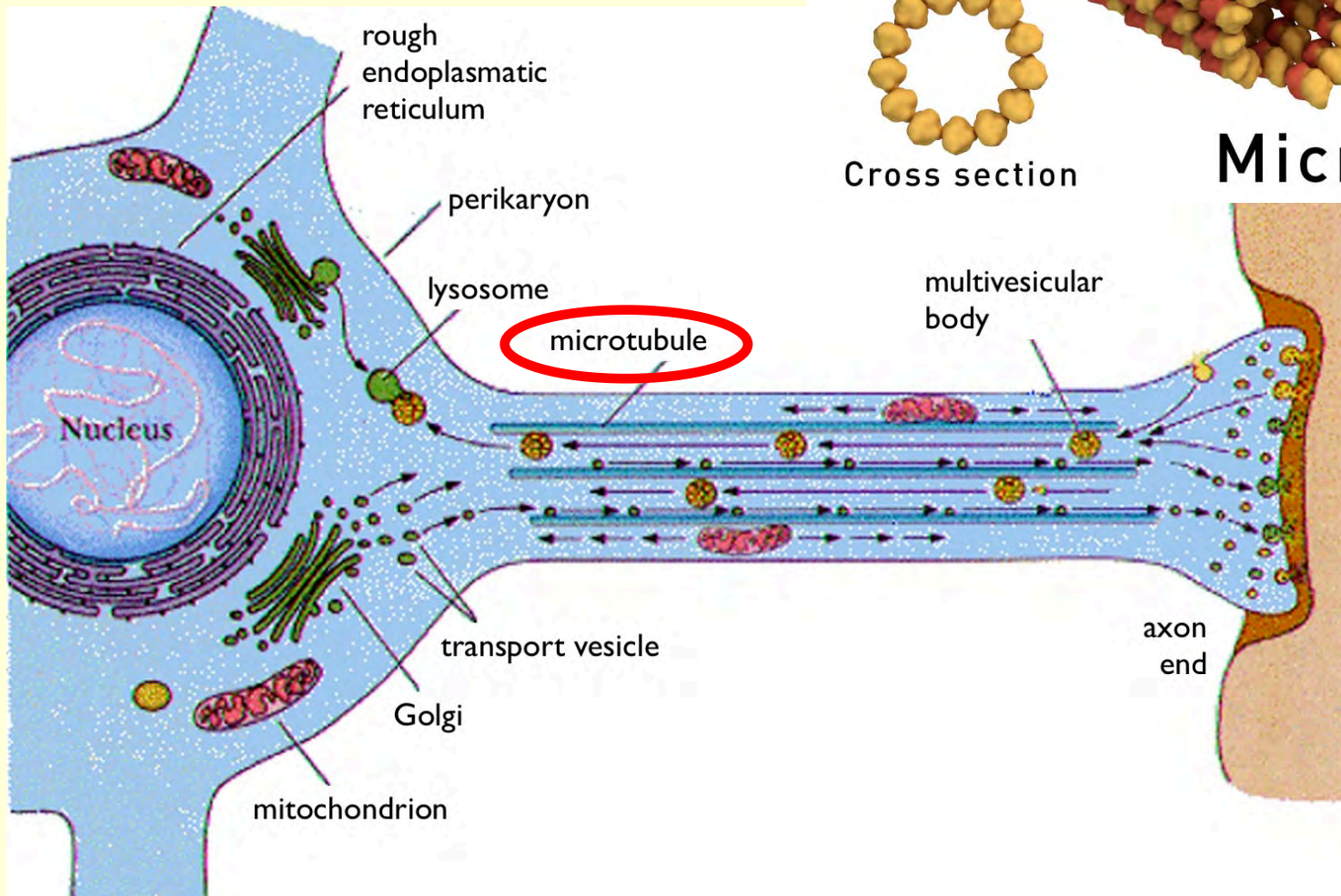
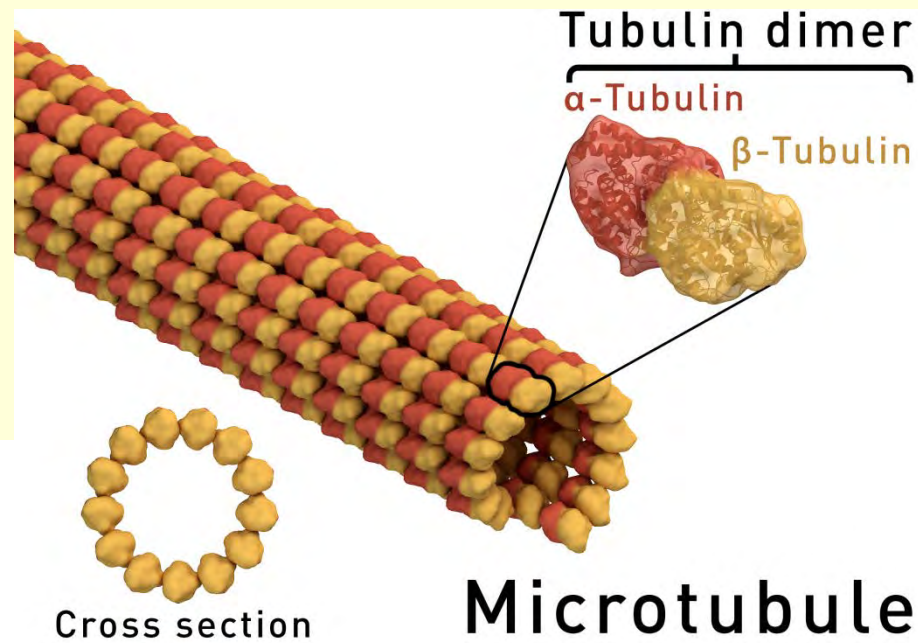
*“The MCP also used an advanced method to map the brain circuits better: **double coinjection tract tracing**.*

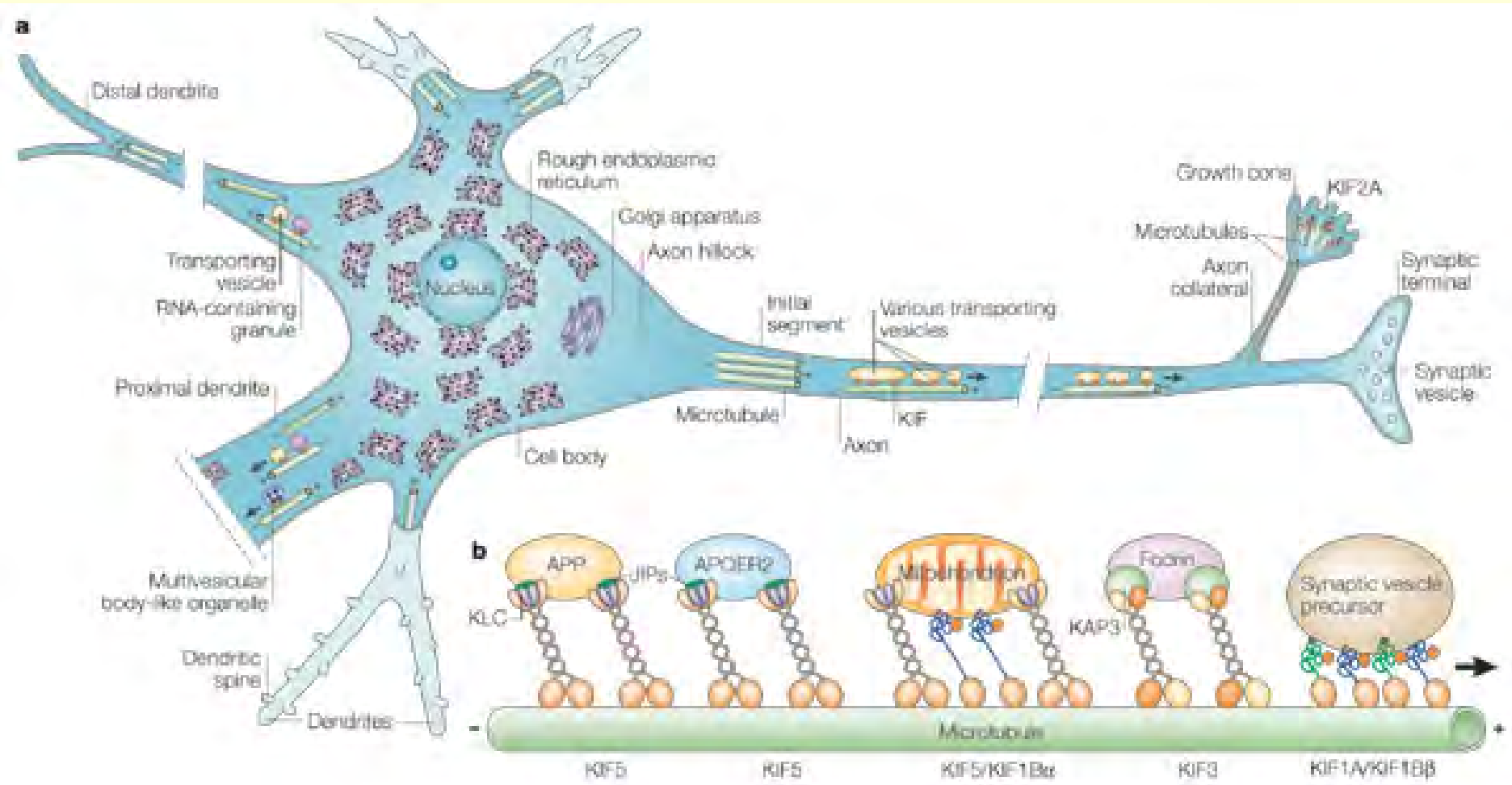
*The researchers injected one **anterograde** tracer, which travels down the axons of the cell, and one **retrograde** tracer, which travels up toward the cell body, simultaneously to examine the input and output pathways of the cortex.”*

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/>

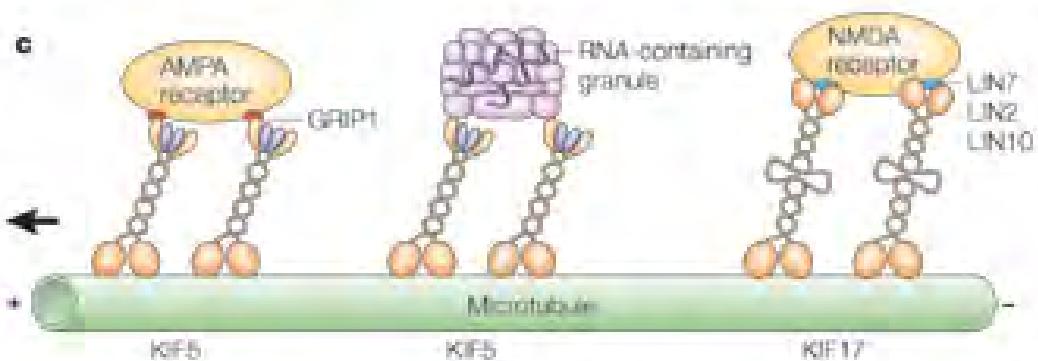
Avec des animaux, on utilise des **techniques de traçage**, basée la capacité qu'ont les neurones de faire circuler des molécules dans leur axone (le "**transport axonal**").



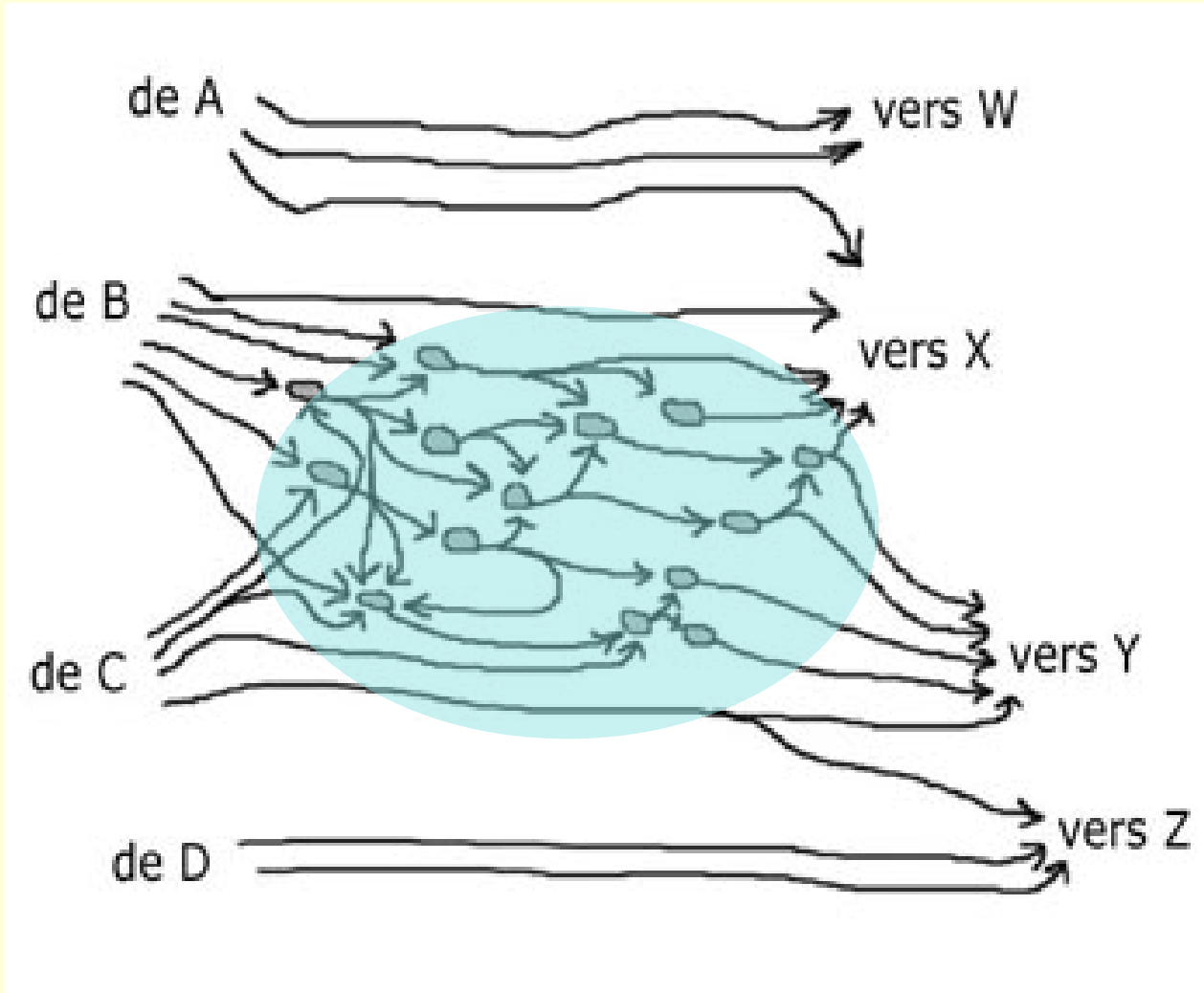


Animation :

https://38.media.tumblr.com/ca63616d817b3967a8ac3245d3fda224/tumblr_nc5tlfK9NY1s1vn29o1_400.gif

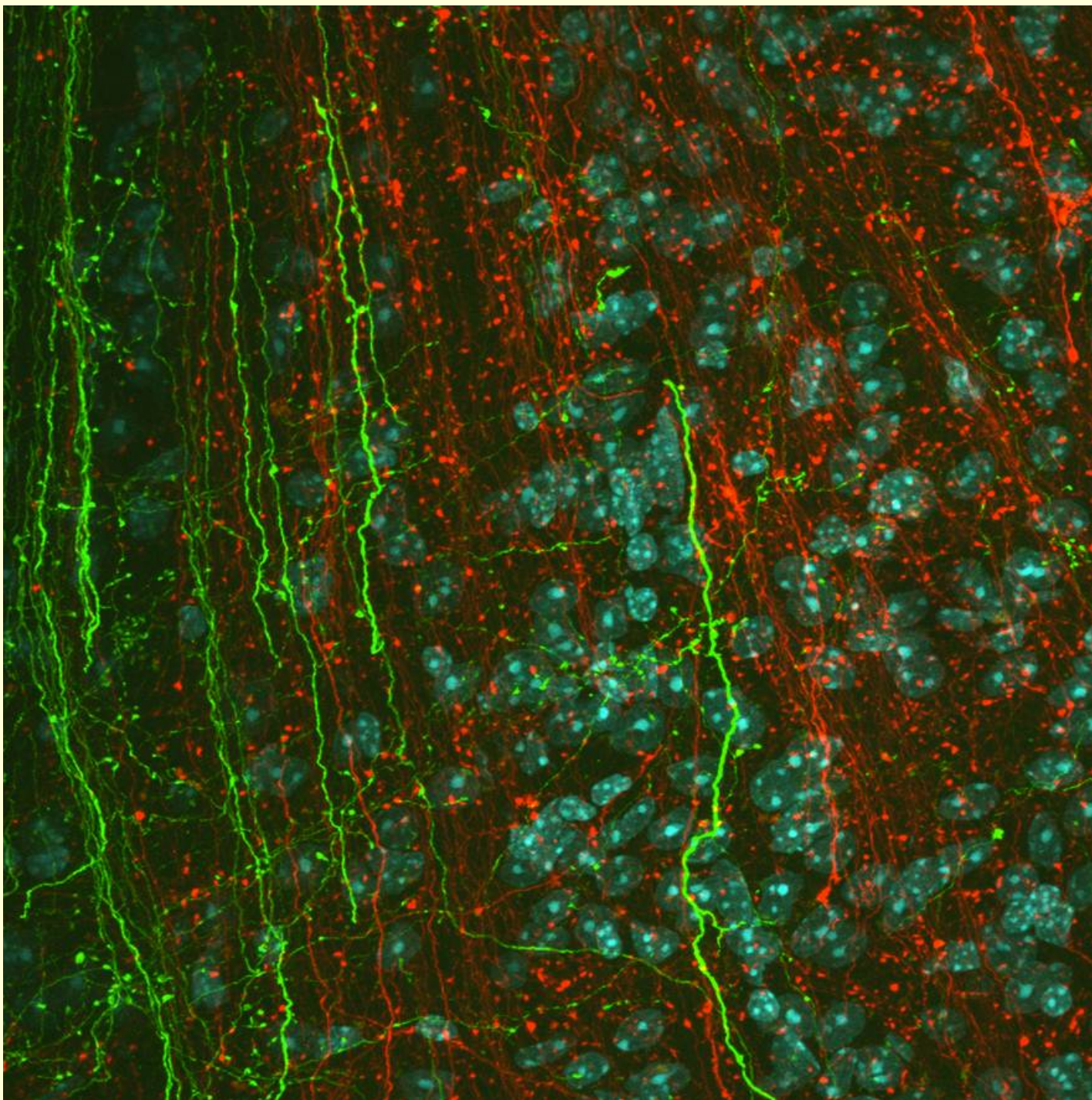


Et c'est avec de telles techniques de traçage que l'on va pouvoir établir le tracé des axones de différents groupes de neurones.



Capsule outil : l'identification des voies cérébrales

http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/outil_bleu03.html



Niveau des
axones
individuels.

Projections du
**noyau médian
antérieur de
l'amygdale**
(vert) et du
**noyau médian
postérieur de
l'amygdale**
(rouge)
traversant la
**stria terminalis
postérolatérale**
en direction de
leur cible :
l'hypothalamus
et le **striatum
ventral**.

À l'échelle « macro » :

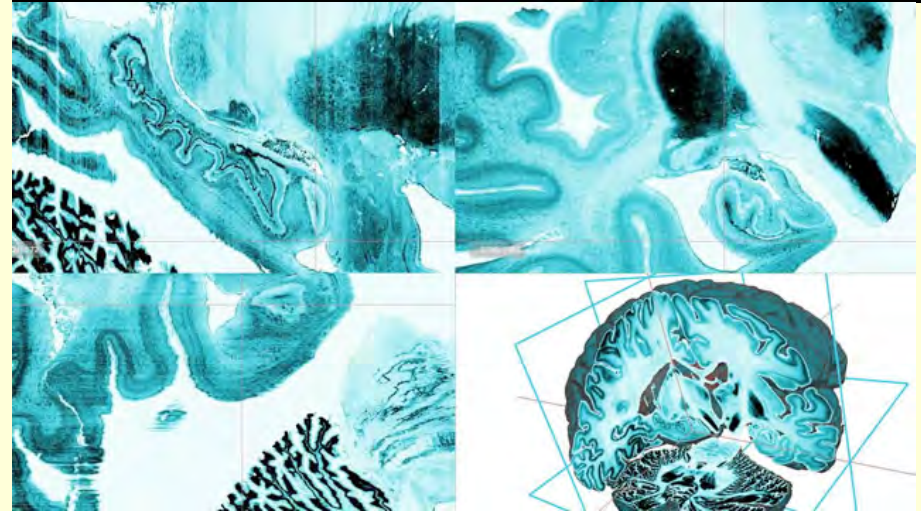
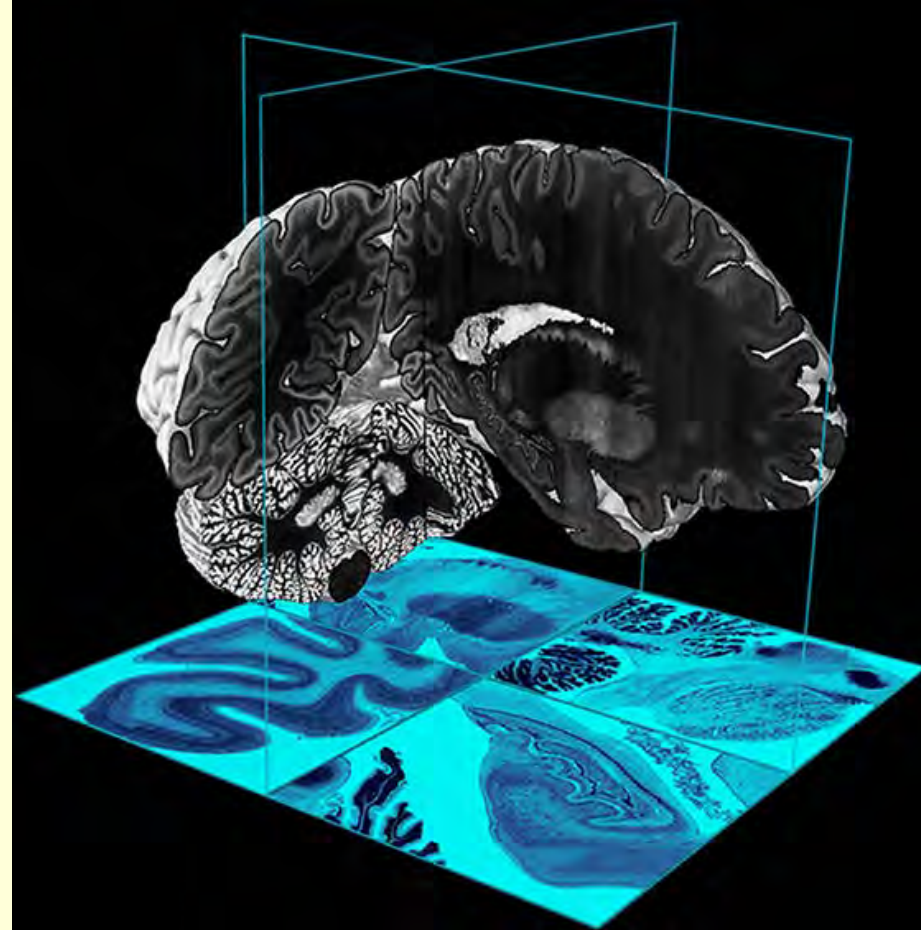
BigBrain

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.**

Chez des sujets vivants maintenant...

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.



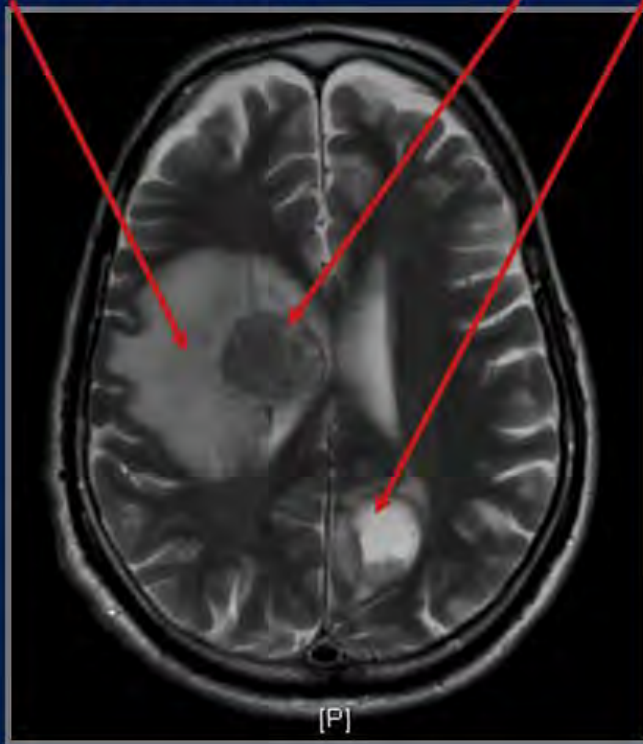
L'IRM, en plus d'une **définition supérieure au CT scan** (rayons X assistés par ordinateur),



Brain Metastases on MRI Images

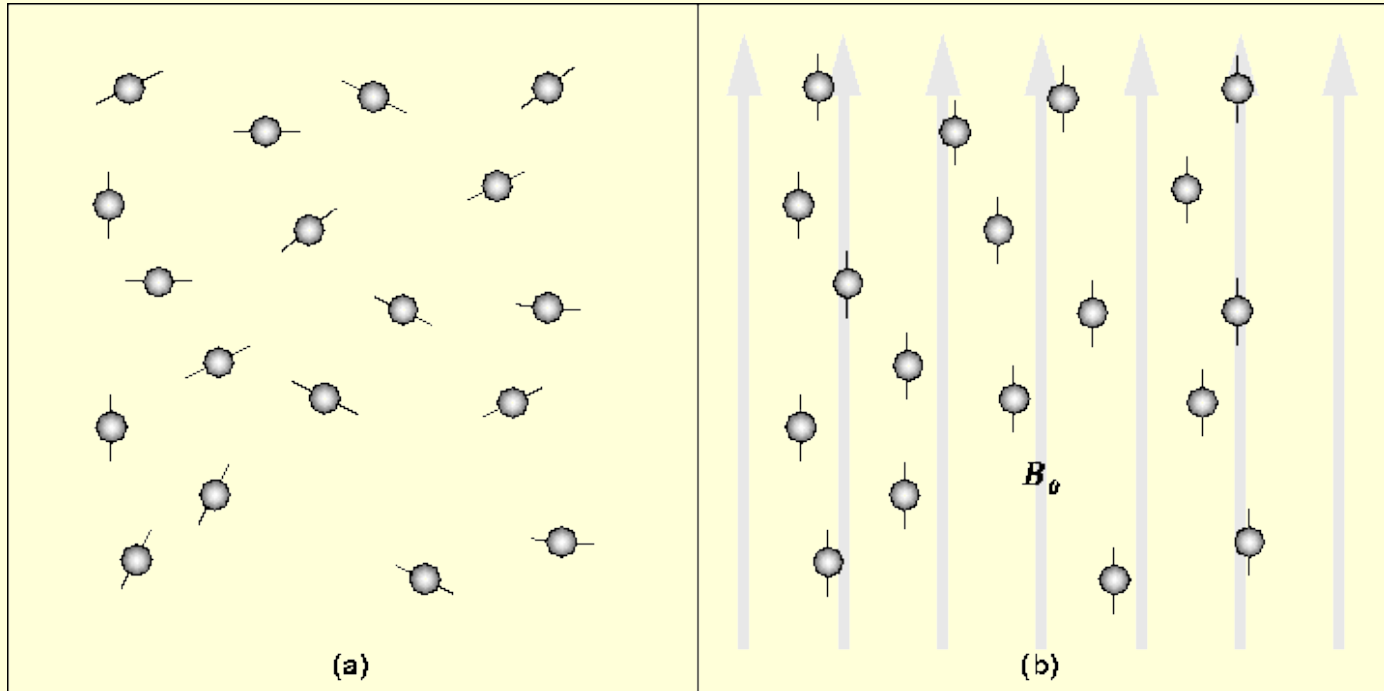
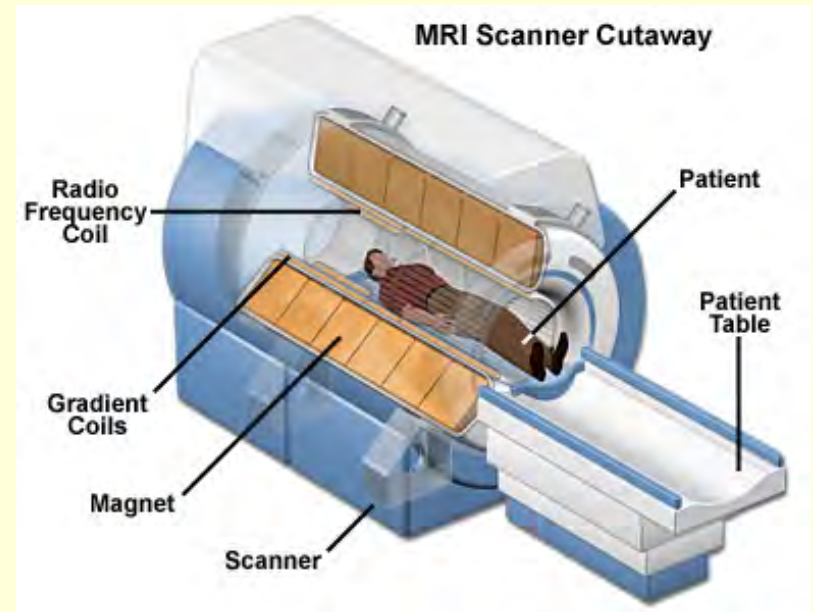
Edema (swelling)

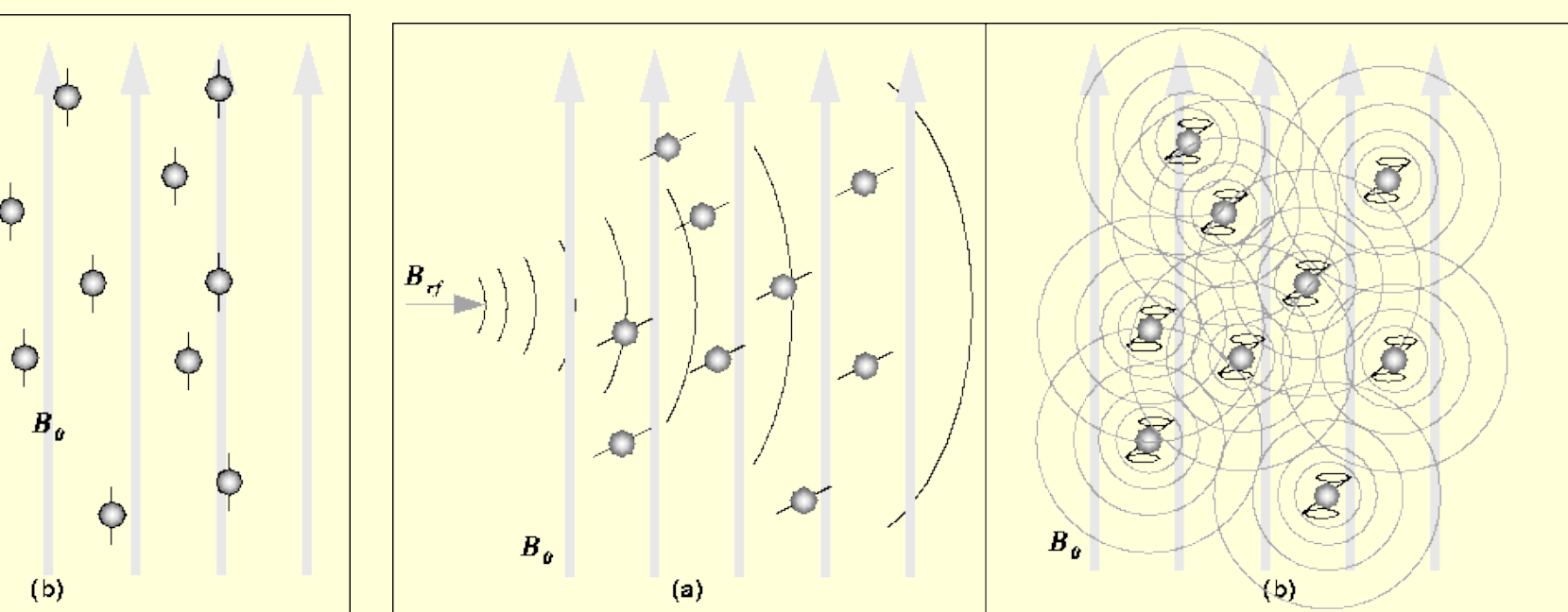
Brain metastases



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.

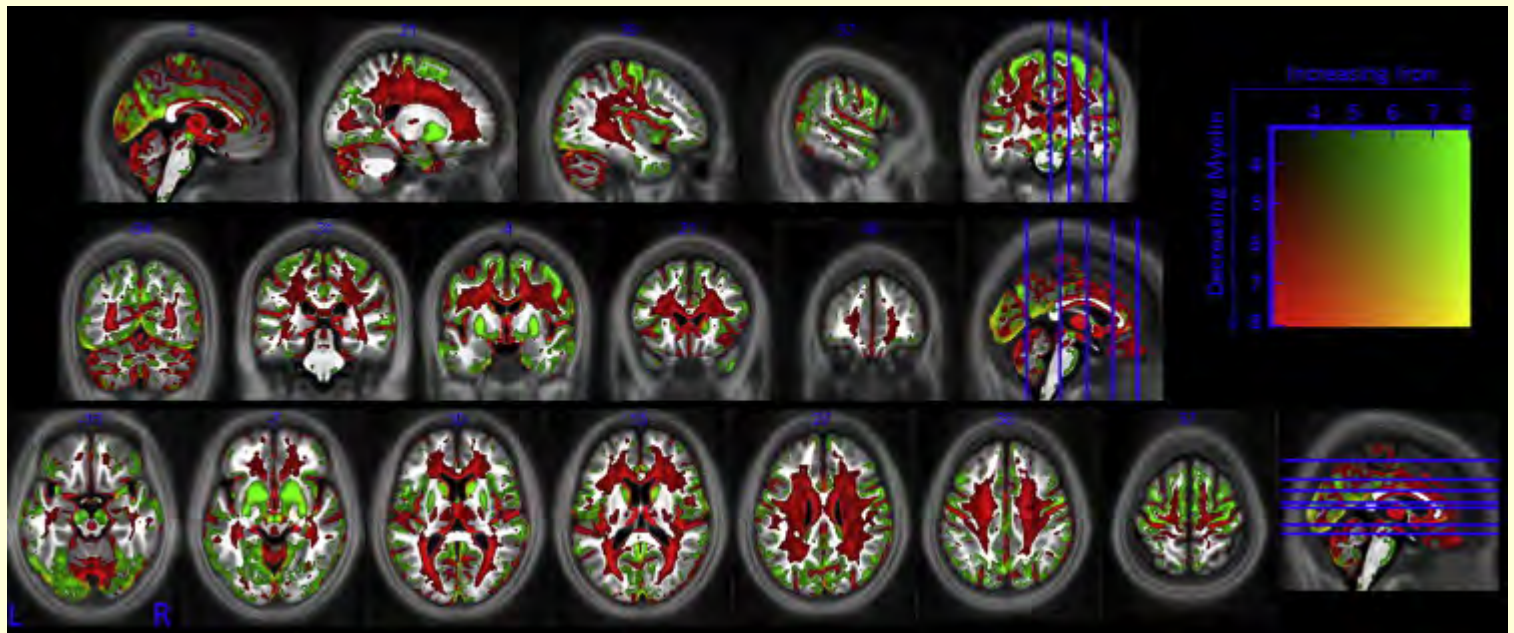
Mapping the effects of age on brain iron, myelination, and macromolecules – with data!

May 25, 2016

<https://neuroscience.com/2016/05/25/mapping-the-effects-of-age-on-brain-iron-myelination-and-macromolecules-with-data/>

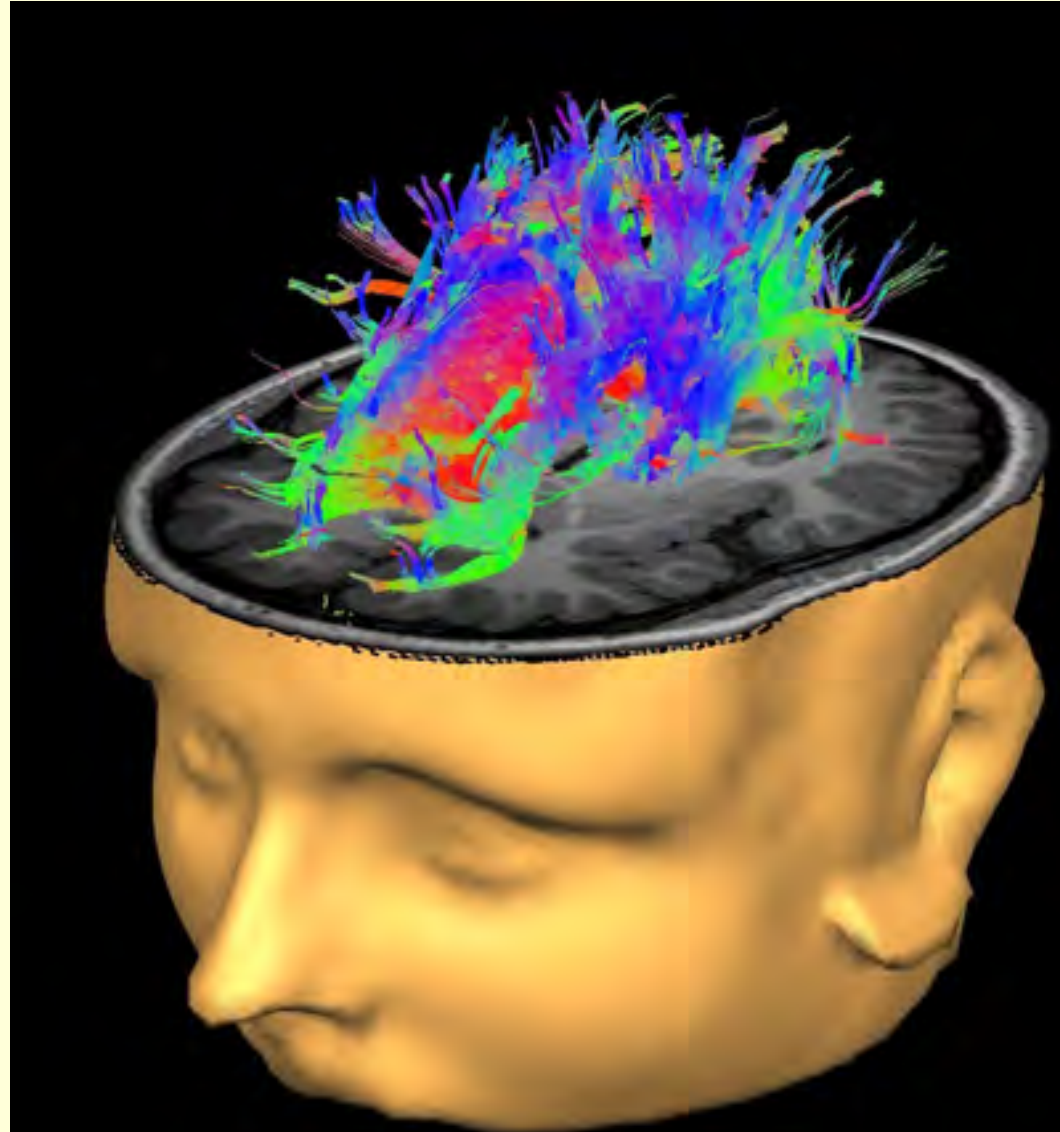
The structure, function, and connectivity of the brain changes considerably as we age.

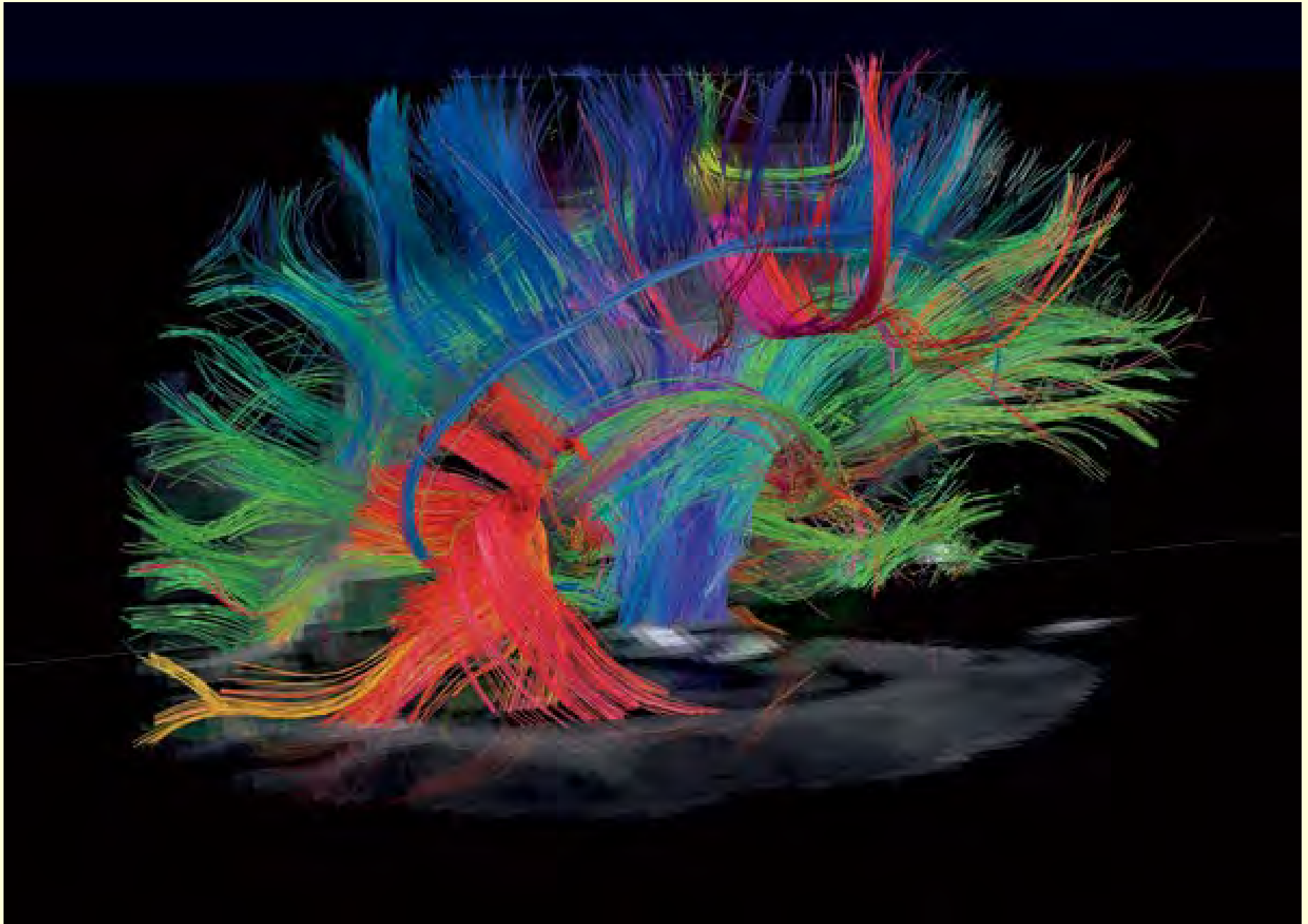
Recent advances in MRI physics and neuroimaging have led to the development of **new techniques which allow researchers to map quantitative parameters sensitive to key histological brain factors such as iron and myelination.**



Imagerie de diffusion :

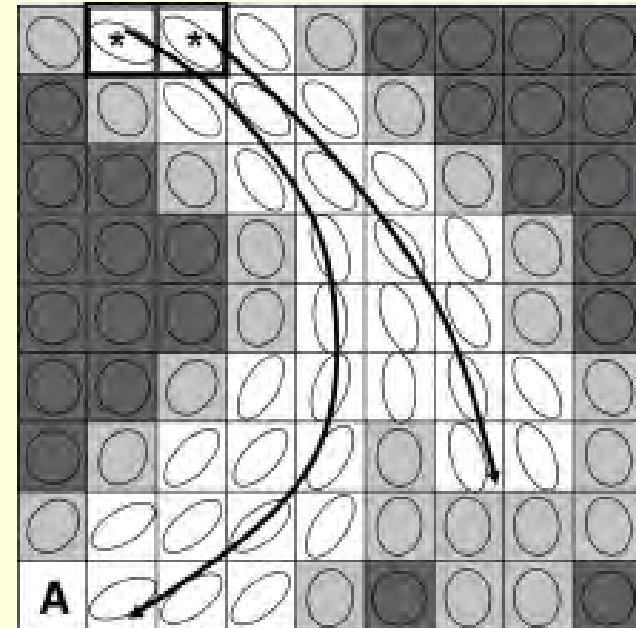
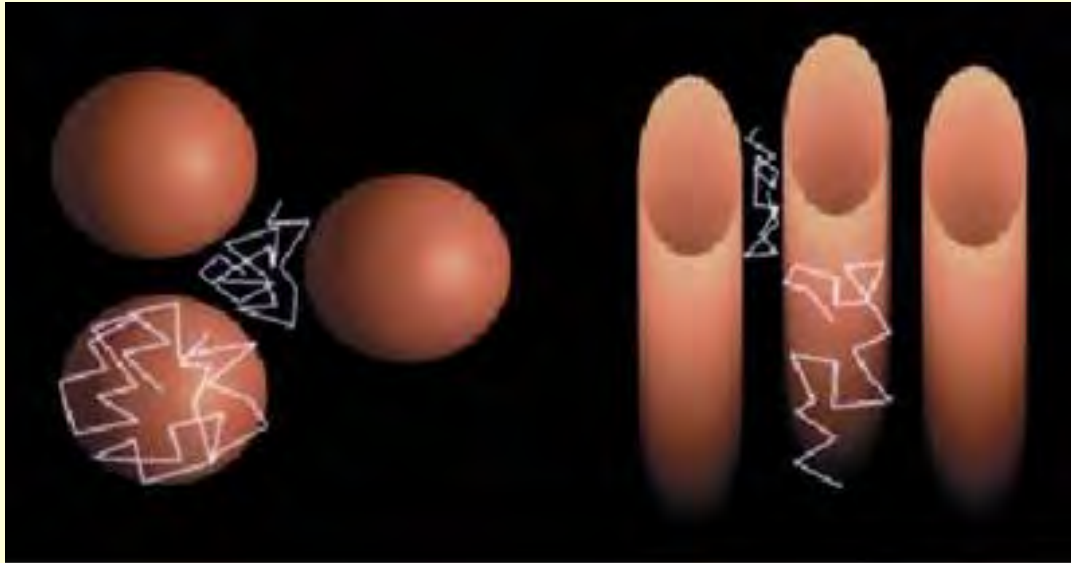
permet de voir les grands faisceaux de neurones chez un sujet vivant.



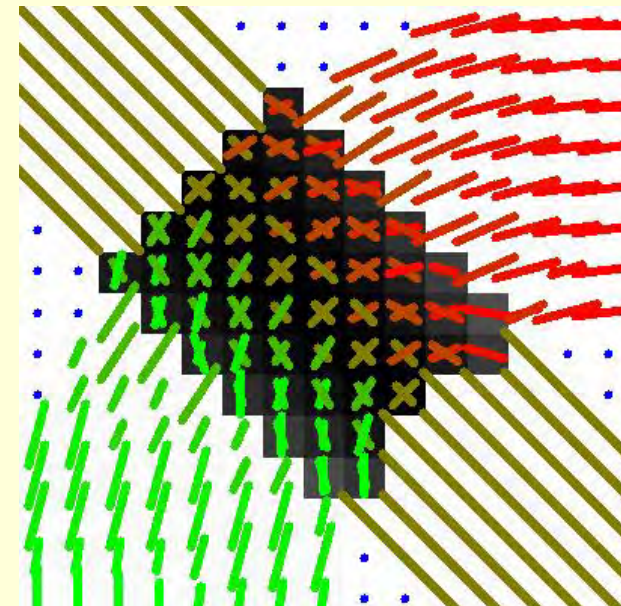


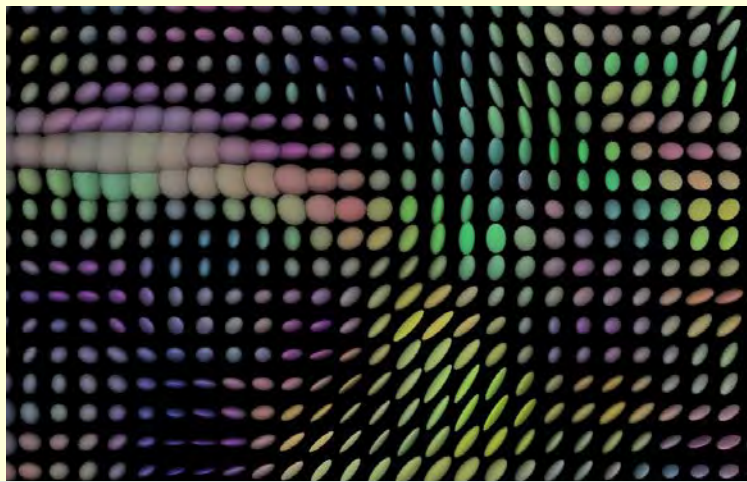
Principe à la base de l'imagerie de diffusion

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)

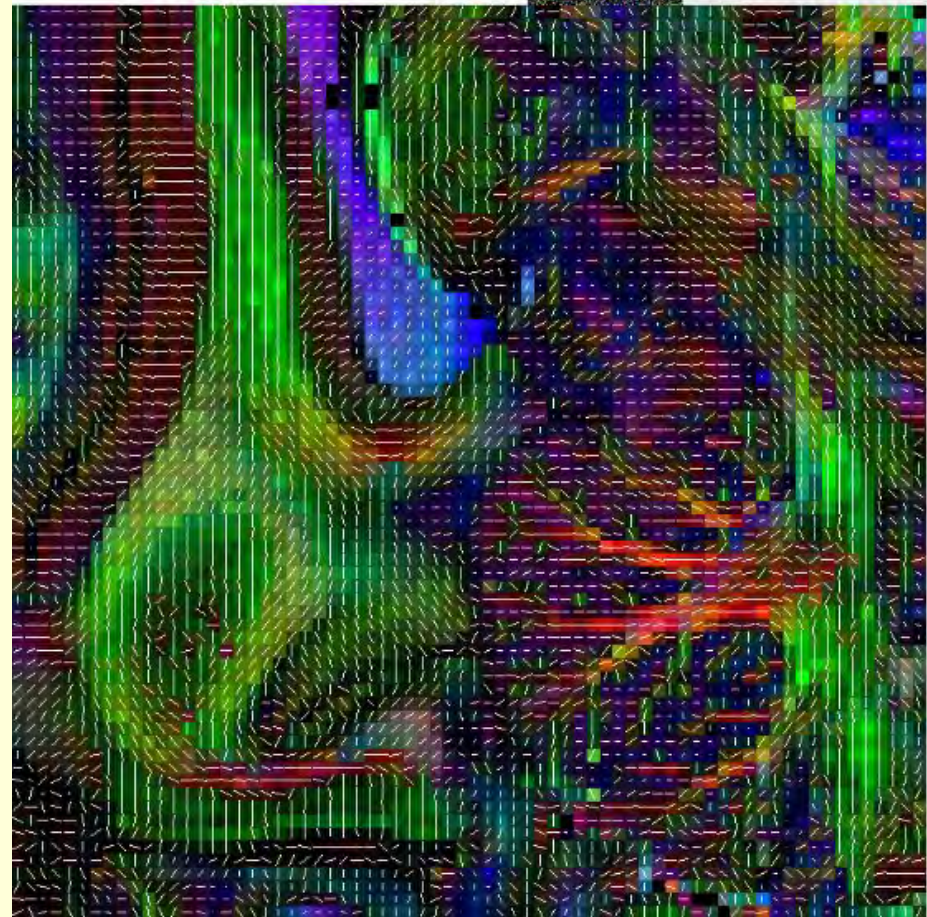
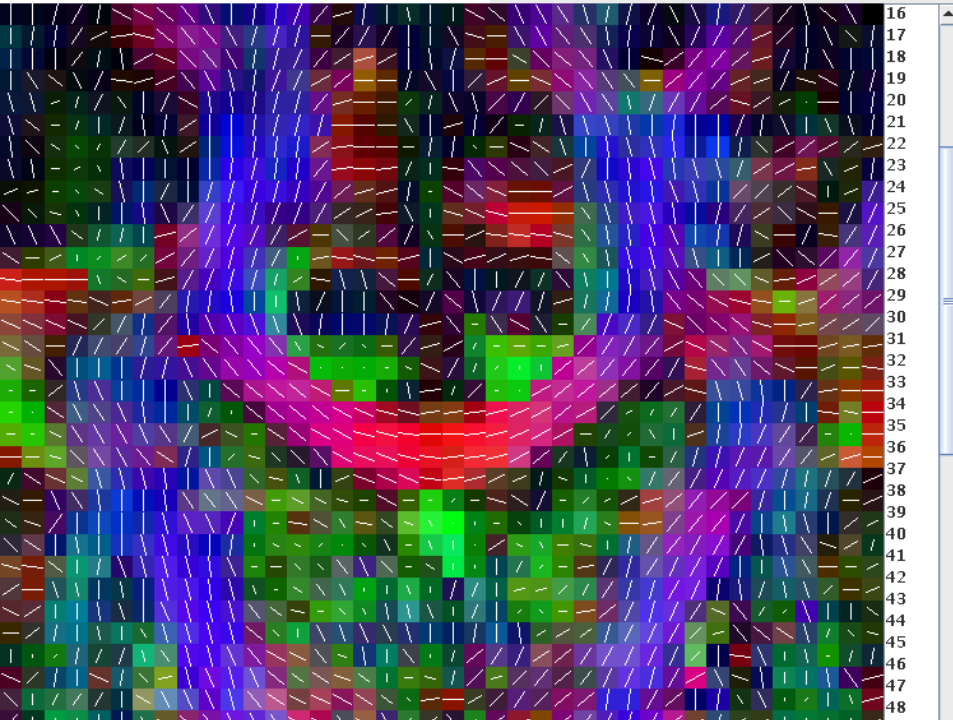
PD Orientation Viewer

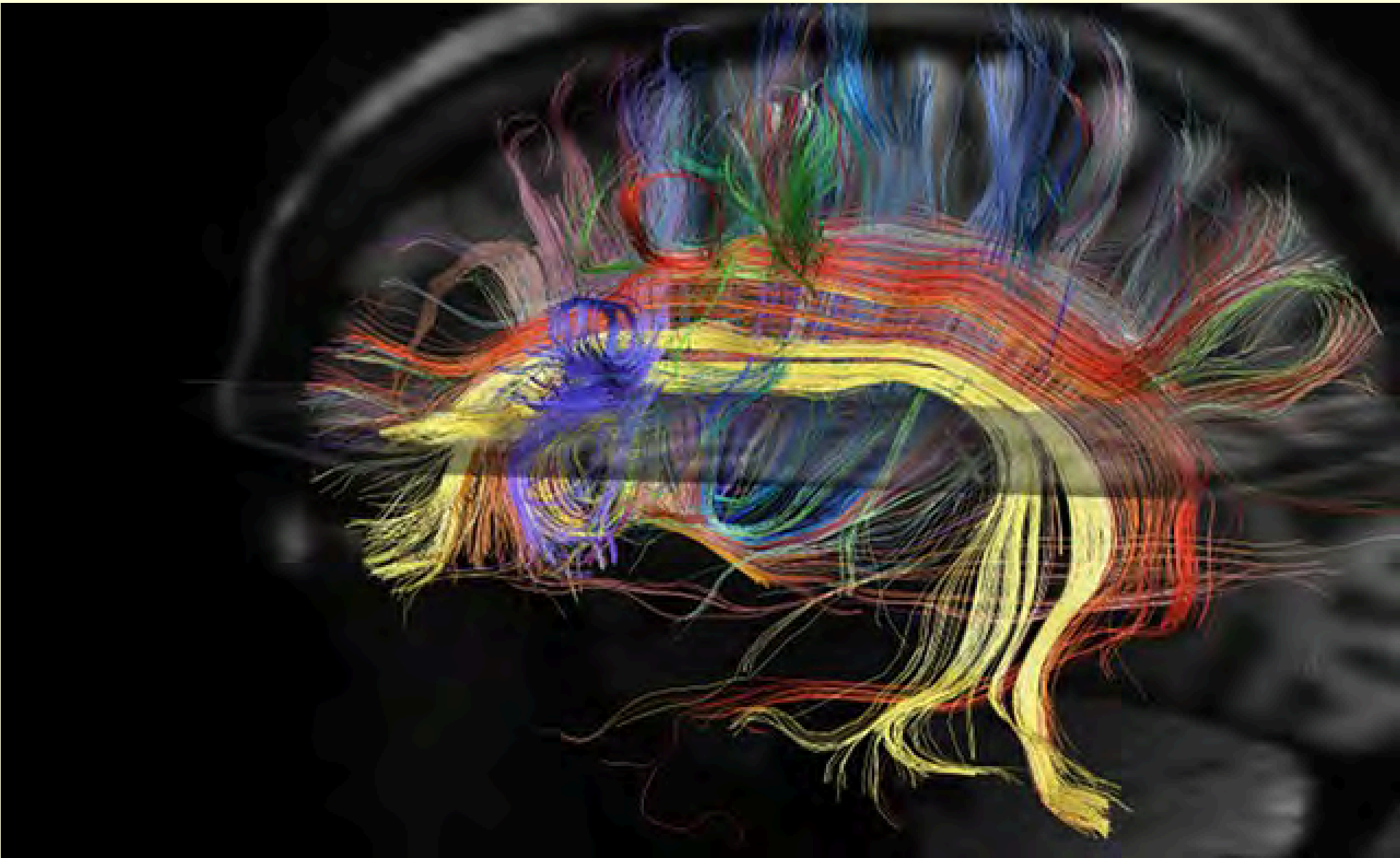
Show vectors
 Zoom

Grey gamma 0.7

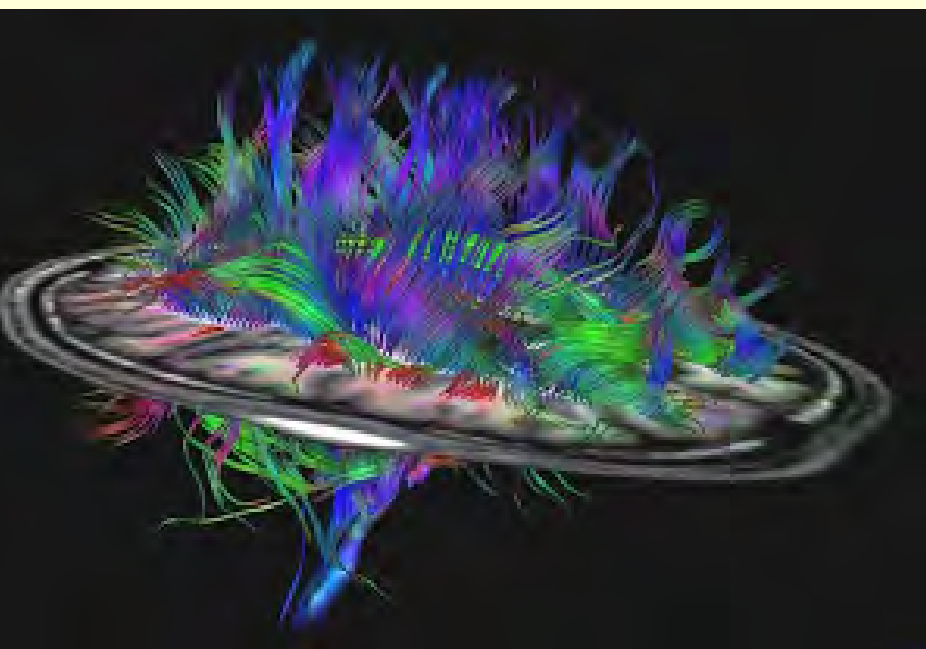
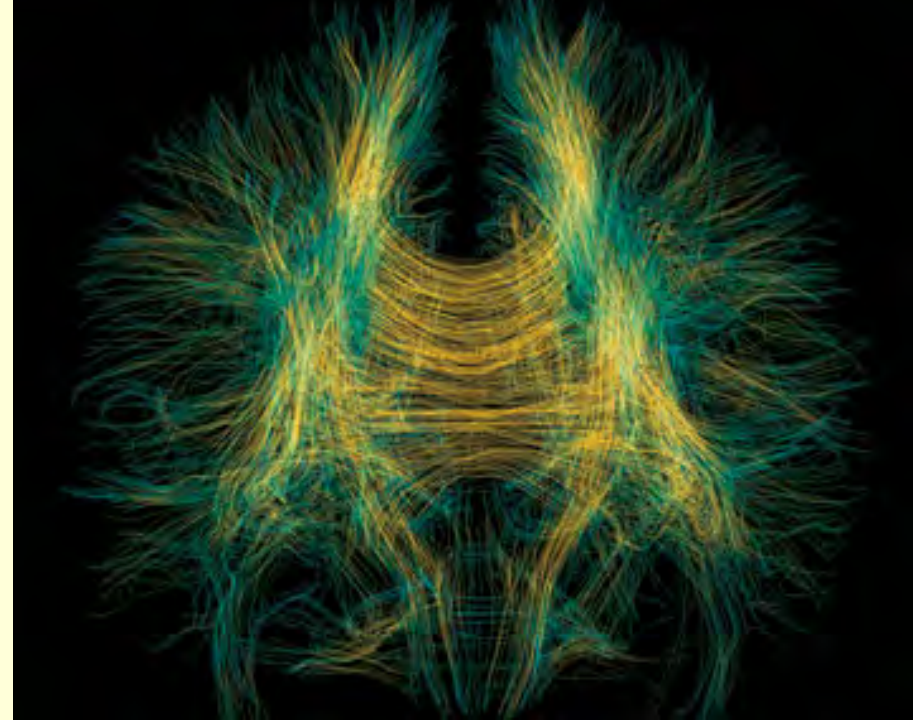
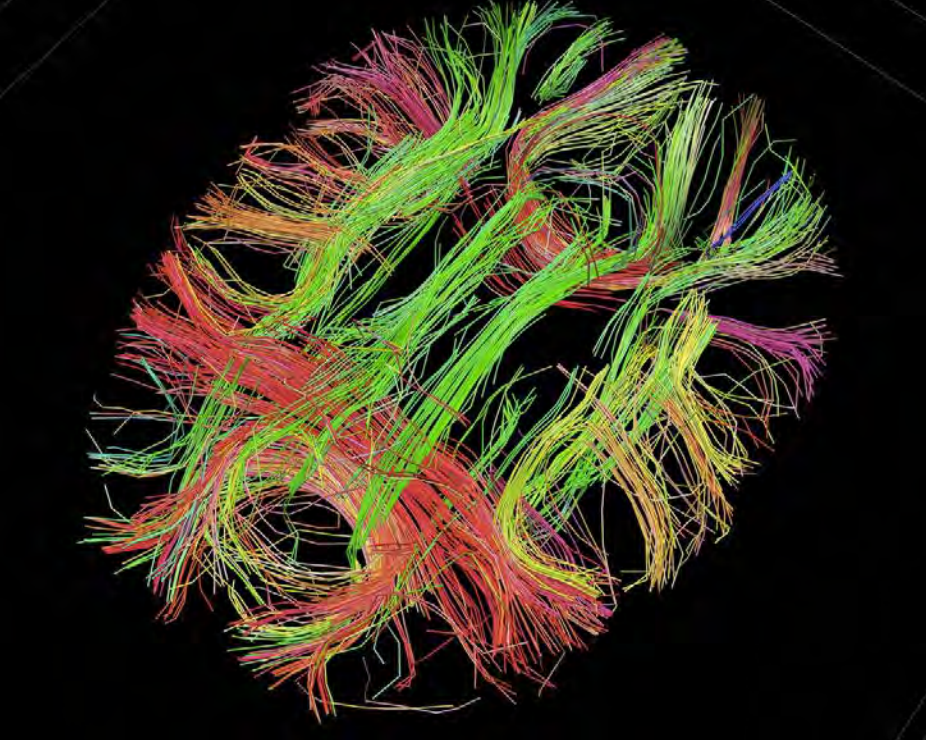
 RGB gamma 1.0

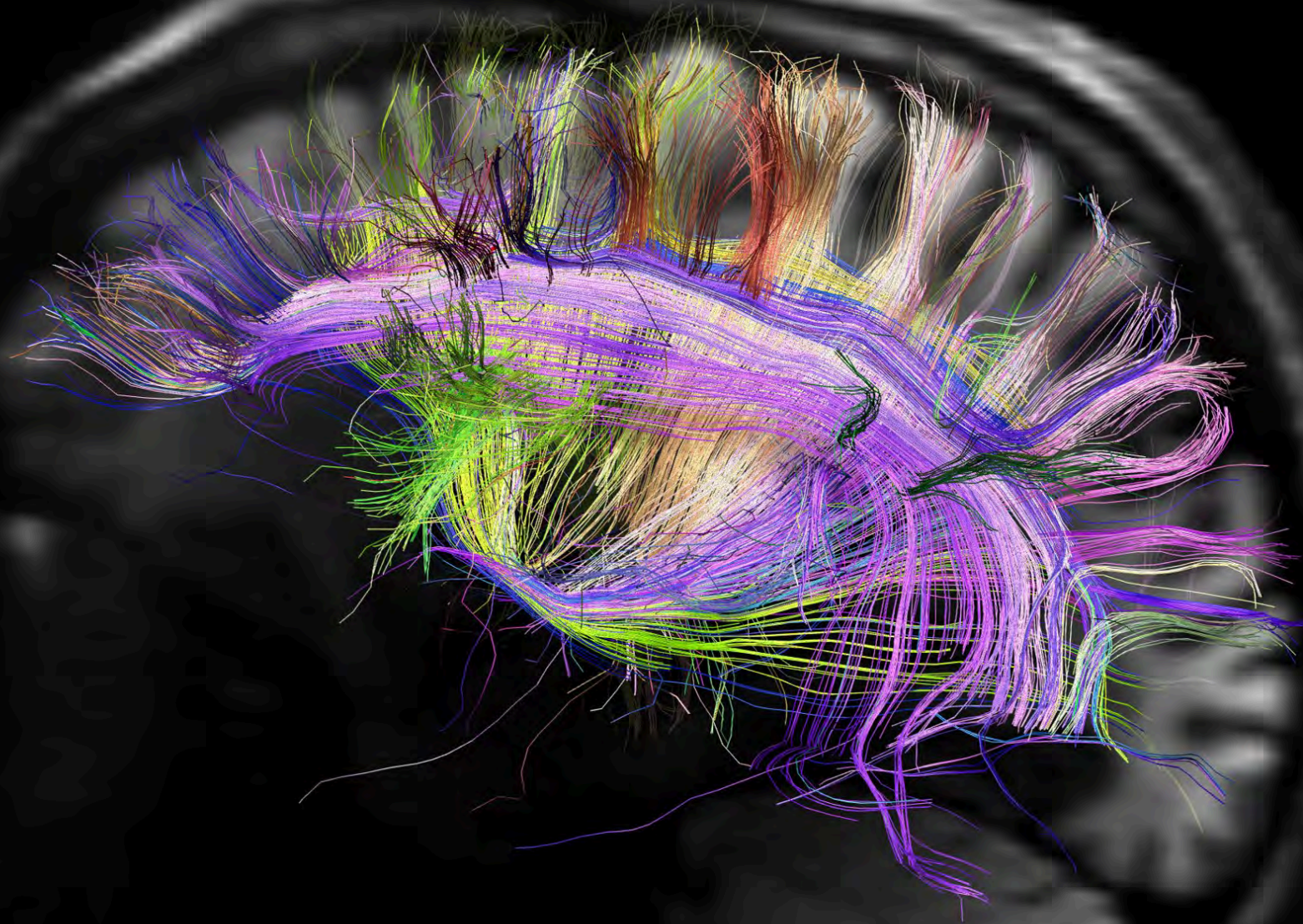
74 56 37
-0.293338 0.759015 0.581248 (0.135361)





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]

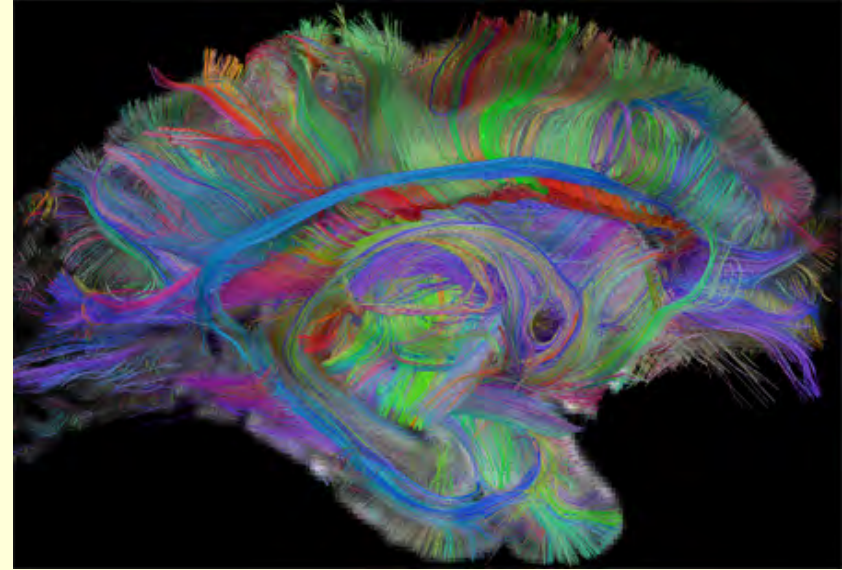
<http://tvanouvelles.ca/lcn/infos/regional/sherbrooke/archives/2014/01/20140127-192013.html>

27 janvier **2014**



Maxime Descôteaux et David Fortin

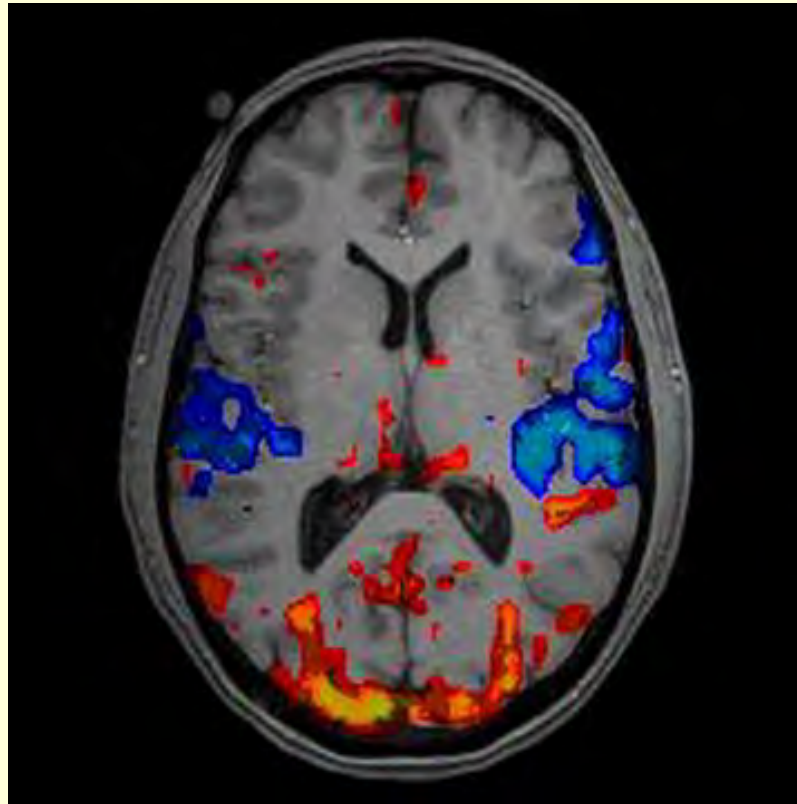
Limite / critique à l'IRM de diffusion :



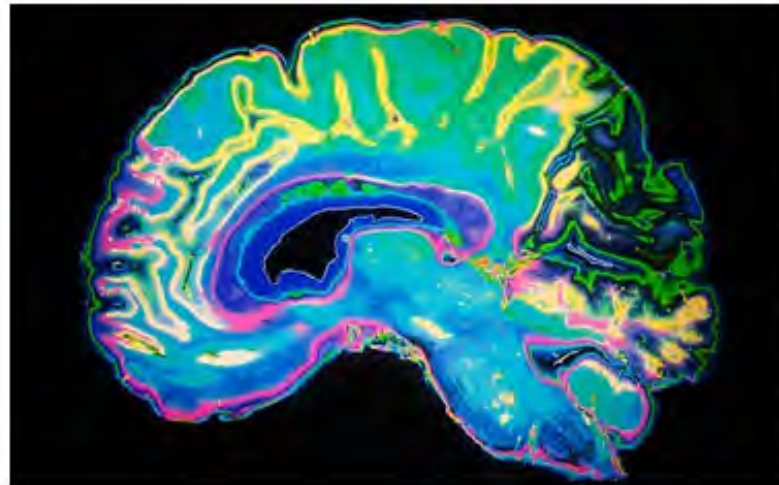
Ne voit pas les nombreux embranchements des axones (collatérales) que l'on observe sur les colorations traditionnelles à haute-résolution car avec l'IRM de diffusion chaque faisceau contient des milliers d'axons.

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

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)



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. [...].

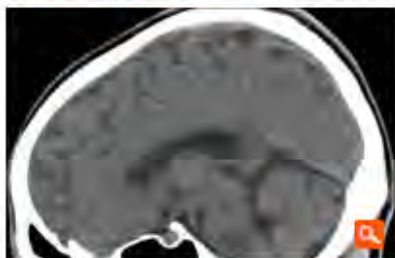
'I particularly like the way
different regions of the brain
light up for no apparent reason.
It's so **cool.**'"



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.”

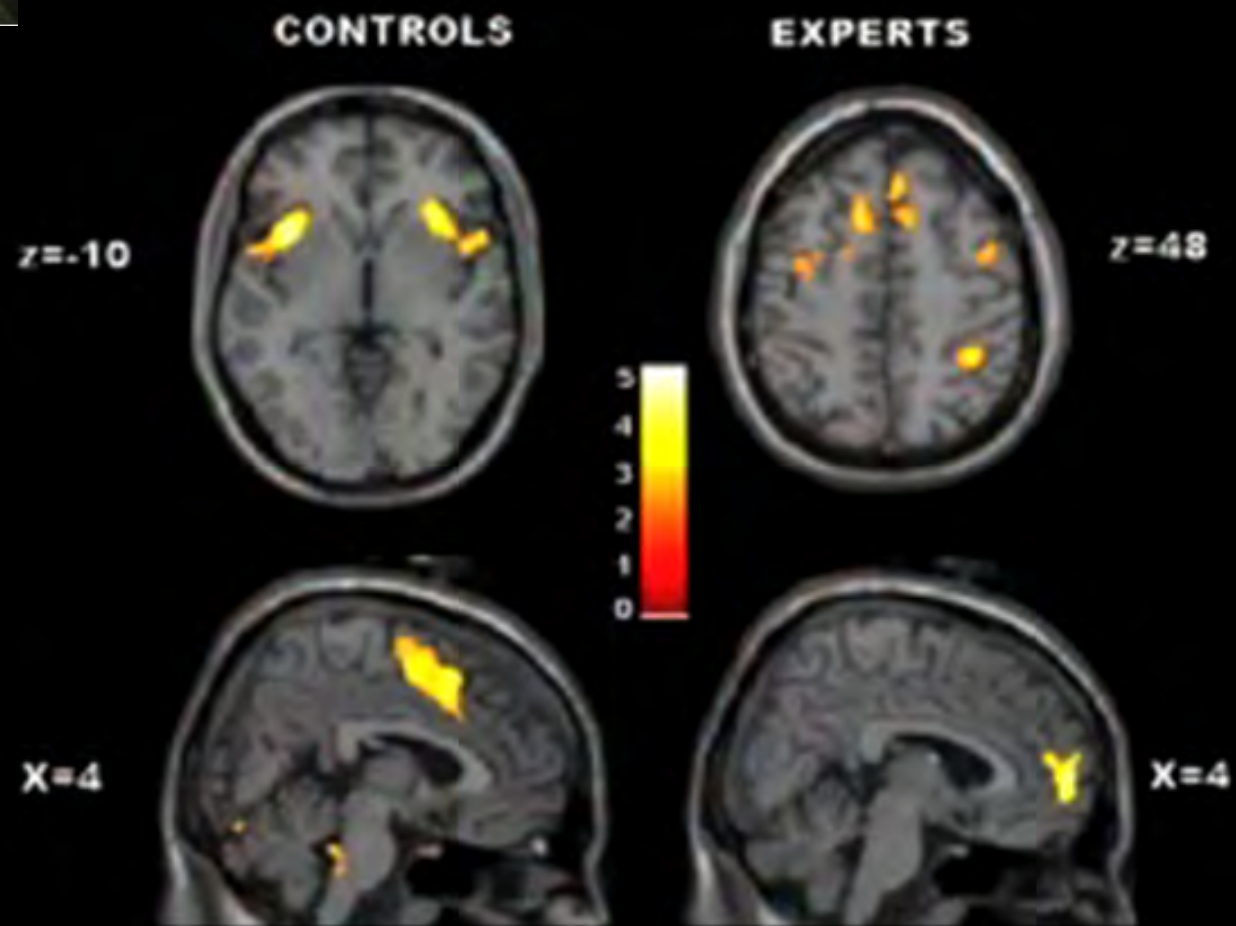
So be on the lookout. The news these days is flooded with studies that scan people’s brain while they spend money, or tell lies, or think about loved ones. And it’s hard not to feel like we can actually “see” people thinking. But it’s important to keep in mind that these studies often have small sample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

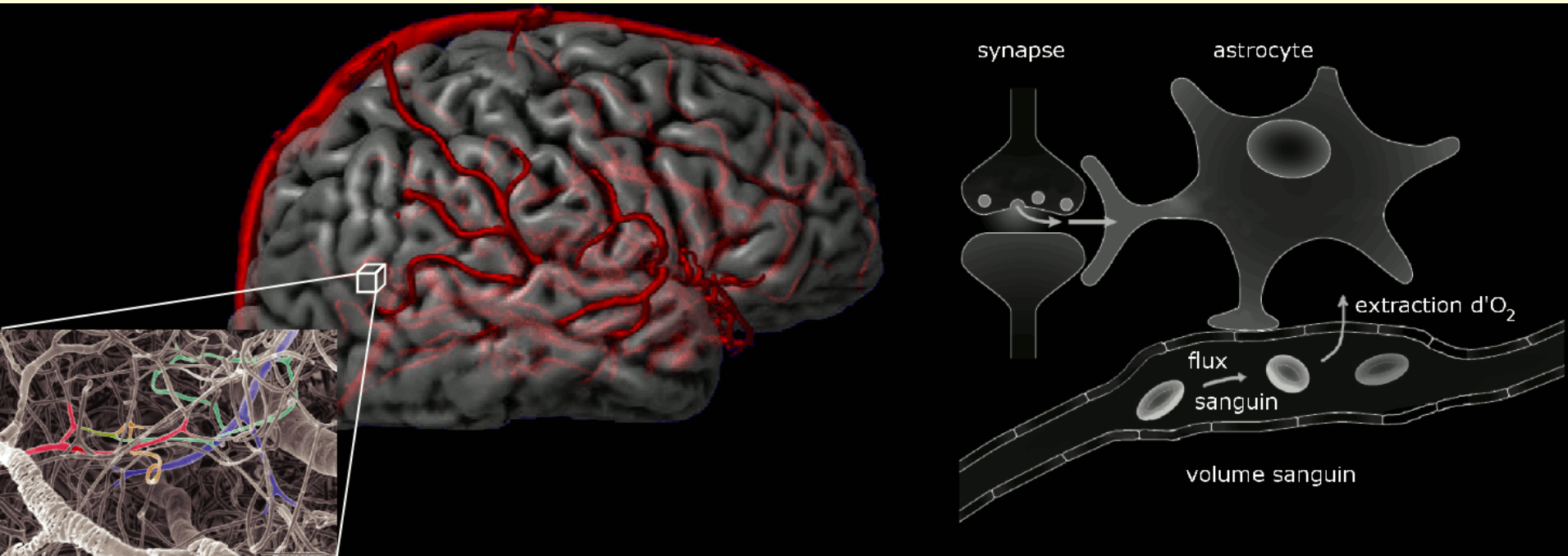
So we here at Radiolab promise to keep our crap-detectors working full time when we look for explanations about human behavior. But in the meantime, maybe scientists could put someone in a brain scanner while they are reading the words “brain scans indicate ...”

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.”



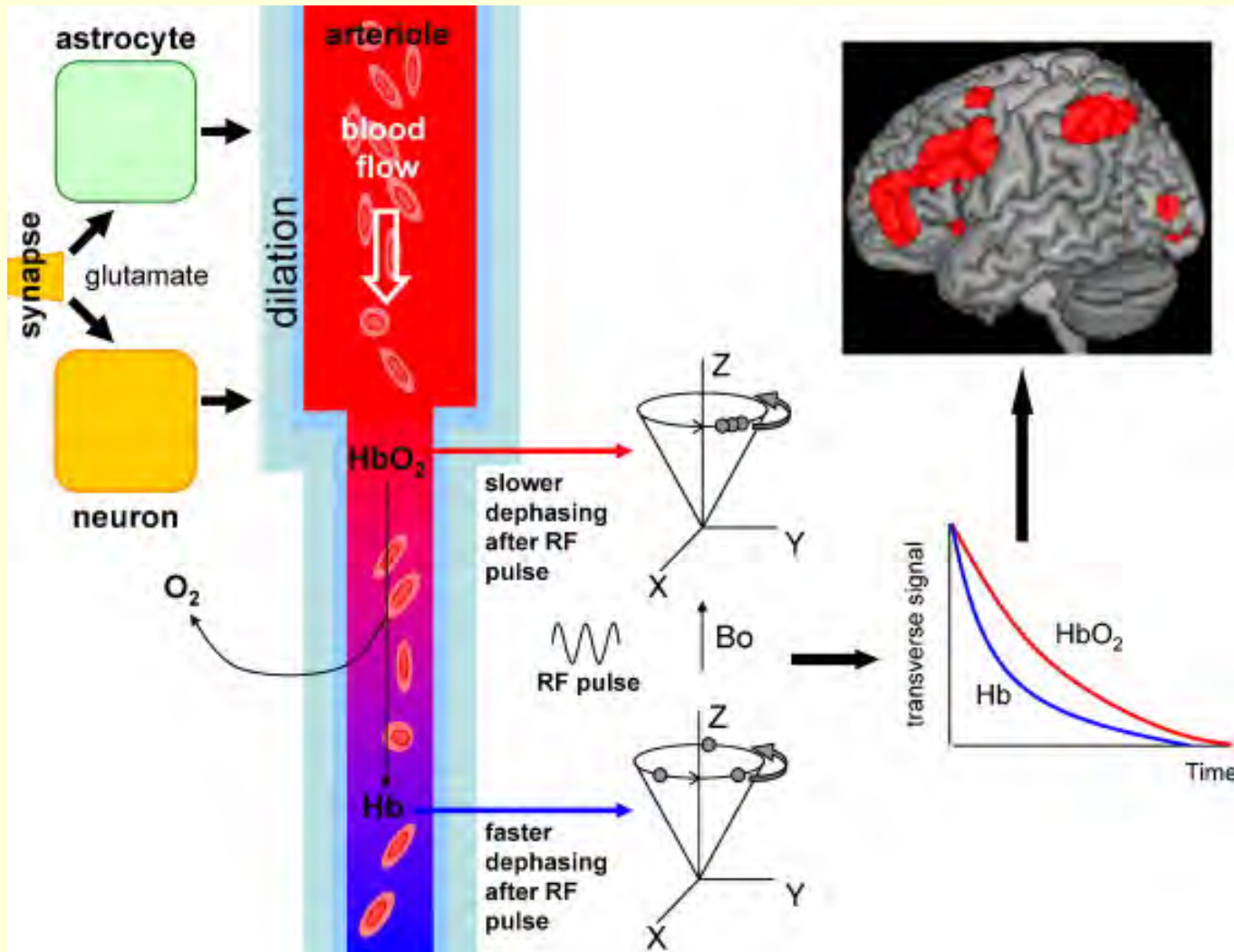


Tirée de Pierre Bellec

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLAhXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_Isni.pdf&usq=AFQjCNGBiKg_wv2lF4Dtll0-0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja

(Figure adaptée de Harrison, 2002 and Pike, MNI (left panel) ; Heeger et Ress, 2002, Nature reviews neuroscience, 3 : 142-151 (right panel))

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.



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.

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.

Progress and Problems in Brain Mapping

By Jon Lieff

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

« Each dot of light on fMRI
(**voxel**) measures average
blood flow activity in a region
of **80,000 neurons** and
4 million synapses
over a second.”

Cluster failure: Why fMRI inferences for spatial extent have inflated false-positive rates

[Anders Eklund](#), [Thomas E. Nichols](#) and [Hans Knutsson](#)

PNAS, May 17, **2016**

<http://www.pnas.org/content/113/28/7900.full>

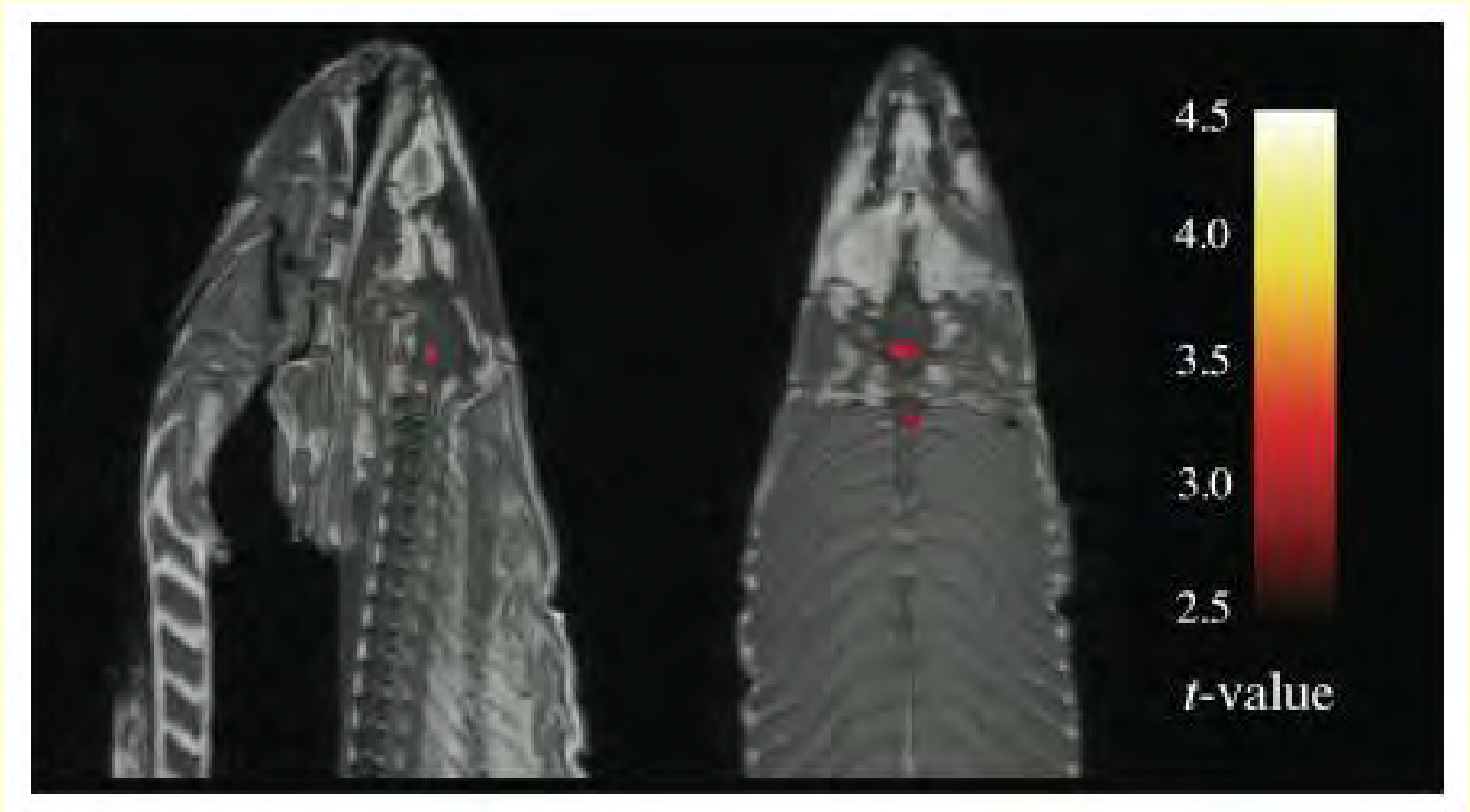
Software faults raise questions about the validity of brain studies

<http://arstechnica.com/science/2016/07/algorithms-used-to-study-brain-activity-may-be-exaggerating-results/>

Don't Be So Quick to Flush 15 Years of Brain Scan Studies

<http://www.wired.com/2016/07/dont-quick-flush-15-years-brain-scan-studies/>

Et finalement :

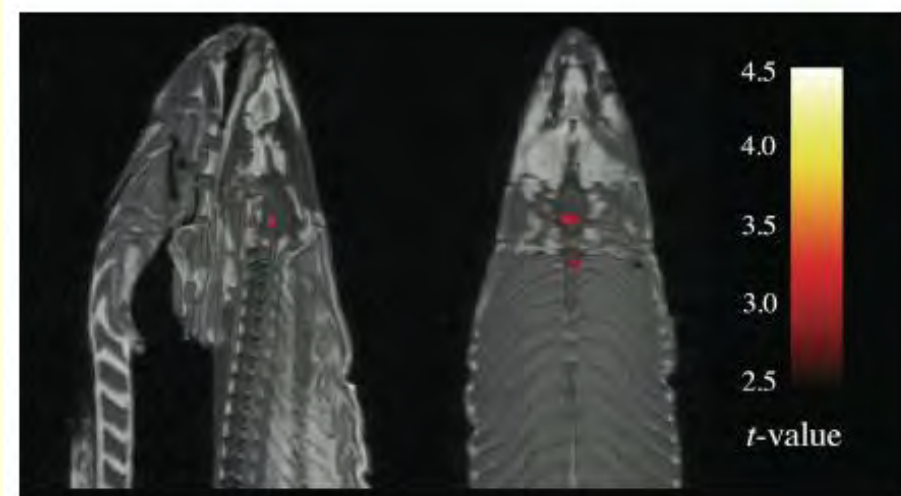


Et finalement :

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.

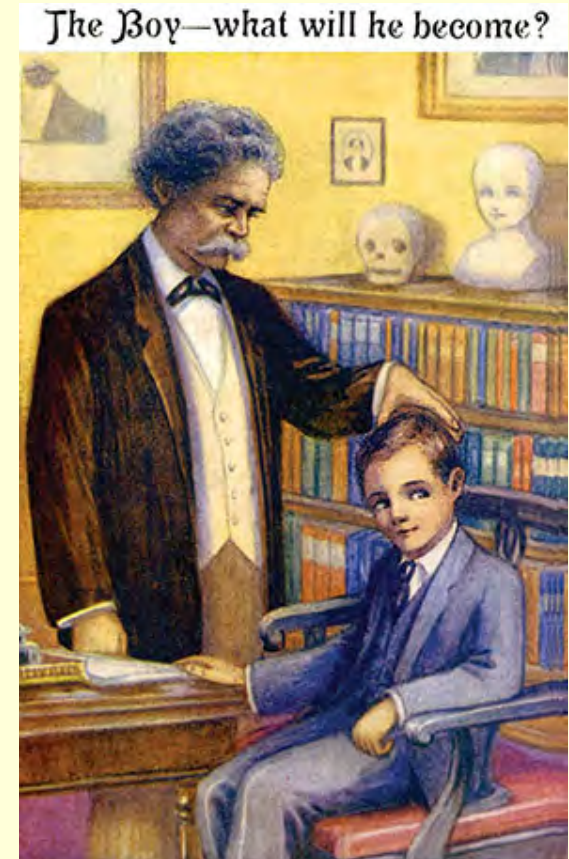
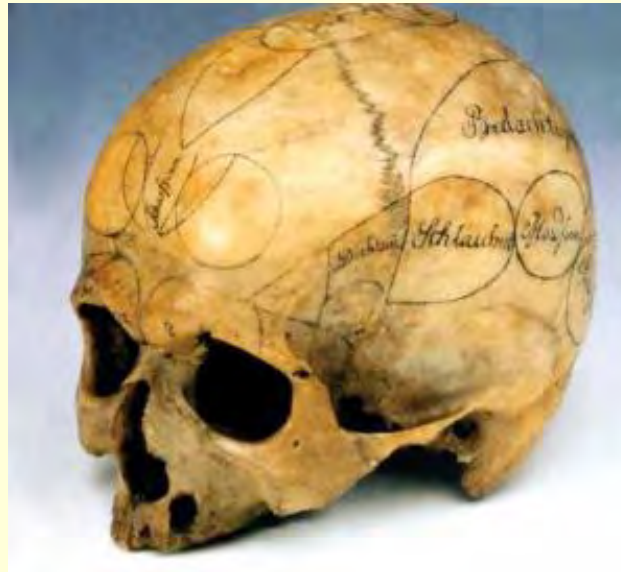
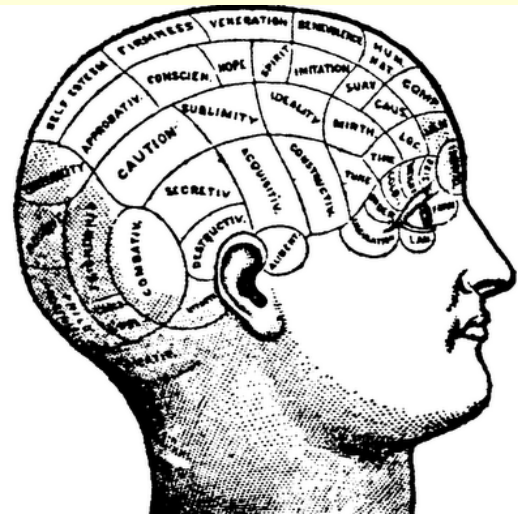
Alors qu'il devait servir de simple test pour **calibrer les contrastes de l'appareil**, le célèbre saumon mort allait devenir le caillou dans le soulier que l'IRMf traîne encore aujourd'hui...



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 !** »

9 octobre 2011 | 0 Commentaire

Découverte de la région du cerveau qui permet de faire la différence entre l'imagination et la réalité.



Newly Discovered Brain Region Helps Make Humans Unique

By Tia Ghose, Staff Writer | January 28, 2014 12:00pm ET

f 864

t 77



Scientists have identified a part of the brain that seems to be unique to humans.

Une "aire de la jalousie" identifiée dans le cerveau

f Partager sur Facebook < 10

Recevoir la newsletter

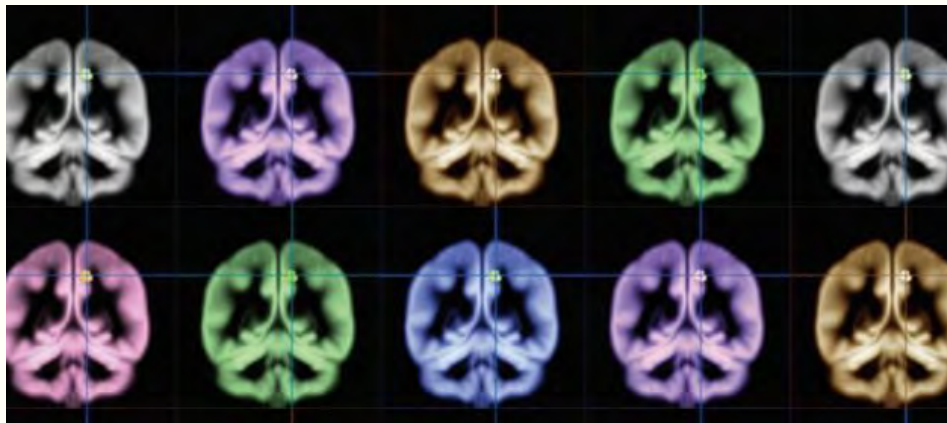
Japon - Des scientifiques ont annoncé avoir découvert l'aire du cerveau contrôlant la jalousie.

L'aire de la jalousie serait localisée dans une partie du cerveau détectant les maux physiques, ce qui expliquerait les souffrances ressenties à la pensée d'hypothétiques infidélités de la part de nos partenaires.

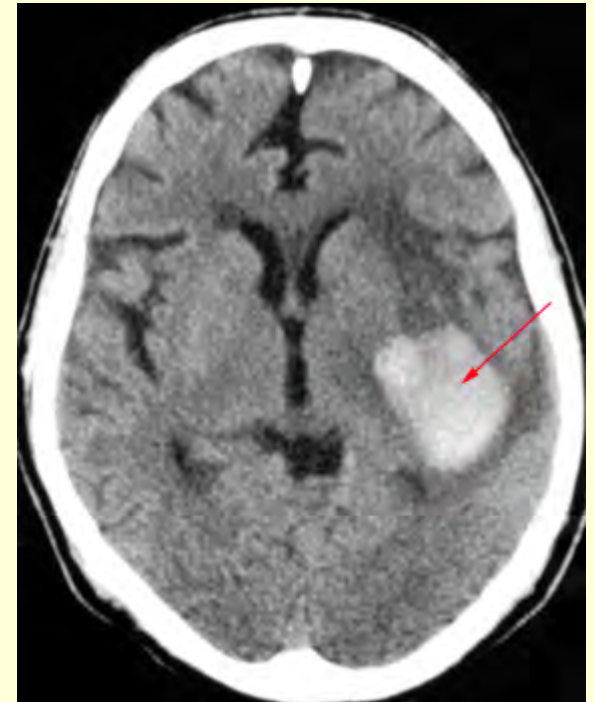


Scientists have located the happiness center in the brain

AFP Relaxnews | 24 November, 2015 12:08



Neuropsychology in general, and the neuropsychological assessment of brain injury patients in particular, has long been associated with support for the **localization** side of this spurious debate, because when focal (i.e. highly localized) brain injuries appear to result in **very specific cognitive deficits**, it can be hard to resist the conclusion that the patient has damaged (and the scientist has thereby discovered) “the” brain region for the impaired aspect of cognition.



Of course, one should resist, if for no other reason (and there are so many other reasons!) than **the injury might merely have cut off communication between the brain regions actually responsible for the impaired ability.**

“Functional specialization has become one of the enduring theoretical foundations of cognitive neuroscience.

Specialization alone, however, cannot fully account for most aspects of brain function.

Mounting evidence suggests that **integrative processes and dynamic interactions across multiple distributed regions and systems** underpin cognitive processes as diverse as visual recognition [2], language [3], cognitive control [4], emotion [5], and social cognition.”

Network hubs in the human brain

Martijn P. van den Heuvel, Olaf Sporns

[http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/pdf/S1364-6613\(13\)00216-7.pdf](http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/pdf/S1364-6613(13)00216-7.pdf)

“[...] And yet the field tends too often to break into warring camps, with each side rallying around one or the other of these poles, each hoping to show that **localization** (no! **integration!**) is “the” fundamental fact of the brain.”

- **Michael L. Anderson** [After Phrenology](#)
Brain Injury Study Points to Integrative Nature of Intelligence

Intelligence is all about neural teamwork.

Apr 14, 2012

[https://www.psychologytoday.com/blog/after-phrenology/201204/
brain-injury-study-points-integrative-nature-intelligence](https://www.psychologytoday.com/blog/after-phrenology/201204/brain-injury-study-points-integrative-nature-intelligence)

Comment sortir de la phrénologie ?

- Où des notions comme le recyclage fonctionnel et la réutilisation neuronale donnent à penser le cerveau autrement qu'en terme d'aires spécialisées



Lundi, 9 mars 2015

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

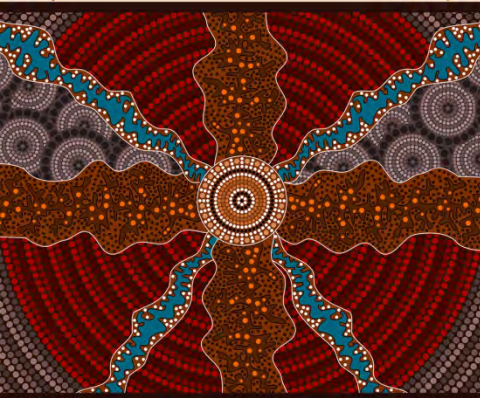
Dans son livre *After Phrenology : Neural Reuse and the Interactive Brain*, **Michael Anderson** nous propose d'aller au-delà de la phrénologie

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



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.

Neural reuse : the use of local regions of the brain for multiple tasks, across multiple domains.

(Chapter 1 of **After phrenology**)

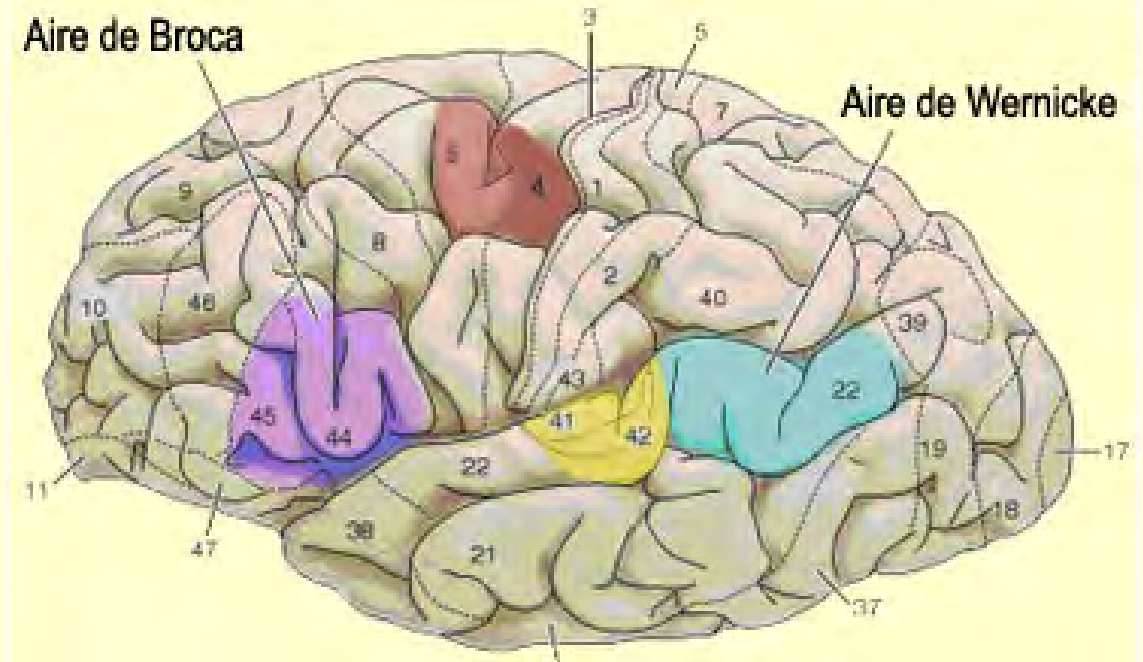
Since one takes a step back and considers statistical analyses of **vast collections of neuroimaging results**, the picture is far less clear [...].

There are few, if any, neural regions dedicated to a single specific cognitive function. Neural systems are pluripotent, in the sense that **most regions are implicated in a wide and diverse range of different functions.**

http://www.academia.edu/22113086/Review_of_After_Phrenology_Neural_Reuse_and_the_Interactive_Brain_by_Michael_L_Anderson

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.

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.



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.

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

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**.

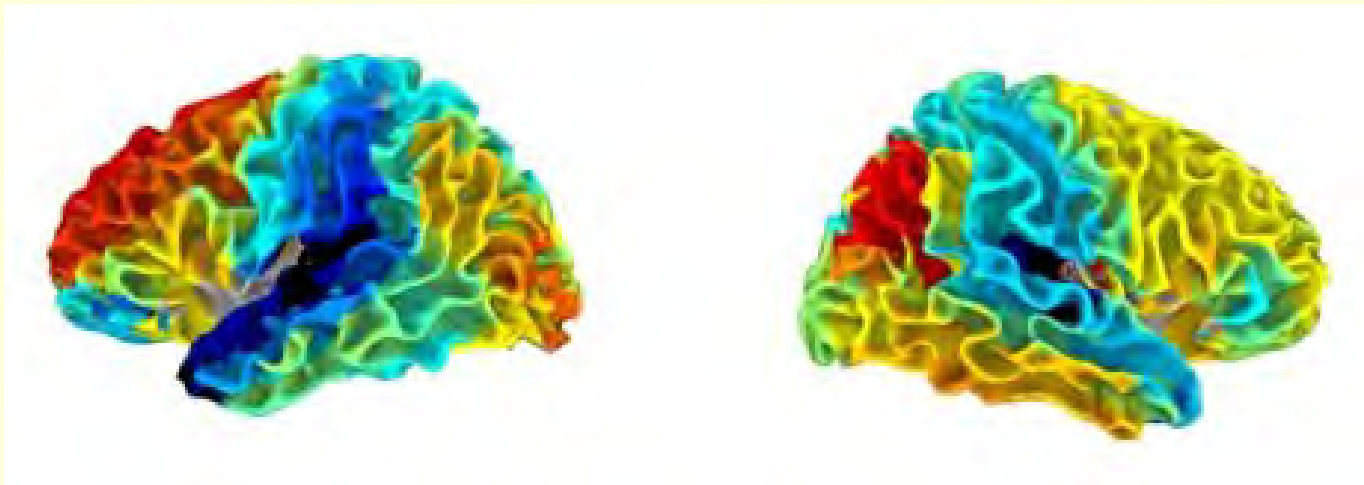
Autre exemple :

One early study investigated 135 experiments in four different cognitive domains: language, vision, attention and memory, and color coded the regions that were activated by tasks in each using standard 4-color printing techniques. Instead of seeing large regions of the brain **painted in simple primary colors**, indicating **dedication to tasks in a single domain**, each brain region took on **its own mixed hue, reflecting its contribution to many different tasks across the four domains**. This finding was recently confirmed by a much larger study involving over 1,100 experiments across 11 different cognitive domains. Bottom line: **the neighborhoods of the brain are highly integrated and functionally diverse**.

Autre exemple :

...involving over 1,100 experiments across **11 different cognitive domains**.

The picture below represents those brain demographics on a cool-to-hot scale, in a way designed to emphasize the differences in diversity between regions. It uses a scale of zero (black) to one (bright red), where zero means all activity restricted to a single domain, and one means a region that is equally likely to be active in all 11 domains,



like a perfectly integrated neighborhood. It turns out that the **78 standard anatomical regions of the brain have an average diversity of 0.70!** In fact, a typical brain region is active in tasks across nine of the eleven domains.

The upshot: **local neural structures are *not* highly selective, and typically contribute to multiple tasks across domain boundaries.**

One important upshot of this is that there typically isn't a "brain area for X".
The brain doesn't operate by differentially activating one or a few dedicated local regions to achieve some task.

Instead, **the brain dynamically assembles different coalitions of partners.** Achieving a task is *not* a matter of finding a single neural specialist, but is rather about **putting together the right neural team for the job.**

[...] evolution is also known to repurpose existing resources to meet emerging challenges. If that's the way the brain evolved-and it does seem to be a more efficient use of metabolically expensive brain matter-then what we would expect to see is what we indeed see: **regions used and reused for a variety of purposes in different circumstances.**



One important upshot of this is that there typically isn't a "brain area for X".
The brain doesn't operate by differentially activating one or a few dedicated local regions to achieve some task.

Instead, **the brain dynamically assembles different coalitions of partners.** Achieving a task is *not* a matter of finding a single neural specialist, but is rather about **putting together the right neural team for the job.**

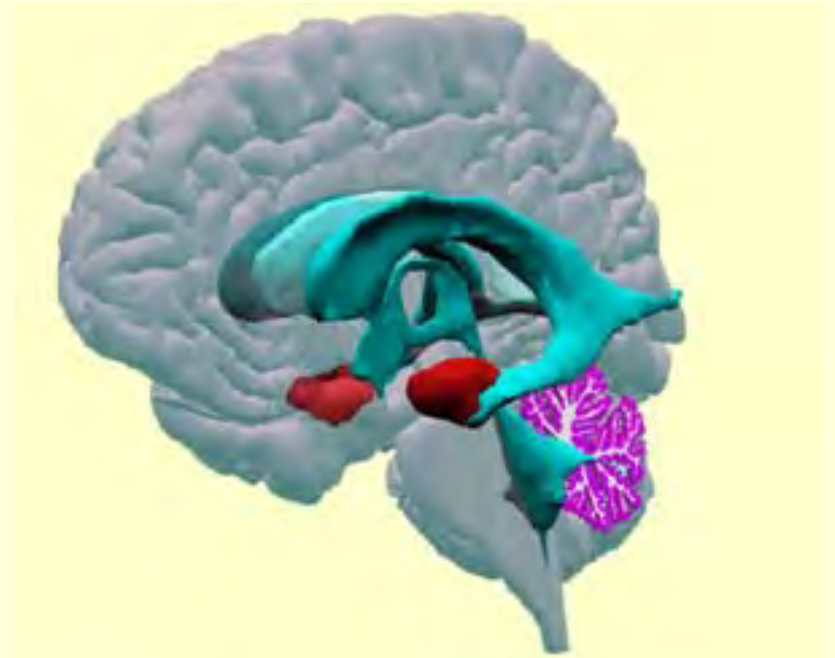
[...] evolution is also known to repurpose existing resources to meet emerging challenges. If that's the way the brain evolved-and it does seem to be a more efficient use of metabolically expensive brain matter-then what we would expect to see is what we indeed see: **regions used and reused for a variety of purposes in different circumstances.**





Il faut se méfier des associations rapides que l'on peut faire entre des structures cérébrales et de fonctions

Amygdale = peur ?



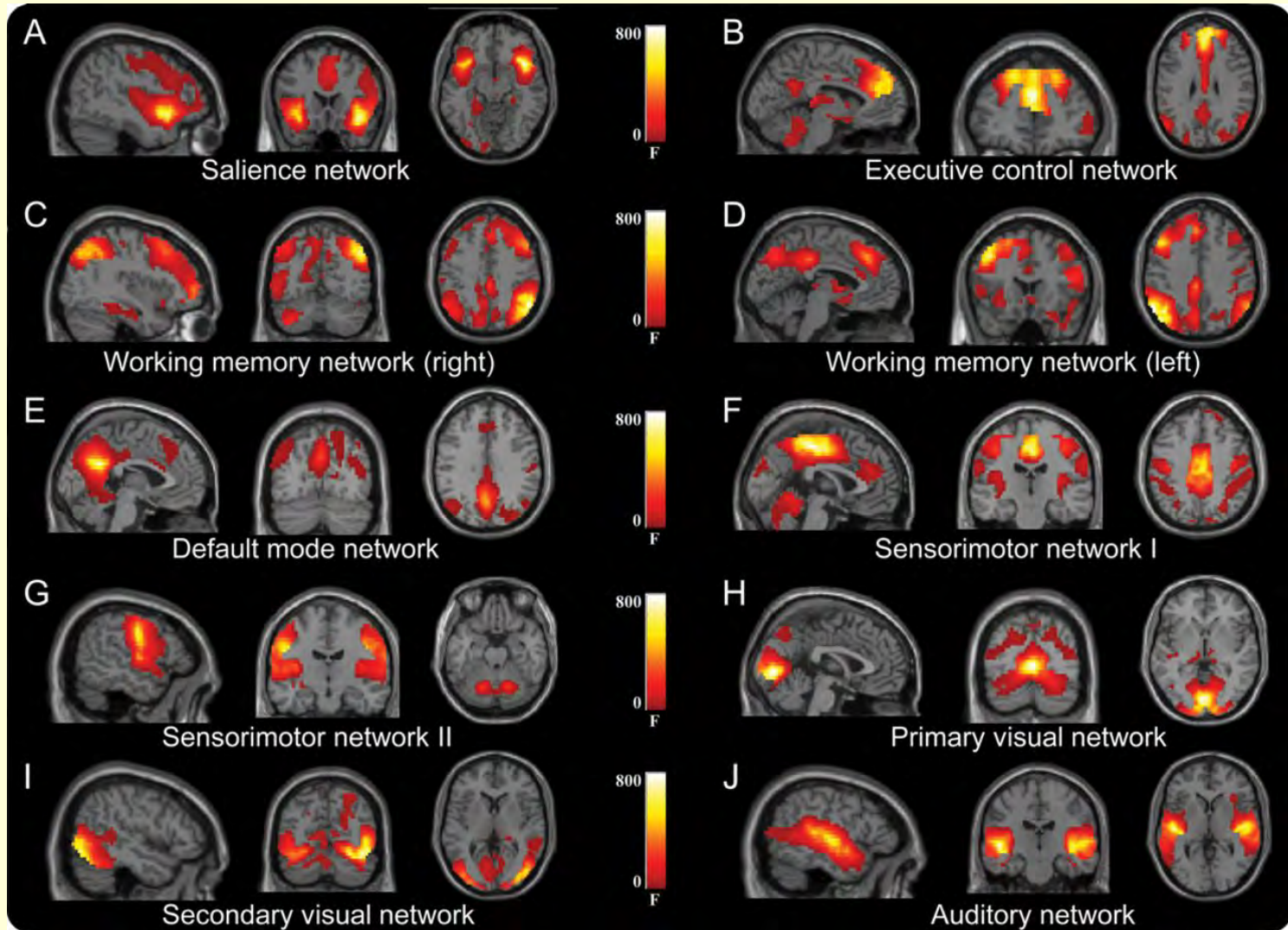


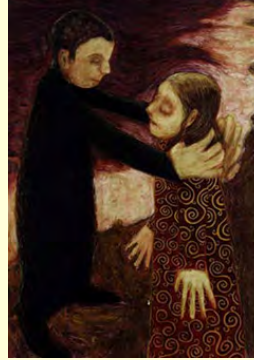
Amygdale ~~X~~ peur ?

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



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



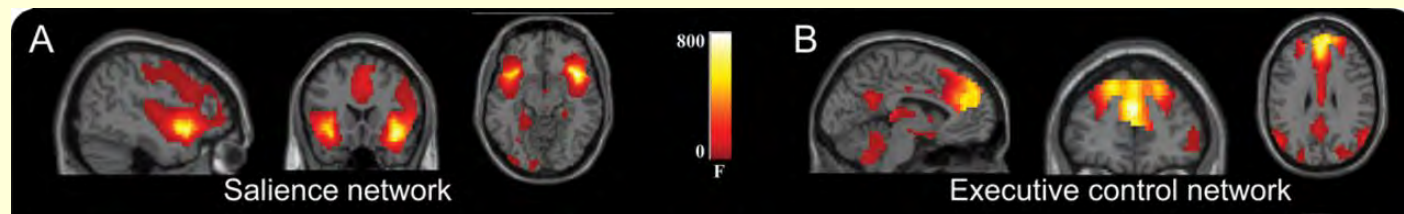


http://www.academia.edu/22113086/Review_of_After_Phrenology_Neural_Reuse_and_the_Interactive_Brain_by_Michael_L._Anderson

Although Anderson argues against functional specificity, he doesn't go so far as to argue against specificity altogether. Neural systems have specific computational properties, and these properties determine the kinds of contribution they are able to make to the larger networks that they form parts of.

However, importantly **these computational profiles cannot easily be lined up with more coarse-grained behavioural functions.** The same piece of neural machinery may play a part in two very different kinds of behaviour, as a result of being co-opted into different effective networks.

[...] one should **characterise the “personalities” of neural subsystems in terms of their dispositions to respond in particular ways in a variety of circumstances.**



AFTER PHRENOLOGY

Neural Reuse and the Interactive Brain



MICHAEL L. ANDERSON

“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. [...]

“Strict
localization” :

<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

Le pôle extrême opposé à la localisation stricte :

William Uttal recently argued that “any studies using brain images that report single areas of activation exclusively associated with any particular cognitive process should a priori be considered to be **artifacts** of the arbitrary thresholds set by investigators and seriously questioned” (Uttal, 2011)

Bref :

Functional Specialization of Mind/Brain is Controversial!

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

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

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

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

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

Importante distinction entre spécialisation fonctionnelle
(modularité de la psychologie évolutive) et **différentiation fonctionnelle**
(réutilisation neuronale) :

[...] neural reuse is not consistent with the notion that the brain is composed largely of segregated, functionally dedicated, **specialized** neural modules.

Different networks **share parts**, and the parts may do **different things for each of the networks in which they participate**, as a result of the constraints imposed by the network interactions (Anderson 2015).

The brain is functionally differentiated, but also deeply integrated in ways that make modularity very unlikely.

Ce que ça apporte au niveau de la plasticité :

Two kinds of neuroplasticity

The most familiar kind of neuroplasticity is **Hebbian learning, also known as spike-timing dependent plasticity** (Song, Miller & Abbott, 2000). Hebbian learning is a crucial developmental process for tuning local neural interactions and helping determine the functional bias of local networks.

Neural reuse, whereby individual neural elements are put to use for multiple cognitive and behavioral ends, involves an additional kind of neuroplasticity that I have called neural search.

Neural search is **the process whereby neural elements are put into new functional partnerships with one another.**

La formation de ces coalitions transitoires doit être réalisée de façon dynamique :

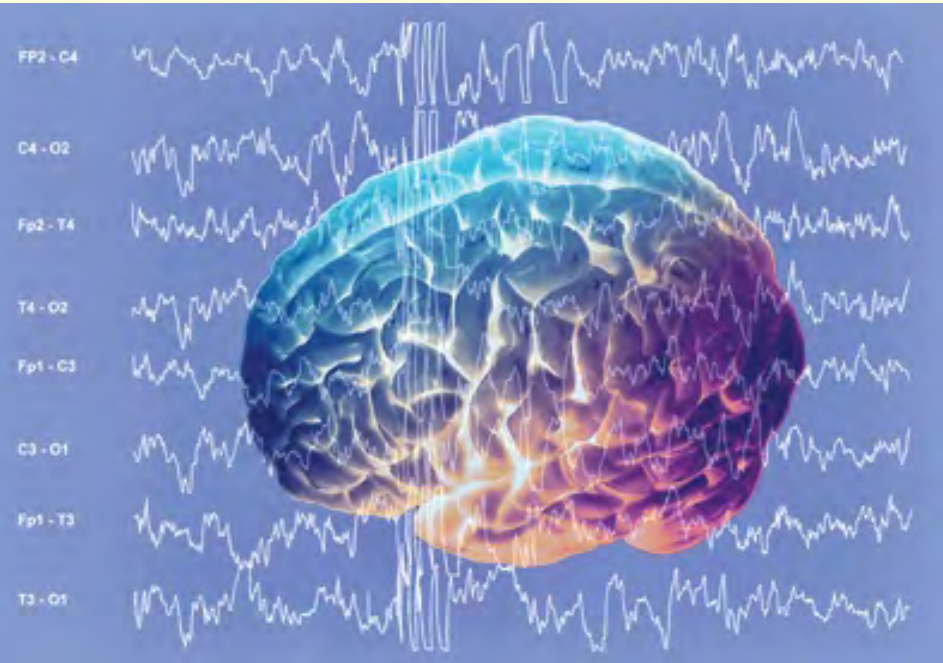
One coalition has to **arise that dominates** the dynamics of the brain, shuts out all rivals and dictates the animal's behaviour.

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

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

Il faut donc maintenant s'intéresser à cette activité dynamique du cerveau...

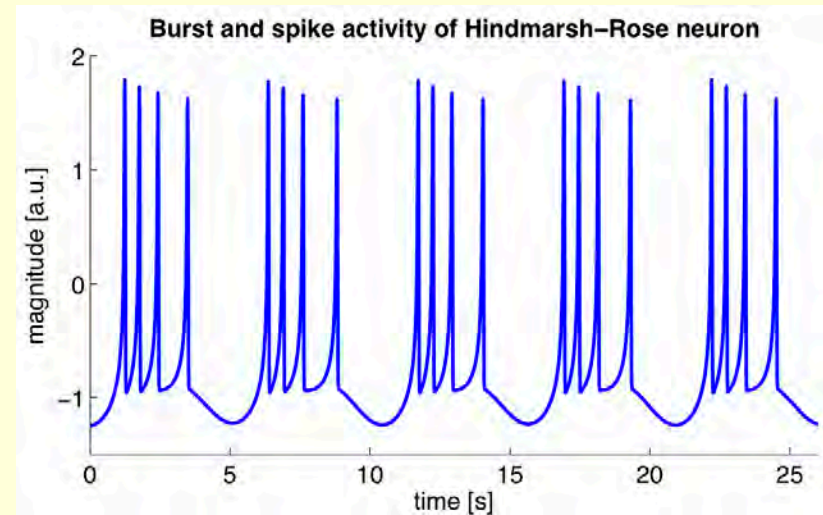
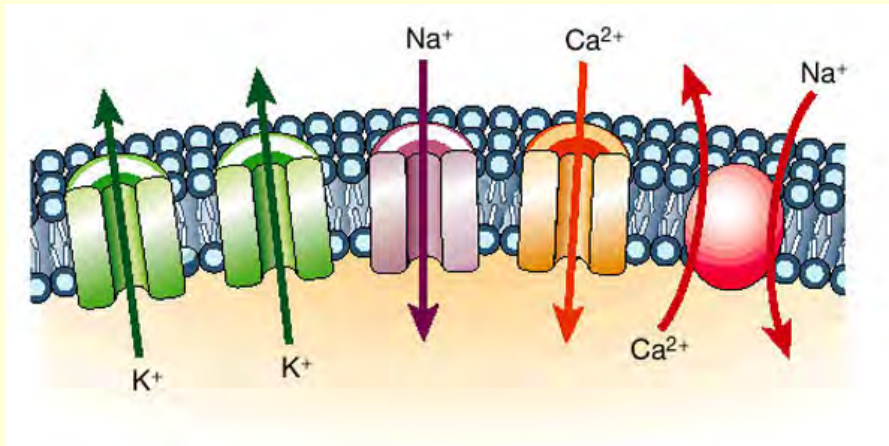
Le cerveau a en effet une activité endogène constante qui génère des « rythmes cérébraux ».



György Buzsáki : les phénomènes **fluctuants (ou cycliques)** comme les oscillations neuronales sont omniprésents dans la nature.

Il suffit que **deux forces s'opposent** pour que le calme plat soit rapidement **remplacé par un rythme**.

Et notre cerveau regorge de forces qui s'opposent, à commencer par les **canaux ioniques** qui **dépolarisent** ou **hyperpolarisent** les neurones.

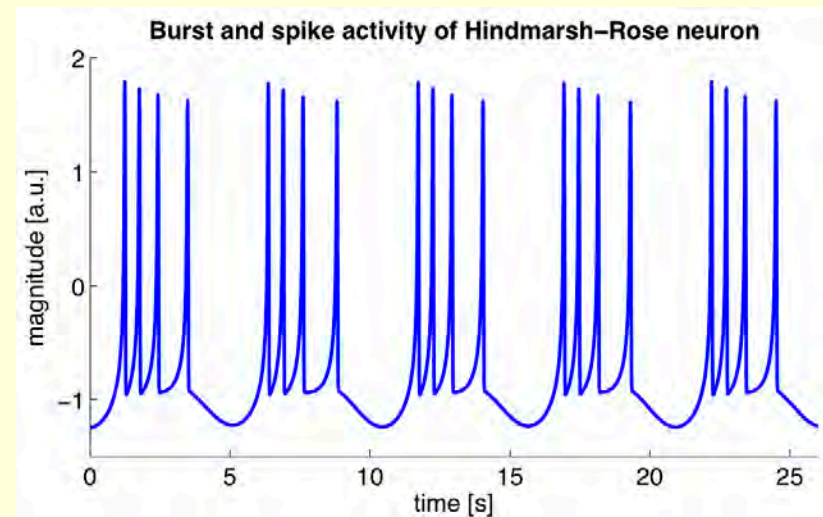
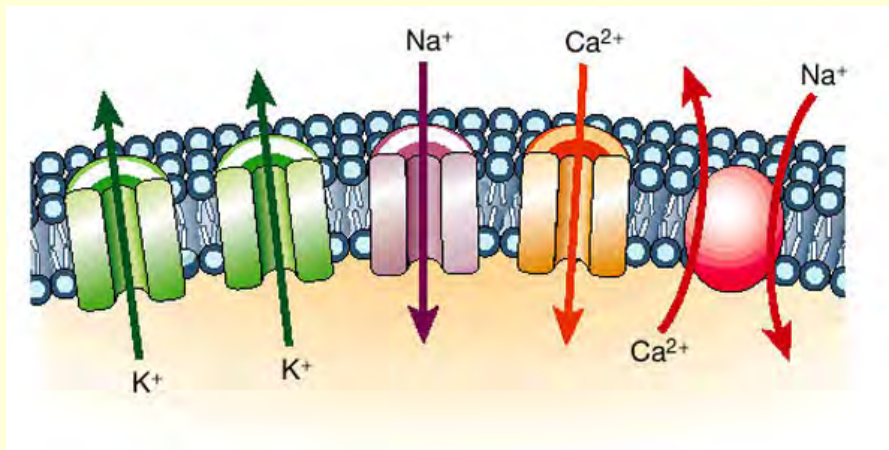


“nature went to a lot of trouble bringing together these channels at the right densities and location just to serve one purpose: **oscillation.**”

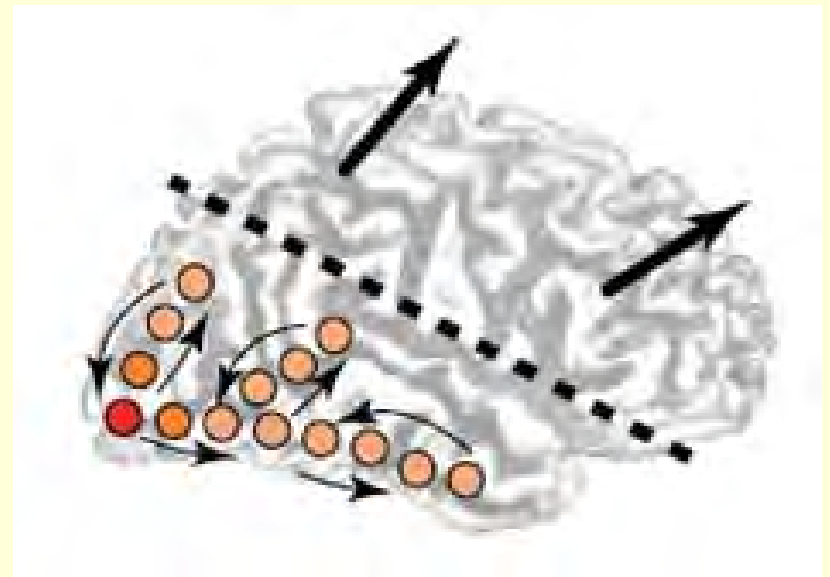
- Buzsáki 2006

[...] Llinás' findings revealed that the **neurons are oscillators**

- William Bechtel (2013)

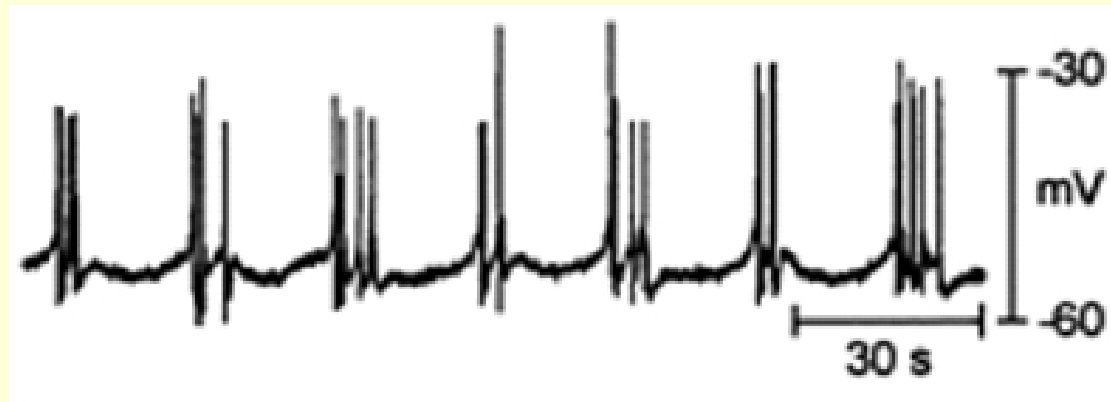


“If there’s input to the nervous system, fine. It will react to it.



Activité « **Bottom up** »

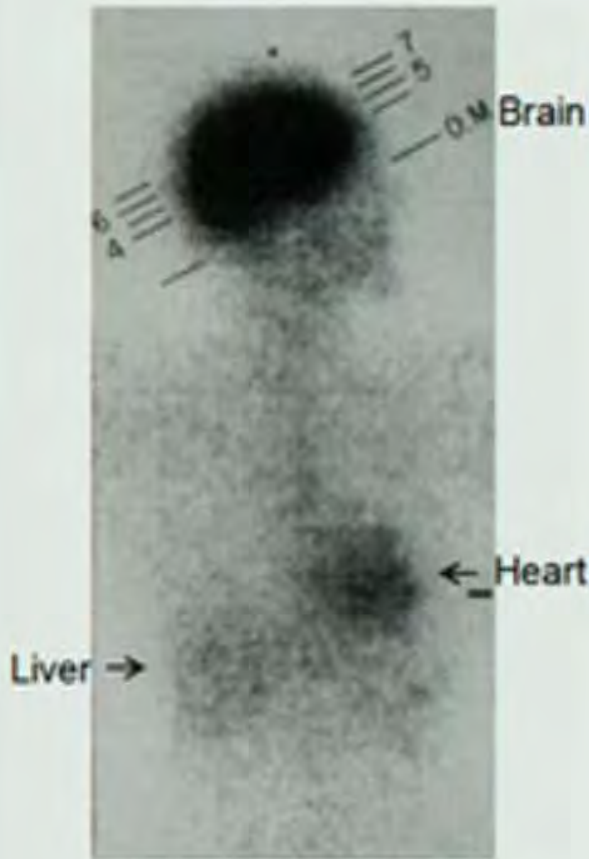
But the **nervous system is primarily a device for generating action spontaneously.** It’s an ongoing affair.



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

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

Resting Metabolism



Alavi & Reivich (2002)

Le cerveau ne représente environ que 2 % du poids du corps humain.

Pourtant, il mobilise en permanence environ 20 % du sang et de l'oxygène de notre organisme

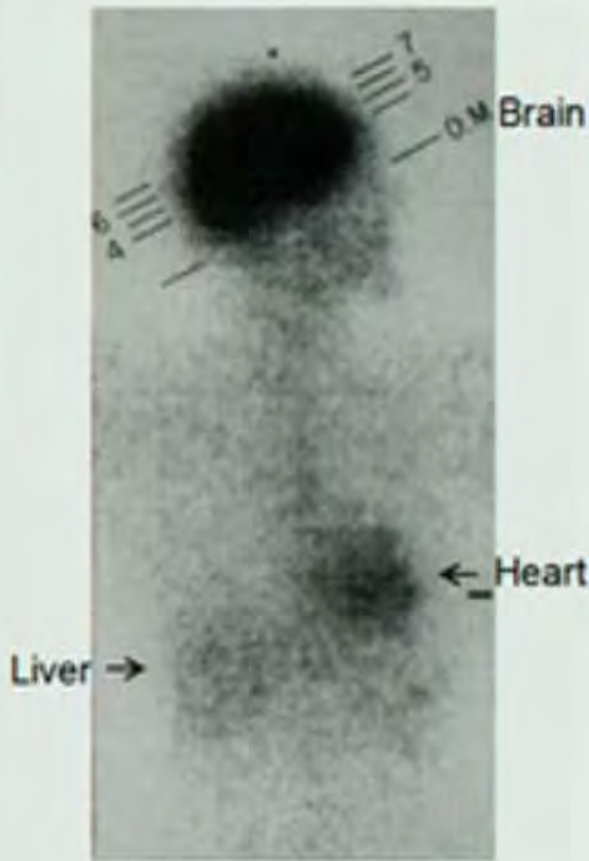
**SYMPOSIUM 2: The Connectome: Mapping the Brain
(Boston, 2011)**

Marcus Raichle

(6:30 à 17 min.)

<http://thesciencenetwork.org/programs/one-mind-for-research/symposium-2-the-connectome-mapping-the-brain>

Resting Metabolism



Alavi & Reivich (2002)

Le cerveau ne représente environ que 2 % du poids du corps humain.

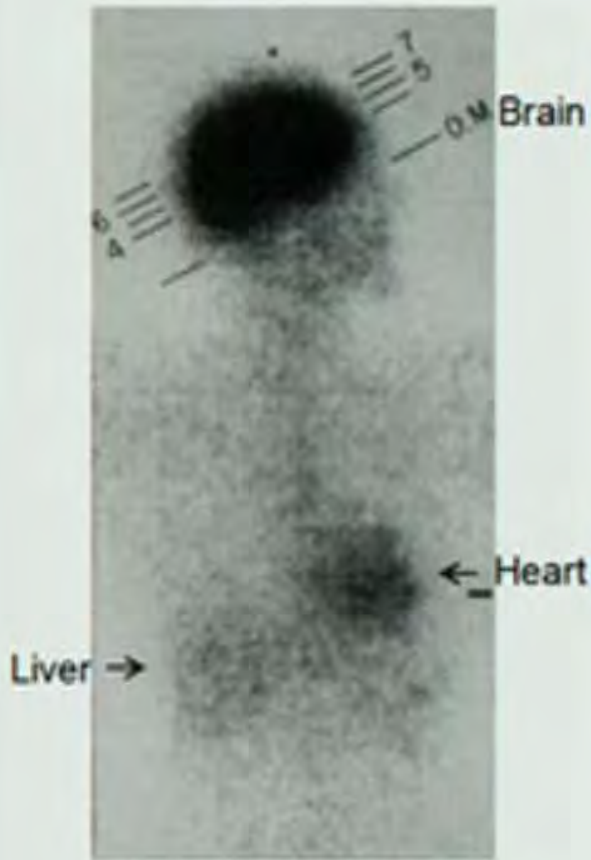
Pourtant, il mobilise en permanence environ 20 % du sang et de l'oxygène de notre organisme

Si seulement 10% de notre cerveau n'était utilisé, à 50% d'utilisation, il prendrait déjà 100% de l'énergie consommée...

Oups !



Resting Metabolism



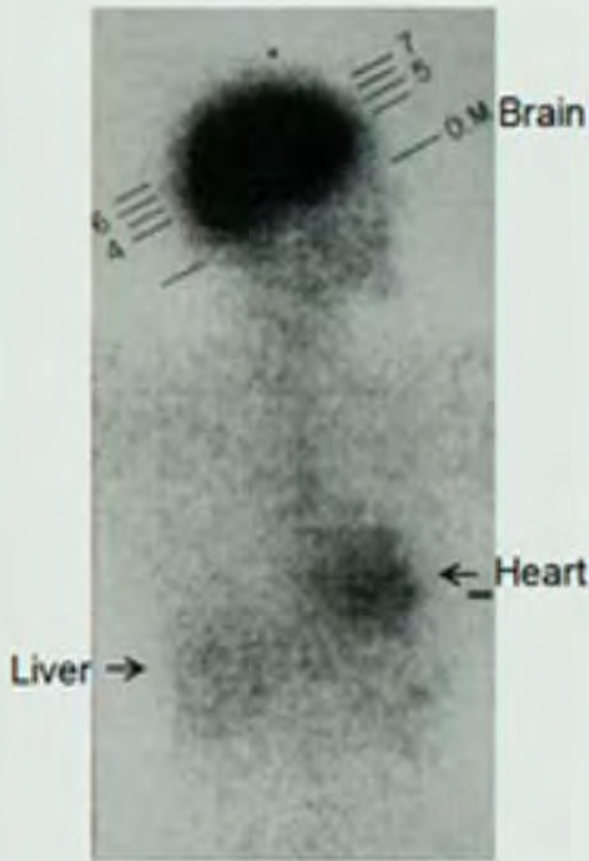
Alavi & Reivich (2002)

Le cerveau ne représente environ que 2 % du poids du corps humain.

Pourtant, il mobilise en permanence environ 20 % du sang et de l'oxygène de notre organisme

Pourquoi ?

Resting Metabolism

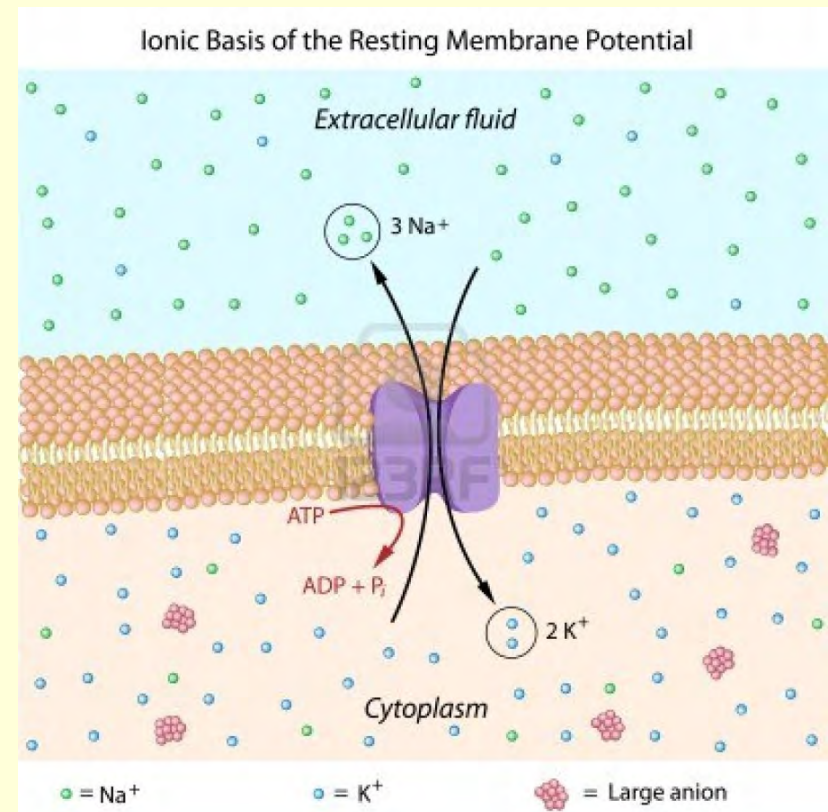


Alavi & Reivich (2002)

Le cerveau ne représente environ que 2 % du poids du corps humain.

Pourtant, il mobilise en permanence environ 20 % du sang et de l'oxygène de notre organisme

« Pompe »
sodium /
potassium



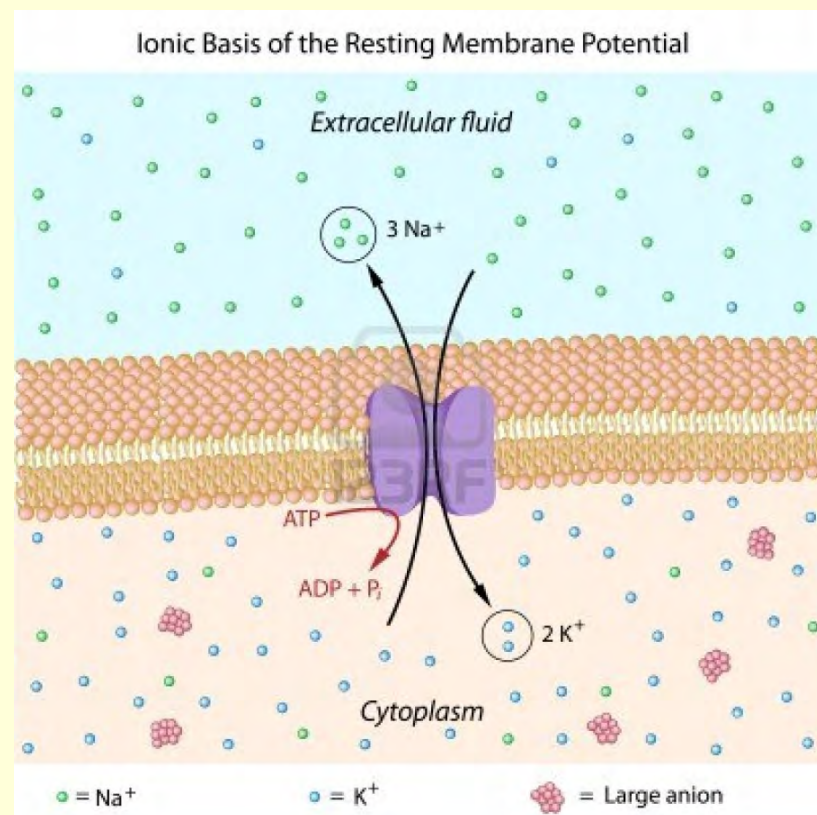
While mammalian cells spend the most of their "currency", ATP (adenosine triphosphate), for the building of protein (25 to 30%), the second most important expenditure is for **pumping sodium out, and potassium in** (generally between 19 and 28%).^[1]

In the brain, however, the percentage of the cell's "budget" devoted to the sodium-potassium pump averages 50 %, with grey matter requiring more, and white matter demanding less, than 50 %.^[2]

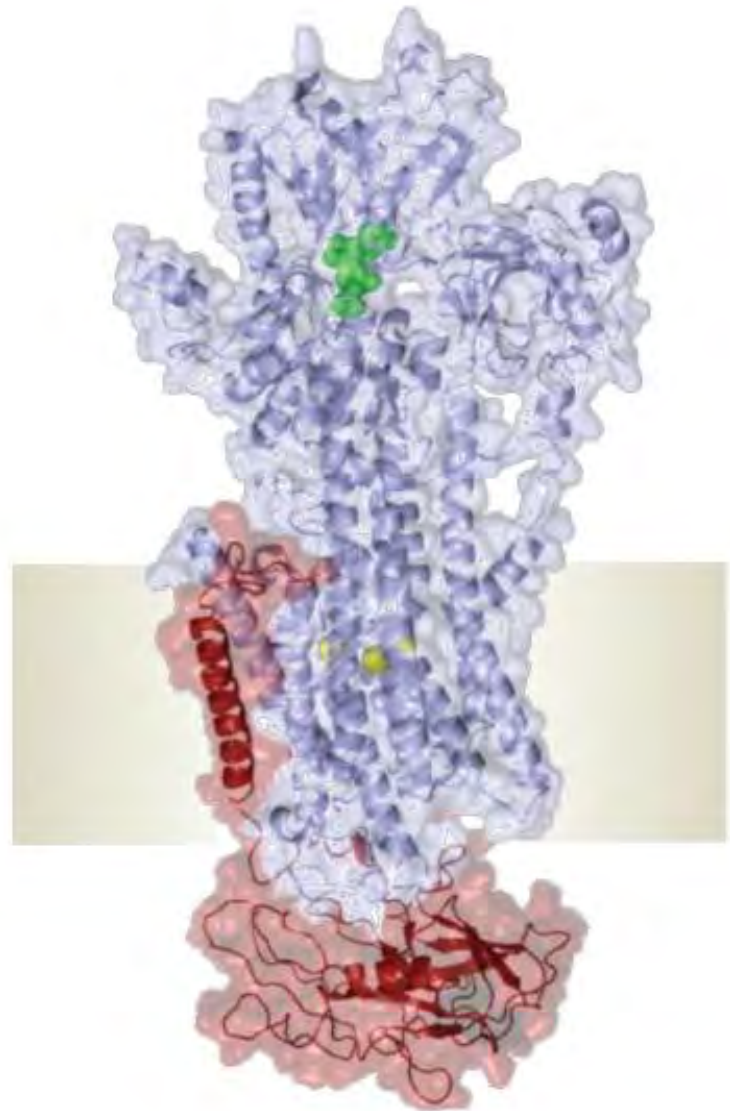
<http://en.citizendium.org/wiki/Na,K-ATPase>

Rolfe DF, Brown GC (1997). "Cellular energy utilization and molecular origin of standard metabolic rate in mammals". *Physiol. Rev.* **77** (3): 731–58. [PMID 9234964](#).^[e]

Attwell D, Laughlin SB (2001). "[An energy budget for signaling in the grey matter of the brain](#)". *J. Cereb. Blood Flow Metab.* **21** (10): 1133–45. see page 1142, left.



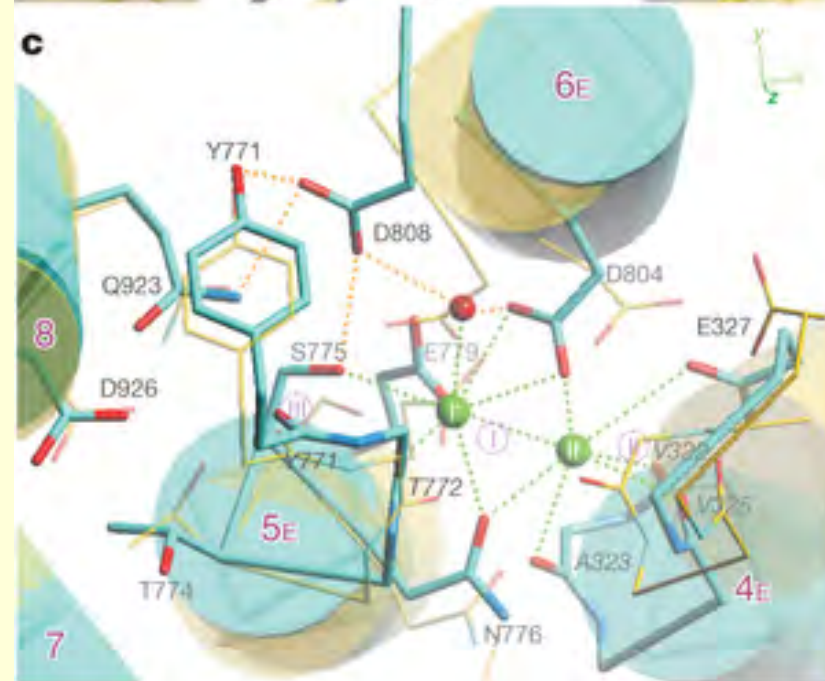
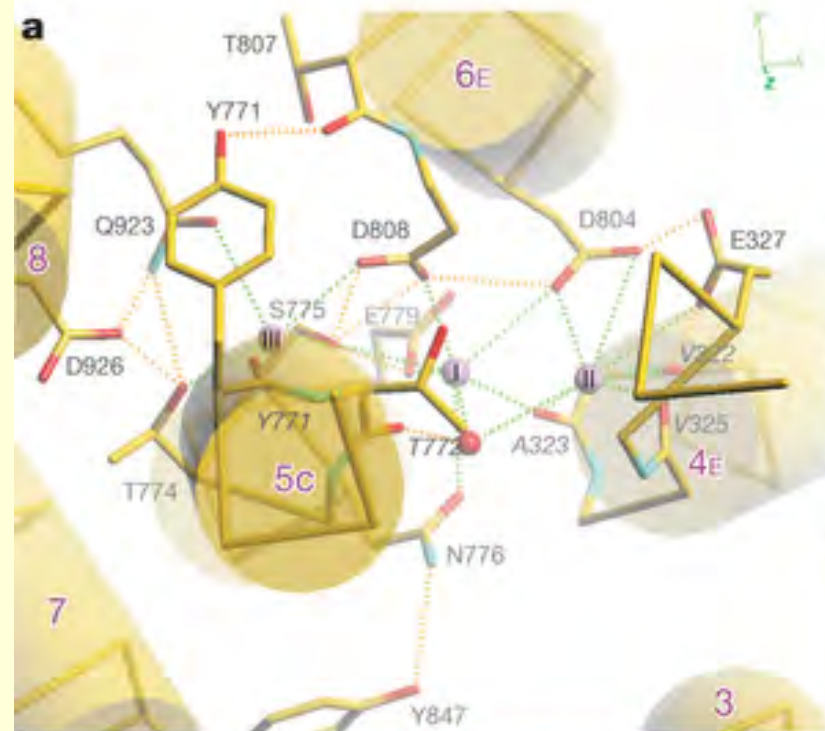
C'est seulement en **2009**,
que sa structure globale
a pu être observée.



Mais on s'était toujours demandé comment la pompe faisait pour prendre des ions sodium dans la première phase de son travail, et des ions potassium dans la deuxième, **sans se tromper.**

Dans un articles publié dans ***Nature*** en octobre **2013** Kanai *et al.* ont pu démontrer que la clé réside dans le fait que

la pompe **change de conformation entre ces deux étapes.**



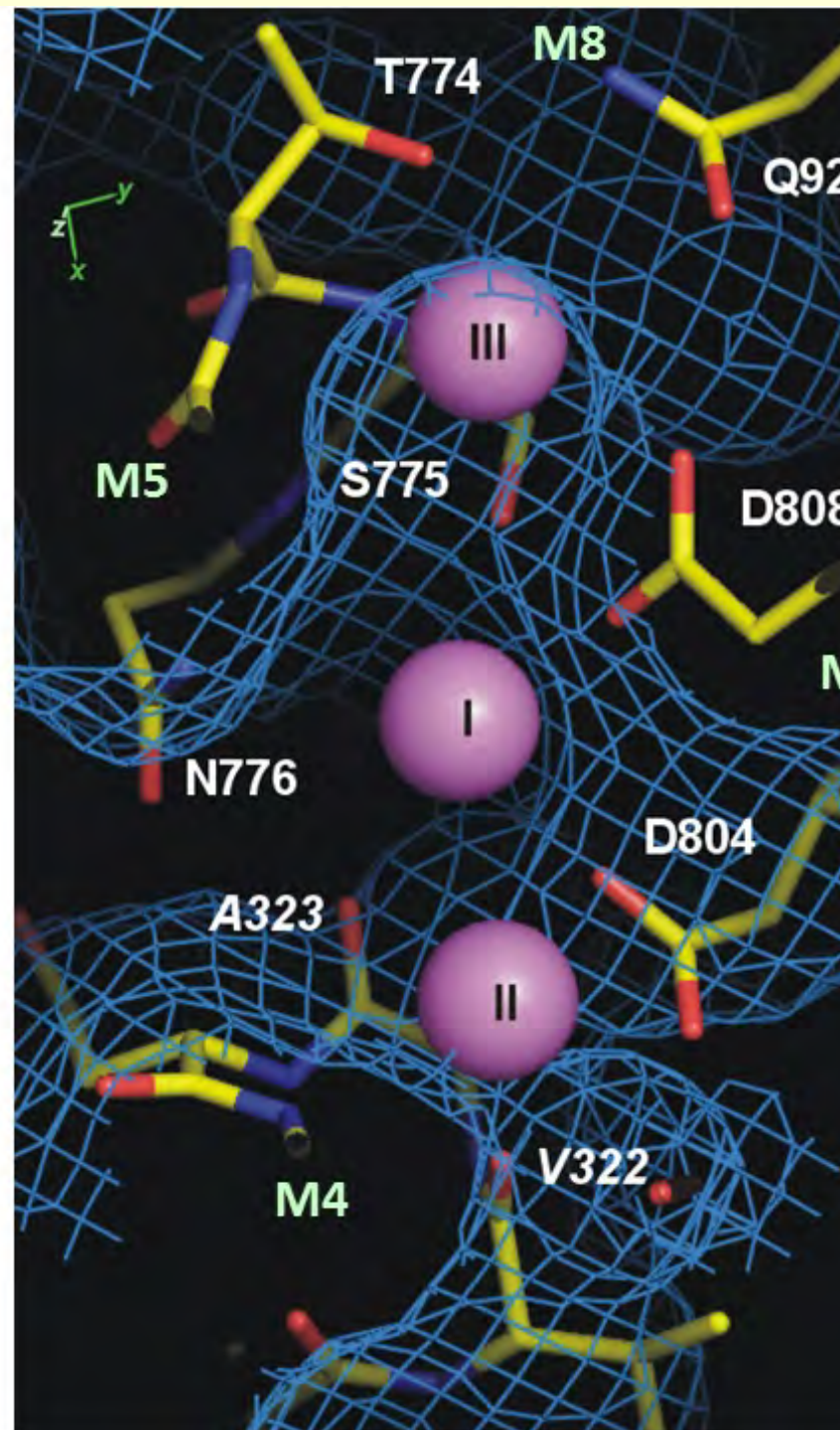
Par exemple, dans la première conformation, elle possède une cavité comportant **trois logements** qui ont exactement la taille d'ions sodium.

Mais ces logements sont **trop petits** pour accepter des ions potassium.

Ce réglage très précis permet à la pompe de **discriminer** entre les deux sortes d'ions.

Et de créer ainsi le potentiel de repos qui rendra possible les potentiel d'action.

Et à partir de là, le cerveau pourra commencer à penser...



28 mars 2016

L'activité endogène du cerveau force à repenser plusieurs phénomènes

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2016/03/28/lactivite-endogene-du-cerveau-force-a-repenser-plusieurs-phenomenes/>

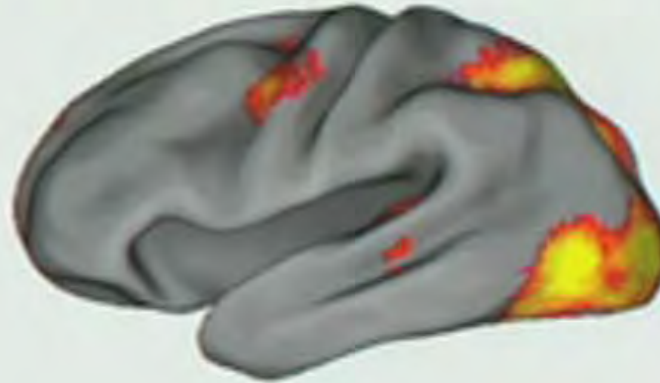
Je crois qu'il faut rappeler ici une chose importante qui est
« qu'il pleut tout le temps dans notre tête » ! Qu'est-ce à dire ?

An Historical View

Reflexive

(Sir Charles Sherrington)

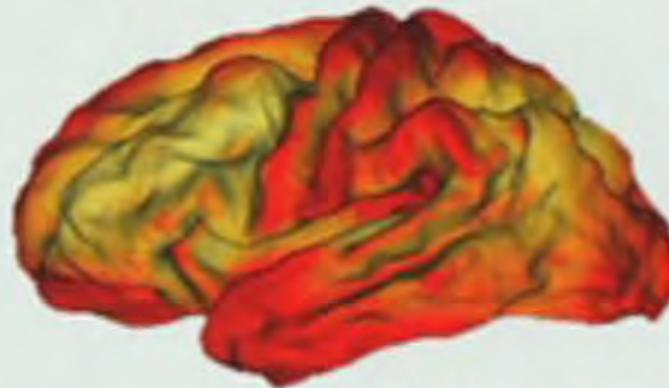
On est passé d'une conception passive d'un cerveau qui attend ses inputs de l'environnement pour y réagir...



Intrinsic

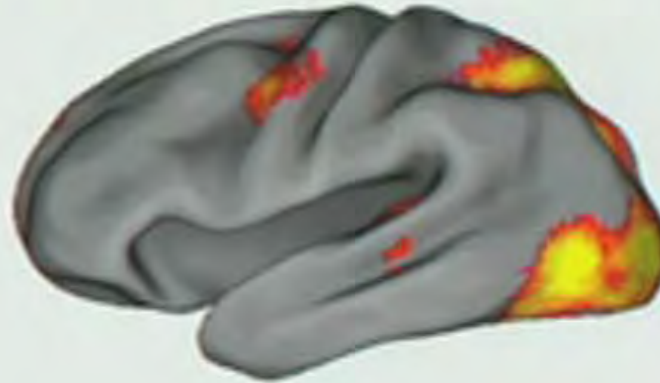
(T. Graham Brown)

à une conception d'un cerveau actif ayant toujours une activité endogène dynamique

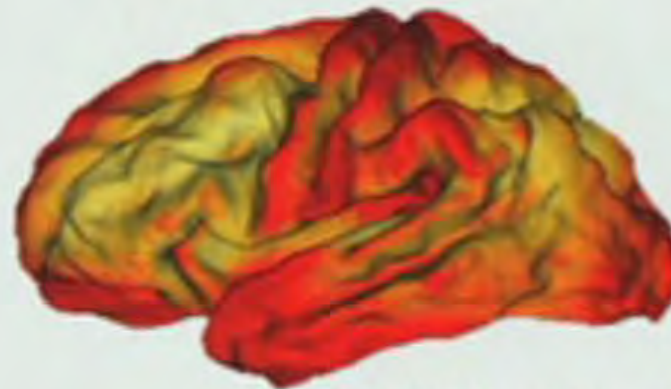


An Historical View

Reflexive
(Sir Charles Sherrington)



Intrinsic
(T. Graham Brown)

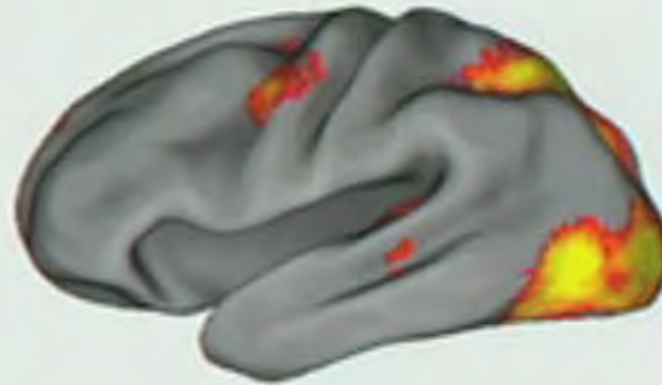


Boutade
mnémotechnique:

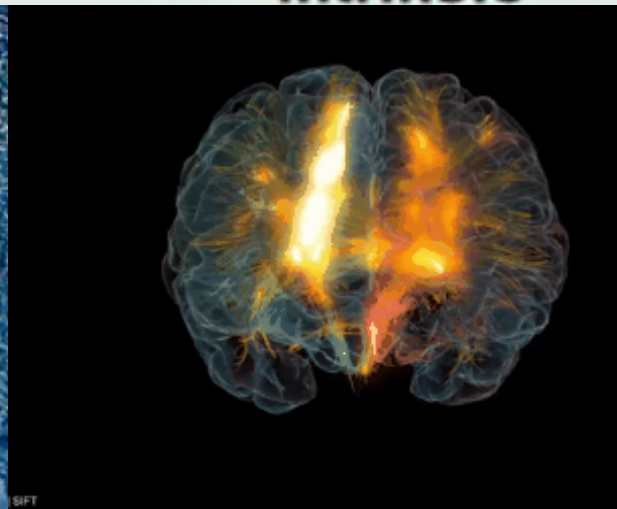
**« Il pleut tout
le temps
dans notre
cerveau ! »**

An Historical View

Reflexive
(Sir Charles Sherrington)



Intrinsic



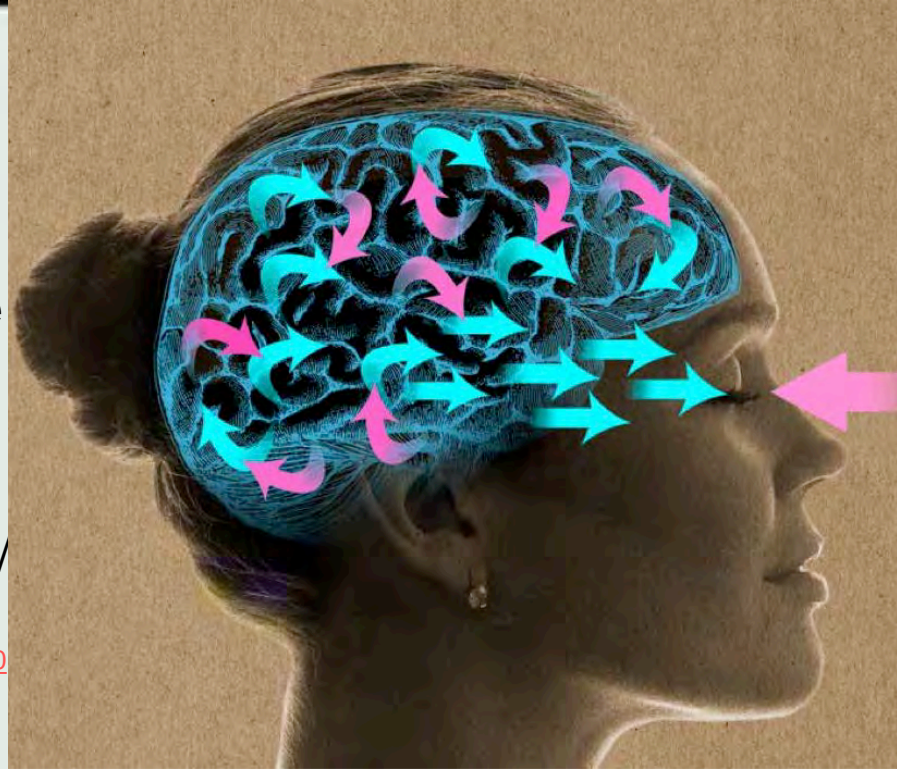
Raichle: Two Views of Brain Function

The Endogenously Active Brain: The Need for an Alternative Cognitive Architecture

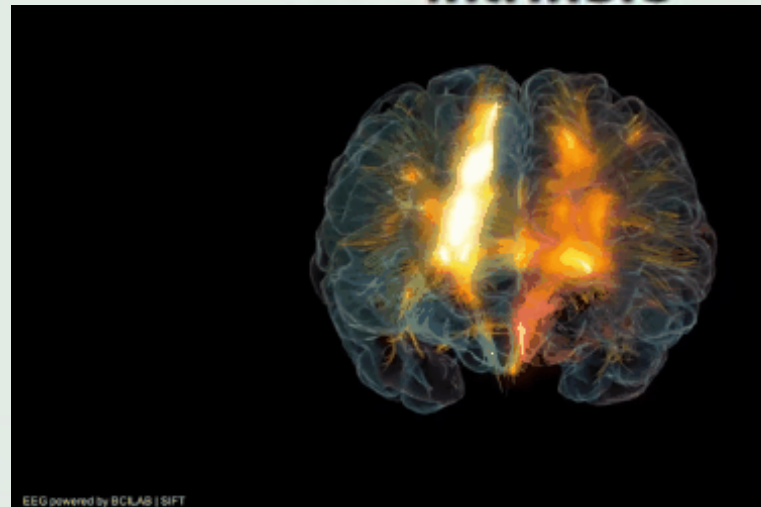
William Bechtel

Philosophia Scientiæ **2013** /
2 (17-2)

<http://mechanism.ucsd.edu/research/bechtel.The%20Endogenously%20Active%20Brain.pdf>



Intrinsic

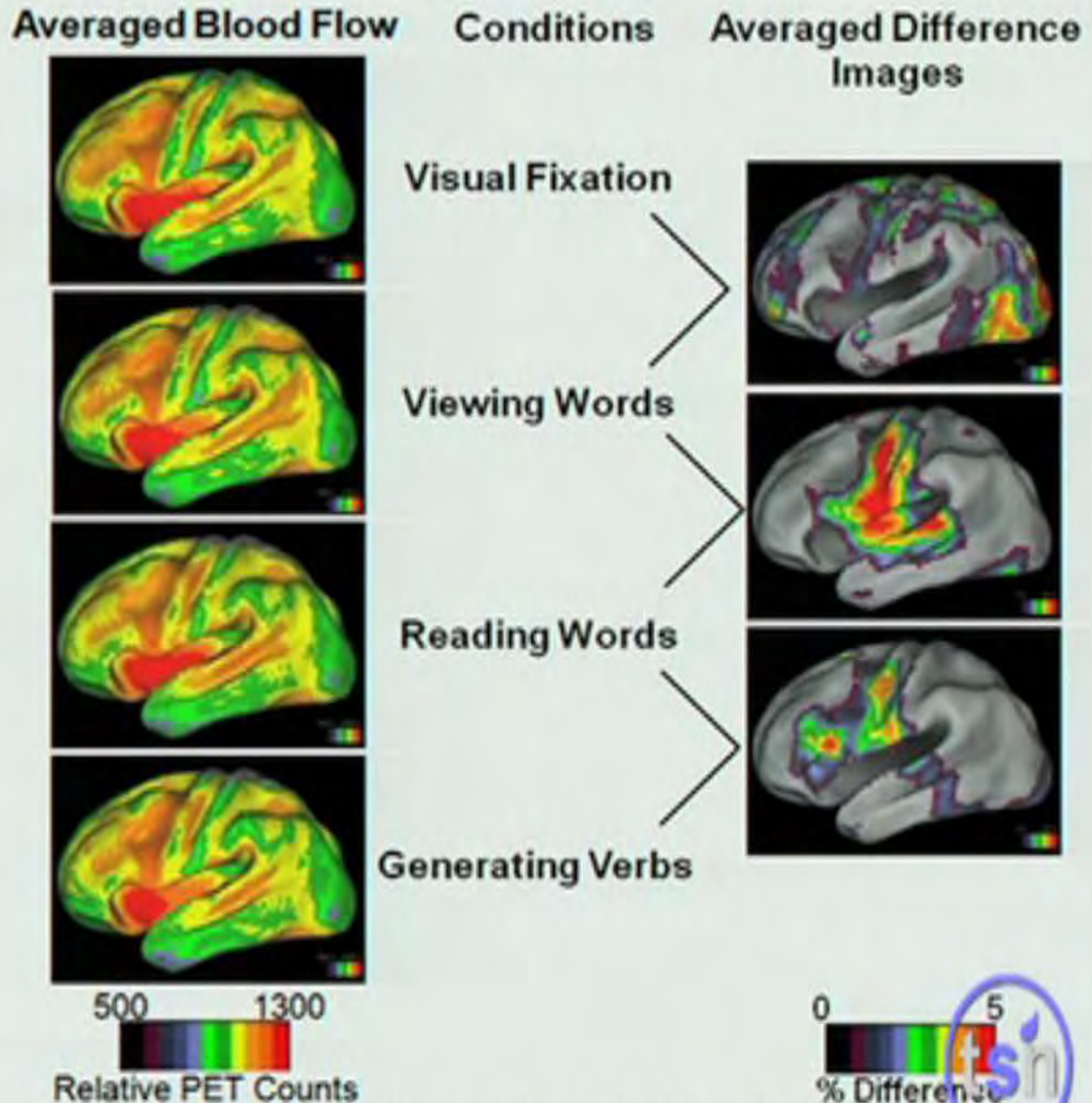


Raichle: Two Views of Brain Funct

« Our resting brain is never at rest. »

- Marcus Raichle

Task Performance

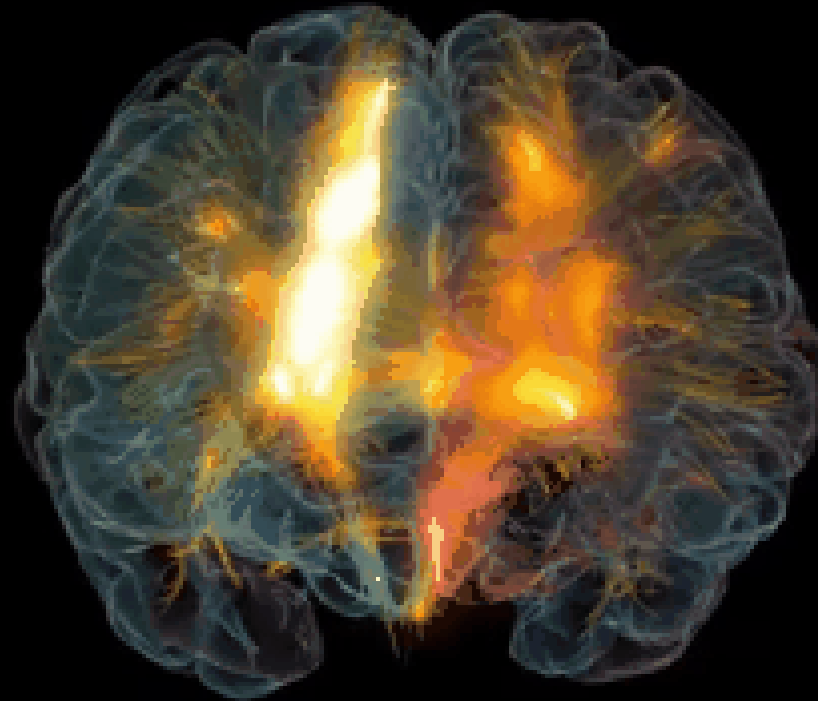


(Adapted from Petersen et al (Nature) 1988)

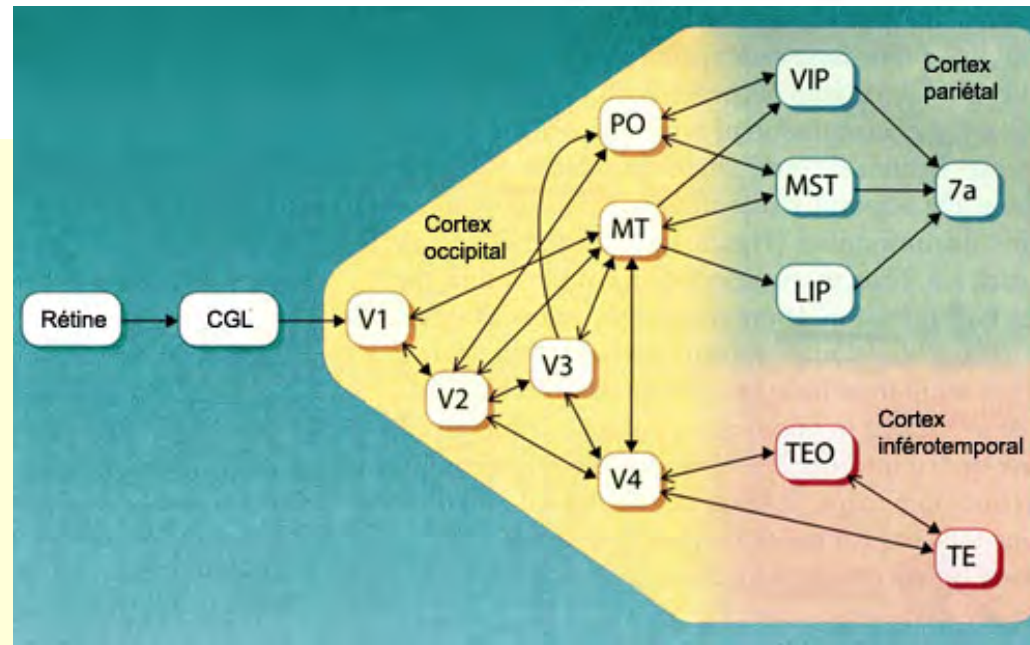
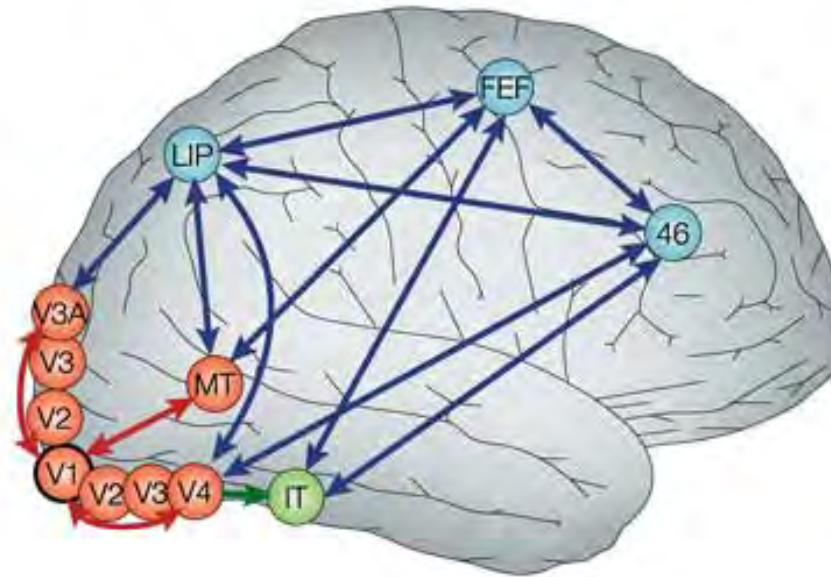
Two views of brain function

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

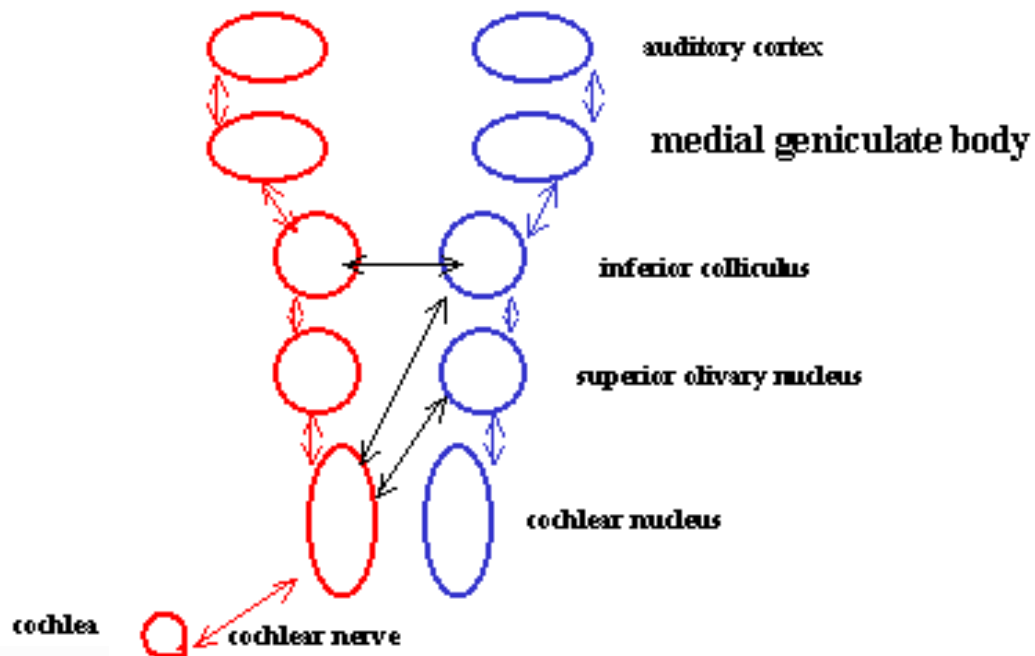
Mais lorsqu'on comprend qu'il se passe toujours quelque chose dans chaque recoin du cerveau à tout moment et qu'il n'y a donc jamais de « temps 0 » lors d'une prise de décision, cela enlève pas mal de mystère à des « paradoxe » (Libet !) dans l'explication des décisions motrices volontaires.



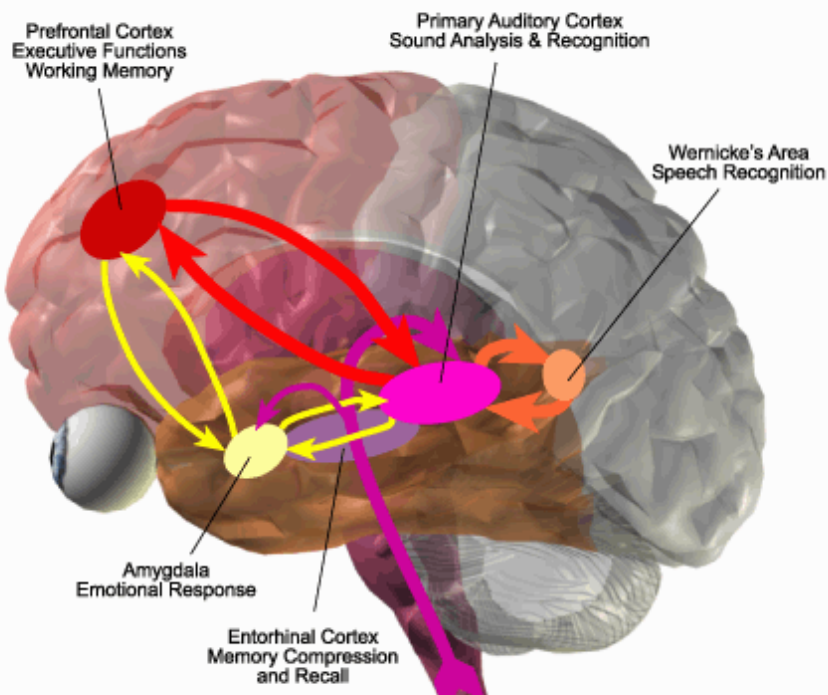
On observe dans le cerveau un haut degré de réciprocité dans le traitement visuel...



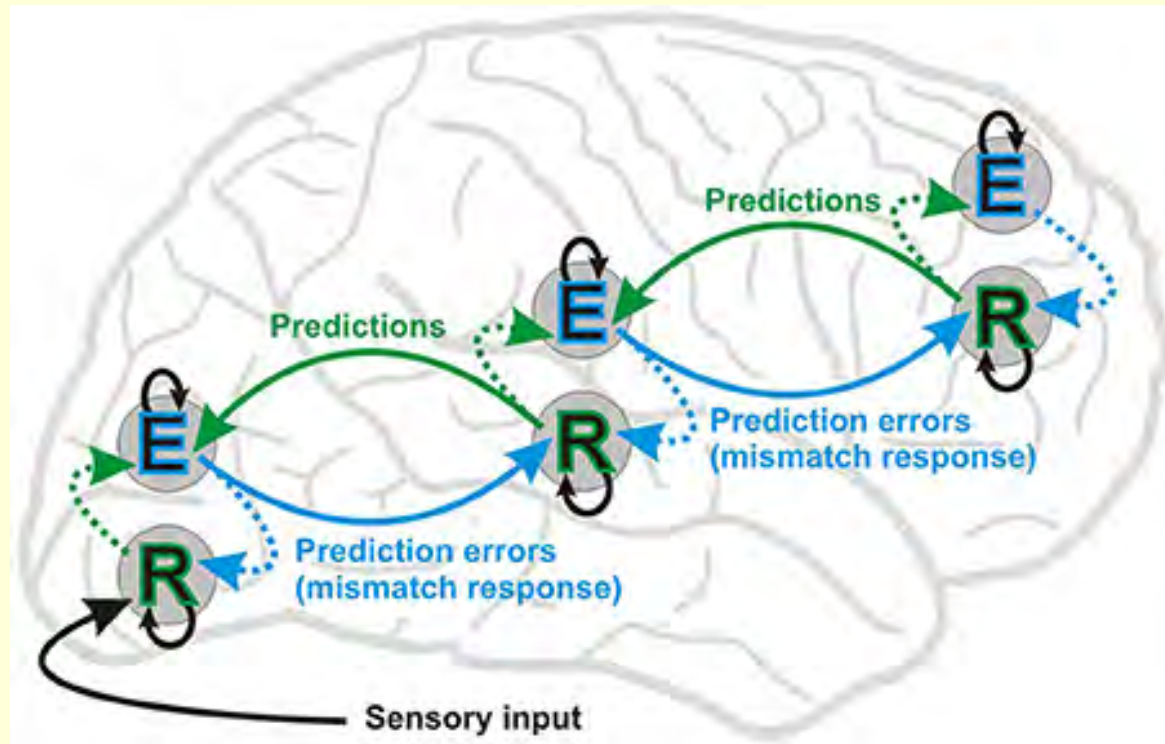
Et l'en retrouve ces voies
réciproques partout,
dans le système auditif
aussi, etc.



Auditory Pathway



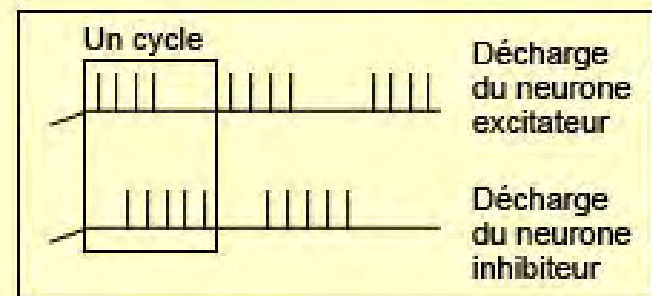
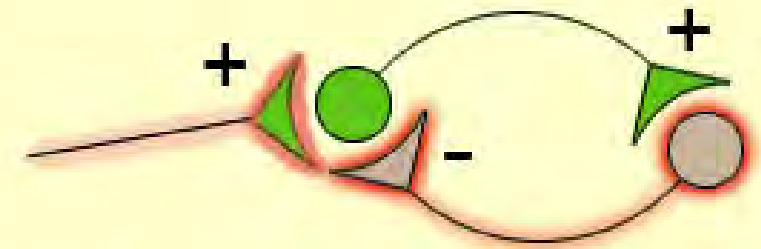
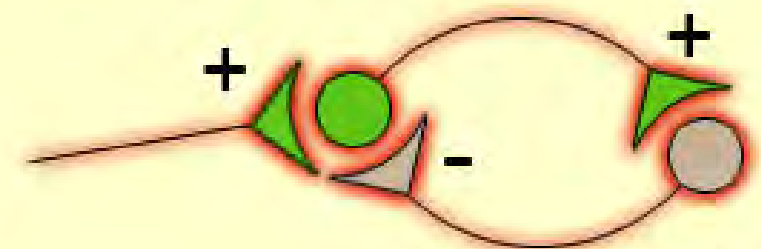
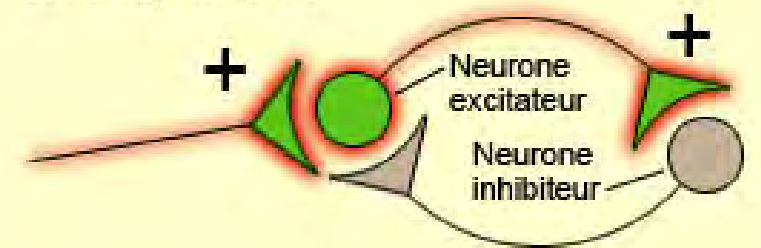
L'approche du « predictive processing » va venir donner un sens bien précis à tout cela...



Mais pour l'instant, constatons que l'activité rythmique cérébrale n'est pas nécessairement **endogène** à un neurone.

Cette activité rythmique peut venir de l'interaction entre des neurones inhibiteurs et excitateurs...

Afférence excitatrice active en permanence



b



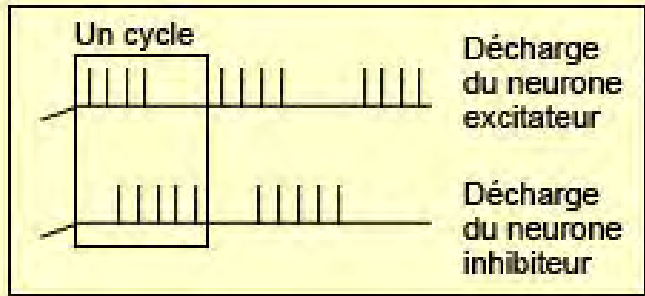
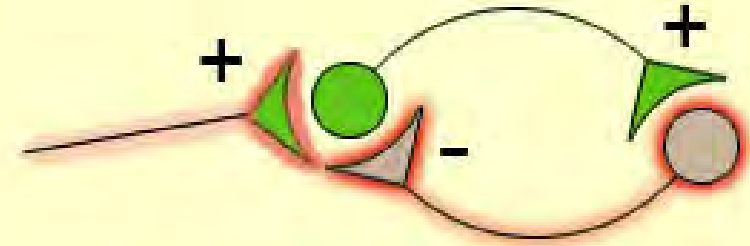
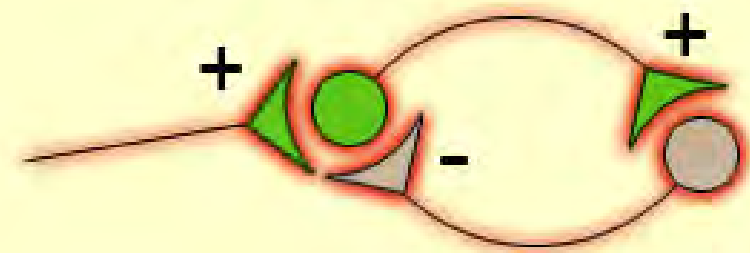
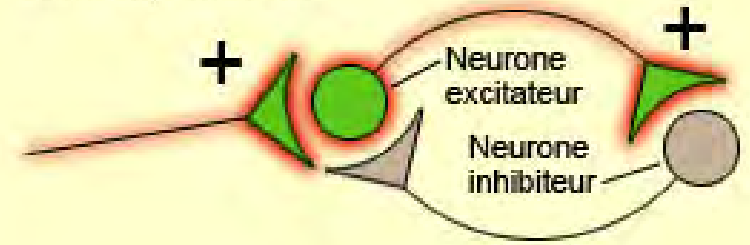
Temporally organized spike trains

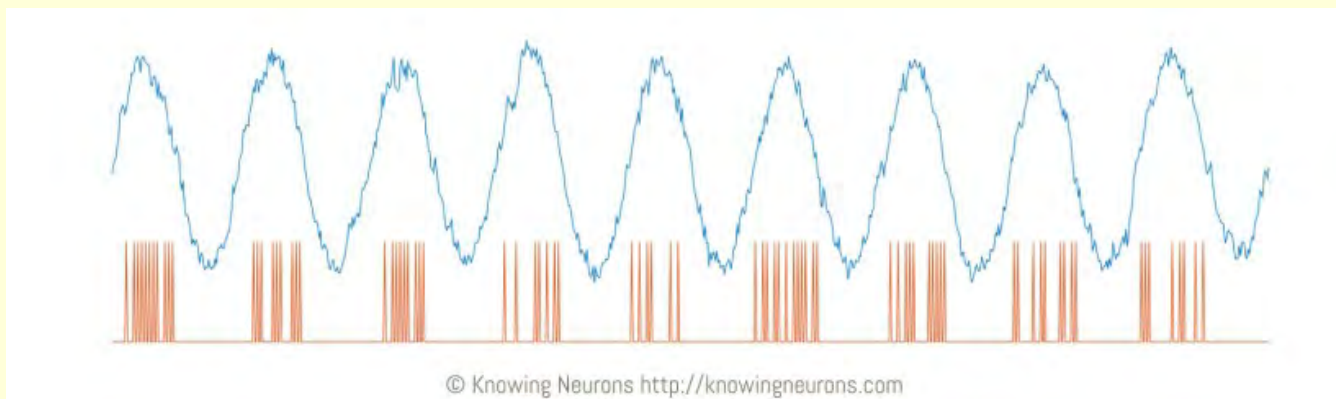
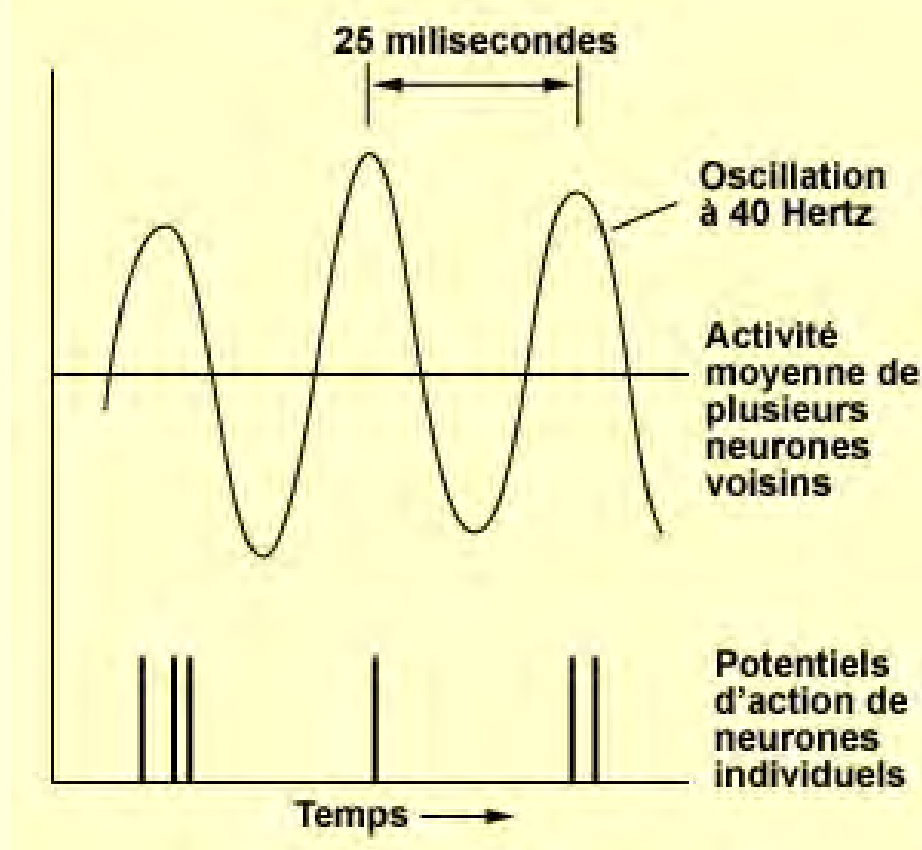
Theta (delta)

Layer IV

Continuous modulated stimulus-driven spike trains

Afférence excitatrice active en permanence





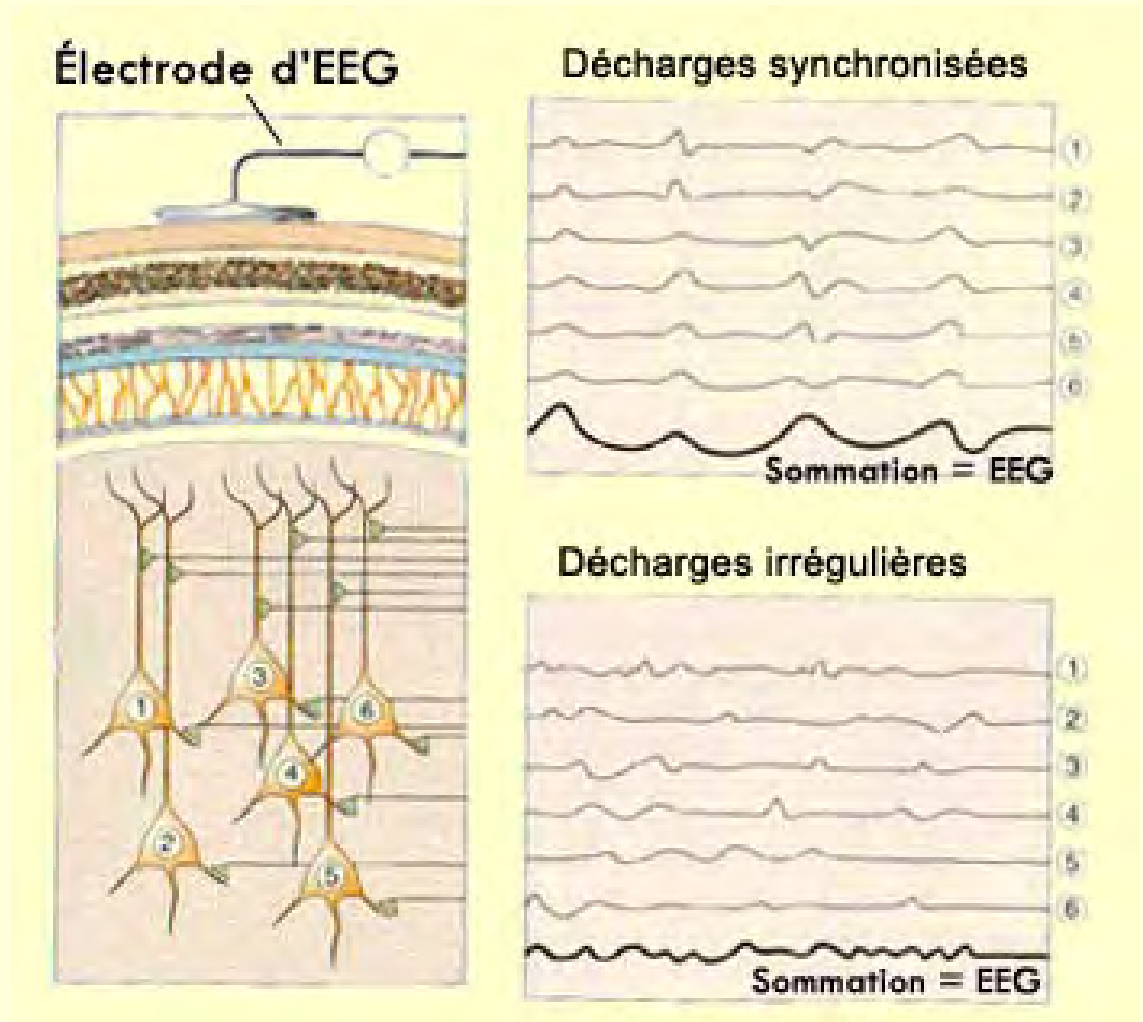
Brain Waves and Beta Buzz: The Wild Story of Neural Oscillations

<http://knowingneurons.com/2016/05/18/brain-waves/>



EEG :

signal complexe
résultant de l'état
électrique d'un **grand
nombre de neurones**



(potentiels d'action et, surtout, potentiels post-synaptiques de plusieurs neurones)

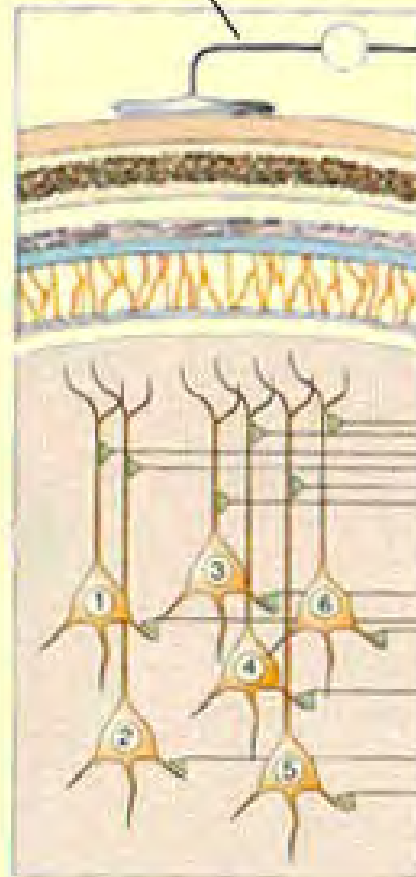
On retrouve au niveau physiologique de l'activité cérébrale dynamique :

Un niveau « macro »

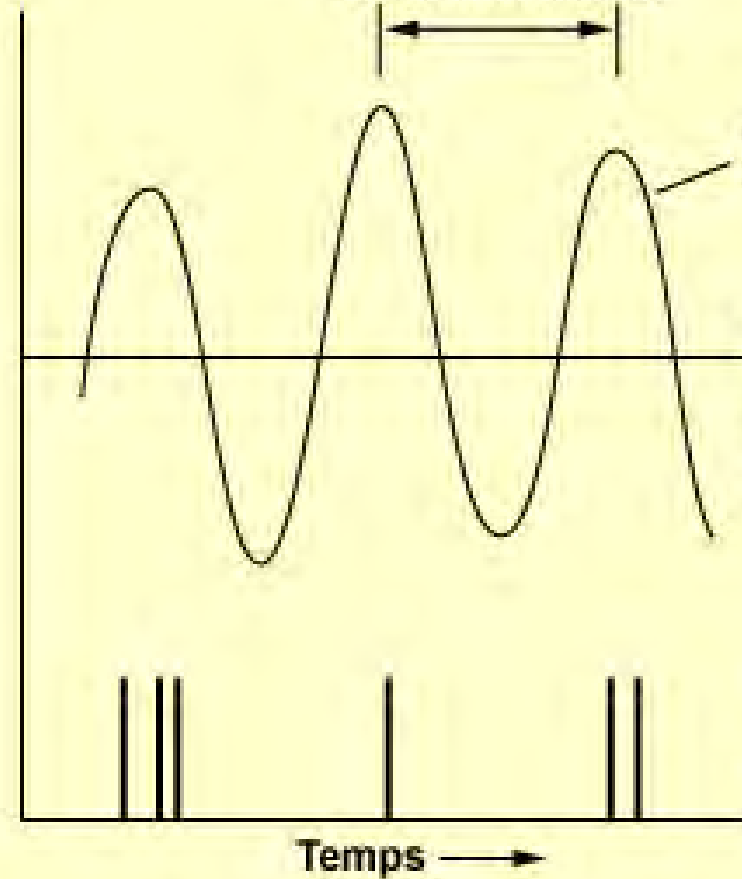
Un niveau « meso » ?

Un niveau « micro »

Électrode d'EEG



25 millisecondes

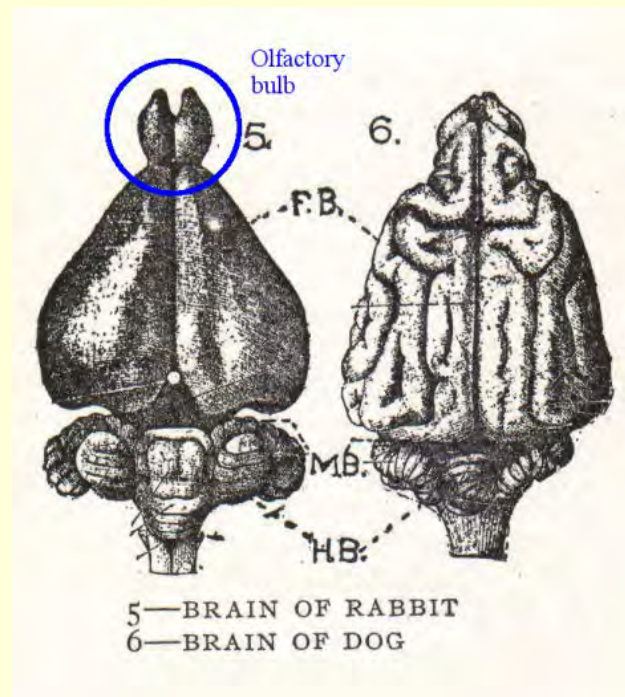
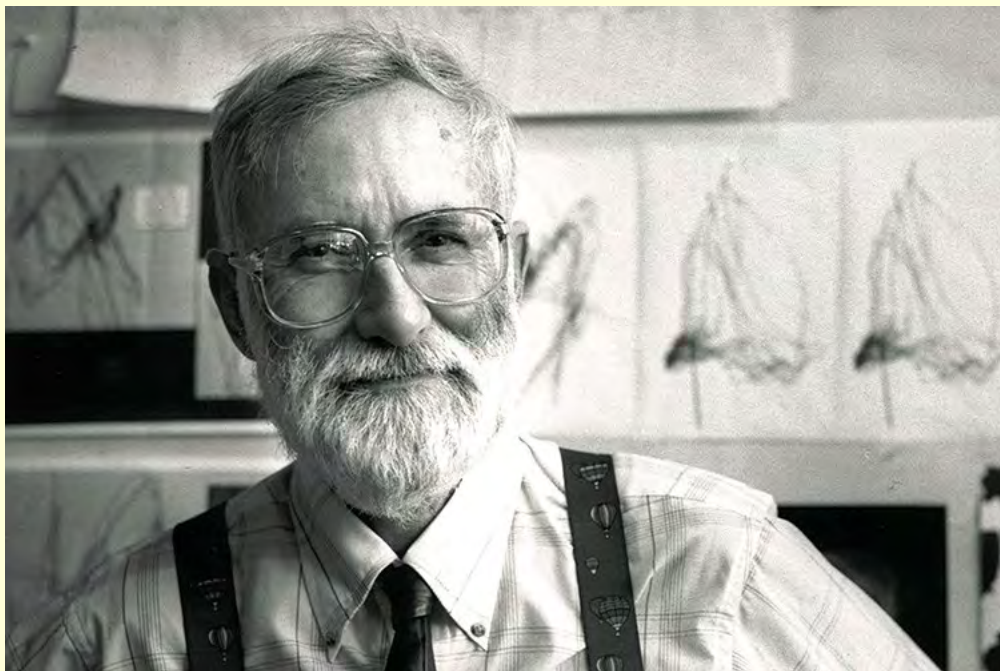


Chaos, Meaning, and Rabbits: Remembering Walter J. Freeman III

15 June 2016

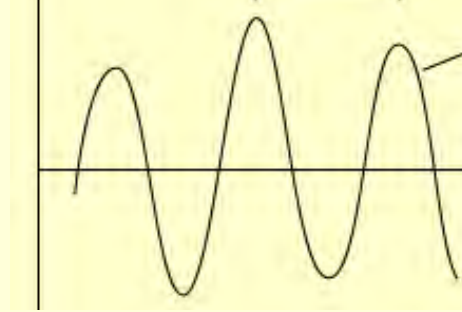
Joel Frohlich

<http://knowingneurons.com/2016/06/15/chaos-meaning-rabbits/>



How do brains create meaning from stimuli? This was the question that summarized Freeman's career. To address this question, Freeman trained rabbits to respond to odors and recorded spatial patterns of electrical activity from the **olfactory bulb**, a part of the brain that responds to odor stimuli.

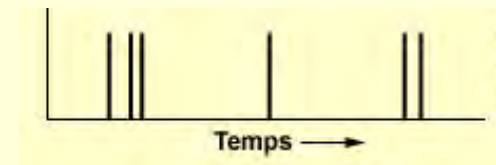
Because the spatially distributed pattern was important in perception of the odor, Freeman was among the first to realize that perception requires the **“mass action” of thousands to millions of neurons.**



Beginning his career during a time when most neuroscientists either studied isolated action potentials from single neurons or clinical EEG recordings reflecting global brain activity, Freeman **bridged a gap between the two extremes by studying the brain at the intermediate or “mesoscopic” scale** with small electrode arrays.



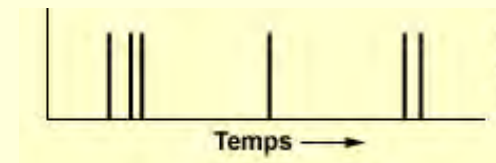
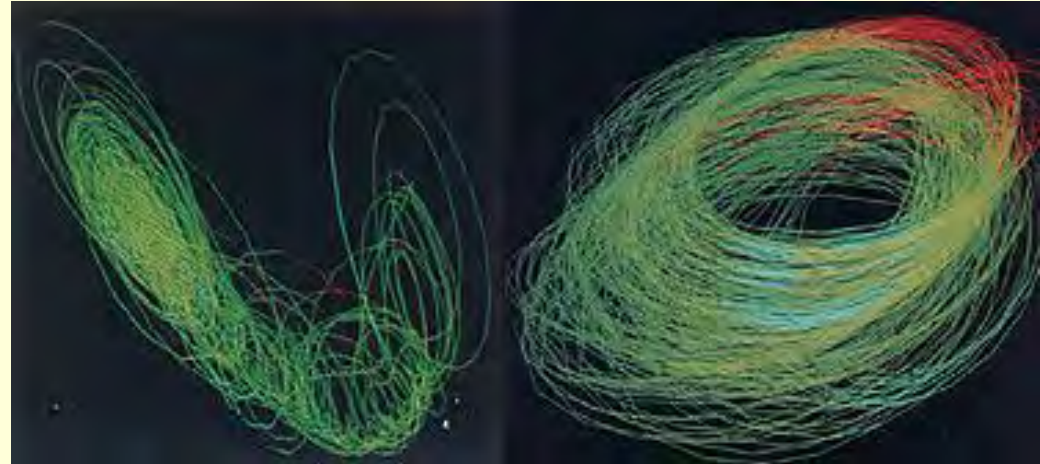
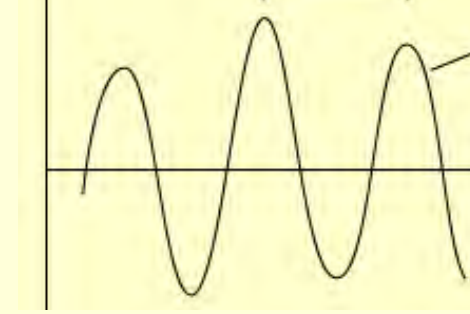
Even today, a disconnect still exists between cellular neurobiologists—many of whom view EEG recordings as noise — and neuroimaging specialists — many of whom view single cell recordings as myopic.





Walter J. Freeman a été l'un des premiers dans les années 1970 et 1980 à constater que **la connectivité neuronale du cerveau humain engendre une telle activité chaotique** qui obéit, comme les phénomènes météorologiques, aux lois de la dynamique non linéaire (ou « chaos déterministe »).

Il a fait appel aux **outils mathématiques de la dynamique non-linéaire** pour interpréter les états électriques observés.



Quelques mots sur la théorie du chaos...

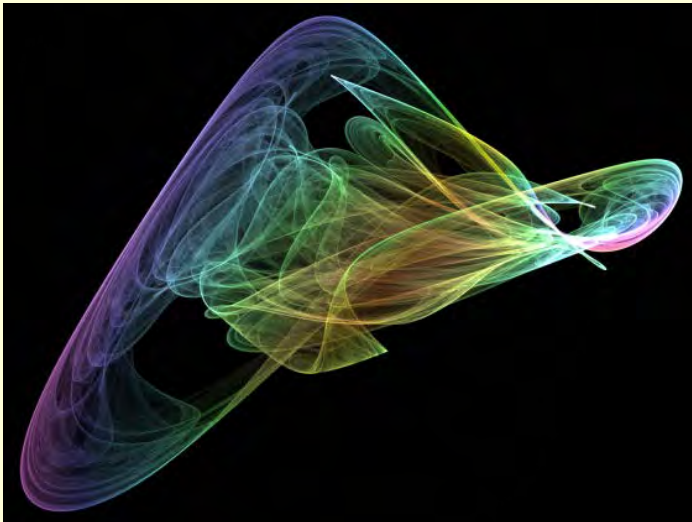
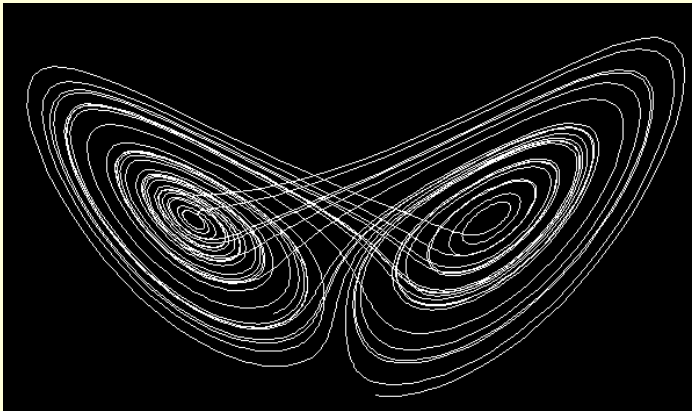
Jusqu'au milieu du XXe siècle, on distinguait deux types de phénomènes naturels : les phénomènes aléatoires, qui sont par conséquent imprévisibles, et les phénomènes obéissant à une loi déterministe, qui de ce fait sont prévisibles. Autrement dit, connaissant leurs conditions initiales, on pouvait prédire leur comportement futur.

Or on s'est aperçu que certains systèmes déterministes étaient constitués d'un très grand nombre d'entités en interaction locale et simultanée, ce qui **empêchaient** l'observateur de prévoir son comportement ou son évolution par le calcul **linéaire**.

Dans ce type de système, une légère modification des conditions initiales de certains systèmes décrits par des lois déterministes peut suffire à rendre imprévisible son comportement. On dit de ces systèmes **sensibles aux conditions initiales** qu'ils sont "**chaotiques**".

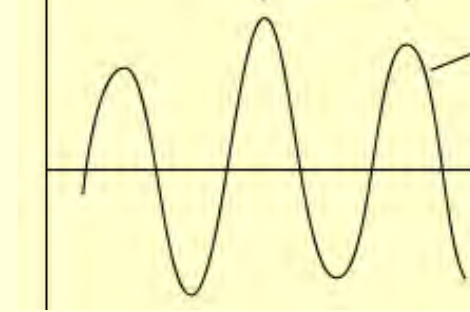


Les grandeurs qui définissent ces systèmes chaotiques, loin de varier dans le temps de manière absolument aléatoire et illimitée, apparaissent confinées, ou si l'on veut «tenues en laisse», par un élément d'ordre appelé **«attracteur étrange»**.



Geometrically, a **perfect cycle** can be represented as a **circle**.

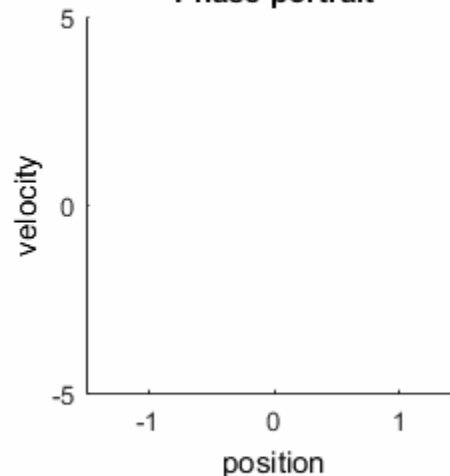
Imagine, for instance, the **regular cycle of a pendulum**.



Simple pendulum



Phase portrait



If we plot the **position** of the pendulum against its **velocity**, the resulting graph will show a circle.

This particular graph is called a ***phase portrait***.

[...] the orbit is known as an ***attractor***.

(dans le cas d'un pendule simple, c'est un cercle parfait.)

Now imagine that you [have a] double pendulum : it wildly dances every which way, sometimes completely flipping over its pivot point.

Although the double pendulum's motion still obeys simple equations, its behavior is wild and difficult to predict, a phenomenon called ***deterministic chaos***.

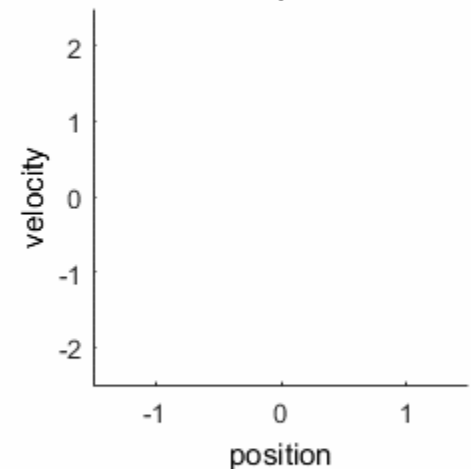
Drawing a phase portrait, you see a chaotic mess of lines never tracing the same path twice, yet following a recognizable pattern. This tangled pattern is a ***chaotic attractor***.

Unlike the simple pendulum, the double pendulum shows different behavior when we start its swing from different points, a hallmark of deterministic chaos.

Double pendulum



Phase portrait

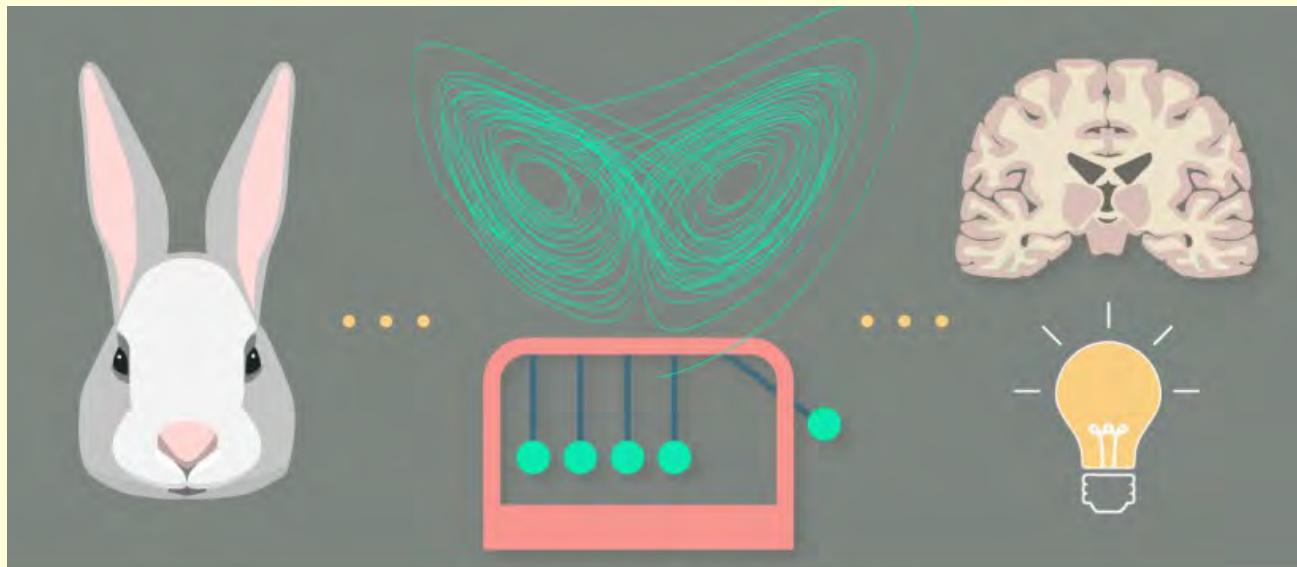


[...] a neuroscientist might draw a **phase portrait** to visualize the simultaneous activity of two brain recordings.

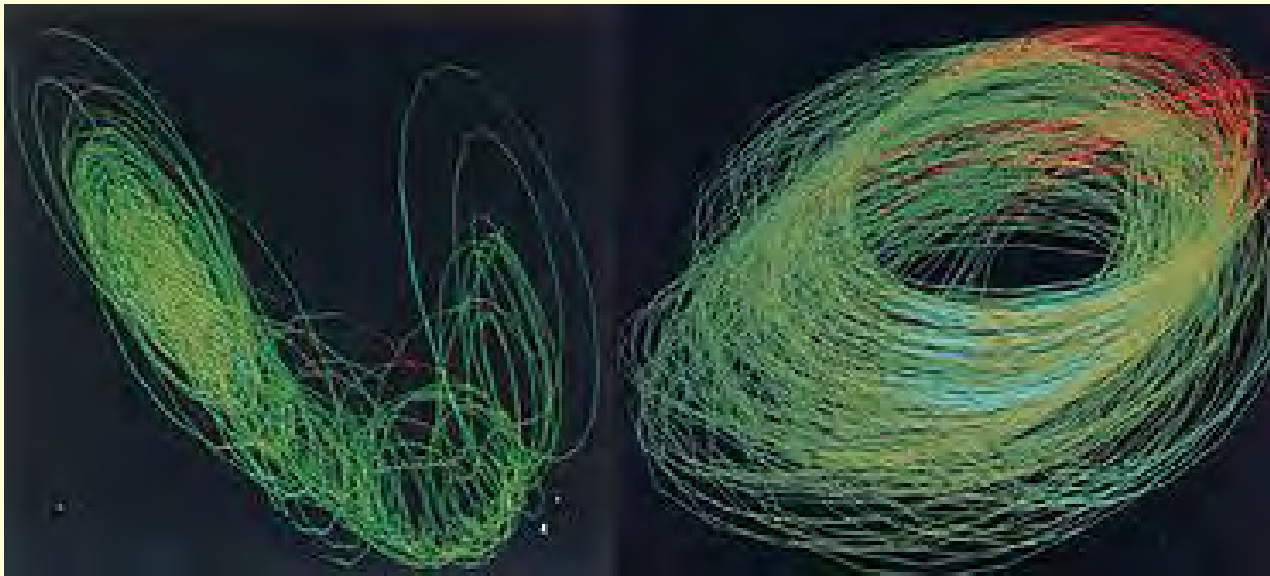
Doing just that, Walter Freeman discovered that in the absence of a familiar odor, the olfactory system of the rabbit **followed a chaotic attractor**, hardly what one would expect from an idealized image of neural oscillations!

However, following the presentation of a familiar odor, the phase portrait became **more ordered**, like the orbital attractor of the simple pendulum.

Freeman concluded that **learned odors popped the system from one attractor to another**.



Derrière ce qui ne semble être que du « bruit », ces **fluctuations** chaotiques révèlent des régularités et des propriétés, comme par exemple une capacité de changements rapides et étendus, qui sont **compatibles avec celles de la pensée humaine**.



Chaos in the brain, as described by Freeman, may lend the brain vital flexibility while allowing it to visit many states — thoughts, feelings, precepts—in quick succession.

In fact, Freeman discovered that the brain is *constantly* switching between attractors.

Freeman believed that these patterns were the actual *meaning* that brains construct from stimuli.

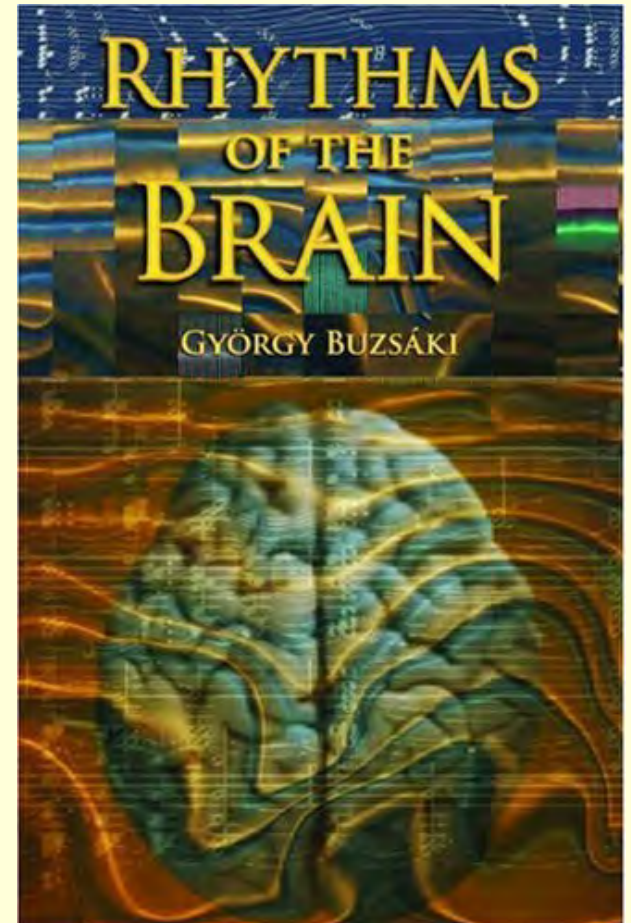
Our experience of the world lies in these patterns, with the raw, physical properties of the stimulus being discarded by the brain almost immediately.



Il fut un temps, pas si lointain dans l'histoire des neurosciences, où le caractère chaotique de l'ensemble de ces oscillations, **associé à du bruit de fond**, était peu considéré, voire ramené à un épiphénomène sans importance.

Cette époque est toutefois bien révolue.

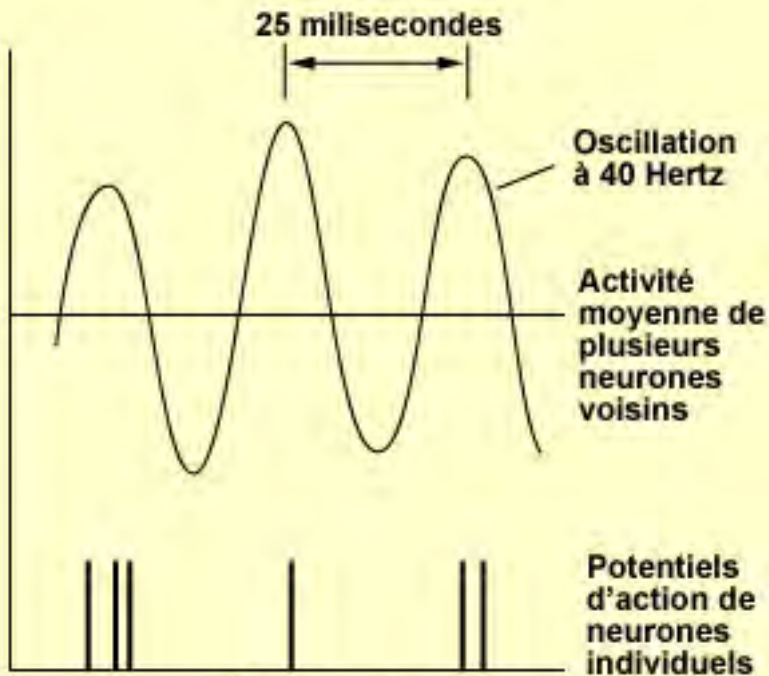
En effet, la dimension temporelle de l'activité cérébrale qui se traduit par ces rythmes cérébraux est maintenant au cœur des travaux dans des champs de recherche complexes comme le sommeil ou la conscience.



György Buzsáki - My work

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

(2:00 à 4:30)



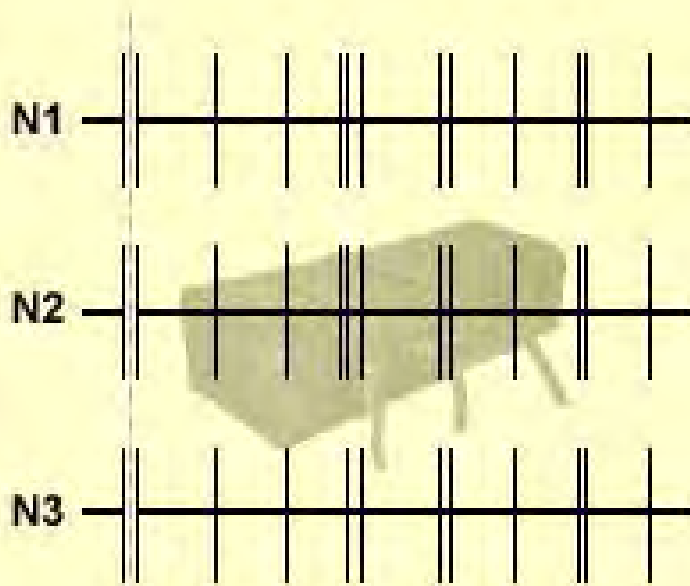
Oscillations

(selon un certain rythme
(en Hertz))

et

Synchronisation
(activité simultanée)

sont des phénomènes
différents mais souvent
liées !



Lien oscillation - synchronisation

Les **oscillations** sont une façon très **économique** pour le cerveau de favoriser une synchronisation d'activité neuronale **soutenue**, rappelle György Buzsáki.

Car lorsque deux populations de neurones oscillent au même rythme, il devient beaucoup **plus facile** pour elles de synchroniser un grand nombre d'influx nerveux en **adoptant simplement la même phase** dans leur oscillation.

Du coup, ce sont des assemblées de neurones entières qui se « reconnaissent et se parlent ».

Brain Science Podcast #31: Brain Rhythms with György Buzsáki

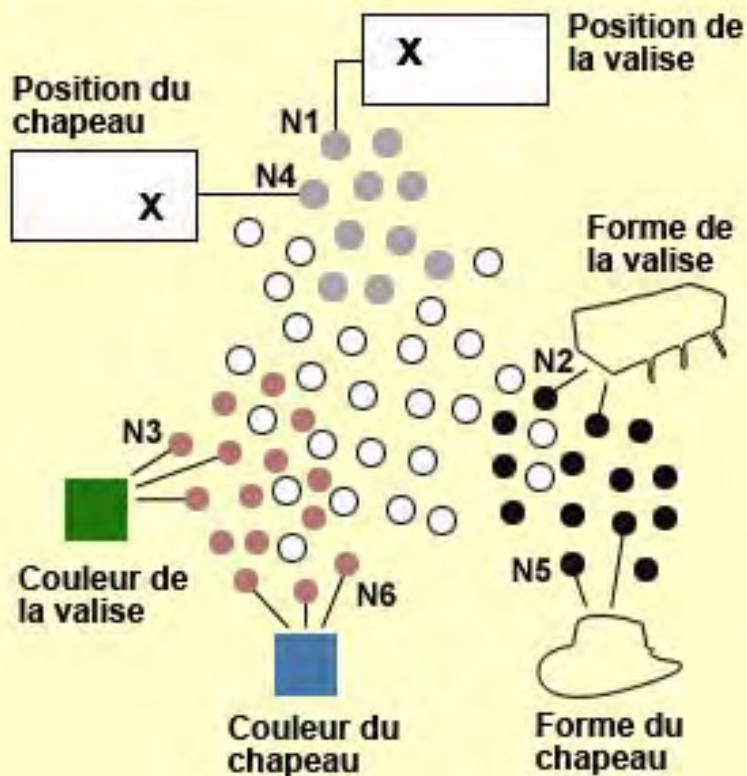
<http://brainsciencepodcast.com/bsp/brain-science-podcast-31-brain-rhythms-with-gyorgy-buzsaki.html>

Rodolfo Llinás, qui a travaillé sur le rôle des rythmes neuronaux que l'on observe entre le thalamus et le cortex, rappelle pour sa part

l'importance des oscillations neuronales **pour synchroniser**
différentes propriétés d'une perception,

propriétés qui activent souvent des **régions distinctes et distantes**
dans le cerveau.

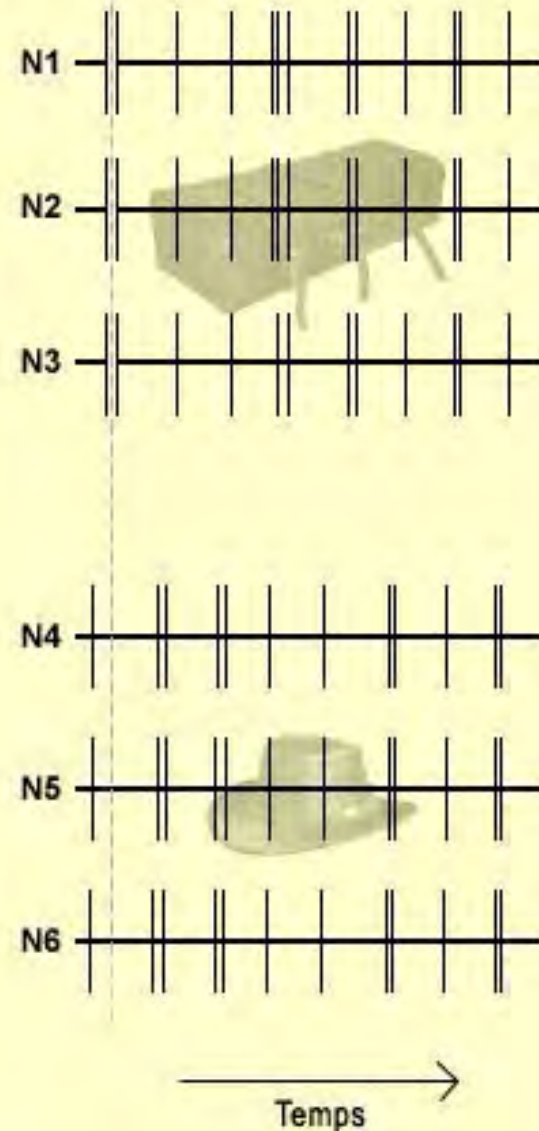
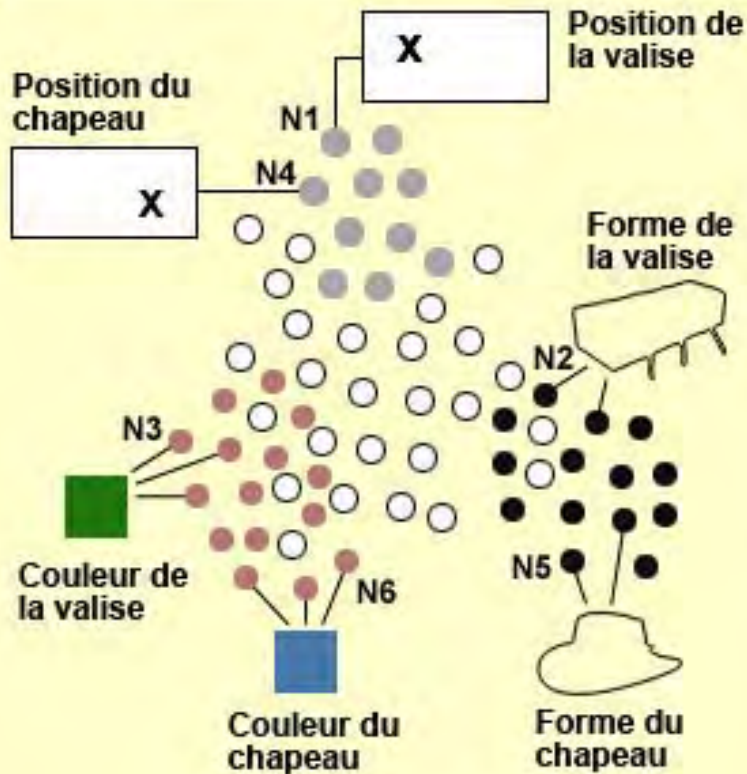
Car si des **régions distinctes** des aires visuelles réagissent à la forme, à la couleur, à l'emplacement, etc...



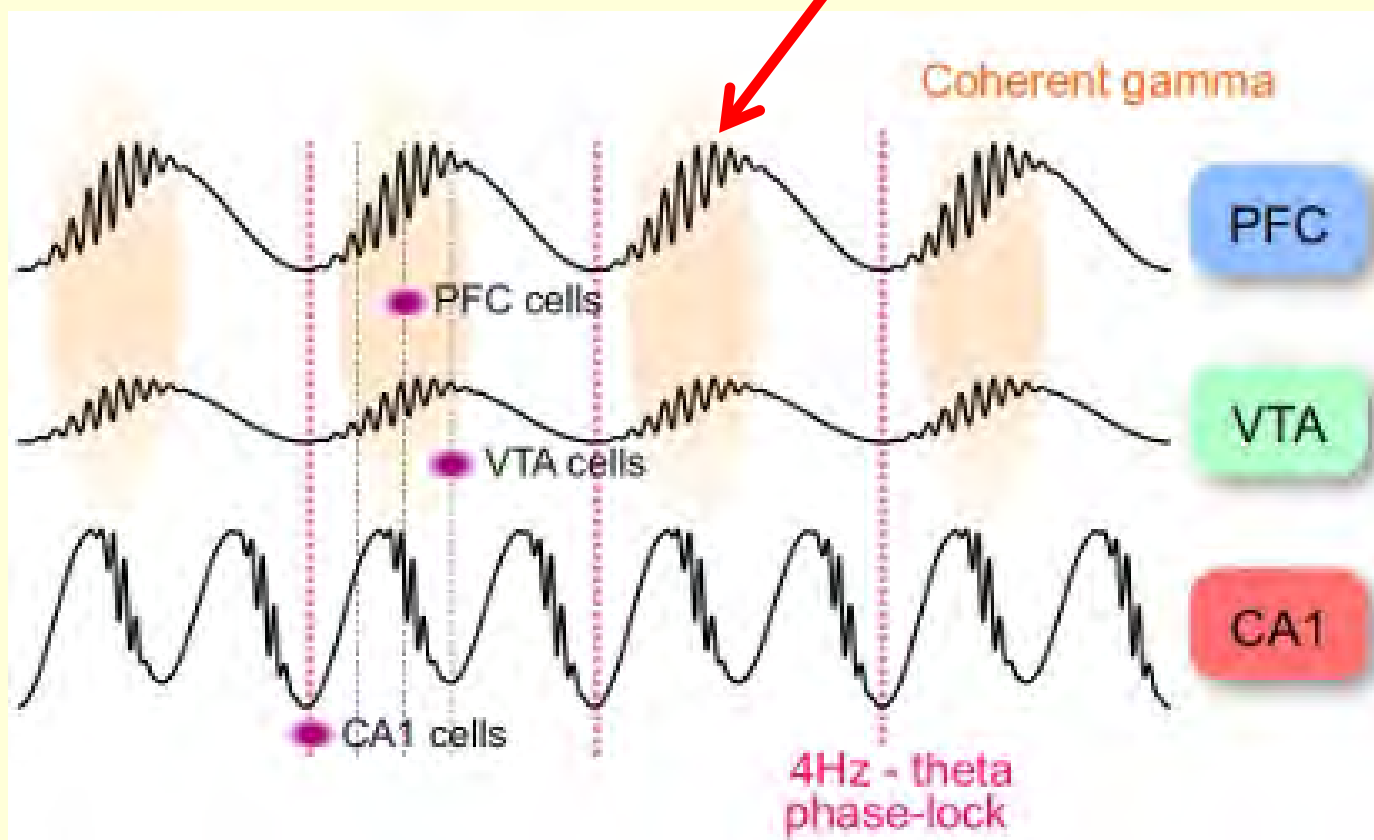
Alors on peut se demander **comment les caractéristiques d'un même objet sont-elles mises ensemble** pour former la perception consciente et distincte que l'on a de chacun des deux objets, sans en mélanger les caractéristiques ?

Voilà qui pose **problème de liaison** ou, selon l'expression anglaise consacrée, un «**binding problem**».

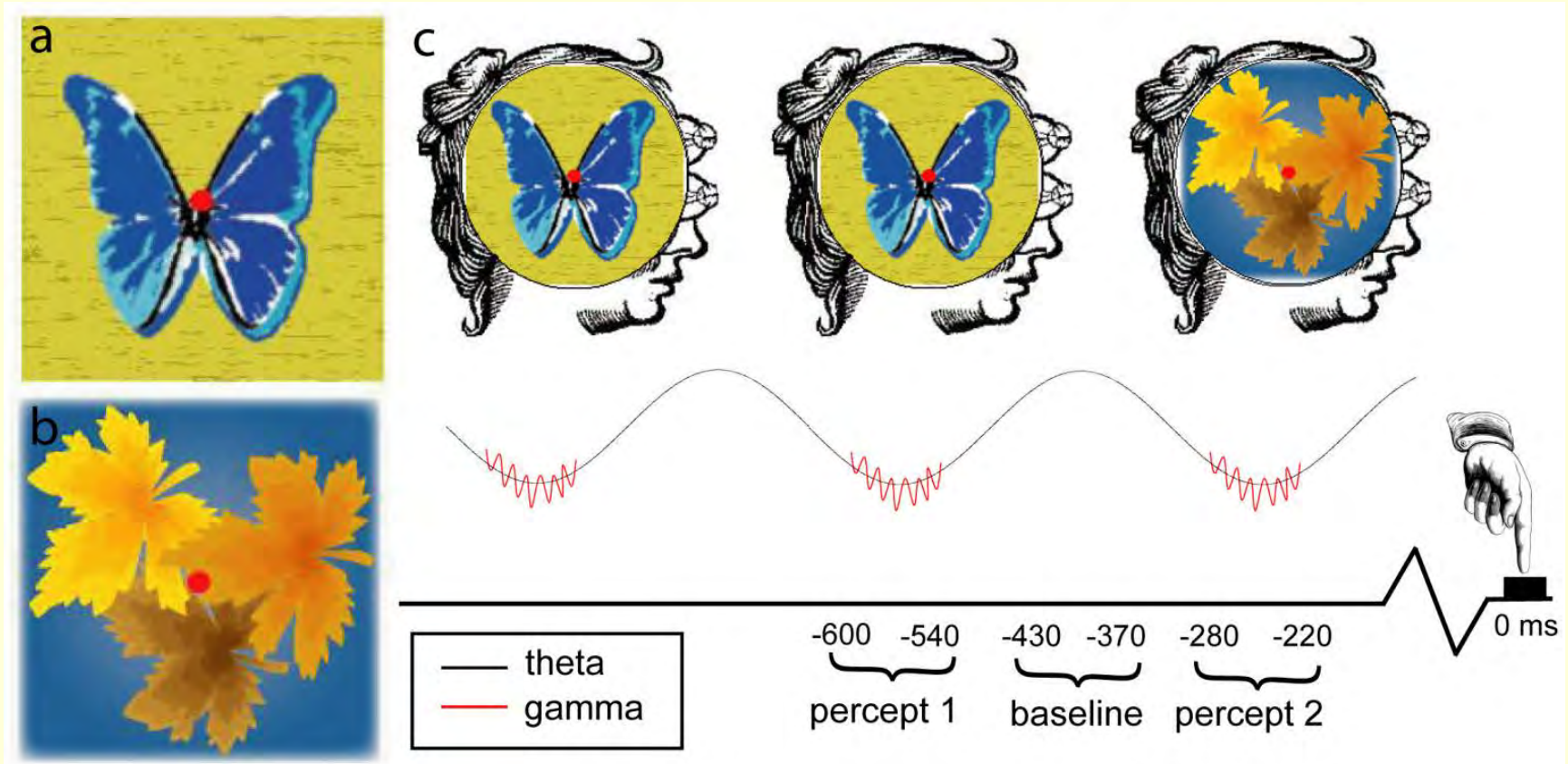
Compatible avec des modèles plus récents ??? (« predictive processing »)



Ces **oscillations** dans le réseau sont donc capables de couvrir plusieurs bandes de fréquences qui peuvent **se superposer**.



On peut créer une rivalité binoculaire en regardant dans des oculaires qui donnent à voir une **image différente pour chaque oeil**. Dans ces conditions, la perception subjective du sujet **va osciller entre deux états** : il verra tantôt le stimulus présenté à l'œil gauche, tantôt celui présenté à l'œil droit.



Si l'on fait cette expérience en enregistrant l'activité du cerveau des sujets auxquels on demande d'indiquer lequel des deux stimuli ils **perçoivent** à un moment donné, on observe une variation de l'activité de certaines régions du cerveau en fonction de l'expérience subjective.

Autres études récentes éclairant des **rôles fonctionnels** possibles pour les oscillations et les synchronisations d'activités neuronales :

« aider à passer le seuil de perception »

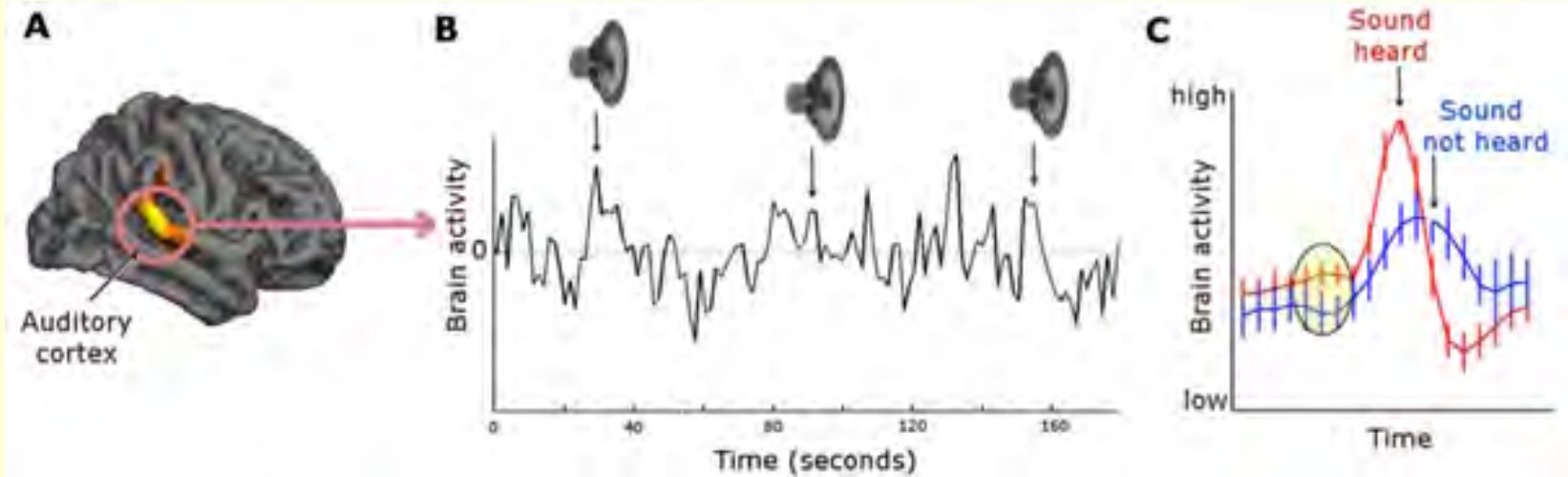


« Si l'activité dans cette **aire [fusiforme]** fait un grand pic, les participants rapportent voir un visage (courbe rouge). Si le pic d'activité est plus petit, ils rapportent voir le vase (courbe bleue).

L'ovale jaune et hachuré dans la figure 3C met en valeur l'activité cérébrale spontanée juste avant que l'image ne soit présentée. Étonnamment, l'activité cérébrale qui précède l'image détermine quelle figure (visage ou vase) la personne reconnaîtra quand elle regardera l'image.

En effet, comme les ondes sur le lac, **l'activité spontanée** croît ou décroît légèrement dans toutes les régions cérébrales. Si elle est légèrement plus élevée dans la région des visages au moment où l'image est présentée, elle va biaiser la perception de cette image ambiguë dans le sens des visages. »

« aider à passer le seuil de perception »
au niveau auditif maintenant...



« La courbe de la figure 4B illustre l'activité cérébrale du cortex auditif durant 180 secondes. Curieusement, il y a beaucoup de hauts et de bas dans cette courbe. Cela est dû à **l'activité cérébrale spontanée**.

Les hauts-parleurs et les flèches marquent l'activité cérébrale au moment où le son est présenté.

La figure 4C compare l'activité du cortex auditif en réponse aux sons quand les participants ont détecté le son (courbe rouge) et quand ils ne l'ont pas entendu (courbe bleue).

Bien évidemment, quand le cortex auditif répond avec un grand pic d'activité, le son est entendu mais regardez bien le niveau d'activité cérébrale avant que le son ne soit joué (ovale jaune hachuré). Elle est plus élevée quand la personne entend le son.

Là encore, cette activité précédente va aider l'activité neurale engendrée par le son à **passer le seuil de perception**. »

The Rhythm of Perception

Entrainment to Acoustic Rhythms Induces Subsequent Perceptual Oscillation

<http://pss.sagepub.com/content/early/2015/05/11/0956797615576533.abstract>

Gregory Hickok, Haleh Farahbod, Kourosh Saberi

February 17, **2015**

Ici, on **induit un rythme oscillatoire** dans l'activité cérébrale des aires auditives, et l'on observe que la perception auditive est ensuite modulée par ce rythme.

« They presented listeners with a **three-beat-per-second rhythm** (a pulsing “whoosh” sound) for only a few seconds and then asked the listeners to **try to detect a faint tone** immediately afterward. [...]

Not only did we find that **the ability to detect the tone varied over time by up to 25 percent** — that's a lot —

but it did so precisely in sync with the previously heard three-beat-per-second rhythm. »

Une hypothèse plus générale
à propos de l'attention...

It's Not a 'Stream' of Consciousness

MAY 8, 2015

<http://www.nytimes.com/2015/05/10/opinion/sunday/its-not-a-stream-of-consciousness.html>

It's not a stream of consciousness, its a rhythm.

June 04, 2015

<http://mindblog.dericbownds.net/2015/06/its-not-stream-of-consciousness-its.html>

“According to recent experiments, this is how our perceptual systems sample the world [...]

Rhythms in the environment, such as those in music or speech, can draw neural oscillations into their tempo, effectively synchronizing the brain's rhythms with those of the world around us.”

“Why would the brain do this?

One theory is that it's the brain's way of focusing attention.

Picture a **noisy cafe** filled with voices, clanging dishes and background music. As you attend to one particular acoustic stream — say, your lunch mate's voice — your brain synchronizes its rhythm to the rhythm of the voice and enhances the perceptibility of that stream, while suppressing other streams, which have their own, different rhythms.

Rôles fonctionnels possibles des oscillations:

- **lier** différentes propriétés d'un même objet ("binding problem")
- **contrôler** le flux d'information dans certaines régions
- **créer des fenêtres temporelles** où certains phénomènes sensible à la synchronisation d'activité (comme la PLT, avec son récepteur NMDA aux propriétés si particulières) peuvent se produire (par sommation temporelle, etc.), et d'autre où ils ne peuvent pas.
- Permettre aux processus neuronaux de répondre aux inputs extérieurs, mais par la suite **briser ces réponses** afin de pouvoir échantillonner d'autres inputs.

Également, si le potentiel de membrane d'un neurone **oscille**, il y aura des moments où c'est plus facile pour lui d'atteindre le seuil de déclenchement d'un potentiel d'action (dépolariation) et d'autres moins (hyperpolarisation) favorisant par exemple certaines perceptions.



Astrocytes contribute to gamma oscillations and recognition memory

Hosuk Sean Lee et al.



Contributed by Stephen F. Heinemann, June 15, 2014 (sent for review March 10, **2014**)

<http://www.pnas.org/content/early/2014/07/23/1410893111.short>

“By creating a transgenic mouse in which vesicular release from astrocytes can be reversibly blocked, we found that astrocytes are necessary for novel object recognition behavior and to maintain functional gamma oscillations both in vitro and in awake-behaving animals. Our findings reveal an unexpected role for astrocytes in neural information processing and cognition. “

Evan Thompson :

« It's not all about the neurons: astrocytes (a kind of glial cell) are crucial for the gamma oscillations necessary for recognition memory.

This study is also one of the first to show a causal relationship between gamma oscillations and cognition, not just a correlational one. »

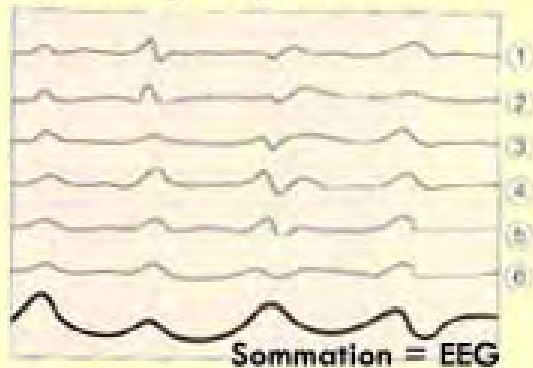
On revient avec la proposition de Michael Anderson :

“Neural search is the process whereby neural elements are put into new functional partnerships with one another.”

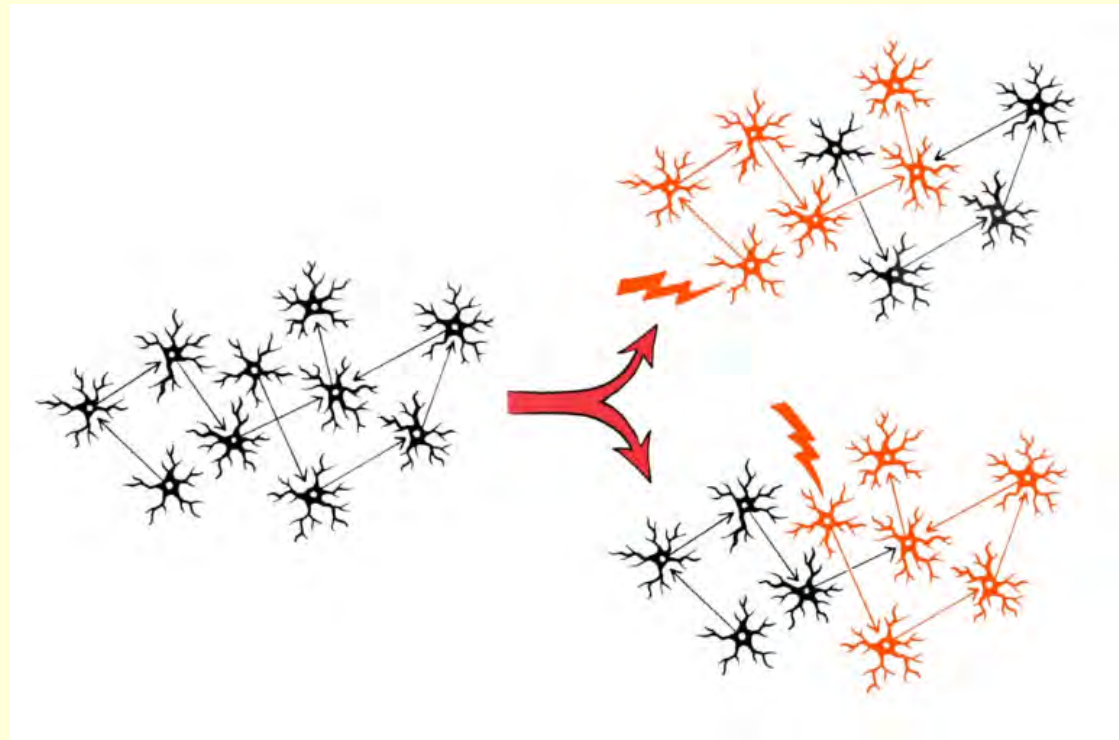
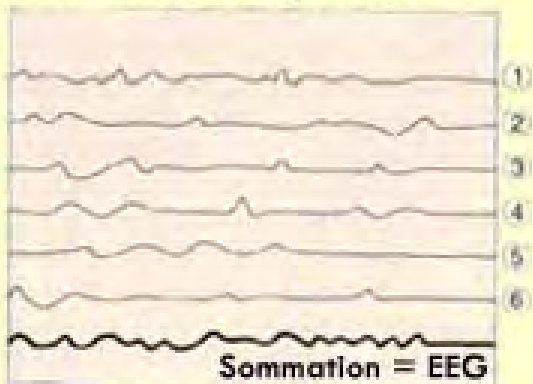
Et l'on va considérer quelques exemples de cela...

Ces oscillation peuvent donc contribuer à la formation **d'assemblées de neurones transitoires**, rendues possible par des oscillations et des synchronisations,

Décharges synchronisées

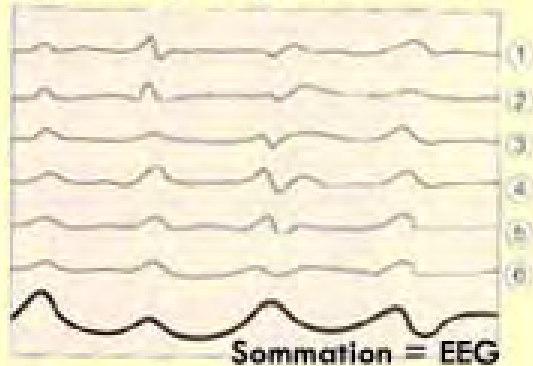


Décharges irrégulières

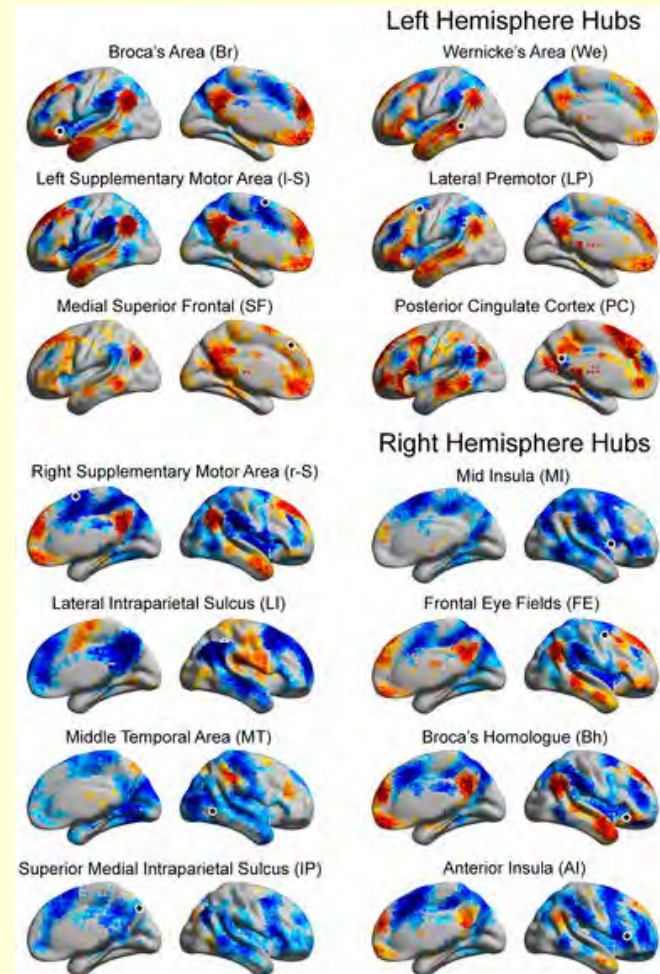
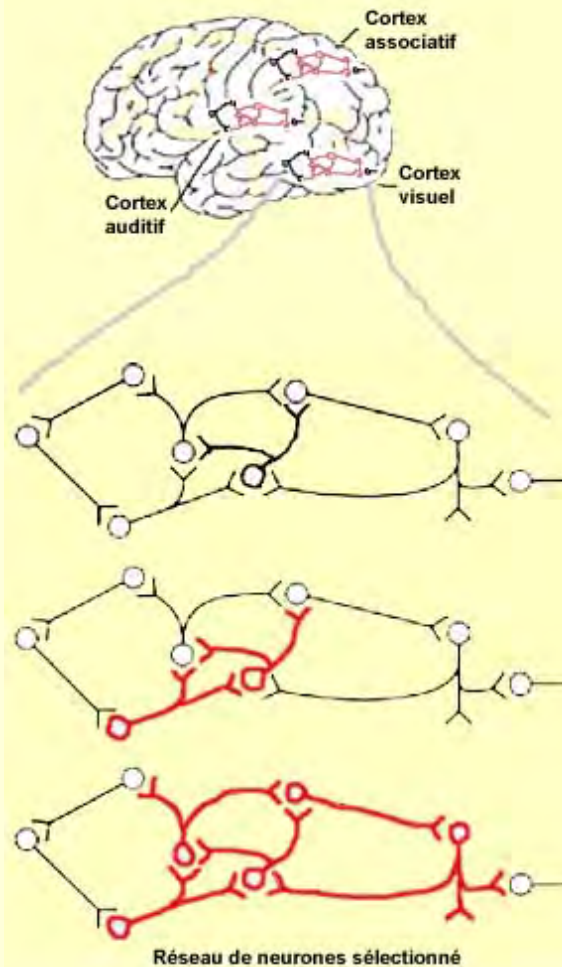
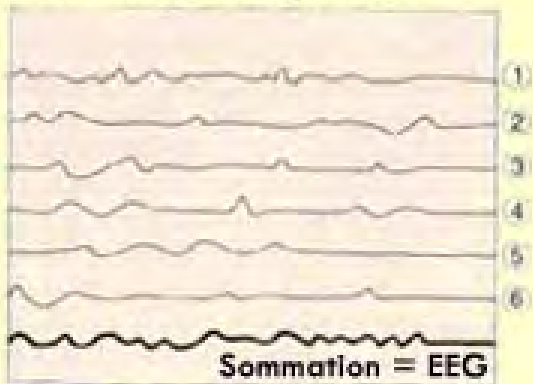


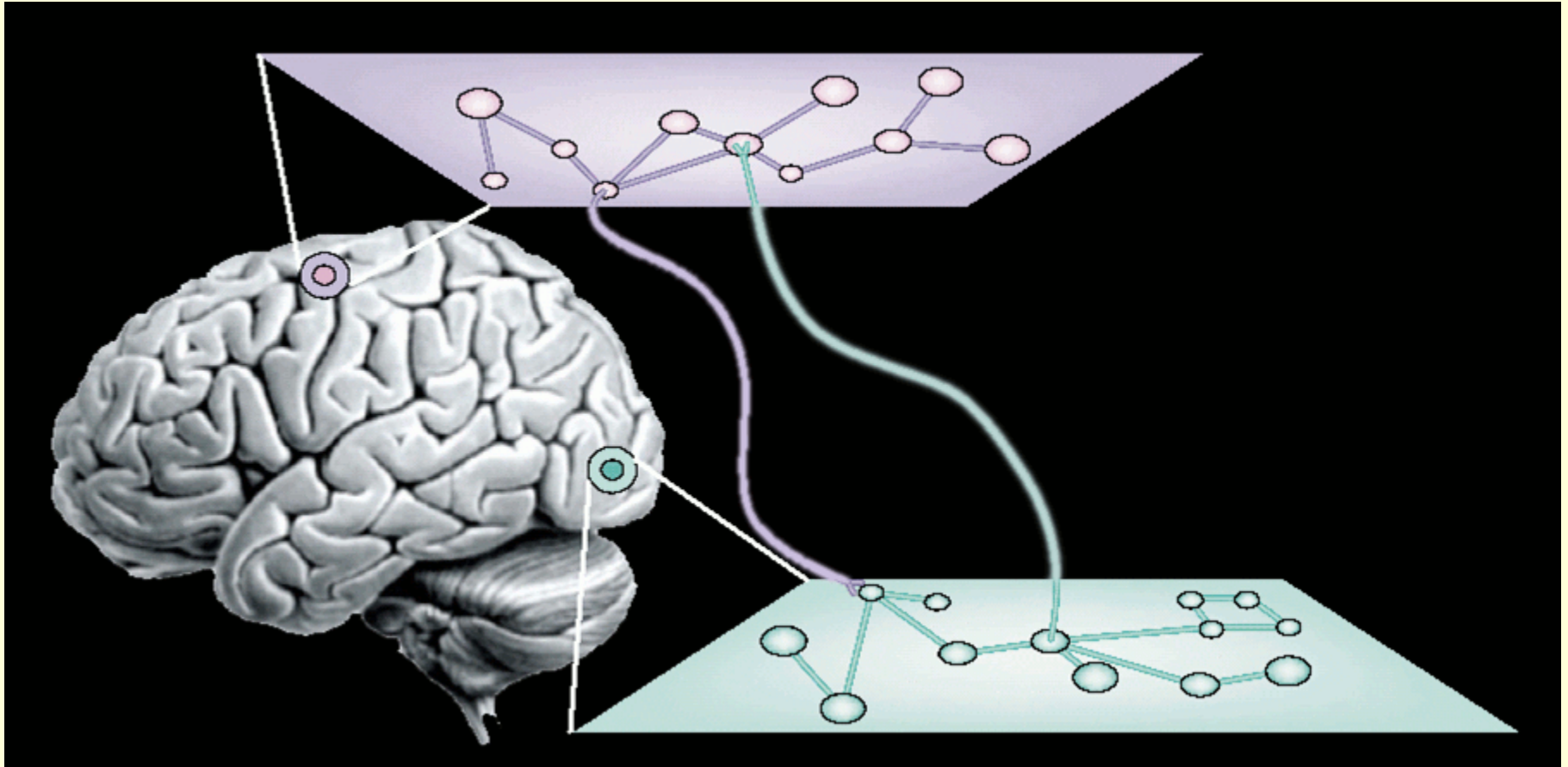
Ces oscillation peuvent donc contribuer à la formation **d'assemblées de neurones transitoires**, rendues possible par des oscillations et des synchronisations, qui se produisent non seulement dans certaines structures cérébrales, mais dans des réseaux largement distribués à l'échelle du cerveau entier.

Décharges synchronisées



Décharges irrégulières





Tirée de Pierre Bellec

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLahXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_lsni.pdf&usg=AFQjCNGBiKg_wv2IF4Dtll0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja

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



Diffusion-spectrum imaging (DSI)

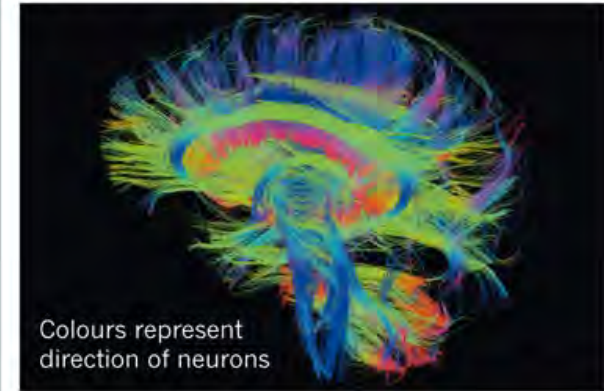
Resting-state functional MRI (rs-fMRI),

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.

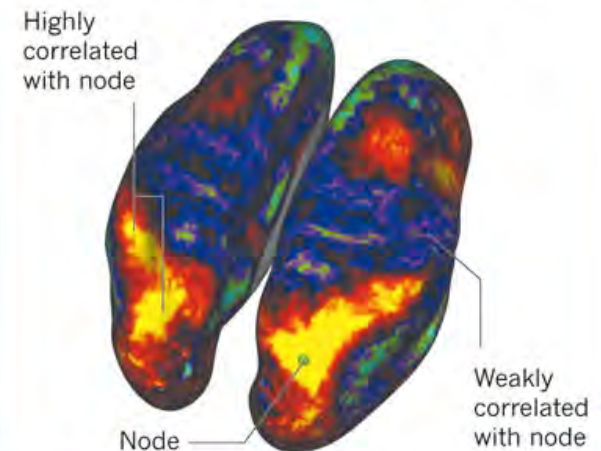
Mapping structure

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-spectrum imaging (DSI)

Resting-state functional MRI (rs-fMRI),

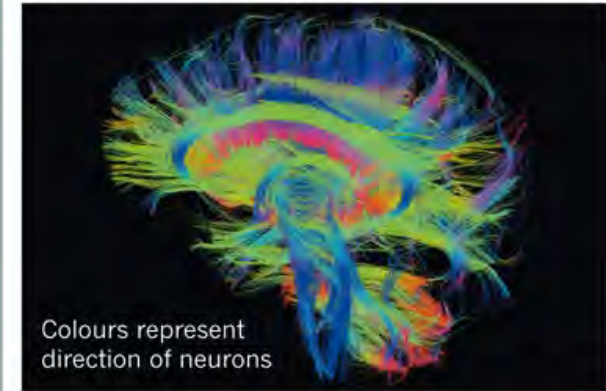
La connectivité fonctionnelle (fcMRI).

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.

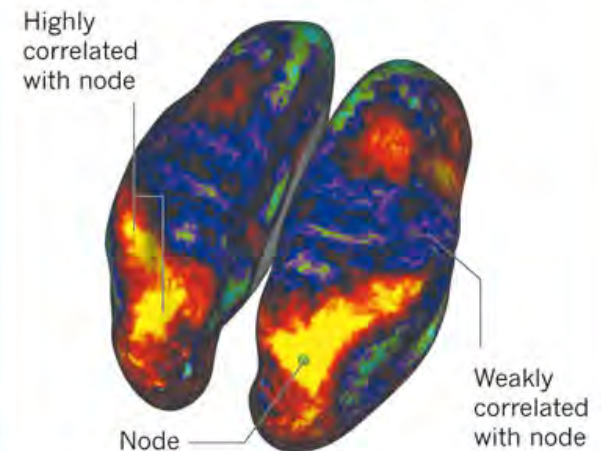
Mapping structure

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.



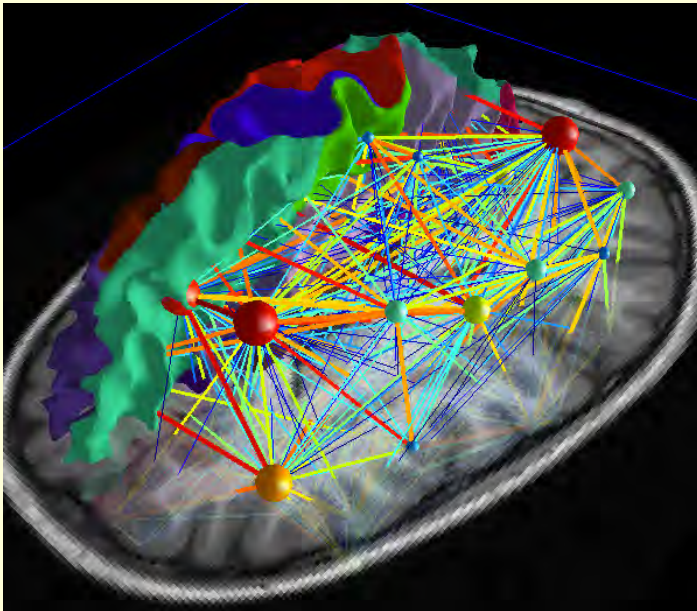
Mapping function

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.

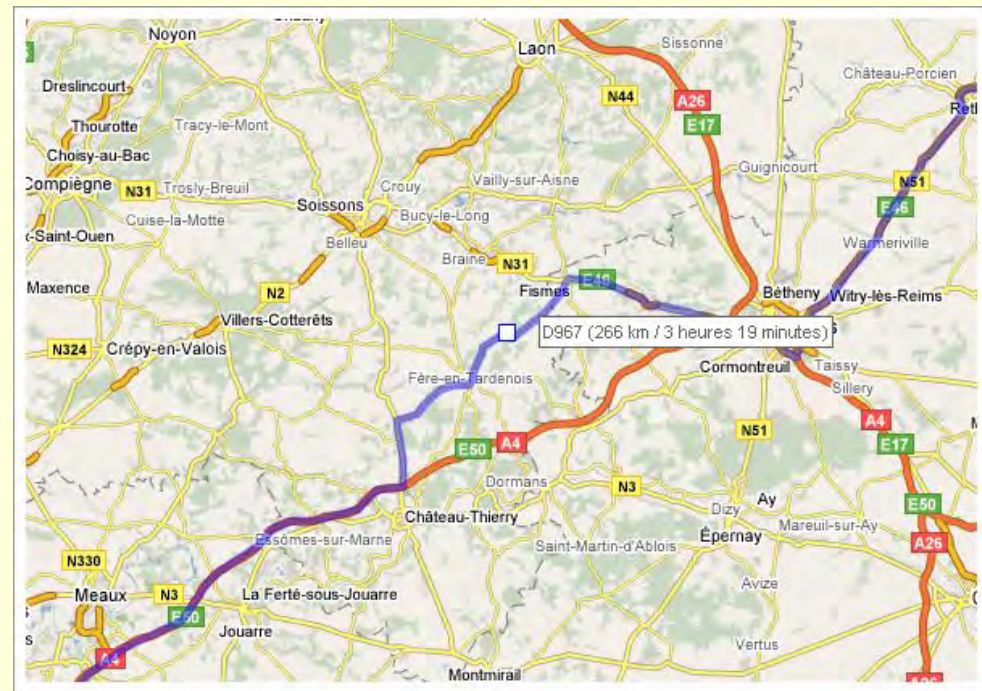


Établir la **connectivité fonctionnelle (fcMRI)** entre différentes régions du cerveau :

- 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>



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** ».

Mapping Functionally Related Regions of Brain with Functional Connectivity MR Imaging <http://www.ajnr.org/content/21/9/1636.full> (2000)

In subjects who are performing no prescribed cognitive task, functional connectivity mapped with MR imaging (fcMRI) shows **regions with synchronous fluctuations of cerebral blood flow**. When specific tasks are performed, functional MR imaging (fMRI) can map locations in which **regional cerebral blood flow increases synchronously** with the performance of the task. [...]

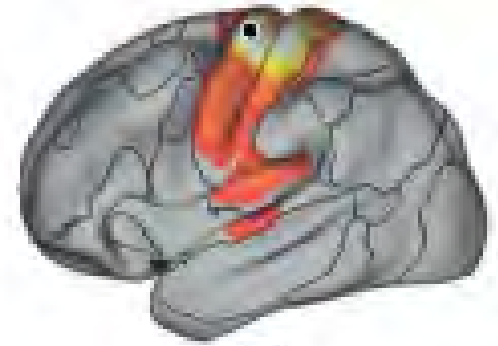


Visual

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

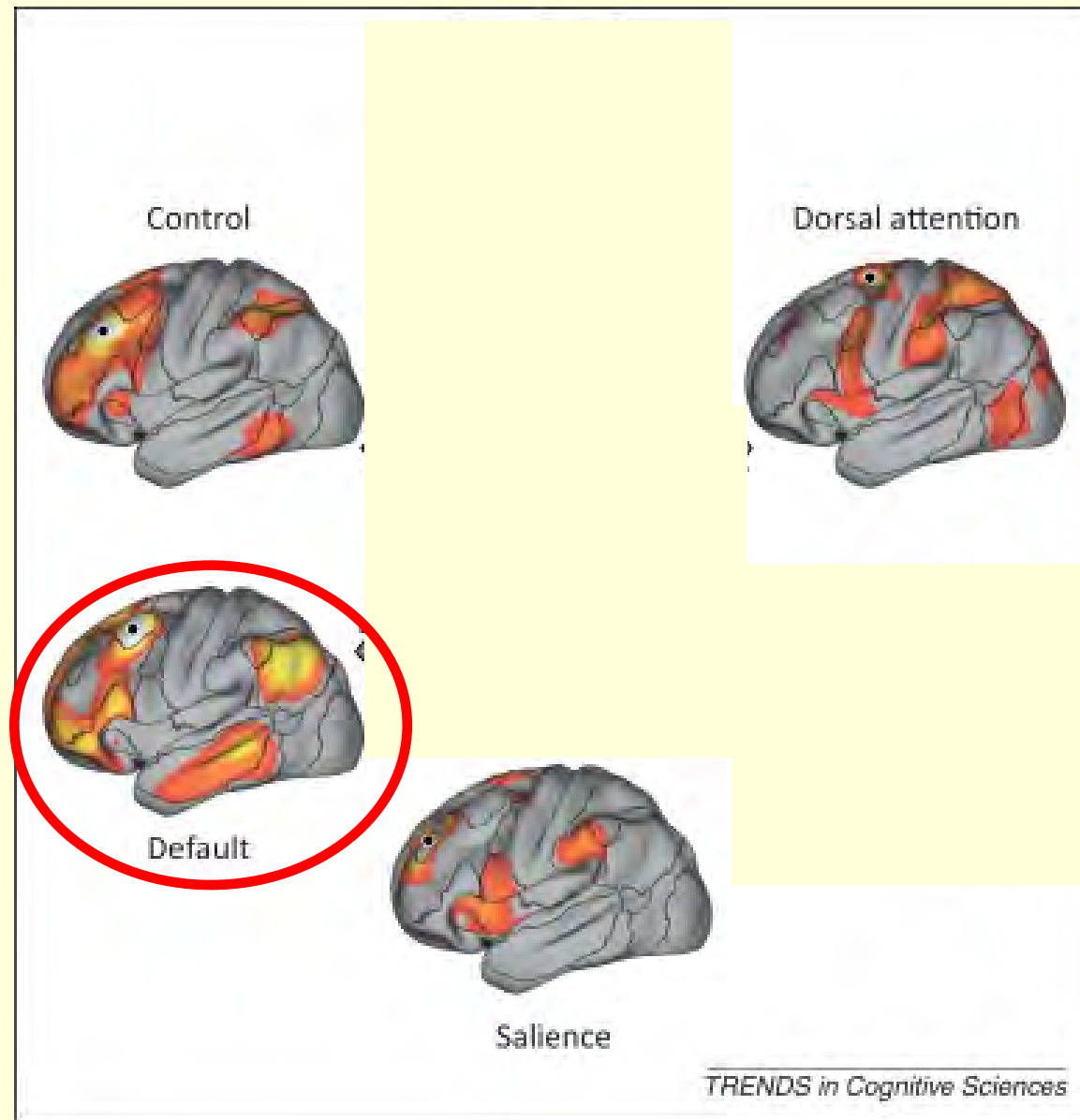
les réseaux obtenus affichent une **connectivité largement locale** (réseaux visuels et sensorimoteurs).

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**

A default mode of brain function:

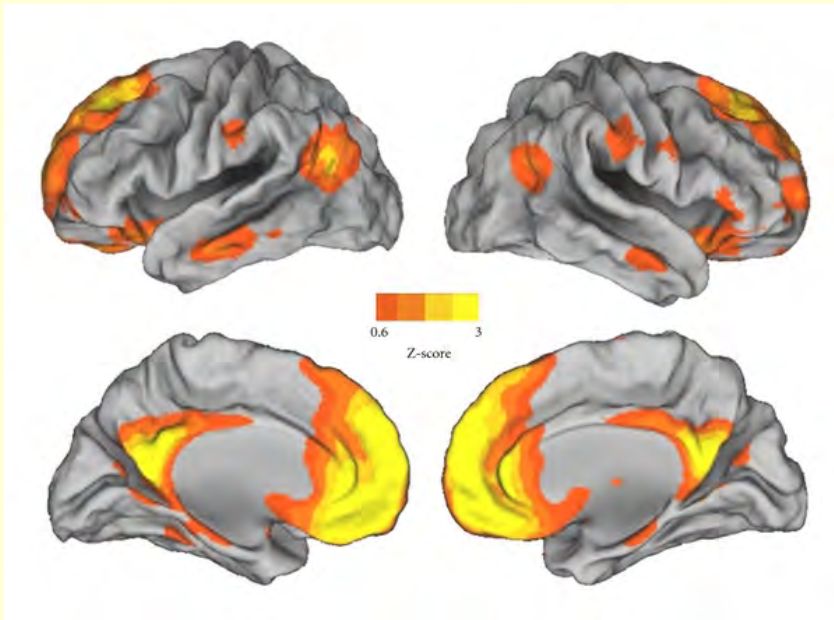
A brief history of an evolving idea

Marcus E. **Raichle** and Abraham Z. Snyder

Received 5 January **2007**

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.

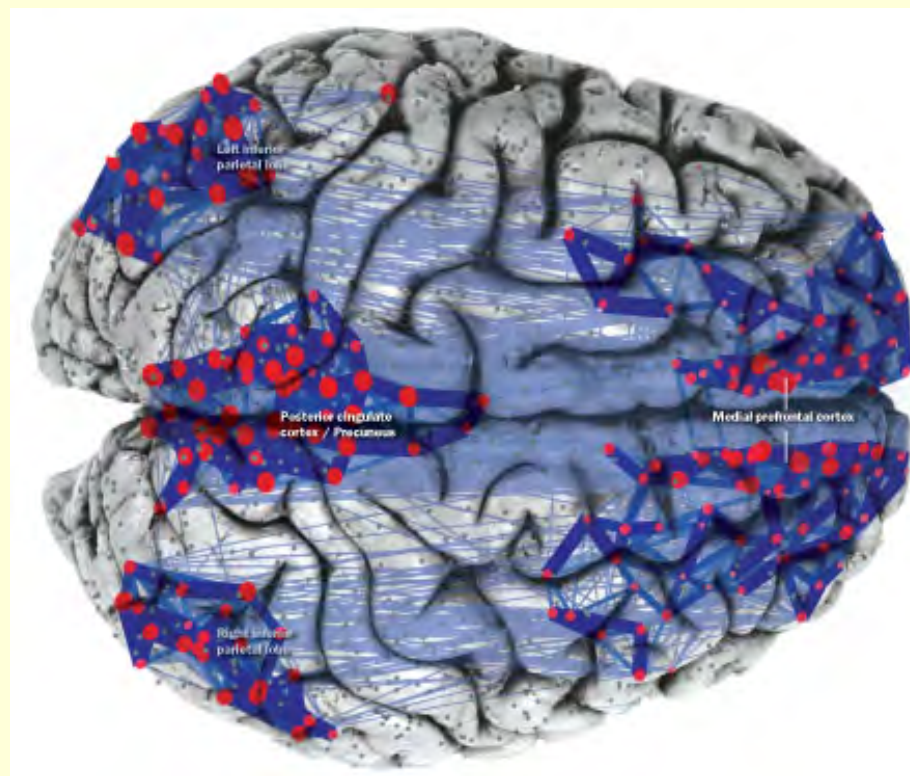


On a par la suite montré que ces régions du réseau du mode par défaut sont **connectées anatomiquement** [2009].

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.



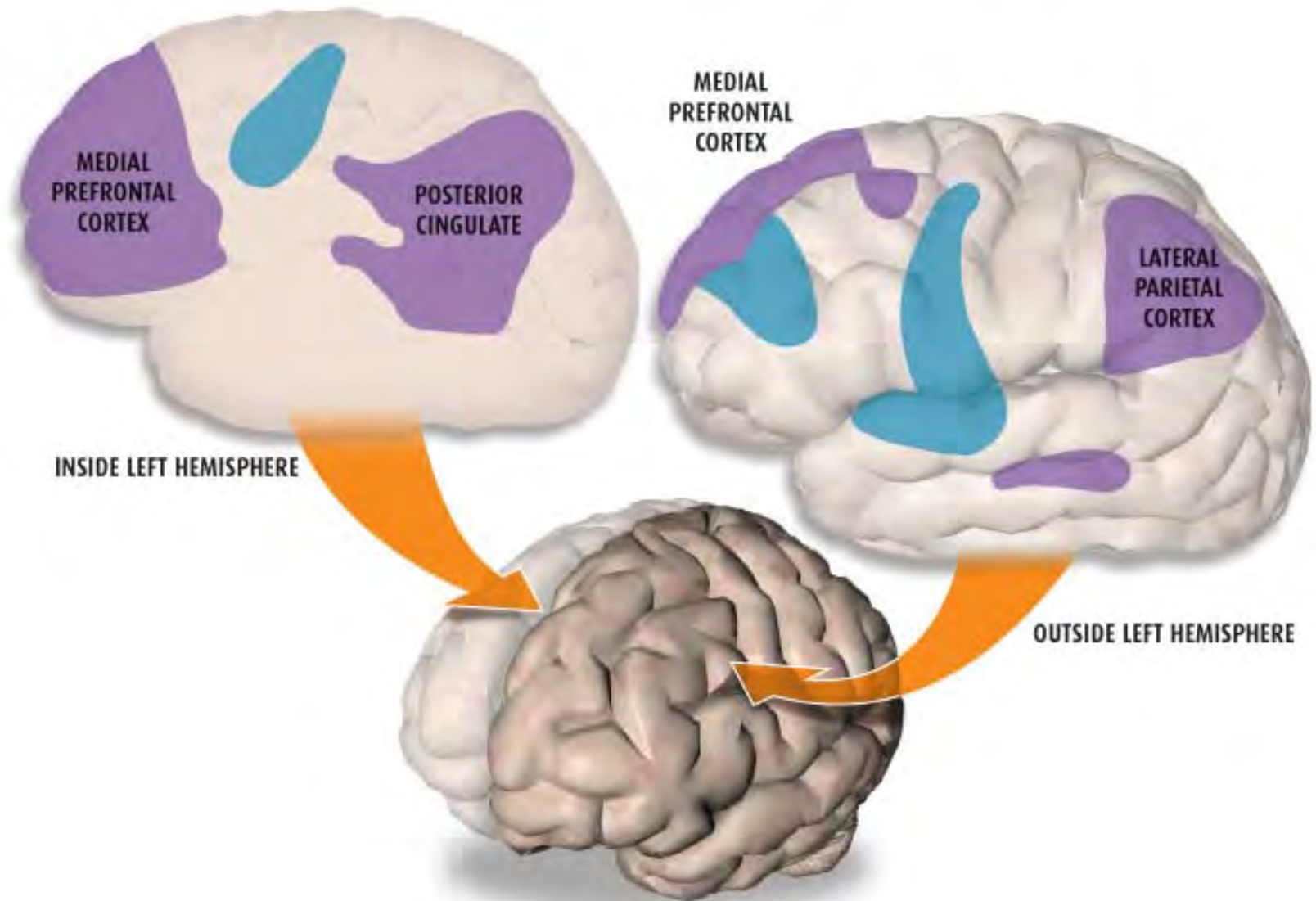
« (...) ne crois pas que l'âme soit en paix parce que le corps demeure couché. Souvent le repos... est loin d'être de tout repos. »

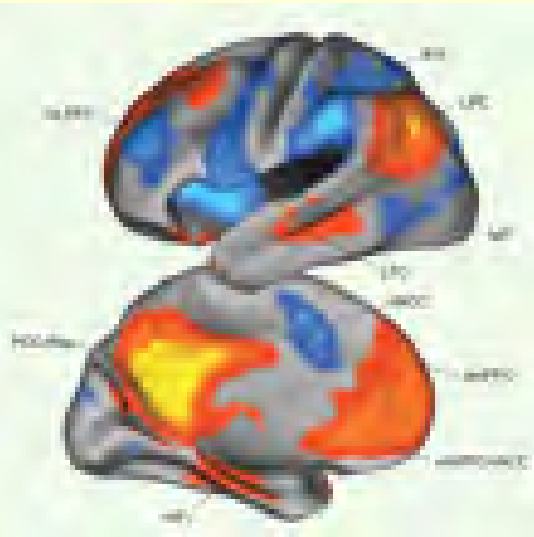
- **Sénèque**, Lettres à Lucilius, livre LVI, 60 av JC.

THE BRAIN IN NEUTRAL

When you switch off, a distinctive network of brain areas not involved in focused attention bursts into action

● Default network ● Areas involved in focused visual attention



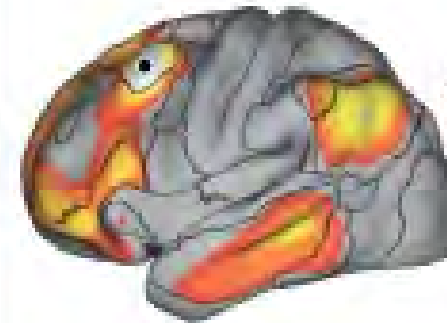


Lundi, 29 septembre **2014**

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

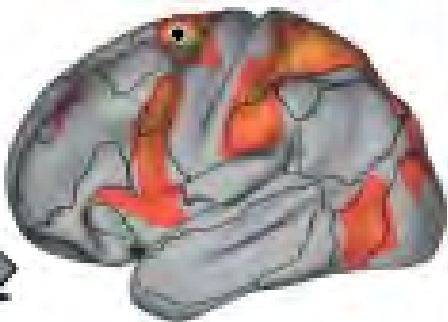
On se trouve souvent dans **deux grands états mentaux qui s'opposent** et sont, d'une certaine façon, mutuellement exclusifs.

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

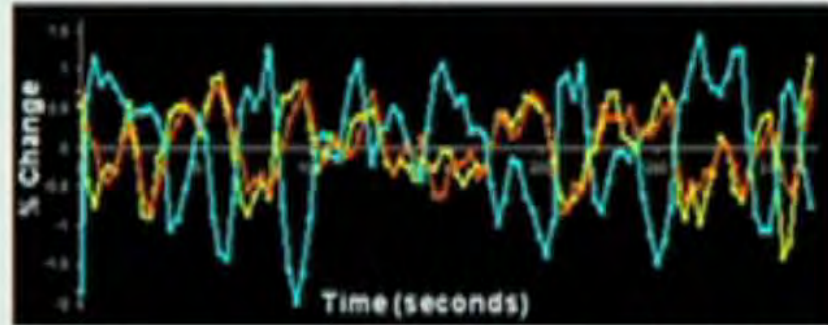
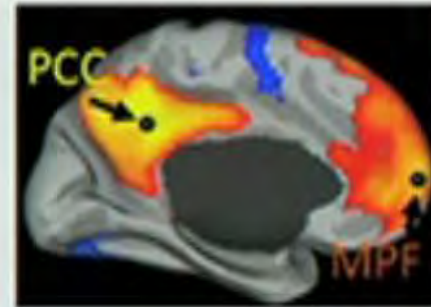
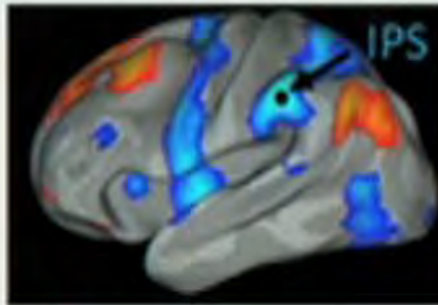


Ou soit, par l'entremise fréquente de régions frontales de notre cortex, nous concentrons notre **attention** sur une tâche cognitive pour la résoudre.

« idées noires » ?



Default Mode Network



Fox et al (2005) PNAS

Dorsal Attention Network

« control freak » ?

Réseau du mode par défaut [en psychiatrie](#) : d'abord ces deux articles qui introduisent les données de base en **2007** et **2012** :

Aberrant “Default Mode” Functional Connectivity in Schizophrenia

[Volume 164 Issue 3, March, 2007](#), pp. 450-457

THE AMERICAN JOURNAL OF PSYCHIATRY March 2007 Volume 164
Number 3

Default Mode Network Activity and Connectivity in Psychopathology

Annual Review of Clinical Psychology

Vol. 8: 49-76 (Volume publication date April 2012)

First published online as a Review in Advance on January 6, 2012

<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143049?journalCode=clinpsy>

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

Received: July 28, 2013; Received in revised form: February 9, 2015; Accepted: February 11, 2015; Published Online:

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](#)¹, [Chen AC](#)², [Zebley BD](#)³, [Drysedale AT](#)⁴, [Gordon R](#)⁴, [Leuchter B](#)⁴, [Voss HU](#)⁵, [Casey BJ](#)⁴, [Etkin A](#)², [Dubin MJ](#)⁴. Biol Psychiatry. 2014 Oct 1;76(7):517-26. doi:

10.1016/j.biopsych.2014.01.023. Epub **2014 Feb 5**.

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

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

[...]

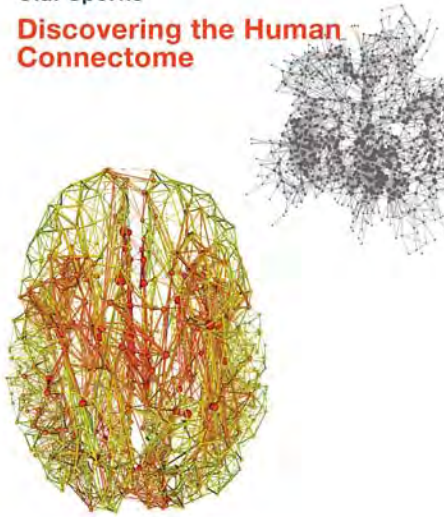
Recent evidence, however, implicates the DMN in **self-referential and memory-based processing.**

We provide robust evidence for this network's active **contribution to working memory** by revealing dynamic reconfiguration in its interactions with other networks and offer an explanation within the global workspace theoretical framework.

Les limites du connectome :

Olaf Sporns

Discovering the Human
Connectome



2012

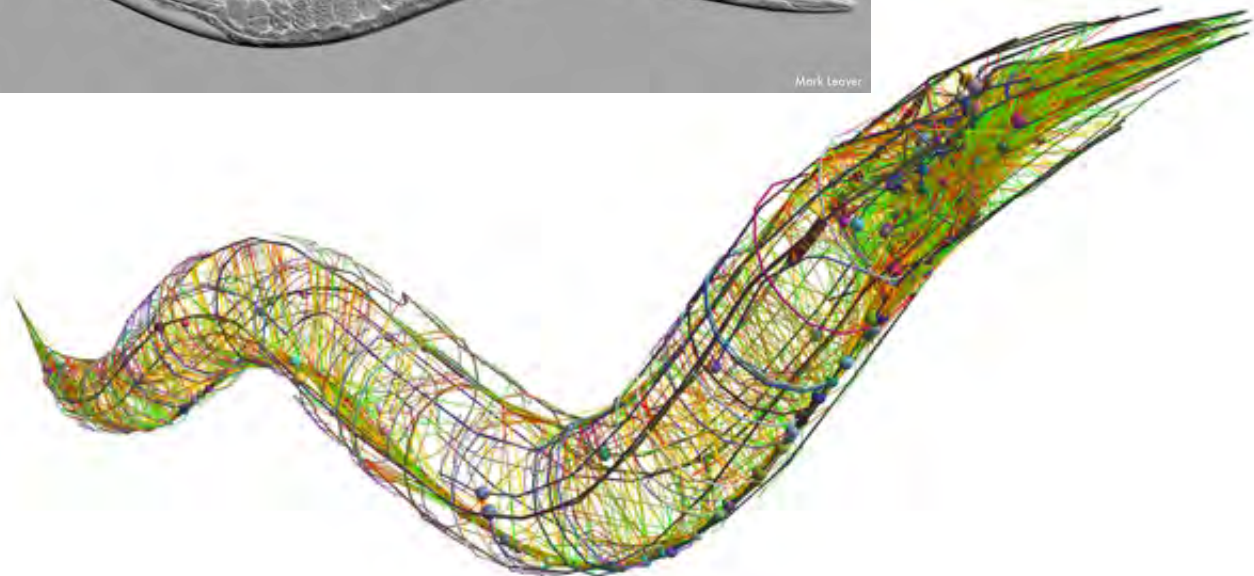
Olaf Sporns :

*“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.”*

Le seul animal dont on a le connectome complet est le vers *C. elegans* :

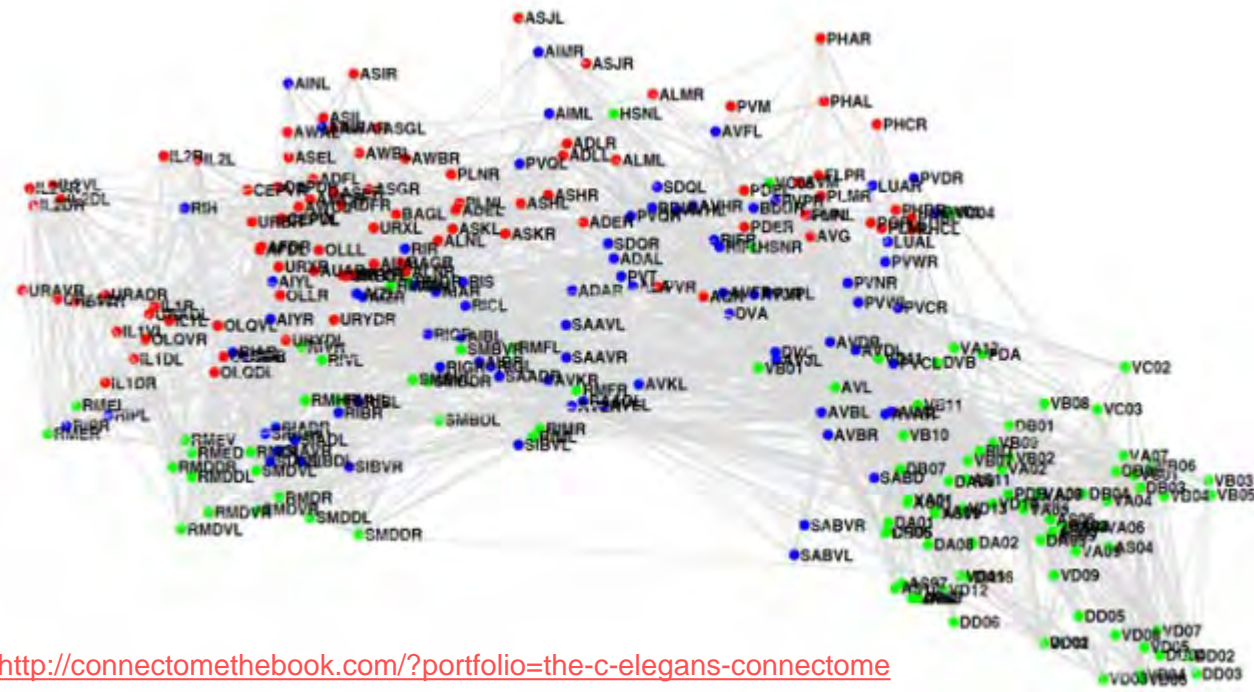
302 neurones et 7000 synapses



The Connectome Debate: Is Mapping the Mind of a Worm Worth It?

Scientists have mapped a tiny roundworm's entire nervous system. Did it teach them anything about its behavior?

By [Ferris Jabr](#)
October 2, 2012



<http://connectomethethebook.com/?portfolio=the-c-elegans-connectome>

<http://www.scientificamerican.com/article/c-elegans-connectome/>

L'utilité du connectome de *C. elegans* fait l'objet de débats :

"I think it's fair to say...that our understanding of the worm has not been materially enhanced by having that connectome available to us. We don't have a comprehensive model of how the worm's nervous system actually produces the behaviors. What we have is a sort of a bed on which we can build experiments—and many people have built many elegant experiments on that bed. But **that connectome by itself has not explained anything.**"

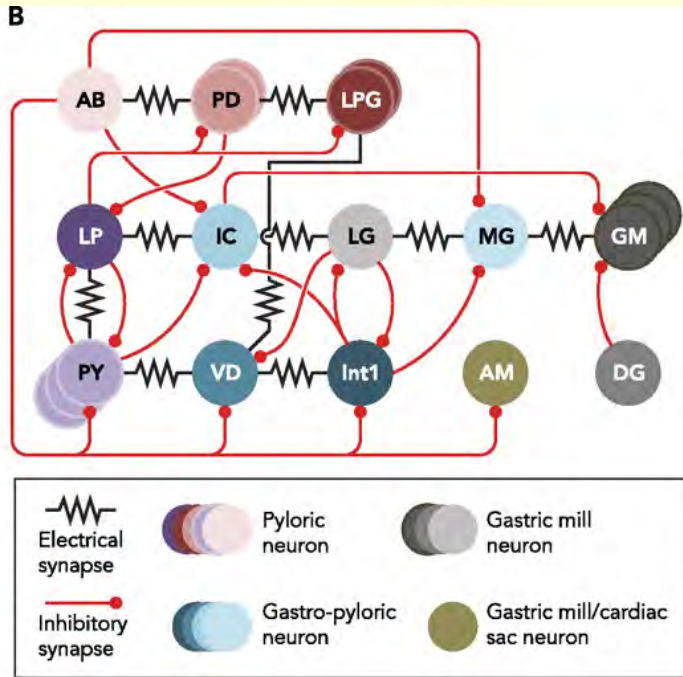
- Anthony Movshon of New York University

"A lot of what we know about *C. elegans*'s rapid behaviors we have learned through and with the connectome. Every time we do an experiment, we look at those wiring diagrams and use them as a starting point for generating hypotheses."

- Cornelia Bargmann of The Rockefeller University

Quelques points débattus :

- Le “poids synaptique” des connexions n’est pas connu;
- Il est aussi changeant avec l’apprentissage;
- On ne sait pas non plus la nature excitatrice ou inhibitrice de toutes ces connexions;
- Certains neuromodulateurs circulant autour des neurones peuvent changer la manière dont les neurones interagissent entre eux... (“neuromodulation”)

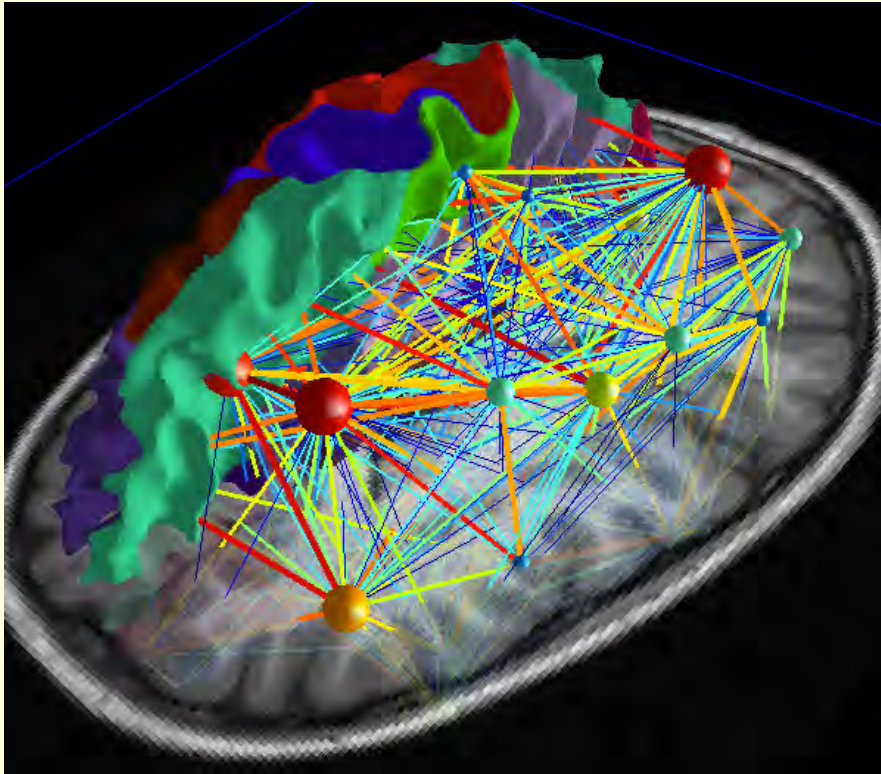


“What Eve Marder has shown, quite convincingly, is that **you can have the same structural circuit**—the same circuit of neurons connected by synaptic connections—and depending on what kind of neurotransmitters, what kind of neuromodulators are active at each given time in the circuit, **the circuit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

- Olaf Sporns



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

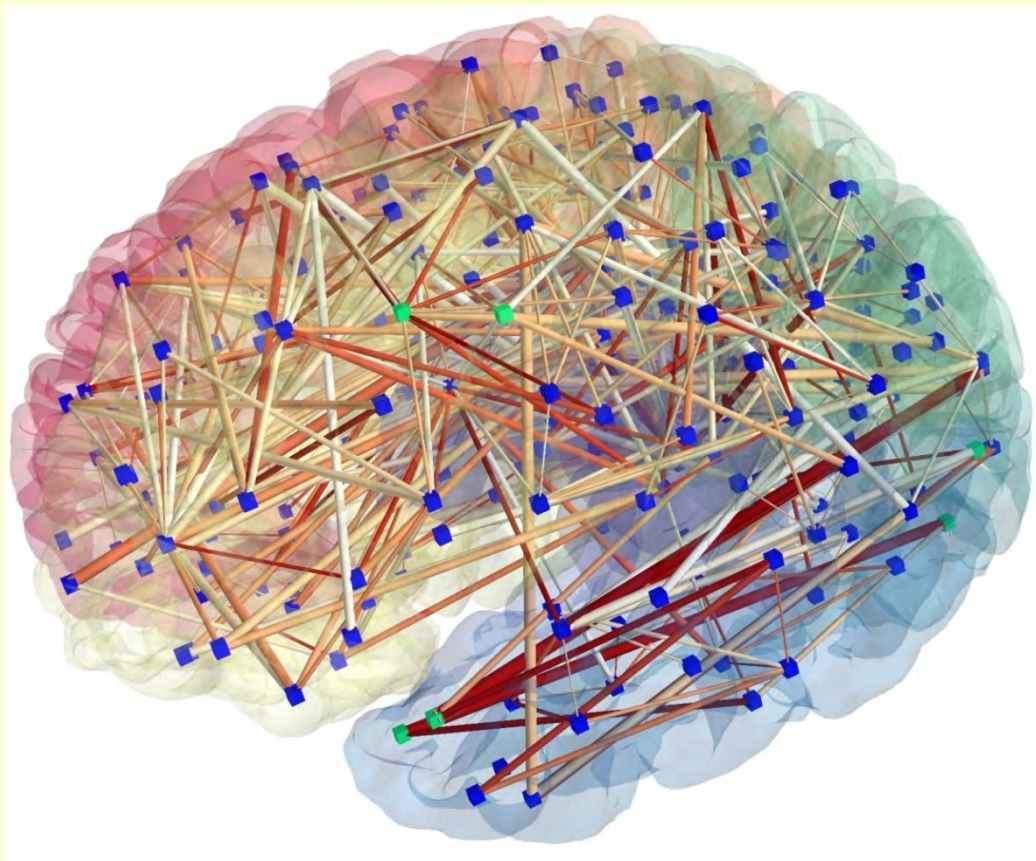


The message here is that **having the structural layout—the wiring diagram of the circuit—alone, may not be the whole story.”**

- Olaf Sporns

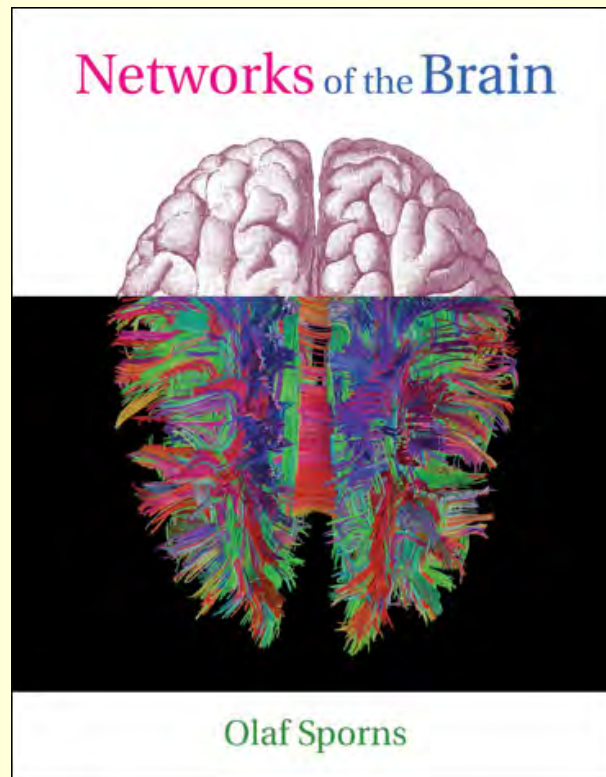
L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

Une autre approche est d'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**

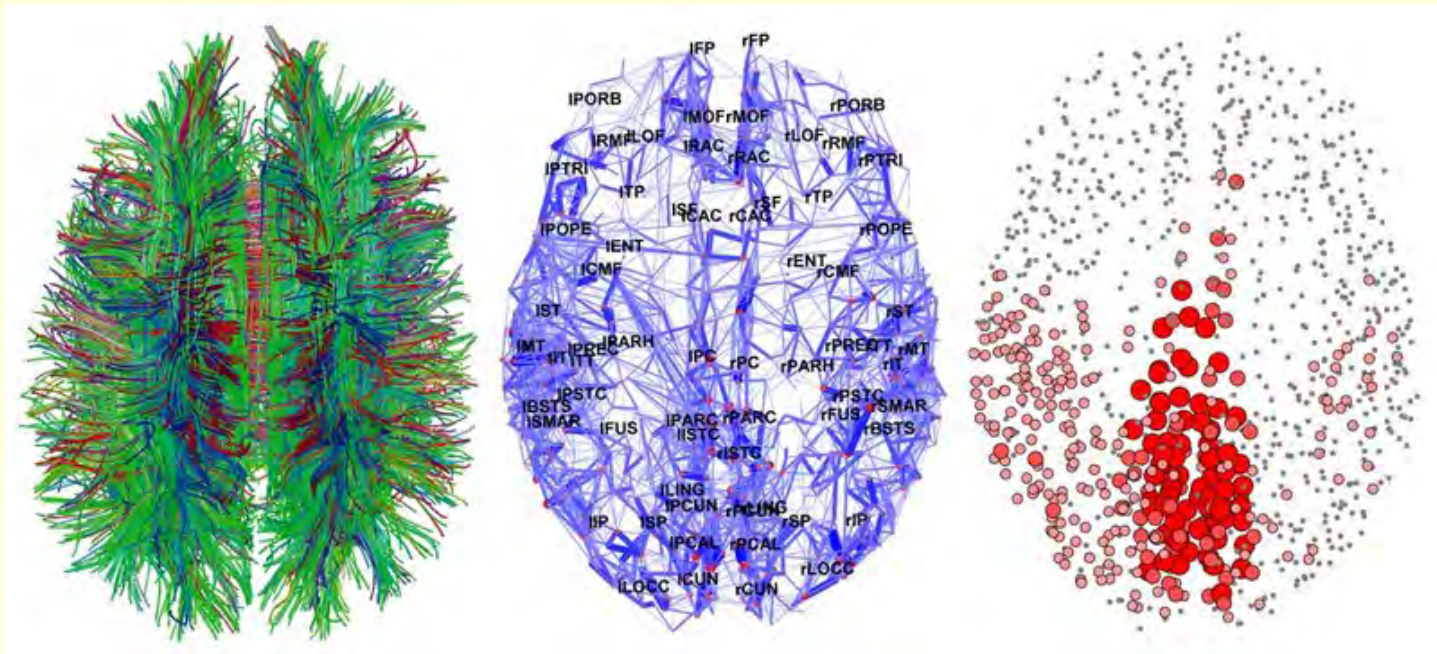
on April 8, **2013**

Where: Centre de recherches
mathématiques Université
de Montréal

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**,

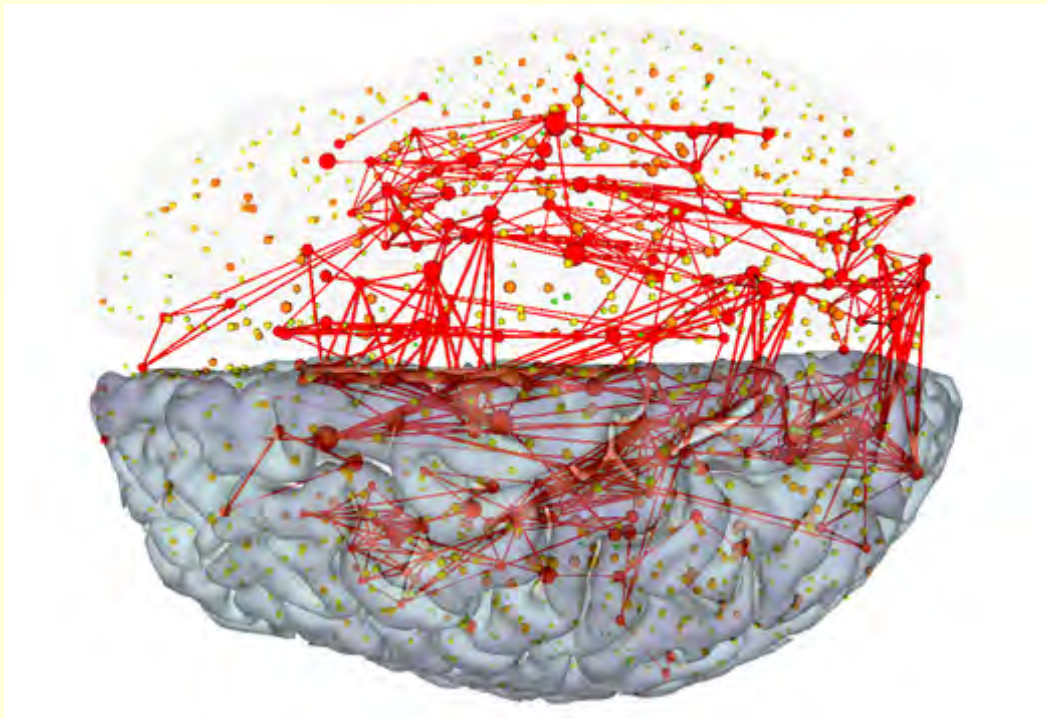
qui permettent de révéler l'**organisation modulaire** d'un tel système complexe.



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* 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>



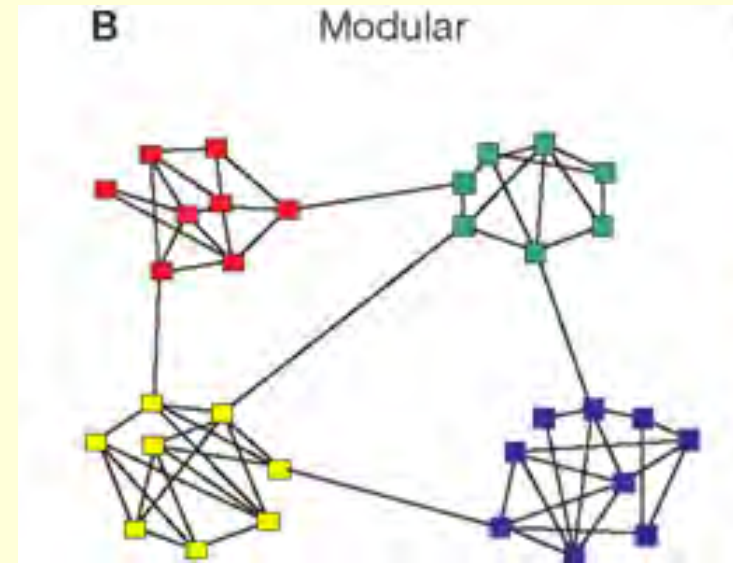
Mapping Brain Connectivity Using Graph Theory

Posted on **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 **modulaire** du cerveau d'un type particulier appelé "**small world**".

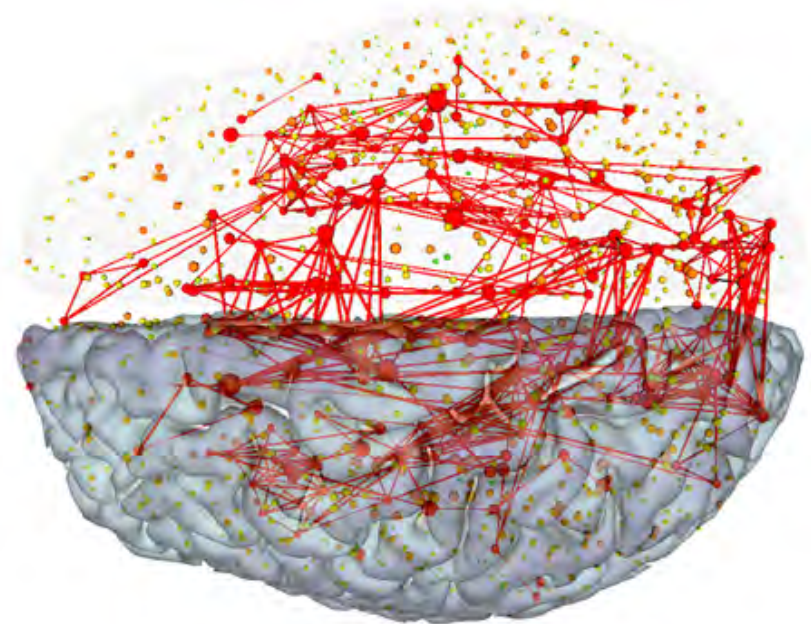
(mais pas "un module = une fonction", plutôt dans le sens d'unité de traitement)



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.

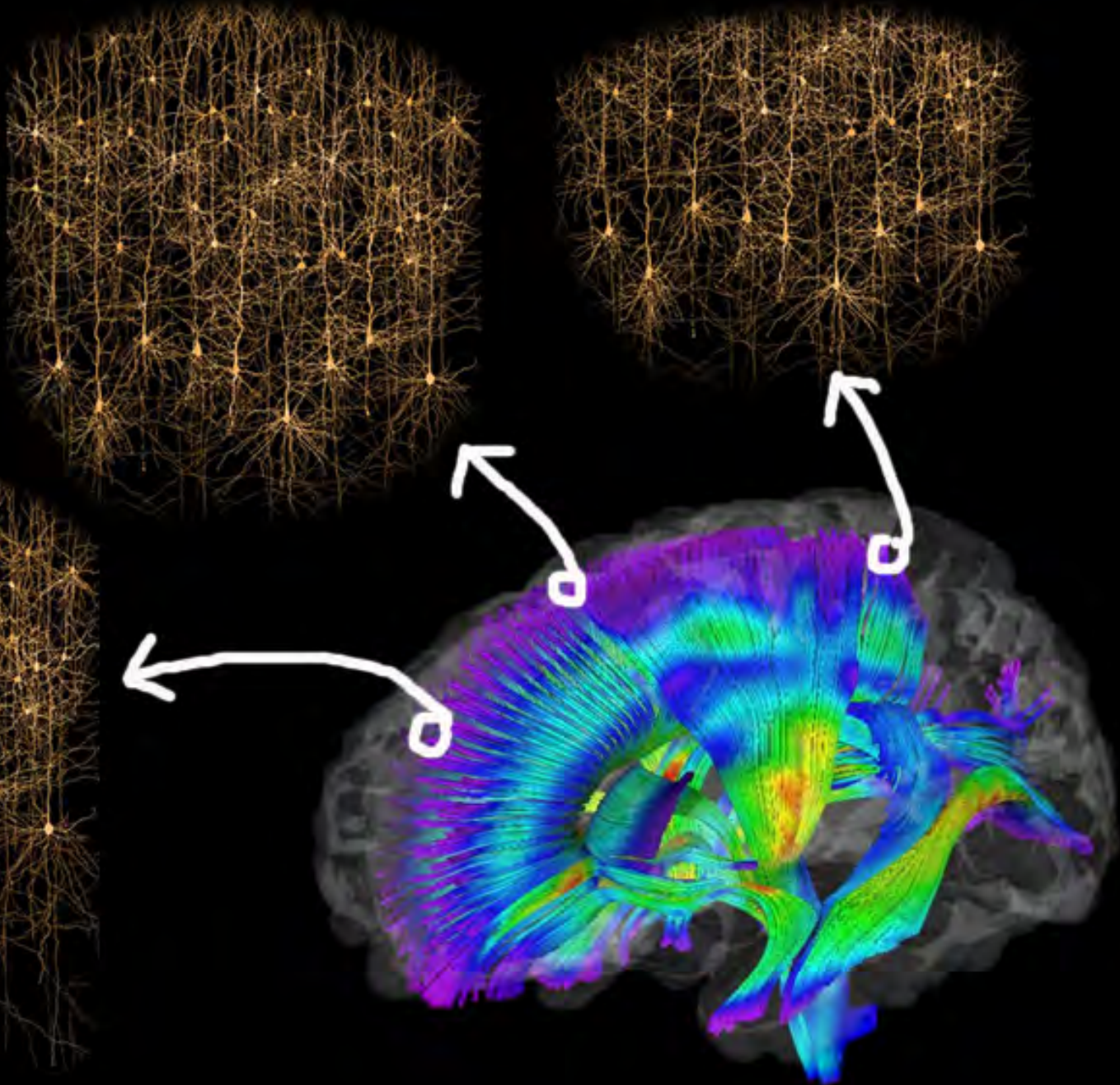
Un peu comme un collectionneur de timbres va visiter les sites web spécialisés très peu fréquentés de ses amis, mais également à l'occasion quelques moteurs de recherches généraux à grand trafic.

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



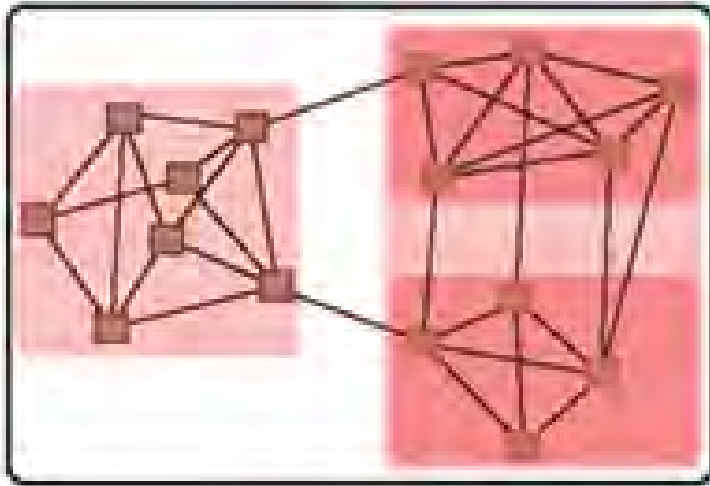
« Grandes
autoroutes...

...et petites
rues locales.

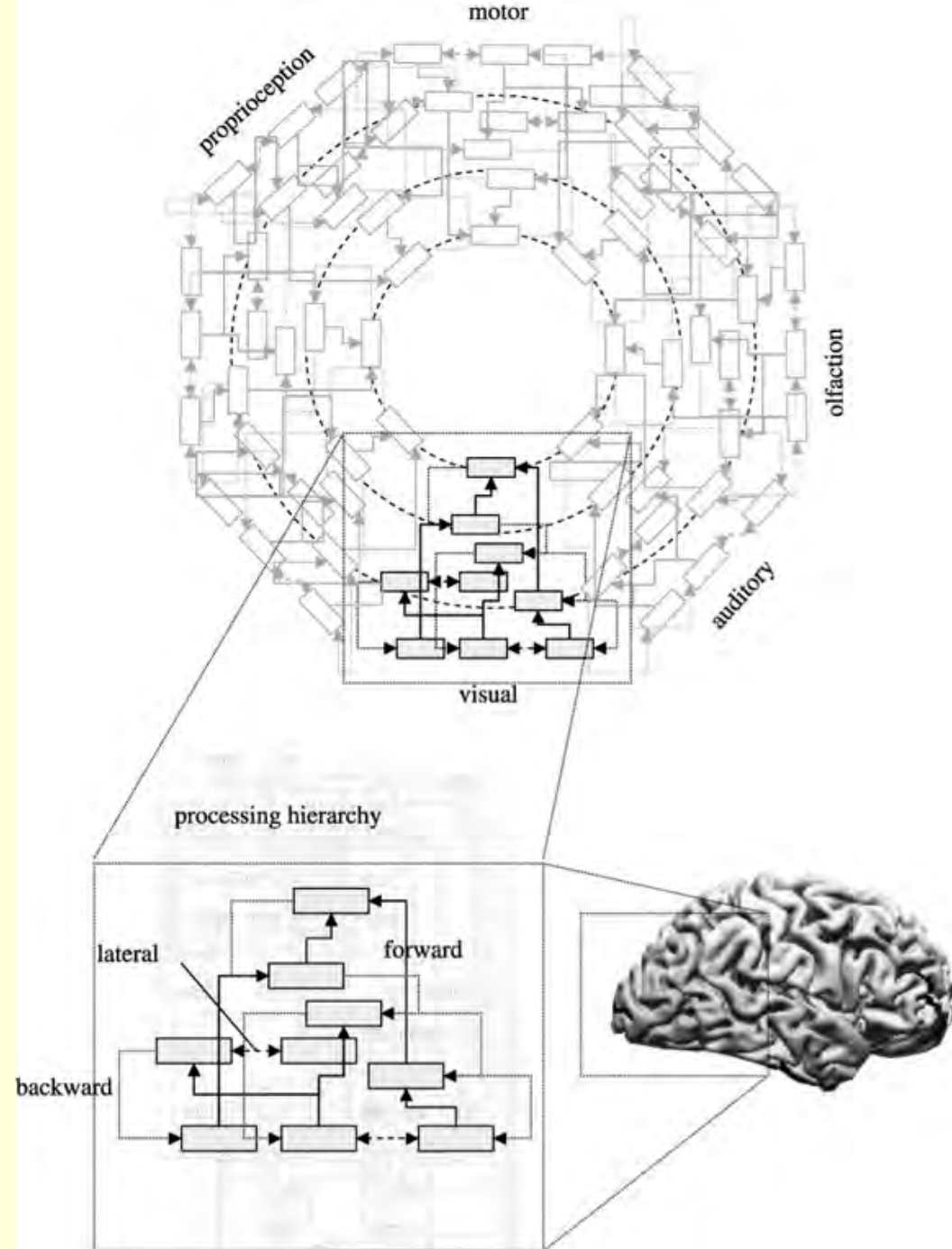


C

Hierarchical



In many systems it seems that modularity does not exist only at a single organizational scale, but rather that each module can be further partitioned into a set of sub-modules, and within each sub-module there may be sub-sub-modules, etc. In other words, many systems have the **fractal** property of hierarchical modularity, multi-scale modularity or “russian doll” modularity



Organisation multi-échelle :

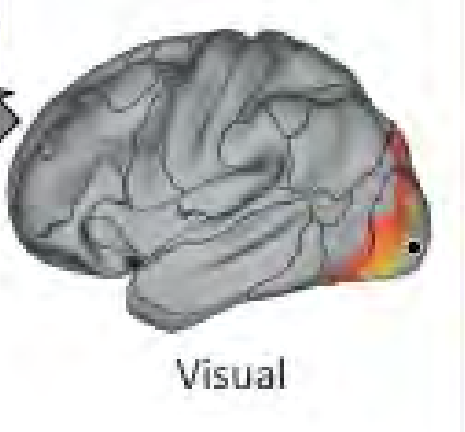
Les réseaux peuvent être identifiés à l'échelle de **vastes assemblées distribuées** (environ 10) qui correspondent à des systèmes fonctionnels.

Il est possible d'extraire des réseaux distribués à plusieurs échelles spatiales, depuis les systèmes jusqu'à des régions focales en passant par des **échelles intermédiaires**.

Cette organisation à plusieurs échelles semblent bien refléter l'architecture **anatomo**-fonctionnelle cérébrale.

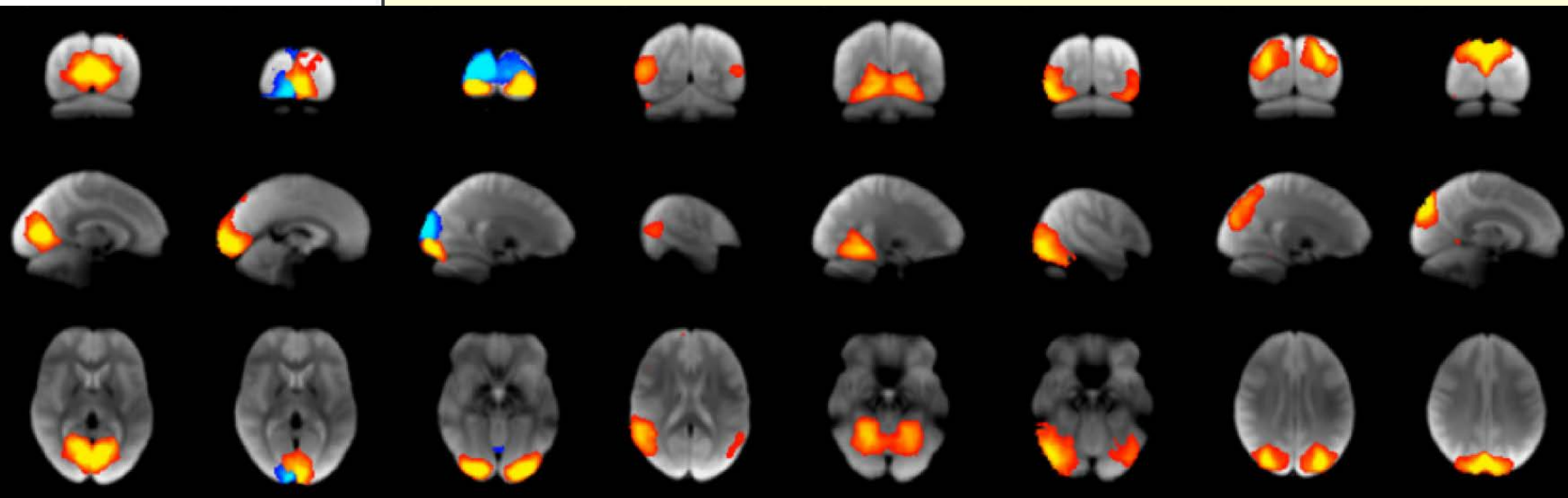
(Tirée de Pierre Bellec

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLAhXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_Isni.pdf&usg=AFQjCNGBiKg_wv2lF4DtIlo-0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja)



Organisation multi-échelle :

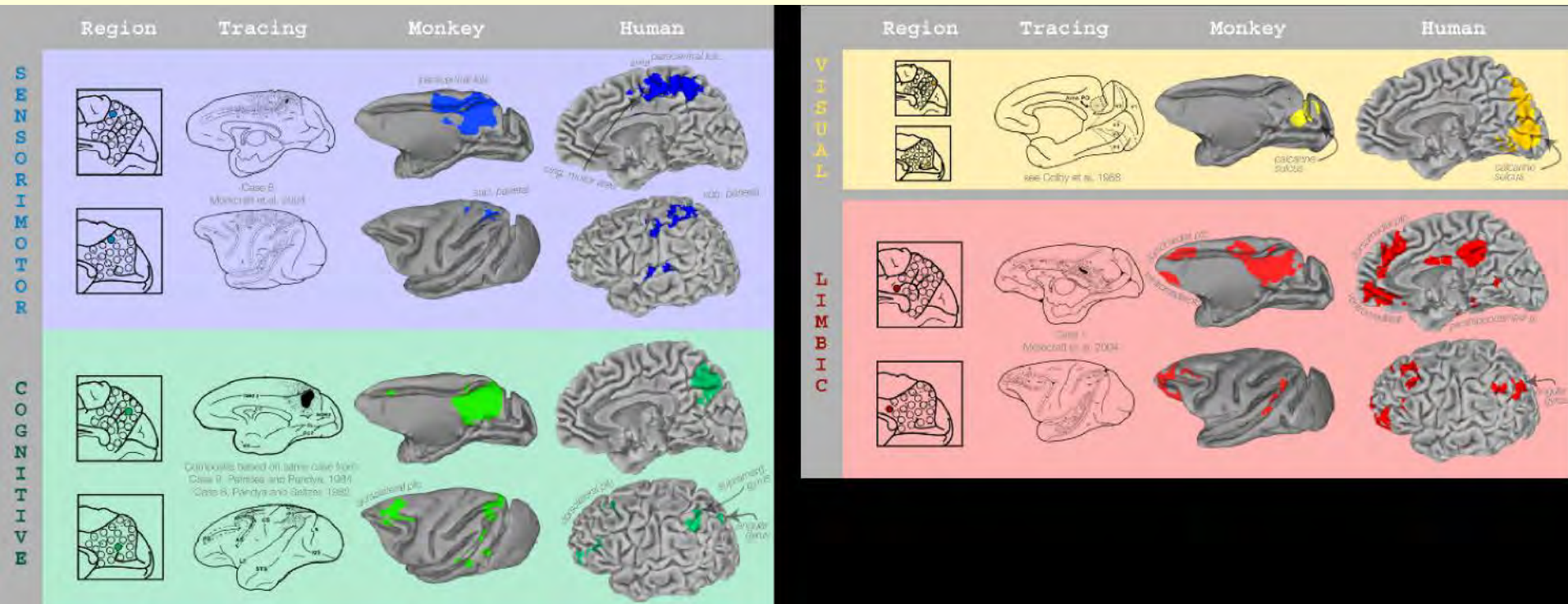
Subdivision du **système visuel** en 8 sous-systèmes



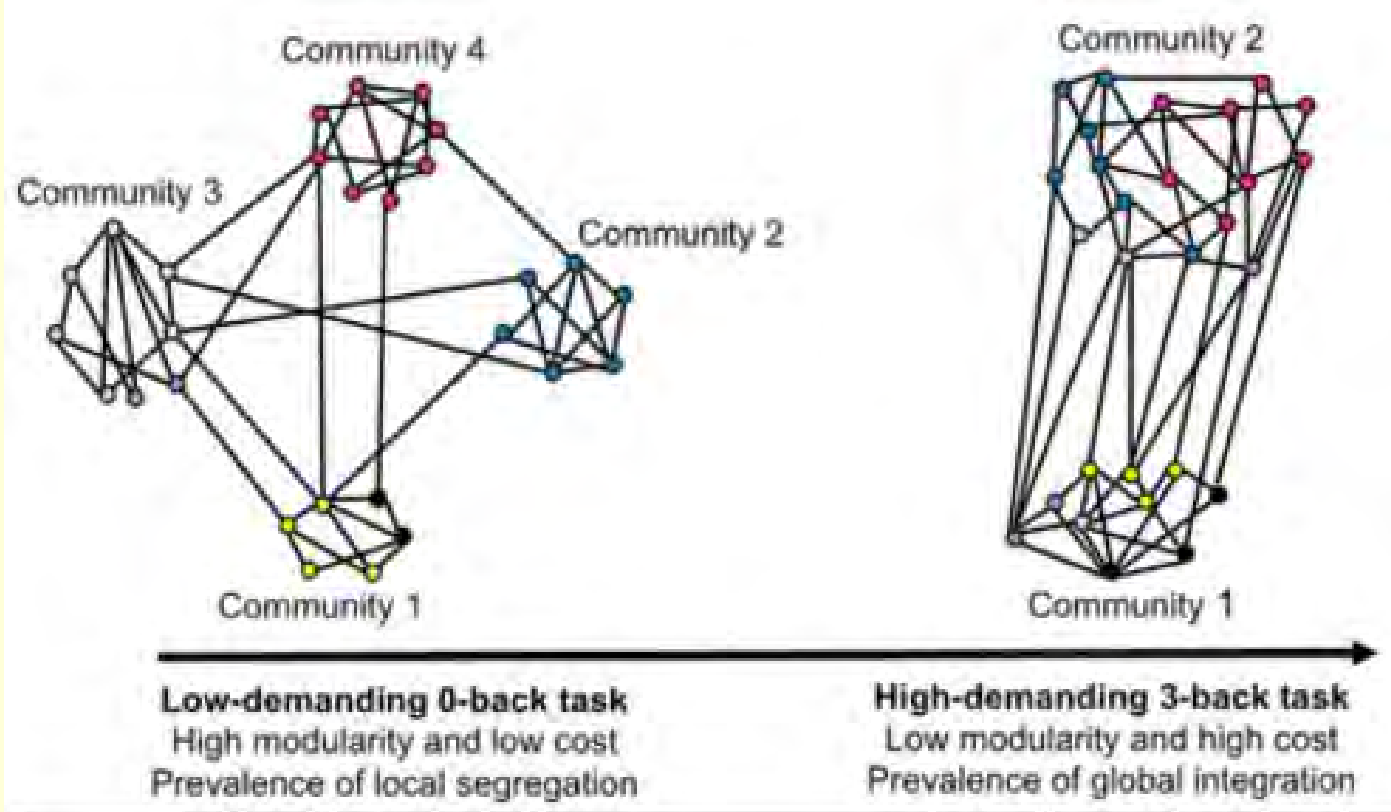
ICA de groupe (n = 36) avec 70 composantes. Figure tirée de Smith et al, 2009, PNAS.

Organisation multi-échelle :

Subdivision du précunéus en 4 sous-systèmes



Comparaison de la connectivité anatomique chez le macaque et carte de connectivité fonctionnelle au repos chez l'homme.
Figure tirée de Margulies et al, 2009, PNAS.



Schematic representation of the main findings of Vatansever et al. Community representation and colors are in the style of Figures 1 and 3 in the article by [Vatansever et al. \(2015\)](#), and the **DMN is represented by Community 4.**

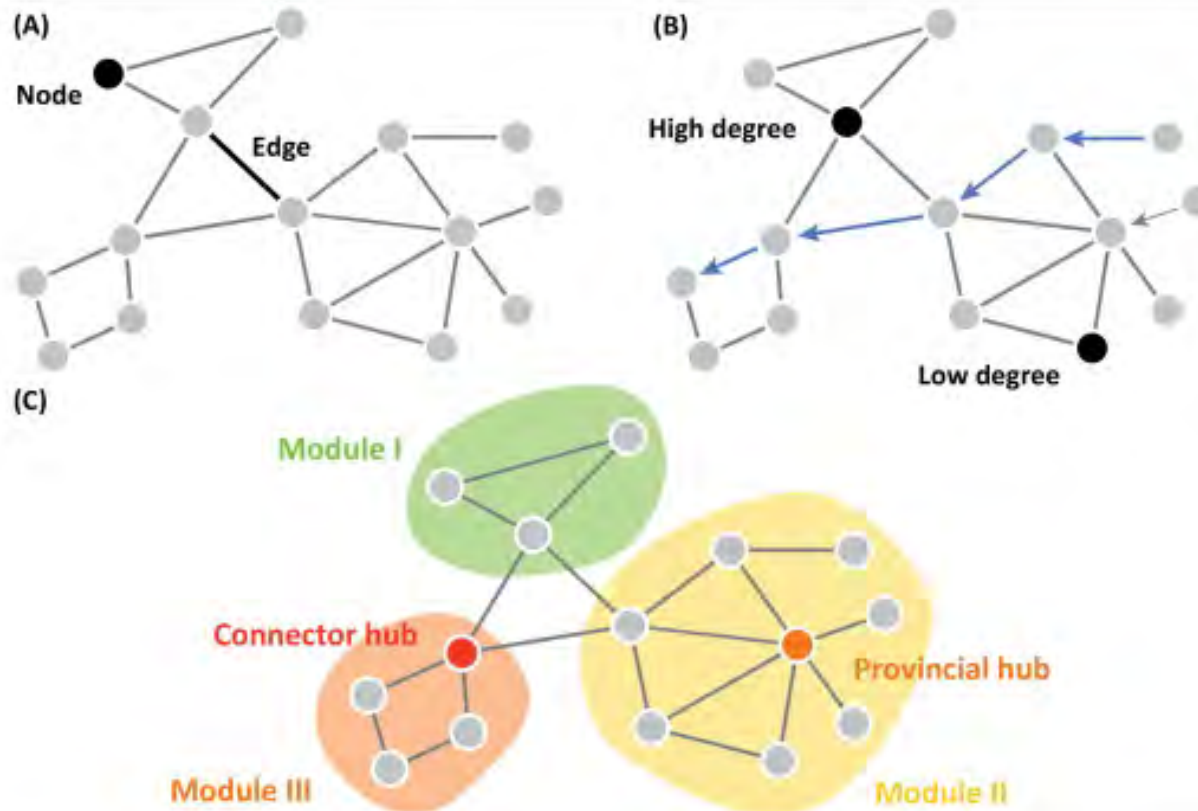
In the low-demanding 0-back condition, the network was highly modular (high Q index) and was divided into four distinct modules. With the increasing cognitive load, the modularity of the network decreased, and three communities merged into one. Thus, while **local segregation was prevalent in the low-demanding task**, increasing cognitive effort was associated with more pronounced global integration.

Review

Network hubs in the human brain

Martijn P. van den Heuvel, Olaf Sporns

<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2813%2900216-7>



Graph analysis of functional brain networks: practical issues in translational neuroscience

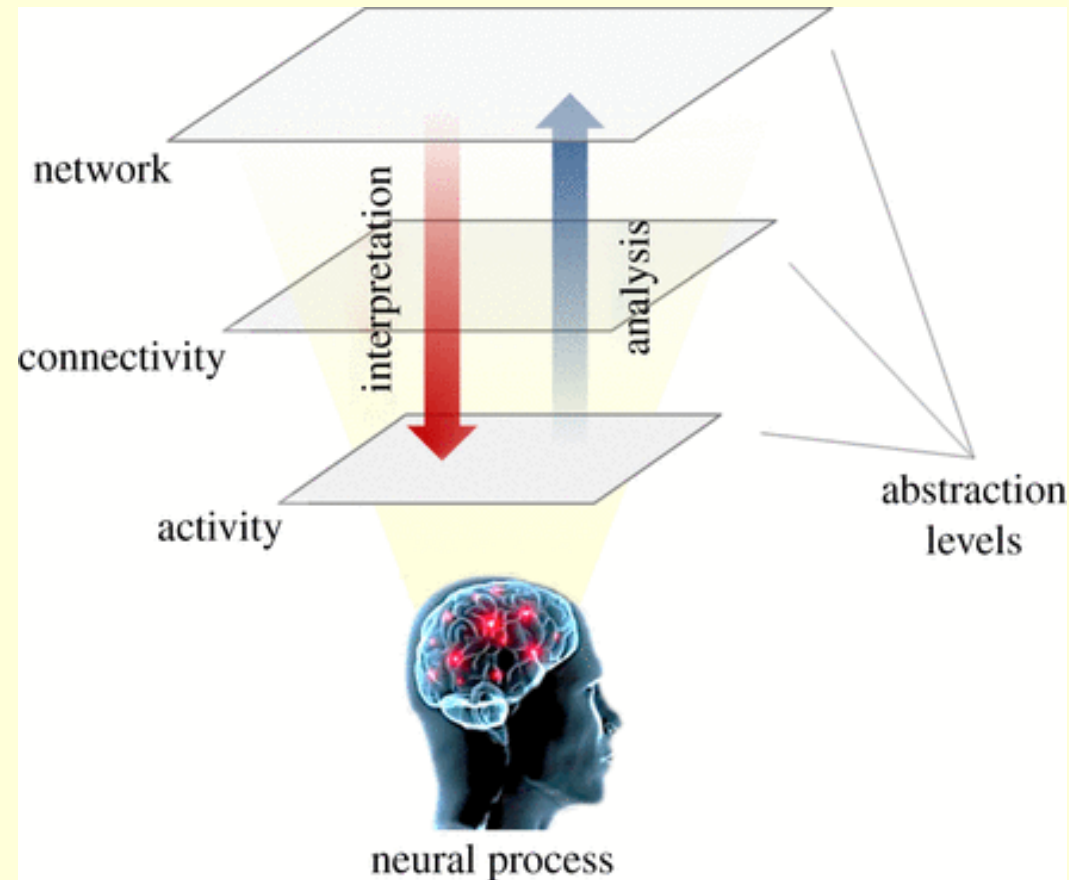
Fabrizio De Vico Fallani, Jonas Richiardi, Mario Chavez, Sophie Achard

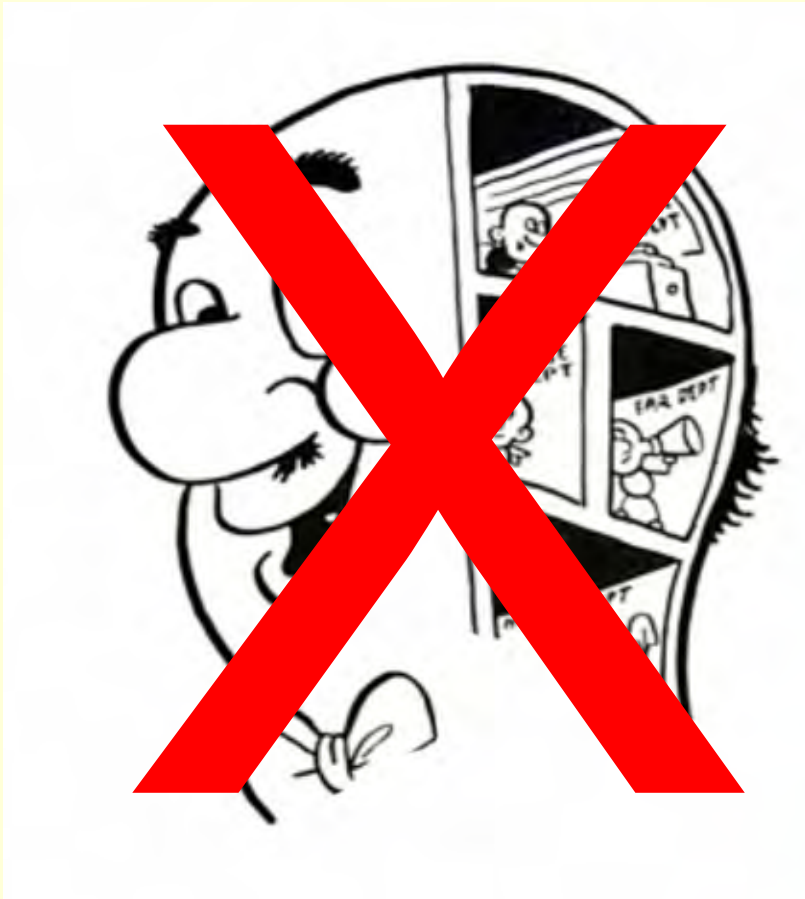
Published 1 September 2014.

<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1653/20130521.figures-only>

In the last decade, the abstract representation of the brain as a graph has allowed to visualize functional brain networks and describe their non-trivial topological properties in a compact and objective way.

Nowadays, the use of graph analysis in translational neuroscience has become essential to quantify brain dysfunctions in terms of aberrant reconfiguration of functional brain networks.



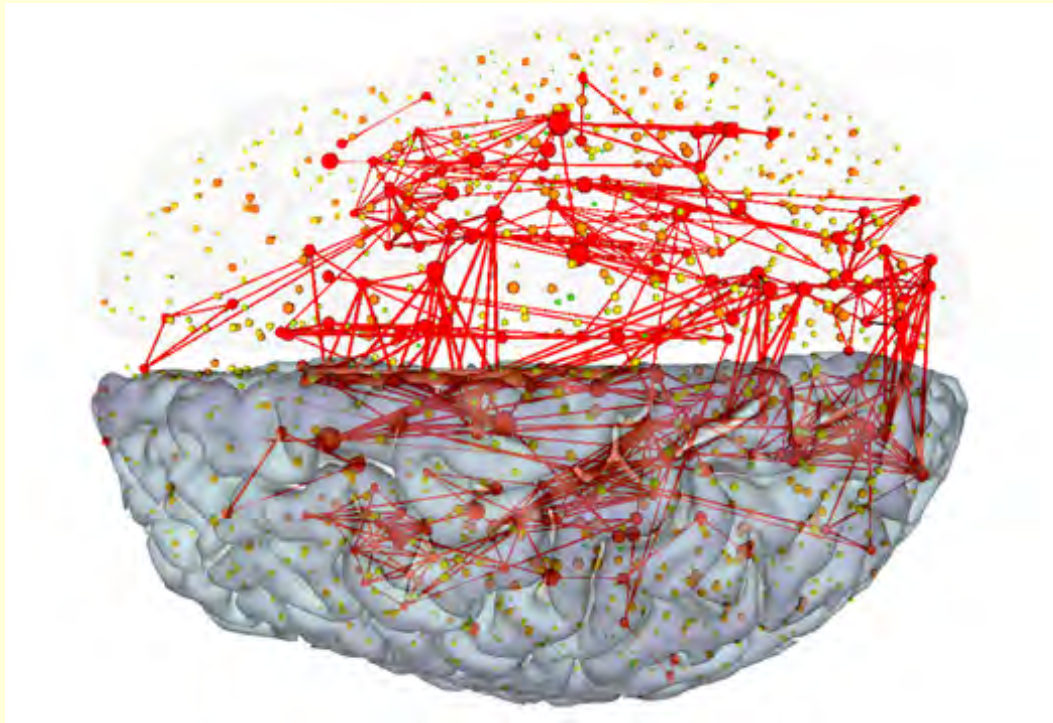


En résumé,
non seulement il n'y a pas
de « centre de.. »
dans le cerveau...

« There is no boss in the brain. »

- M. Gazzaniga





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

Et c'est ce type de fonctionnement qui va permettre ce qu'on appelle les « fonctions supérieures » (langage, attention, conscience, etc.)