

14 octobre 2016

1^{ère} heure : NOTRE HISTOIRE

Évolution cosmique, chimique,
et biologique

Émergence des systèmes
nerveux et hominisation



**2^e heure : GRAMMAIRE
NEURONALE**

Neurones et cellules gliales

Plasticité et mémoires



3^e heure : CERVEAU DYNAMIQUE

Activité endogène

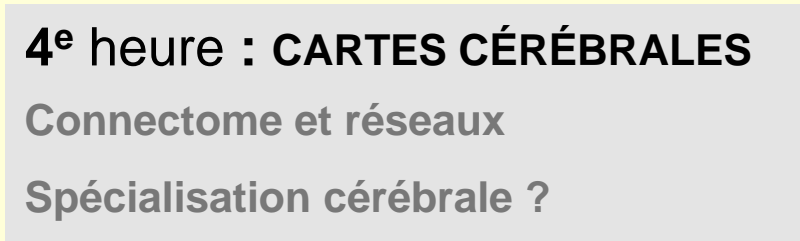
Oscillation et synchronisation



4^e heure : CARTES CÉRÉBRALES

Connectome et réseaux

Spécialisation cérébrale ?

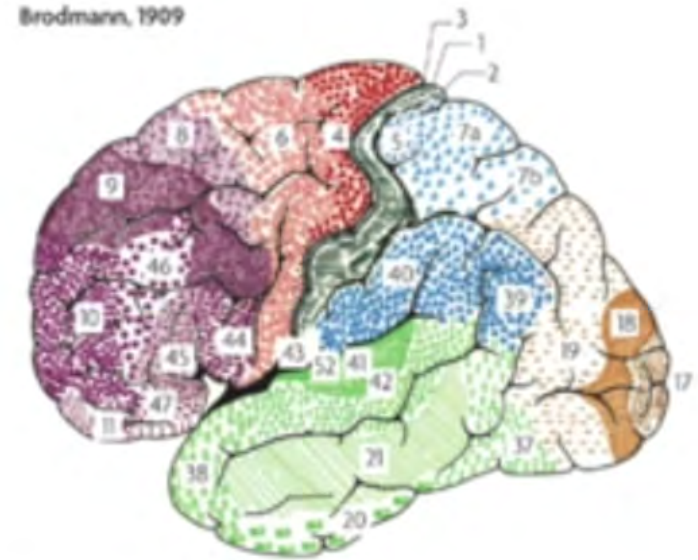




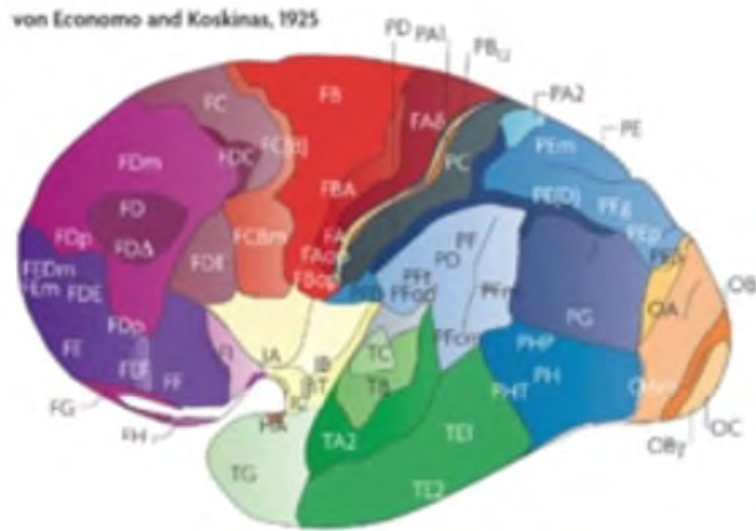
Campbell, 1905



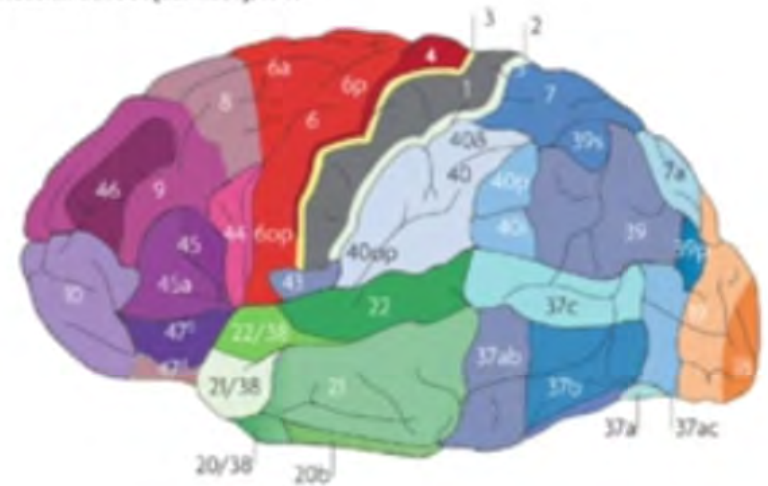
Brodmann, 1909



von Economo and Koskinas, 1925



Russian school (Sarkisov), 1949



von Economo and Koskinas, 1925

Russian school (Sarkisov), 1949

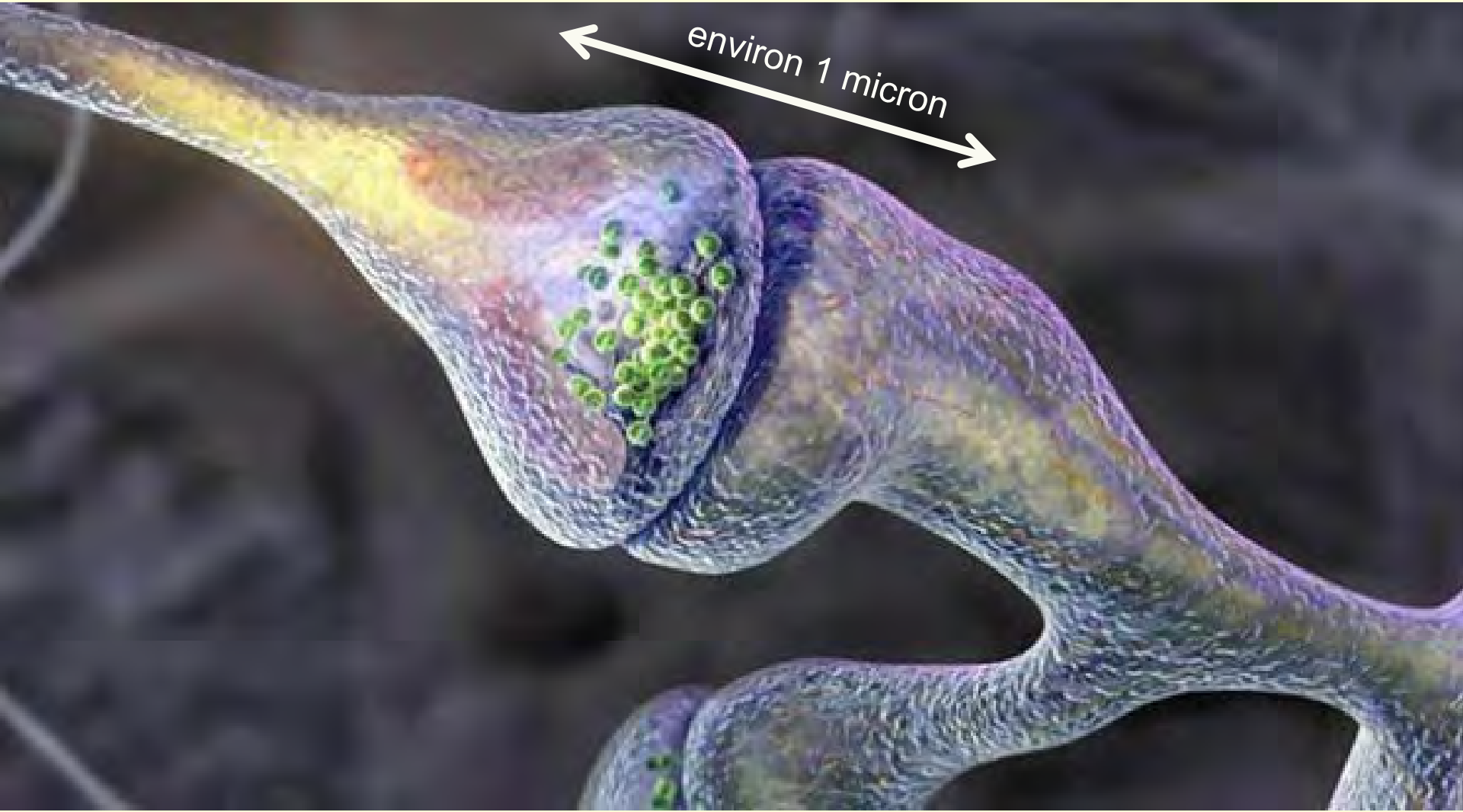
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

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

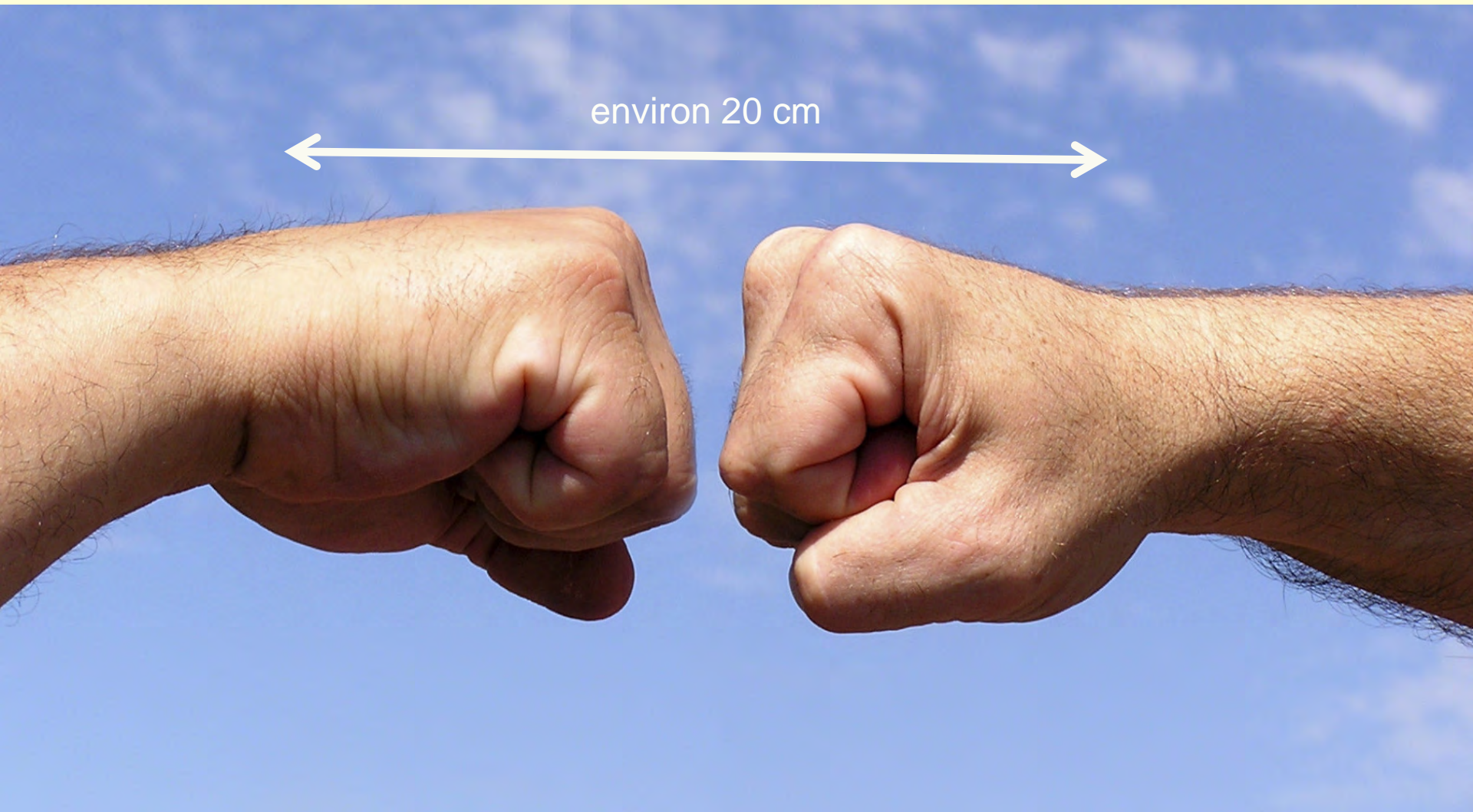


environ 20 cm

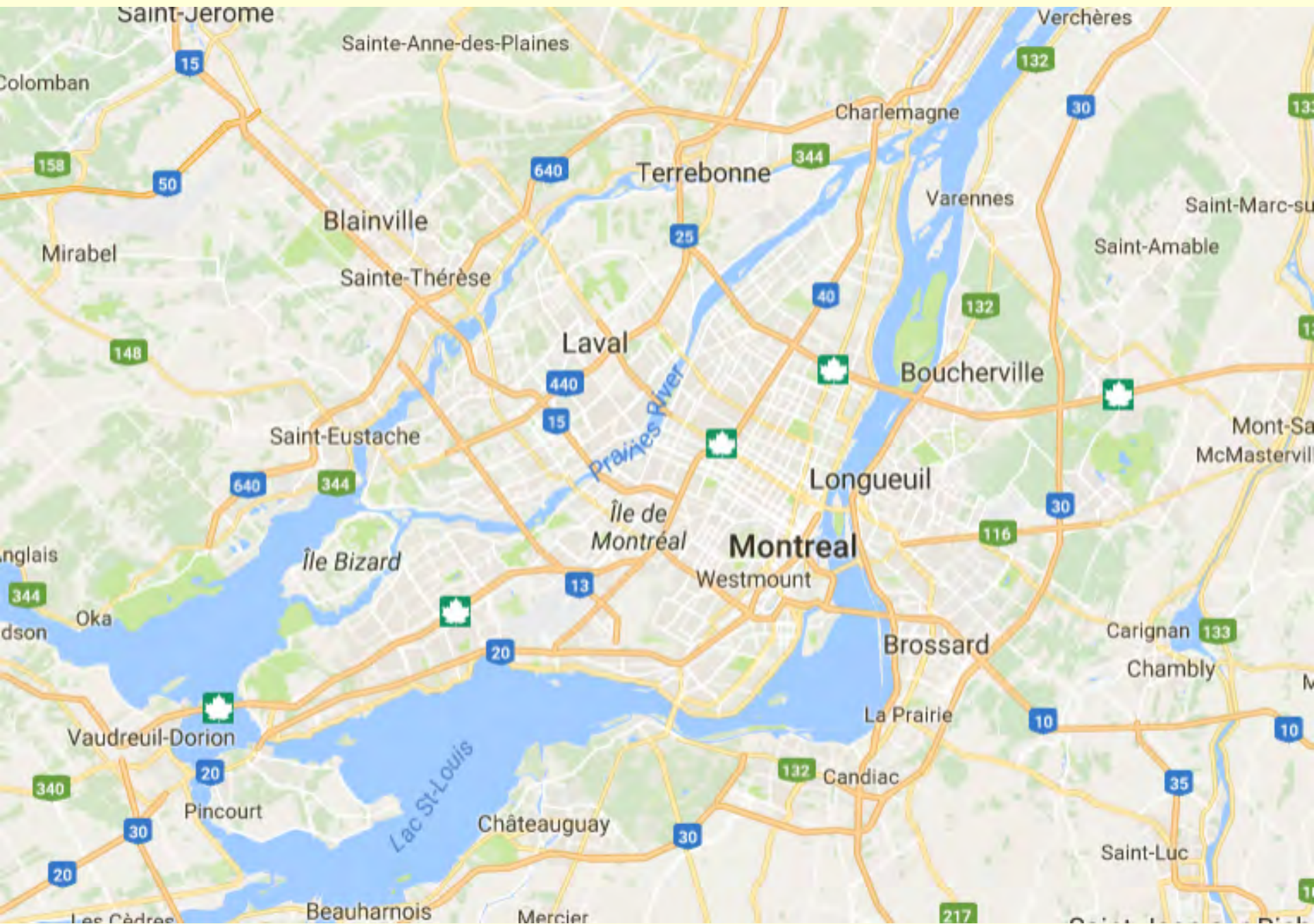


environ 1 micron

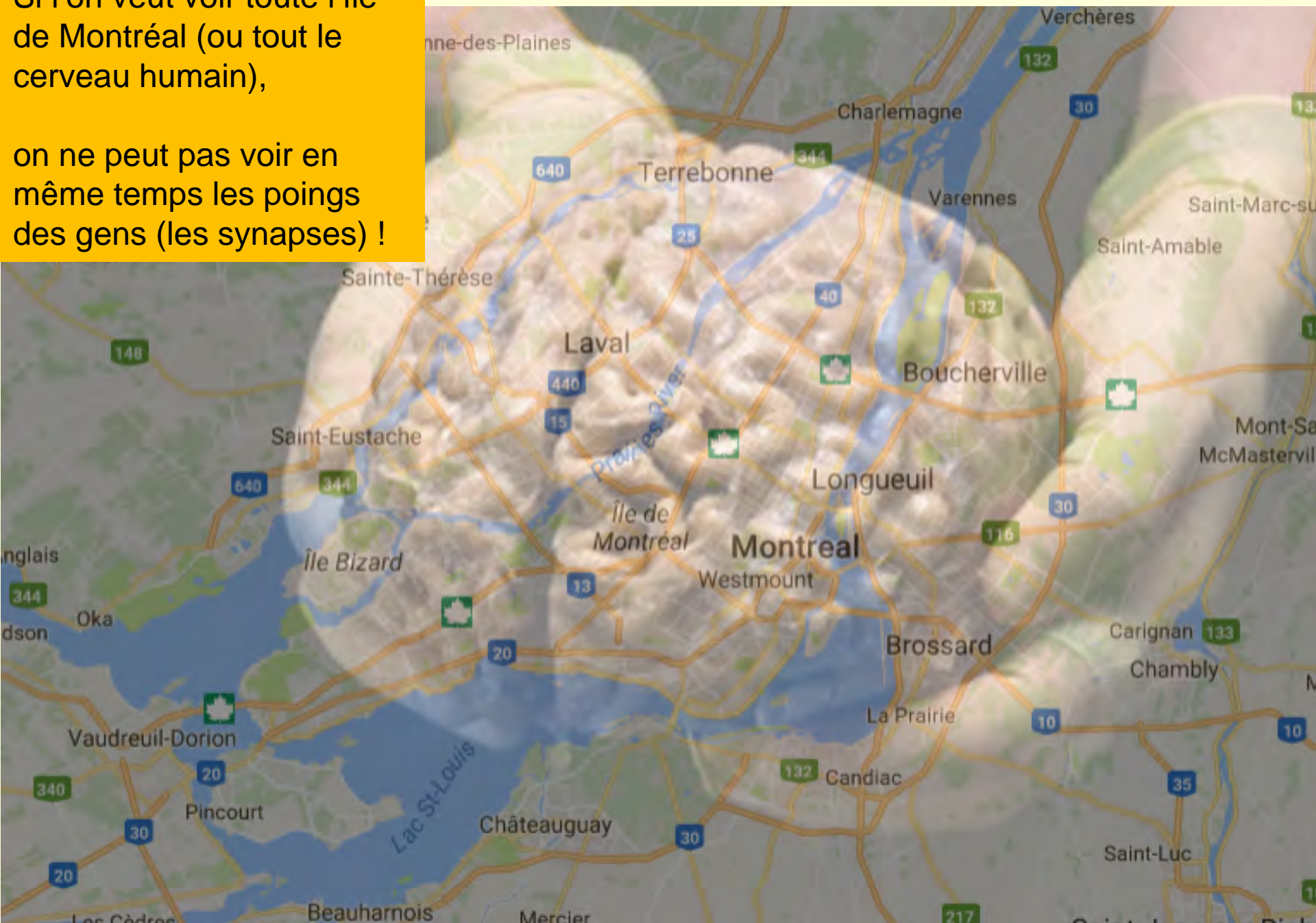
Quelle devrait être la taille d'un cerveau
dont les synapses auraient la taille de deux poings ?



Alors : $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} / 0,000 \ 001 \text{ m} = 40 \ 000 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ km}}$



Si l'on veut voir toute l'île de Montréal (ou tout le cerveau humain), on ne peut pas voir en même temps les poings des gens (les synapses) !

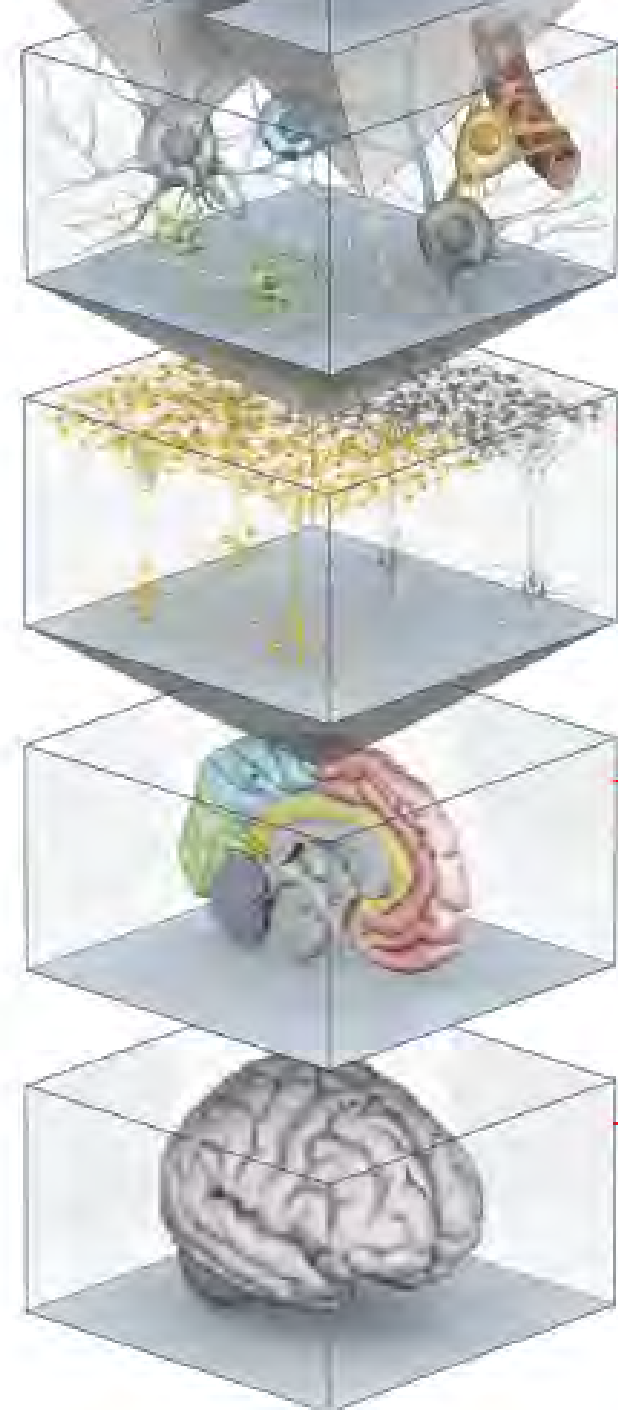


Aucune technique ne permet de considérer en même temps ce qu'il a...

à l'échelle « micro »

à l'échelle « meso »

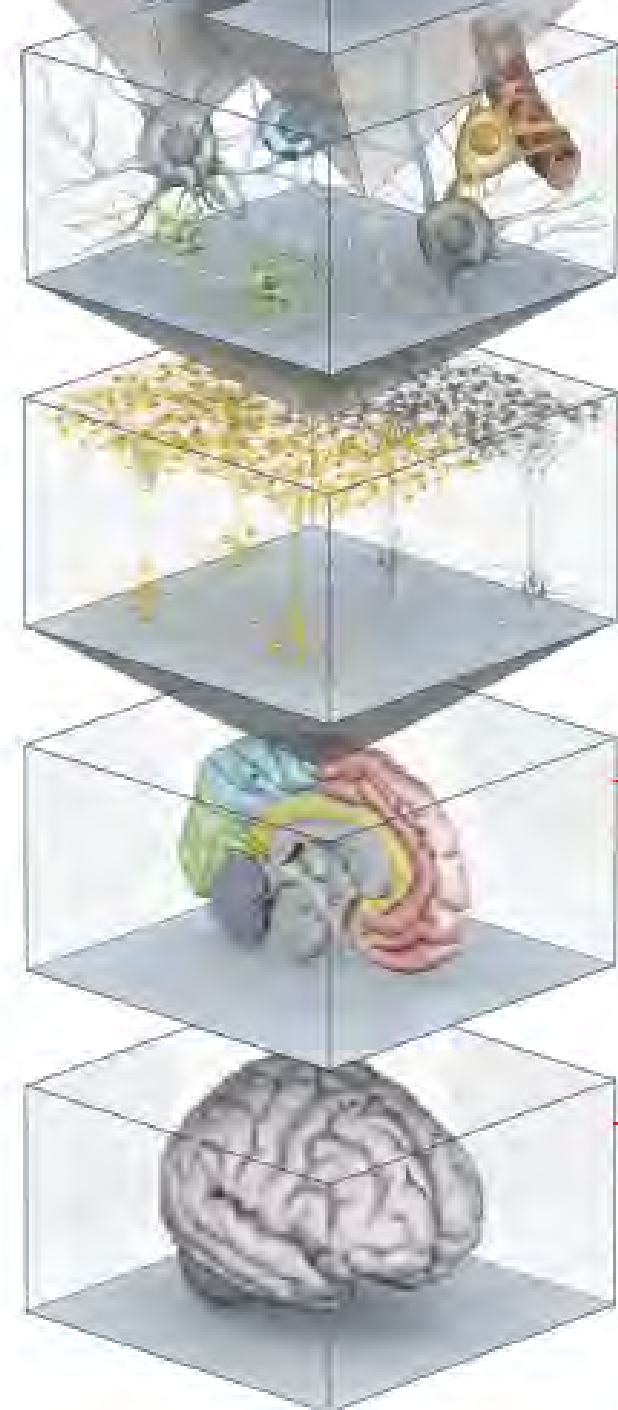
à l'échelle « macro »



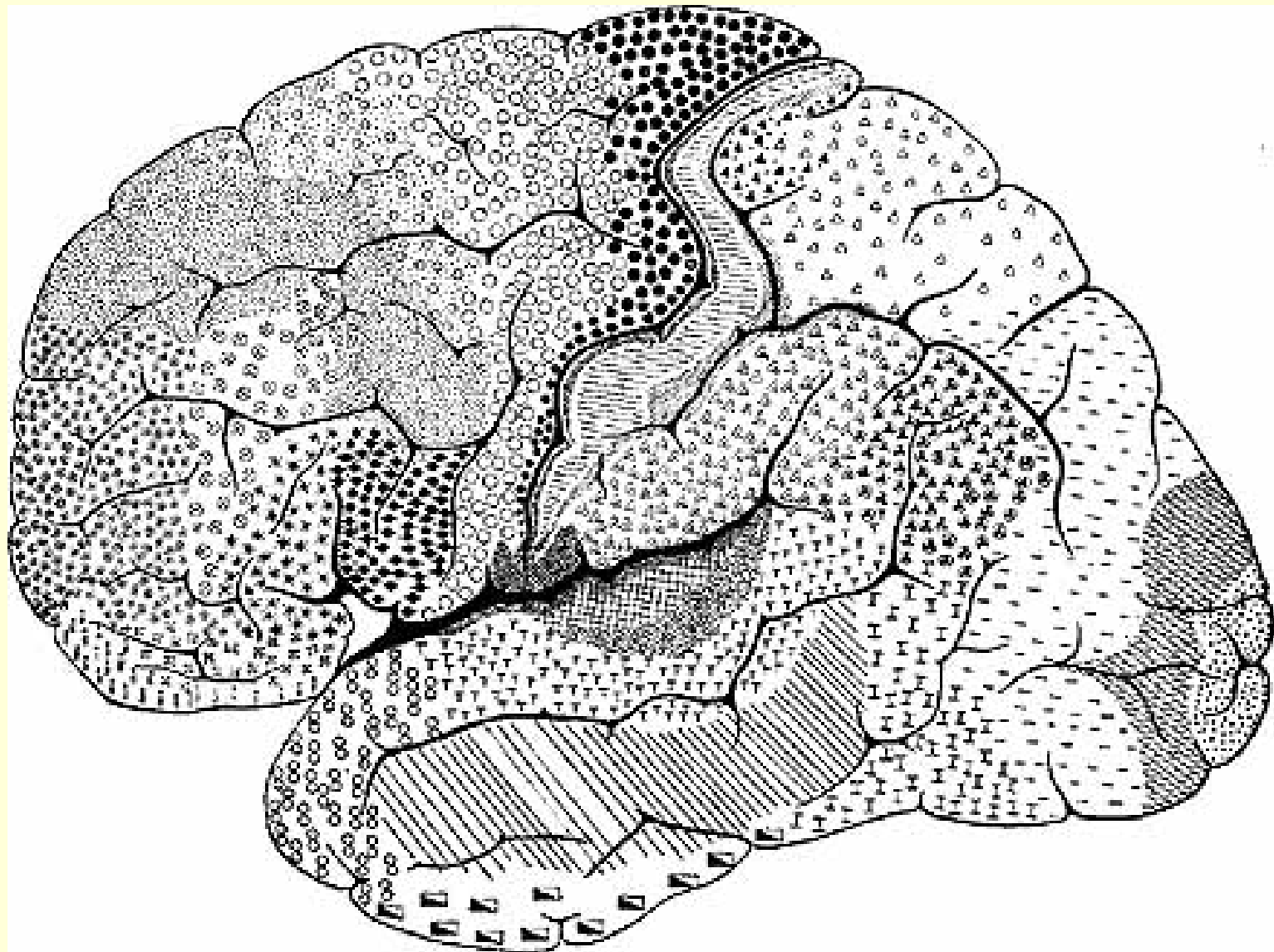
l'échelle « micro »

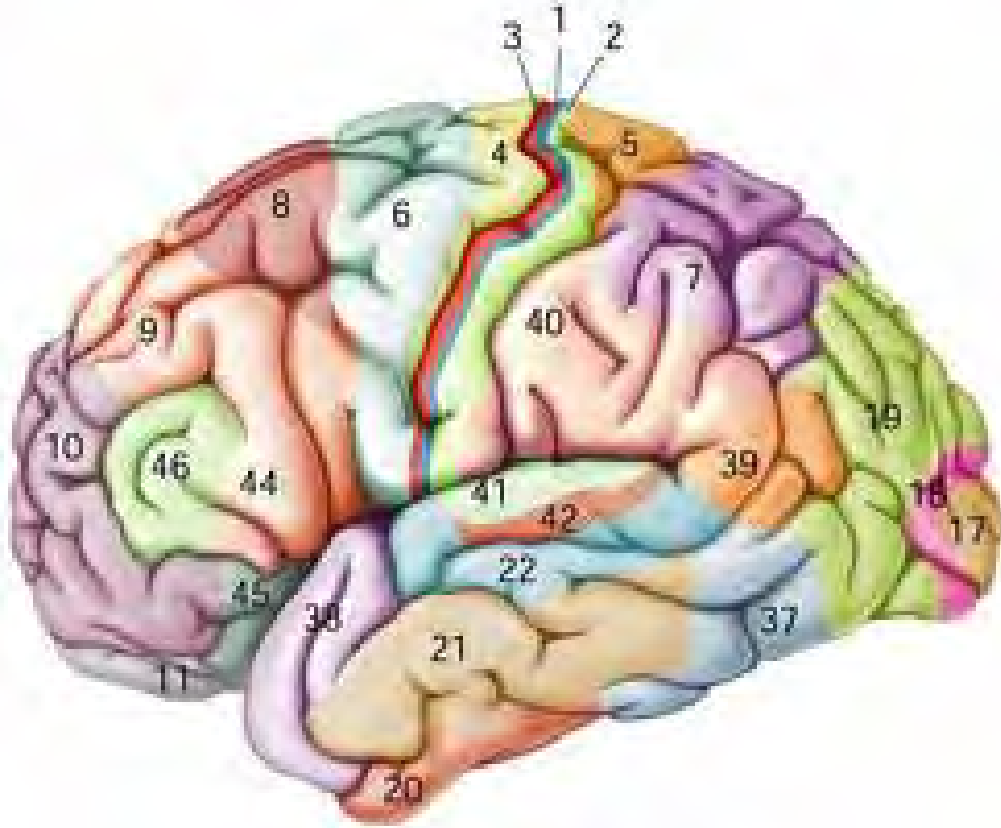
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau :

- **Cytoarchitecture** (types de neurones et leur répartition spatiale)

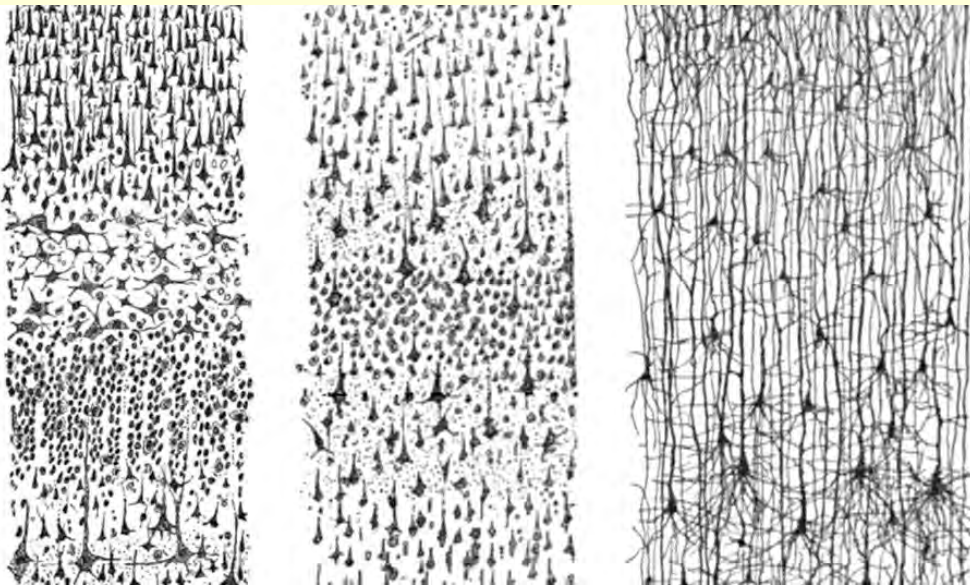


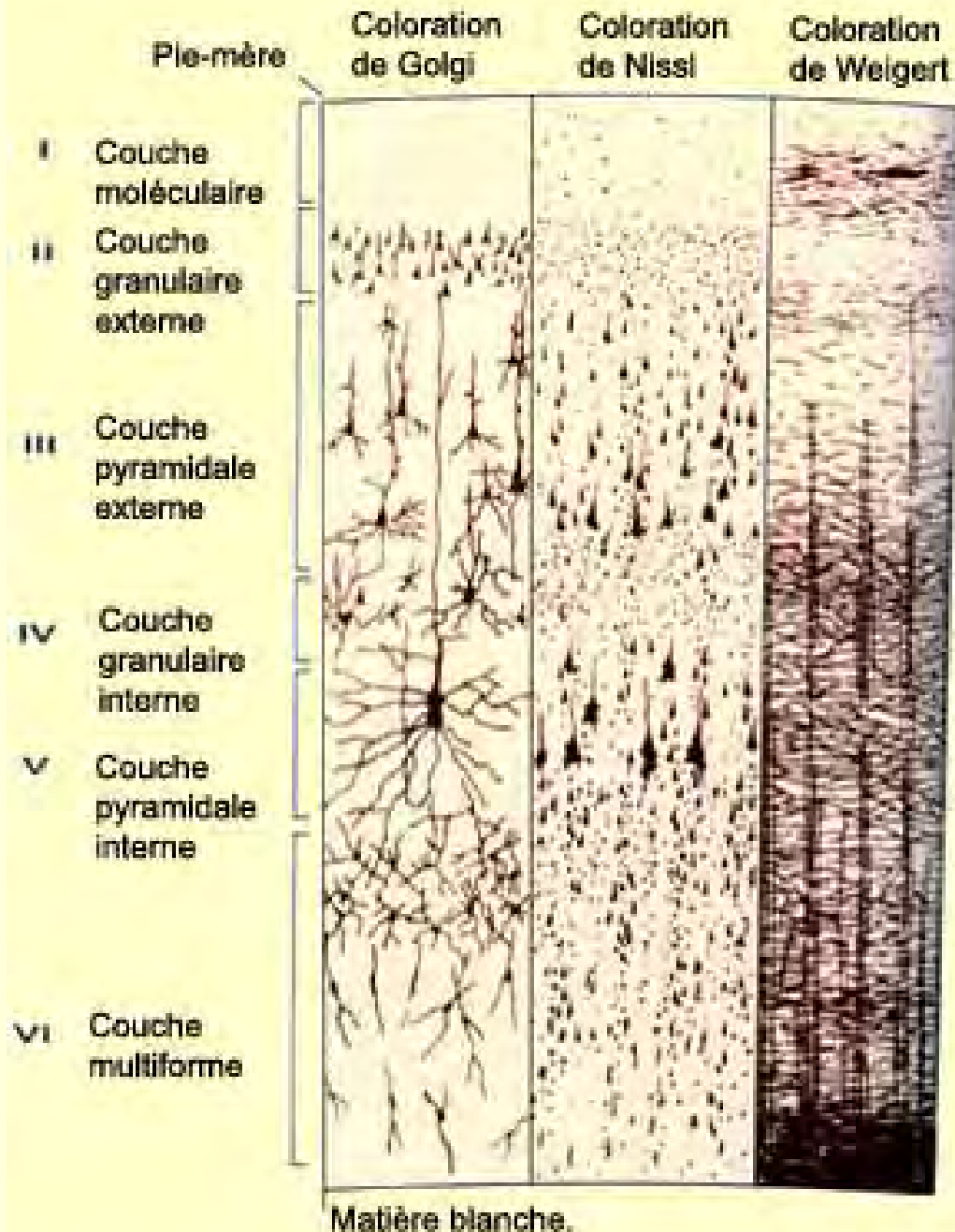
Les premières cartes cérébrales comme celle de Brodmann étaient basées sur la cytoarchitecture





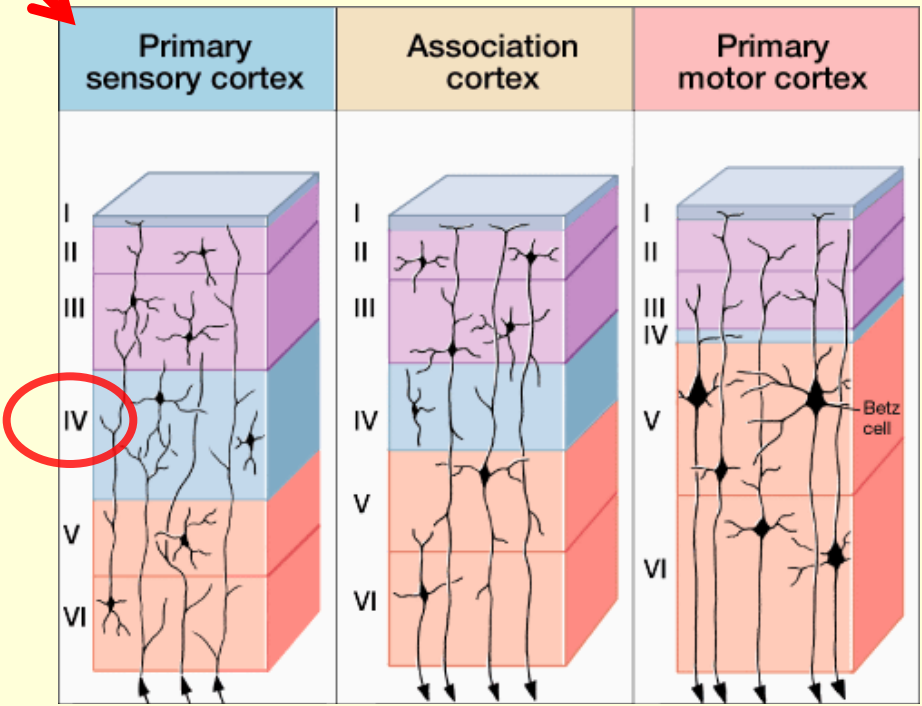
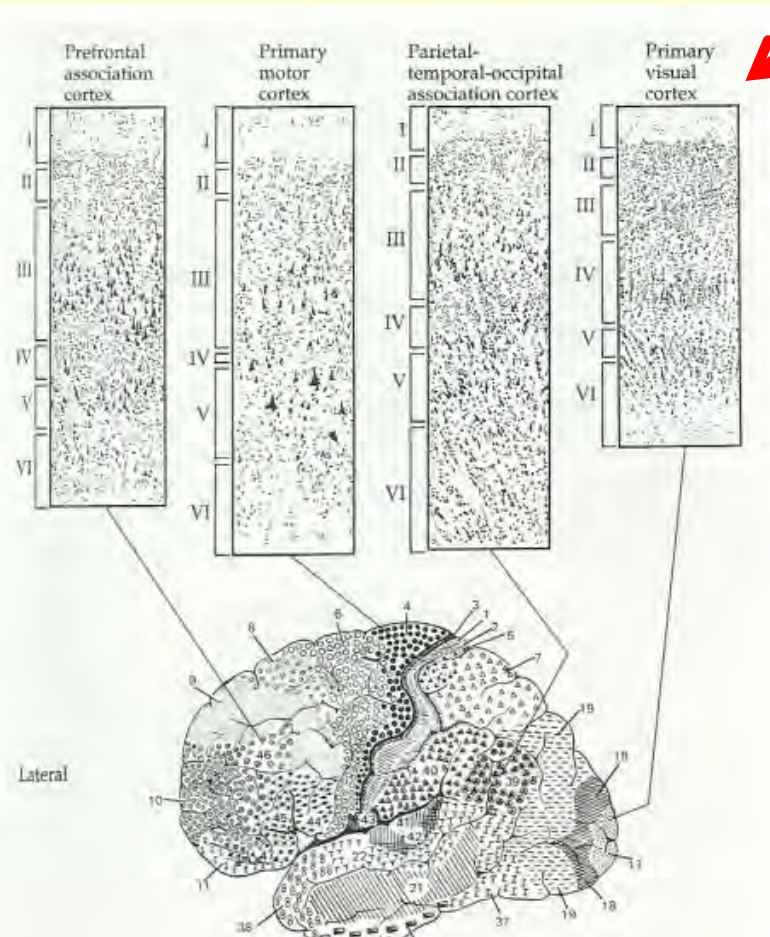
c'est-à-dire la **densité**,
la **taille** des neurones et
le **nombre de couches**
observées sur des
coupes histologiques.





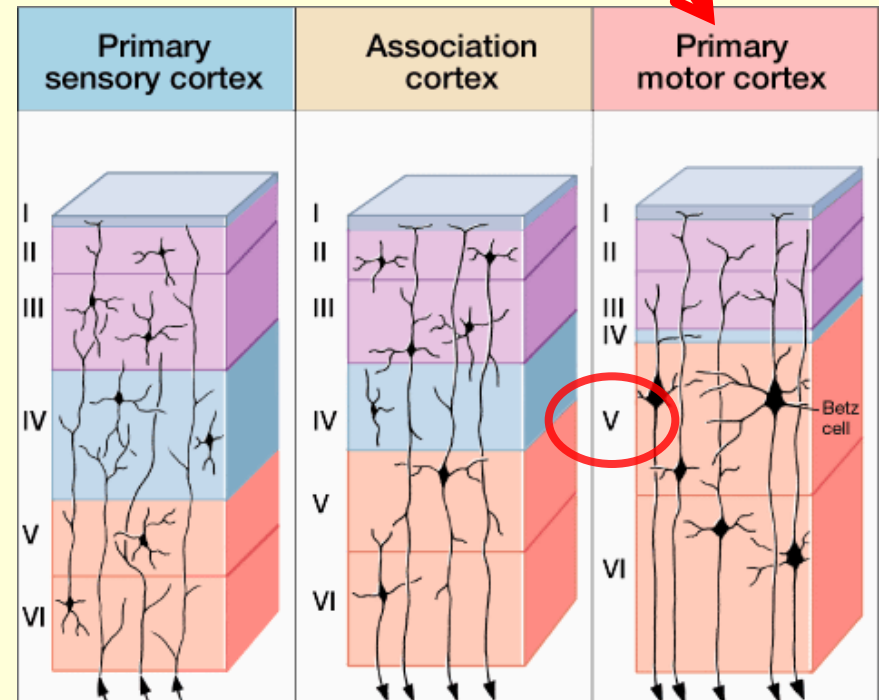
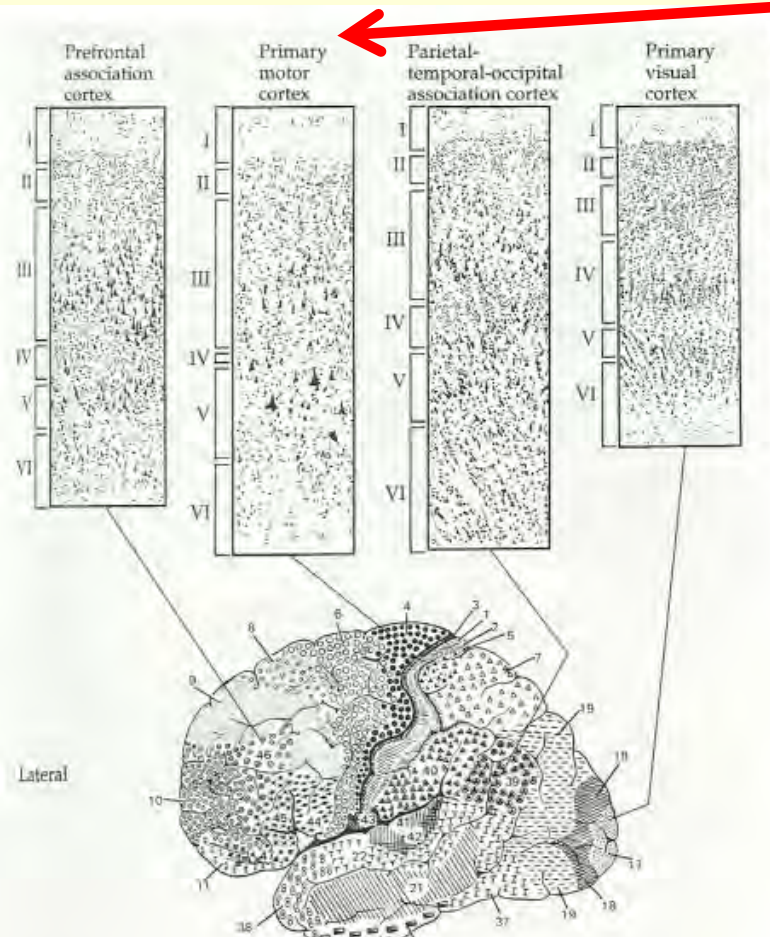
Et on sait aujourd'hui qu'effectivement cette **organisation cellulaire du cortex** n'est pas sans rapport avec les fonctions des différentes aires corticales.

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



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

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



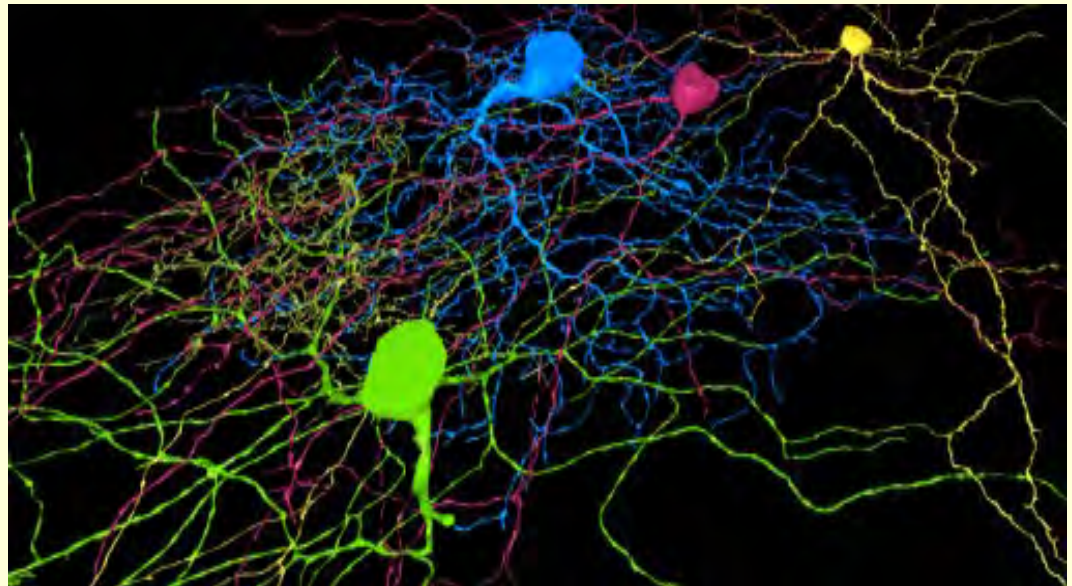
À l'échelle « micro » aujourd'hui :

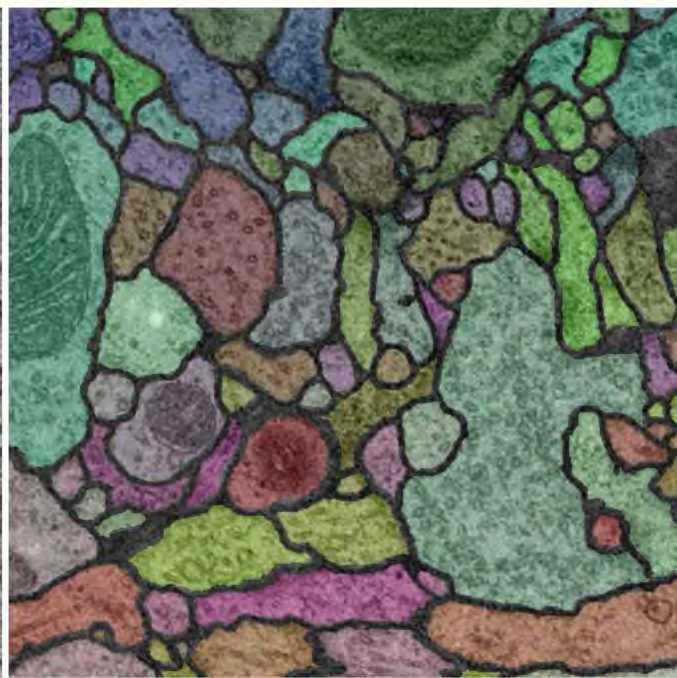
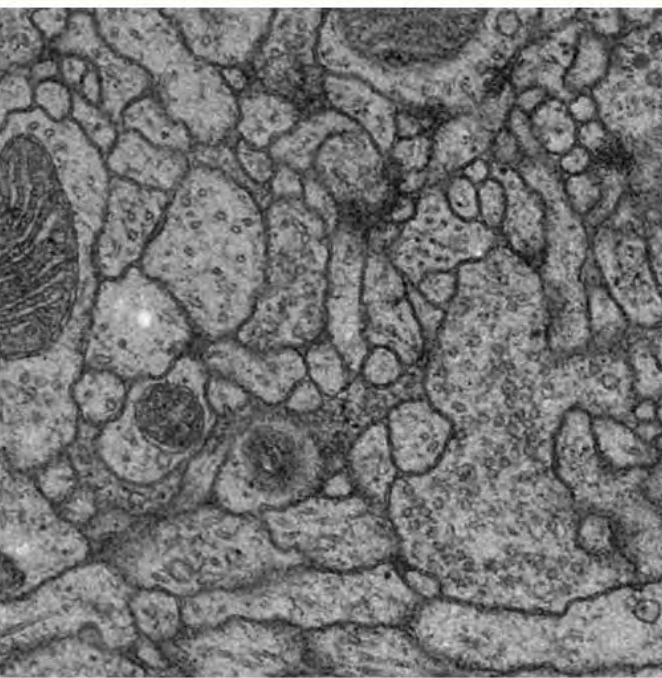
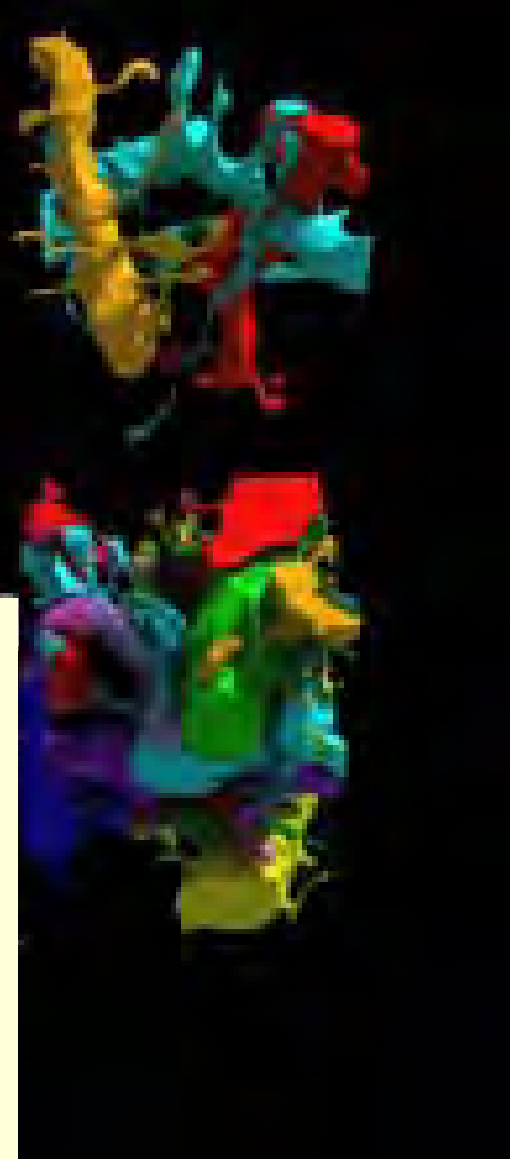
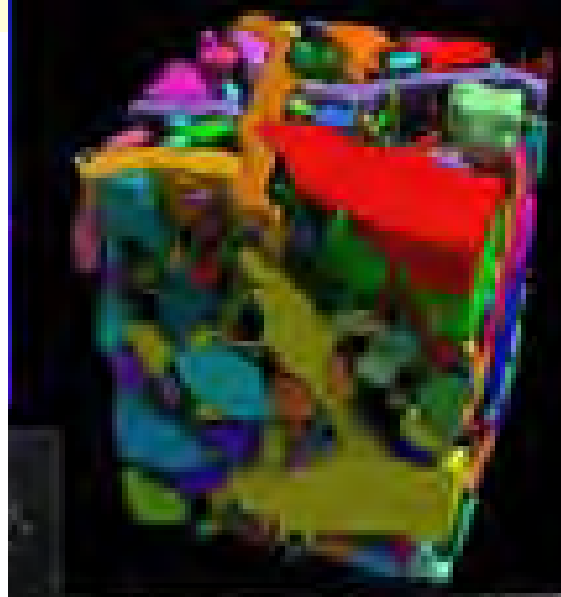
Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Aidez à cartographier nos connexions neuronales

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

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

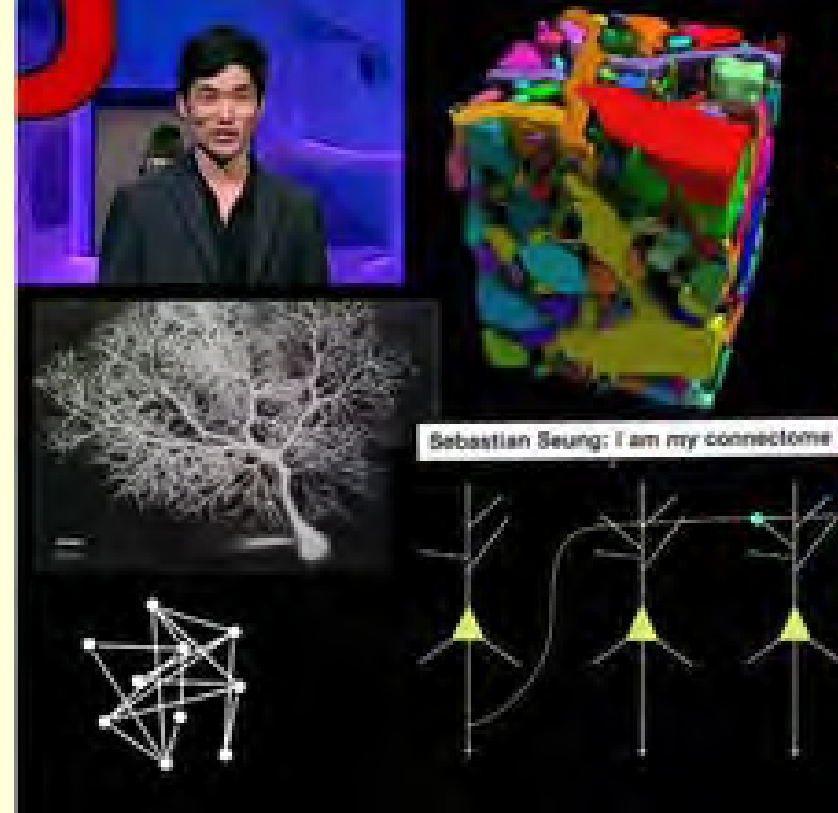




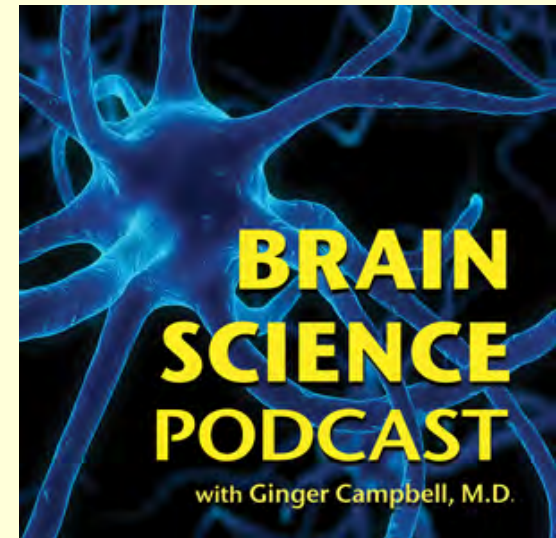
C'est de ce point de vue **microscopique** (c'est-à-dire où précisément, et comment, les axones et les épines dendriques se connectent) que Seung va critiquer par exemple le Human Brain Project.

Sebastian Seung, Brain Science Podcast, Episode 85

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



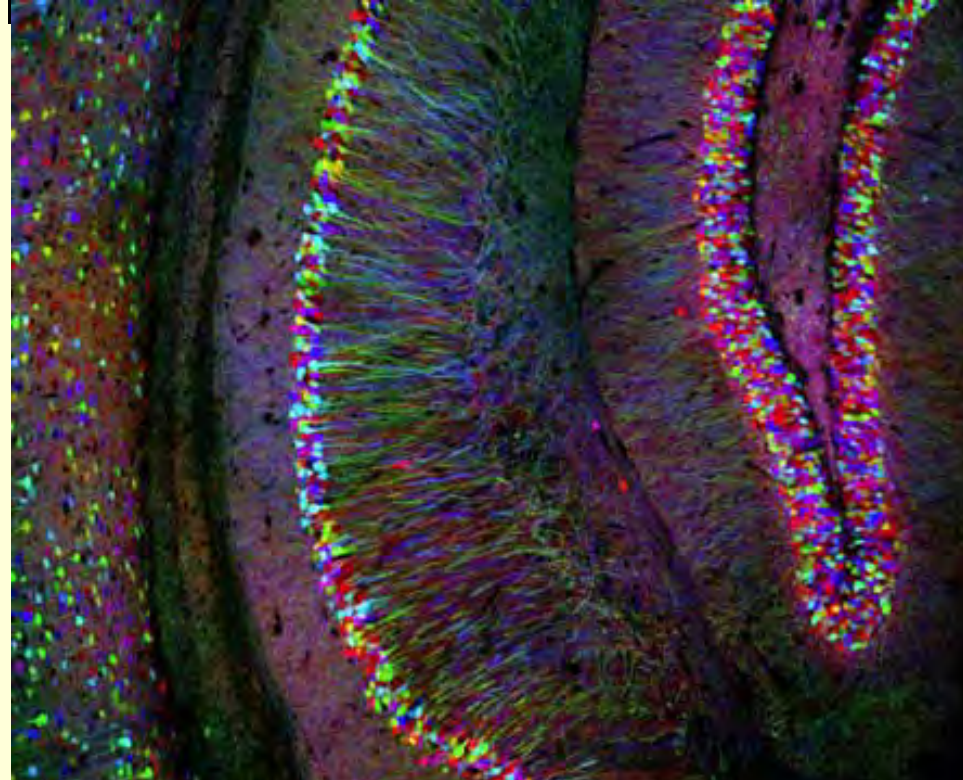
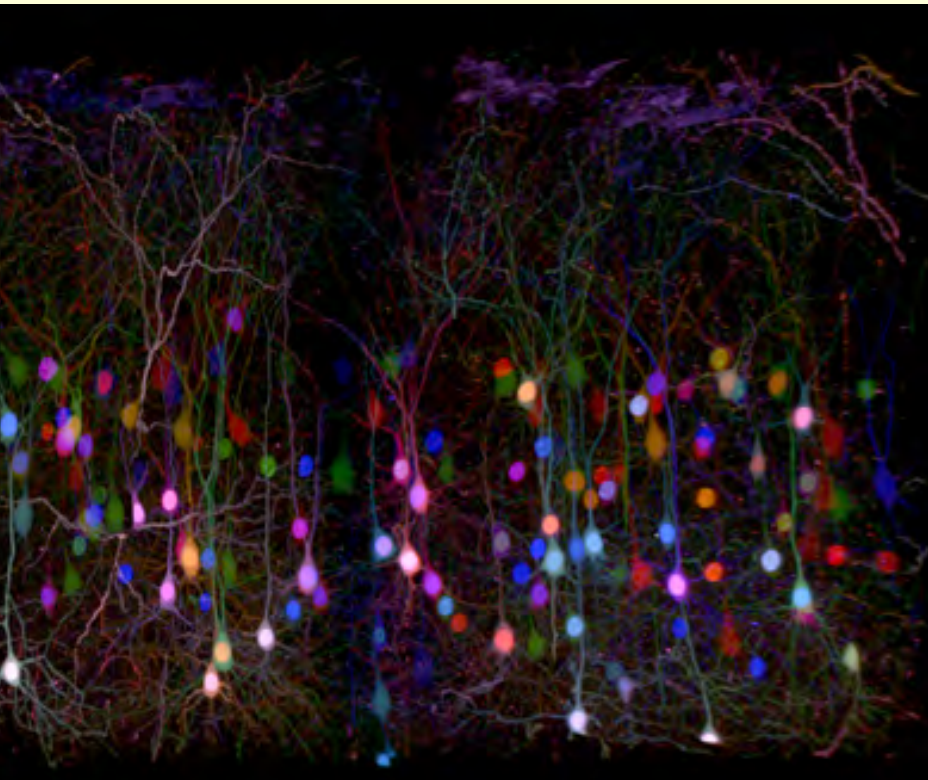
<http://brainsciencepodcast.com/>



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

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

Avec sa coloration **Brainbow**,



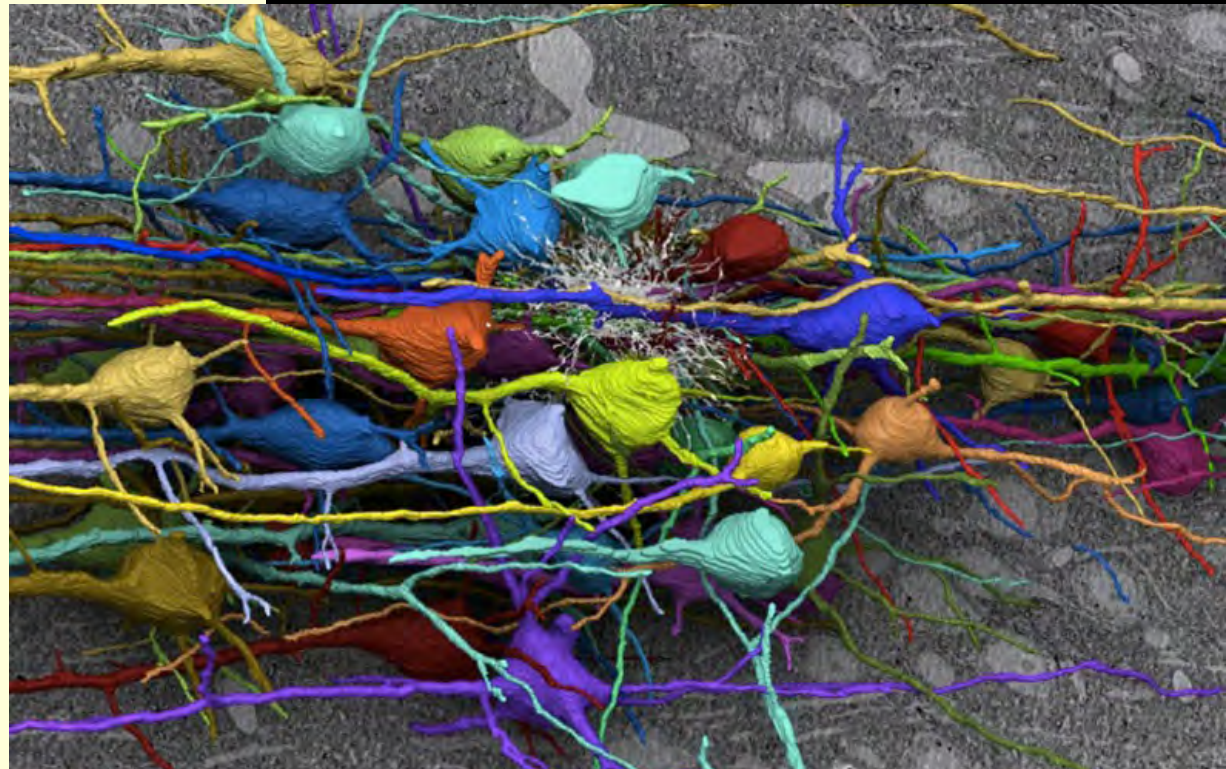
C'est aussi la démarche de :
Jeff Lichtman, *Professor of
Molecular and Cellular Biology*
Harvard University

<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.”*

[https://www.theguardian.com/science/
2015/jul/30/3d-brain-map-reveals-
connections-between-cells-in-nano-
scale](https://www.theguardian.com/science/2015/jul/30/3d-brain-map-reveals-connections-between-cells-in-nano-scale)



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>

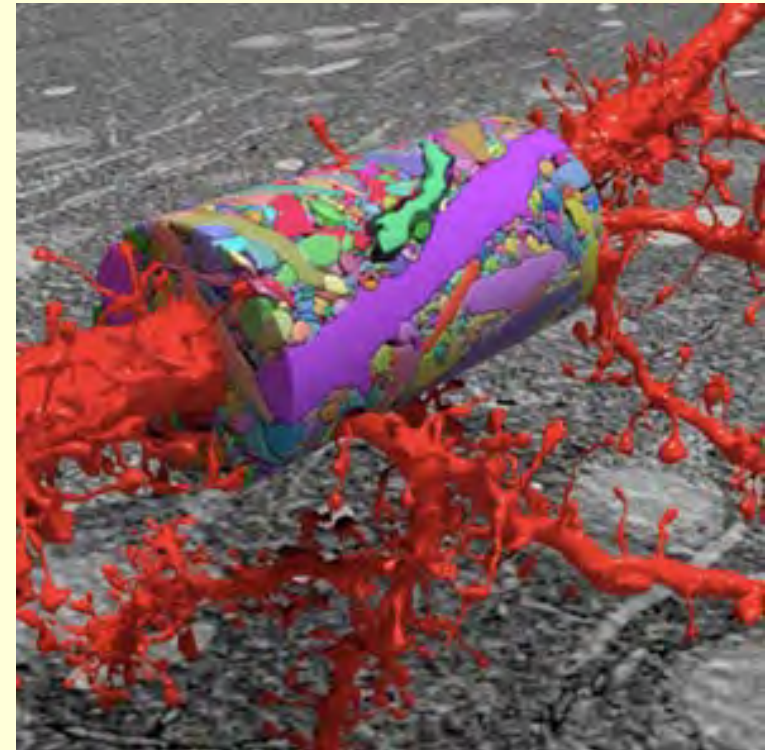
Video: An incredibly detailed tour through the mouse brain :

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

<http://www.sciencemag.org/news/2015/07/video-incredibly-detailed-tour-through-mouse-brain>

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...



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/>

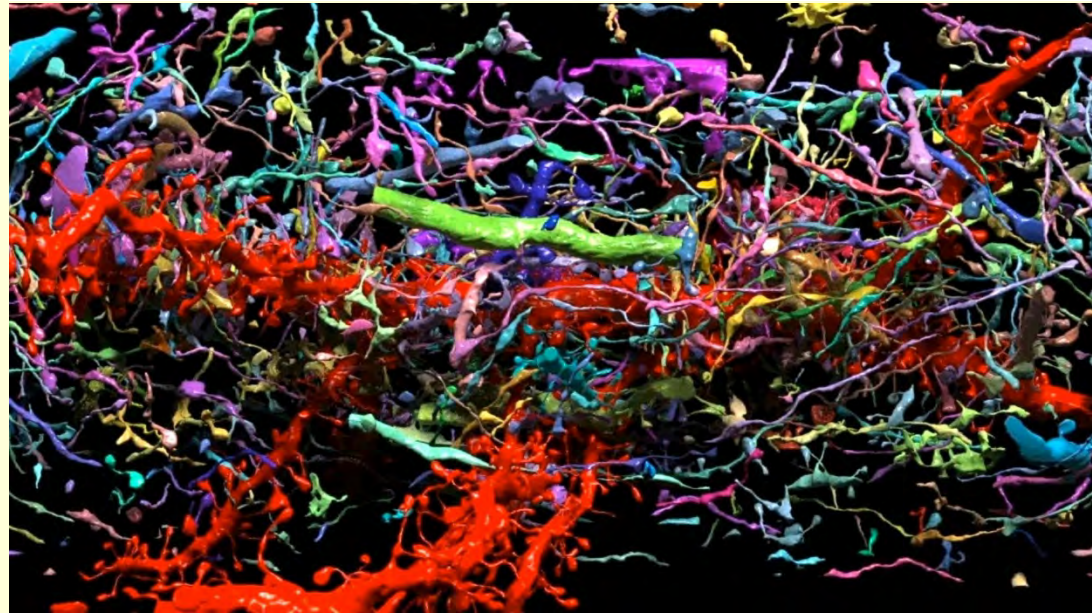
[...] Lichtman rappelle en outre que **les scientifiques de sa génération** ont vécu à une époque de **grandes idées théoriques** qui ont pu foisonner parce qu'il y avait peu de données accessibles sur le cerveau. Ce n'est que dans un deuxième temps que l'on cherchait des indices empiriques pour confirmer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

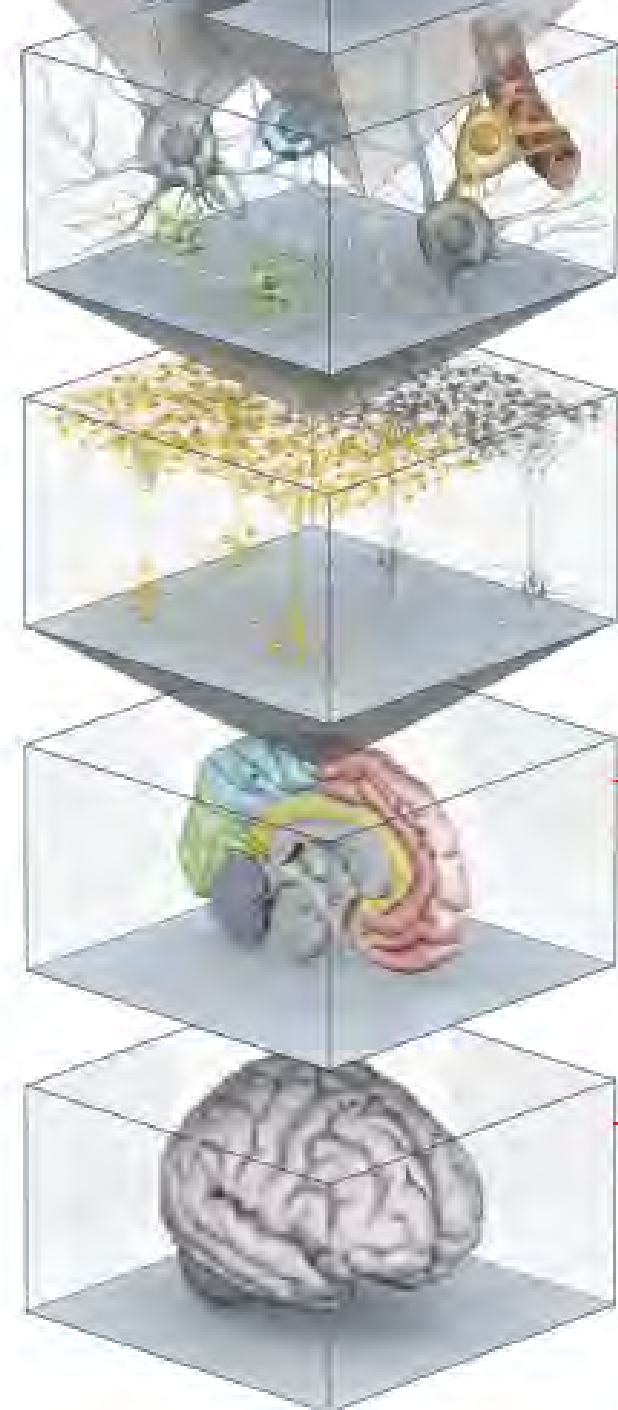
ce sont les jeunes qui vont baigner dans cet univers foisonnant de données, qui en seront imprégnés sans idées préconçues, qui pourront peut-être en discerner de grands principes permettant de mieux comprendre cette complexité...



l'échelle « meso »

On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau :

- **Cytoarchitecture** (types de neurones et leur répartition spatiale)
- **Connexions** (traçage classique, IRM diffusion, etc.)



À l'échelle « meso » :

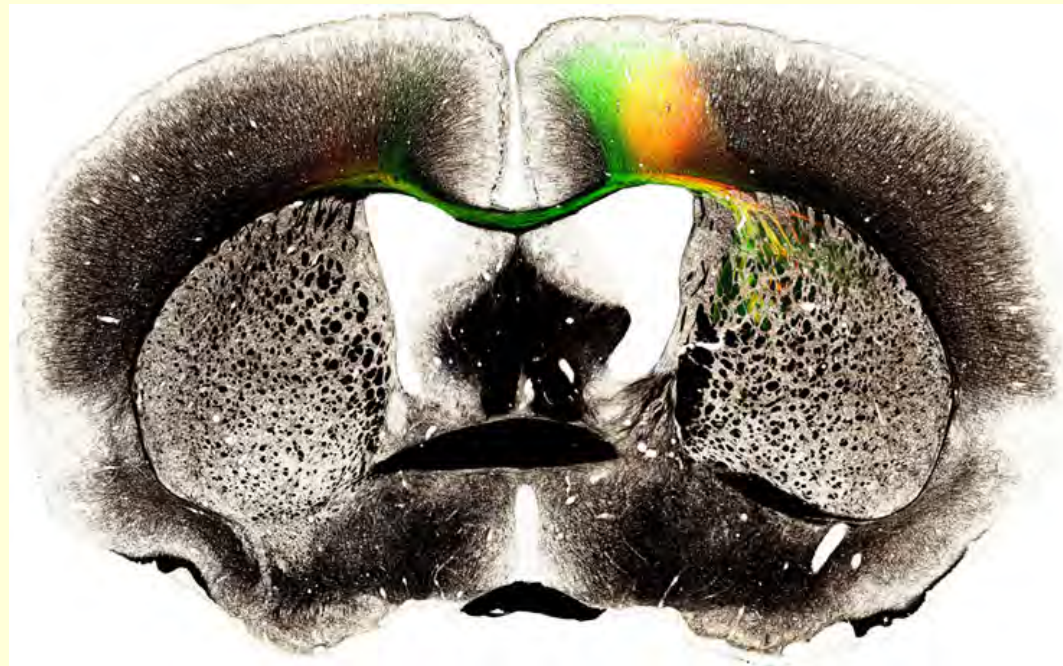
Mouse Brain Architecture Project

<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)

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.

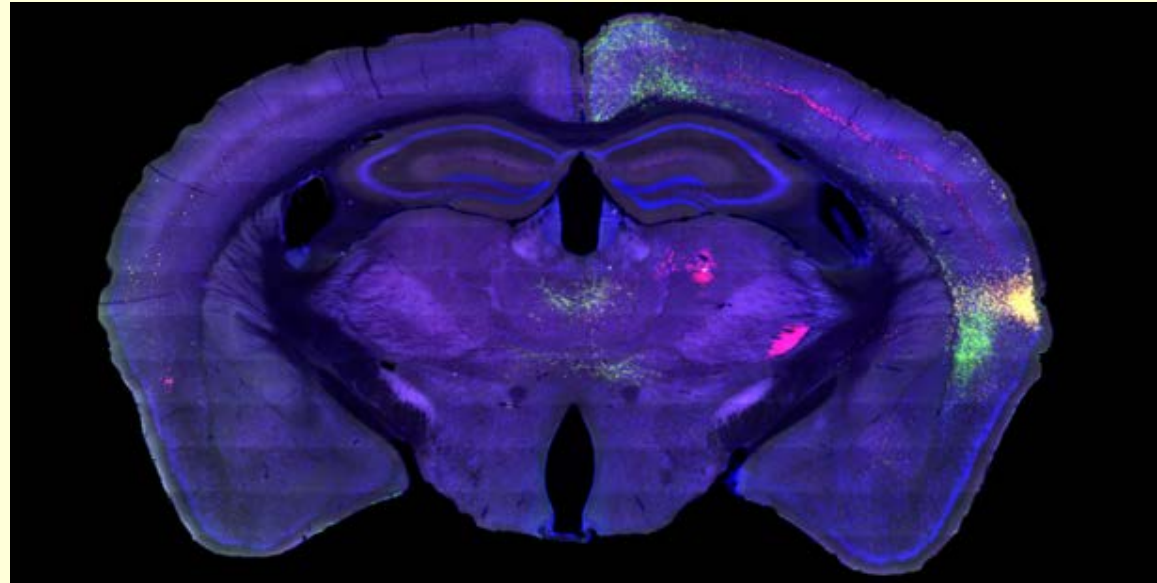


Neural Networks of the Mouse Neocortex

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)



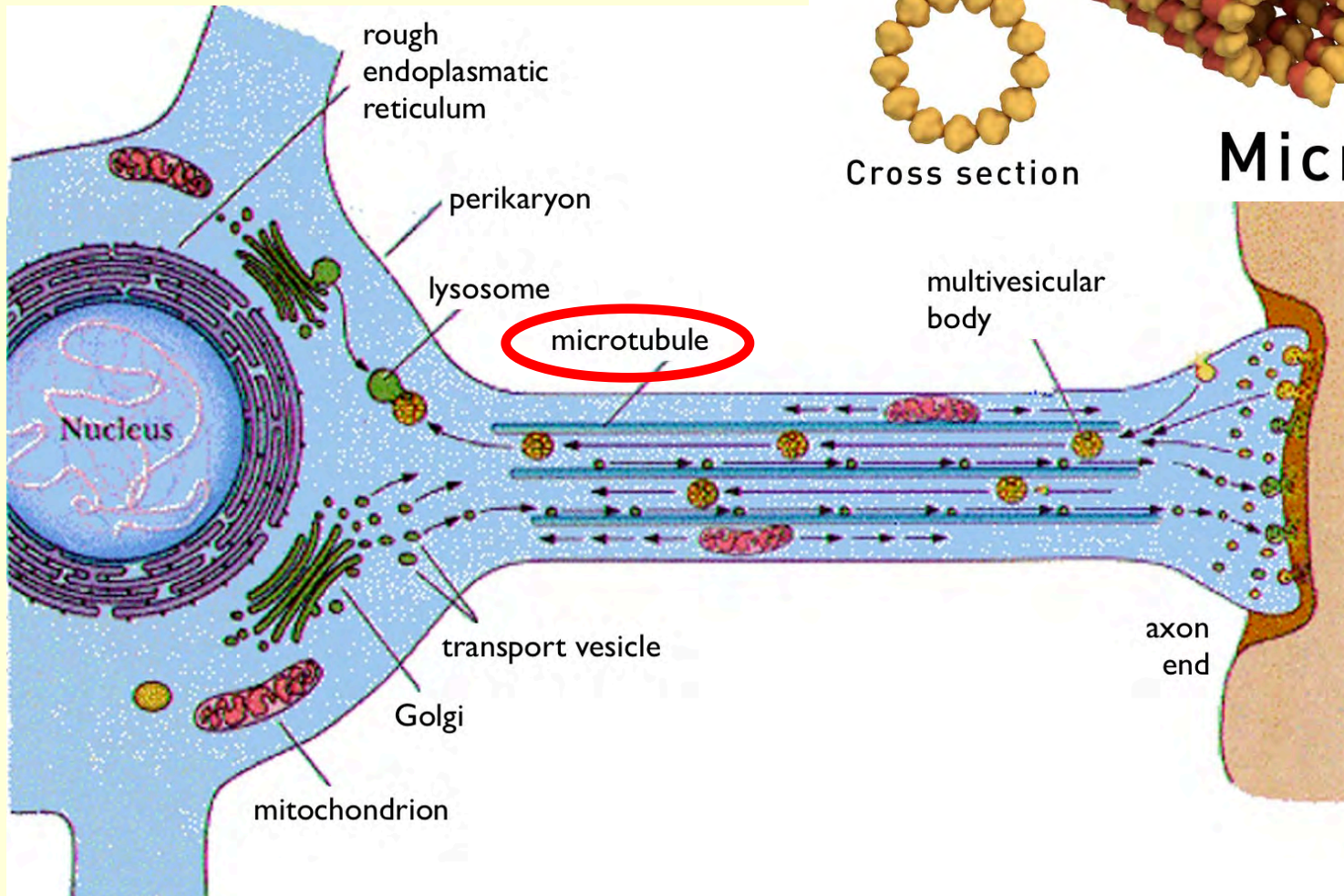
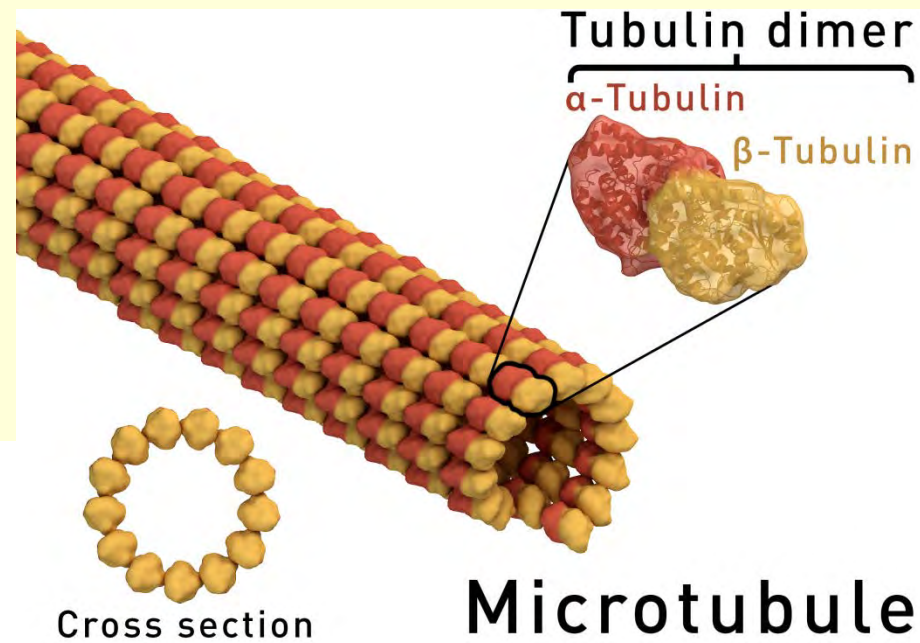
*“The MCP also used an advanced method to map the brain circuits better: **double coinjection tract tracing**.”*

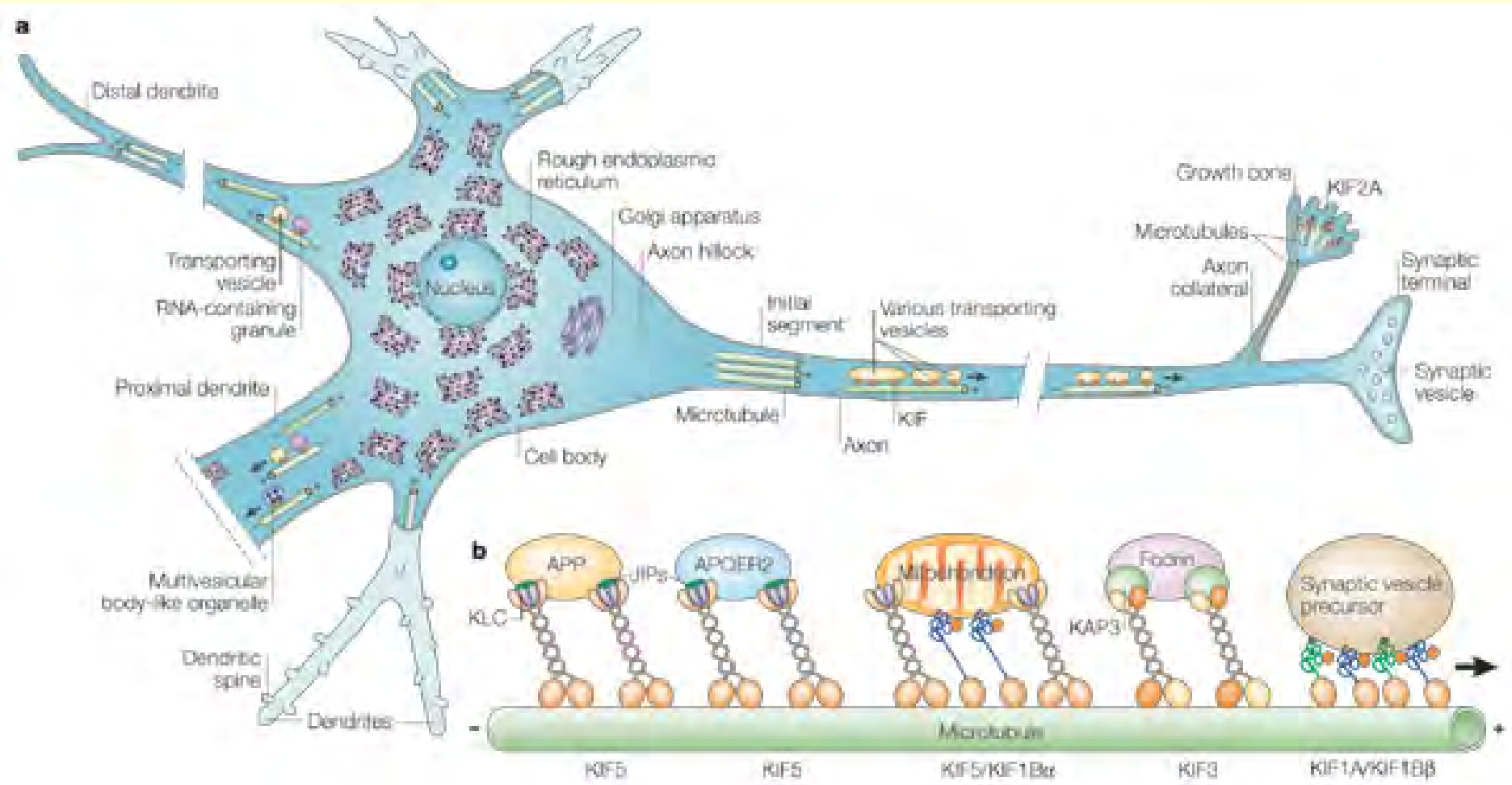
*The researchers injected one **anterograde** tracer, which travels down the axons of the cell, and one **retrograde** tracer, which travels up toward the cell body, simultaneously to examine the input and output pathways of the cortex.”*

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/>

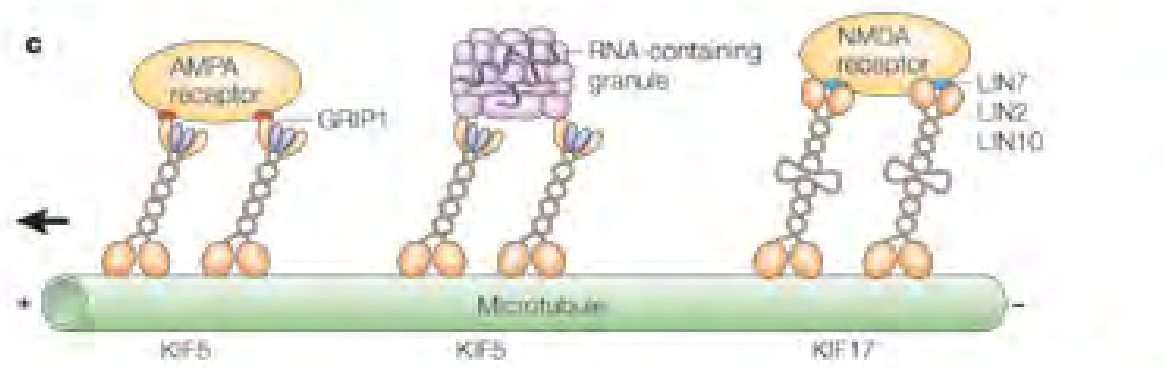
Avec des animaux, on utilise des **techniques de traçage**, basée la capacité qu'ont les neurones de faire circuler des molécules dans leur axone (le " **transport axonal** ").



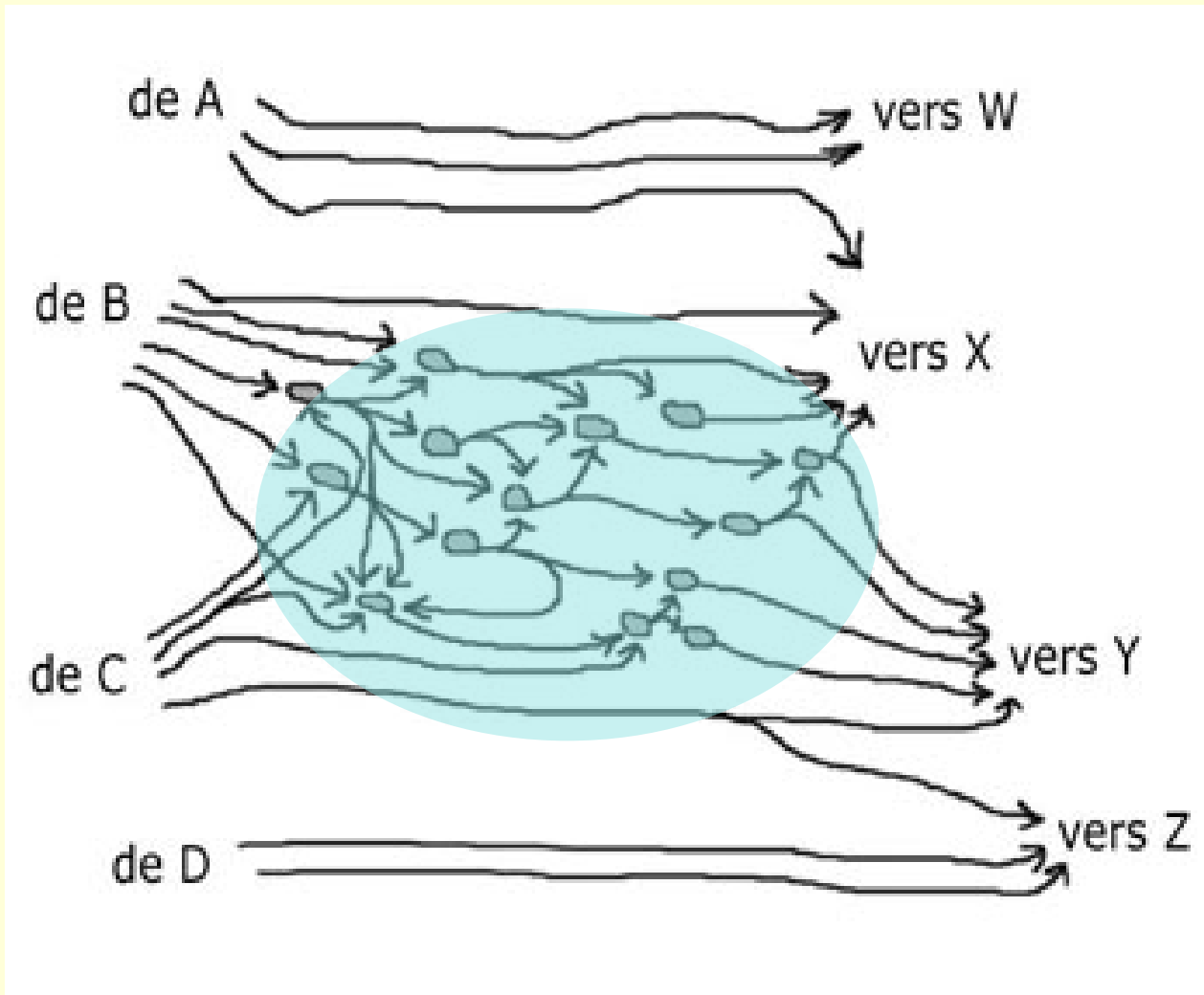


Animation :

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

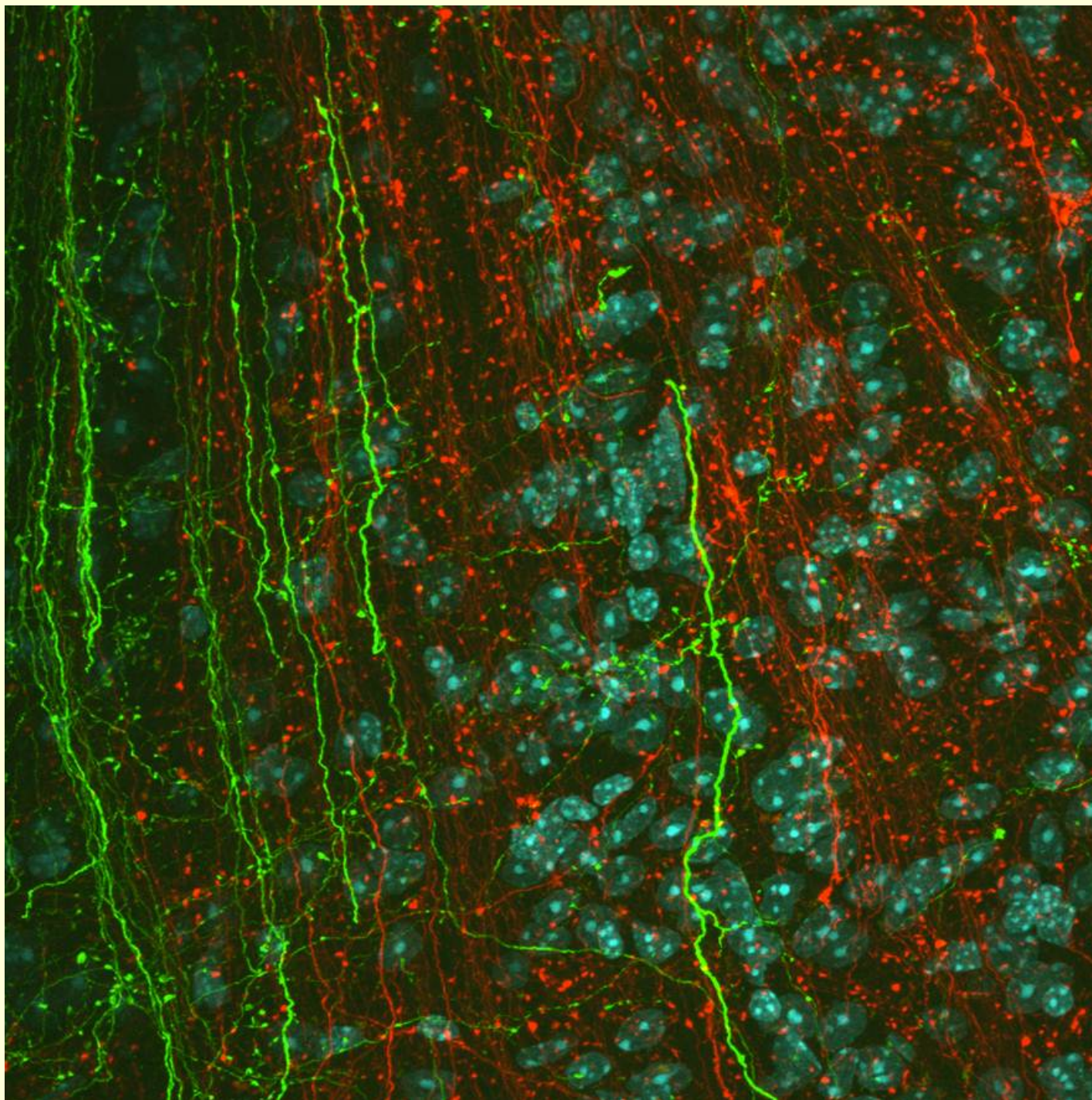


Et c'est avec de telles techniques de traçage que l'on va pouvoir établir le tracé des axones de différents groupes de neurones.



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)

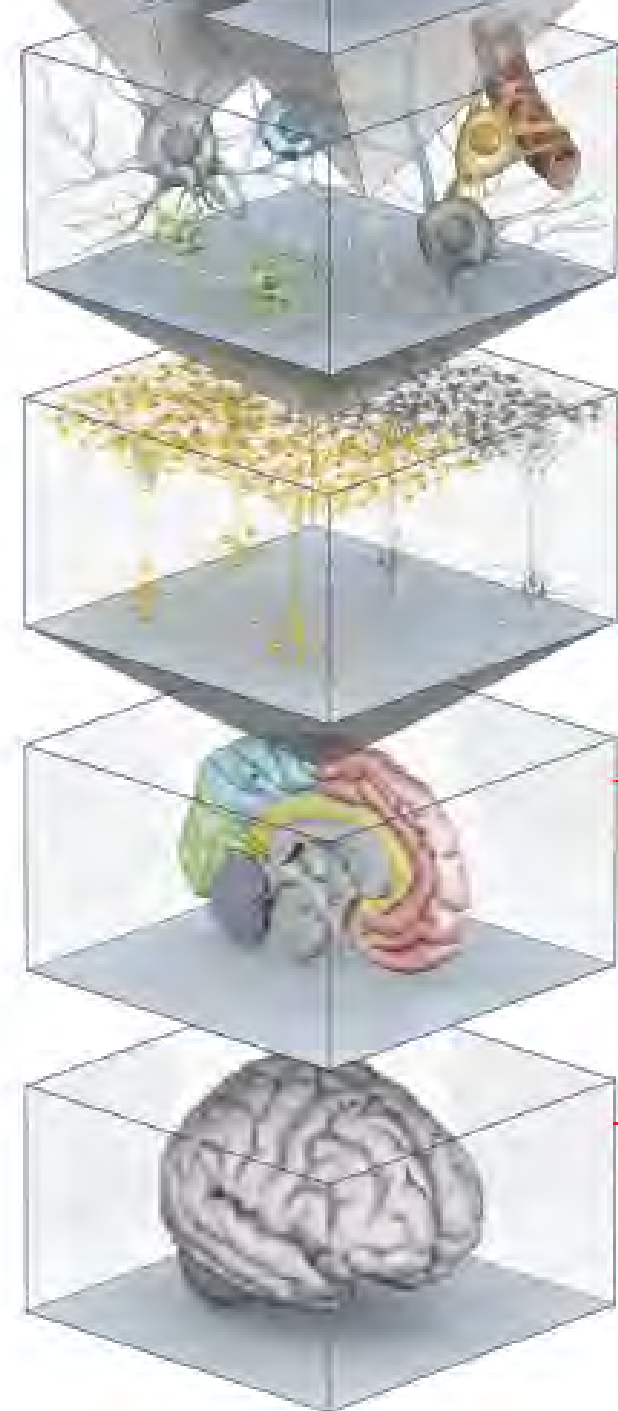
et du **noyau
médian
postérieur de
l'amygdale**
(rouge)

traversant la
**stria terminalis
postérolatérale**
en direction de
leur cible :

**l'hypothalamus
et le striatum
ventral.**

l'échelle « macro »

Et à partir d'ici, toutes les techniques présentées
sont à **l'échelle macro** !



On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

À l'échelle « macro » :

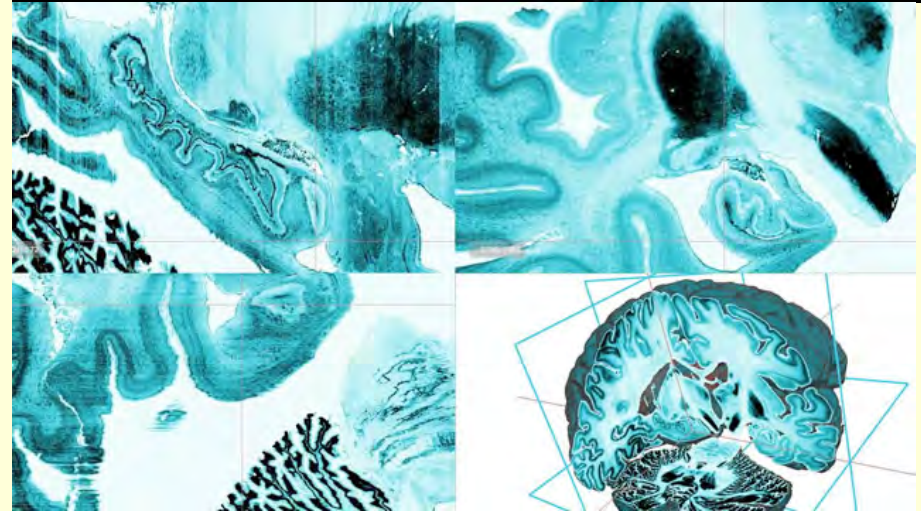
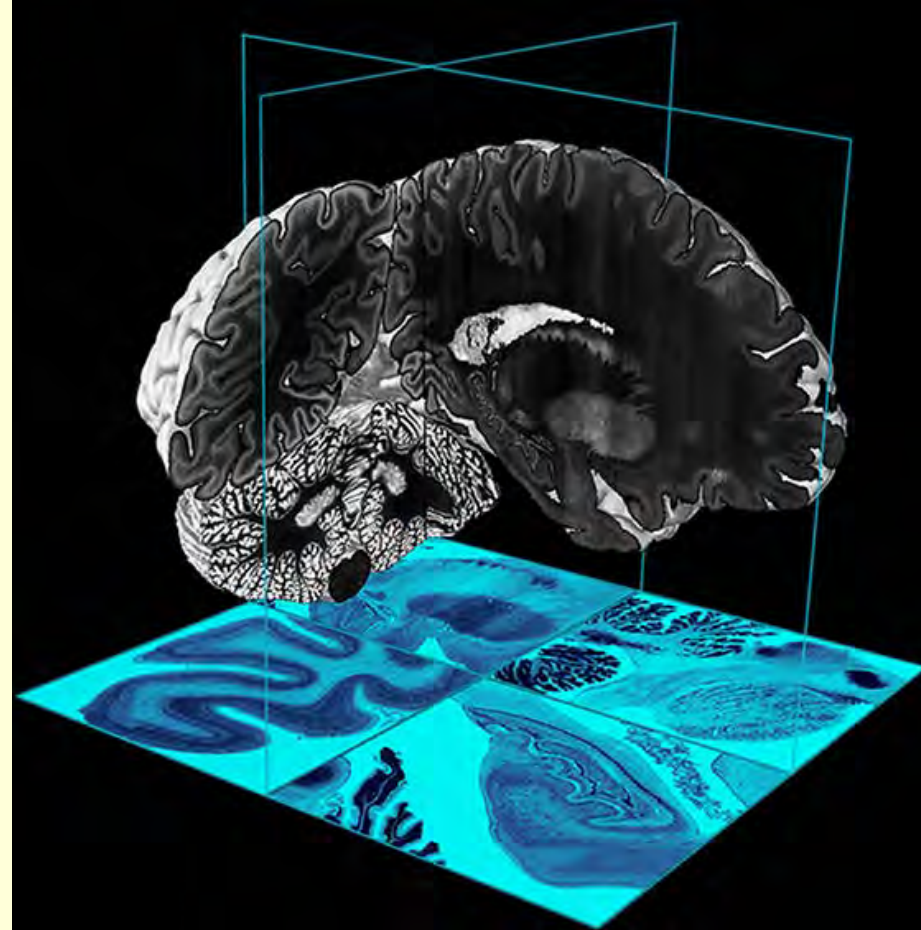
BigBrain

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.**

On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

(chez le sujet vivant...)

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

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

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



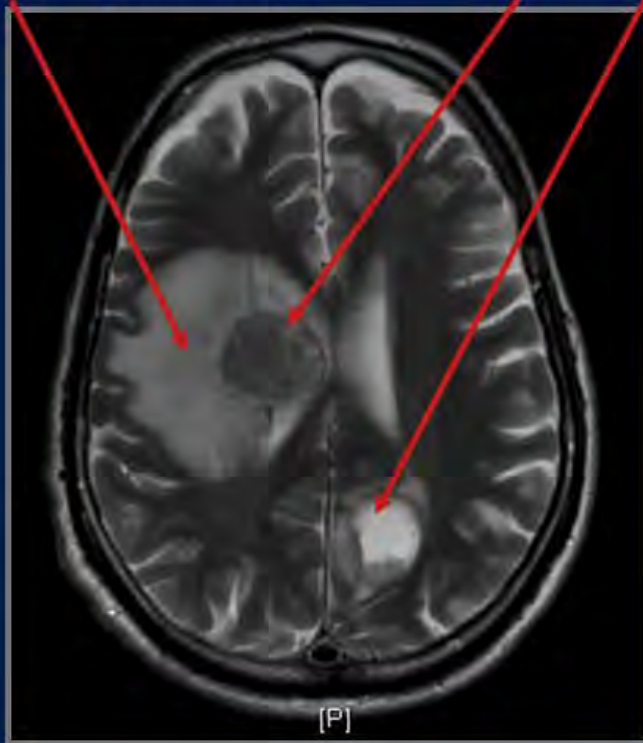
L'IRM, en plus d'une **définition supérieure au CT scan** (rayons X assistés par ordinateur),



Brain Metastases on MRI Images

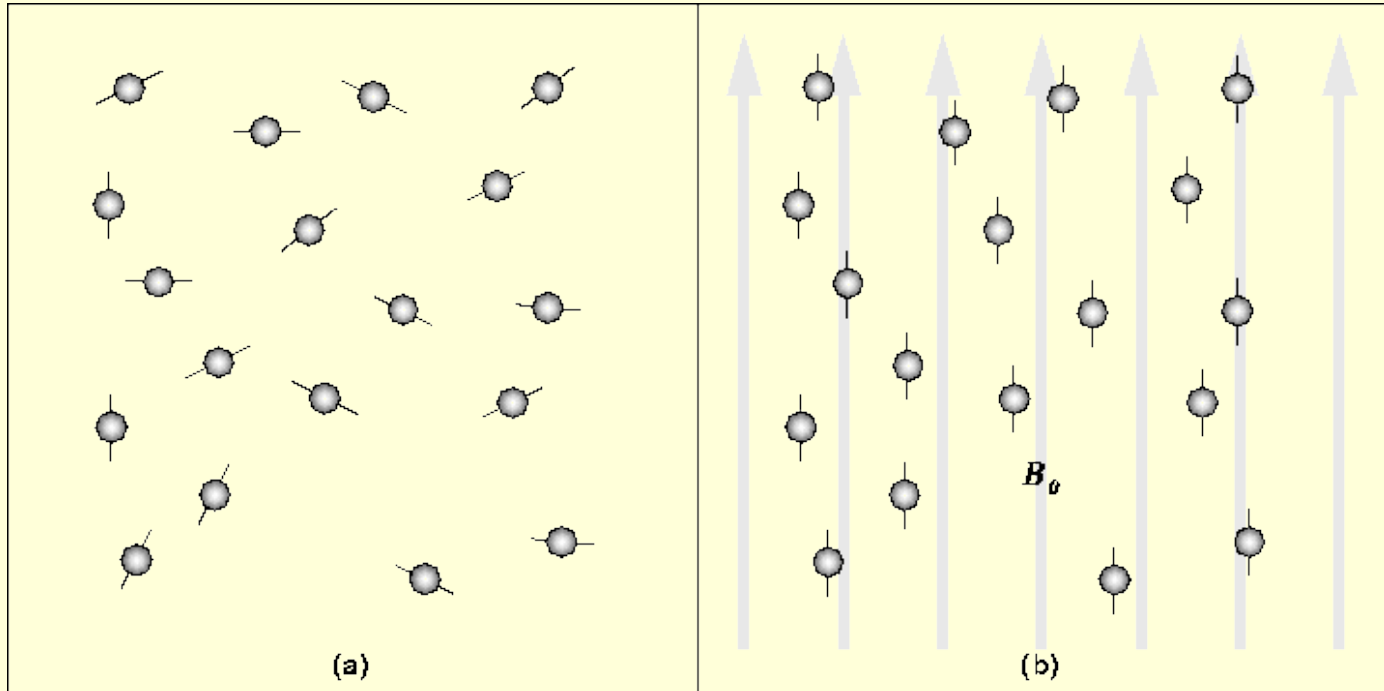
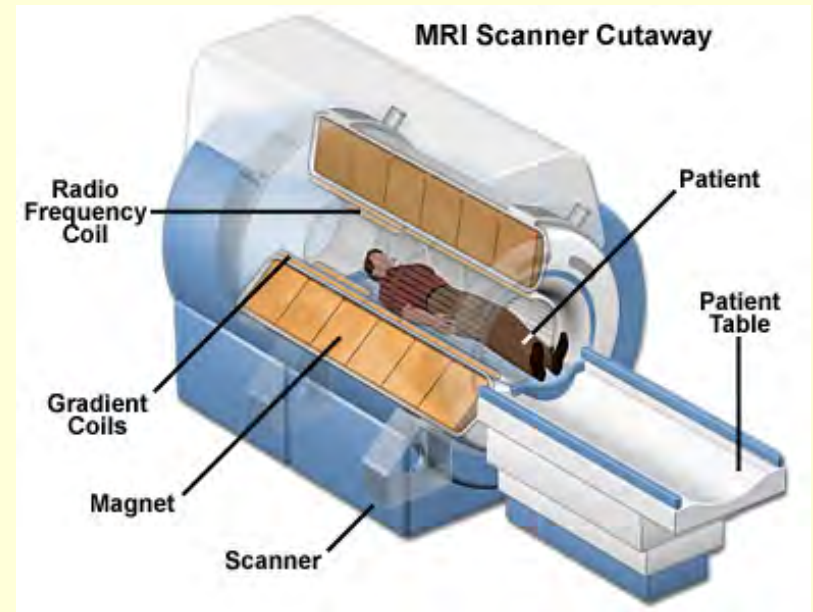
Edema (swelling)

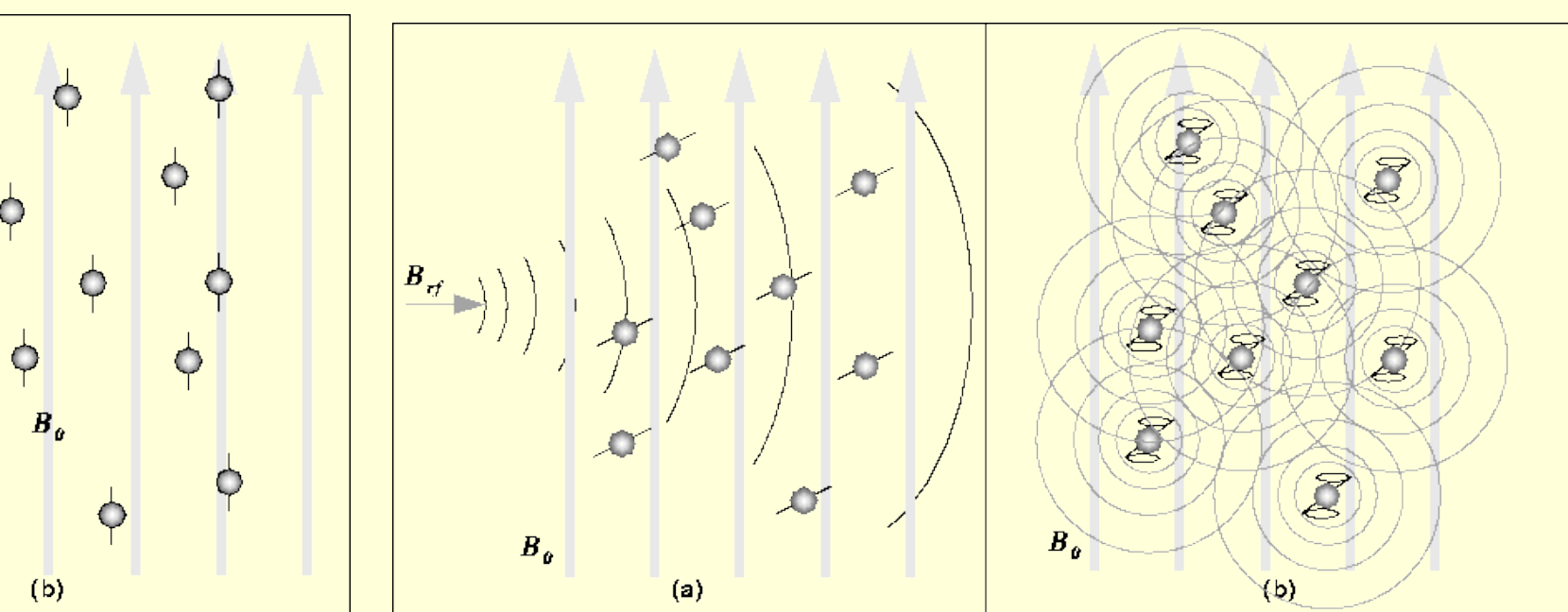
Brain metastases



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.



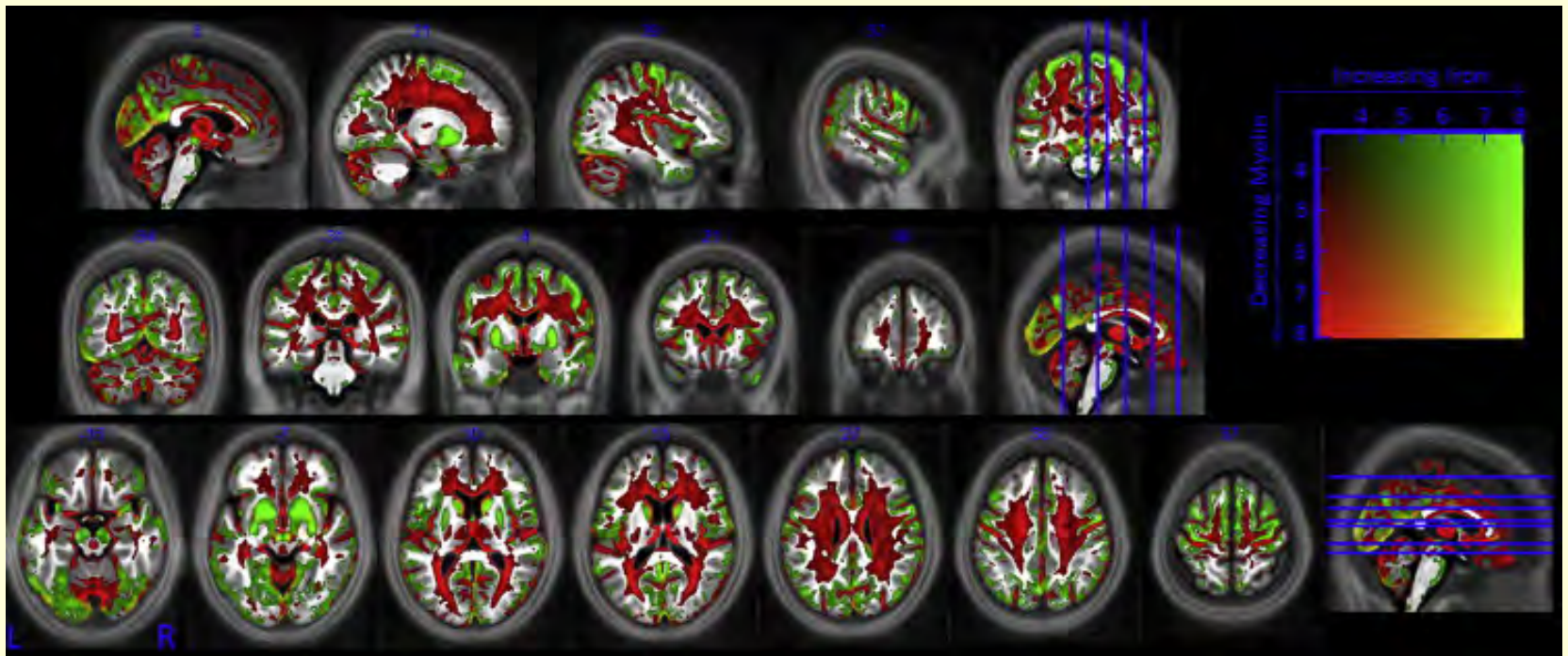
Une coupe sagittale mettant en évidence l'intérieur de l'hémisphère cérébral gauche du sujet.

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 age¹⁻⁴. 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.**



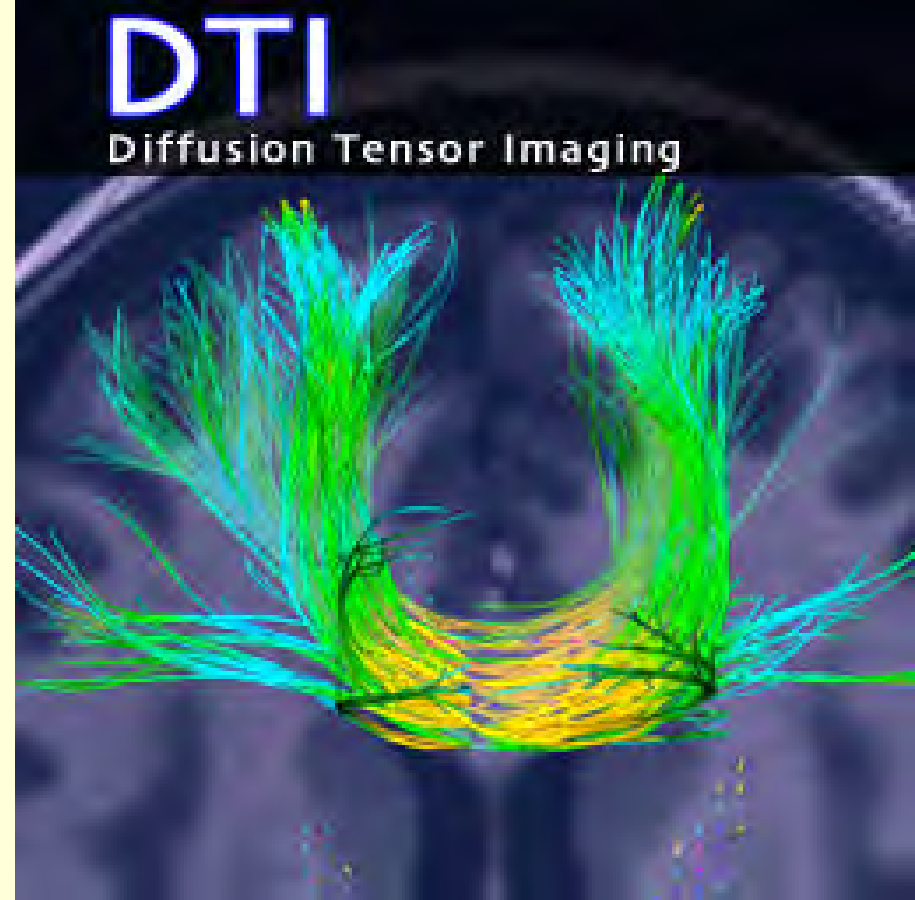
L'IRM de diffusion

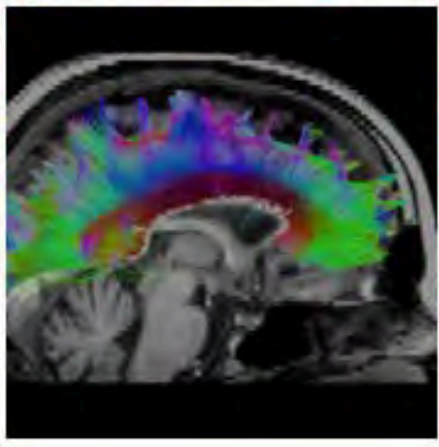
Diffusion Tensor Imaging (DTI)

Variantes :

diffusion weighted imaging (DWI)

diffusion spectrum imaging (DSI)



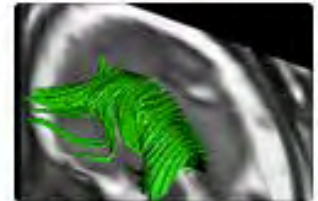


Diffusion Imaging

13 likes

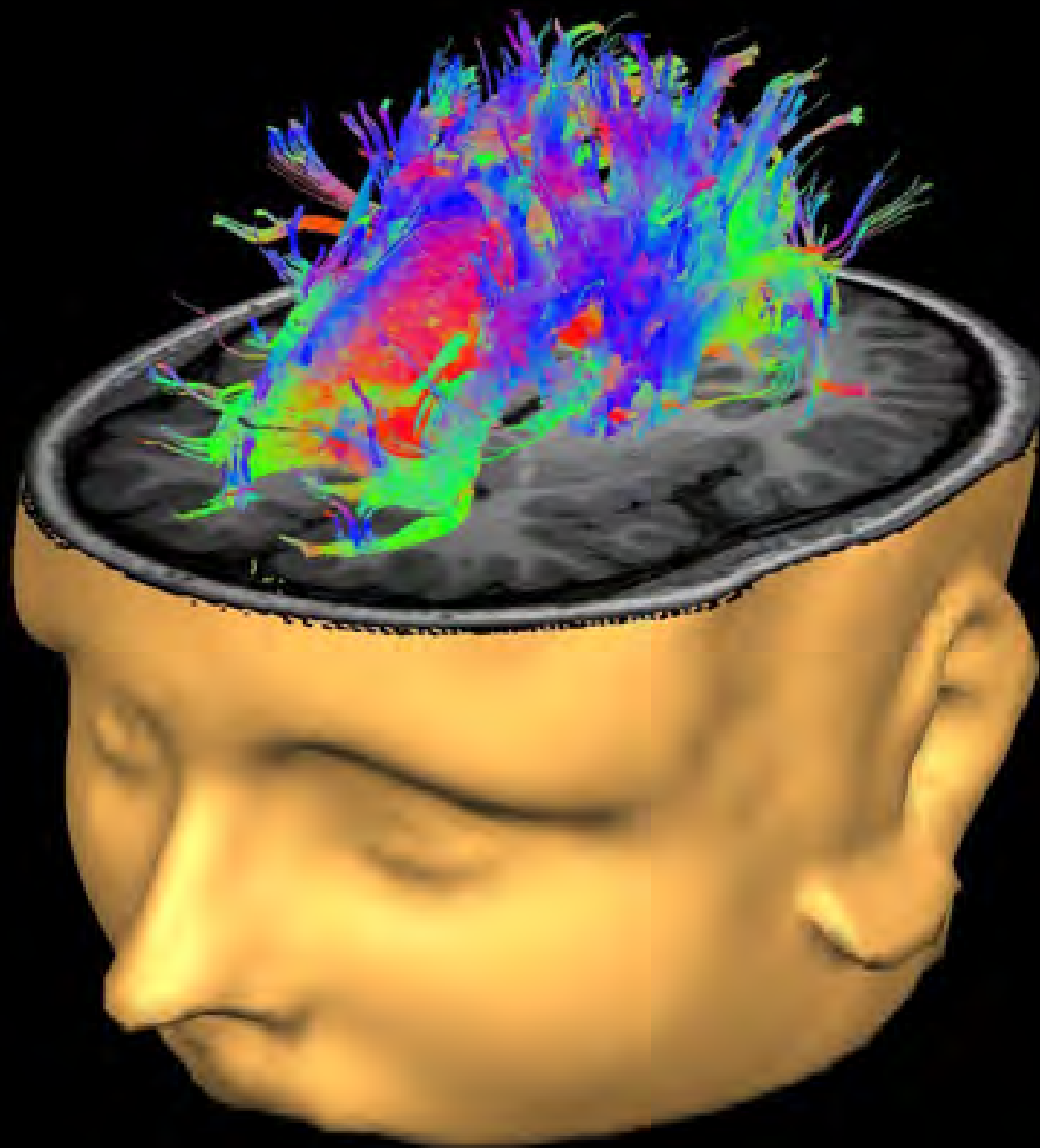
Community [?]

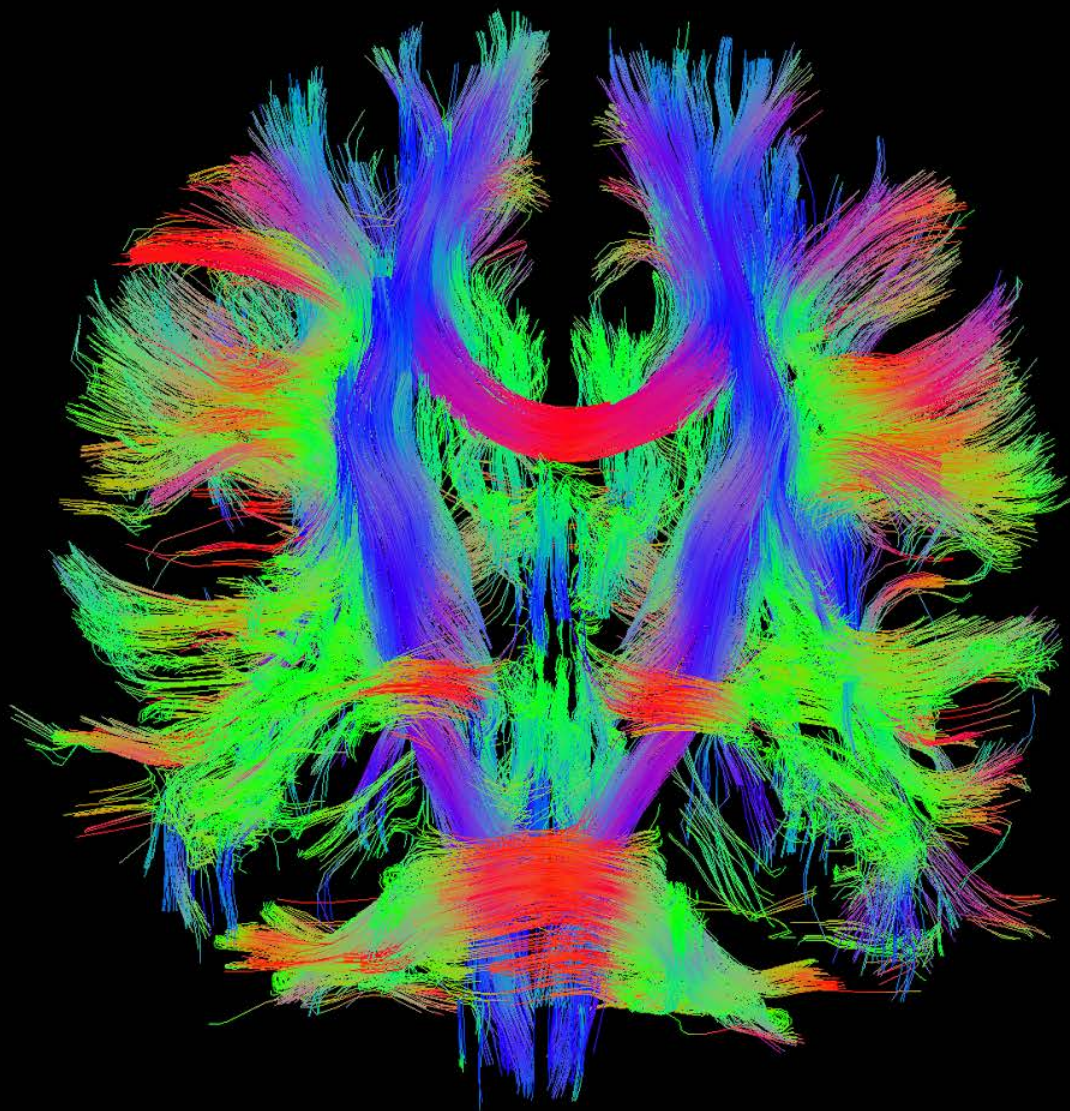
Diffusion Tensor Imaging is a cutting edge imaging technique that provides quantitative information with which to visualize and study connectivity and continuity of neural pathways in the central and peripheral nervous systems in vivo (Basser et al. 2000)



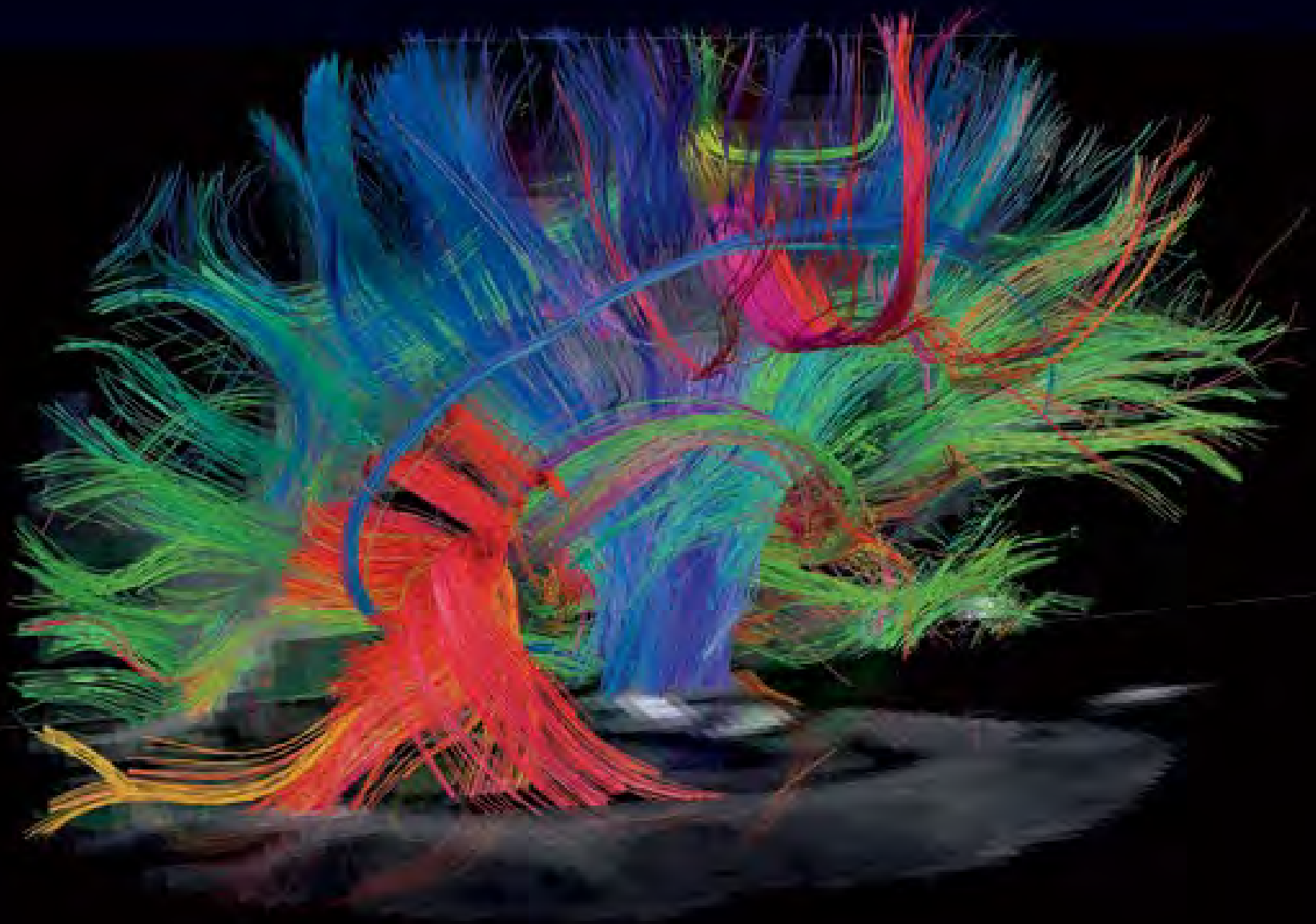
- Premières images : **1985**
- Méthode **non invasive** qui permet de visualiser les grandes connections entre différentes parties du cerveau sur une base individuelle
- Applications cliniques, en particulier pour visualiser les voies nerveuses lésées par des ACVs ou des pathologies impliquant la matière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

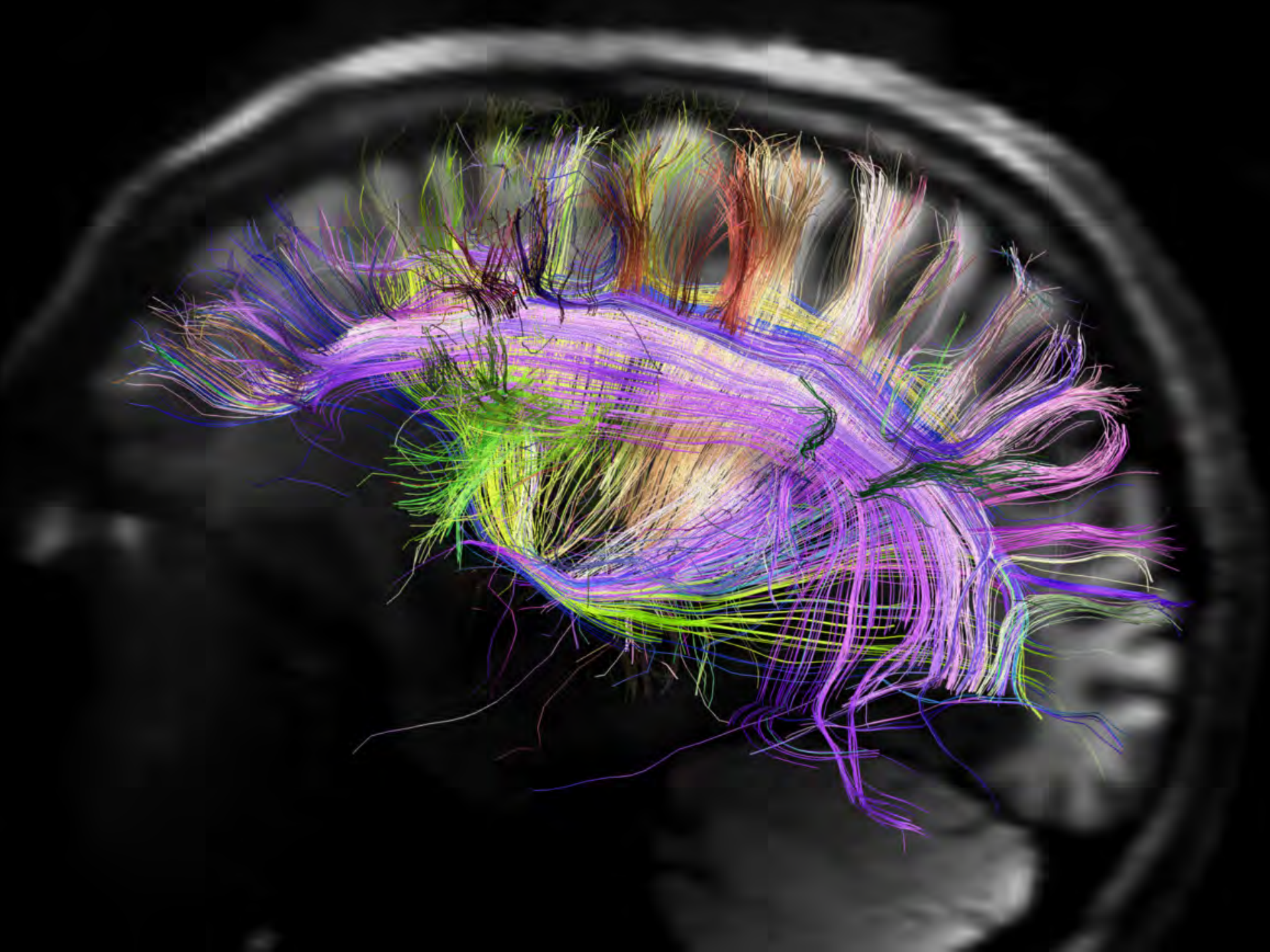
Avec la puissance de traitement des ordinateurs, la qualité des images s'est amélioré au fil des années.



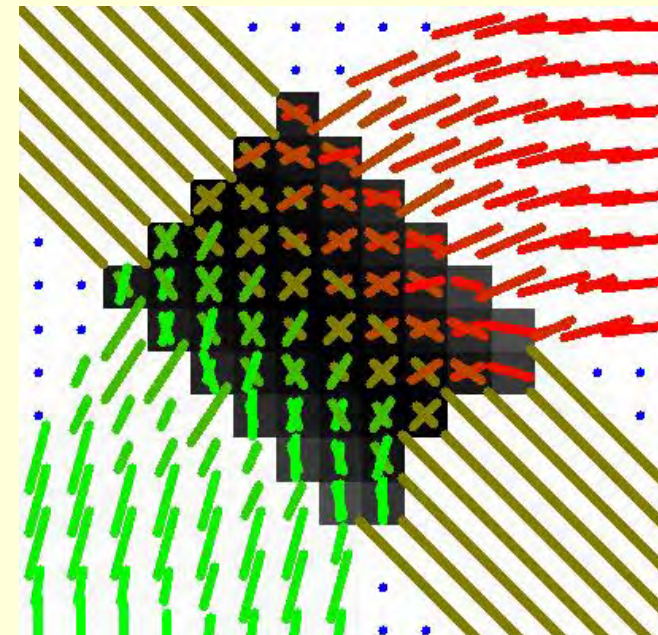
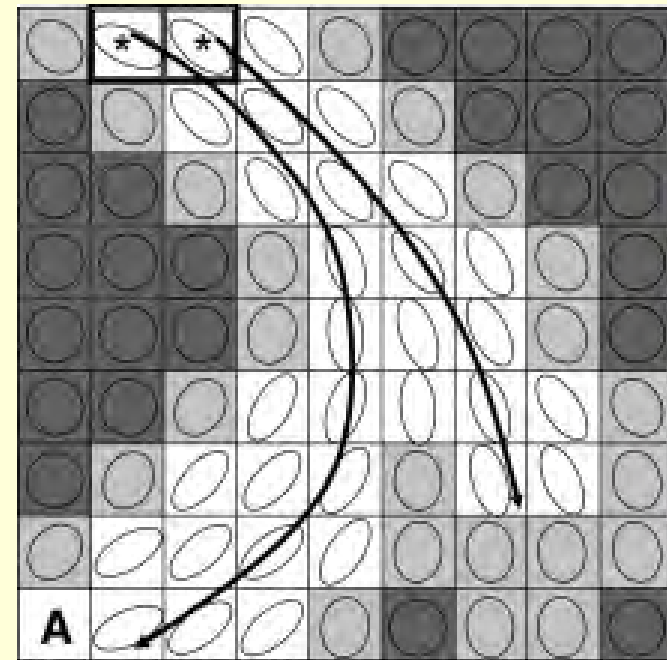
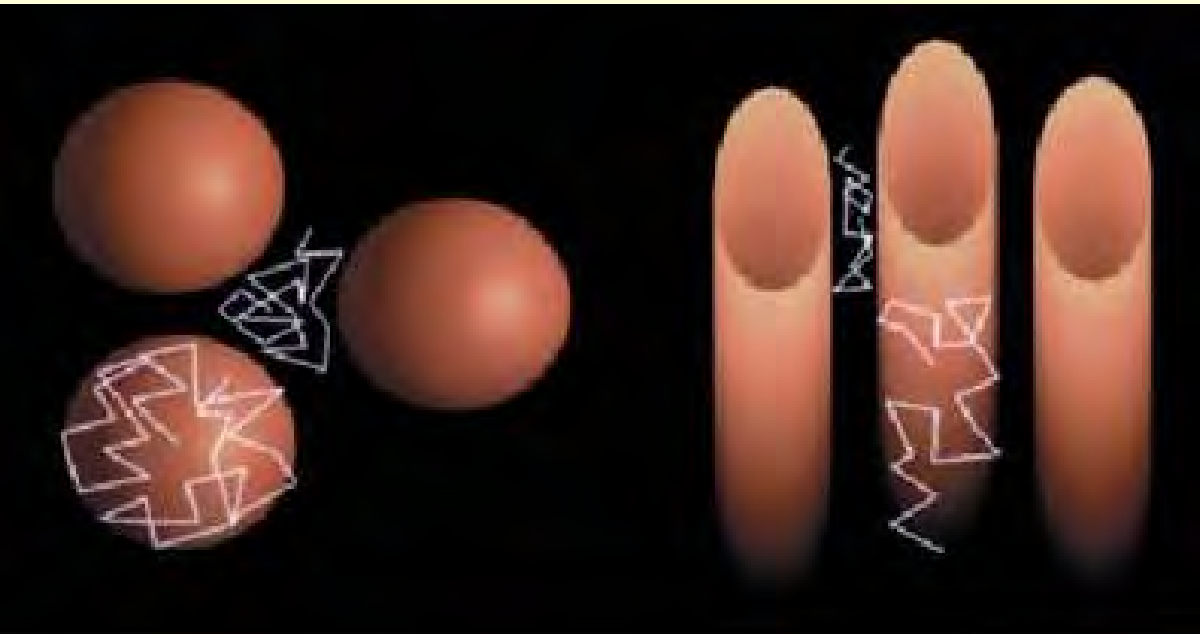








Principe à la base de l'imagerie de diffusion



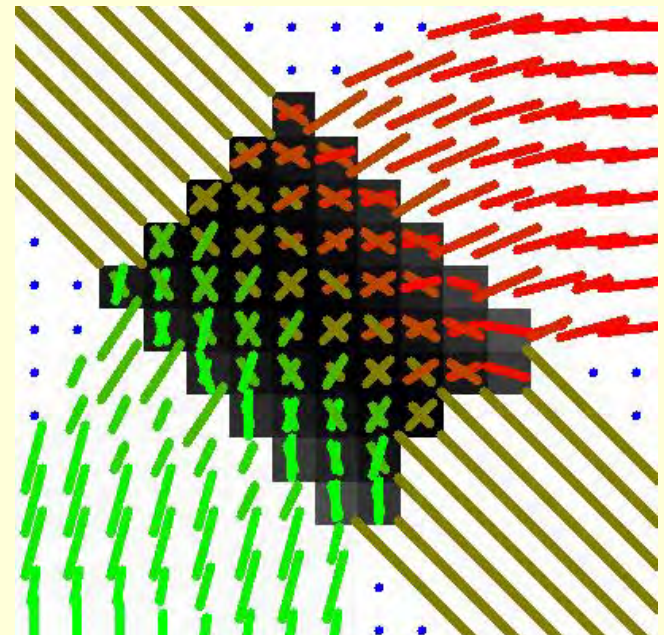
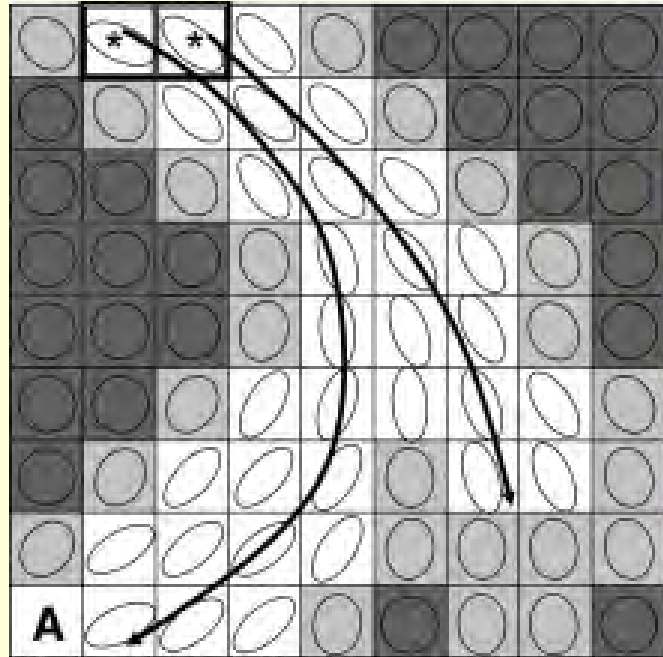
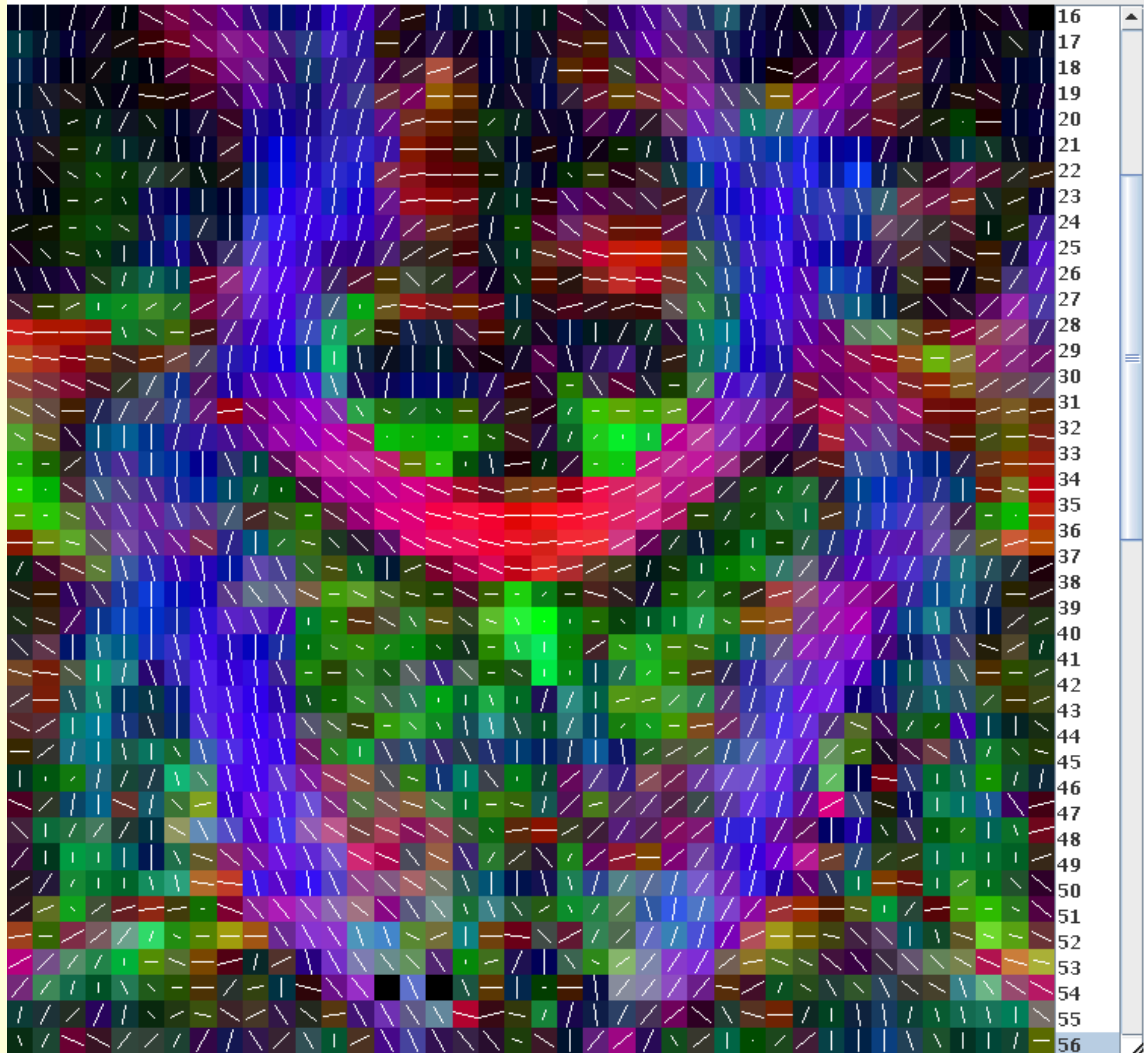
PD Orientation Viewer

AXIAL CORONAL SAGITTAL SAVE RGB

Show vectors Zoom

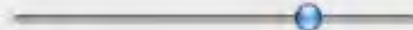
74 56 37
-0.293338 0.759015 0.581248 (0.135361)

Grey gamma 0.7
RGB gamma 1.0



Show vectors

Zoom



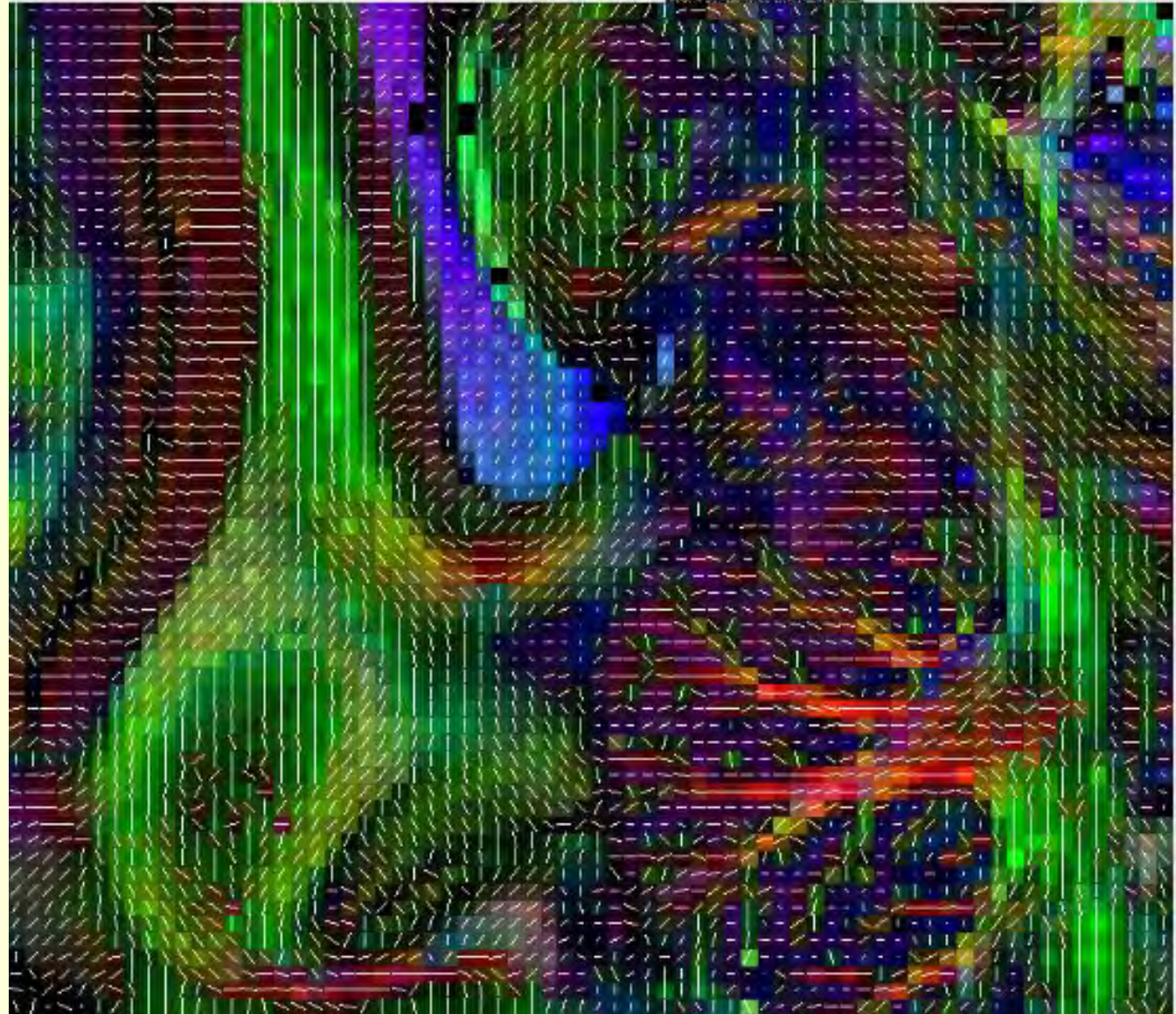
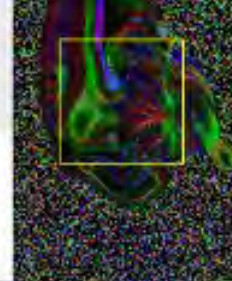
RGB gamma



1.0

96 137 0

0.704768 0.176565 -0.687114 (0.000000)



- 0
- 1
- 2



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

New Discoveries in Brain Structure and Connectivity

29 / Mar / **2012**

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

[...] – an intricate, multi-layered grid of cross-hatched neural highways. What’s more, it looks like **our brains share this grid pattern with many other species.**”

<http://www.massgeneral.org/about/pressrelease.aspx?id=1447>



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

Application clinique de l'IRM de diffusion

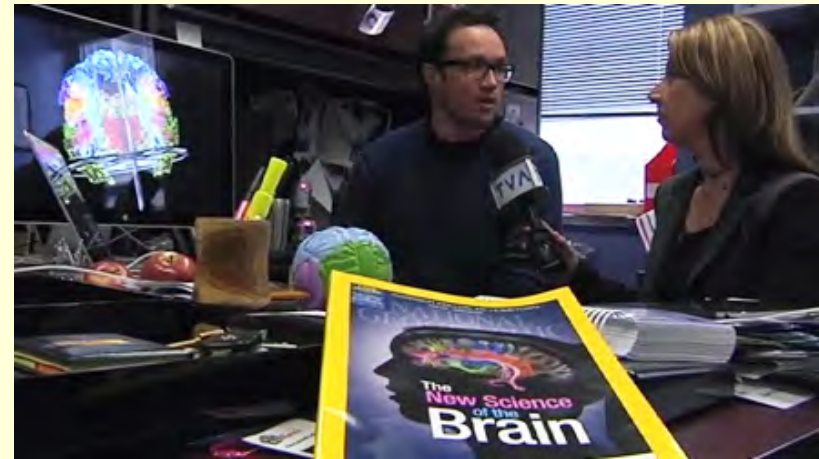
27 janvier **2014**

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

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

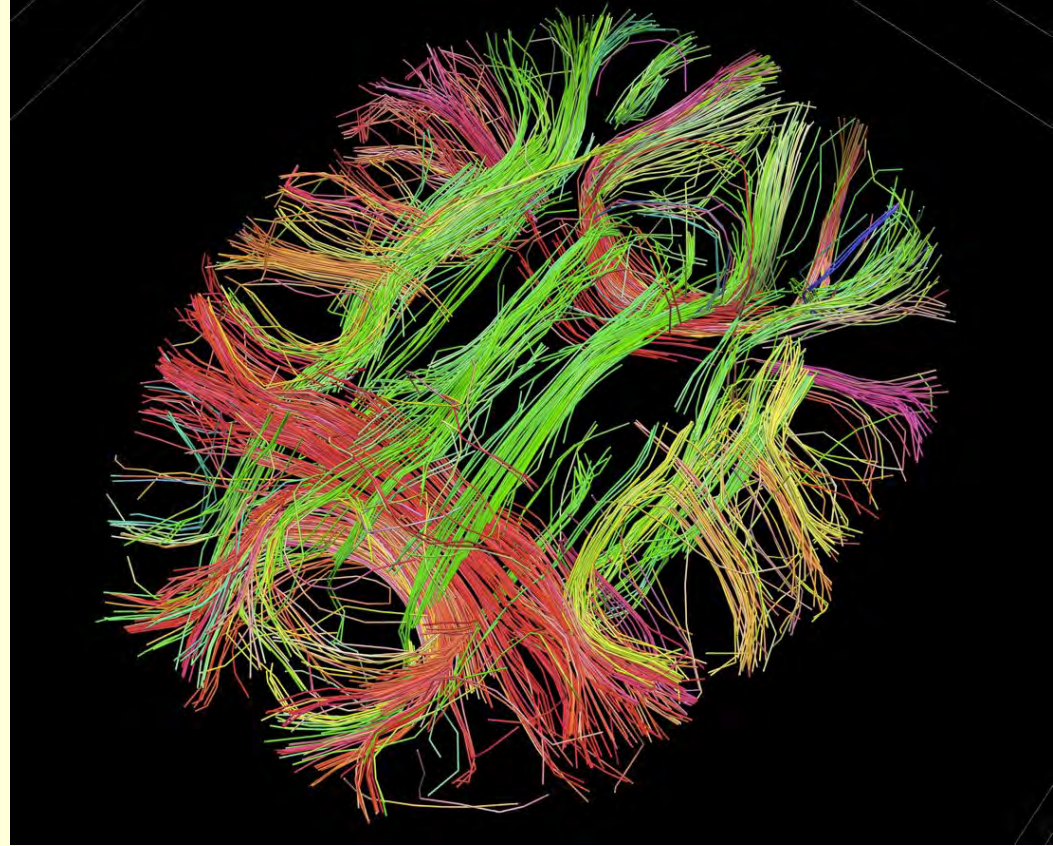
«Mon travail, c'est d'enlever la tumeur sans abîmer l'état des connexions encore fonctionnelles. Ces images nous permettront d'être beaucoup plus précis lorsqu'on va essayer de limiter l'étendue de la tumeur qu'on va enlever», explique le **neurochirurgien, David Fortin**.
[qui travaille en collaboration avec **Maxime Descoteaux** et son équipe]

Sherbrooke Connectivity Imaging Lab > Videos
http://scil.dinf.usherbrooke.ca/?page_id=468&lang=en



Maxime Descôteaux et David Fortin

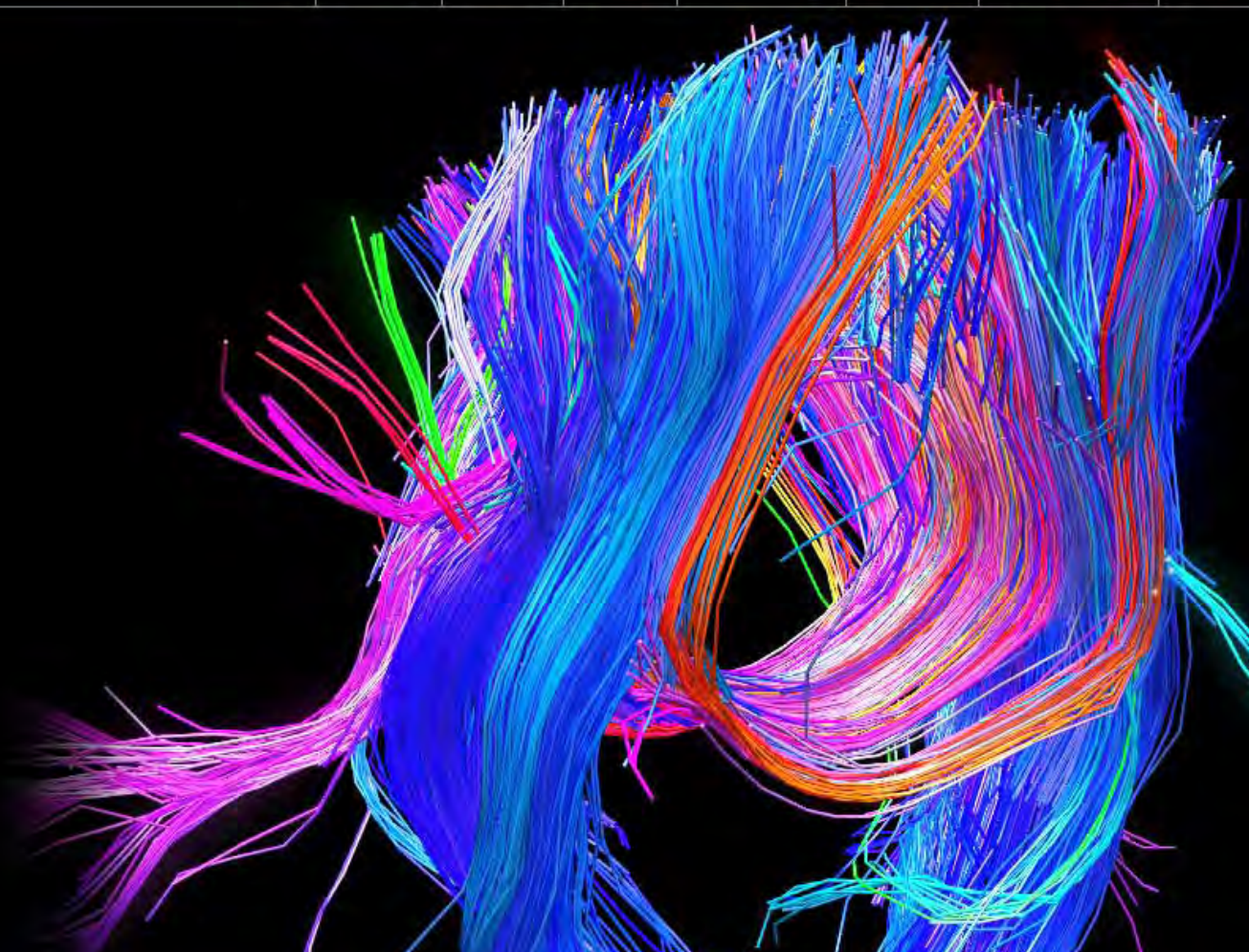
Limite / critique
à l'IRM de diffusion :



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

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

Human Connectome Project

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

The Human Connectome Project

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

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

[Download Data](#)

Laboratory of Neuro Imaging

News

[RSS News](#)

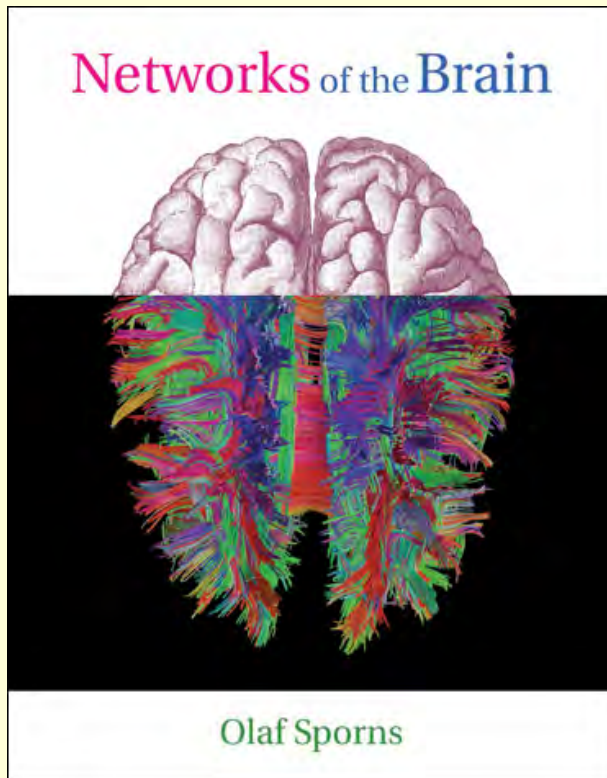
National Geographic features the Human Connectome Project

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

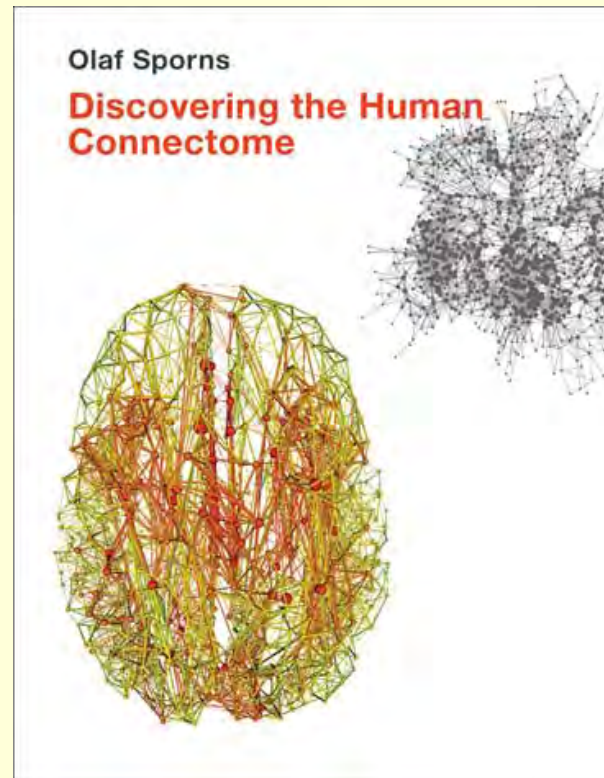
Le connectome (par analogie au génome)

*“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)



2010



2012

Le connectome :

Une carte qu'il sera toujours **impossible de dresser d'une façon définitive à cause de la plasticité** inhérente du cerveau humain, nos synapses se modifiant à tout moment.

Par ailleurs, un peu comme pour la cartographie du génome humain (qui a été achevée en 2003) sans nous permettre de comprendre d'un coup toutes les maladies génétiques, de même on ne croit pas que la carte générale du connectome humain nous permettra de comprendre instantanément les maladies mentales.

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

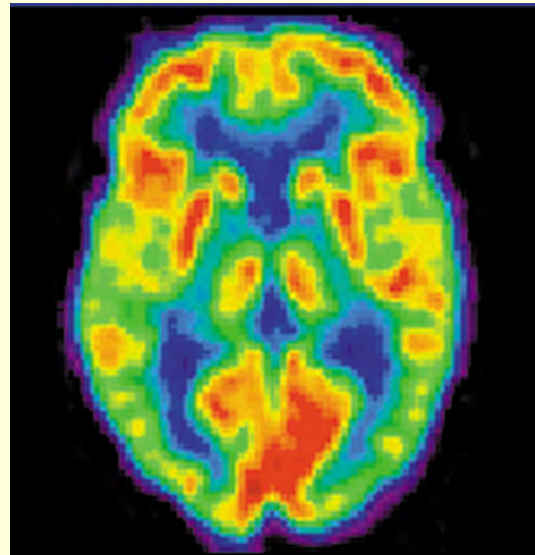
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

La tomographie par émission de positons

(TEP, ou « PET scan », en anglais)

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

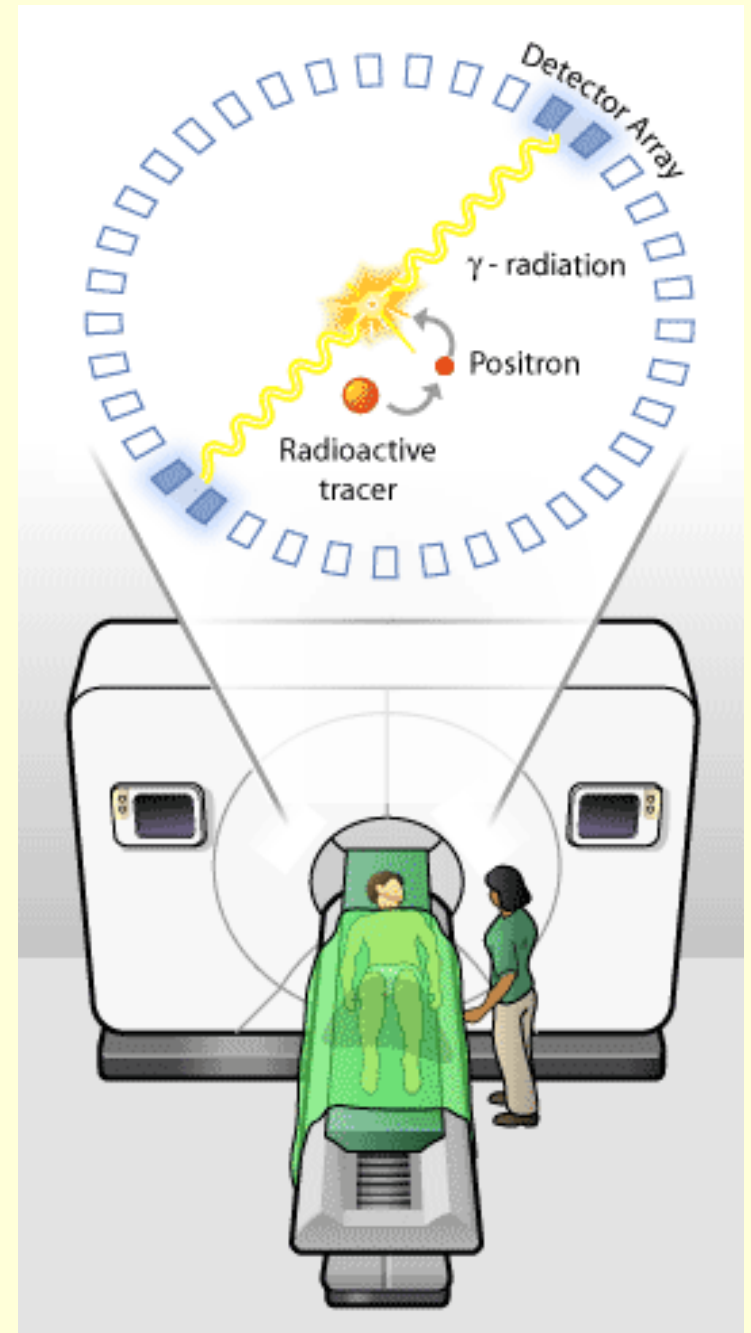


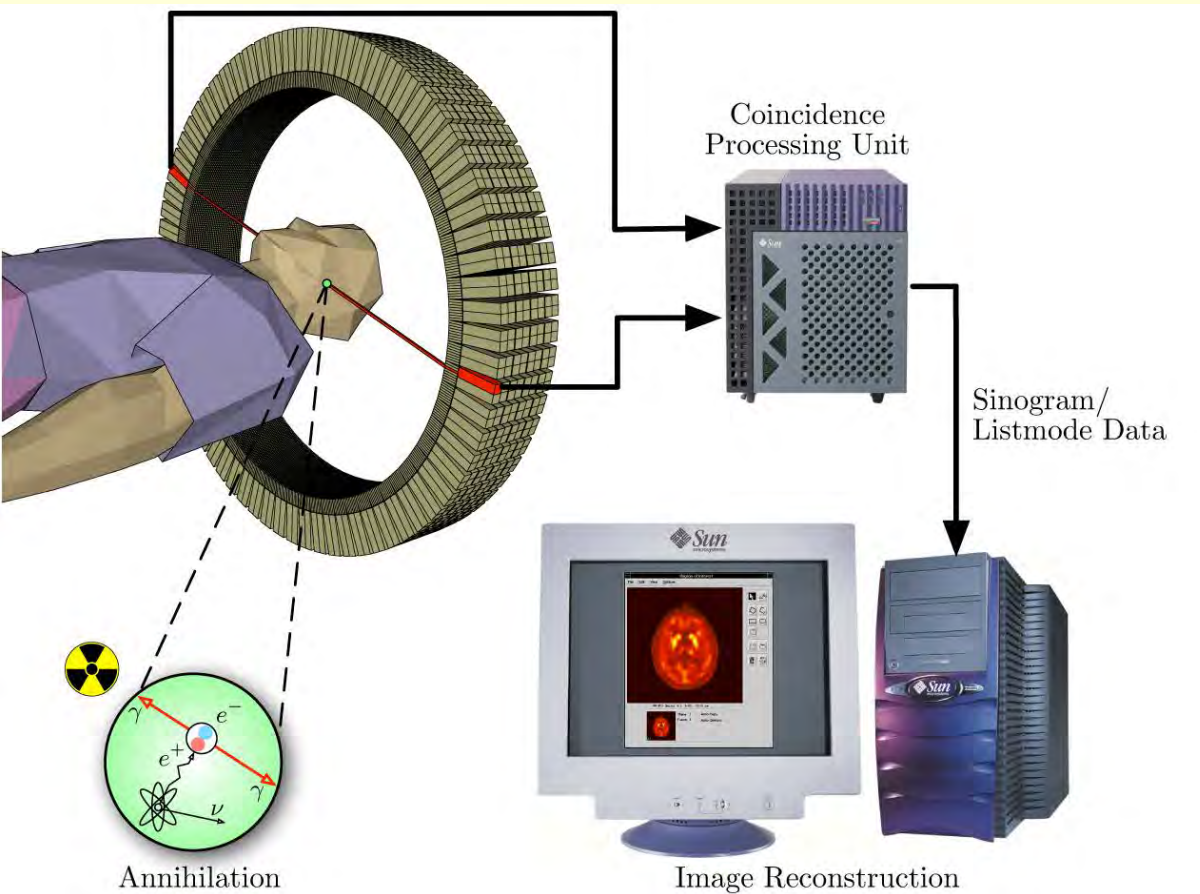
Les fameux **positons** de la TEP proviennent de la dégradation d'un **noyau radioactif** incorporé dans le système sanguin du sujet.

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

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

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

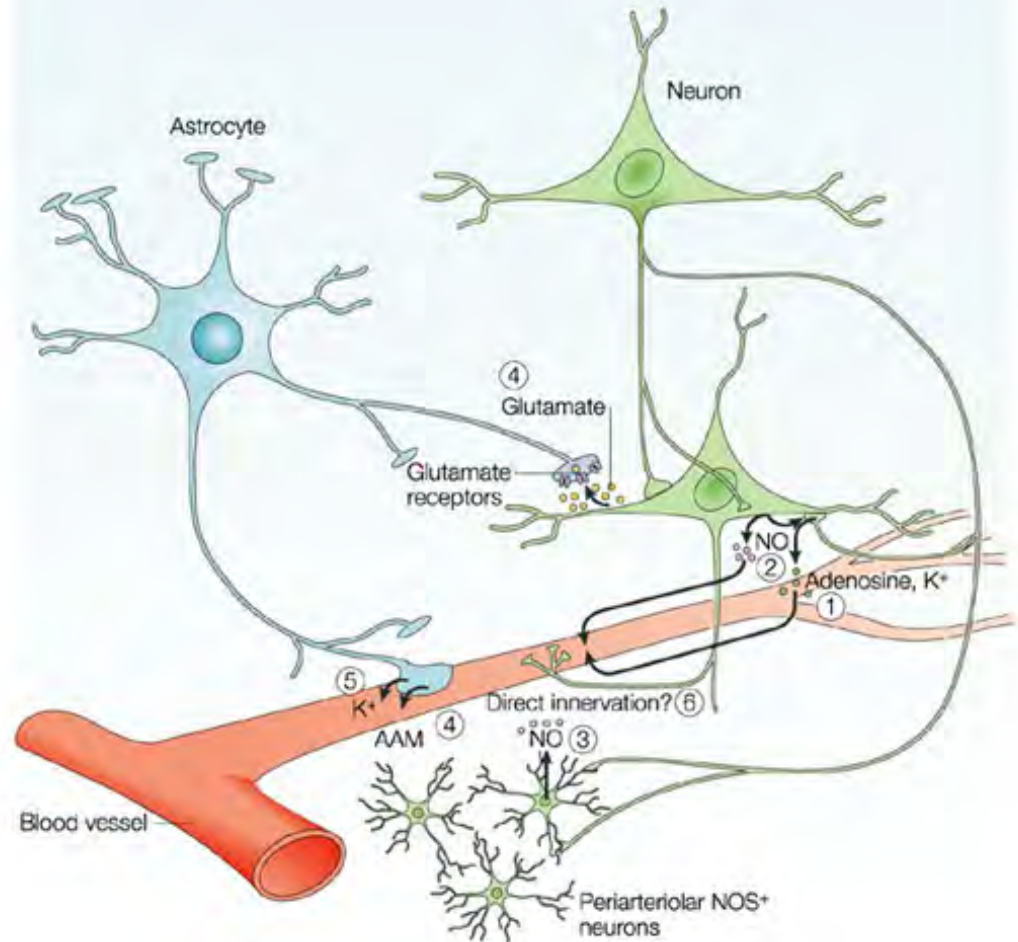




Une série de détecteurs placés autour de la tête du sujet va ensuite **enregistrer les couples de rayons gamme émis** et, grâce aux calculs faits par l'ordinateur, **identifier la position de leur lieu d'émission.**

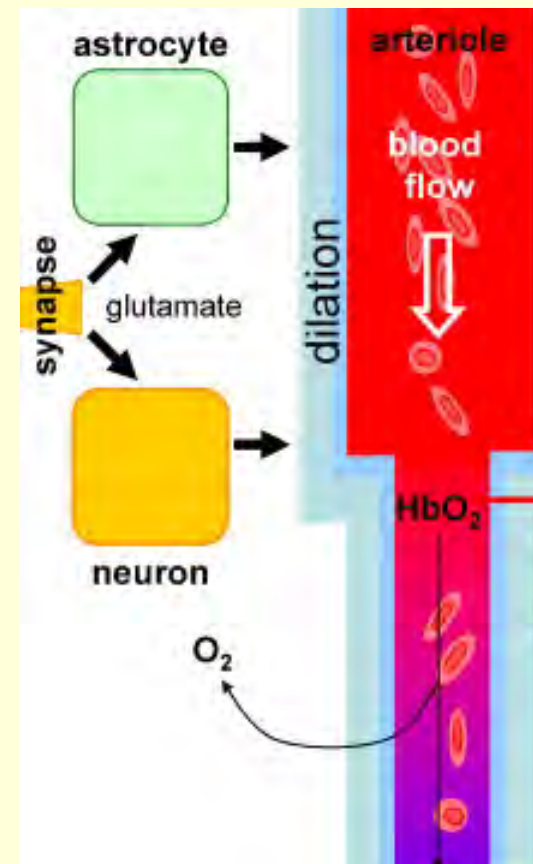
Comme pour comme
l'IRMf [dont on va parler
tantôt] le phénomène
physiologique sur lequel
s'appuie la TEP est le
suivant :

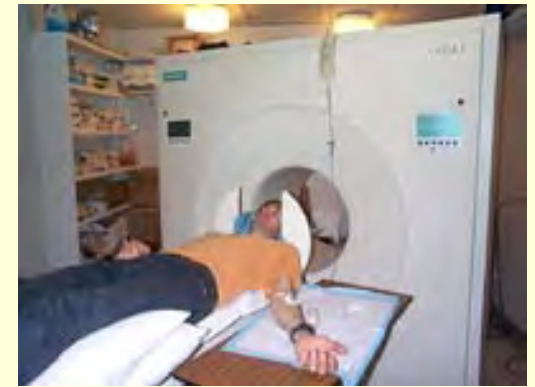
lorsqu'un groupe de
neurones devient **plus
actif**, une vasodilatation
locale des capillaires
sanguins cérébraux se
produit automatiquement
pour amener davantage
de sang, et donc
d'oxygène, vers ces
régions plus actives.



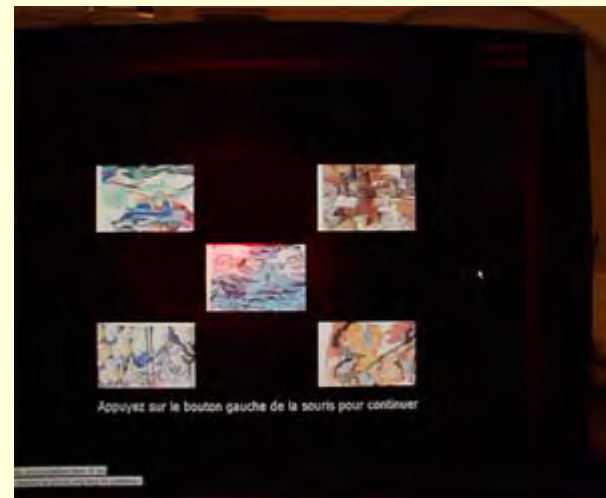
Lors d'une TEP, on doit injecter au sujet une solution contenant un **élément radioactif** qui peut être l'eau elle-même ou du glucose radioactif, par exemple.

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





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



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

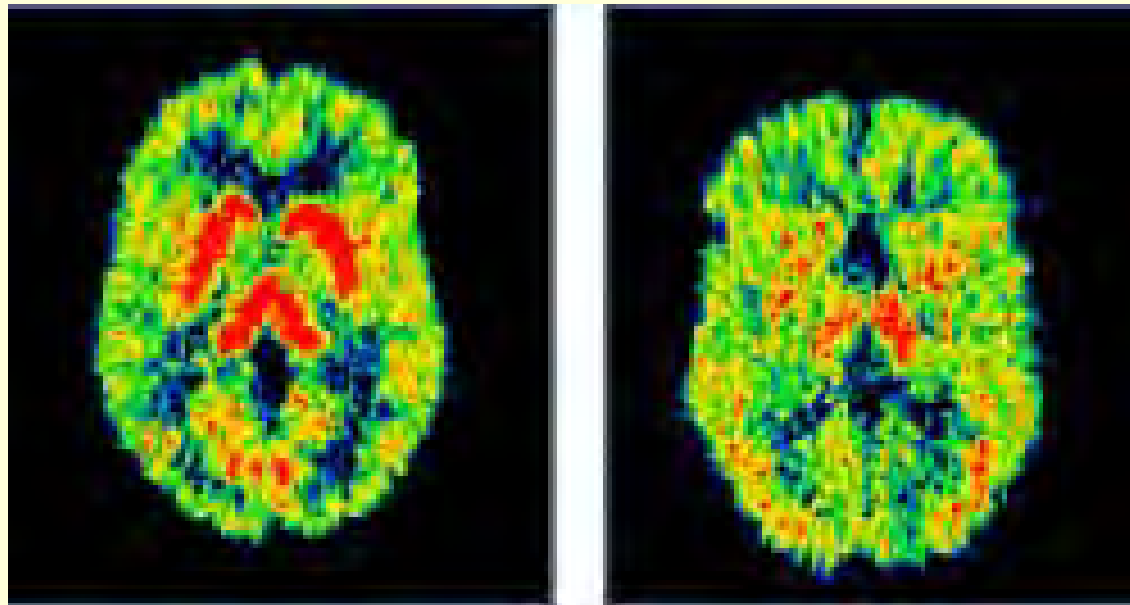
Les images produite par la TEP ne rivalisent pas avec celles de l'IRMf en terme de résolution, mais offrent souvent des contrastes de couleurs où les couleurs les plus chaudes correspondent aux zones les plus actives.



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

En plus de montrer l'activation fonctionnelle du cerveau ou de détecter des tumeurs ou des caillots, la particularité de la TEP est de permettre d'inclure l'isotope radioactif dans certaines substances dont on veut connaître l'utilisation métabolique par certaines régions cérébrales.

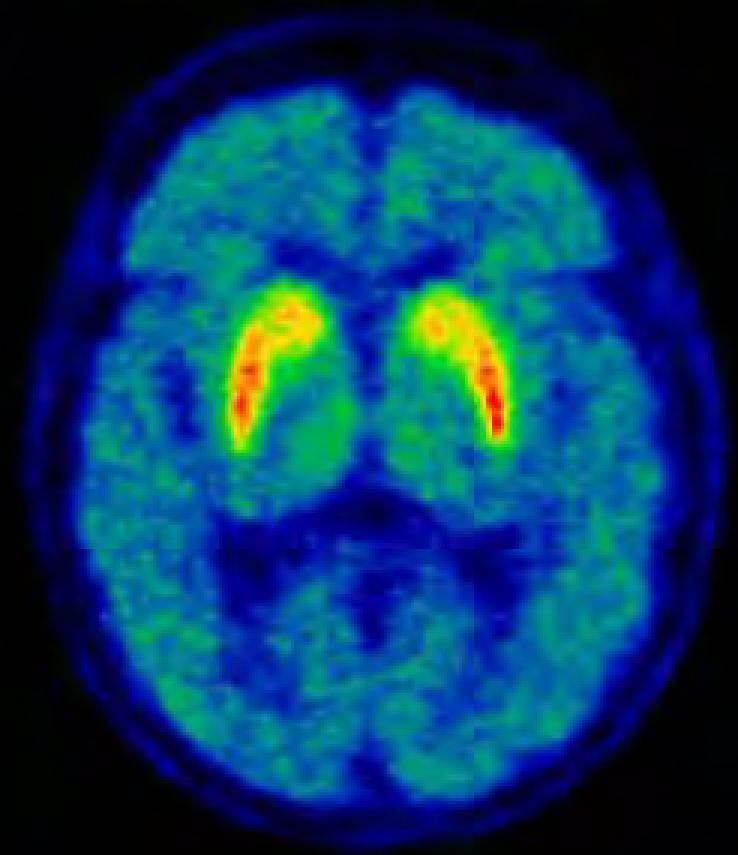
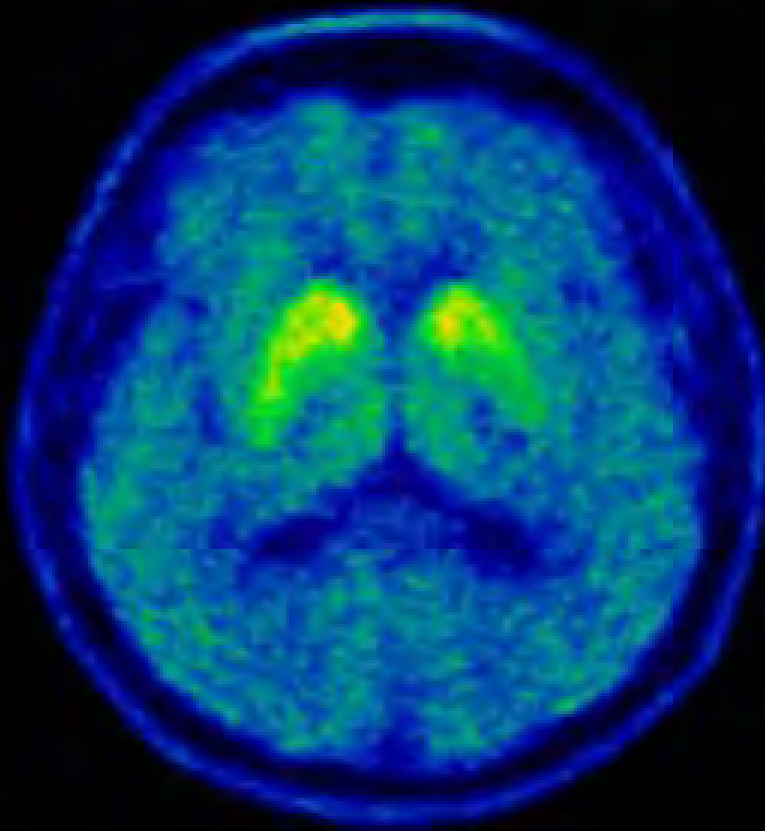
L'étude des neurotransmetteurs a bénéficié d'une façon importante de cette approche qui a permis de préciser la distribution de plusieurs d'entre eux.



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

A: Parkinson's Disease Patient

B: PD Patient's Healthy Parent



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

Quelques limitations



Comme la demie-vie des éléments radioactifs employés doit être courte (environ deux minutes), ceux-ci doivent être **produits sur place**, ce qui implique des coûts assez élevés et limite l'accessibilité des scans à TEP.

Le temps efficace pour tester une tâche est relativement court (moins d'une minute) à cause de la dégradation rapide de la source de radioactivité.

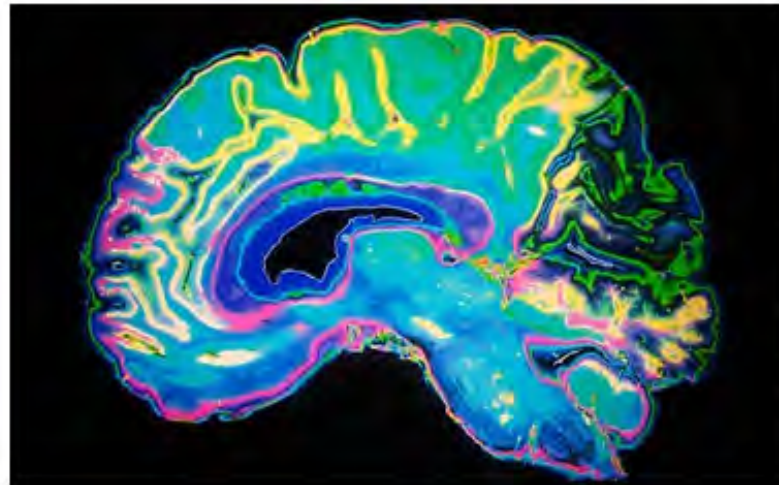
Après chaque tâche, le sujet doit attendre plusieurs minute pour que le niveau de radioactivité émis soit négligeable avant de recevoir une nouvelle dose pour la tâche suivante.

Les doses de radioactivité reçues par un sujet durant une session de TEP sont peu élevées, mais on ne permet tout de même qu'une seule session par année à un même sujet.

On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

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. [...].

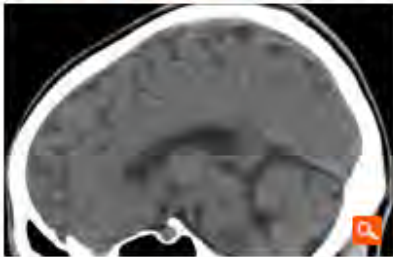
'I particularly like the way
different regions of the brain
light up for no apparent reason.
It's so **cool.**'"



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 ...”

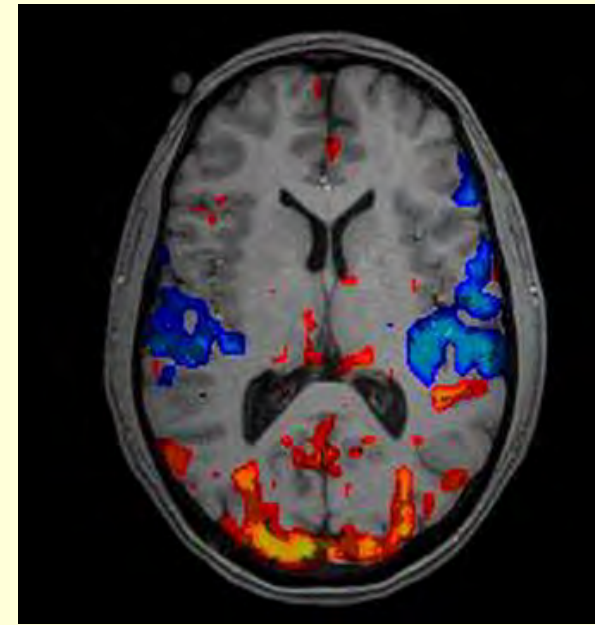
TAGS: [idea explorer](#), [the centrifuge](#)

“People swallow poor explanations more readily when the claim is preceded by “Brains scans indicate”

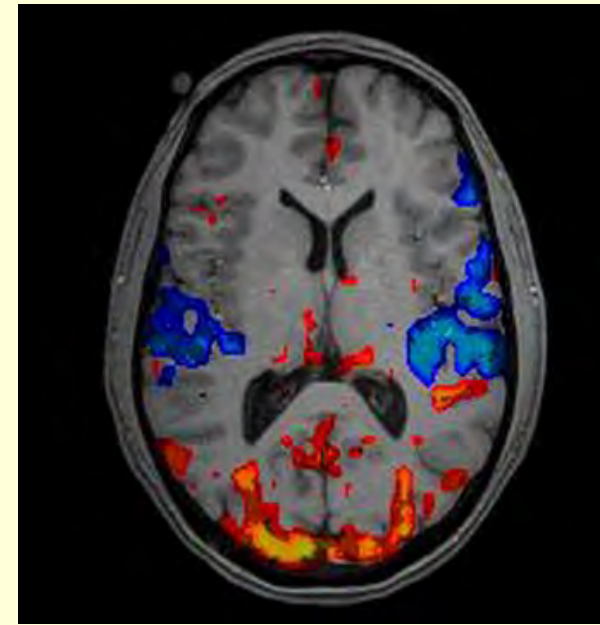
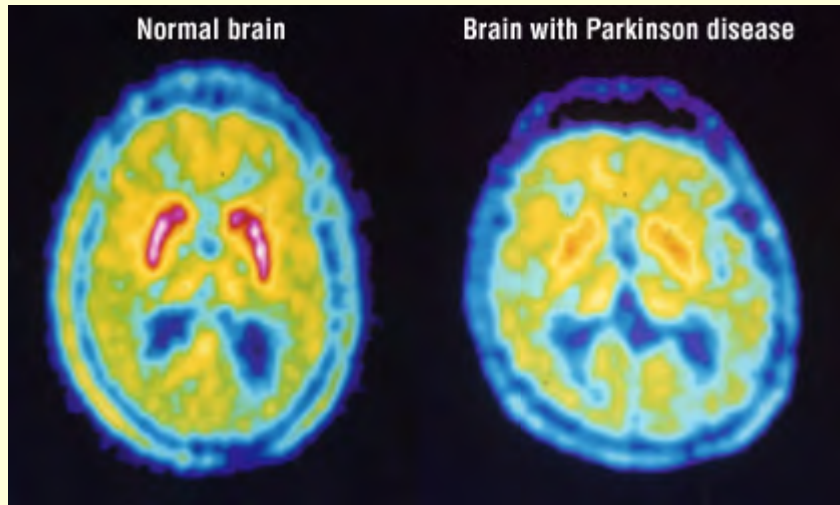
Adding irrelevant neuroscience information thus somehow **impairs people’s baseline ability to make judgments** about explanations.”

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

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

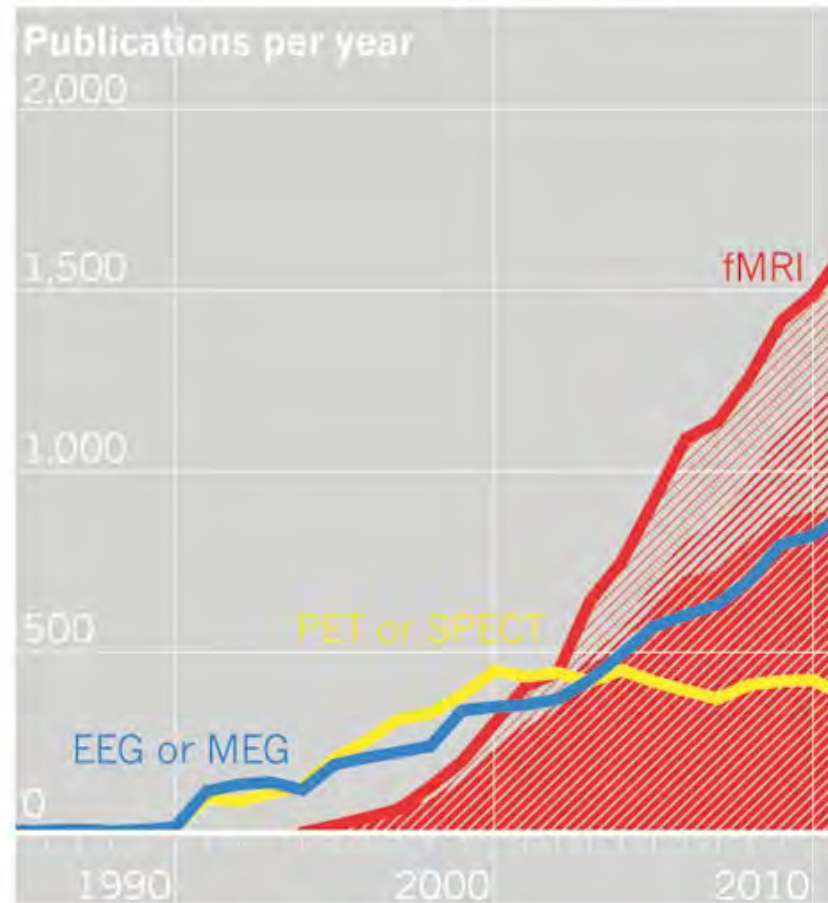


Peut être utilisée sans l'injection de substance dans l'organisme du sujet (contrairement au PET scan).



THE RISE OF fMRI

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



fMRI publications by subject:

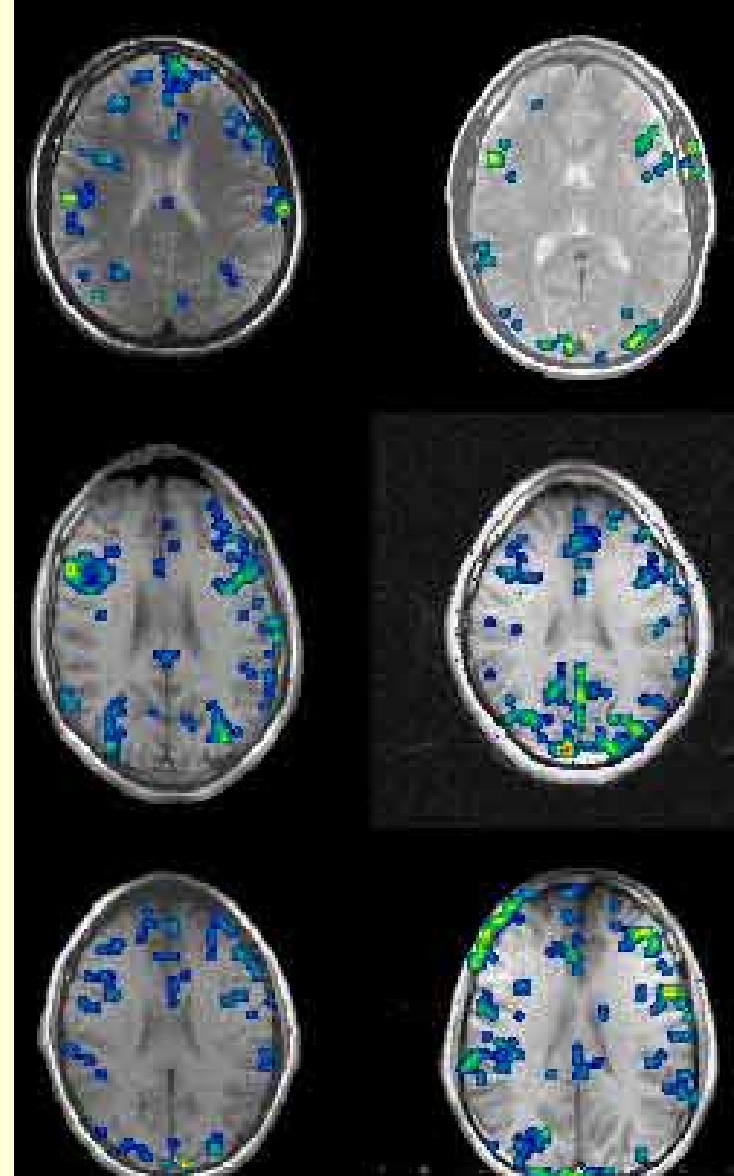
Activation  Connectivity  Other 

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

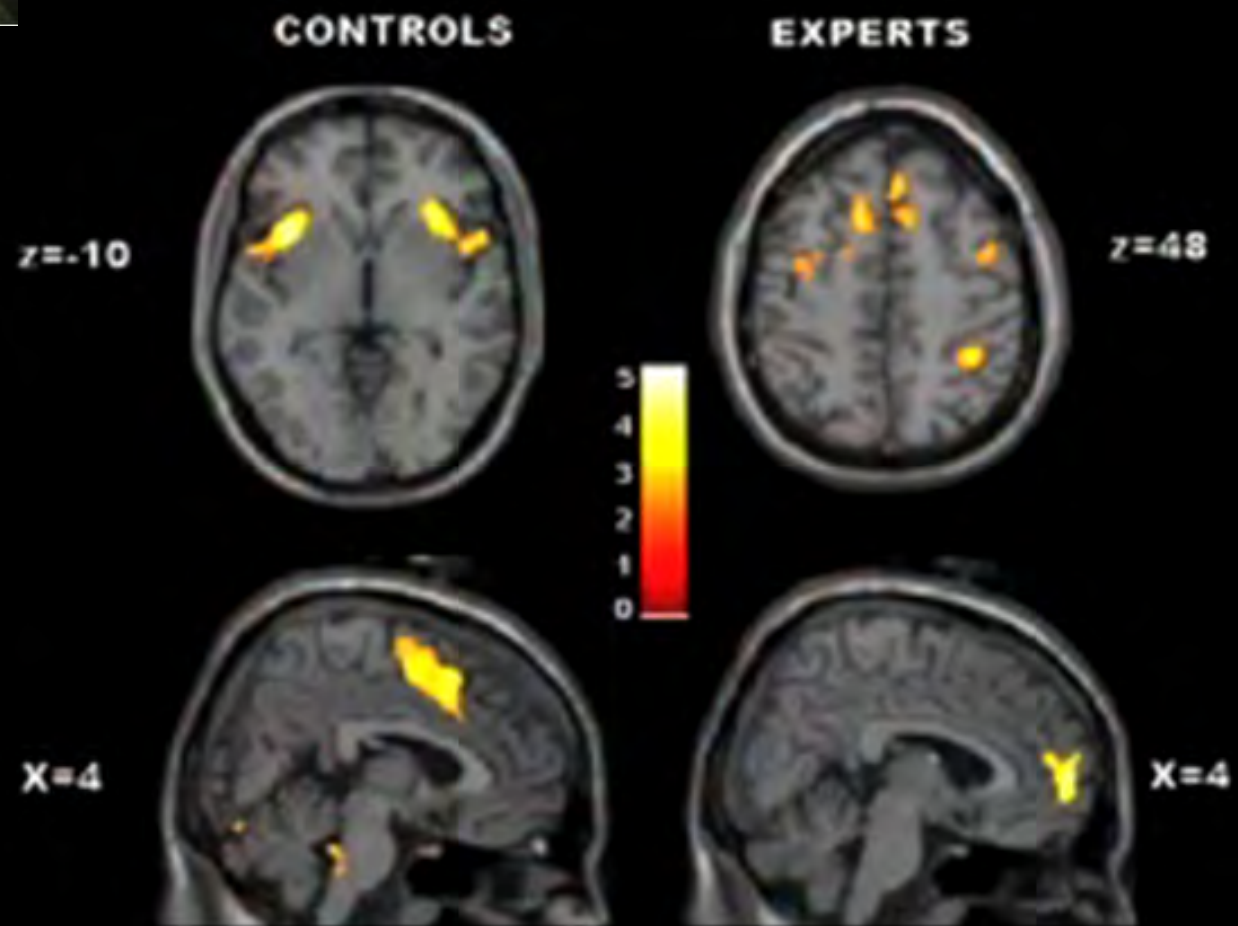
Peut fournir une image **structurelle** et **fonctionnelle** du même cerveau, facilitant ainsi les correspondances anatomo-fonctionnelles.

La **résolution spatiale** est de l'ordre du millimètre carré (de **3 mm²** (pour les machine à 3 Tesla à **1 mm²** pour celles à 7 Tesla, et bientôt sous le **mm²** ...)

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



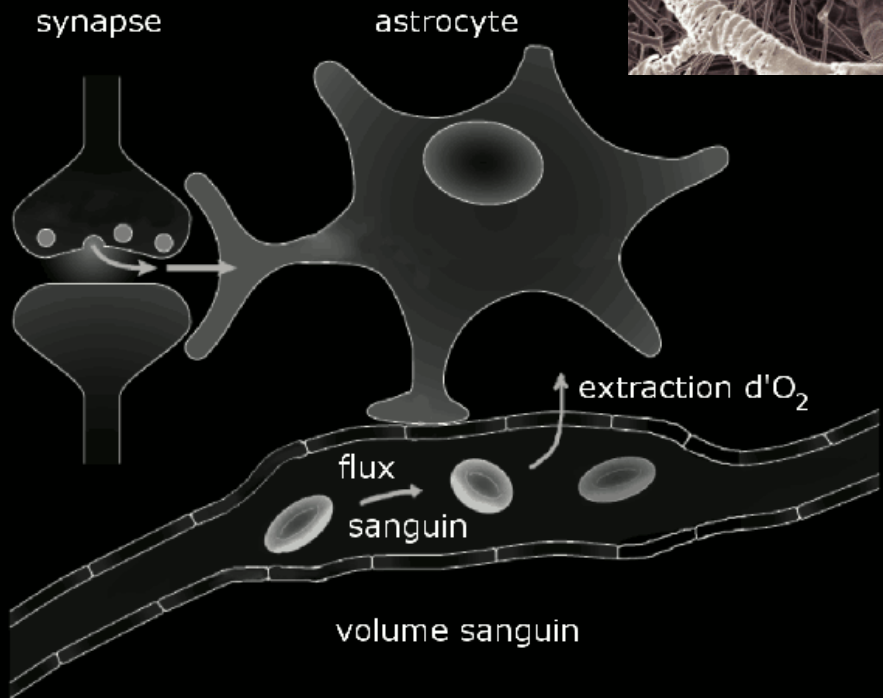
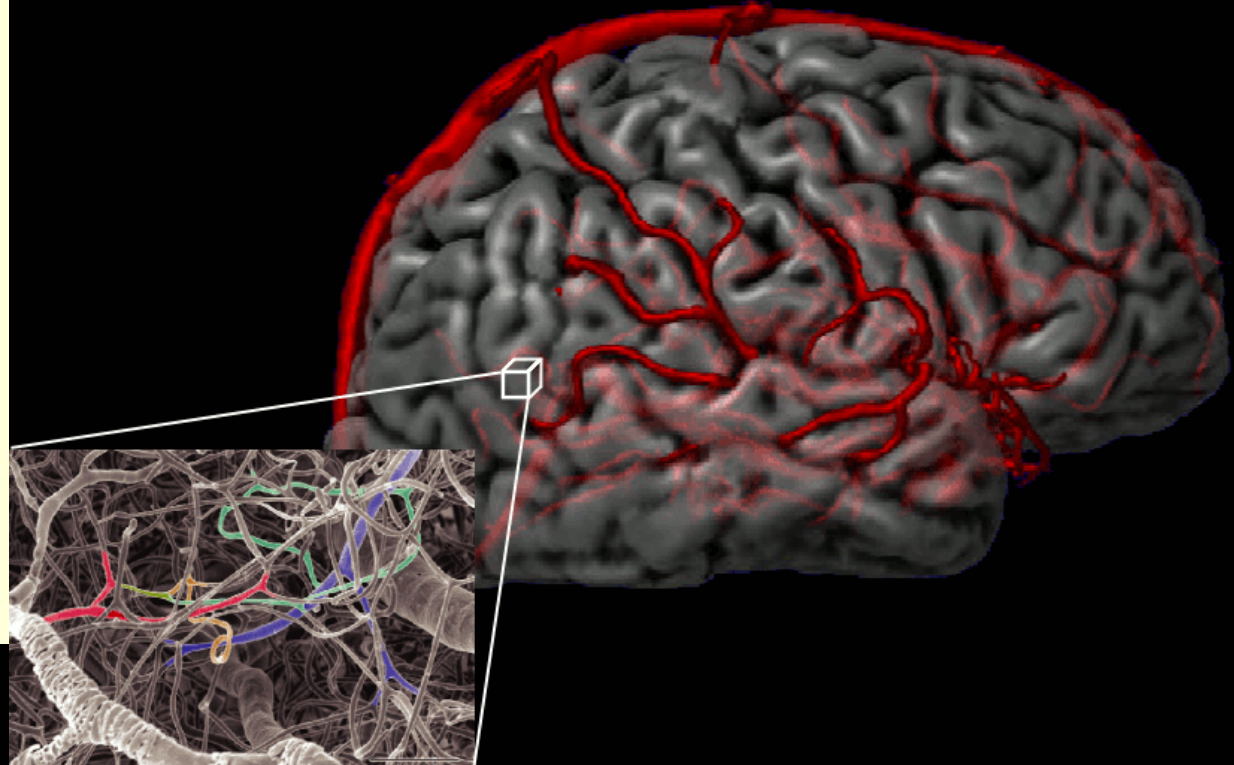
Résonance magnétique fonctionnelle durant le test de Stroop pour six sujets différents démontrant la grande variabilité entre les participants.



Tirée de Pierre Bellec

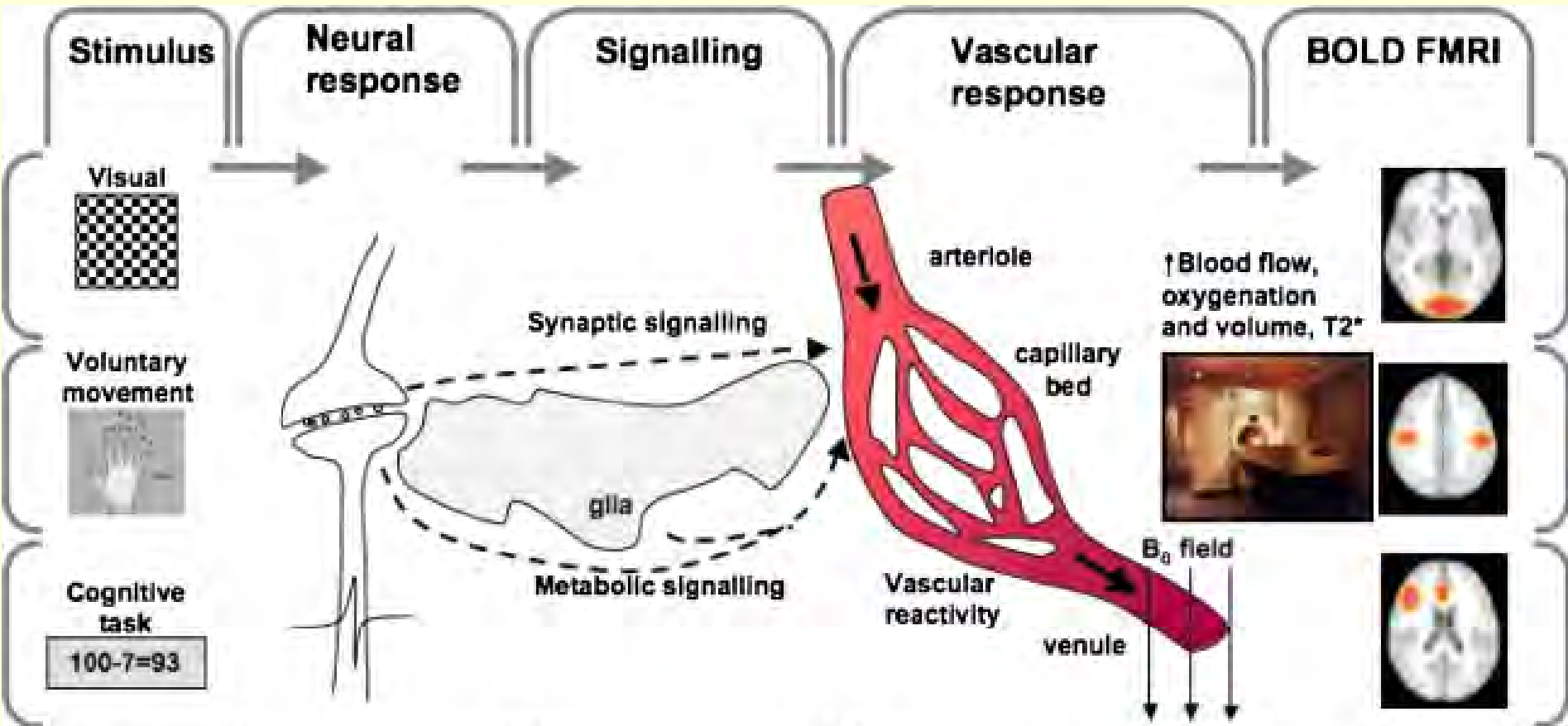
https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLAhXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_lsni.pdf&usq=AFQjCNGBiKg_wv2IF4DtIlo-0AvIsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja

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



Le principe sur lequel s'appuie l'IRMf (tout comme la TEP d'ailleurs) part de l'observation que lorsqu'un groupe de neurones devient plus actif, une **vasodilatation locale** des capillaires sanguins cérébraux se produit automatiquement pour amener davantage de sang, et donc d'oxygène, vers ces régions plus actives.

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



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

L'IRMf n'est qu'une mesure **indirecte** des
 processus physiologique dont les rapports
 avec l'activité neuronale sont complexes
 (pas une véritable mesure quantitative).

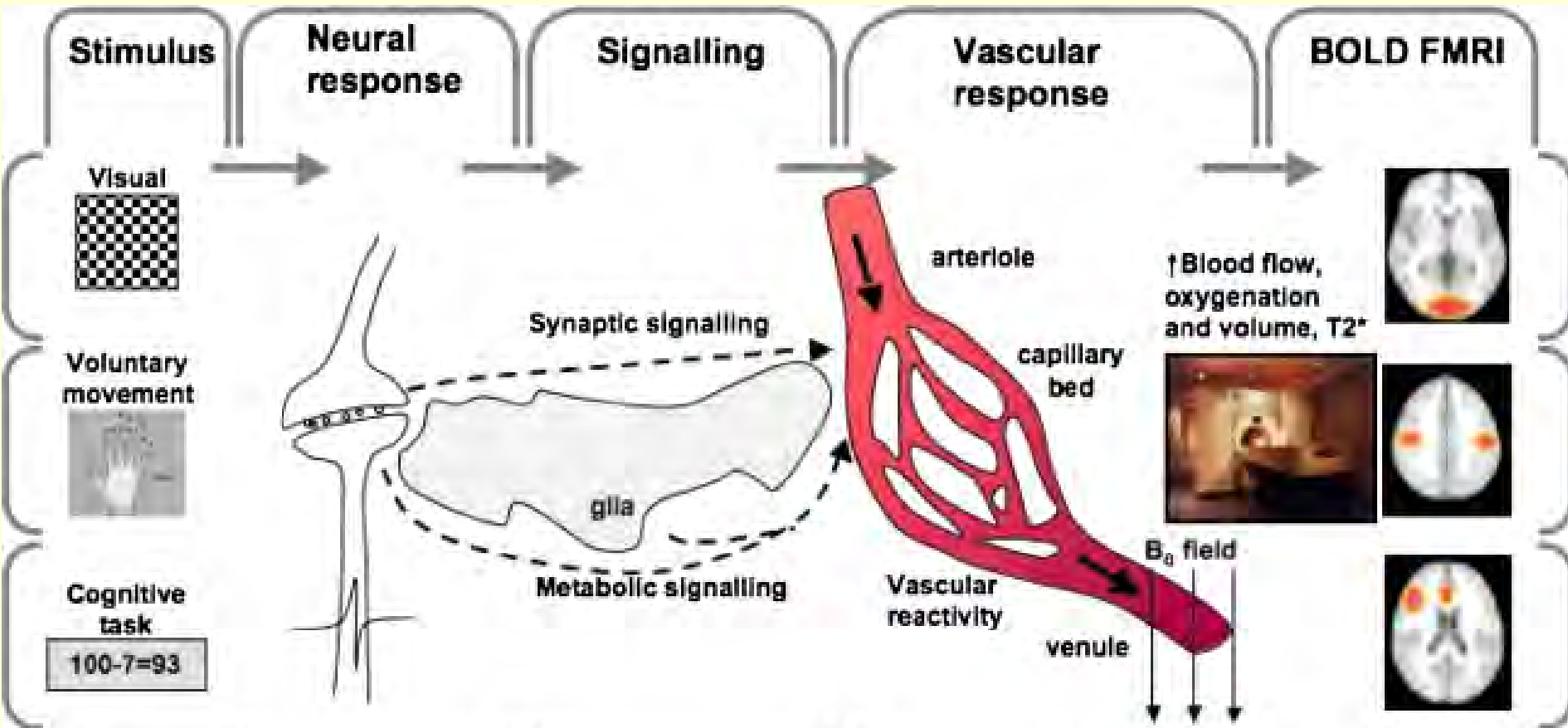
Neurophysiological and metabolic
 basis of the BOLD signal



How to interpret fMRI and compare it to other methods

S.F.W. Neggers

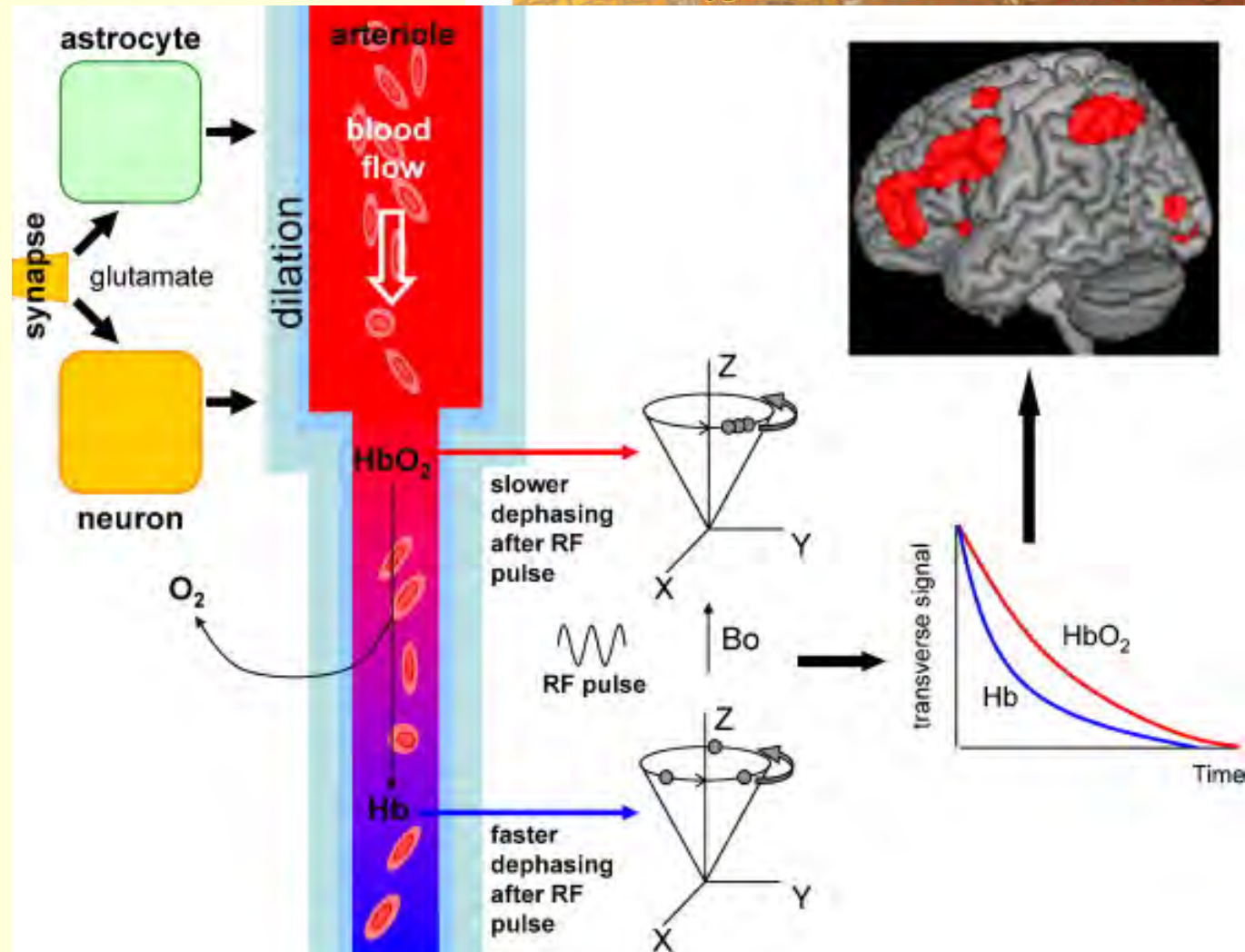
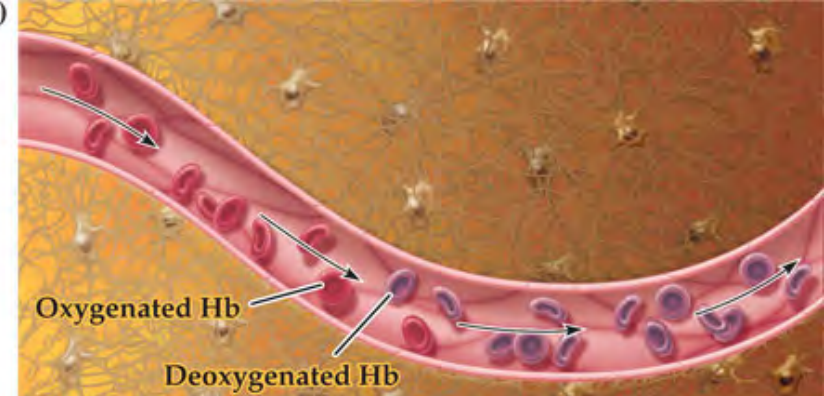
Rudolf Magnus Institute for Neuroscience, Division of Brain Research
 University Medical Center Utrecht
 (b.neggers@umcutrecht.nl)



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

(on l'appelle alors la **désoxy-hémoglobine**)

(A)



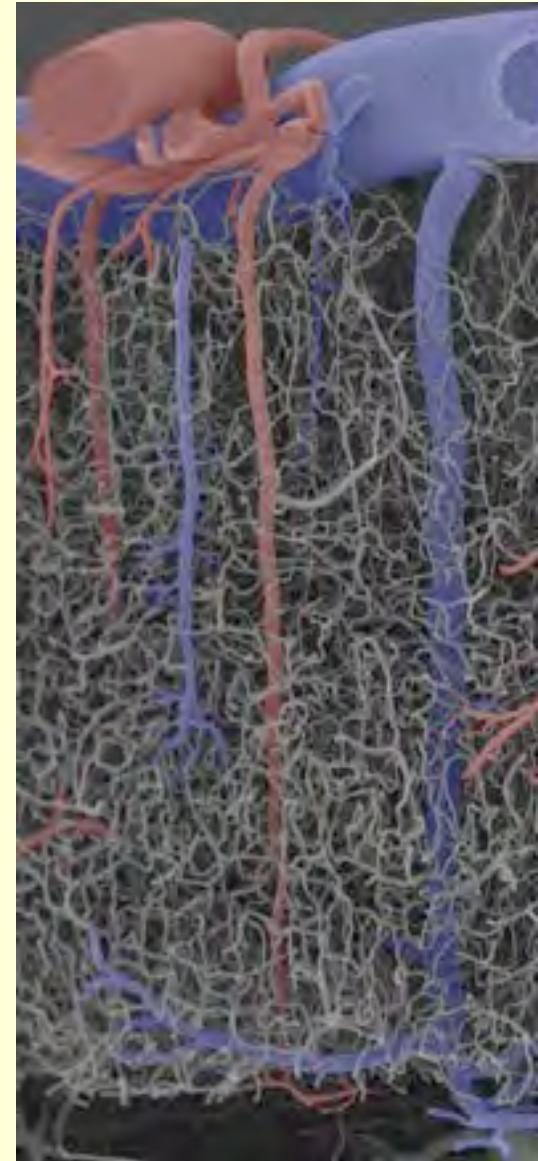
Sans entrer dans les détails,
mentionnons aussi que :

l'augmentation du débit sanguin cérébral
dans une région plus active du cerveau
est toujours supérieure à la demande
d'oxygène accrue de cette région.

Par conséquent, c'est la baisse du taux de
désoxy-hémoglobine (diluée dans un plus
grand volume de sang oxygéné) que l'IRMf
va faire correspondre à une **augmentation**
de l'activité de cette région.

**A default mode of brain function:
A brief history of an evolving idea**
Marcus E. Raichle and Abraham Z.
Snyder (2007)

<https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjahqGbltPPAhWFbT4KHV2QCjUQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.appliedneuroscience.com%2FDefault%2520mode-a%2520brief%2520history.pdf&usq=AFQjCNGOEvhATZ0j11WP4Tfbm-384nrSww&sig2=VD6a2qJf-3j0VLD0CLL-eA>



La relation entre les “local field potentials” des neurones et leurs potentiels d’action avec le signal BOLD a été examinée par des expériences où l’on faisait à la fois de l’électrophysiologie et de l’IRMf dans le système visuel du singes anesthésiés et alertes.

La réponse BOLD reflète principalement les inputs et le traitement local dans une région cérébrale donnée, et moins ses outputs.

Autrement dit, elle reflète plus l’activité présynaptique que celle des potentiels d’action (Logothetis et al, 2001).

“These studies found that the BOLD responses reflect input and intracortical processing rather than pyramidal cell output activity. “

What We Can and What We Can’t Do with fMRI

Logothetis 2012

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjkuD9J2_PR5Q&sig2=m44tBmq98CA-_8otmiJiUw
z4KHZmnDiQQFggeMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.sfn.org%2F~%2Fmedia%2FSfn%2FDocuments%2FShort%2520Courses%2F2012%2520Short%2520Course%2520I%2FSCII%2520%2520What%2520We%2520Can%2520and%2520Wh at%2520We%2520Can%2520Do%2520with%2520fMRI.ashx&usg=AFQjCNFdi3ZEpf3F6Nv4ySUFuD9J2_PR5Q&sig2=m44tBmq98CA-_8otmiJiUw

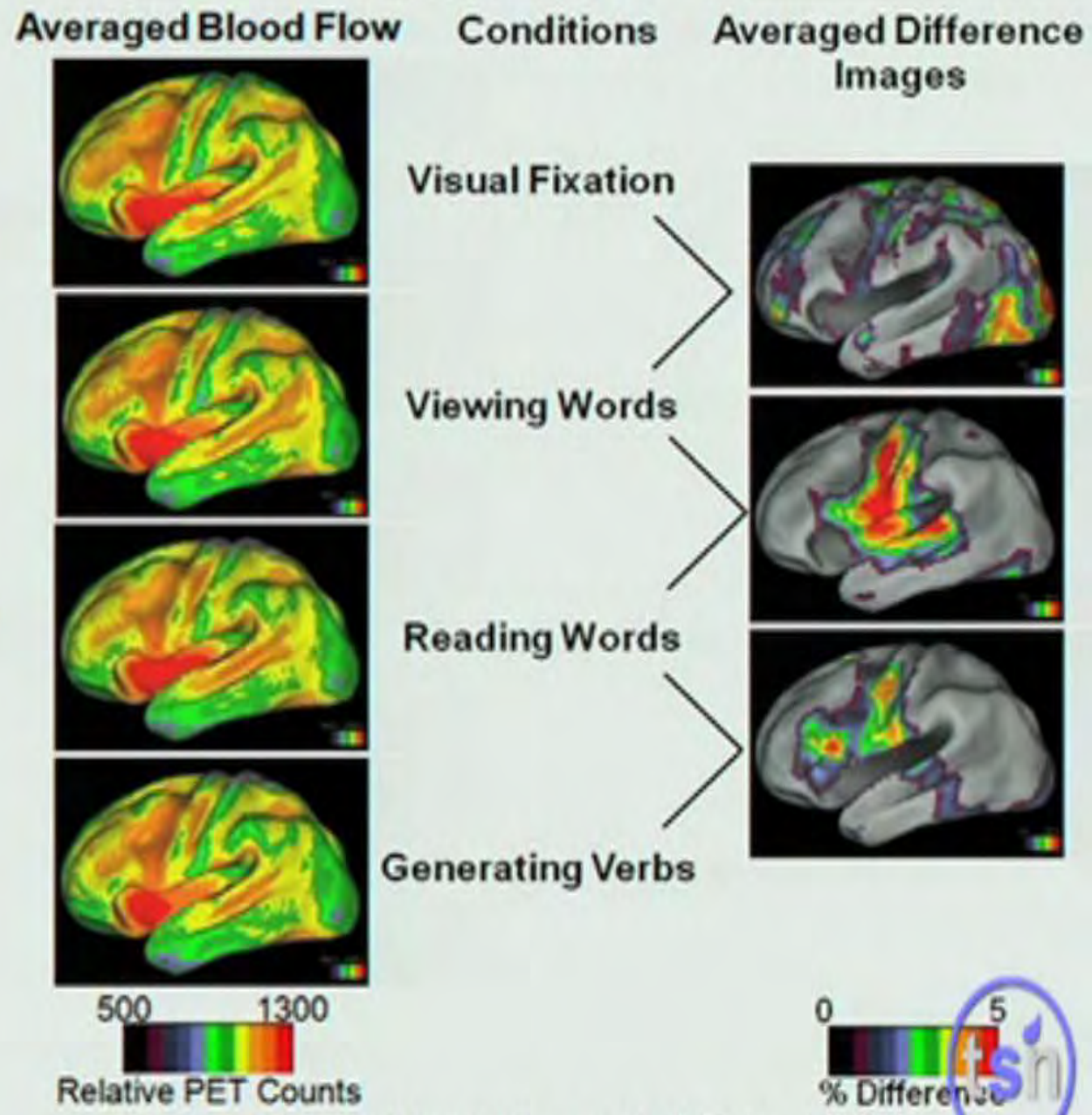


Et bien sûr, c'est toujours **une activité différentielle issue d'une soustraction** entre un état contrôle et l'état de lors d'une tâche.

« Our resting brain is never at rest. »

- Marcus Raichle

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>

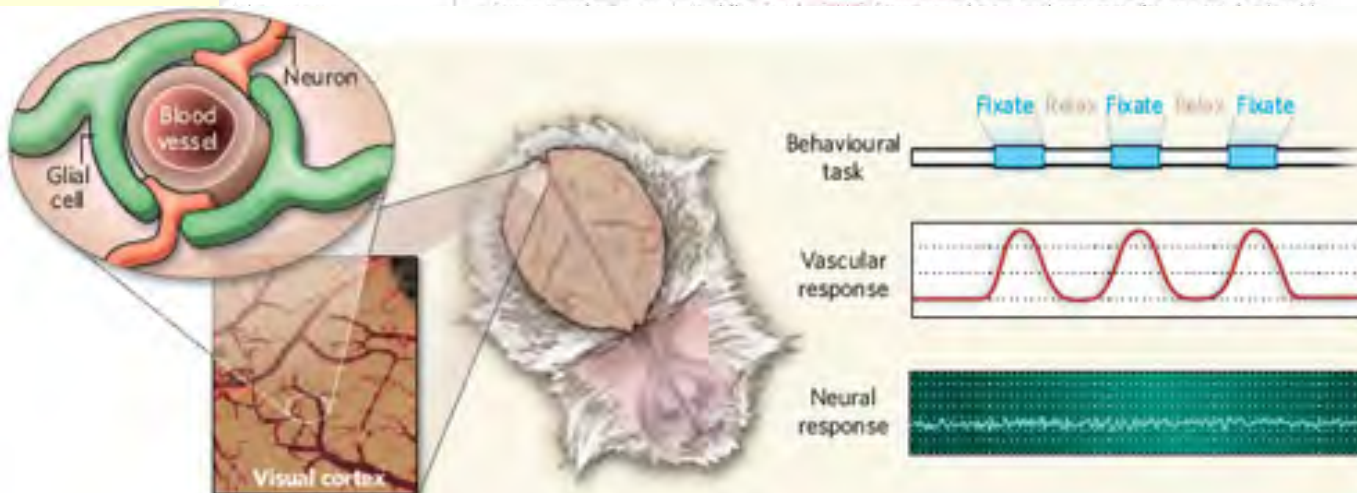
Limites de l'IRMf :

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

The screenshot shows the Nature journal website interface. At the top, the 'nature' logo is displayed in white on a red background, with the tagline 'International weekly journal of science'. A search bar is visible on the right. Below the header, the breadcrumb trail reads 'Journal home > Archive > Letter > Full Text'. On the left side, there is a navigation menu with options like 'Journal home', 'Advance online publication', 'Current issue', 'Nature News', and 'Archive' (which is highlighted in red). The main content area features the title of the article, 'Anticipatory haemodynamic signals in sensory cortex not predicted by local neuronal activity', and the authors' names, 'Yevgeniy B. Sirotni¹ & Aniruddha Das^{1,2,3,4,5,6}'. Below the authors' names, a list of affiliations is provided, including the Department of Neuroscience, Department of Psychiatry, and the W. M. Keck Center on Brain Plasticity and Cognition.

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

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



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

- on peut manquer des choses, par exemple un petit groupe de neurones étant actifs dans une zone plus large qui ne l'est pas; ou l'inverse, un petit groupe de neurones moins actifs dans une zone très activée.
- on doit faire les expériences sur plusieurs sujets et utiliser des **méthodes statistiques** pour identifier ce qui est significatif dans les fluctuations observées. Cela veut donc dire qu'il y aura plusieurs façons d'analyser les données et de les interpréter. Ce qui fait dire à certains que : "If you try them all, you're going to find something"...
- ces méthodes statistiques peuvent être mal comprises ou mal utilisées;
Par exemple :

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

Katherine Button et al.

Nature Reviews Neuroscience, avril **2013**

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

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>

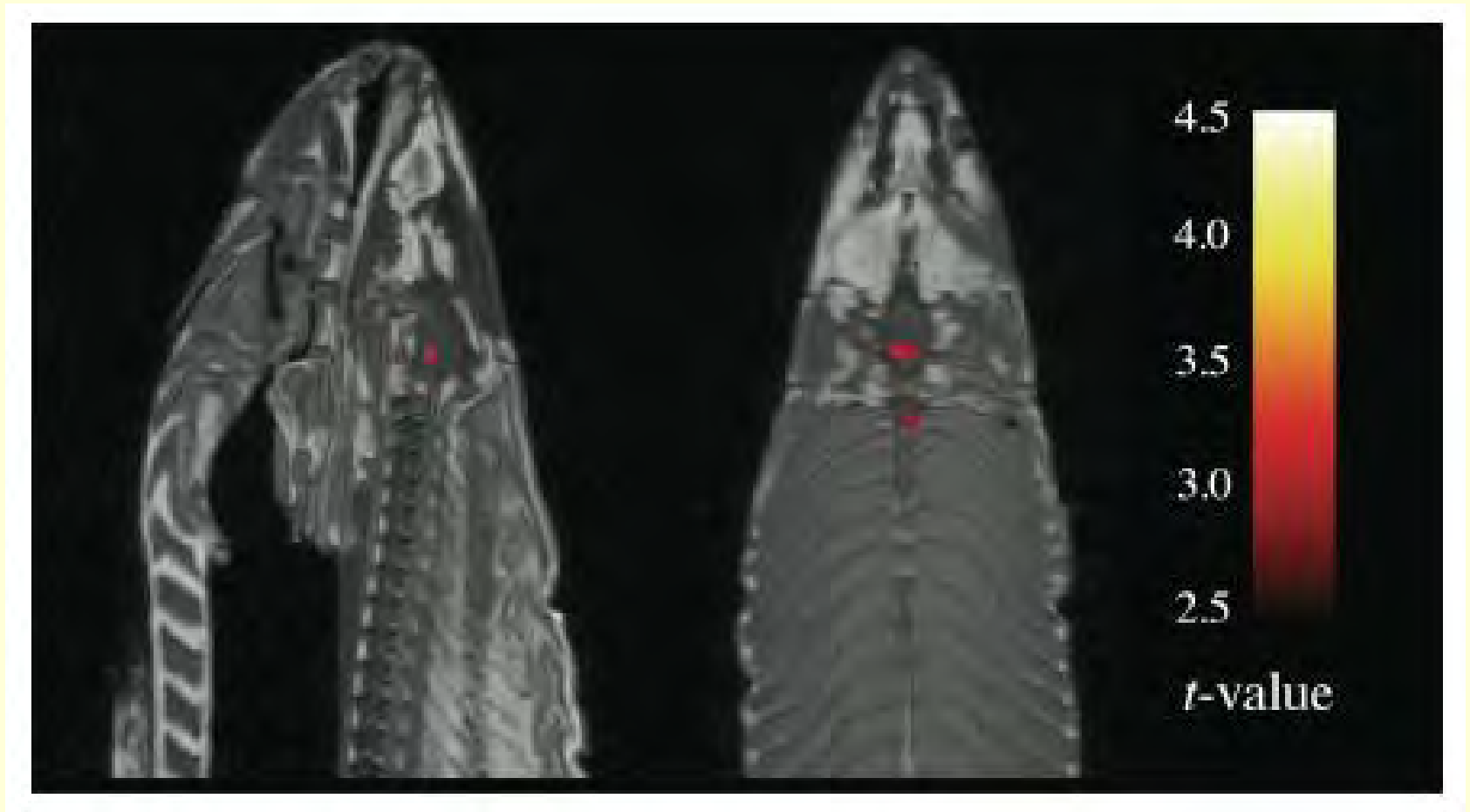
Software faults raise questions about the validity of brain studies

<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 :

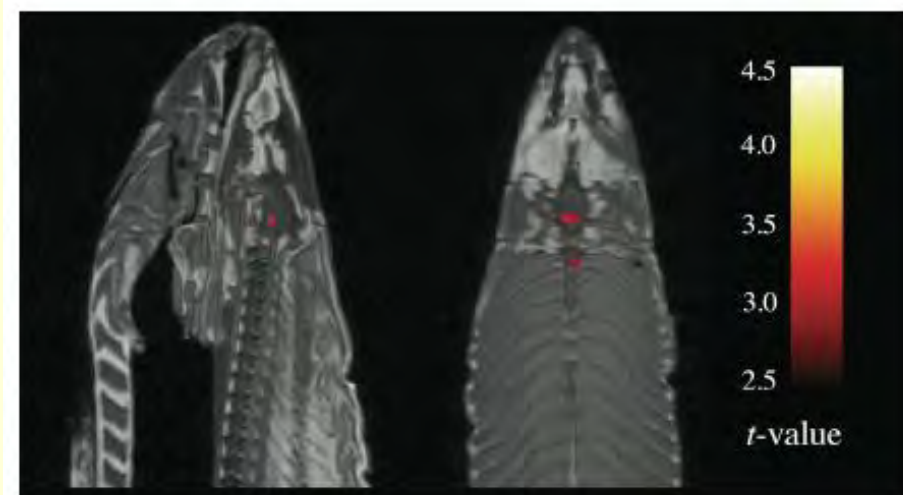


Et finalement :

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...



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

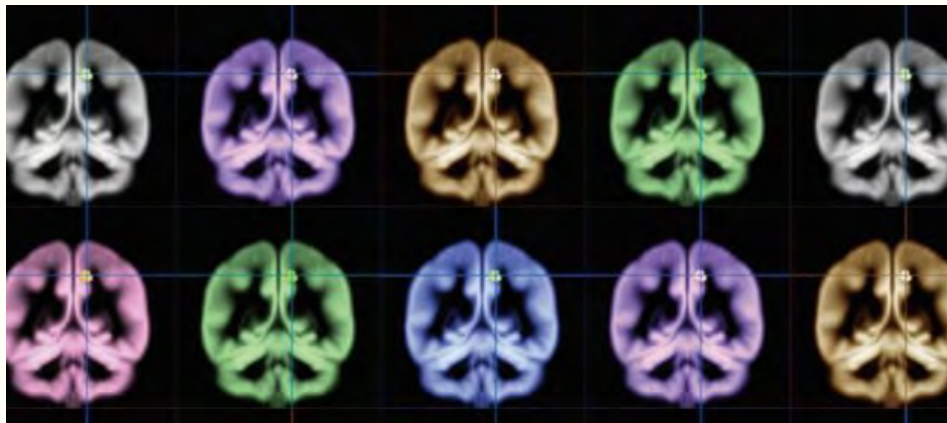
Japon - Des scientifiques ont annoncé avoir découvert l'aire du cerveau contrôlant la jalousie.

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.

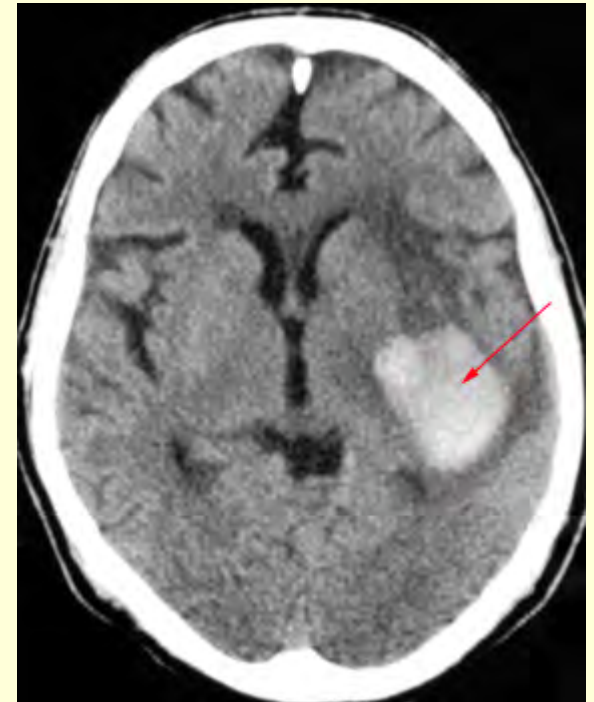


Scientists have located the happiness center in the brain

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.

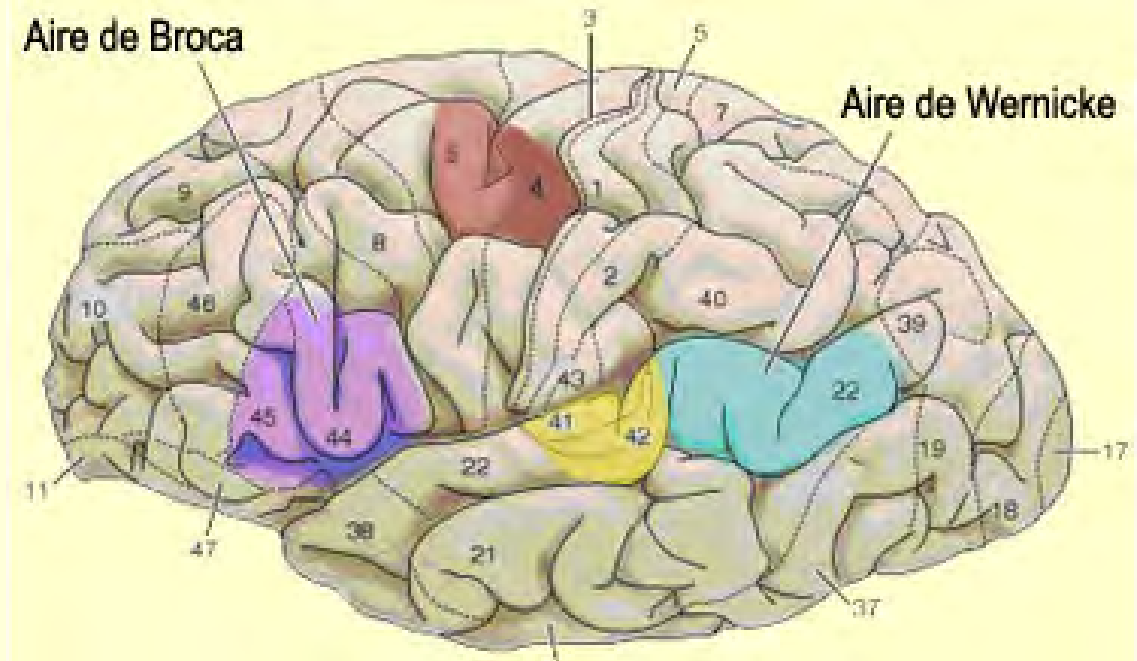
Since one takes a step back and considers statistical analyses of **vast collections of neuroimaging results**, the picture is far less clear [...].

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**.

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:

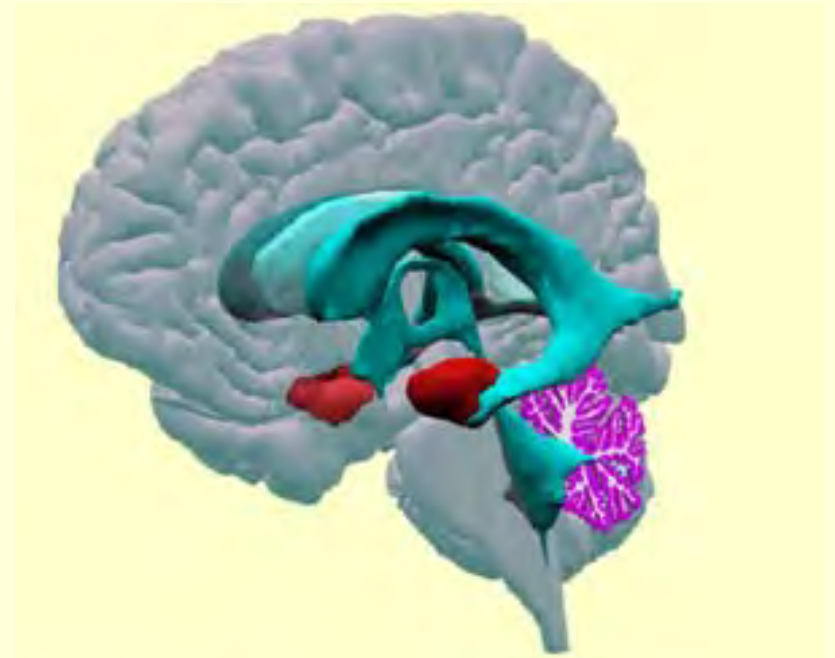
regions used and reused for a variety of purposes in different circumstances.





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

Amygdale = peur ?



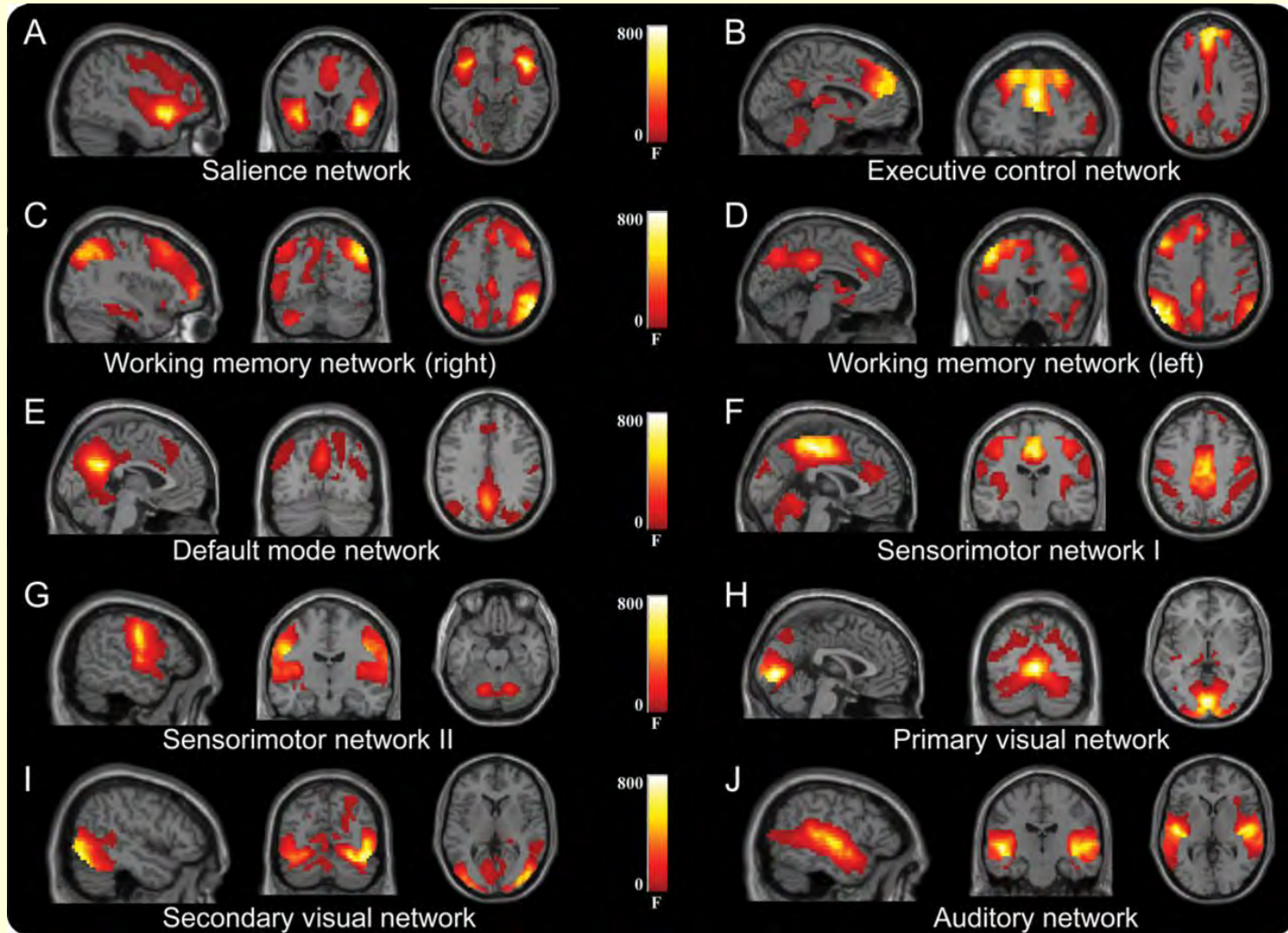


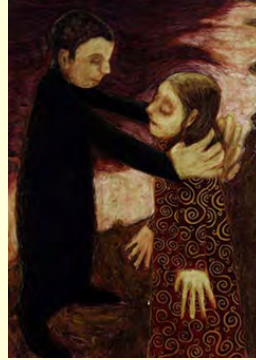
Amygdale ~~X~~ peur ?

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_Phenology_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 :

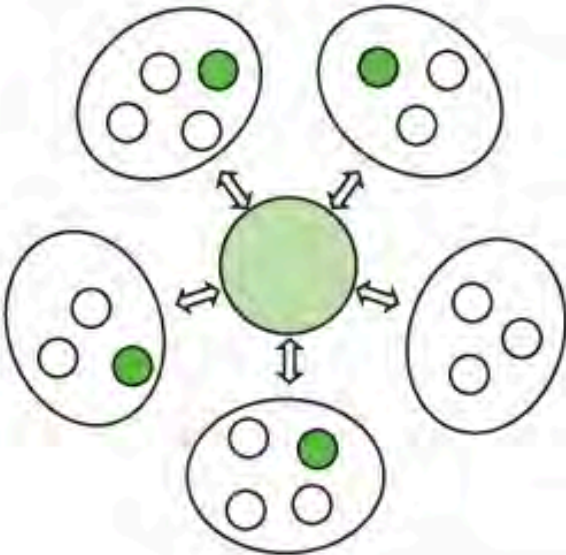
One coalition has to **arise that dominates** the dynamics of the brain, shuts out all rivals and dictates the animal's behaviour.

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

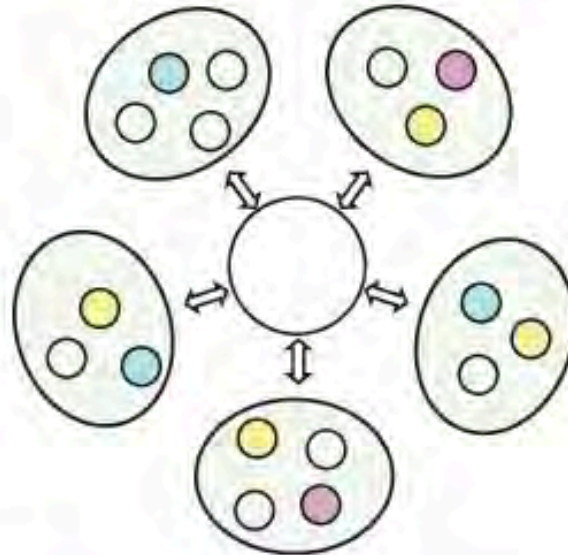
When events move on, it will be **supplanted by a successor**.

Comme l'hypothèse du « **connective core** » de Murray Shanahan, par exemple.

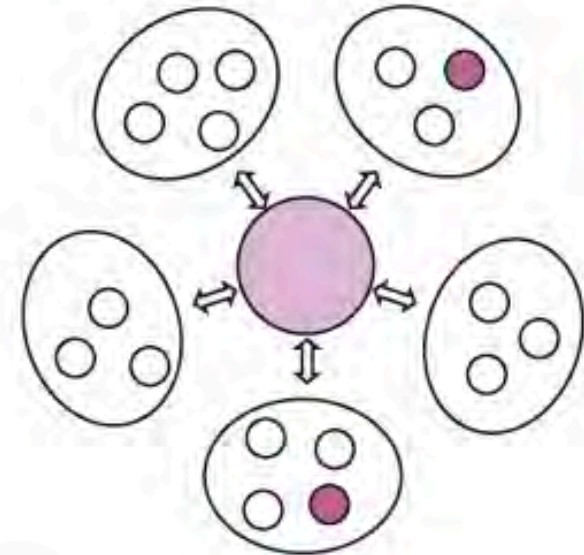
broadcast



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

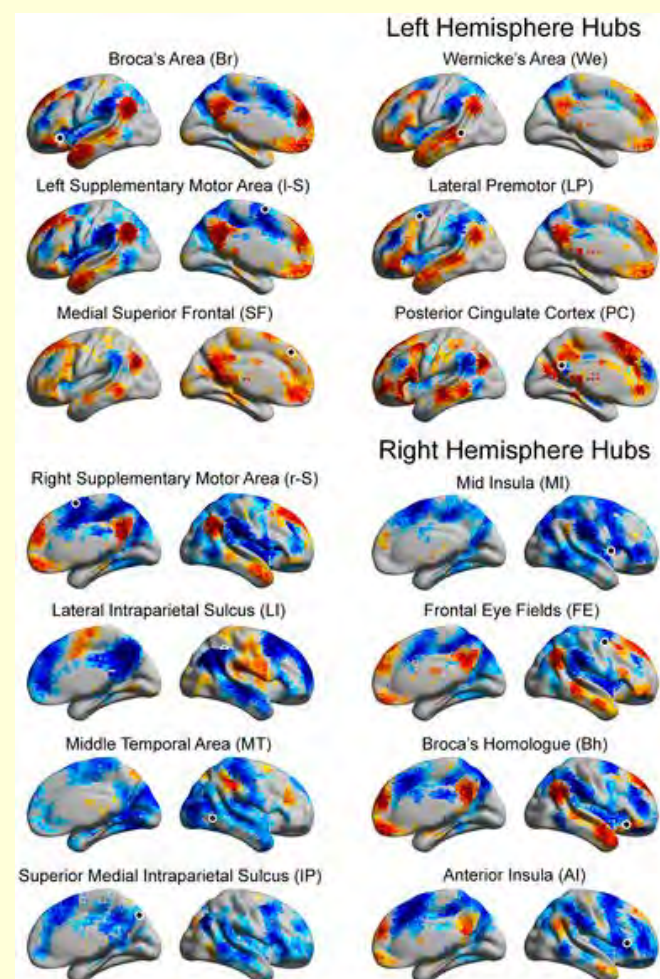
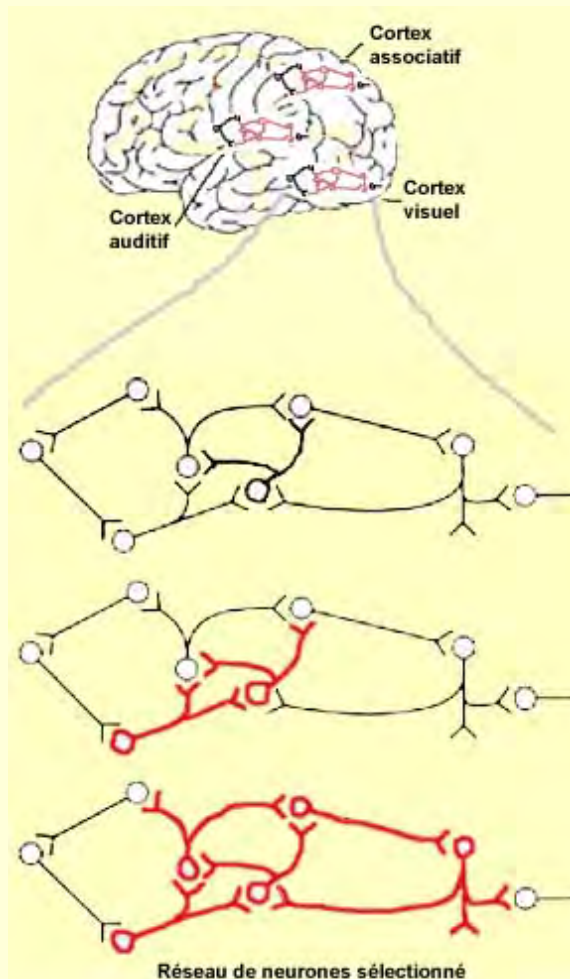
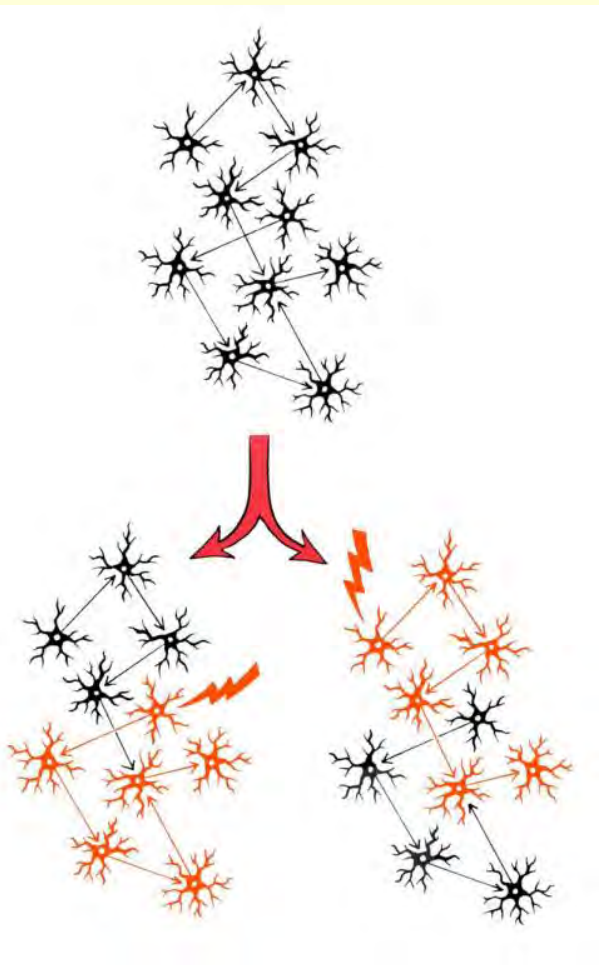


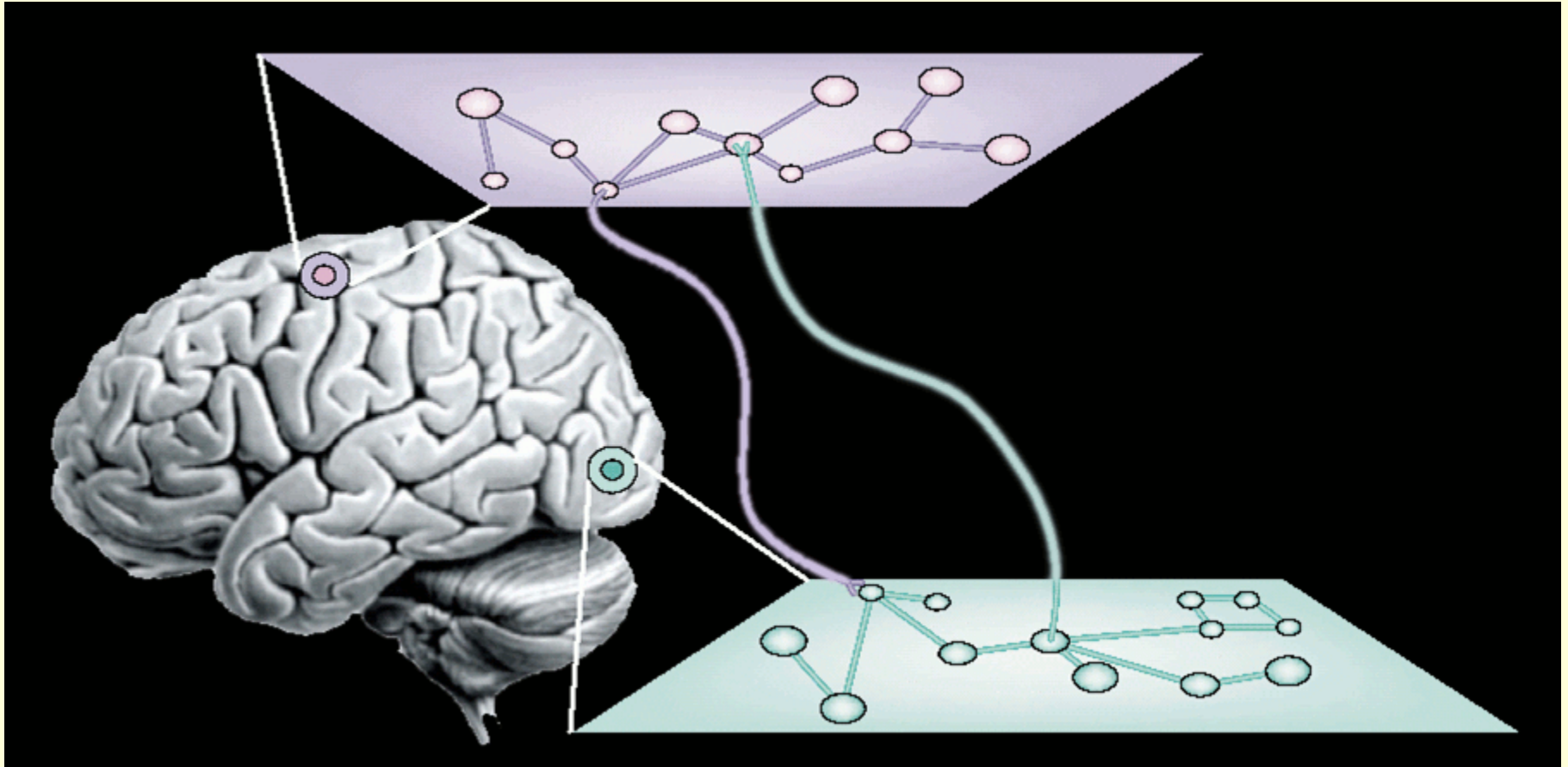
broadcast



serial procession of broadcast states
punctuated by competition

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





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),

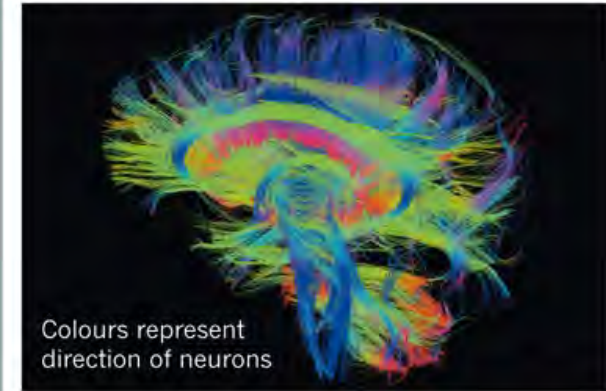
La connectivité fonctionnelle (fcMRI).

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.

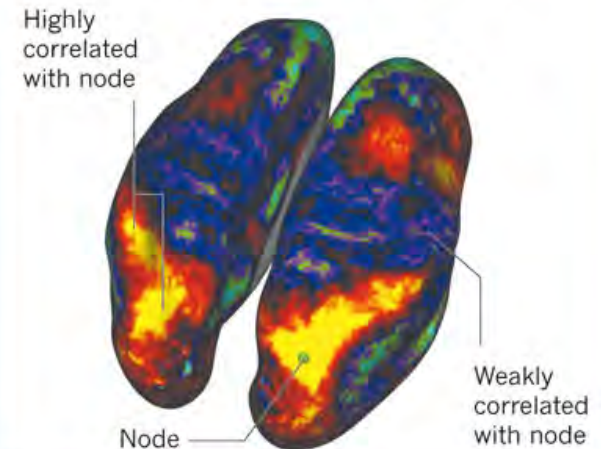
Mapping structure

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.



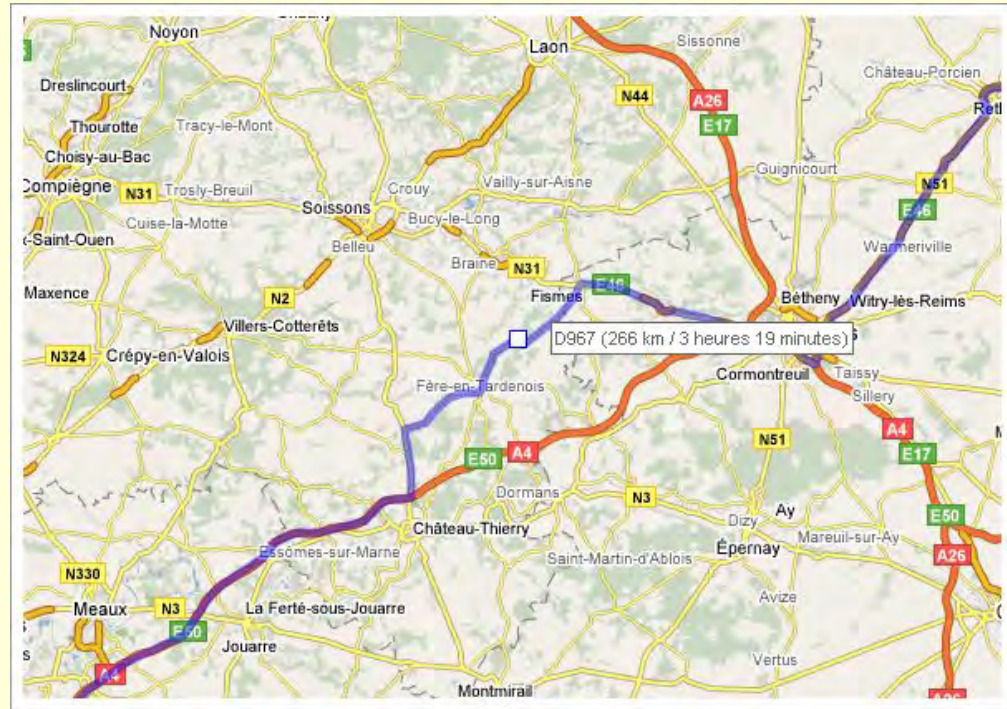
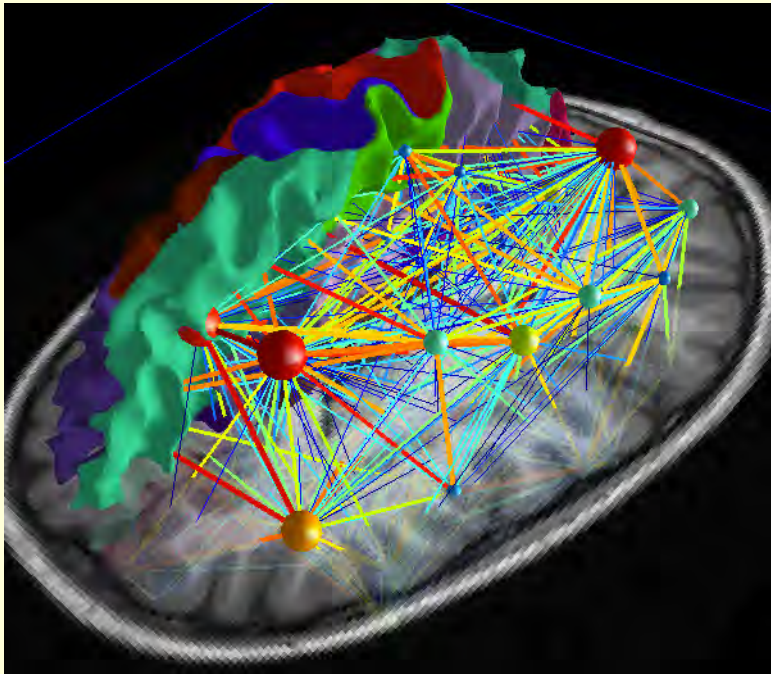
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

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

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

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

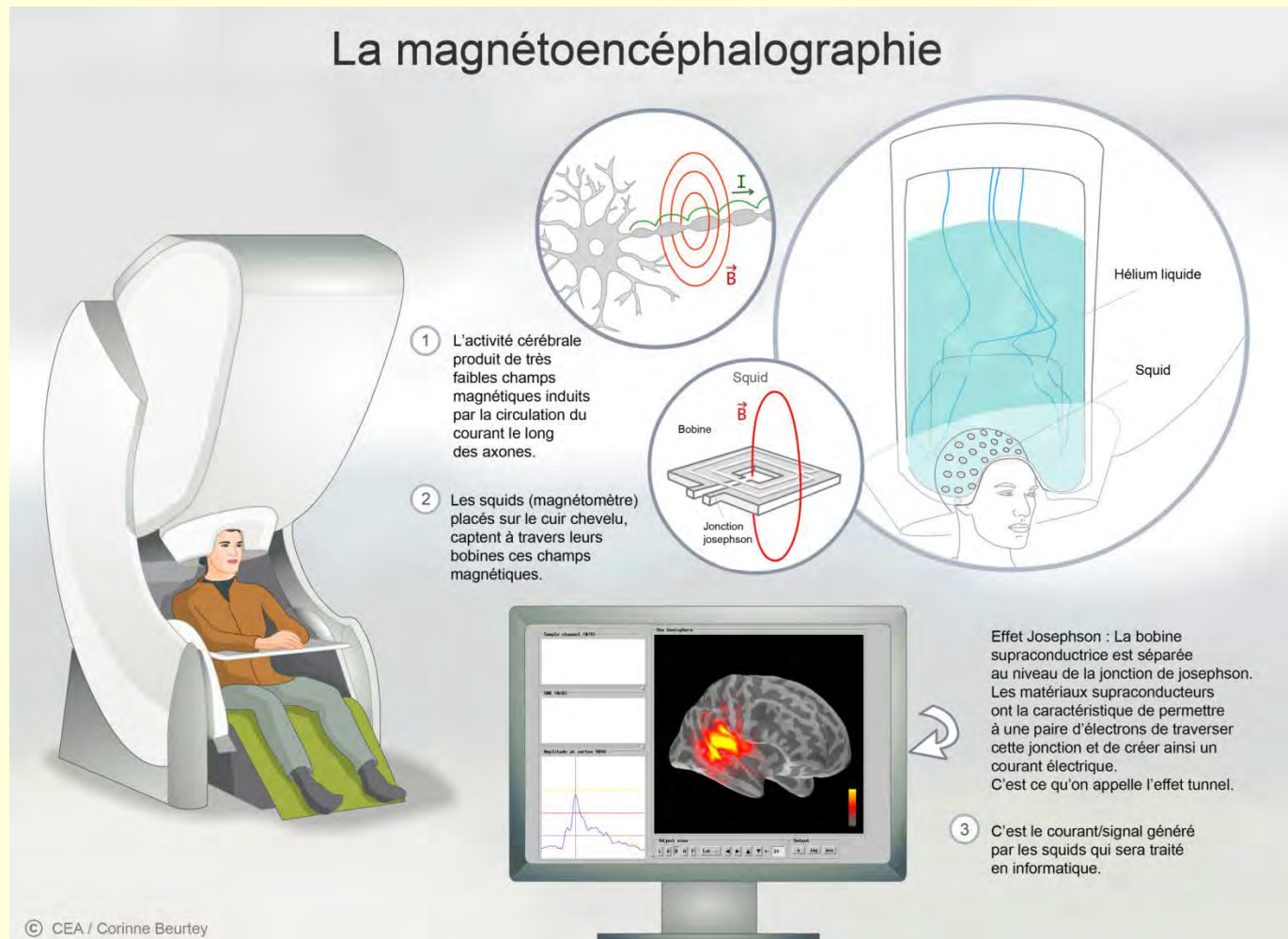
on tente d'identifier des régions qui fluctuent au même rythme et en phase et qui ont ainsi naturellement tendance à « **travailler ensemble** ».



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

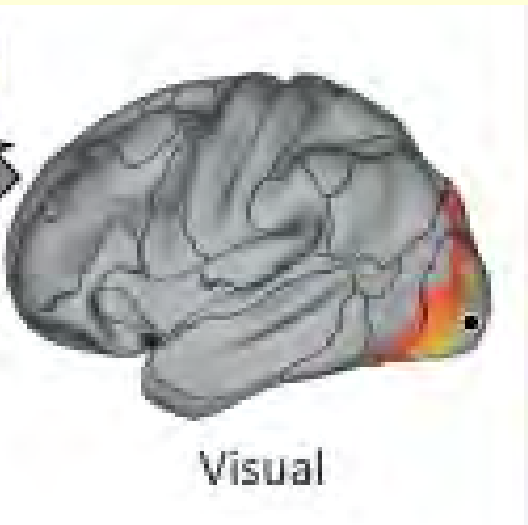
Measuring functional connectivity using MEG: Methodology and comparison with fcMRI

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



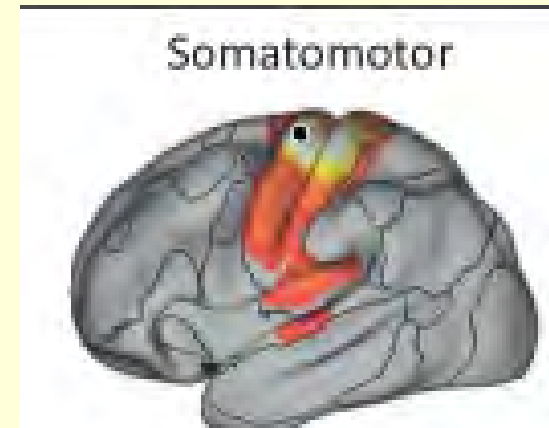
fc-IRM :

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



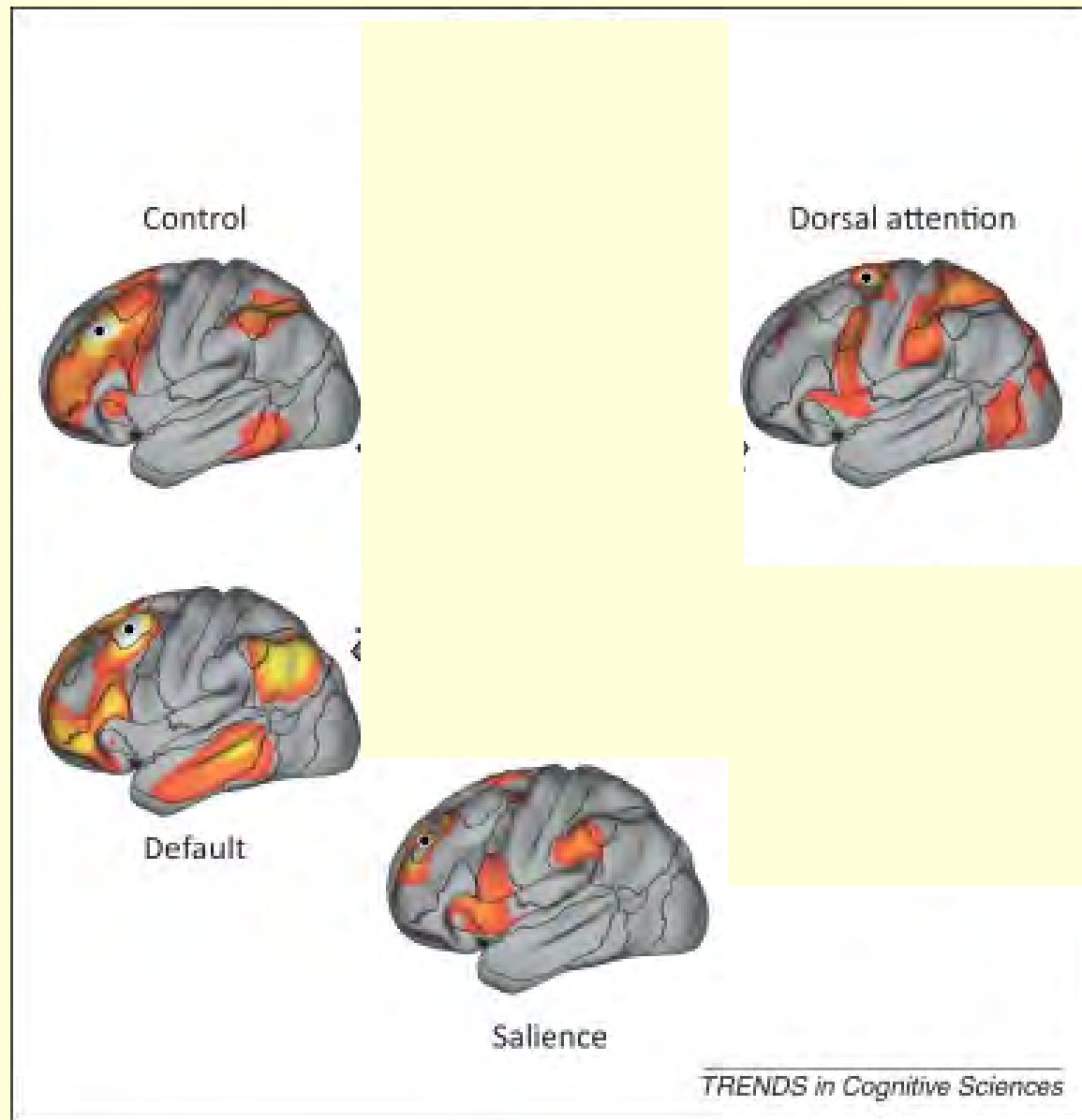
Si la « région semence » est placée dans les zones sensorielles et motrices **primaires**,

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



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

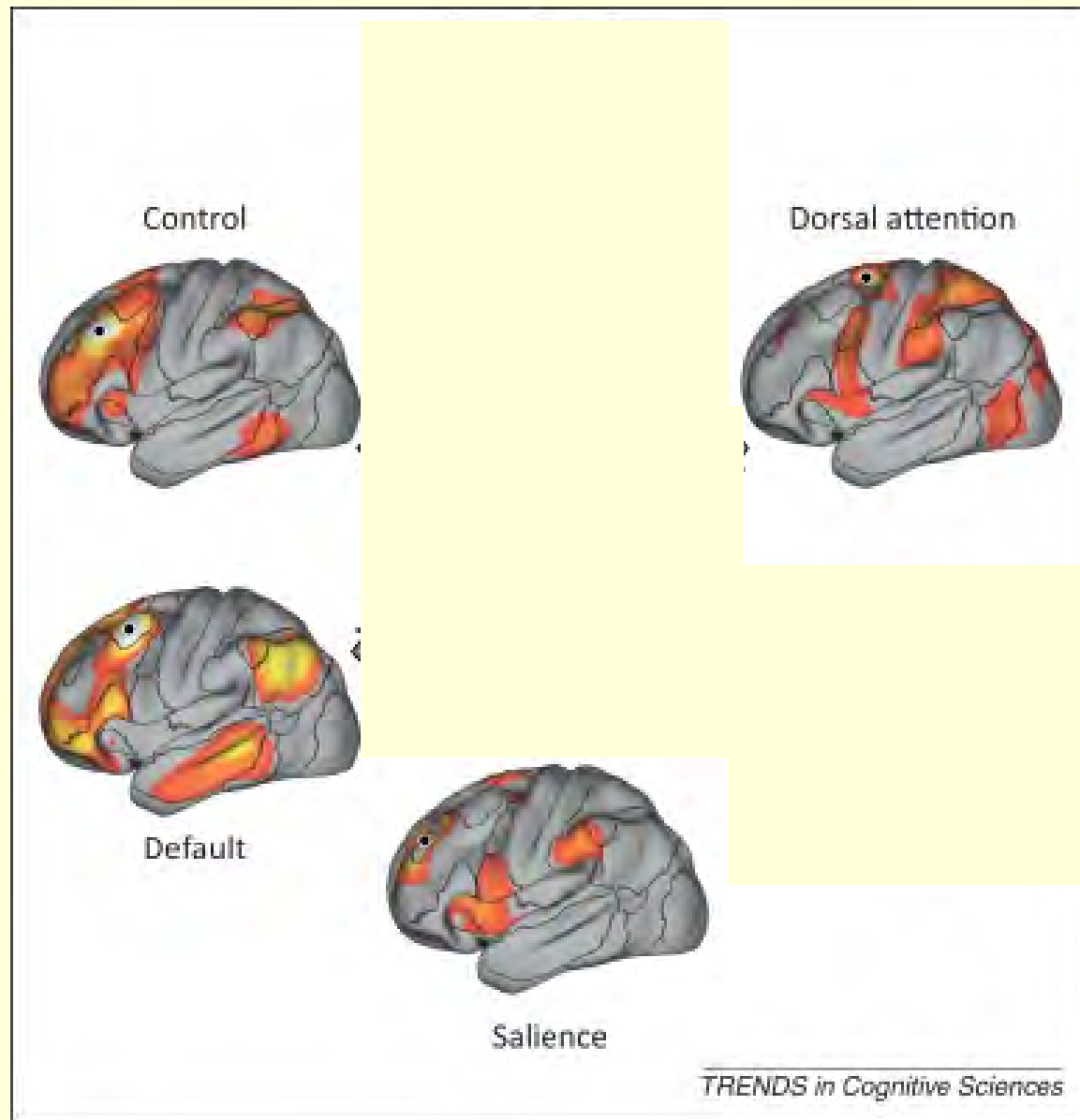
- Ceux-ci possèdent **peu de couplages forts dans les zones sensorielles ou motrices**.
- Ils sont aussi actifs durant des **processus cognitifs de haut niveau**.
- Et ils sont susceptibles **d'entretenir des relations complexes entre eux**.



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**

Plus une tâche peut être considérée comme **nouvelle ou récente d'un point de vue évolutif**, plus ce domaine cognitif utilise des circuits **répartis** dans un réseau plus **large** que les fonction plus anciennes (sensori-motrice, par exemple).

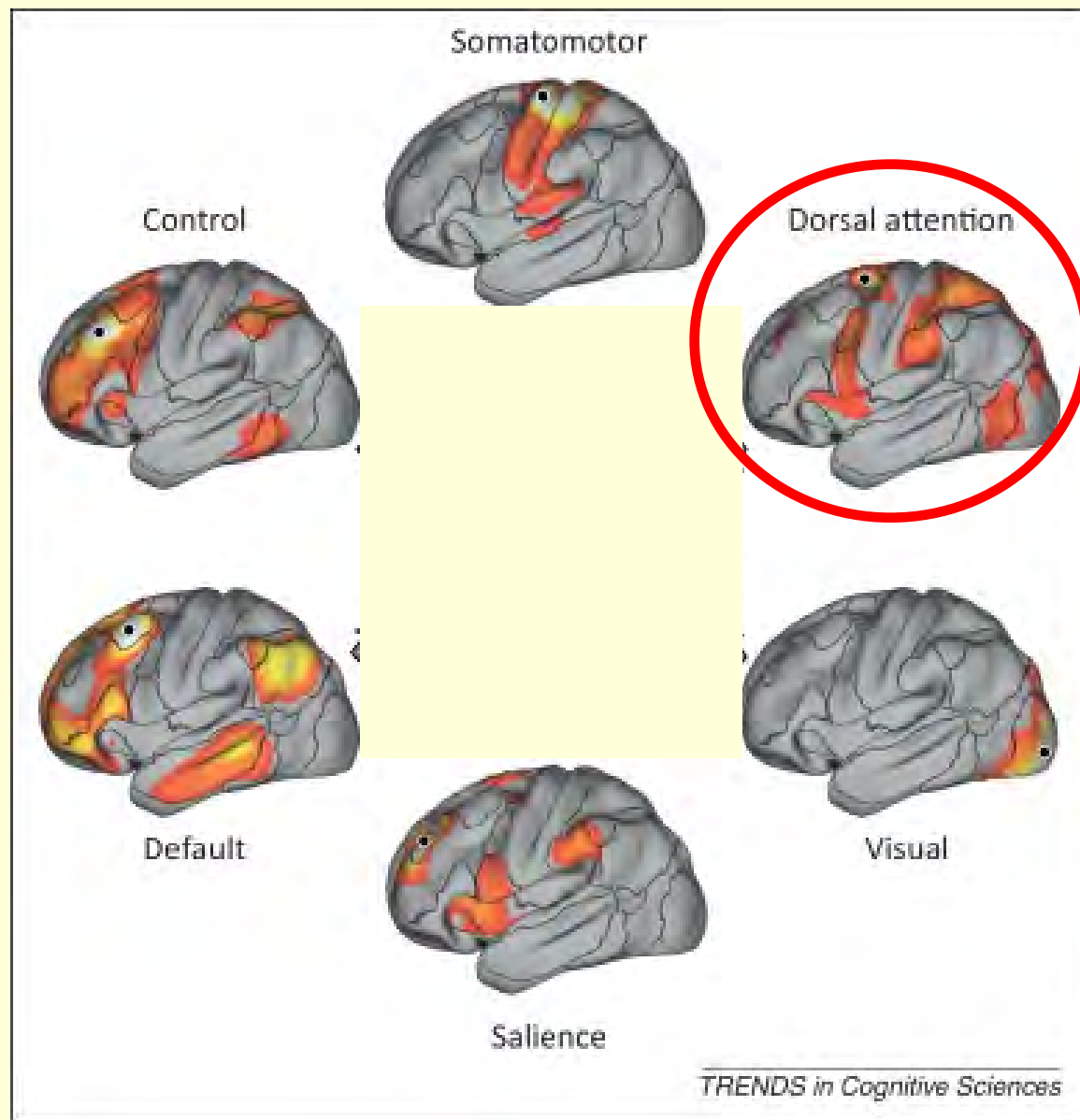
Et les différences entre différents domaines ou tâches cognitives sont marqués surtout par les **différents patterns de coopération entre des circuits partagés** (et beaucoup moins par l'activité au sein d'un circuit donné).



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**

À l'approche classique d'IRMf où les sujets effectuent une tâche cognitive et où les zones colorées indiquent les régions où le signal BOLD augmente d'intensité,

on a donc maintenant une autre approche avec la fcMRI où les sujets ne font aucune tâche cognitive et où les zones colorées montrent plutôt des régions avec des **fluctuations lentes synchrones (ou cohérentes) du signal BOLD.**



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

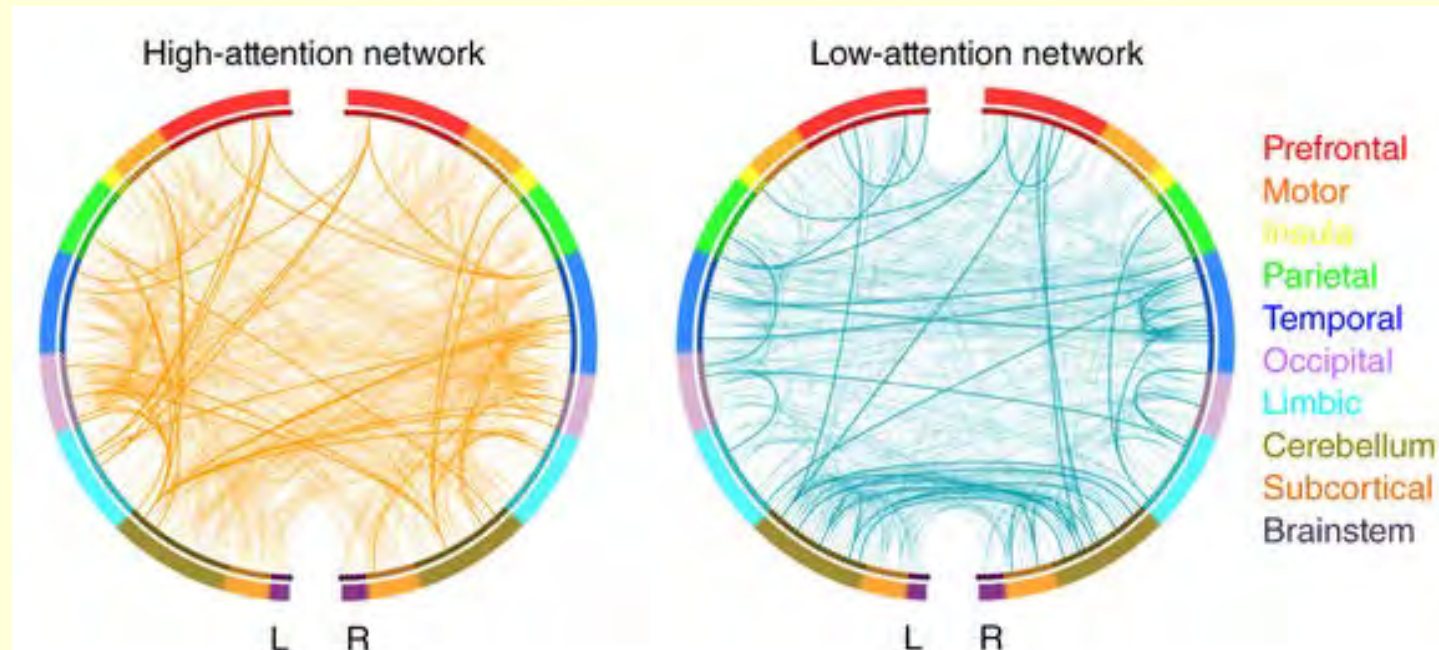
<http://www.ajnr.org/content/21/9/1636.full>

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

A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity

Nature
Neuroscience 19,
165–171 (2016)

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



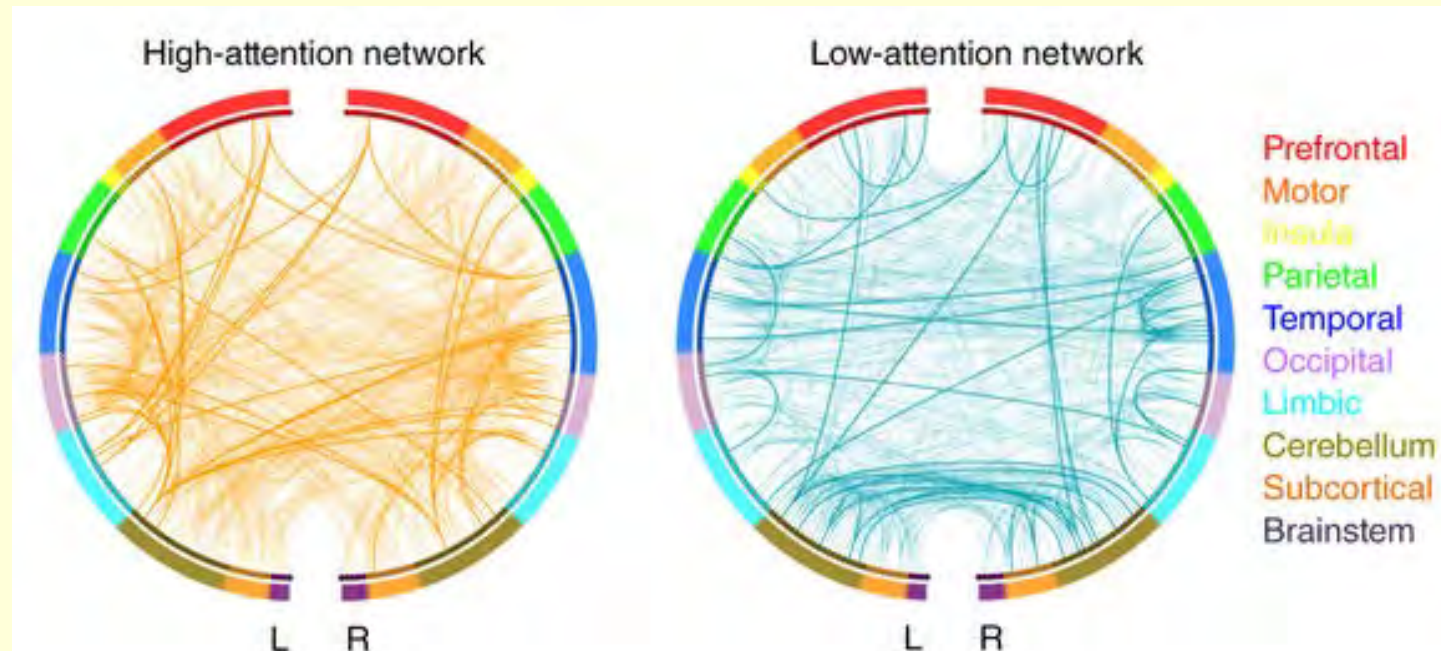
Des modèles construits à partir des patterns de connectivité de cerveau d'individus plus ou moins bons pour soutenir leur attention permettent de prédire les capacités attentionnelles d'un nouvel individu.

Exemple : on analyse le pattern de connectivité fonctionnelle de votre cerveau (quelles régions ont tendance à « travailler ensemble »), et l'on peut vous dire à quel point vous allez être capable de soutenir votre attention dans une tâche d'attention subséquente. Et lorsque vous faites ce genre de tâche, vos résultats confirment la prédiction !

A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity

Nature
Neuroscience 19,
165–171 (2016)

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



Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Lundi, 15 février 2016

Des prédictions étonnantes basées sur la connectivité cérébrale

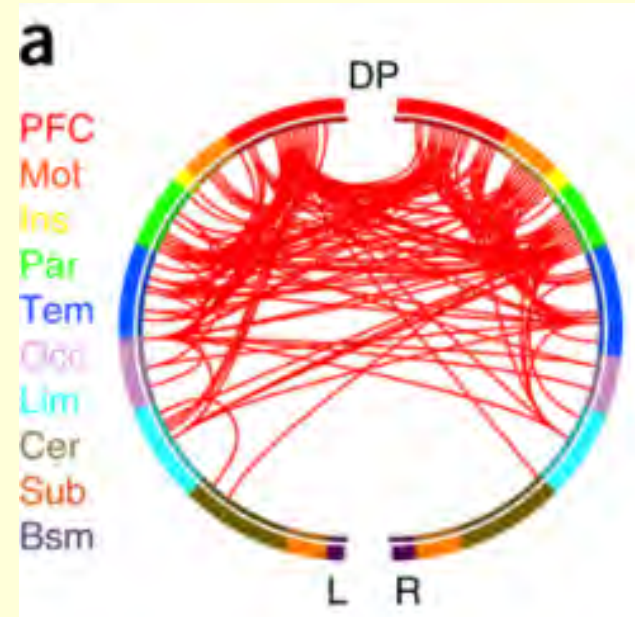
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2016/02/15/5126/>

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

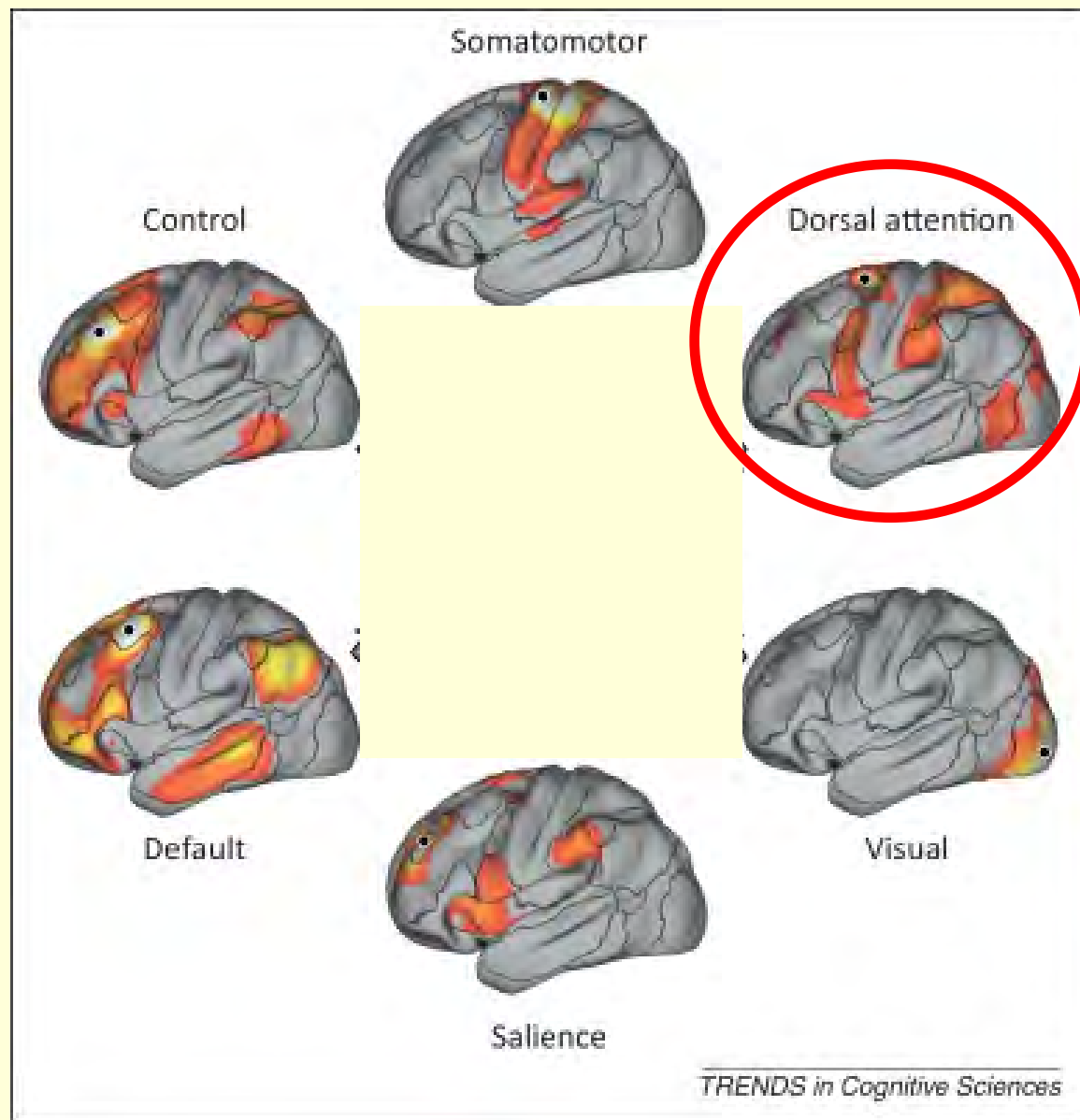
Nature Neuroscience 18, 1664–1671 (2015)

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

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



On va maintenant s'intéresser à un autre réseau...

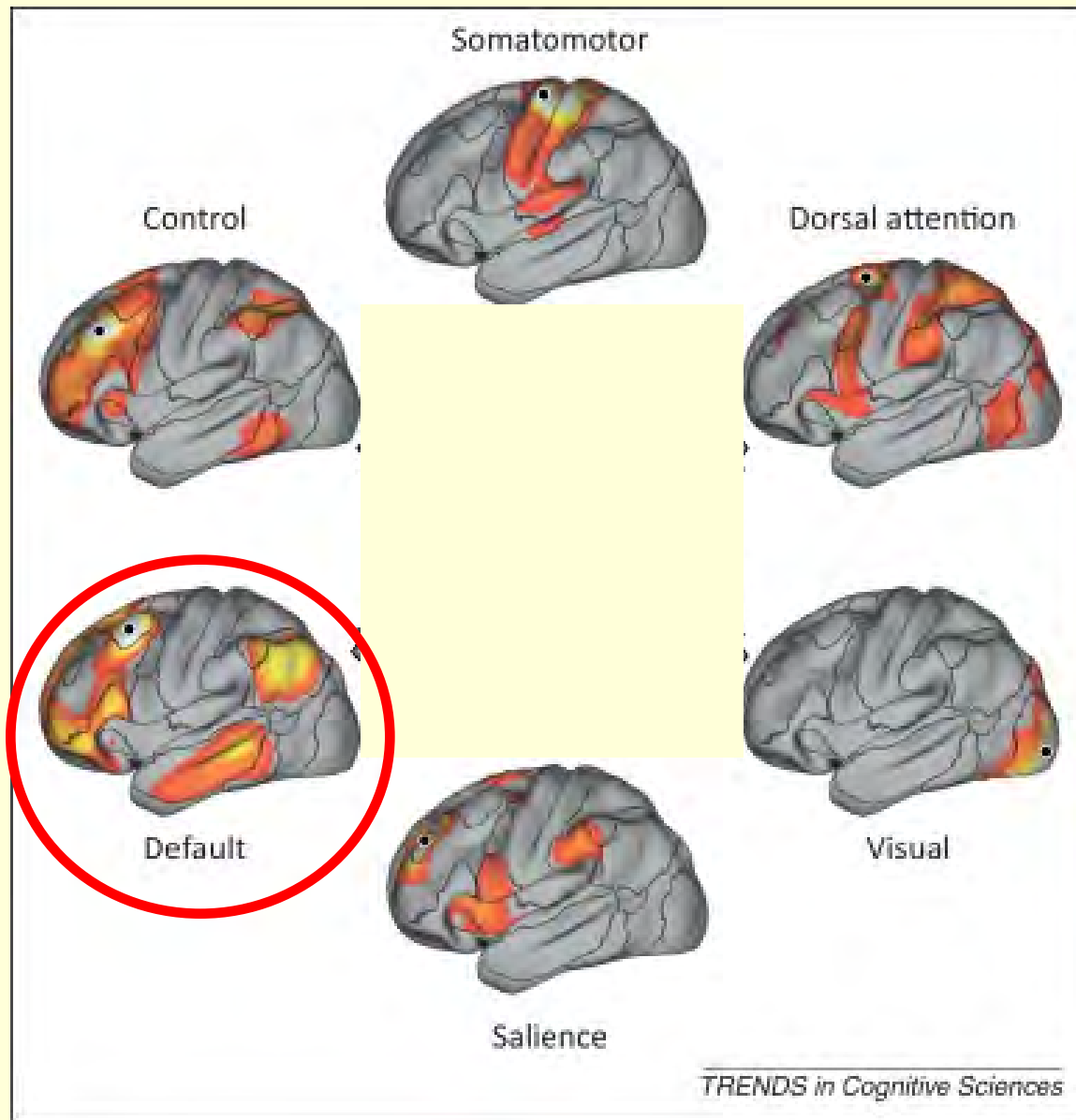


The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, [13 November 2013](#)

L'un de ces réseaux, appelé réseau du mode par défaut,

est particulier en ce sens que son activité est **élevée** chez le sujet au **repos**

et elle diminue dès qu'il s'engage dans n'importe quelle tâche cognitive.



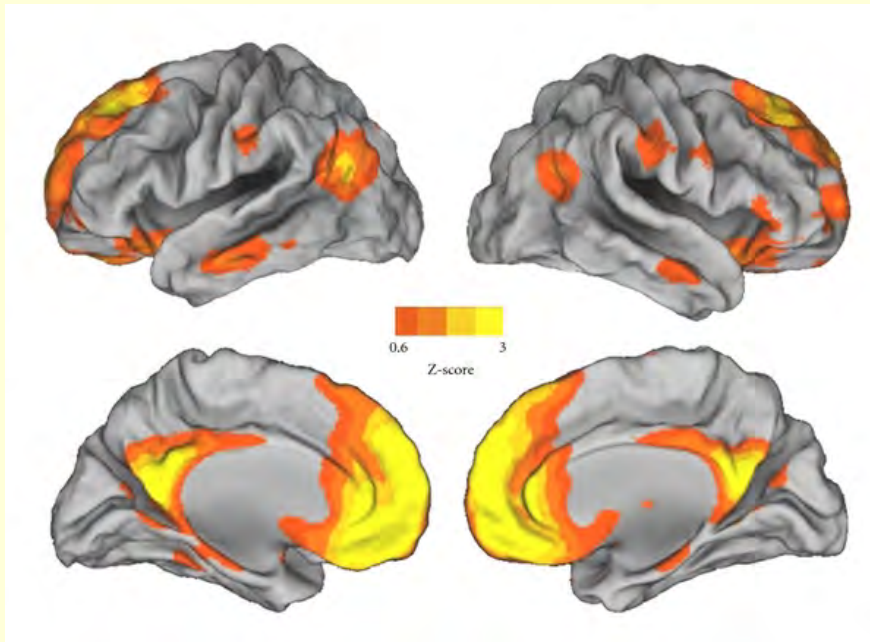
The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, **13 November 2013**

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

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

au lieu de voir ces régions comme étant simplement désactivées durant les tâches, ils les ont considéré comme étant **plus actives** quand les sujets ne faisaient **aucune tâche**, leur donnant ainsi une raison d'être !

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



Two views of brain function

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

Common blood flow changes across visual tasks:

II. Decreases in cerebral cortex.
Shulman, G.L. et al. J. Cogn. Neurosci. **1997**; 9: 648–663

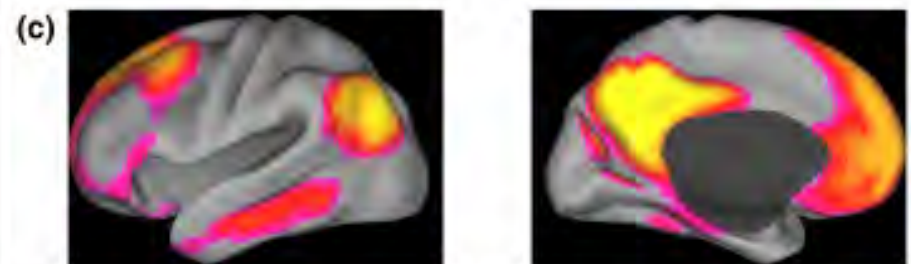
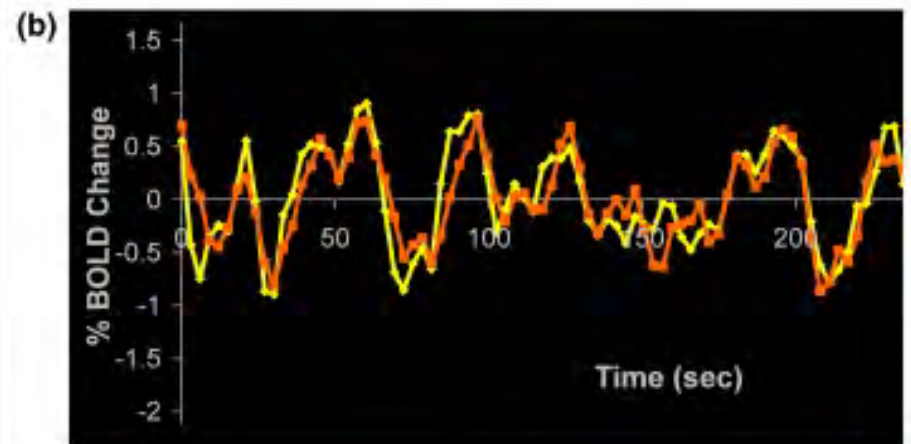
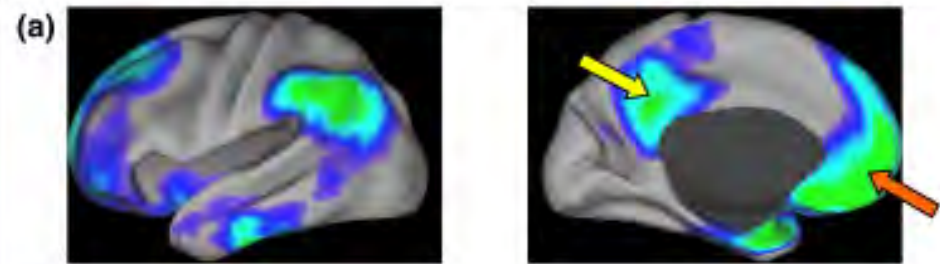
A default mode of brain function.
Raichle, M.E. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **2001**; 98: 676–682

En (b), activité temporelle des
patterns de cohérence avec
comme régions de référence
(en (a)) :

le **cortex cingulaire postérieur**
(flèche jaune)

et le **cortex préfrontal ventral
médian** (flèche orange)

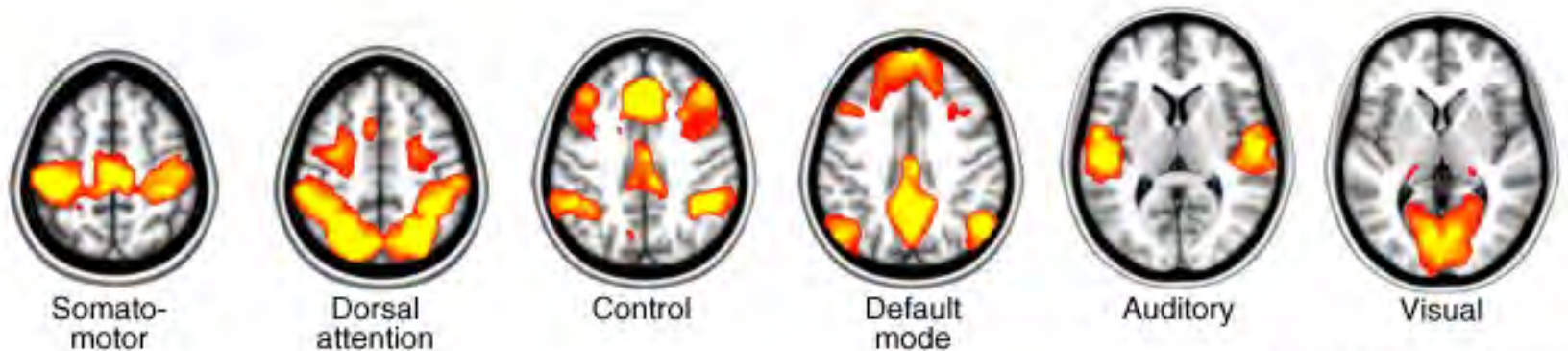
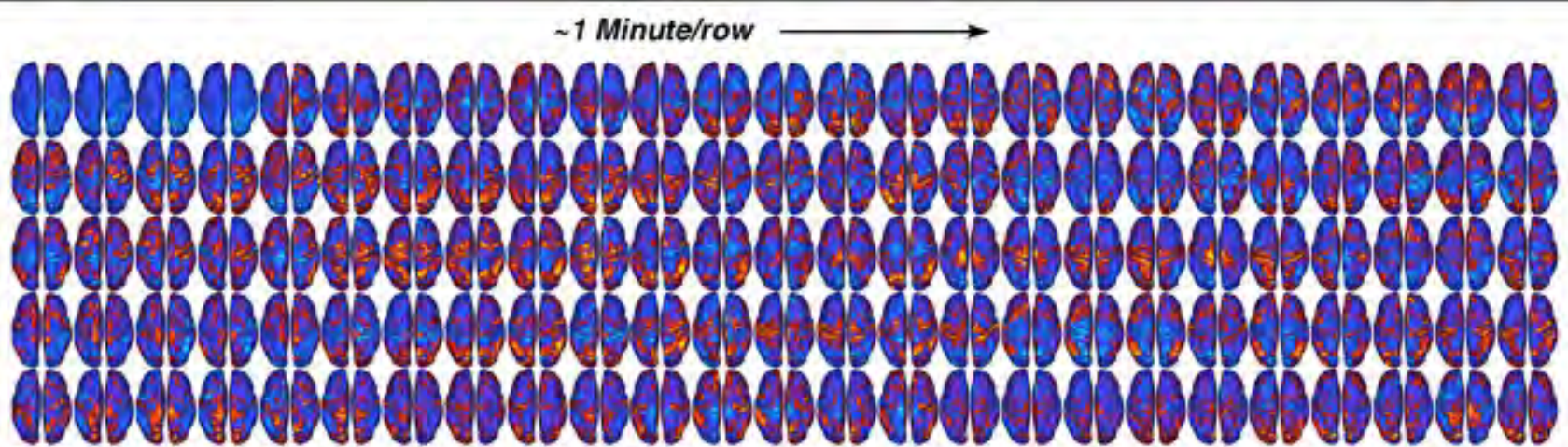
Le tracé très cohérent reflète
aussi le pattern de cohérence de
tout le réseau du mode par défaut
(en (c)).



TRENDS in Cognitive Sciences

Two views of brain function
Marcus Raichle (2010)

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



TRENDS in Cognitive Sciences

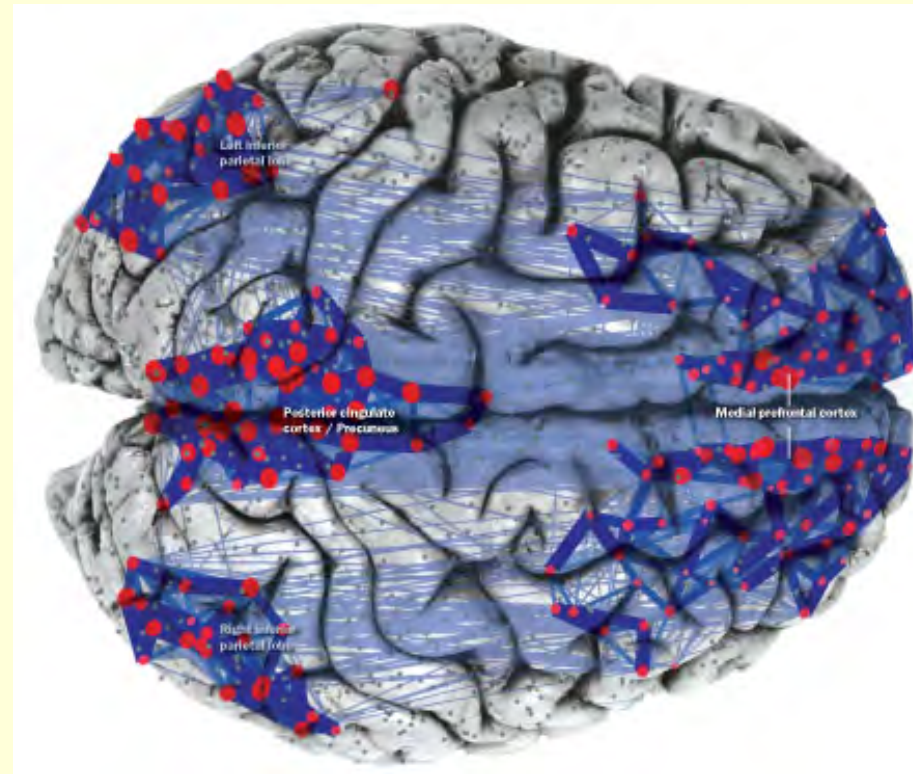
Des patterns similaires de cohérence statistique à l'état de repos ont maintenant été documentés dans la plupart des systèmes corticaux et de leurs connexions sous-corticales.

En haut : exemple d'acquisition des données sur 5 minutes (chaque image = 2,3 secondes), donc processus plutôt lent.

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.

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

The default mode network (DMN) has been shown to increase its activity during the absence of external stimulation, and hence was historically assumed to disengage during goal-directed tasks.

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

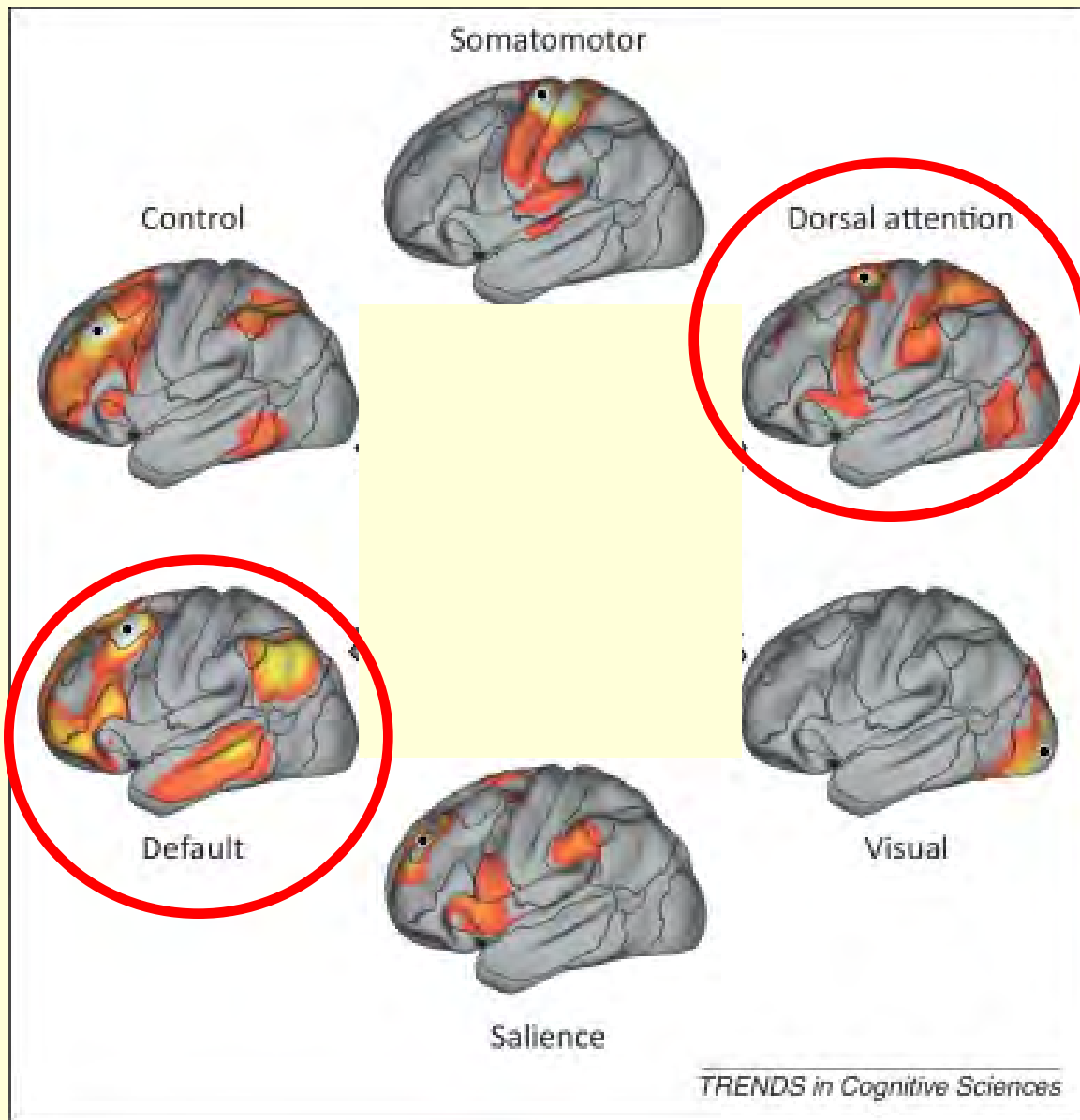
We provide robust evidence for this network's active **contribution to working memory** by revealing dynamic reconfiguration in its interactions with other networks and offer an explanation within the **global workspace theoretical framework**.

These promising findings may help redefine our understanding of the exact DMN role in human cognition.

Default Mode Dynamics for Global Functional Integration

Deniz Vatansever, David K. Menon, Anne E. Manktelow, Barbara J. Sahakian, and Emmanuel A. Stamatakis. *The Journal of Neuroscience*, 18 November 2015, 35(46): 15254-15262;

<http://www.jneurosci.org/content/35/46/15254.full>



Why Do Our Minds Wander?

June 17, 2016

Alva Noë

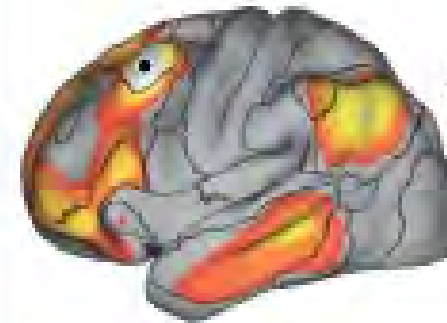
http://www.npr.org/sections/13.7/2016/06/17/481977405/why-do-our-minds-wander?utm_campaign=storyshare&utm_source=facebook.com&utm_medium=social

Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Le réseau cérébral du mode par défaut

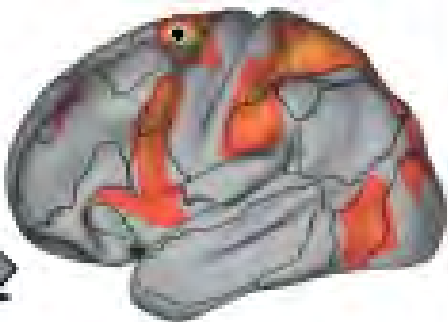
<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2012/03/19/le-reseau-cerebral-du-mode-par-defaut/>

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



Default

Dorsal attention



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

Et c'est ce que l'on observe :

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

indiquant que le cerveau essaie continuellement de trouver un équilibre entre l'attendu et l'imprévisible.

Two views of brain function
Marcus Raichle
(2010)

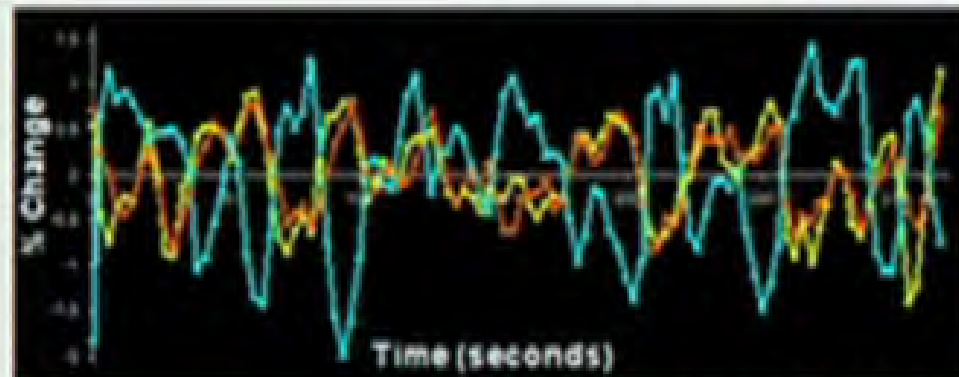
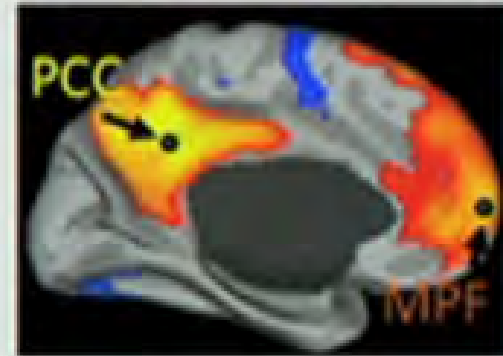
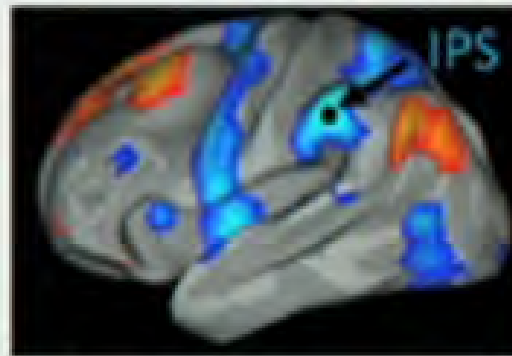
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2810%2900029-X>



Dorsal Attention Network



Default Mode Network

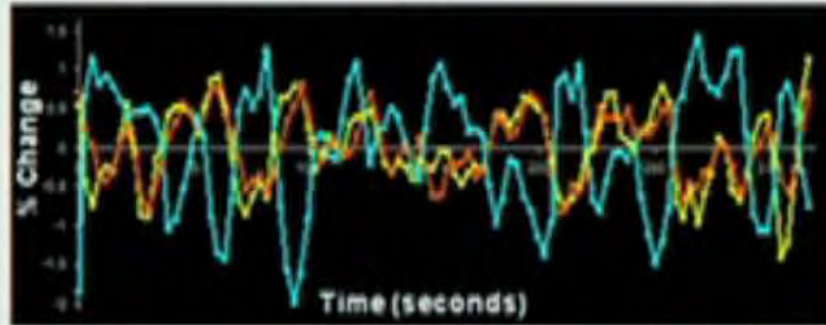
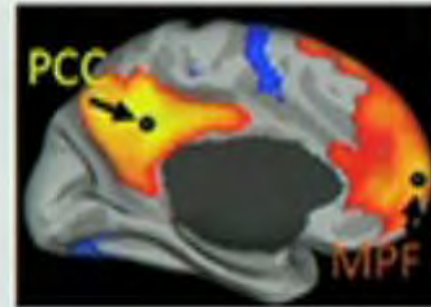
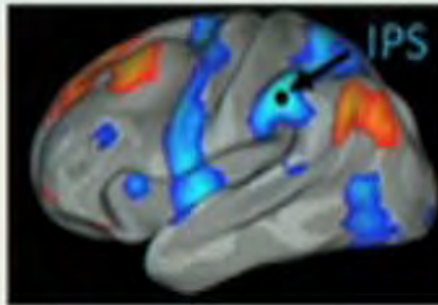


Fox et al (2005) PNAS

« 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.

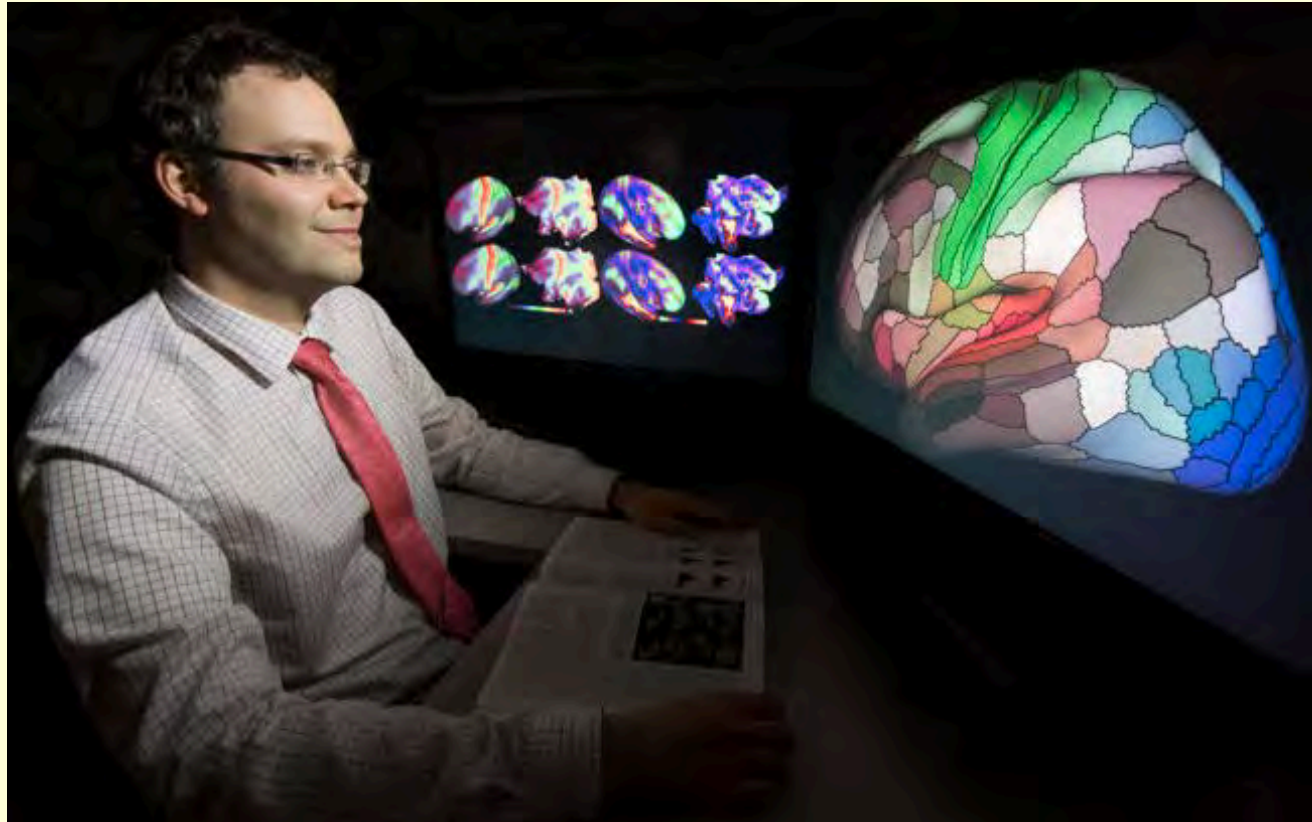
[Liston C](#)¹, [Chen AC](#)², [Zebley BD](#)³, [Drysdale AT](#)⁴, [Gordon R](#)⁴, [Leuchter B](#)⁴, [Voss HU](#)⁵, [Casey BJ](#)⁴, [Etkin A](#)², [Dubin MJ](#)⁴. Biol Psychiatry. 2014 Oct 1;76(7):517-26. doi: 10.1016/j.biopsych.2014.01.023. Epub **2014 Feb 5**.

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

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

A multi-modal parcellation of human cerebral cortex.

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



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

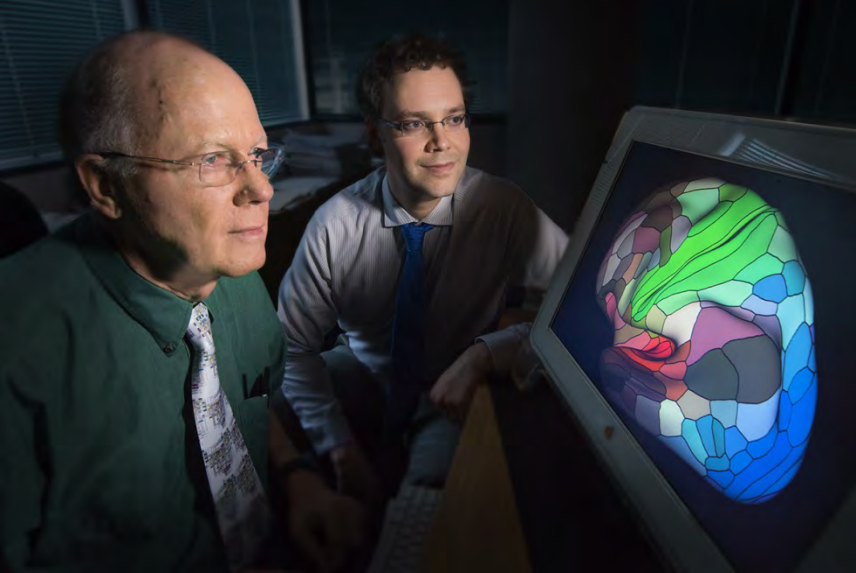
**Cortical
brain maps
at the
highest
resolution
to date**

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

July 20, **2016**

**Scientists just
identified 97
brand-new
regions in our
brains**

<http://www.sciencealert.com/scientists-just-identified-almost-100-new-regions-in-the-brain-s-cerebral-cortex>



En se basant sur des données du [Human Connectome Project](#), ils ont pu caractériser **180 régions cérébrales par hémisphère** délimitées par des changements nets dans la cytoarchitecture, la fonction, la connectivité et/ou la topographie. Cela fait donc 97 nouvelles régions en plus des 83 déjà connues dans la littérature scientifique !

“**Architectural** measures of relative cortical myelin content and cortical thickness were derived from T1-weighted (T1w) and T2-weighted (T2w) structural Images.

Cortical **function** was measured using task functional MRI (tfMRI) contrasts from seven tasks.

Resting-state functional MRI (rfMRI) revealed functional **connectivity** of entire cortical areas plus topographic organization within some areas.”

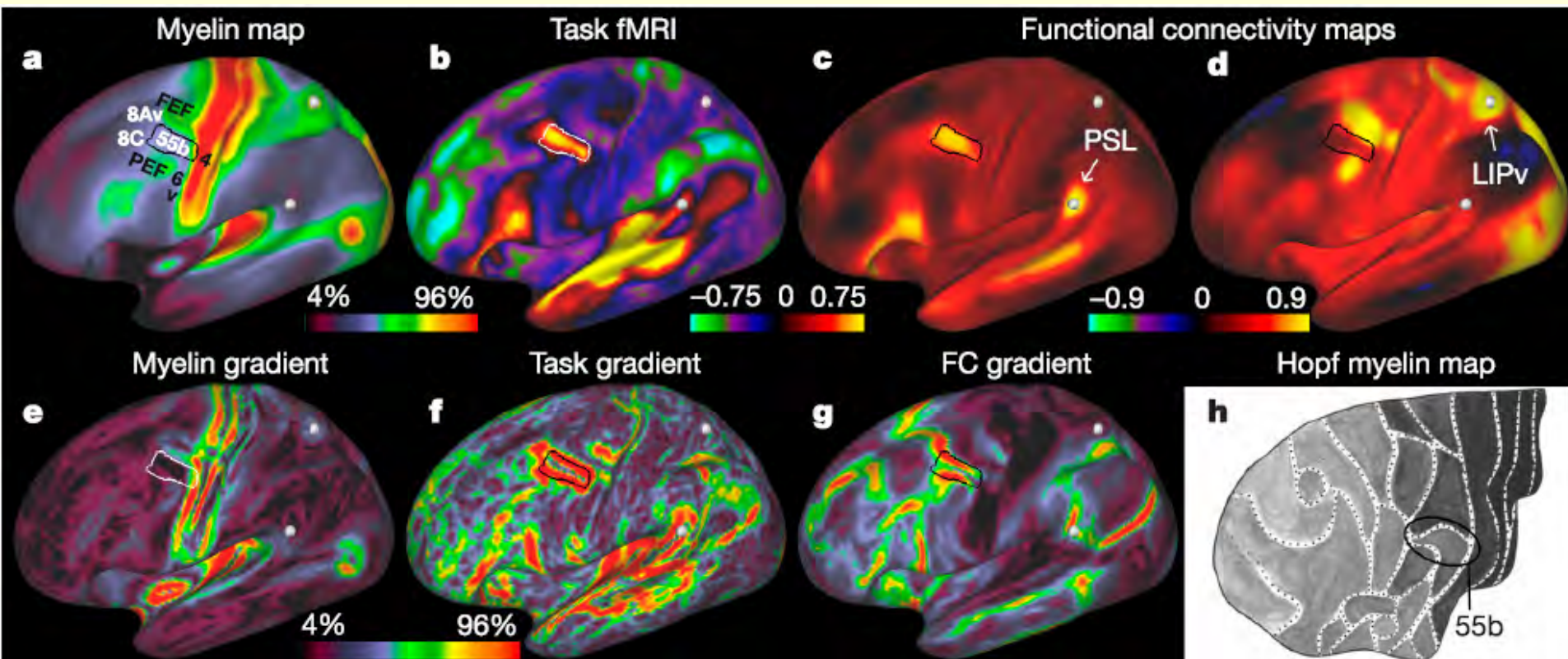


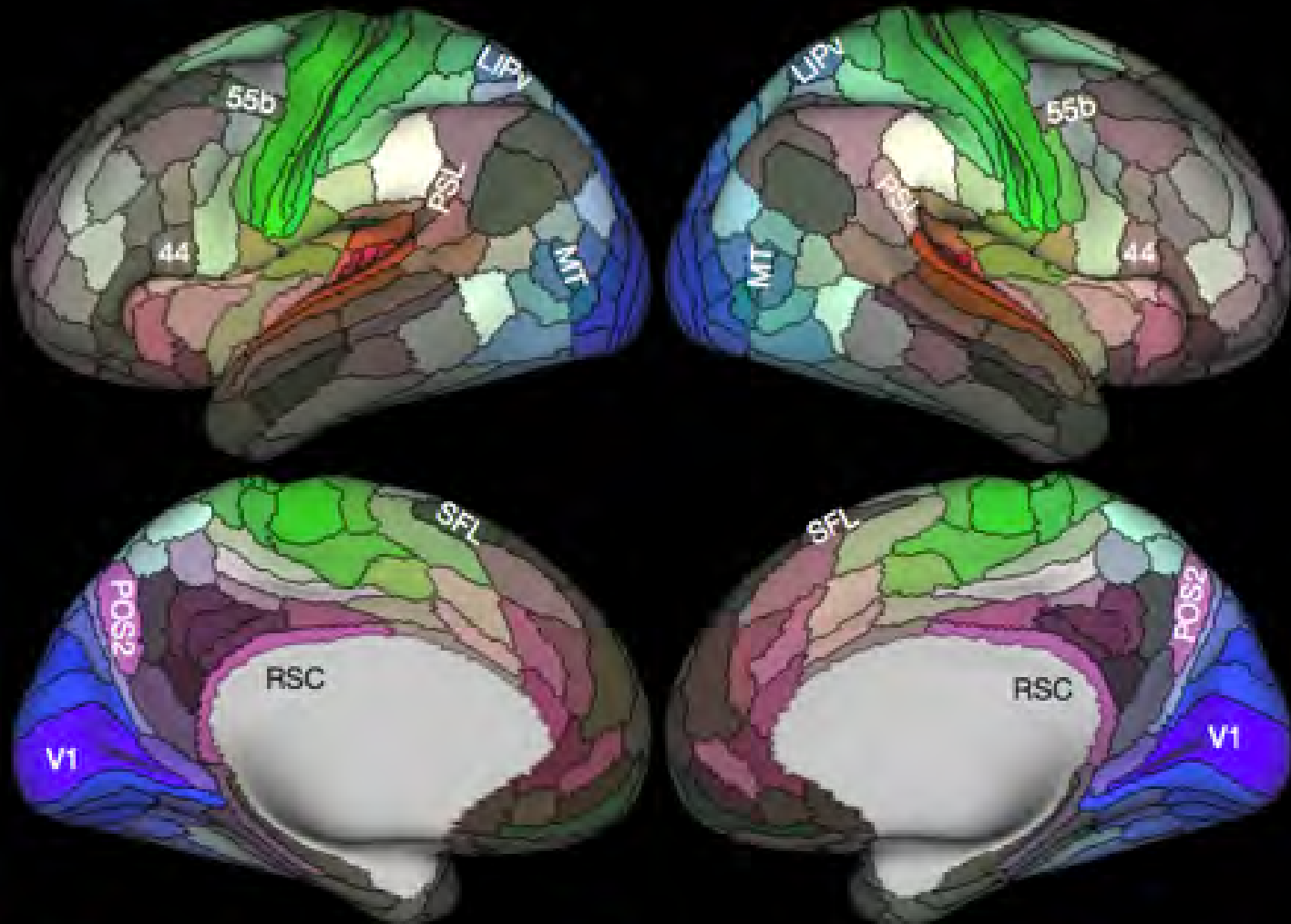
Figure 2 | Parcellation of exemplar area 55b using multi-modal information.

Ils ont combiné les deux approches utilisées pour **décider des limites des régions cérébrales.**

« For the initial parcellation, we adapted a successful observer-independent **semi-automated neuroanatomical approach** for generating post-mortem architectonic parcellations to non-invasive neuroimaging.

We used an algorithm to delineate potential areal borders (transitions in two or more of the cortical properties described above), which **two neuroanatomists (authors M.F.G. and D.C.V.E.) then interpreted**, documenting areal properties and identifying areas relative to the extant neuroanatomical literature.”

The HCP's multi-modal cortical parcellation (HCP_MMP1.0)



Auditory



Sensory/motor



Visual



Task positive



Task negative

De plus, l'étude présentait un algorithme de reconnaissance des régions cérébrales **capable d'apprendre à reconnaître « l'empreinte digitale » multimodale de chacune des 180 régions.**

Lorsque testé sur de nouveaux sujets, l'algorithme de classification a été capable de détecter la présence de 96.6% des régions corticales.

“We then used a fully automated algorithmic approach, training a machine-learning classifier to delineate and identify cortical areas in individual subjects **based on multi-modal areal fingerprints**, allowing the parcellation to be replicated in new subjects and studies.”



Oct-03-2016: Michael Petrides

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

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

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

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

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

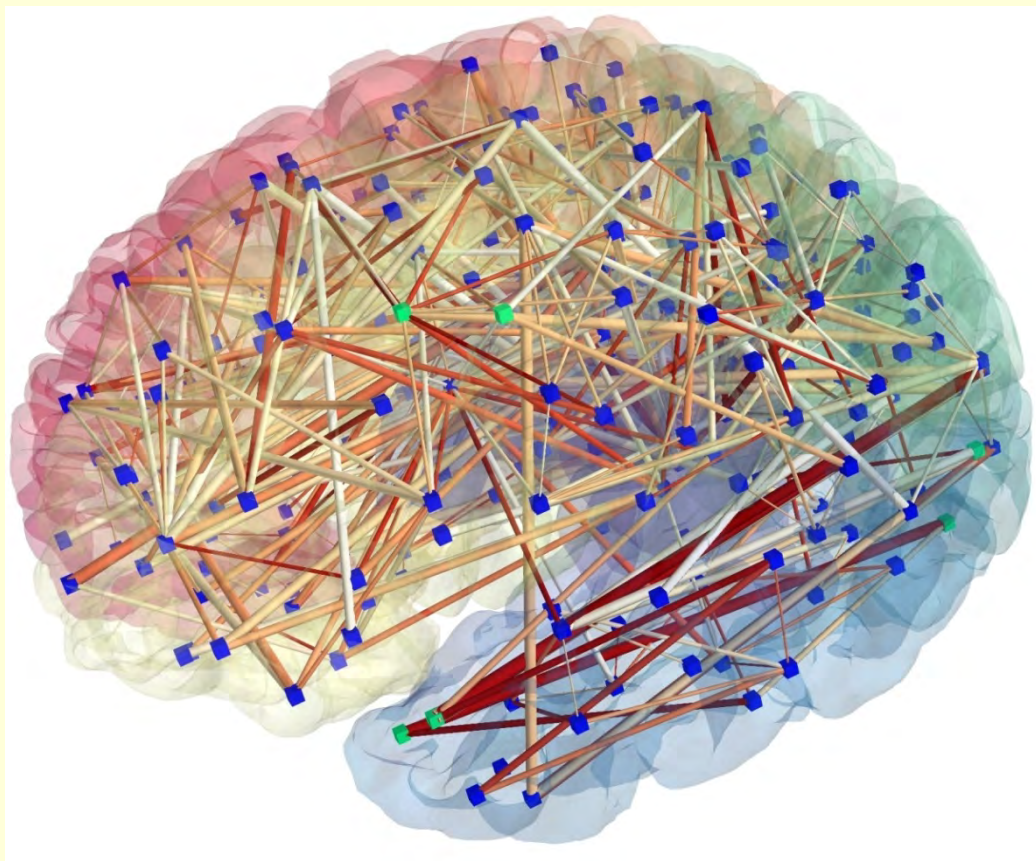
En fait, pour certains, on peut presque dire que chaque point dans le cerveau a ses caractéristiques uniques !

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

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

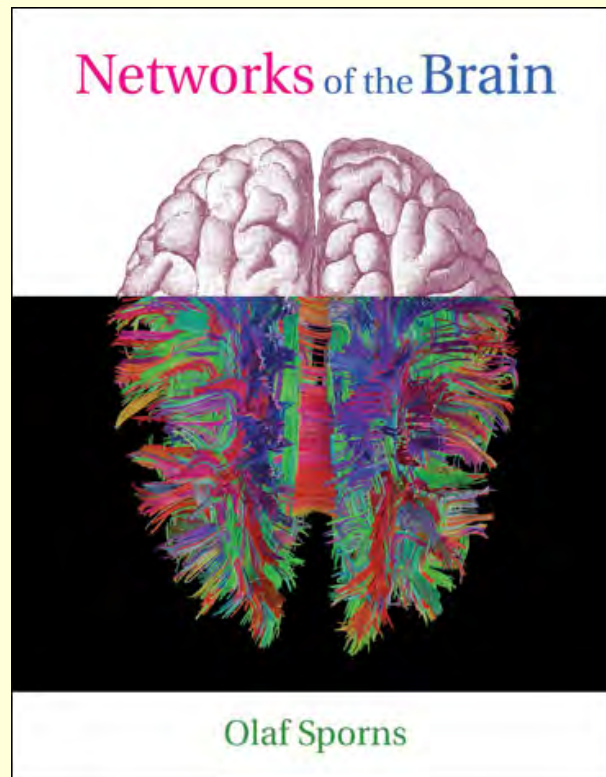
L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

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**

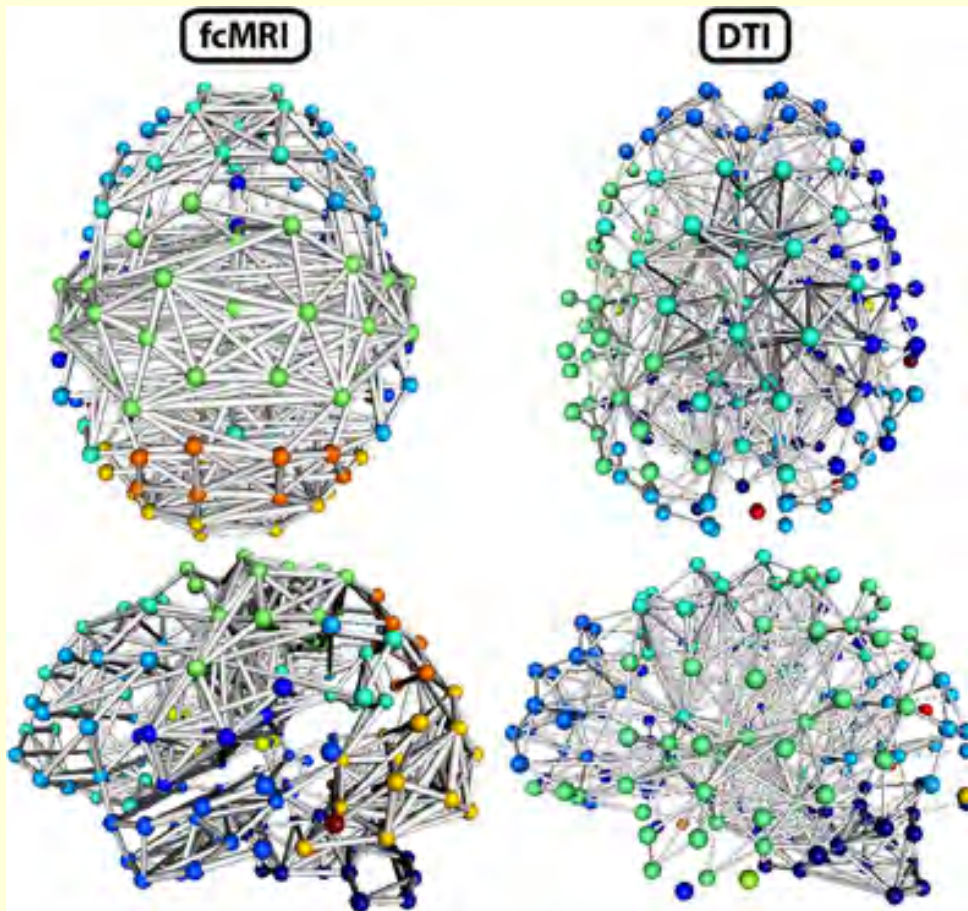
Workshop : **Dynamiques
invariantes d'échelle et
réseaux en neurosciences**

on April 8, **2013**

Where: Centre de recherches
mathématiques Université
de Montréal

Grâce à des données comme :

The UCLA multimodal connectivity database: a web-based platform for brain connectivity matrix sharing and analysis



Brain **connectomics** research has rapidly expanded using functional MRI (fMRI) and diffusion-weighted MRI (dwMRI).

A common product of these varied analyses is a connectivity matrix (CM).

A CM stores the connection strength between any two regions (“nodes”) in a brain network.

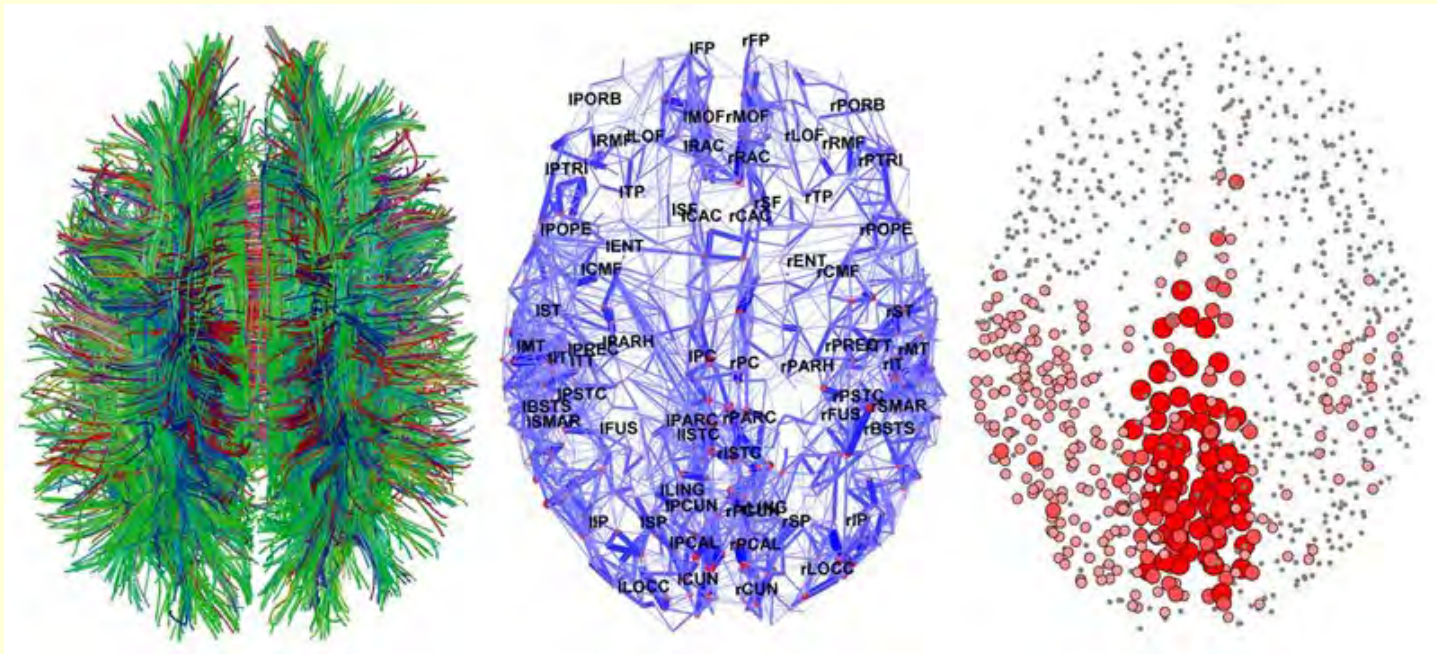
Front. Neuroinform., 28 November 2012

<http://www.frontiersin.org/Journal/10.3389/fninf.2012.00028/full>

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**,

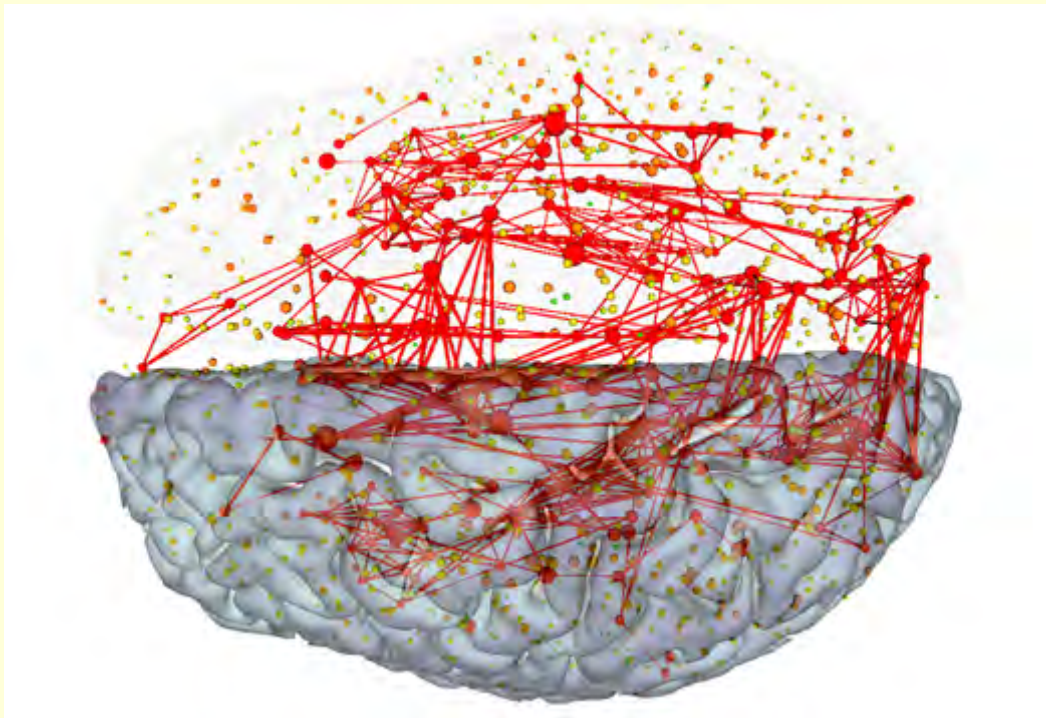
qui permettent de révéler l'**organisation modulaire** d'un tel système complexe.



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>



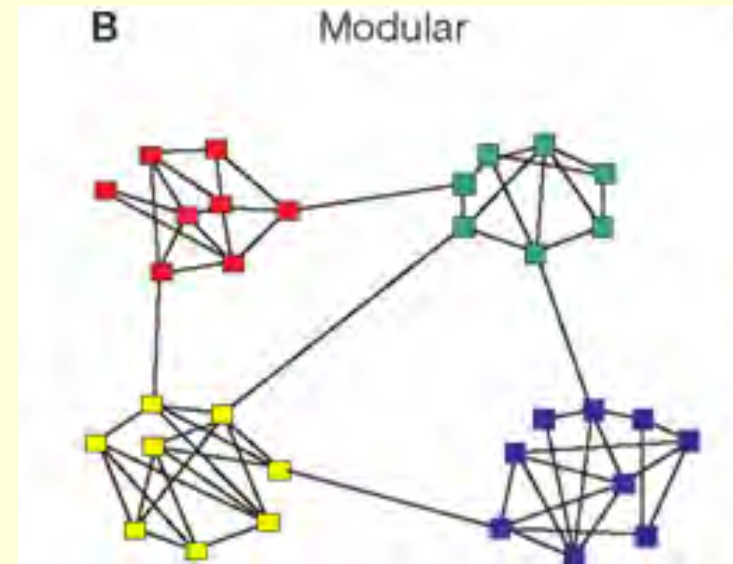
Mapping Brain Connectivity Using Graph Theory

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)

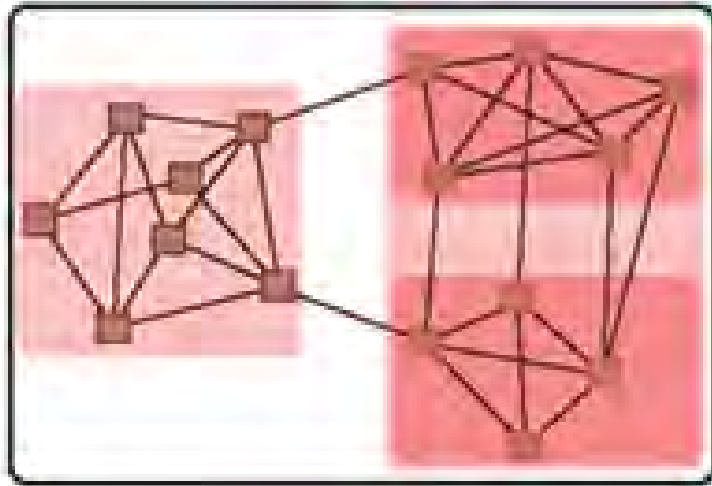


Ces études ont montré que les nœuds de tels réseaux, qu'ils soient des neurones ou des individus, ont tendance à établir des connexions avec **deux types bien distincts de ses semblables** : avec ses nombreux voisins immédiats, mais aussi avec quelques autres neurones ou individus très éloignés ou très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

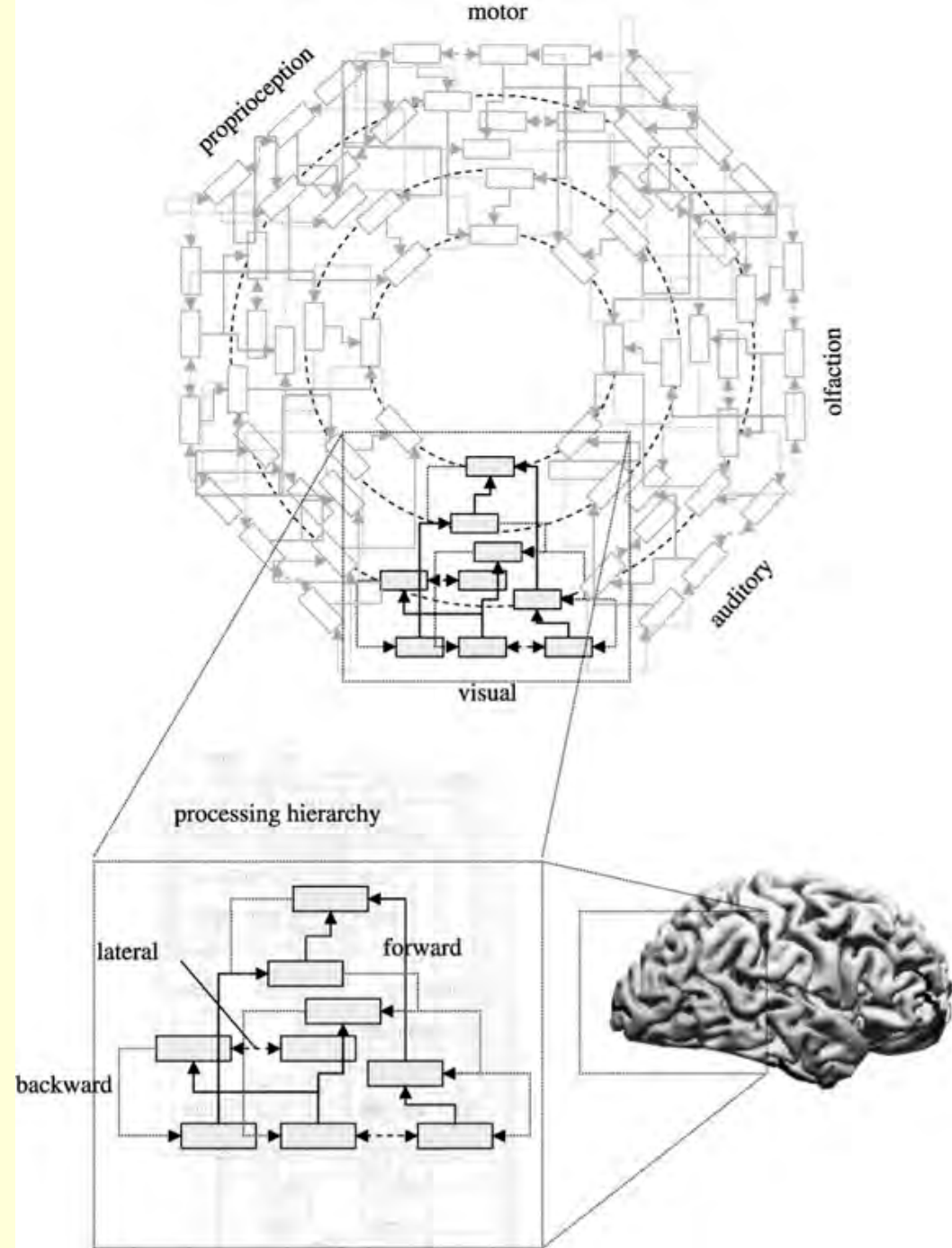
Un peu comme un collectionneur de timbres va visiter les sites web spécialisés très peu fréquentés de ses amis, mais également à l'occasion quelques moteurs de recherches généraux à grand trafic.

C

Hierarchical



L'organisation de nos réseaux cérébraux est aussi hiérarchique à certains endroits, dans le sens où un module peut être **partitionné en un ensemble de sous-modules**.



Cela donne lieu à une **organisation multi-échelle** :

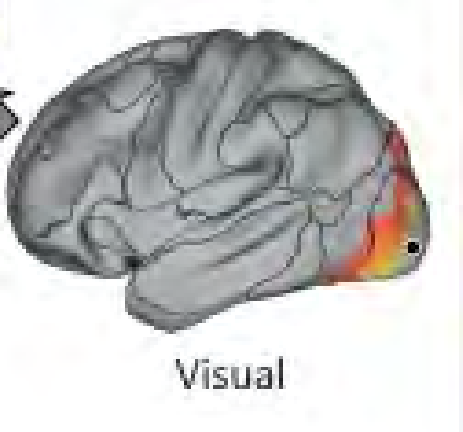
Les réseaux peuvent être identifiés à l'échelle de **vastes assemblées distribuées** (environ 10) qui correspondent à des systèmes fonctionnels.

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.

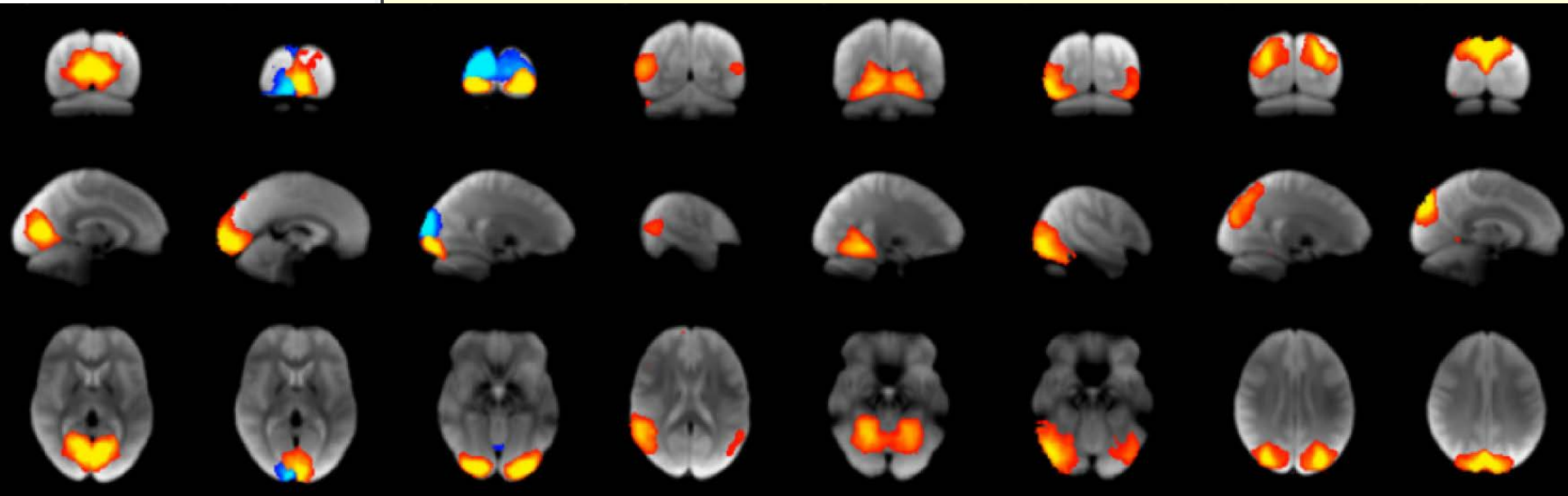
(Tirée de Pierre Bellec

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_lsn_i.pdf&usg=AFQjCNGBiKg_wv2IF4DtIlo-0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja)



Organisation multi-échelle :

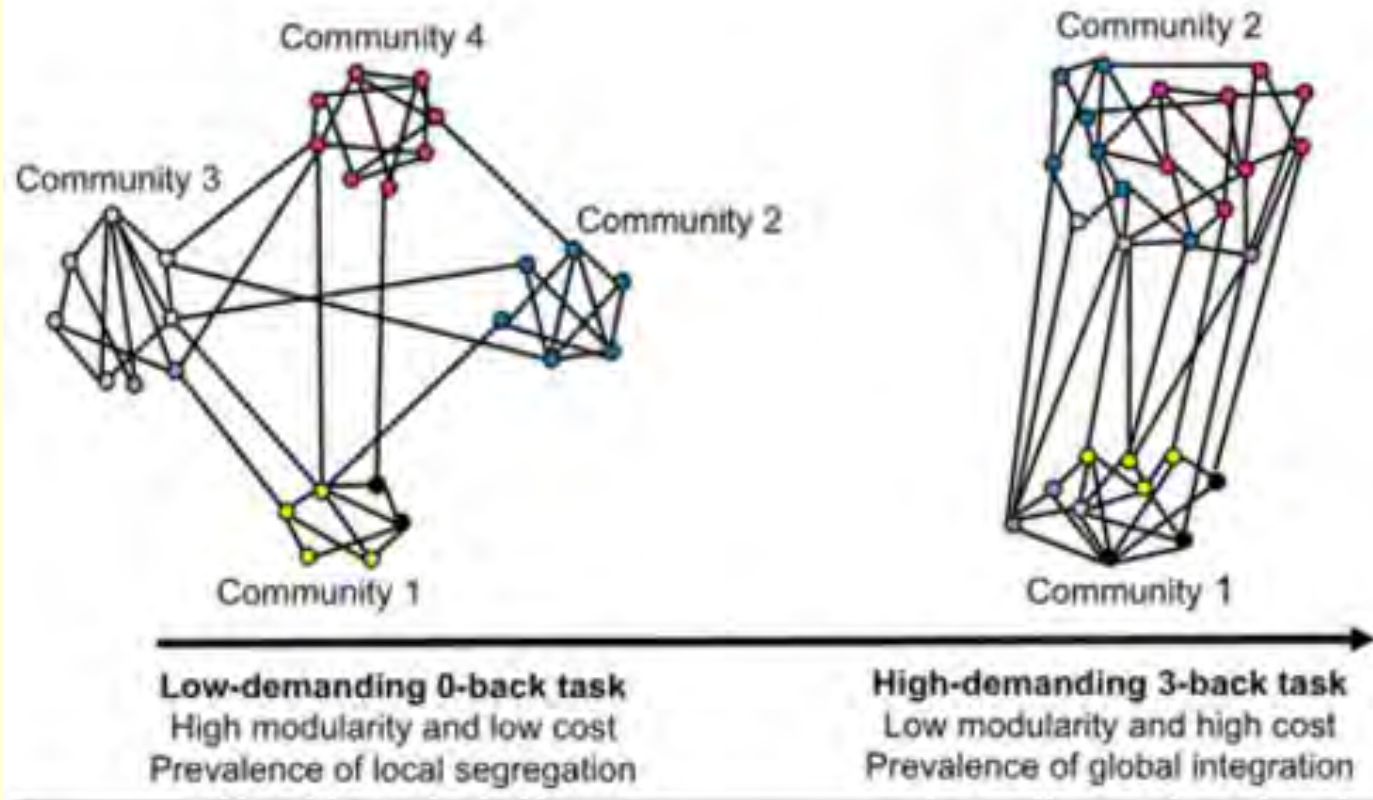
Subdivision du **système visuel** en 8 sous-systèmes



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

Default Mode Dynamics for Global Functional Integration

The Journal of Neuroscience, 18 November 2015, 35(46): 15254-15262



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.

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

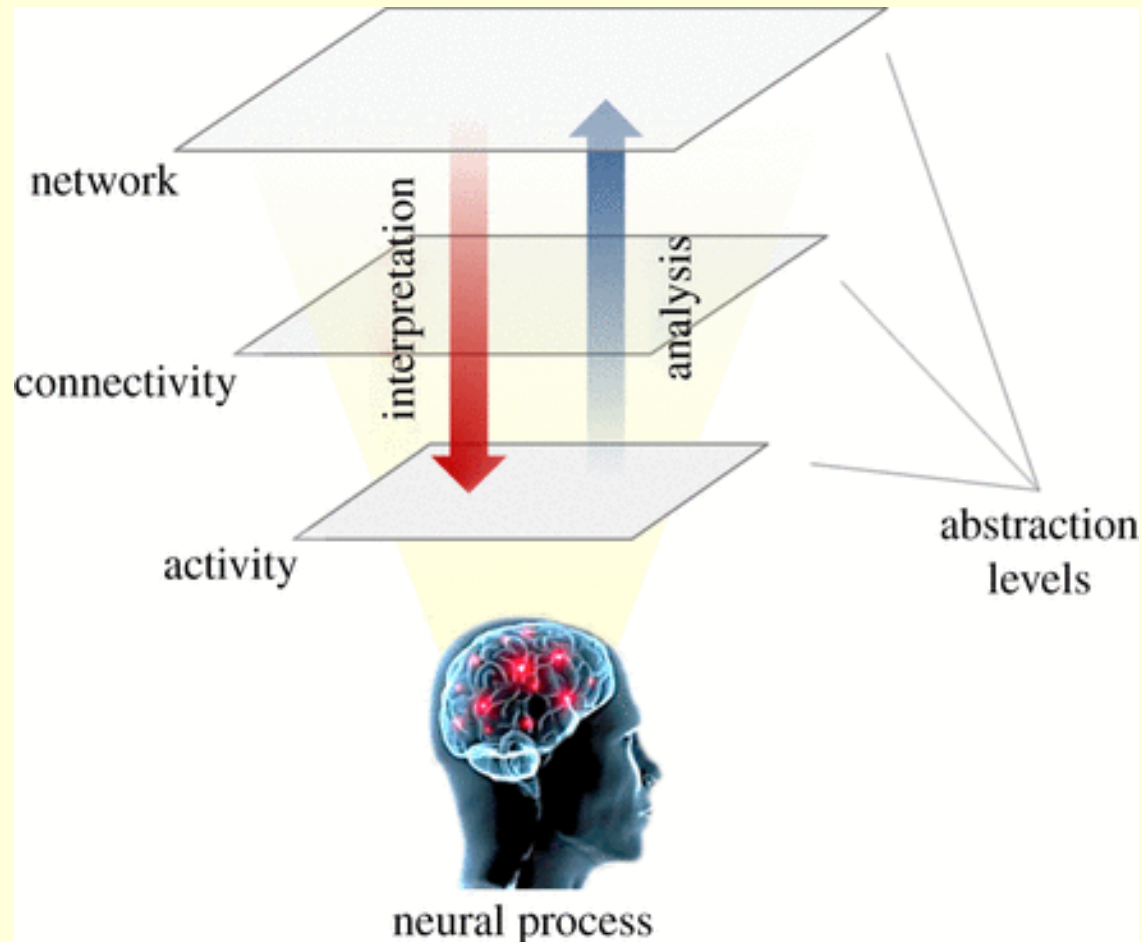
Fabrizio De Vico Fallani, Jonas Richiardi, Mario Chavez, Sophie Achard

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.

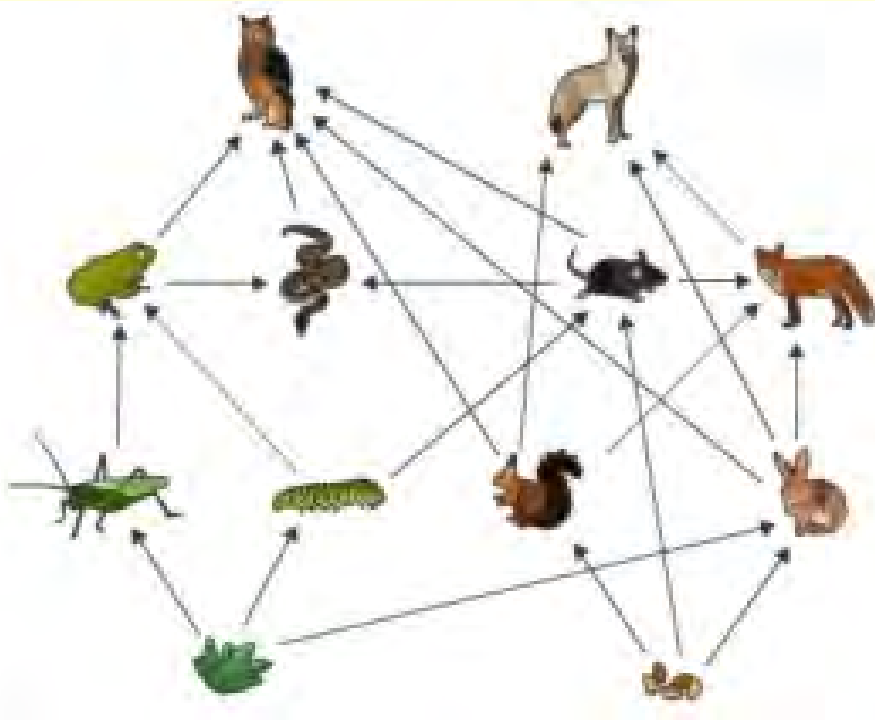
Nowadays, the use of graph analysis in translational neuroscience has become essential to quantify brain dysfunctions in terms of aberrant reconfiguration of functional brain networks.



En guise de conclusion,
la notion de « **hub** »...

En sciences du vivant, la notion de **réseau** est omniprésente.

En écologie, les concepts de réseau trophique (plus connus sous le nom de chaîne ou de pyramide alimentaire)



En sciences du vivant, la notion de **réseau** est omniprésente.

En écologie, les concepts de réseau trophique (plus connus sous le nom de chaîne ou de pyramide alimentaire)

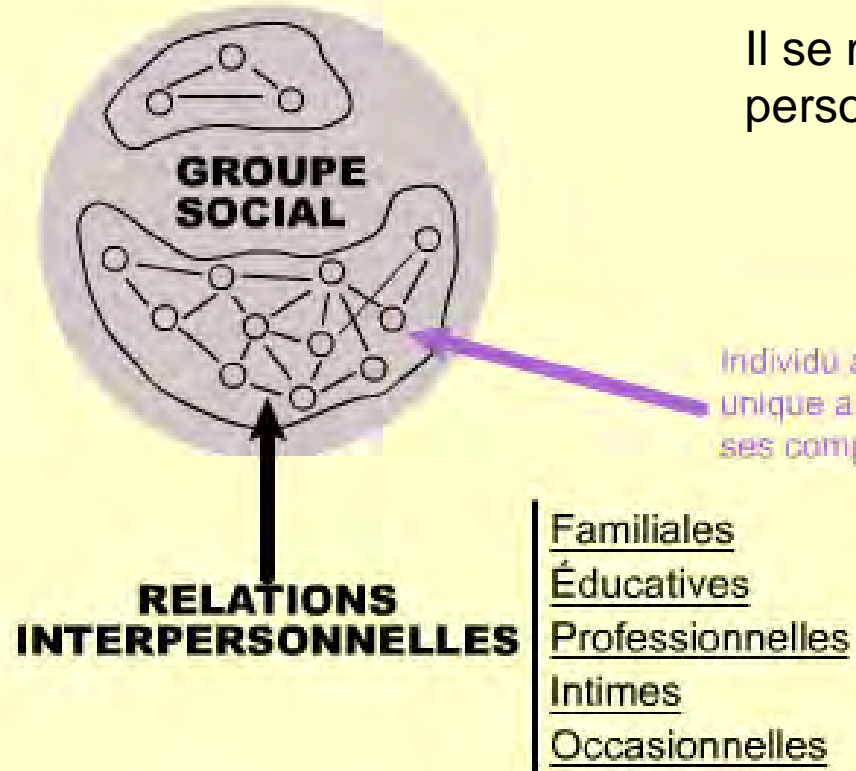
En biochimie, les réseaux de régulation permettent de mieux comprendre le fonctionnement des organismes vivants.



En sociologie, pour les sociétés humaines...

Un **réseau social** est un ensemble d'entités (personnes, groupes ou institutions) qui échangent entre eux par des liens forts ou faibles créés et vécus lors des interactions sociales.

Il se manifeste par des relations entre personnes dans le cadre :



Individu avec son cerveau unique à l'origine de tous ses comportements

Ou via Internet (« réseautage social »)

→ Institut des sciences cognitives

UQAM » Institut des sciences cognitives » École d'été en sciences cognitives 2014 » Renseignements généraux



► Renseignements généraux

[Programme](#)[Présentations par affiches](#)[Inscription](#)[Hébergement](#)[Temps libres](#)[Lieu](#)[Pour nous joindre](#)

- Extension de la date limite d'[inscription](#) à tarif réduit
- Vous voulez nos dernières nouvelles? Suivez l'Institut des Sciences Cognitives sur [Twitter](#)
- Vous pouvez consulter la [liste de conférenciers](#) ou télécharger le [programme préliminaire \(pdf\)](#).

» Renseignements généraux

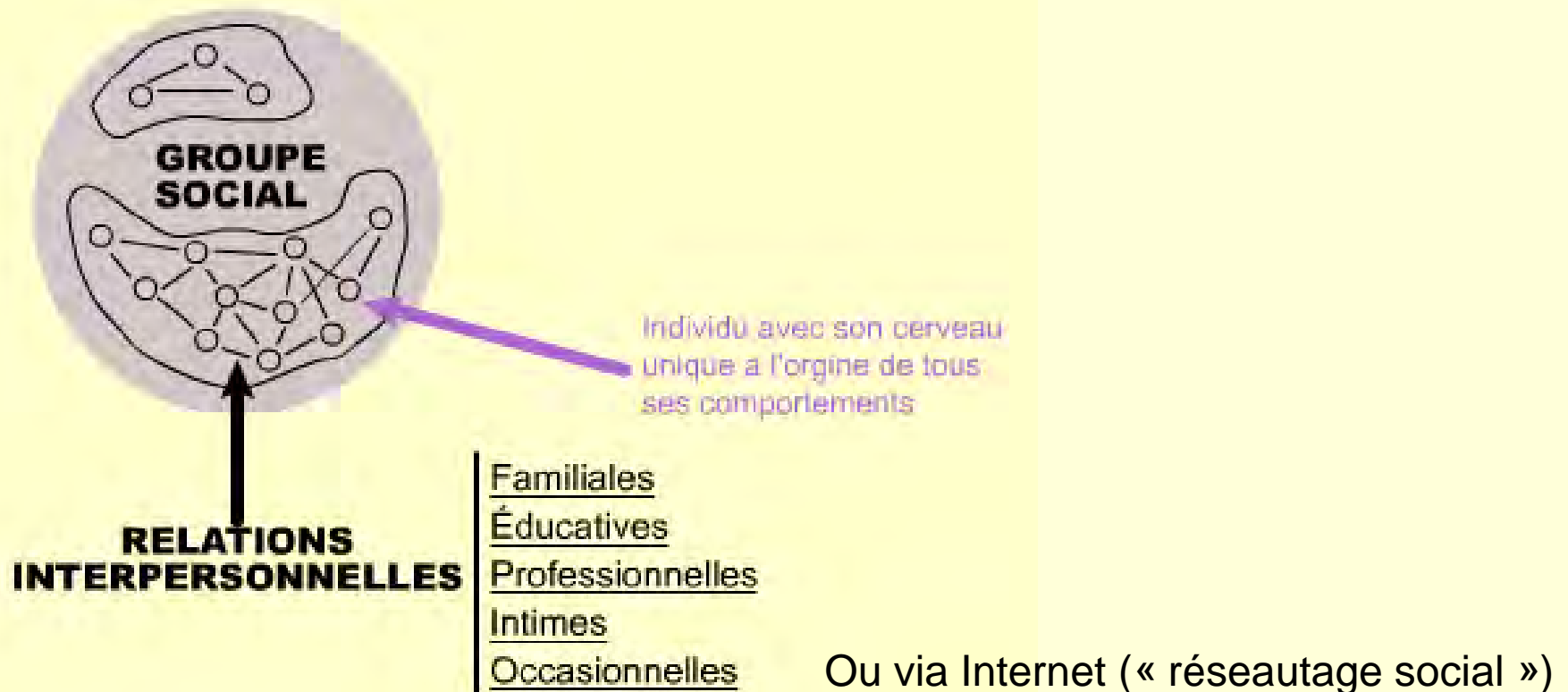
Thème de l'École d'été : La science du web et l'esprit. Cette école d'été offre un survol complet sur les sujets à l'intersections de la science du web et des sciences cognitives, de l'analyse de réseaux sociaux à la cognition distribuée, en passant par le web sémantique.

Dates: du 7 au 18 juillet 2014

Dans chaque structure sociale, **des hubs sont présents.**

Repérer ces hubs permet notamment de passer par eux pour maximiser la transmission d'un message. En d'autres termes, ils sont des vecteurs efficaces de communication.

Par exemple, les *stars* qui sont les plus interconnectées socialement intéressent les marques, lesquelles y voient un outil *marketing* afin de diffuser les nouvelles tendances. (ou les « vedettes » sur Facebook).



Les réseaux cérébraux ont aussi des « hubs » :

[de l'article de Shanahan...]

Another consistent feature of brain networks is the presence of topologically significant *hub nodes* [...].

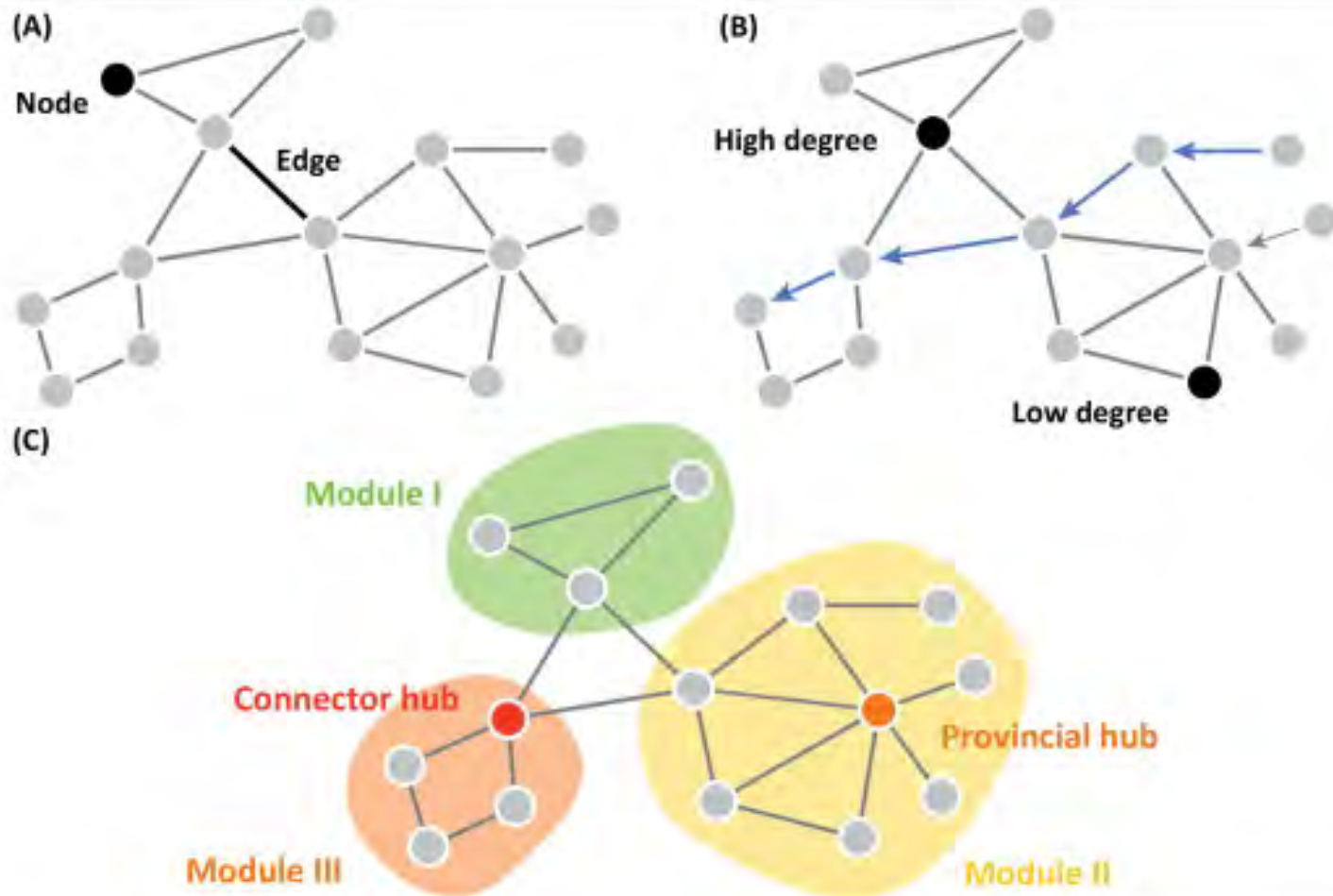
A hub node is one that has an unusually large number of connections, or one that lies on an unusually large number of short paths.

[...] A ***connector hub*** is one that plays an important role in communication between modules while a ***provincial hub*** is one that plays an important role in communication within a module. »

Network hubs in the human brain

Martijn P. van den Heuvel, Olaf Sporns

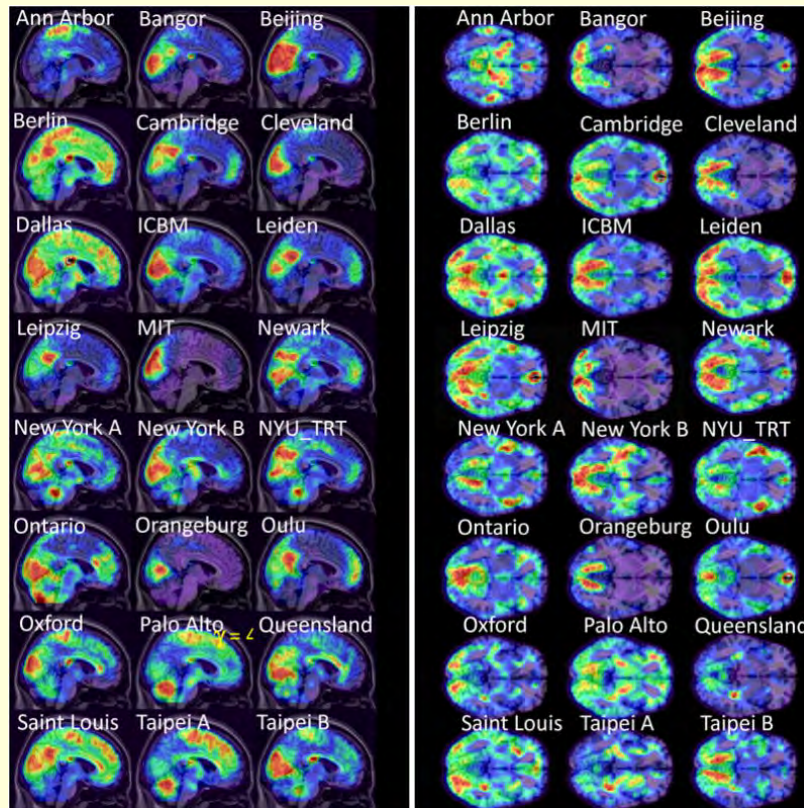
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2813%2900216-7>



Functional connectivity hubs in the human brain.

Tomasi D, Volkow ND. Neuroimage.

2011 Aug 1;57(3):908-17.

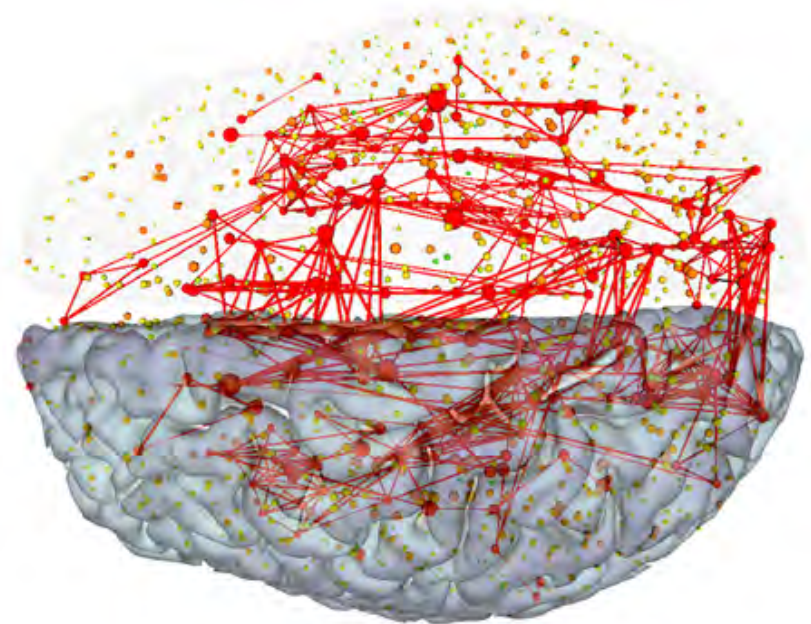


Montre une
“**over-representation**
of hub nodes”

(une propriété des
architectures “small-world”)

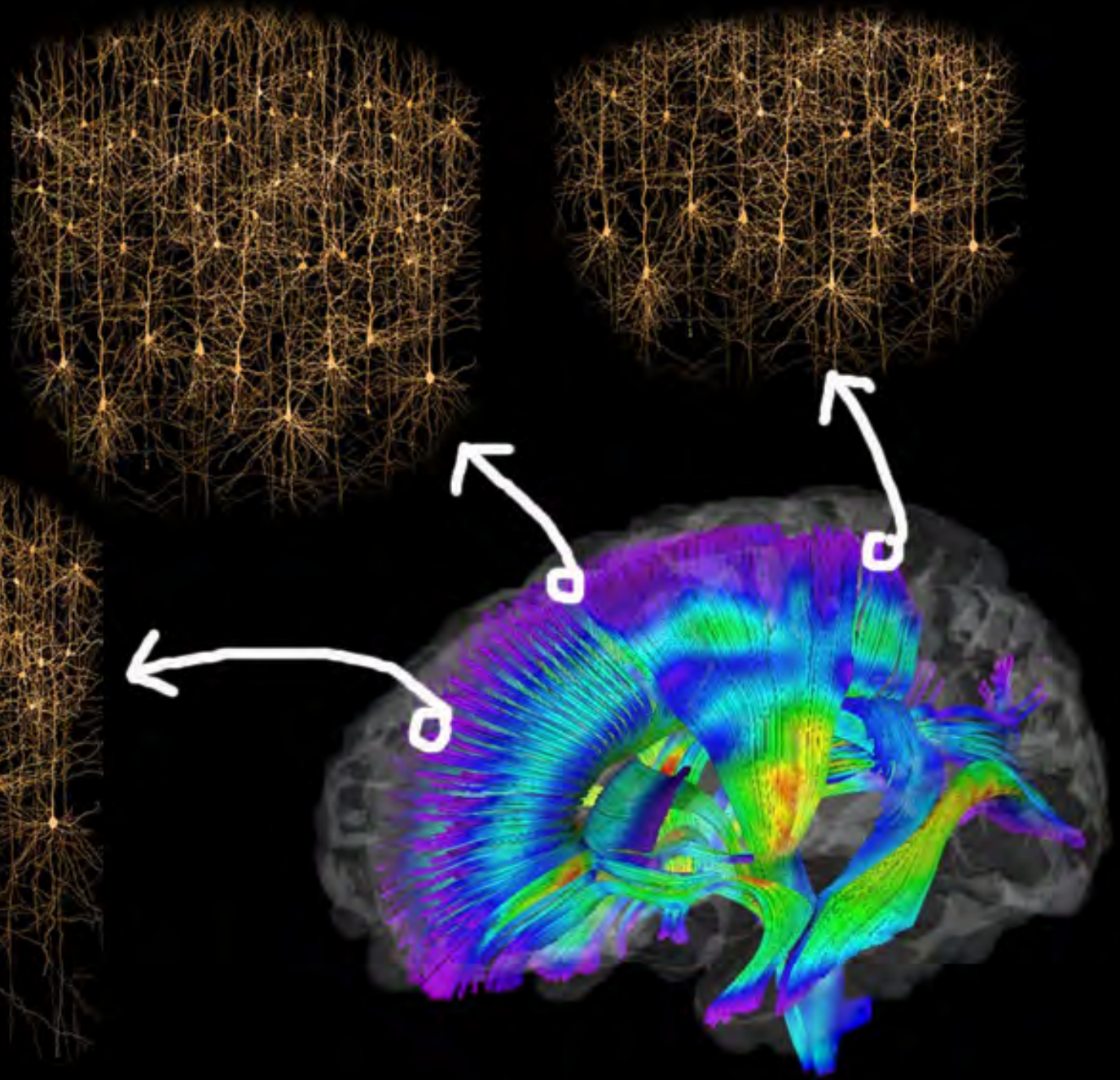
Les réseaux cérébraux
semblent donc avoir
quelques régions situées
stratégiquement ayant
une **connectivité dense**
(**hubs**) permettant un
traitement neuronal
rapide.

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



« Grandes
autoroutes...

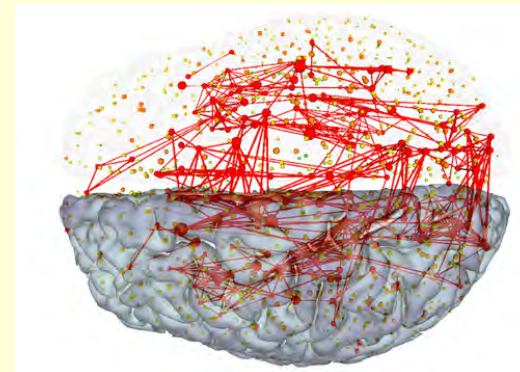
...et petites
rues locales.



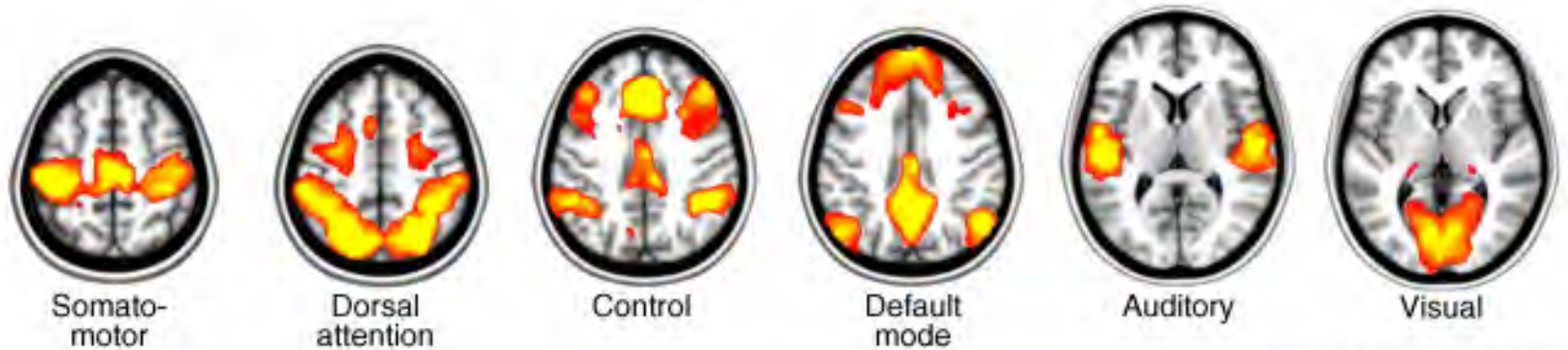
PNAS

High-cost, high-capacity backbone for global brain communication

Martijn P. van den Heuvel, René S. Kahn, Joaquín Goñi,
and Olaf Sporns; approved May 16, **2012**



Grandes lignes d'un réseau de connexions neuronales permettant
d'échanger une grande quantité d'information par rapport aux autres
voies nerveuses du cerveau.



TRENDS in Cognitive Sciences

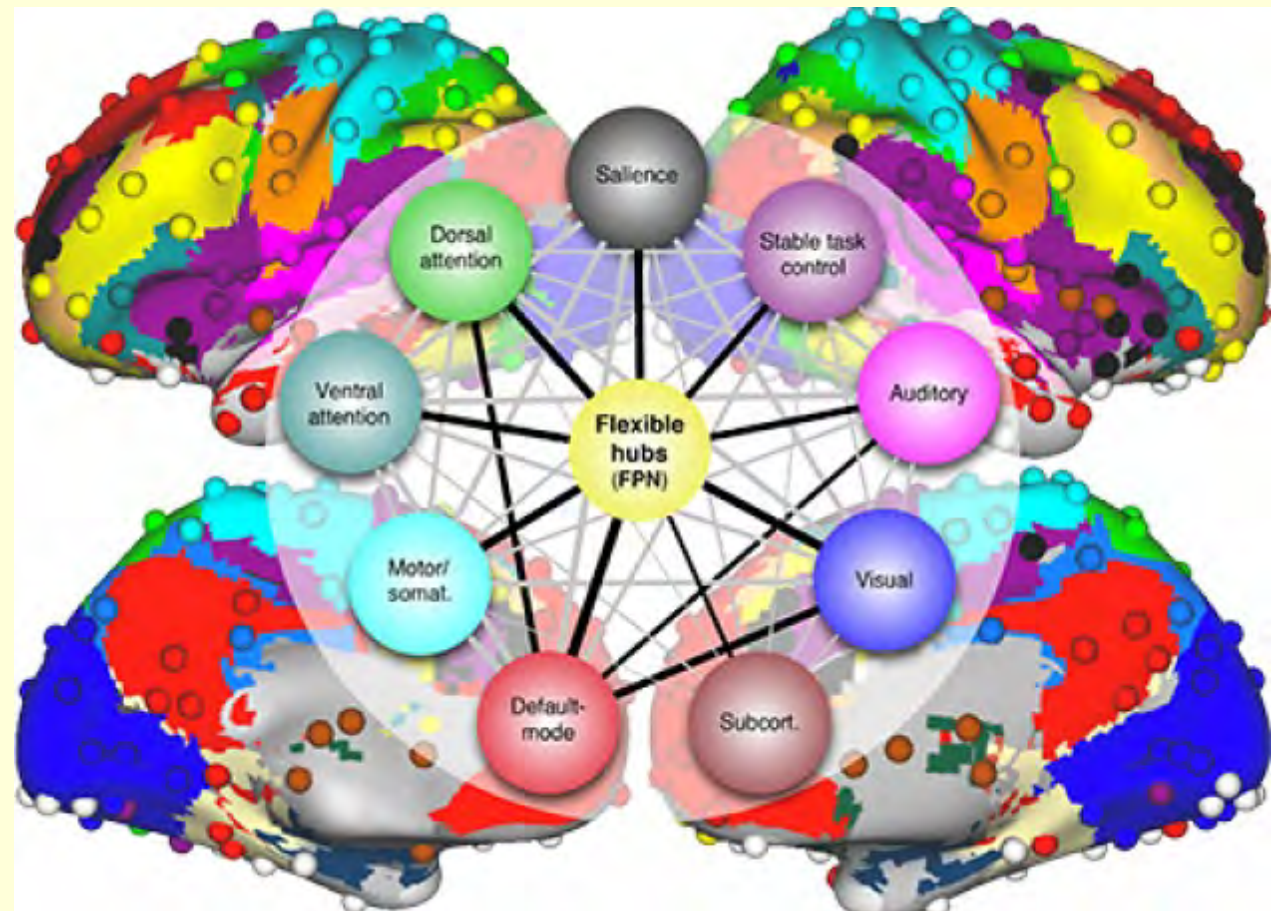
Malgré le fait que chacun des principaux systèmes peut être identifié par un pattern de cohérence spatial unique, le cerveau n'opère pas comme un assemblage de systèmes indépendants.

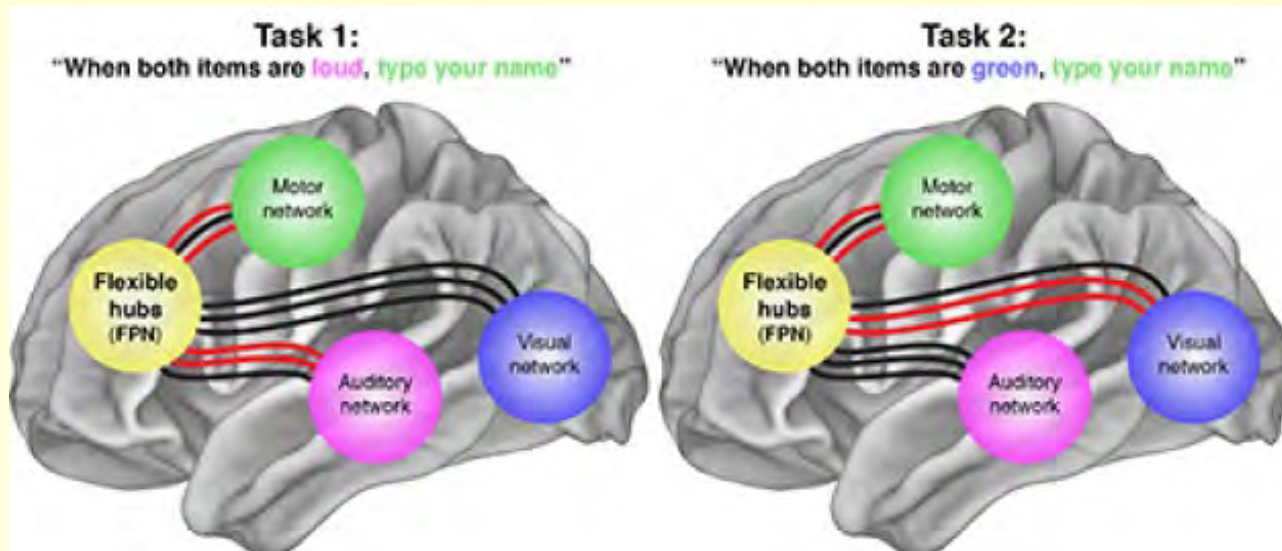
Il semble y avoir dans le cerveau **une fédération de grands "hubs"** (connecteurs) organisés hiérarchiquement dont l'influence s'étend à travers les frontières des systèmes.

Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control

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

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





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

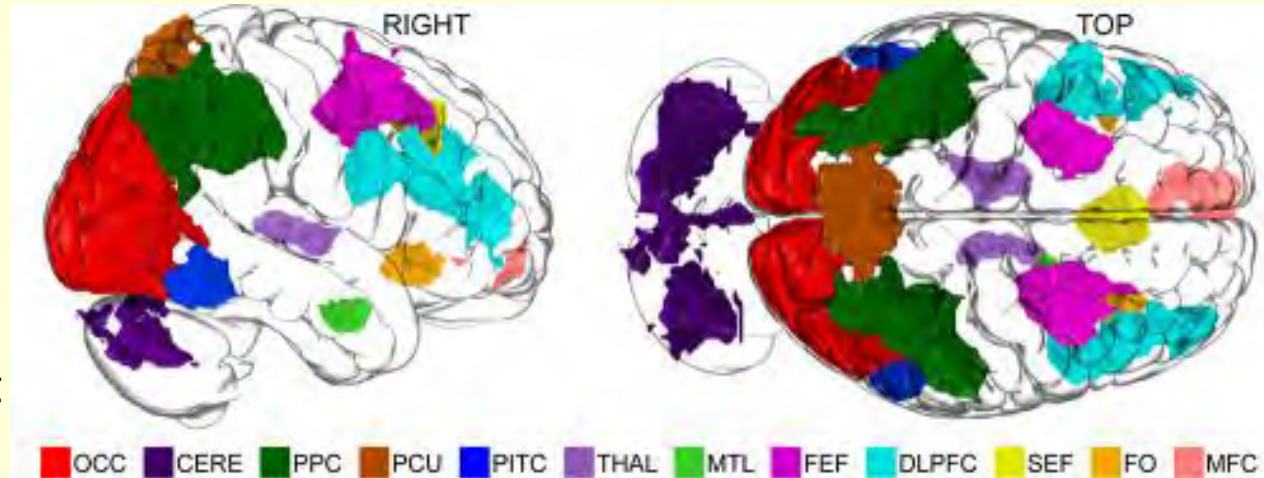
“Like an Internet router, flexible hubs shift which networks they communicate with based on instructions for the task at hand and can do so even for tasks never performed before”

PNAS

'Network structure and dynamics of the mental workspace', Alexander Schlegel, et al. September 16, 2013

Ces “flexible hubs”
évoquent le concept
d'espace de travail neuronal.

Car une douzaine de régions montrent justement une activité différentielle lors d'une expérience d'IRMf sur la **manipulation d'images mentales**.



Researchers discover how and where imagination occurs in human brains
<http://medicalxpress.com/news/2013-09-human-brains.html>

*“The network closely resembles the **"mental workspace"** that **scholars have theorized** and might be responsible for much of human conscious experience and for **the flexible cognitive abilities** that humans have evolved.”*



A photograph of a wooden table with a puzzle. The puzzle is partially assembled, showing a cityscape pattern. The text is overlaid on a semi-transparent yellow box. The text is in white, bold font. The background shows the puzzle pieces and the wooden surface.

« We have not succeeded in answering all our problems—indeed we sometimes feel we have not completely answered any of them.

The answers we have found have only served to raise a whole set of new questions.

In some ways we feel that we are as confused as ever, but we think we are confused on a higher level and about more important things.”

– Katz et Rosenzweig

Merci pour votre présence et votre participation !

www.lecerveau.mcgill.ca

www.elogedelasuite.net

www.upopmontreal.com