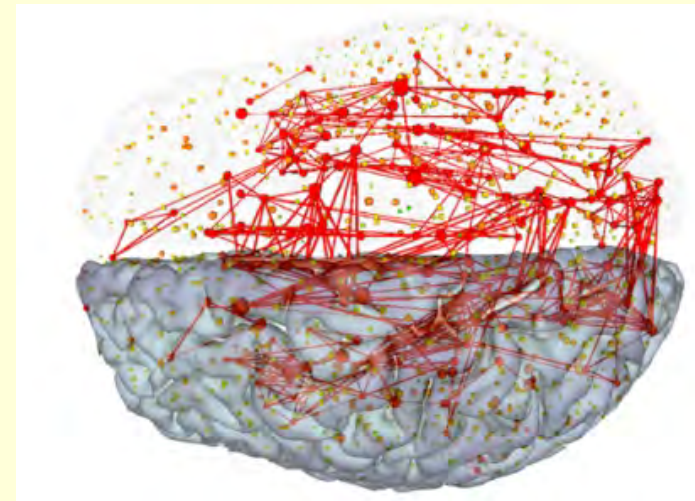


12 octobre

6- La cartographie du connectome humain et ses limites à différentes échelles

- Différentes techniques à l'échelle micro, méso et macro
- Connectivité et réseaux fonctionnels
- Critiques / limites du connectome
- Ce que révèle la théorie des graphes sur la topologie de nos réseaux cérébraux



Article :

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

Murray Shanahan (2012)

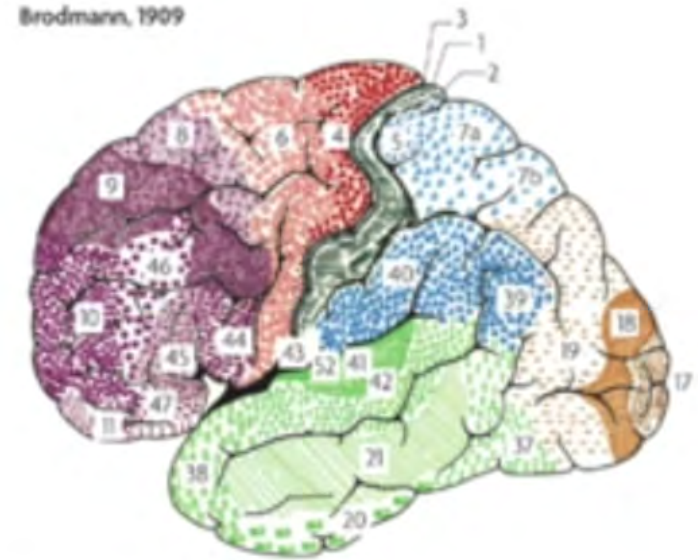
<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/367/1603/2704>



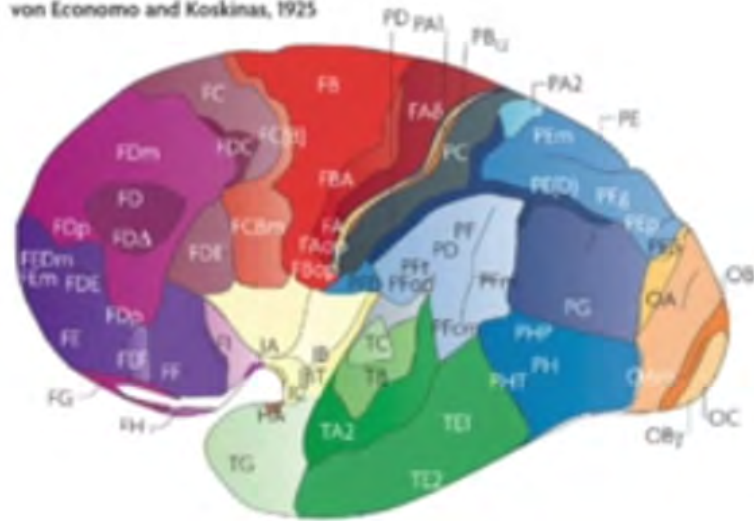
Campbell, 1905



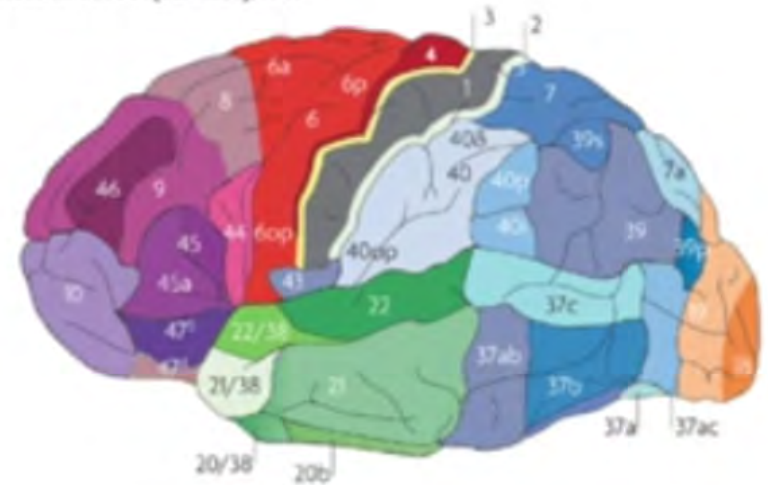
Brodmann, 1909



von Economo and Koskinas, 1925



Russian school (Sarkisov), 1949



von Economo and Koskinas, 1925

Russian school (Sarkisov), 1949

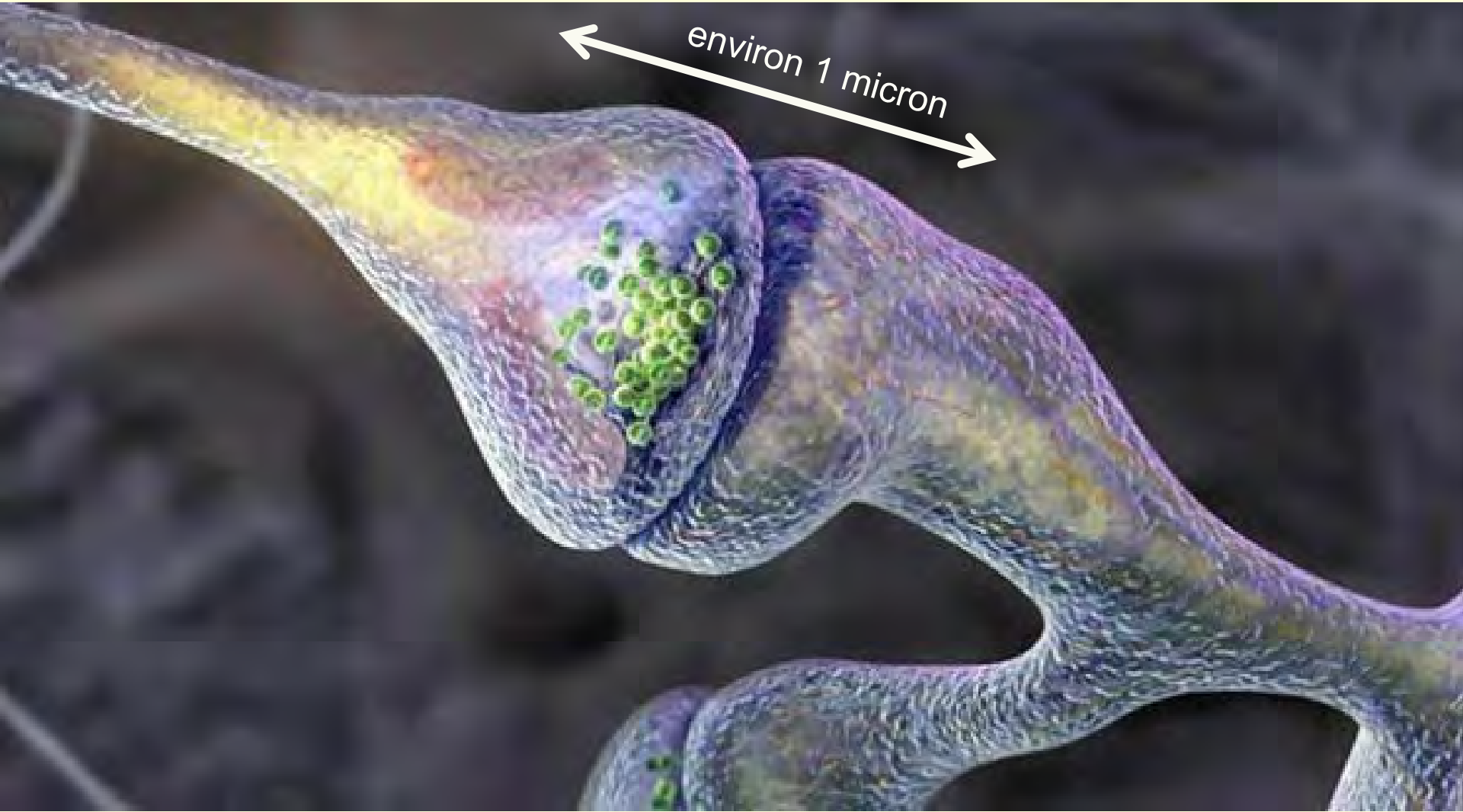
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

- **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...

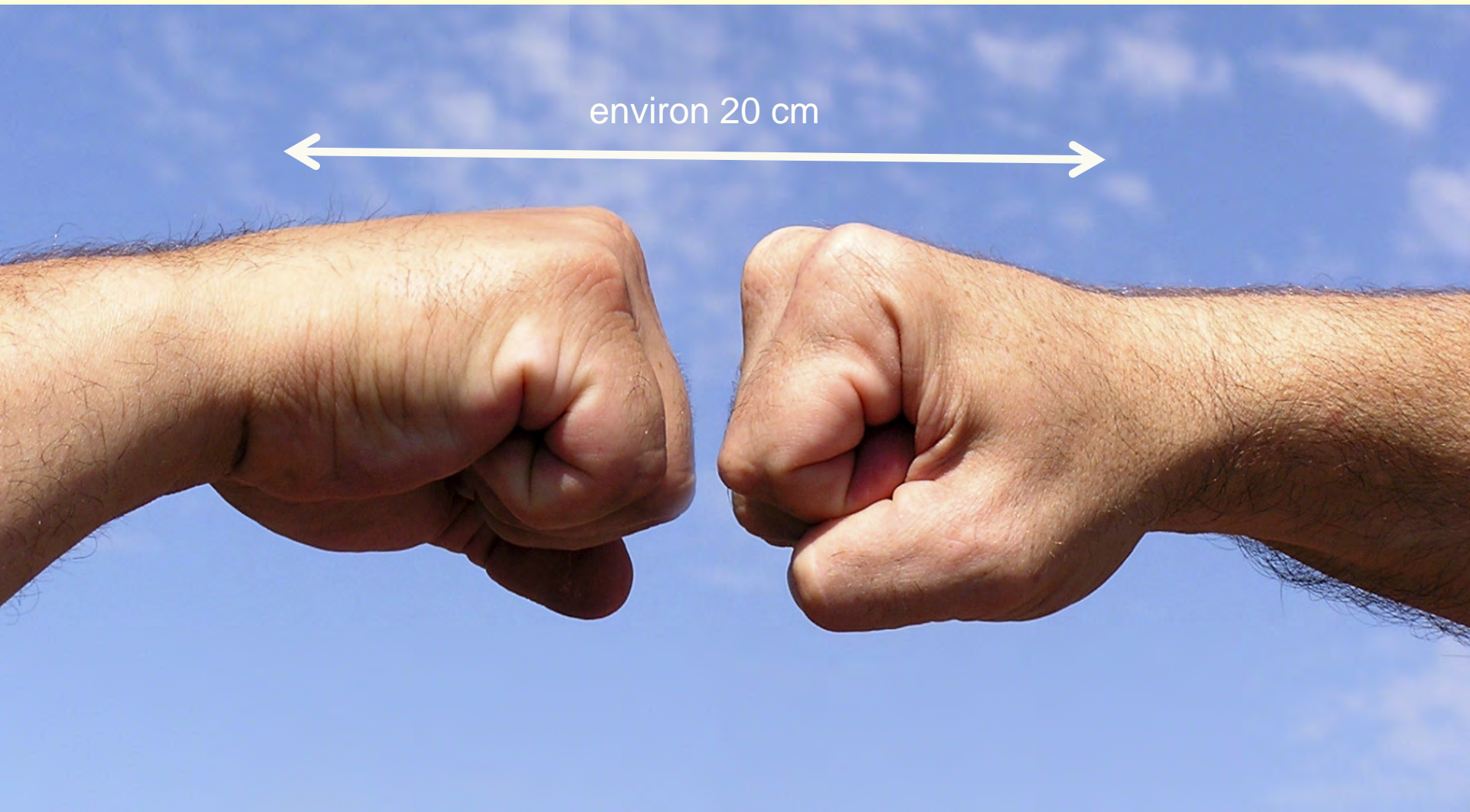


environ 20 cm

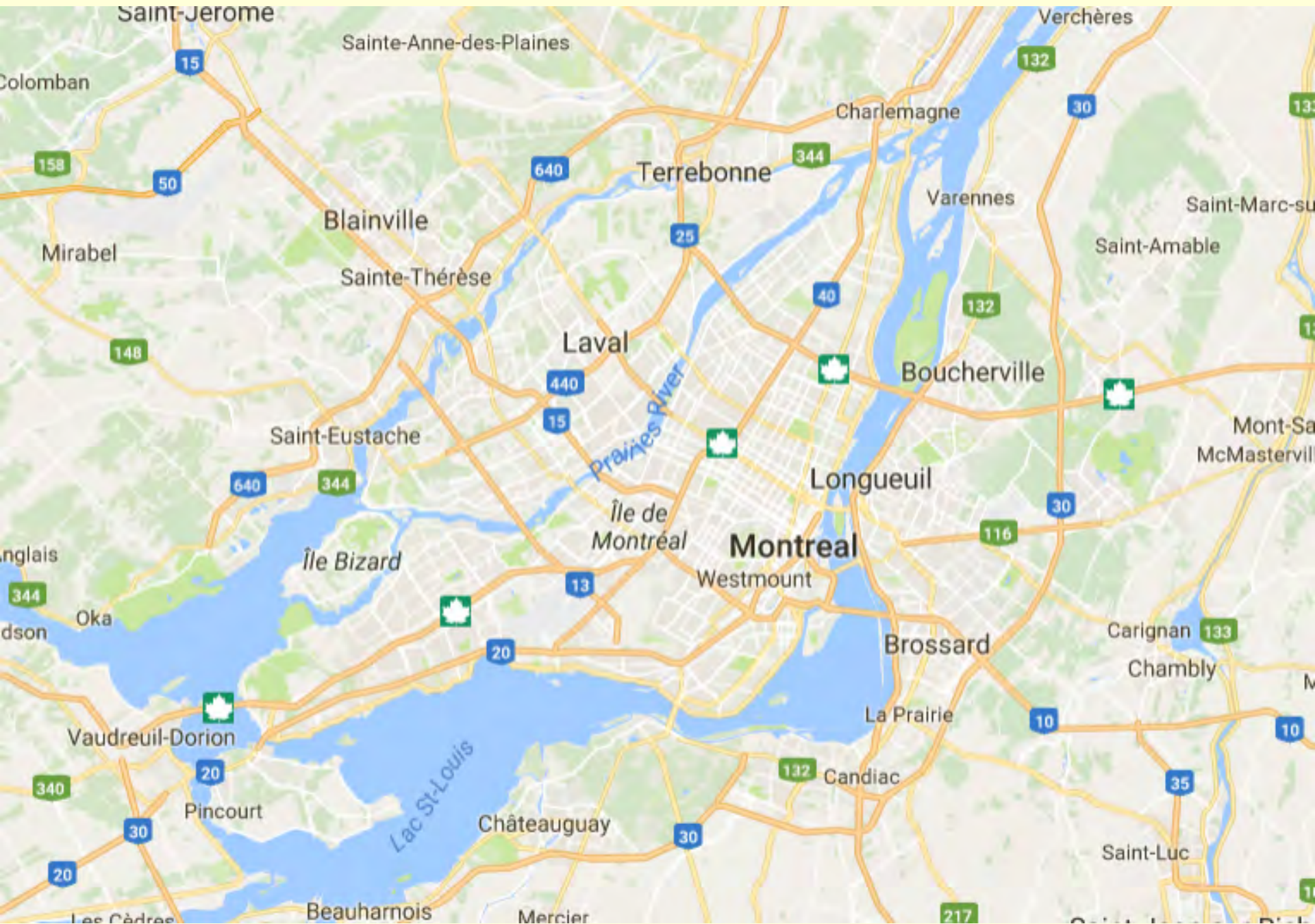


environ 1 micron

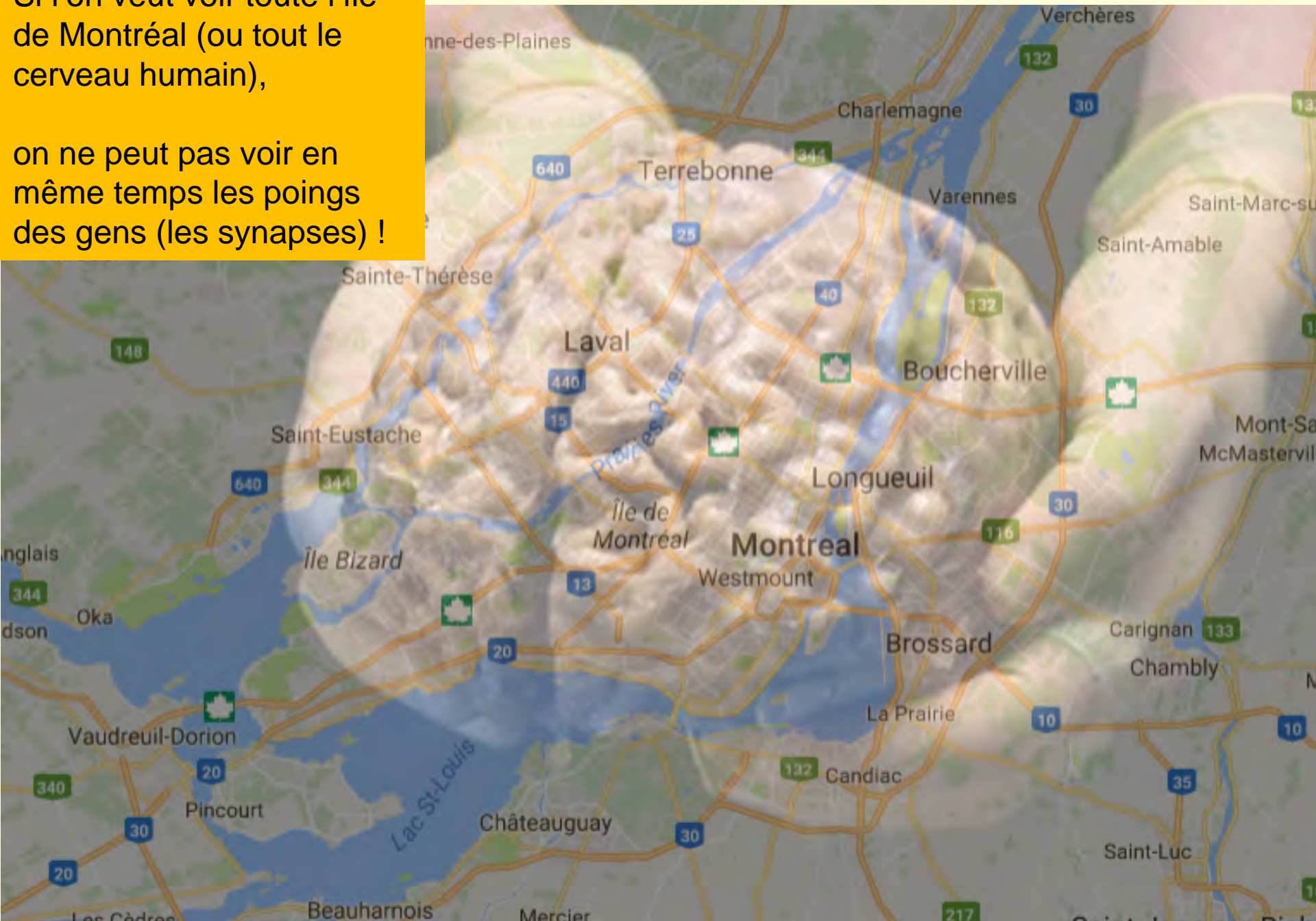
Quelle devrait être la taille d'un cerveau
dont les synapses auraient la taille de deux poings ?



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) !

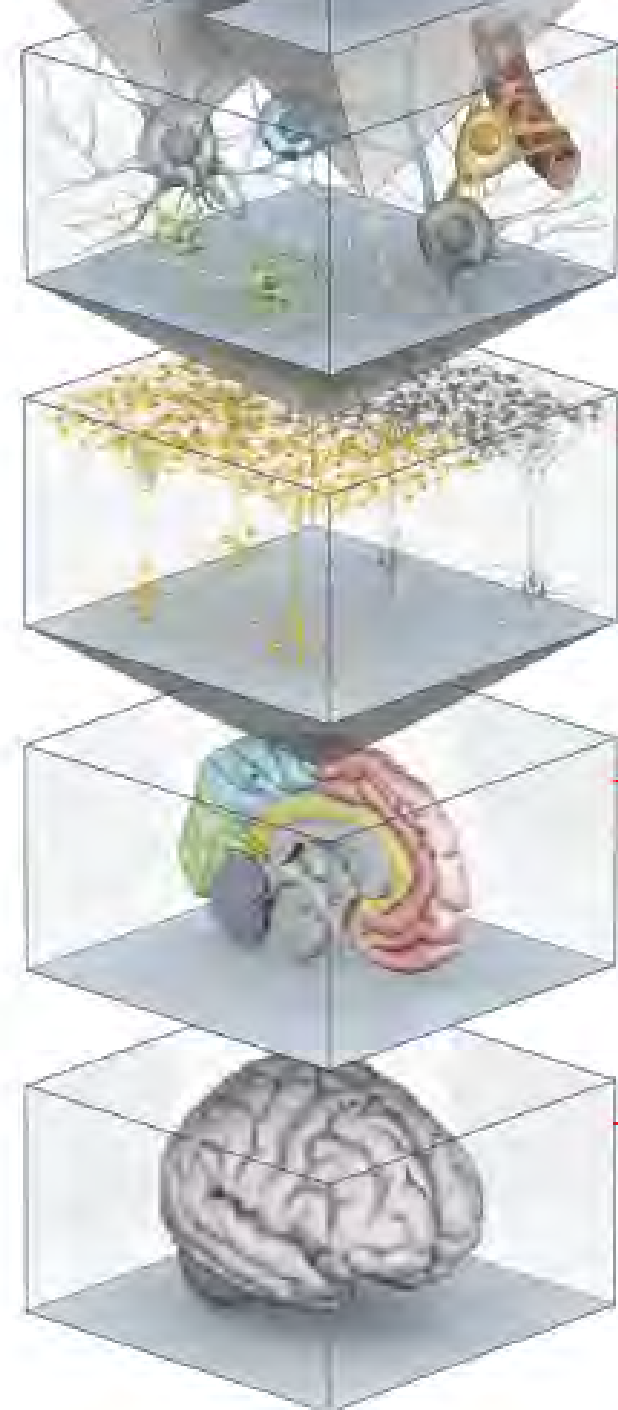


Aucune technique ne permet de considérer en même temps ce qu'il a...

à l'échelle « micro »

à l'échelle « meso »

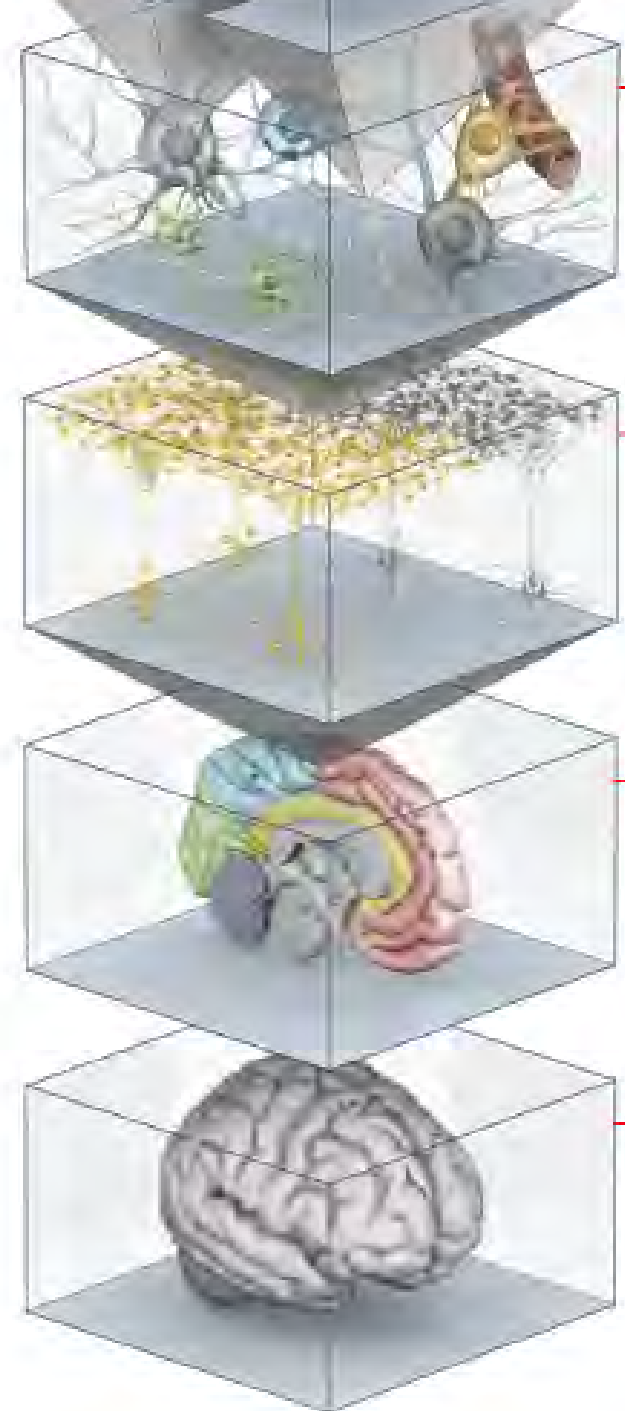
à l'échelle « macro »



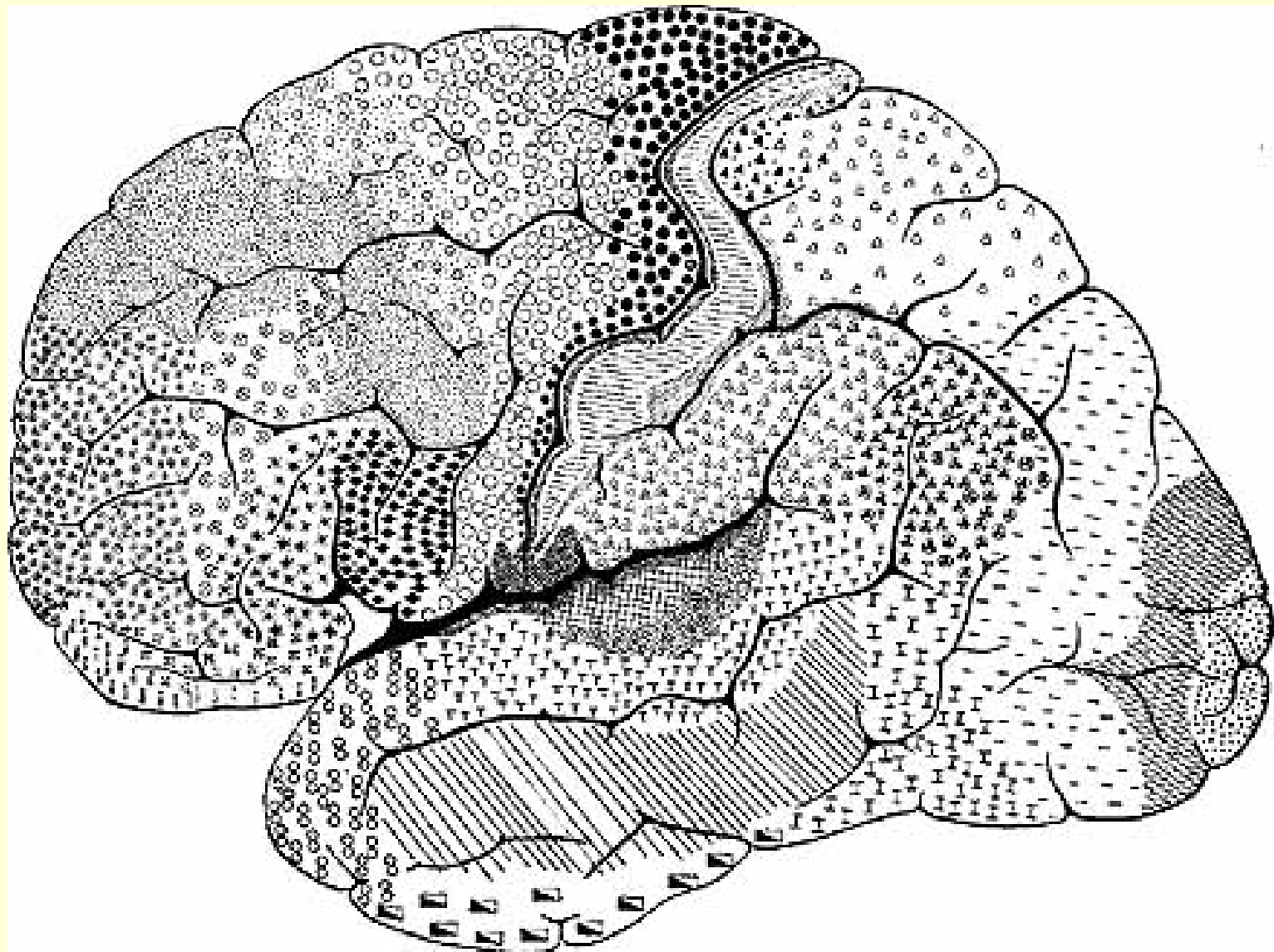
l'échelle « micro »

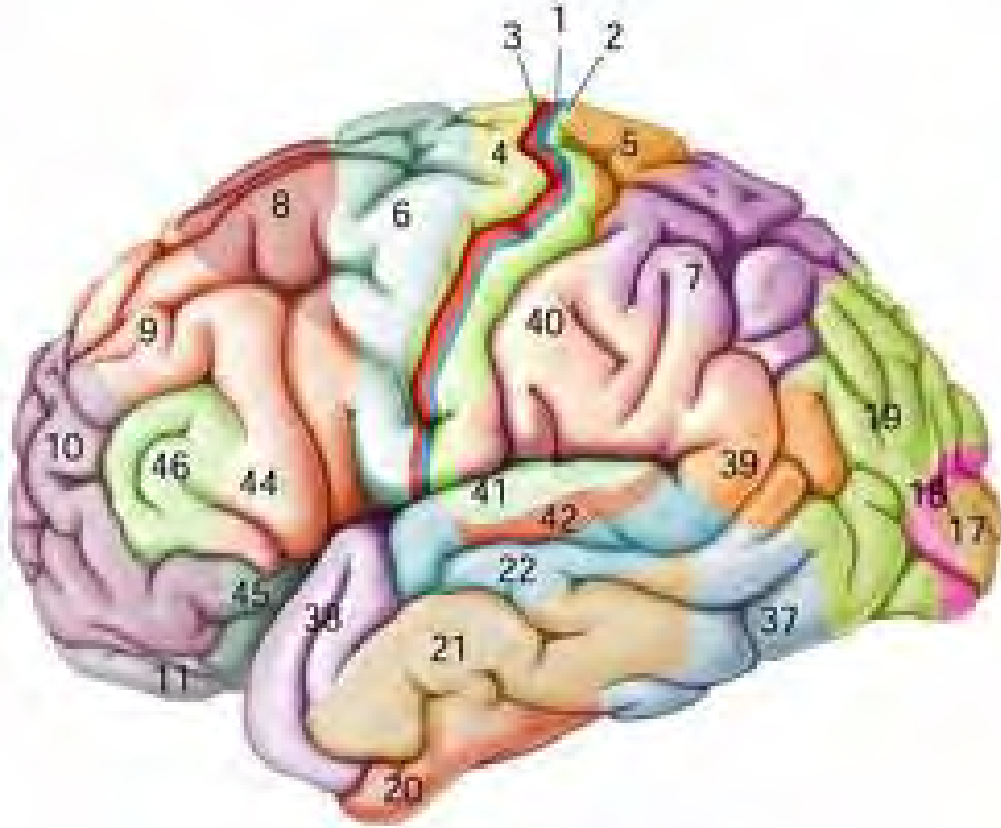
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau :

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

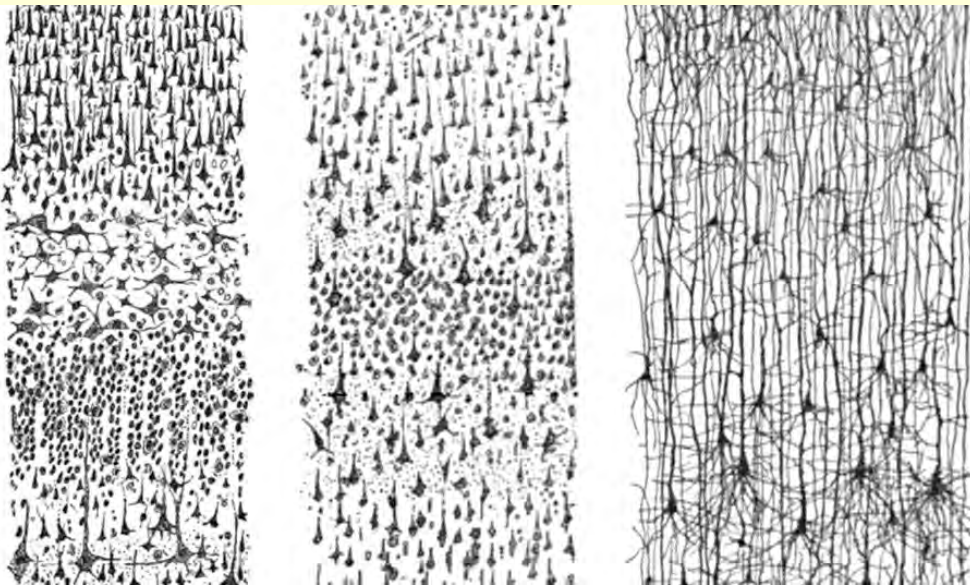


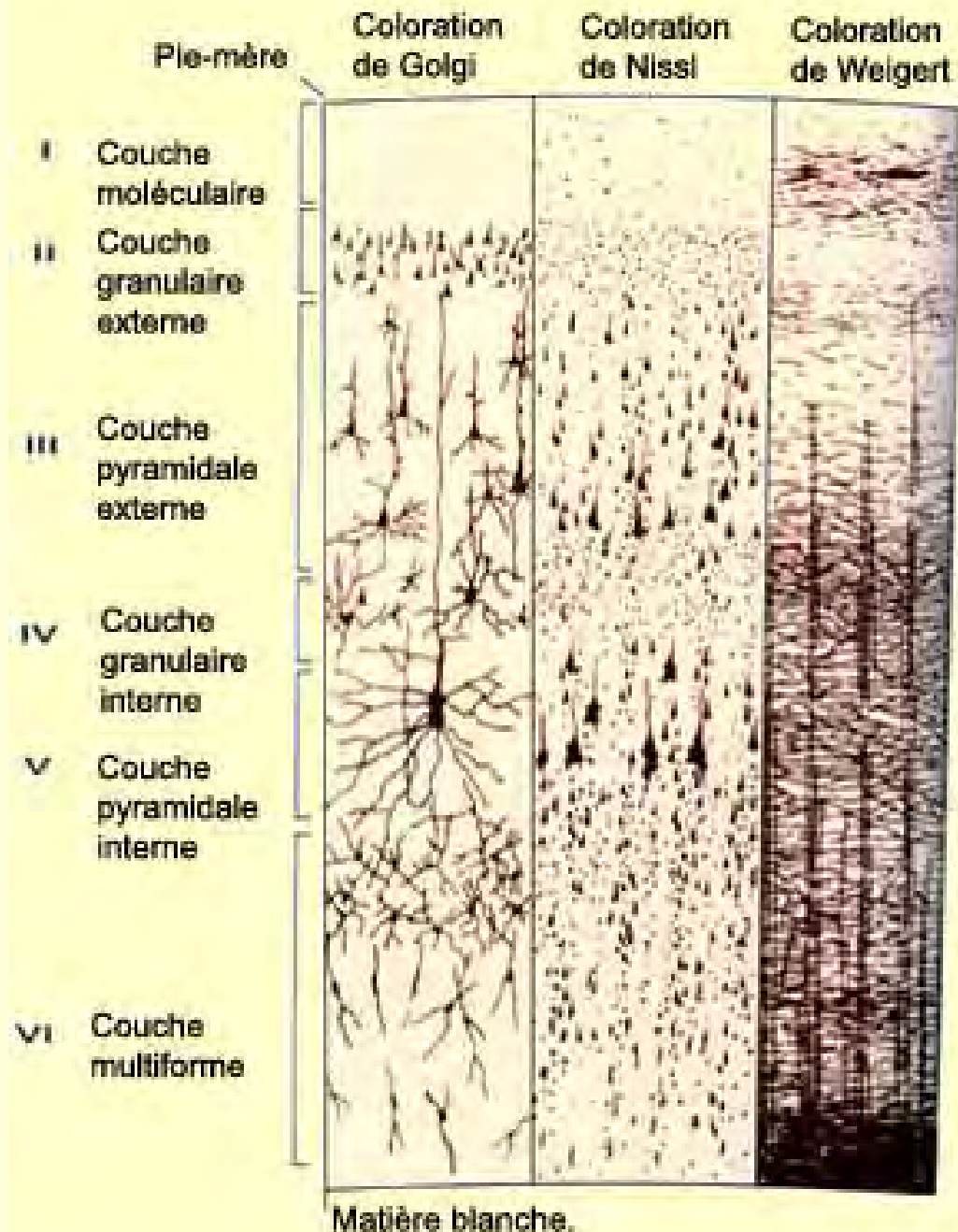
Les premières cartes cérébrales comme celle de Brodmann étaient basées sur la cytoarchitecture





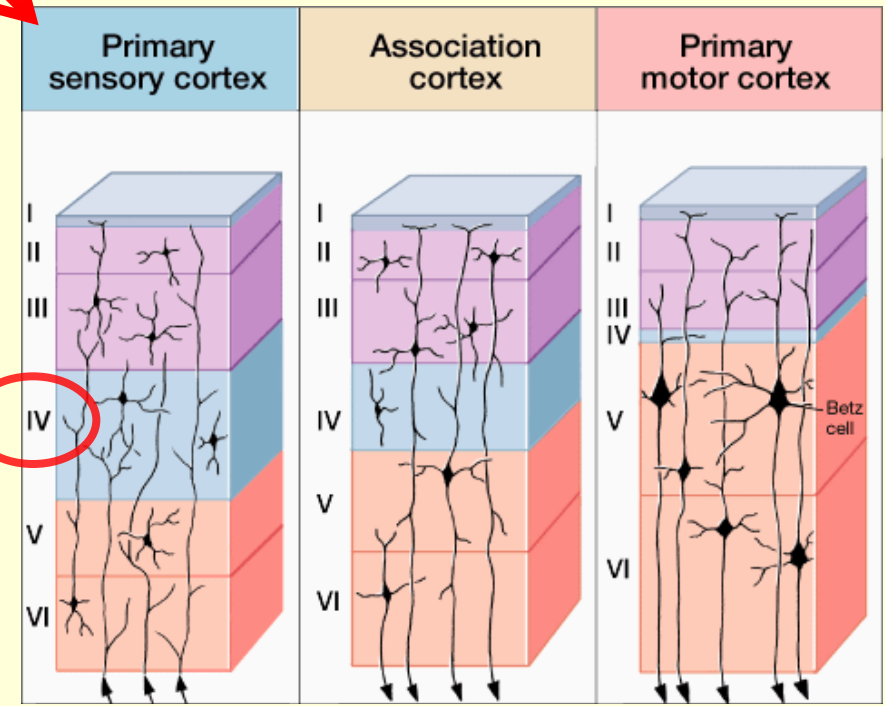
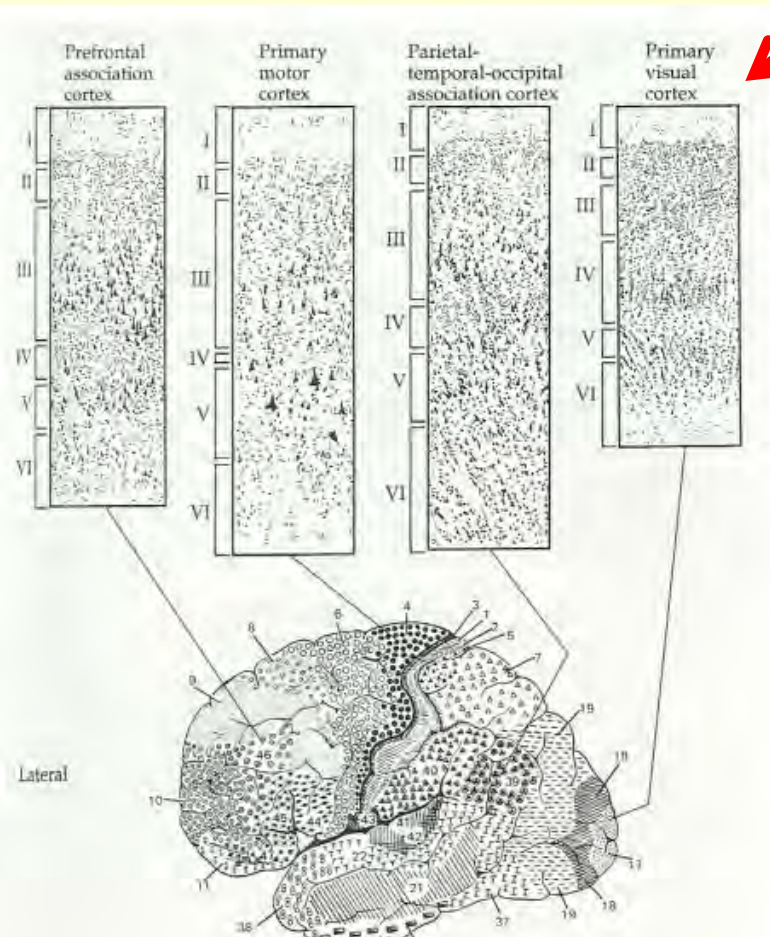
c'est-à-dire la **densité**,
la **taille** des neurones et
le **nombre de couches**
observées sur des
coupes histologiques.





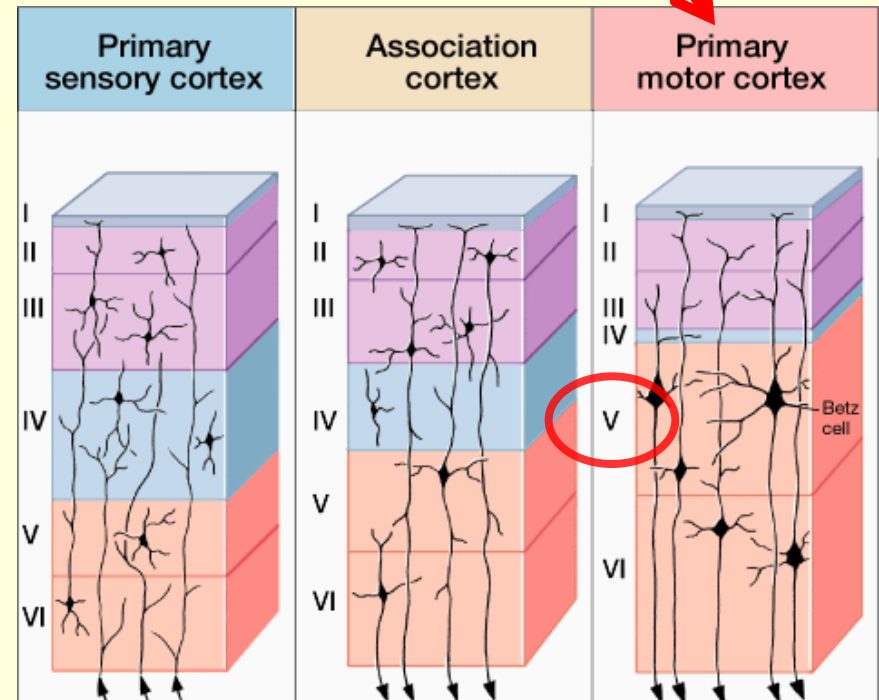
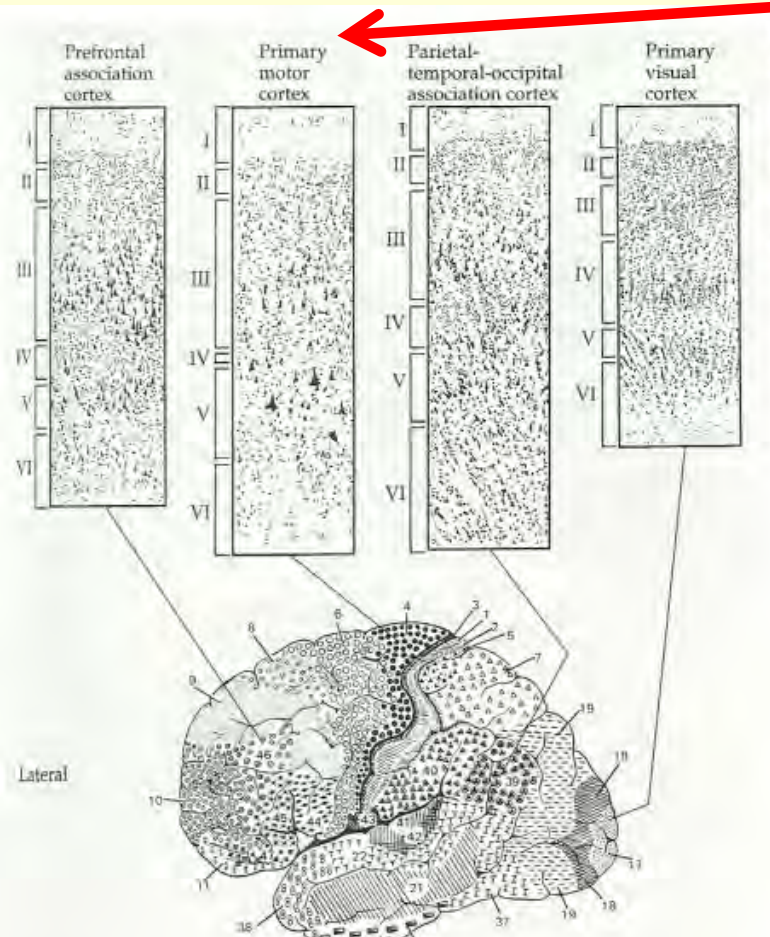
Et on sait aujourd'hui qu'effectivement cette **organisation cellulaire du cortex** n'est pas sans rapport avec les fonctions des différentes aires corticales.

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**.



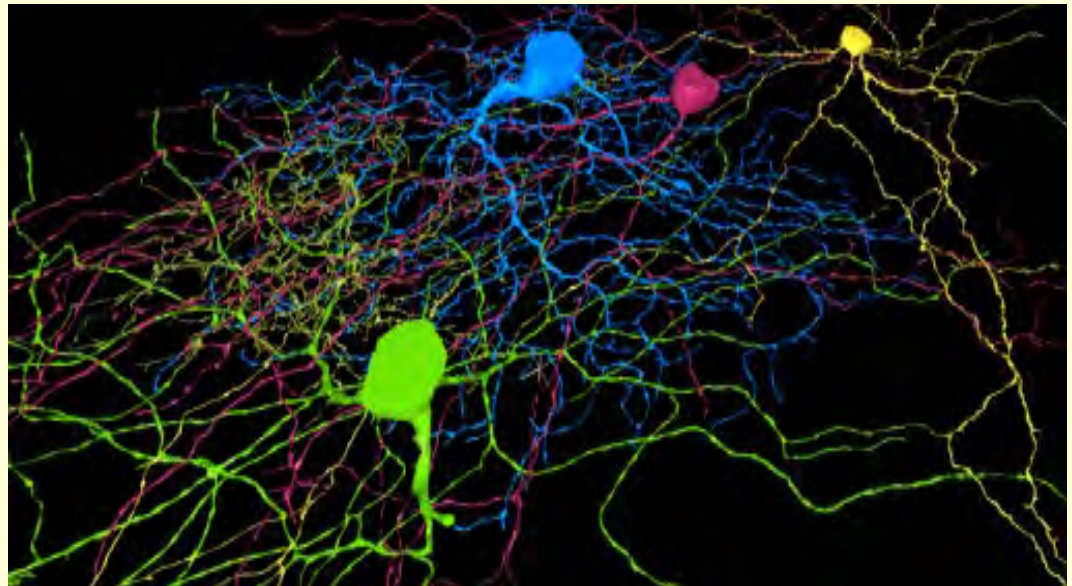
À l'échelle « micro » aujourd'hui :

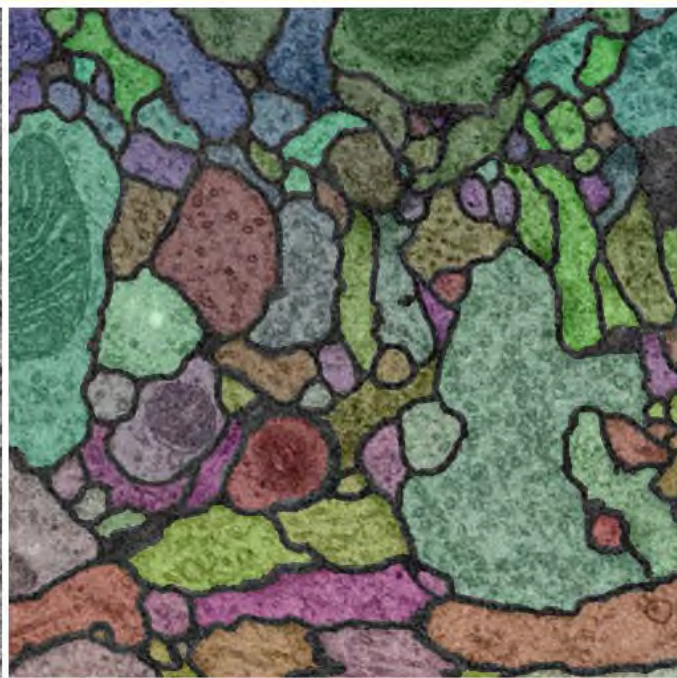
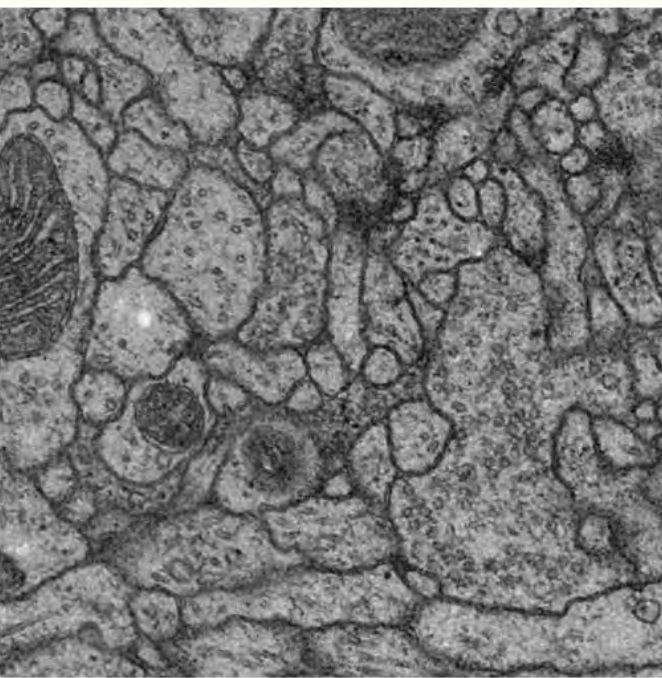
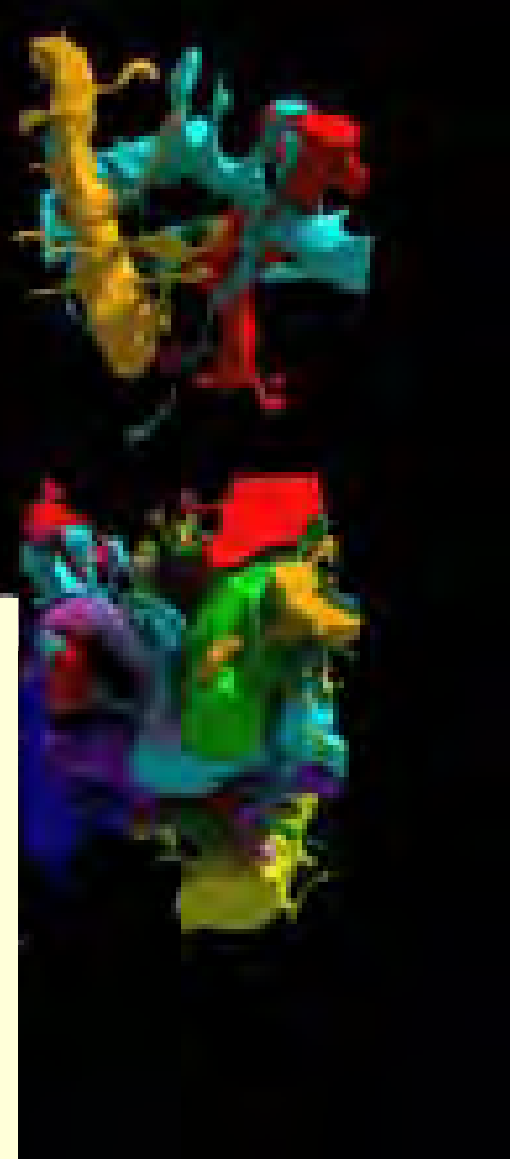
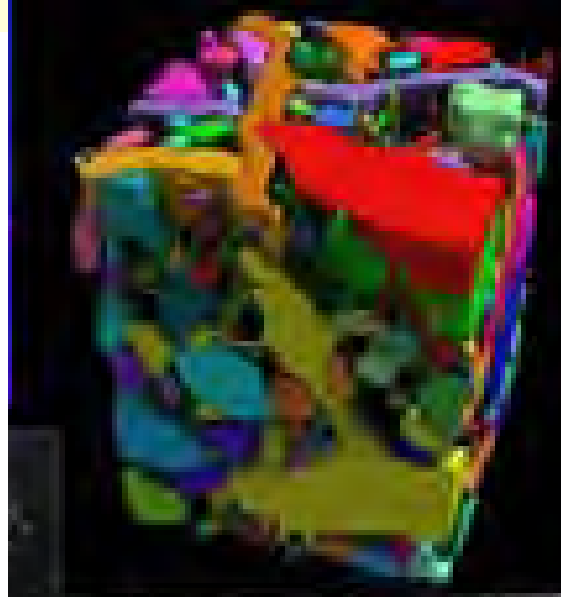
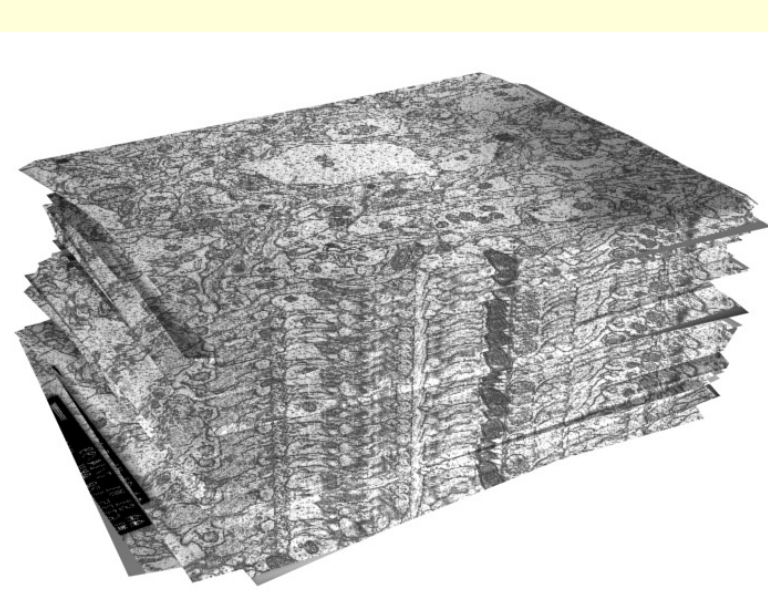
Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

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.

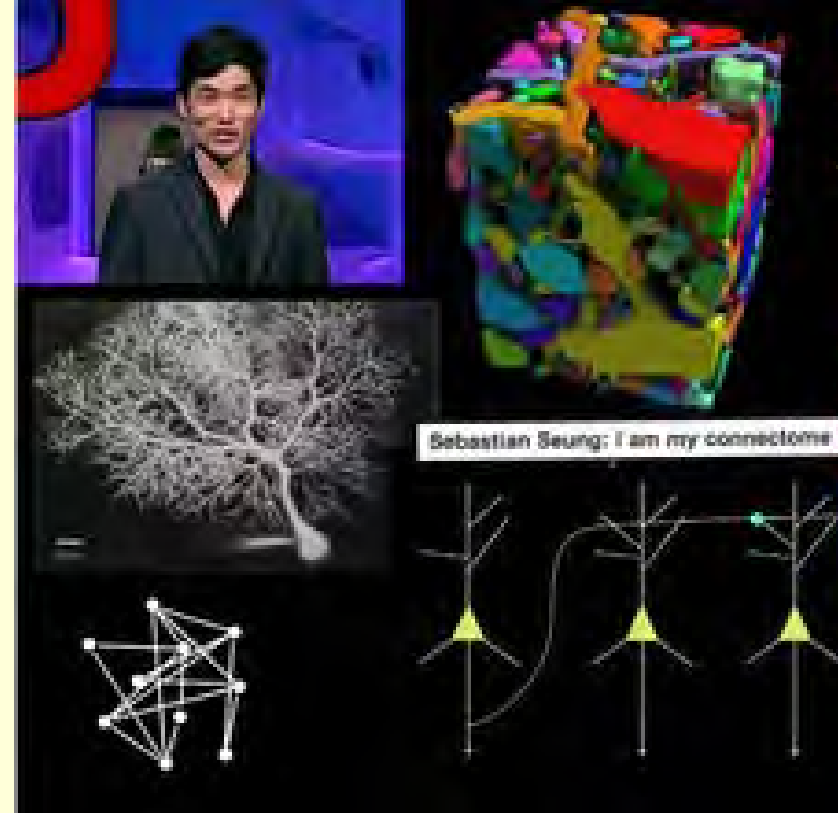




C'est de ce point de vue **microscopique** (c'est-à-dire où précisément, et comment, les axones et les épines dendriques se connectent) que Seung va critiquer par exemple le Human Brain Project.

Sebastian Seung, Brain Science Podcast, Episode 85

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



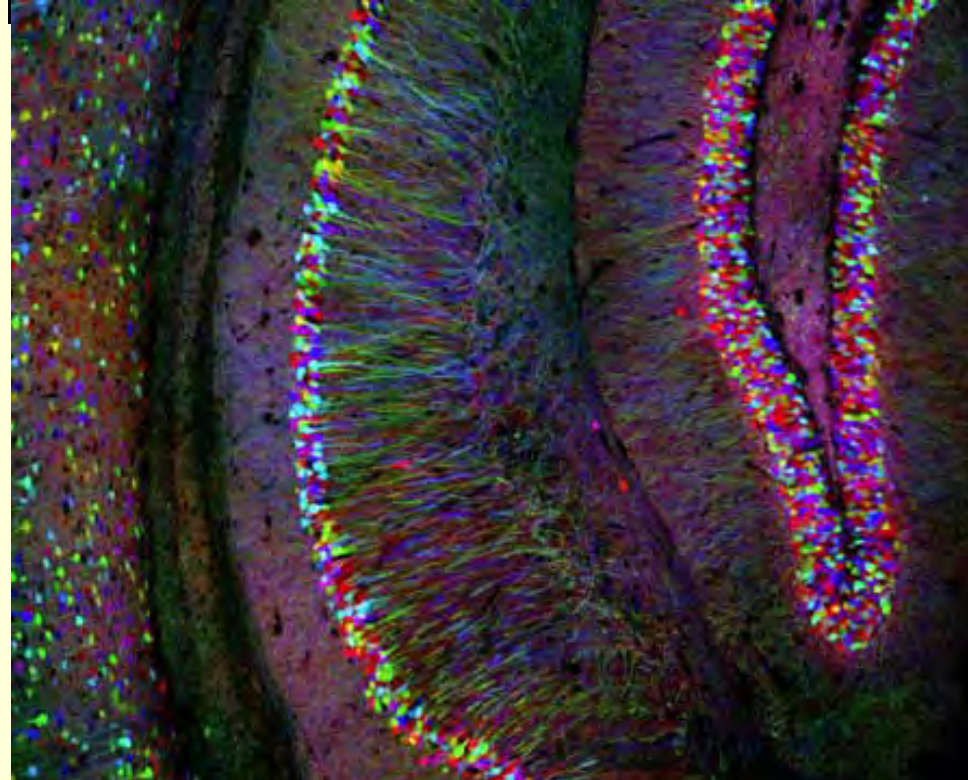
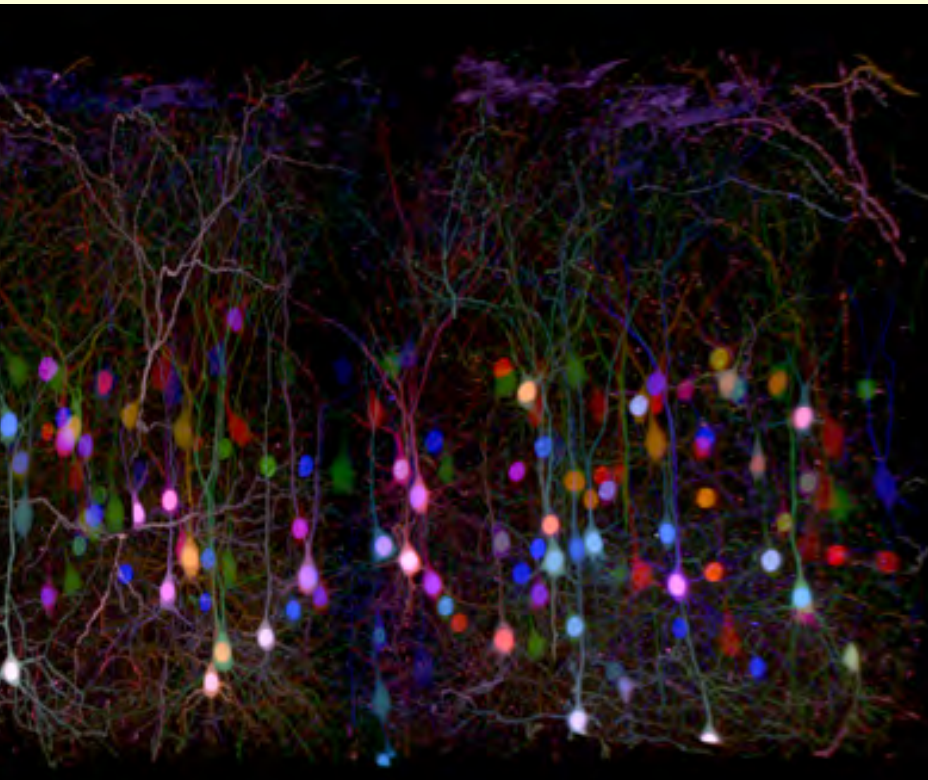
<http://brainsciencepodcast.com/>



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**,



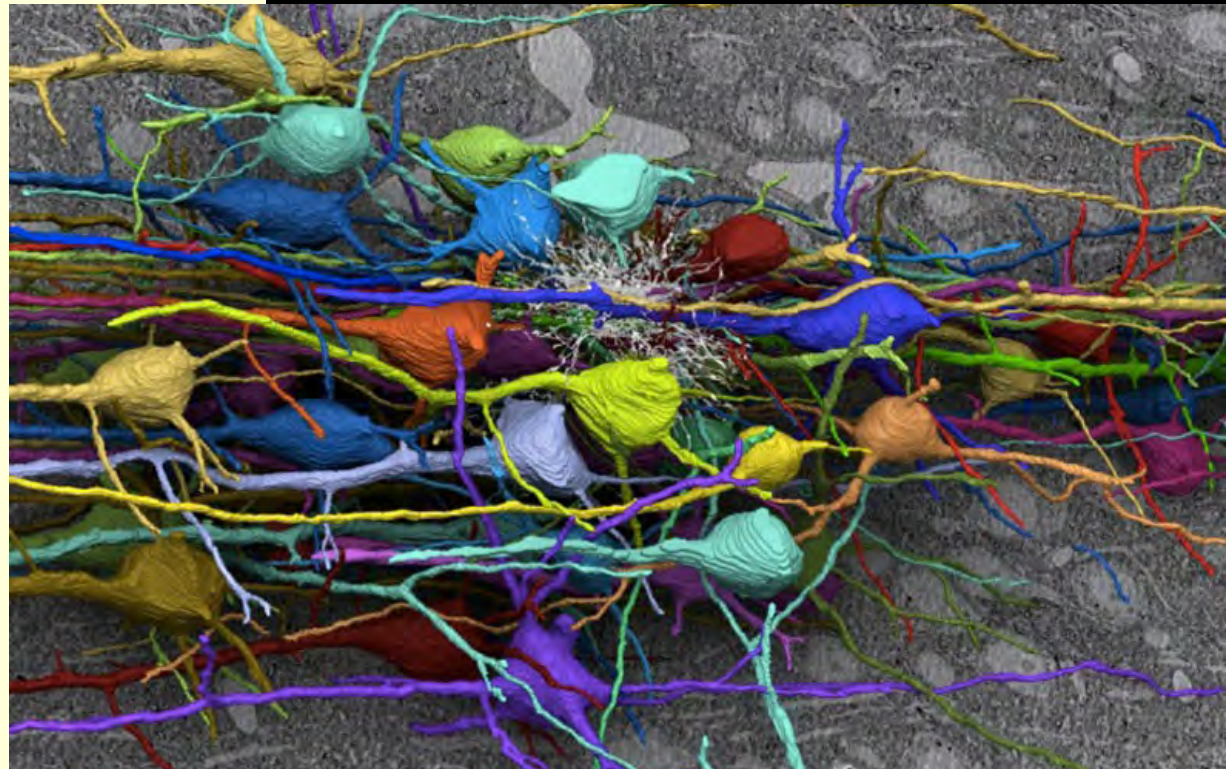
C'est aussi la démarche de :
Jeff Lichtman, *Professor of
Molecular and Cellular Biology*
Harvard University

<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>

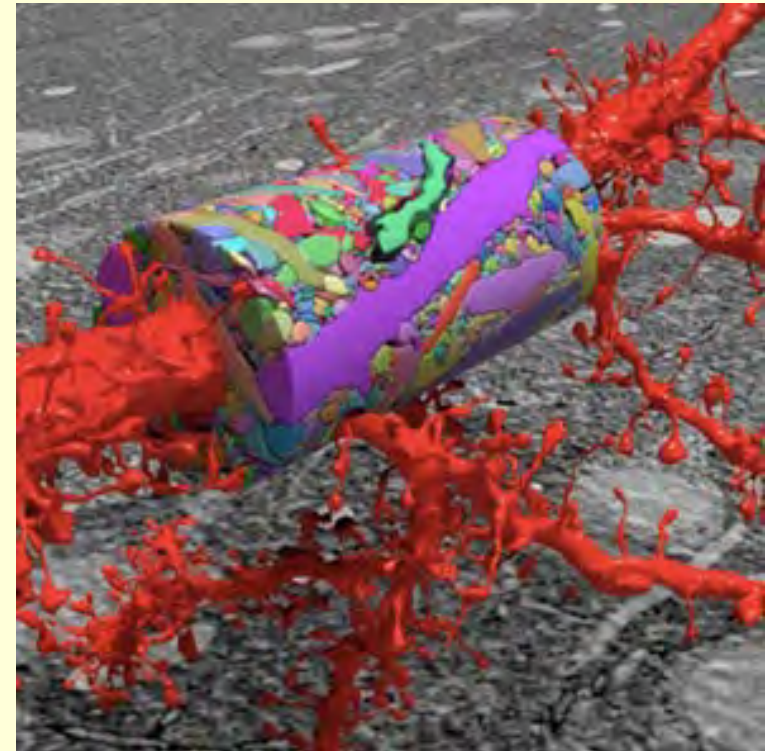
Video: An incredibly detailed tour through the mouse brain :

<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.

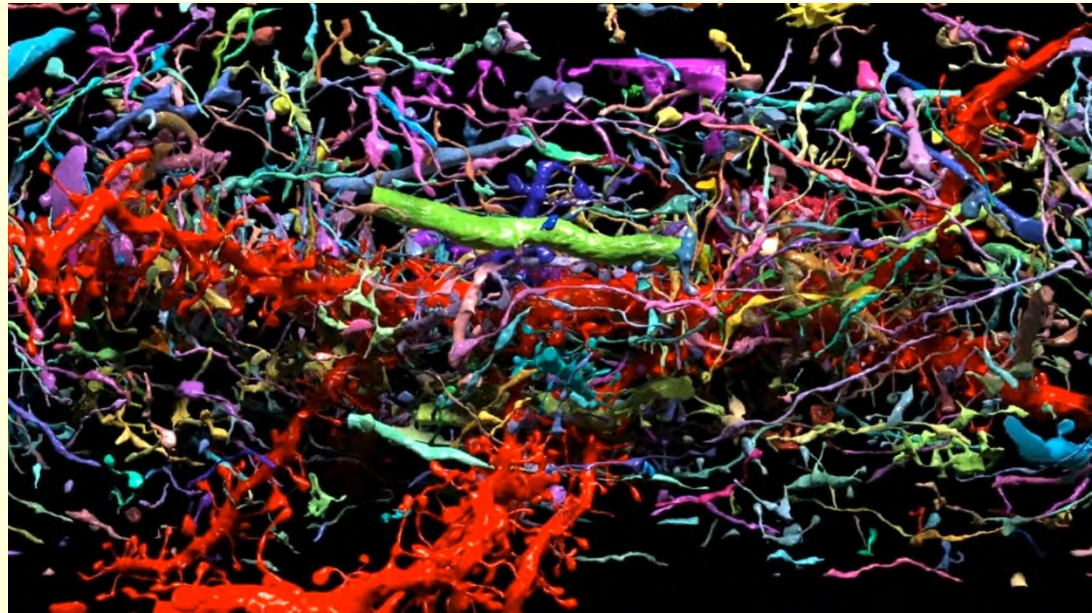
Mais aujourd'hui, à l'heure des « **big data** » rendues possibles par les ordinateurs et les mastodontes à 61 faisceaux, c'est **l'inférence** qui redevient selon Lichtman l'approche la plus prometteuse.

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 :

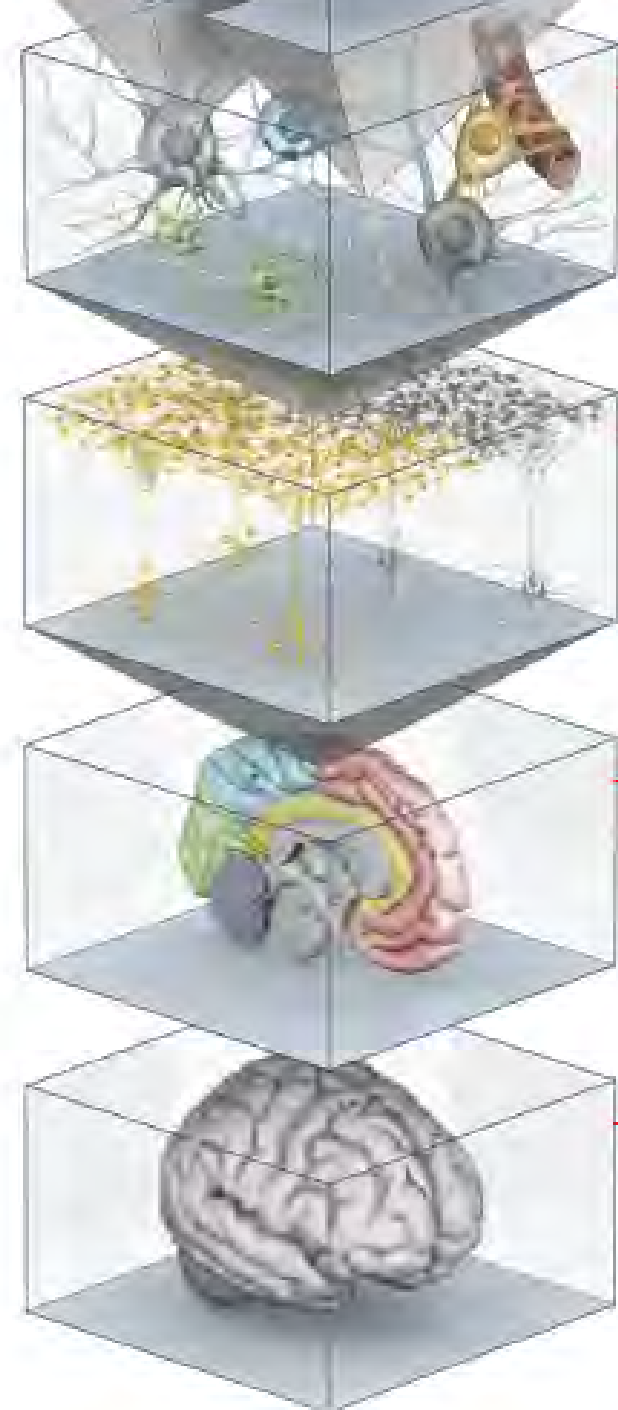
ce sont les jeunes qui vont baigner dans cet univers foisonnant de données, qui en seront imprégnés sans idées préconçues, qui pourront peut-être en discerner de grand principes permettant de mieux comprendre cette complexité...



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 » :

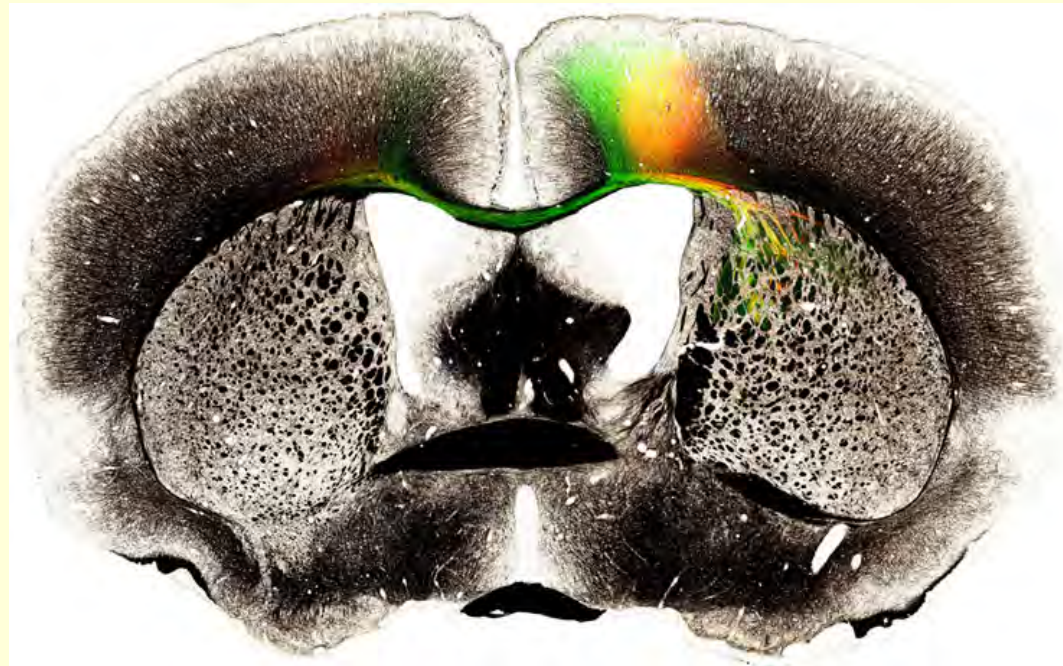
Mouse Brain Architecture Project

<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.

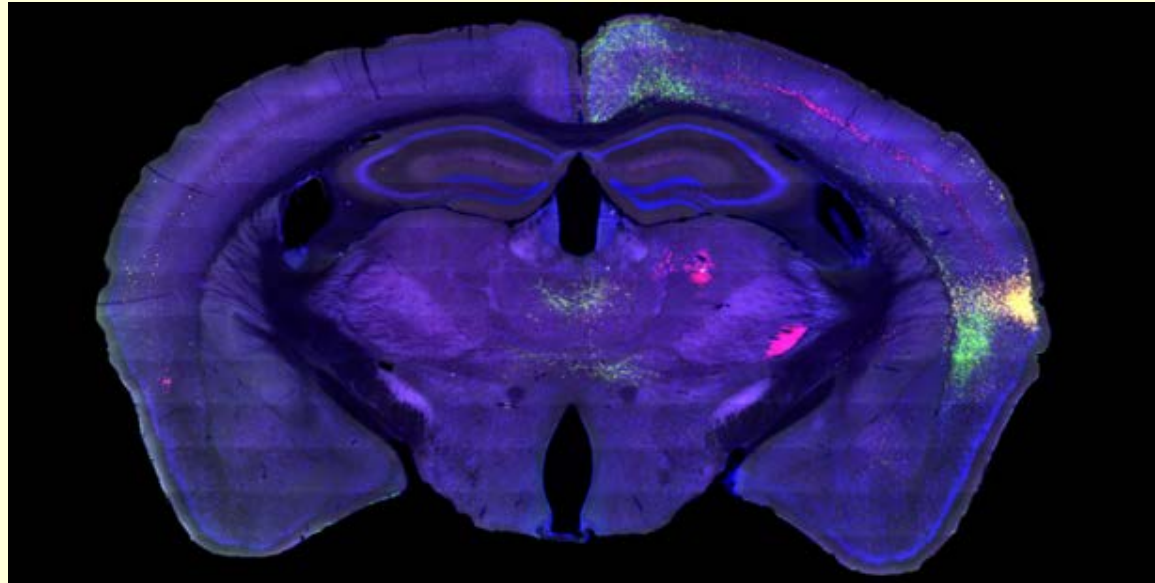


Neural Networks of the Mouse Neocortex

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)



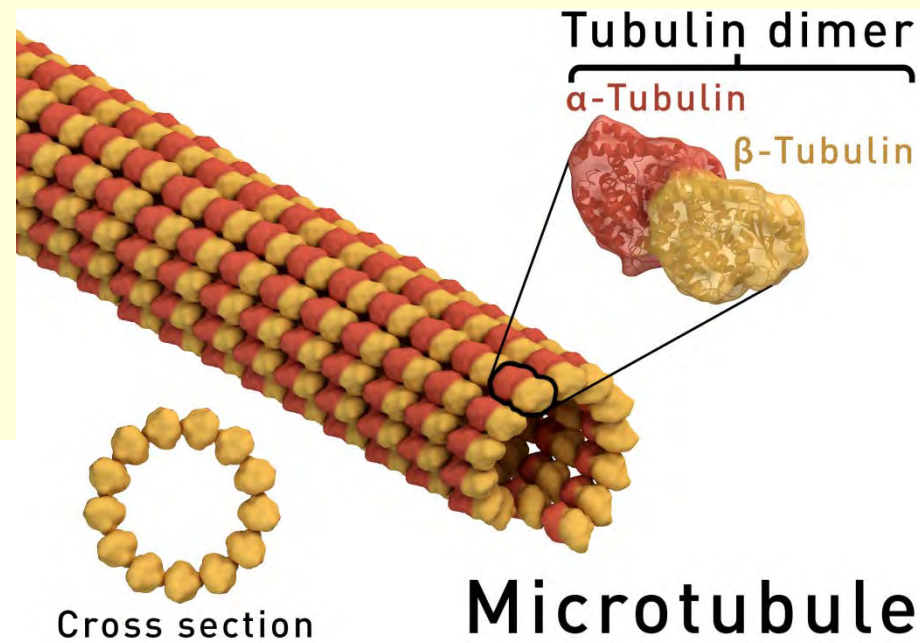
*“The MCP also used an advanced method to map the brain circuits better: **double coinjection tract tracing**.”*

*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.”*

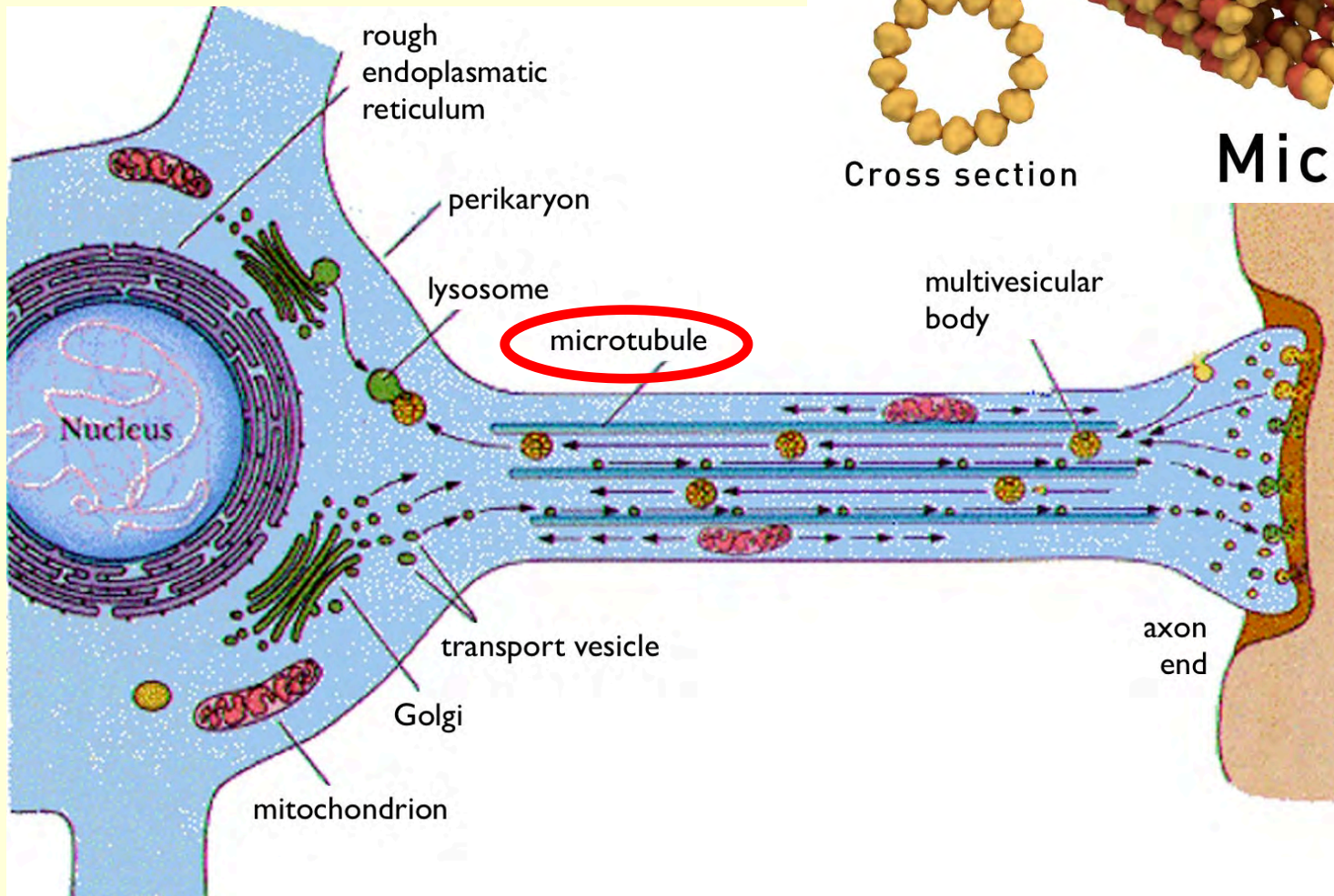
Mapping the Information Highway in the Brain

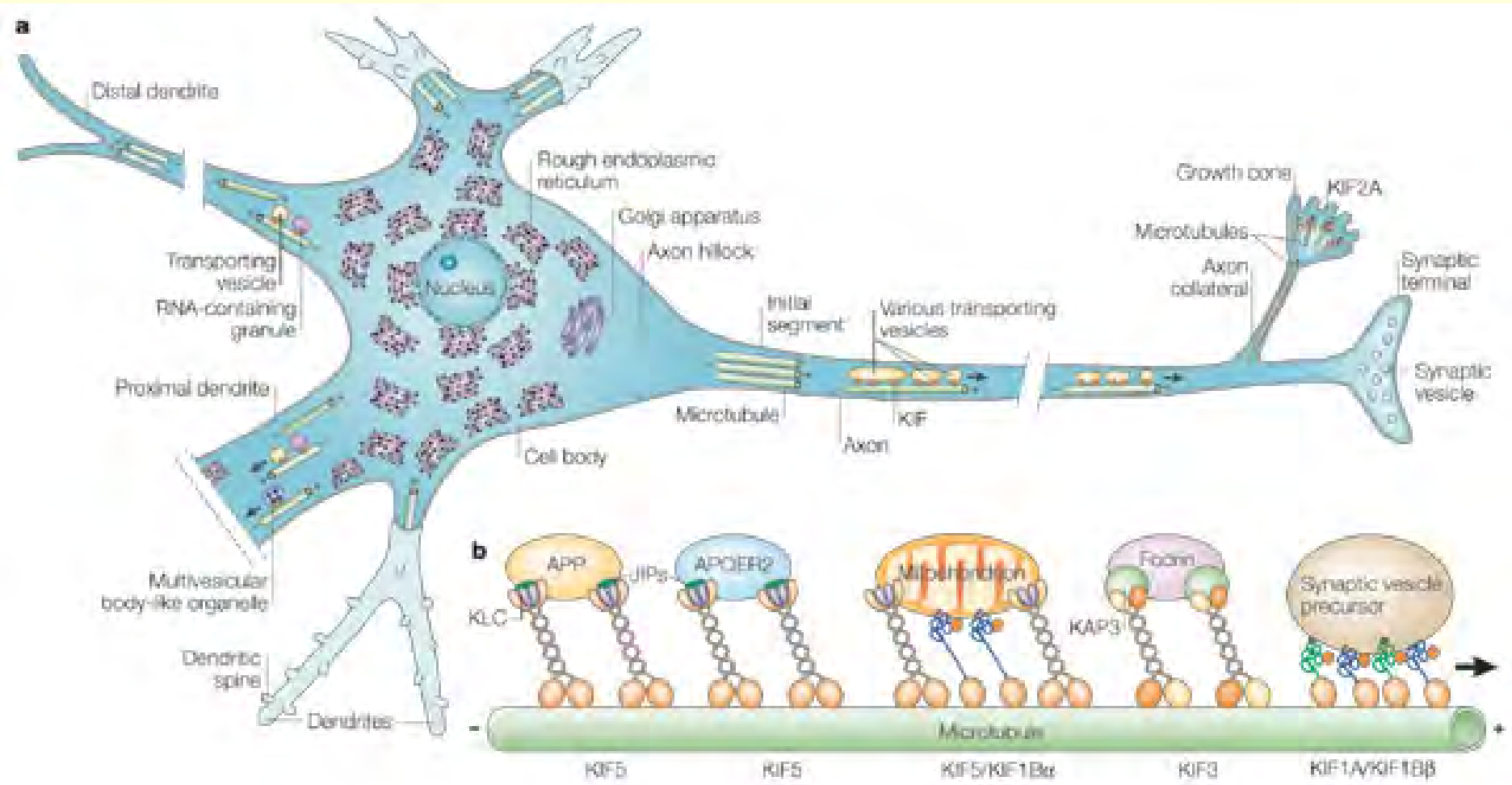
<http://knowingneurons.com/2014/03/26/mapping-the-information-highway-in-the-brain/http://knowingneurons.com/2014/03/26/mapping-the-information-highway-in-the-brain/>

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**").



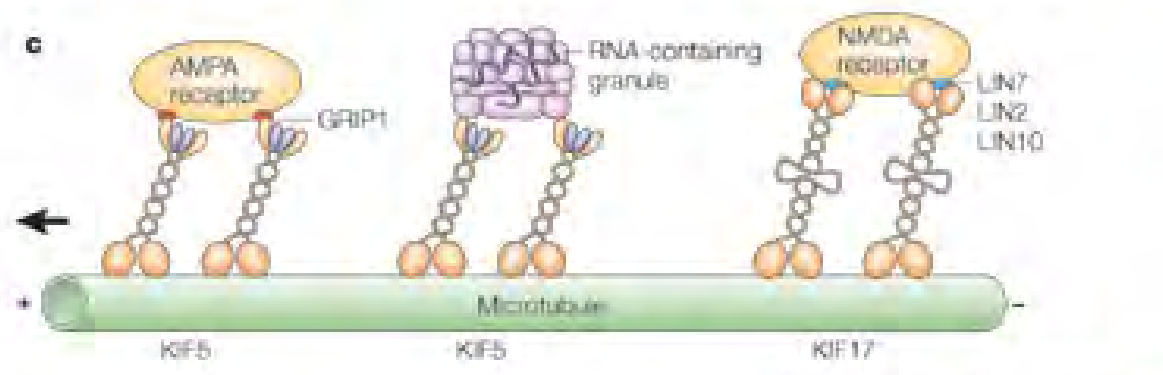
Microtubule



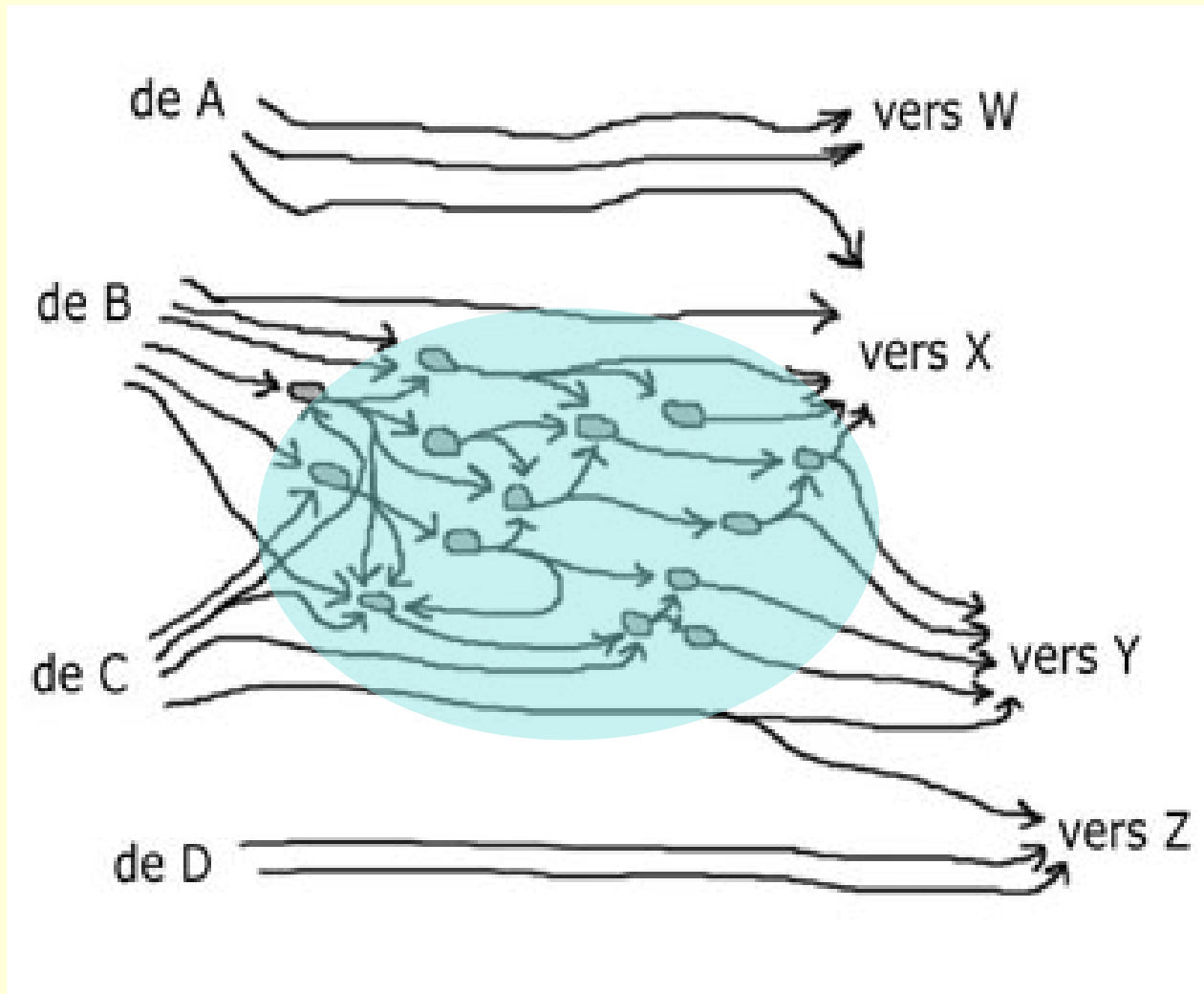


Animation :

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

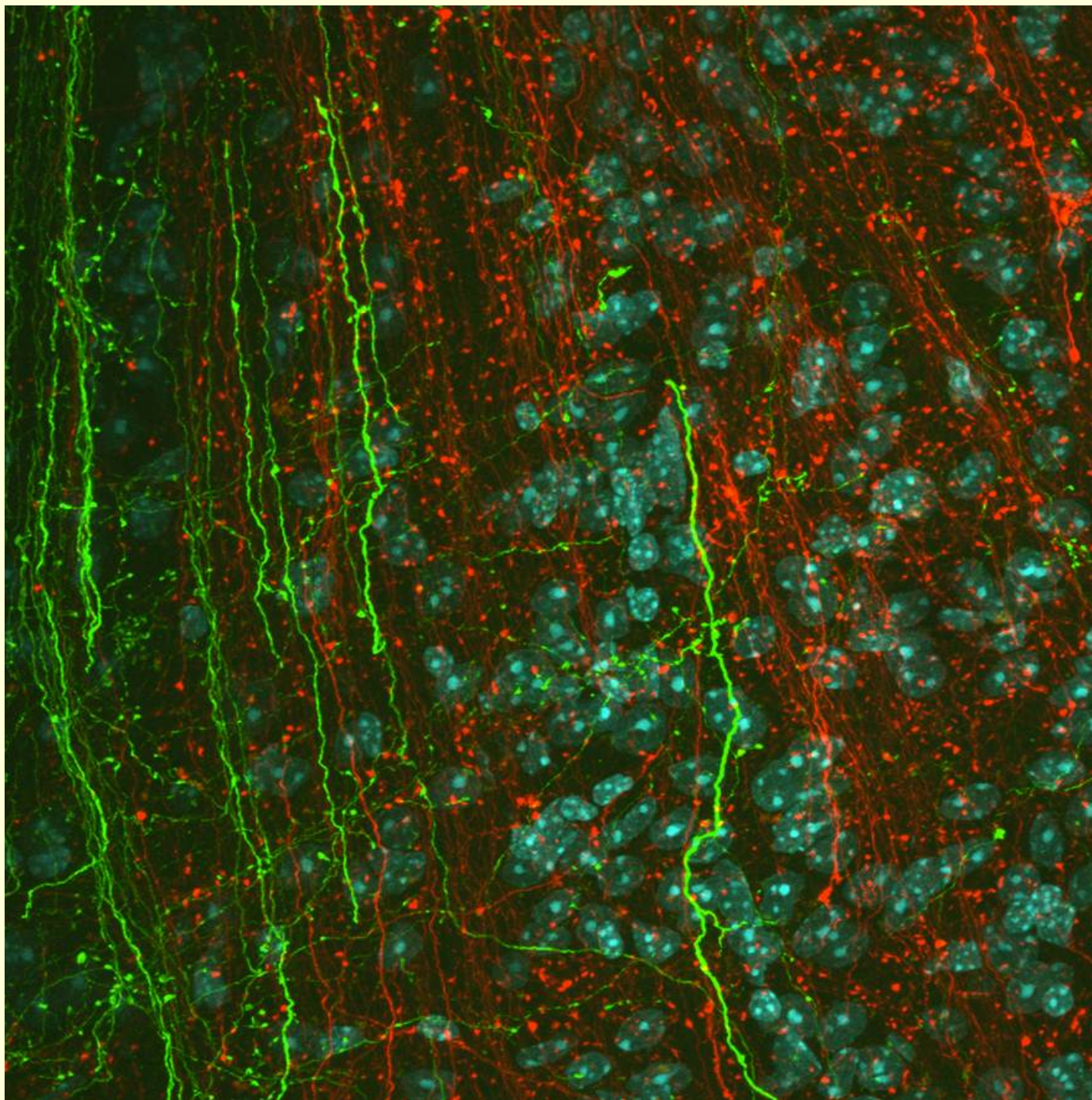


Et c'est avec de telles techniques de traçage que l'on va pouvoir établir le tracé des axones de différents groupes de neurones.



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)

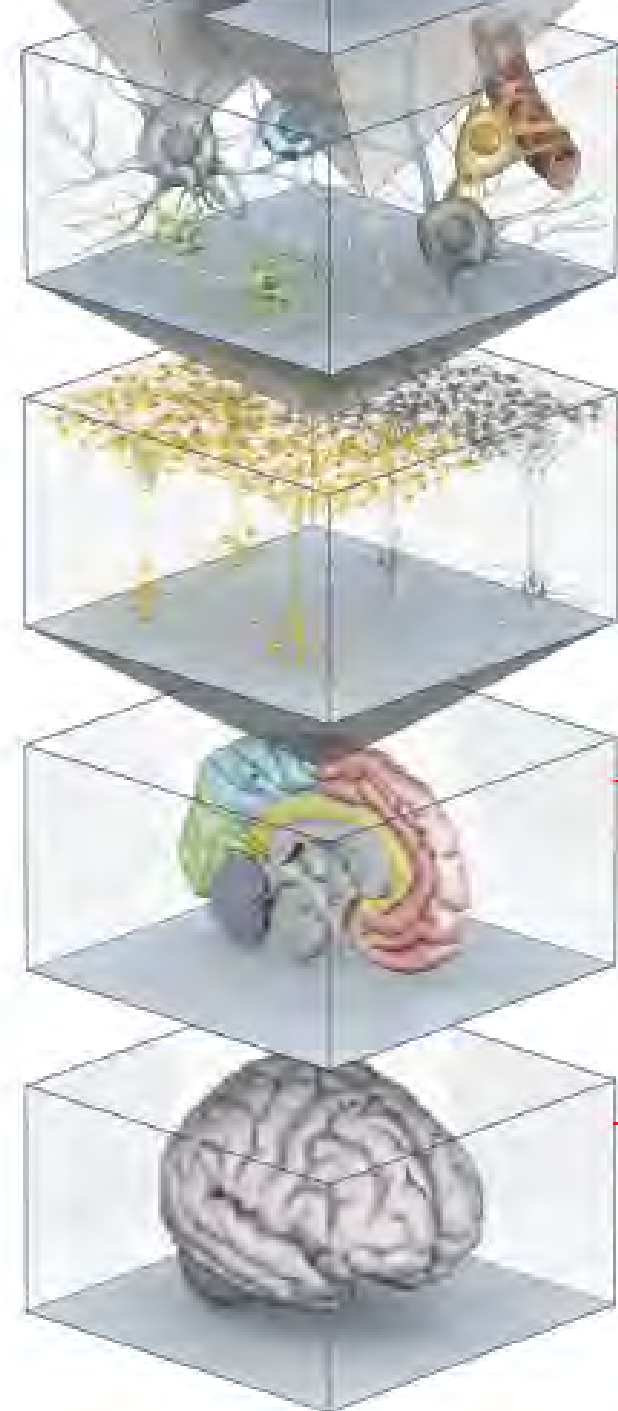
et du **noyau
médian
postérieur de
l'amygdale**
(rouge)

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 » :

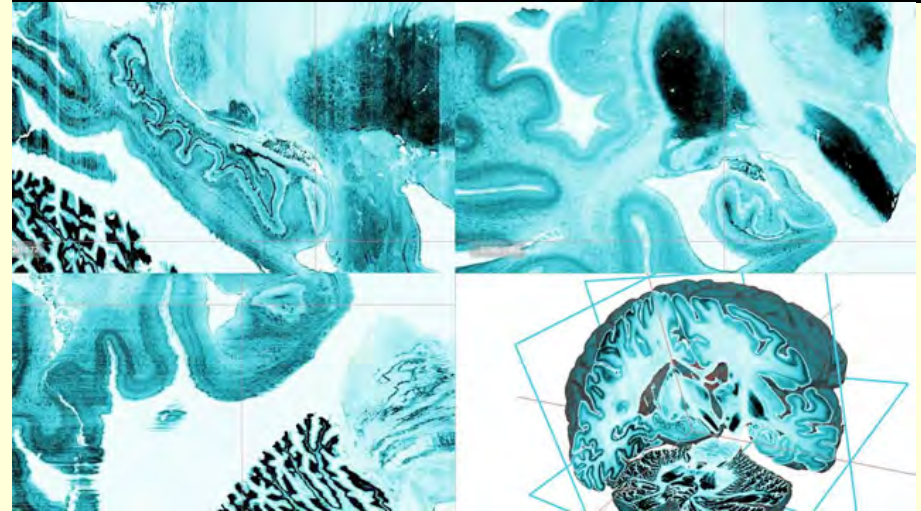
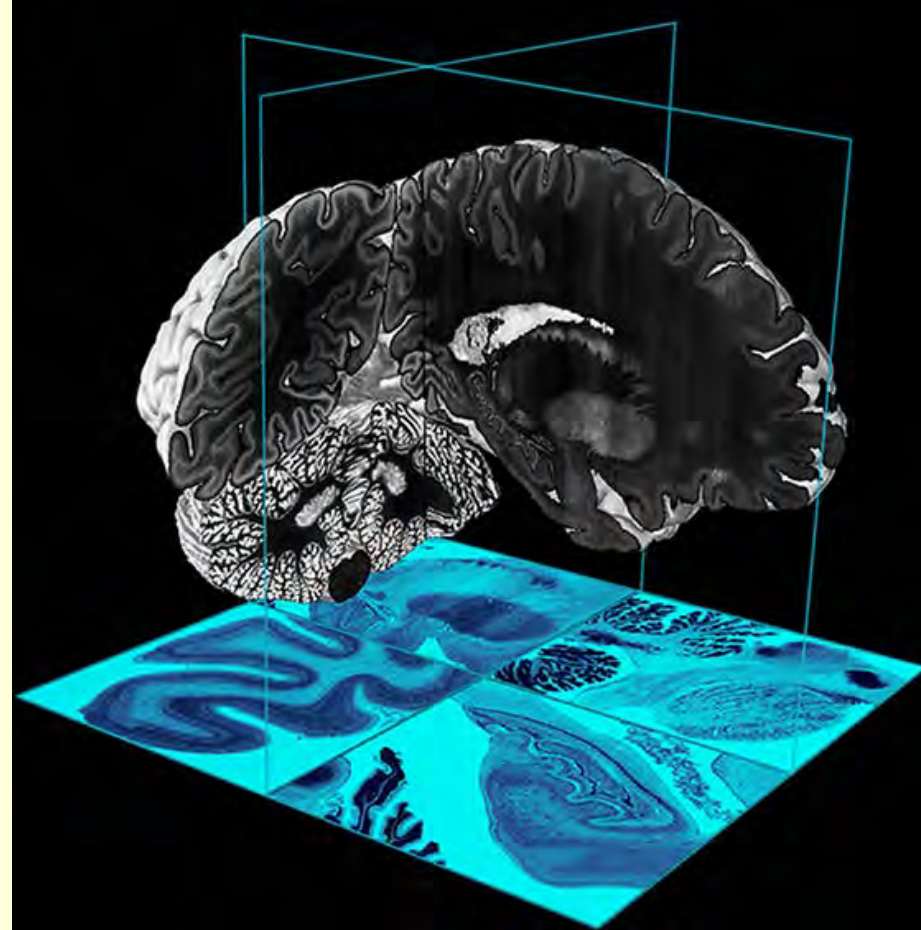
BigBrain

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.



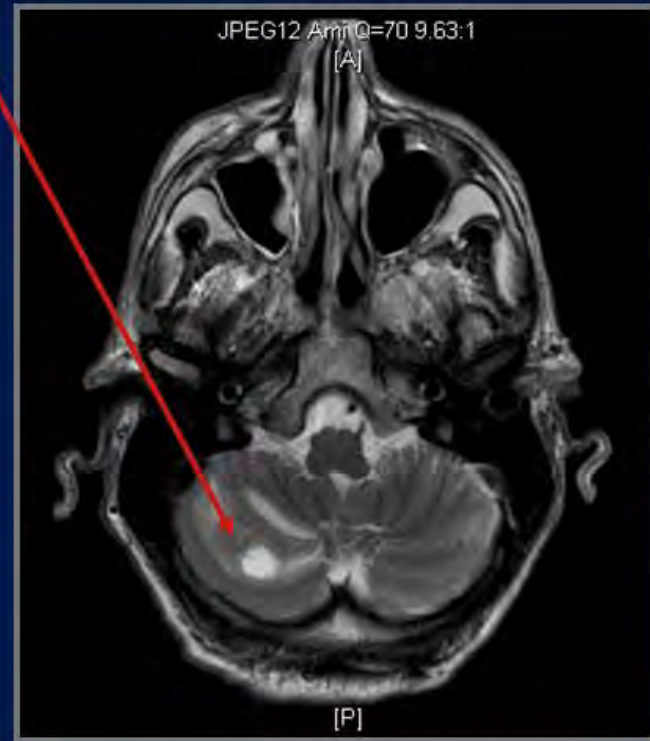
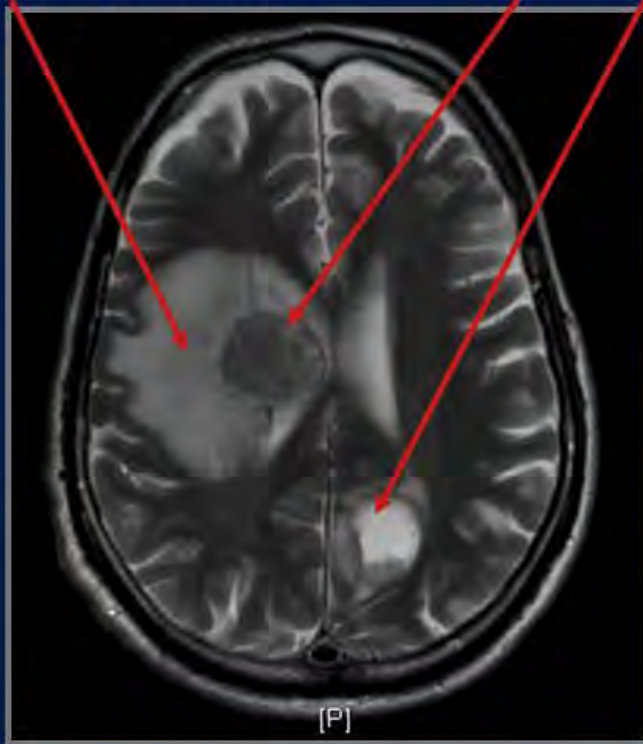
L'IRM, en plus
d'une **définition
supérieure au
CT scan** (rayons
X assistés par
ordinateur),



Brain Metastases on MRI Images

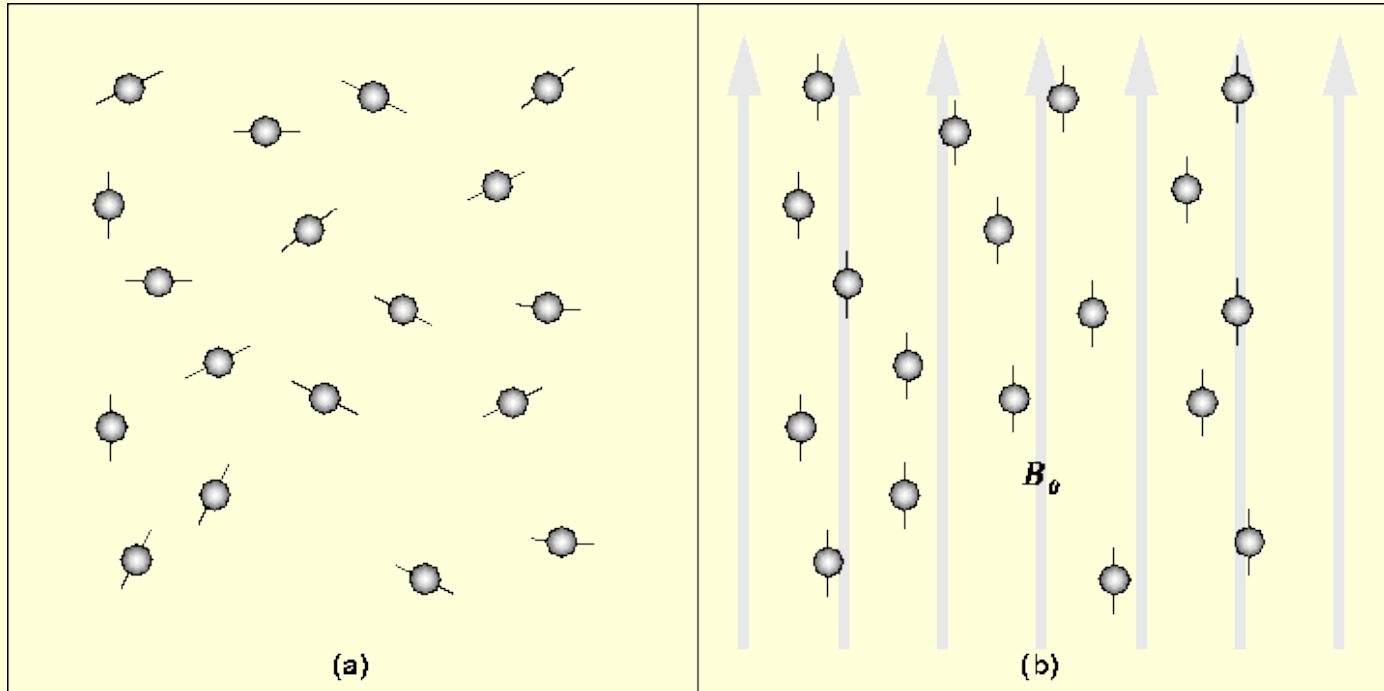
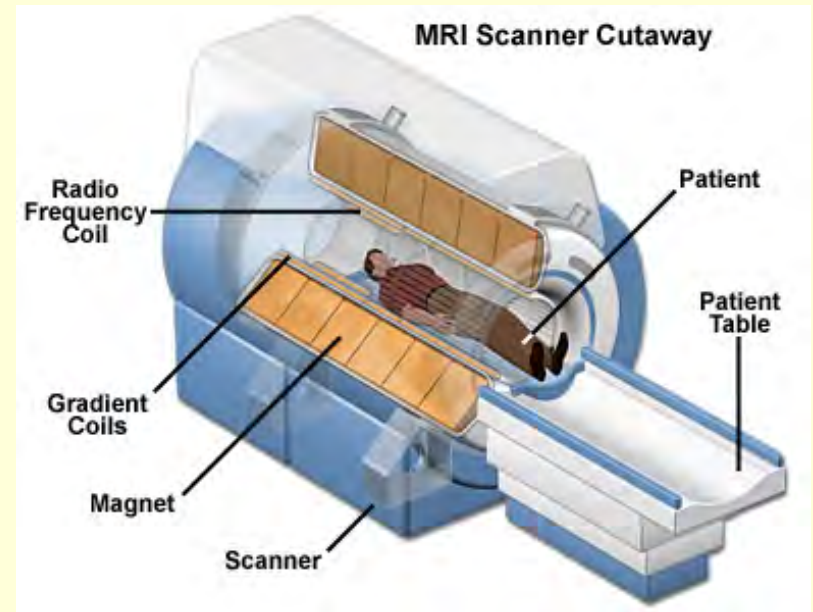
Edema (swelling)

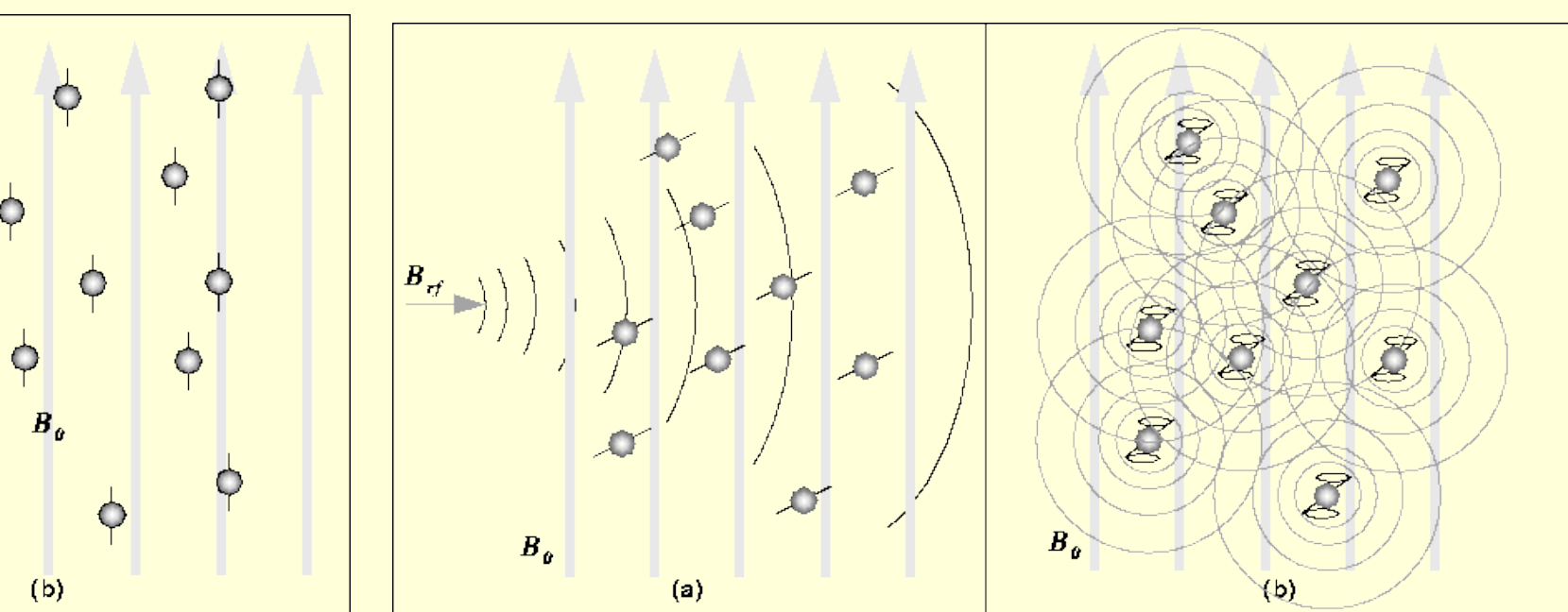
Brain metastases



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.



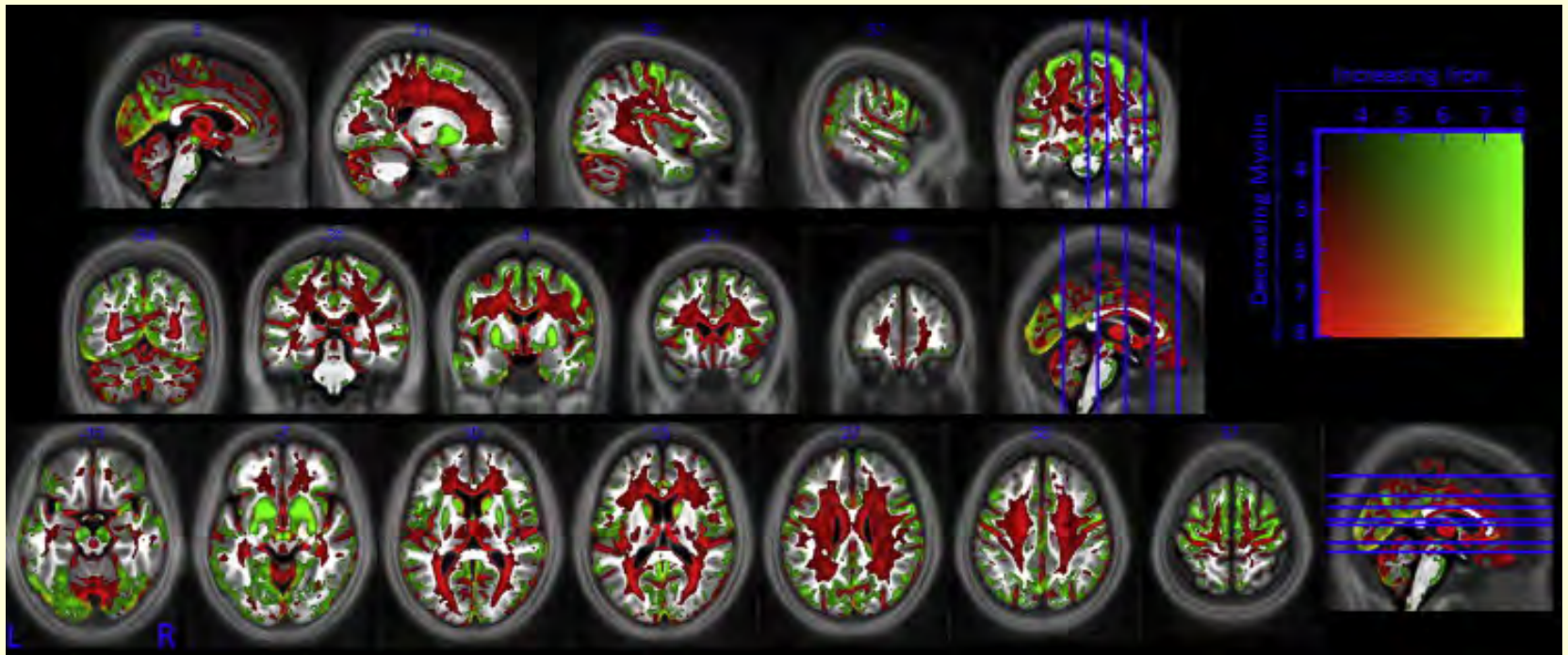
Une coupe sagittale mettant en évidence l'intérieur de l'hémisphère cérébral gauche du sujet.

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.**



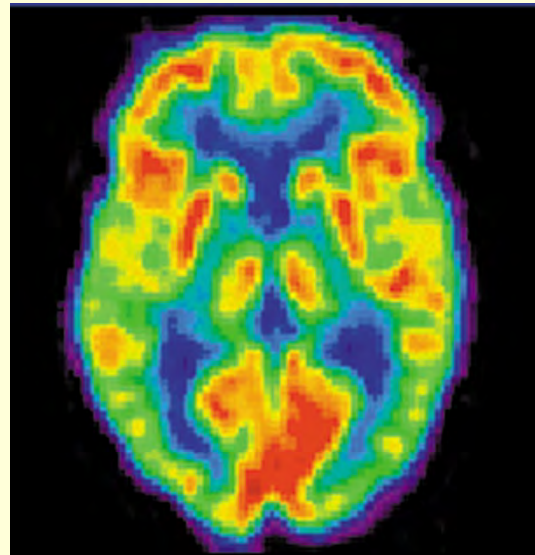
On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

- **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**.

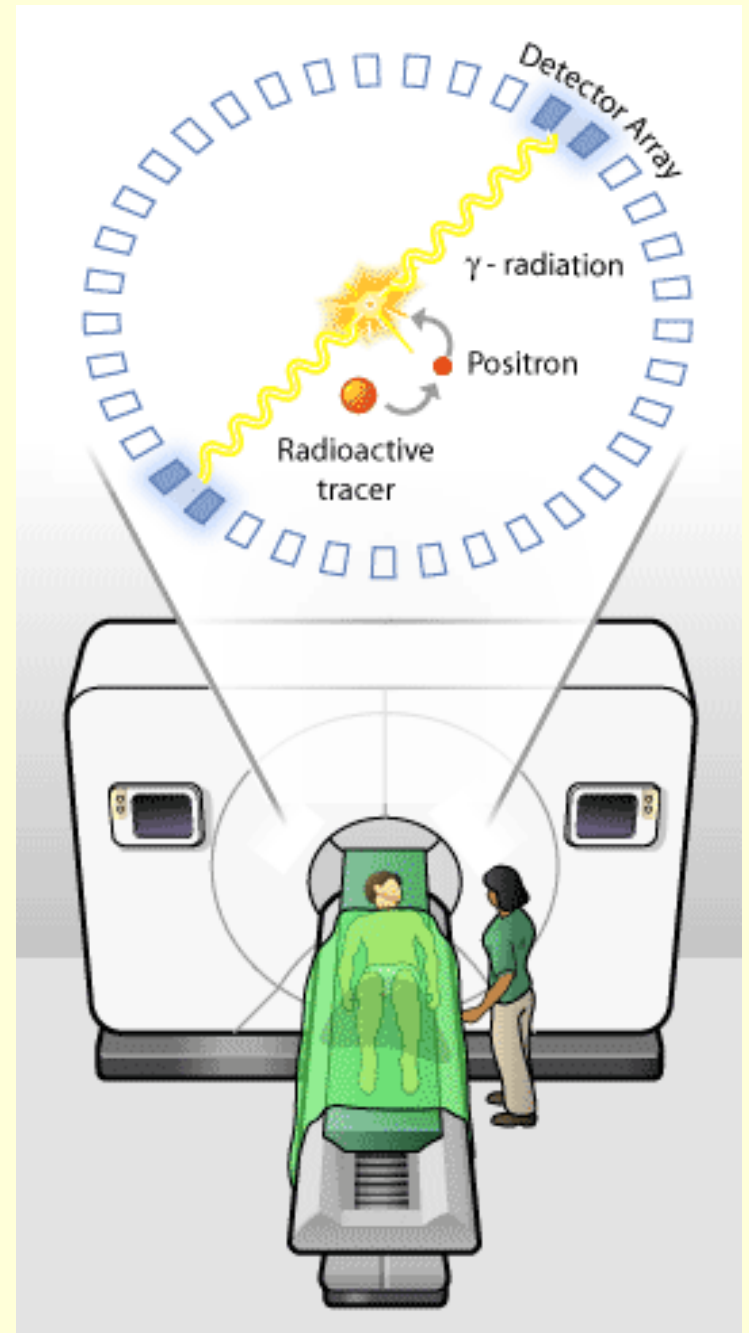


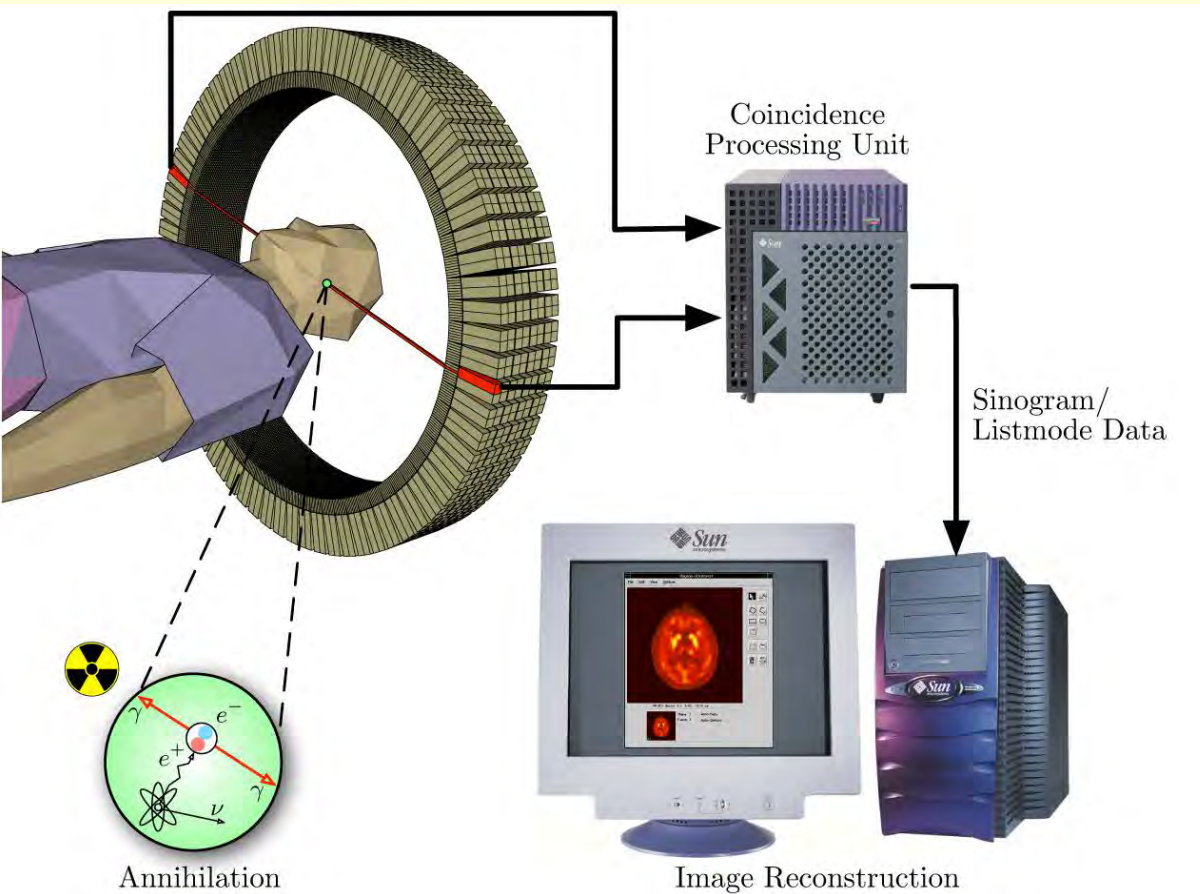
Les fameux **positons** de la TEP proviennent de la dégradation d'un **noyau radioactif** incorporé dans le système sanguin du sujet.

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.

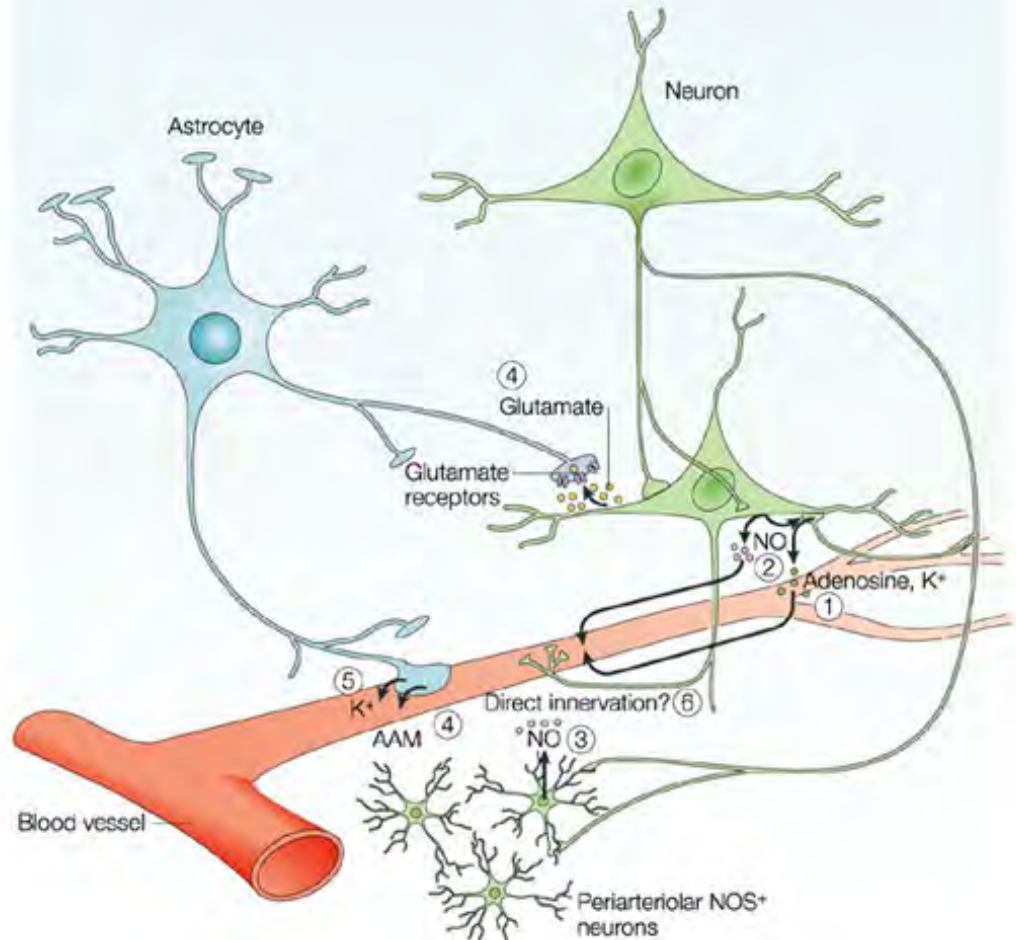




Une série de détecteurs placés autour de la tête du sujet va ensuite **enregistrer les couples de rayons gamma émis** et, grâce aux calculs faits par l'ordinateur, **identifier la position de leur lieu d'émission.**

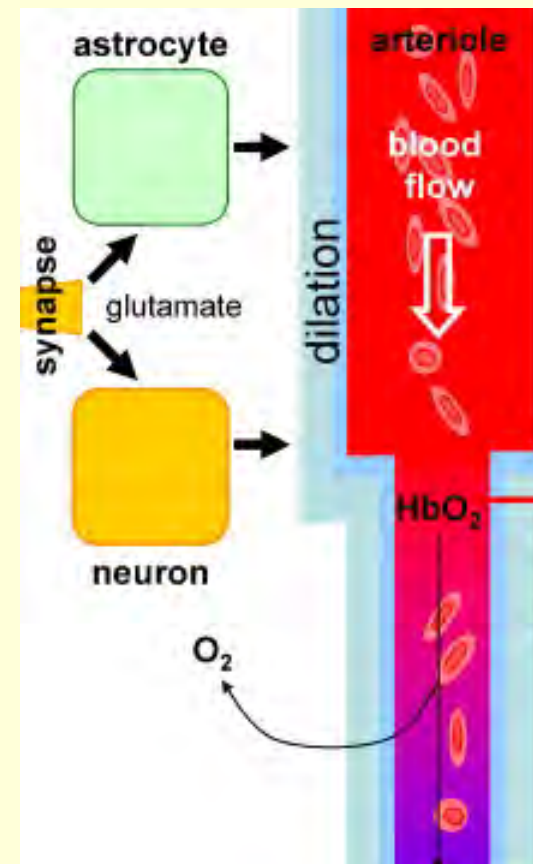
Comme pour comme
l'IRMf [dont on va parler
tantôt] le phénomène
physiologique sur lequel
s'appuie la TEP est le
suivant :

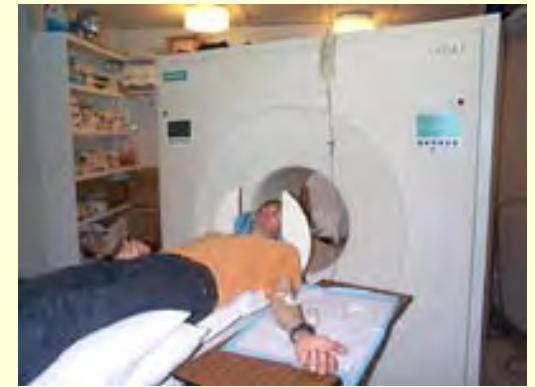
lorsqu'un groupe de
neurones devient **plus
actif**, une vasodilatation
locale des capillaires
sanguins cérébraux se
produit automatiquement
pour amener davantage
de sang, et donc
d'oxygène, vers ces
régions plus actives.



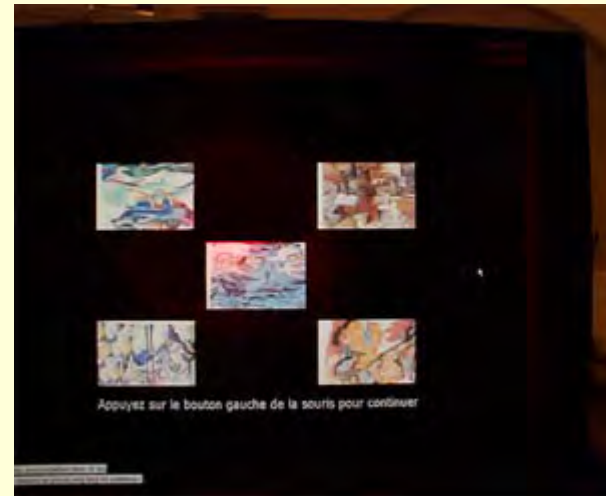
Lors d'une TEP, on doit injecter au sujet une solution contenant un **élément radioactif** qui peut être l'eau elle-même ou du glucose radioactif, par exemple.

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.



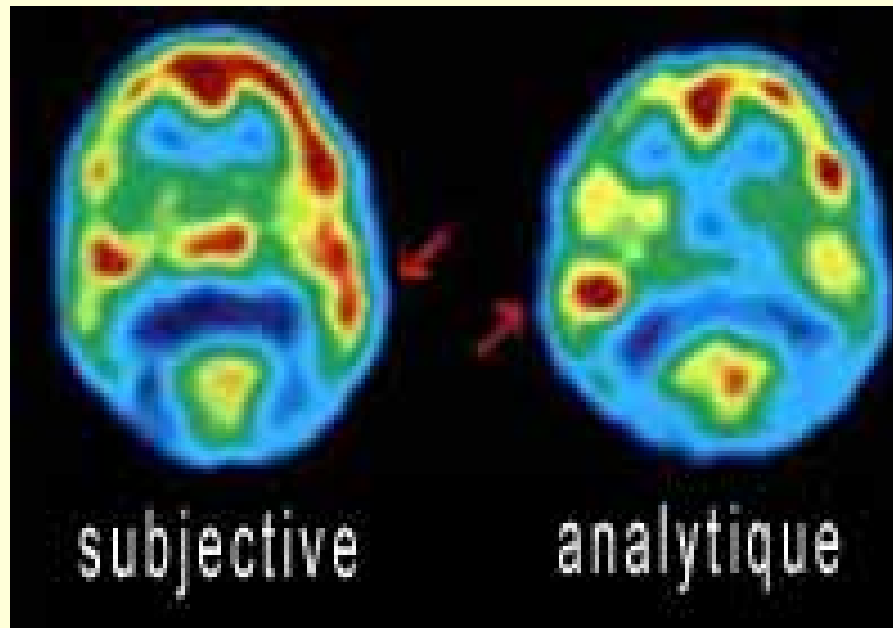


On installe dans le bras du sujet un cathéter par où la solution d'eau radioactive sera injectée à intervalles réguliers.



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).

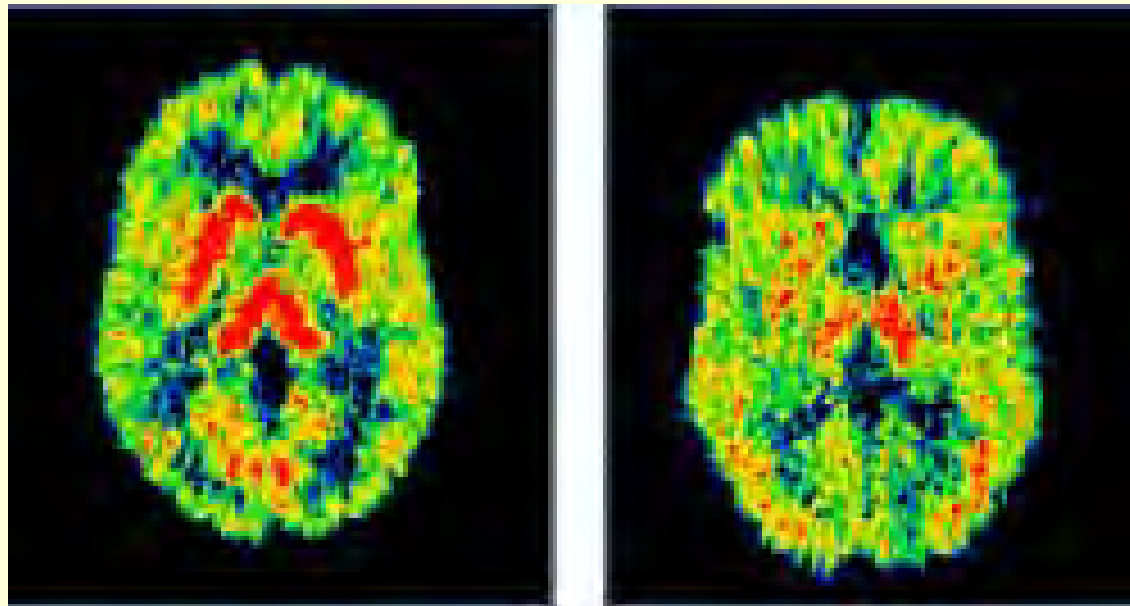
Les images produite par la TEP ne rivalisent pas avec celles de l'IRMf en terme de résolution, mais offrent souvent des contrastes de couleurs où les couleurs les plus chaudes correspondent aux zones les plus actives.



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

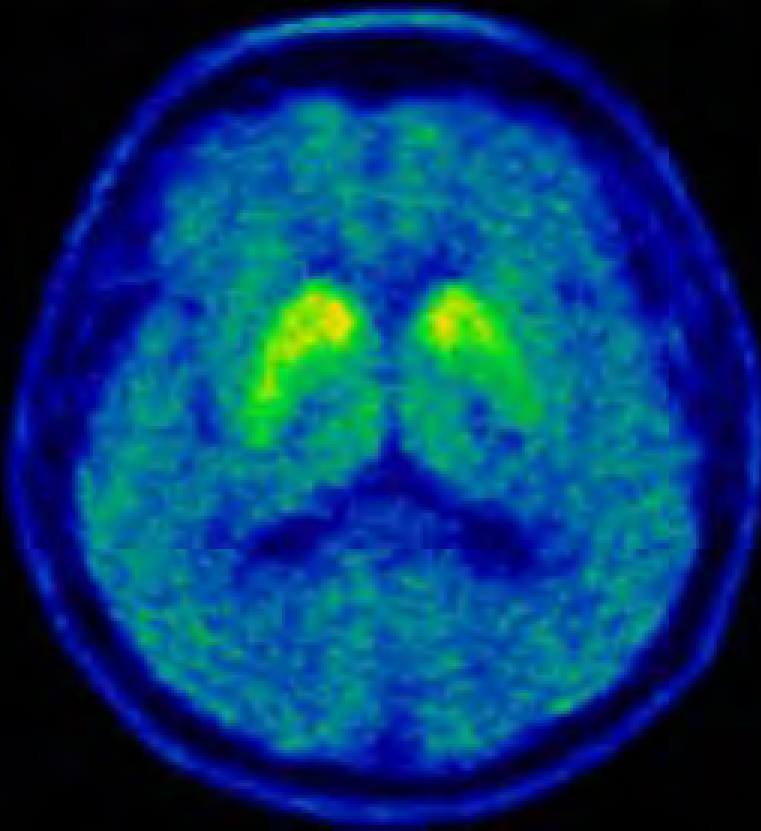
En plus de montrer l'activation fonctionnelle du cerveau ou de détecter des tumeurs ou des caillots, la particularité de la TEP est de permettre d'inclure l'isotope radioactif dans certaines substances dont on veut connaître l'utilisation métabolique par certaines régions cérébrales.

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.

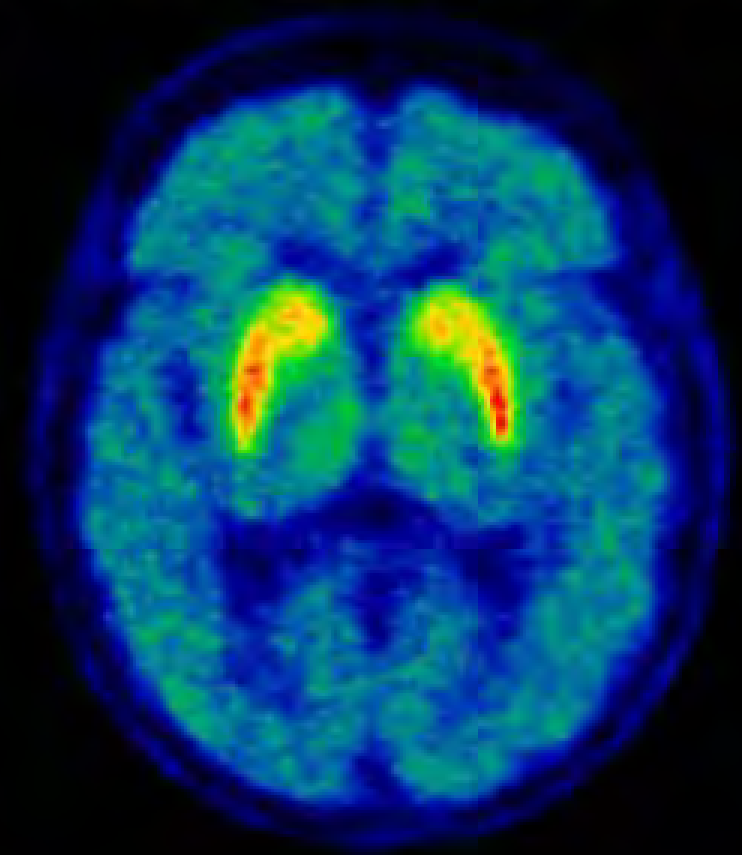


L'image de gauche montre la TEP du cerveau d'un sujet normal. À droite, la TEP révèle un taux de sérotonine (un neurotransmetteur) plus faible chez un sujet atteint de dépression sévère.

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.

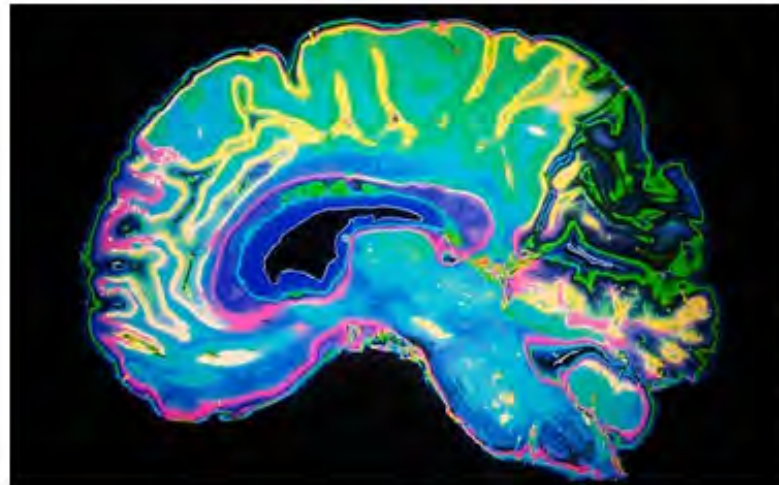
Après chaque tâche, le sujet doit attendre plusieurs minute pour que le niveau de radioactivité émis soit négligeable avant de recevoir une nouvelle dose pour la tâche suivante.

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. [...].

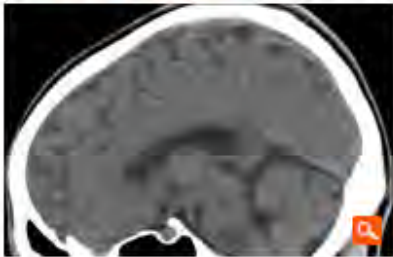
'I particularly like the way
different regions of the brain
light up for no apparent reason.
It's so **cool.**'"



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 ...”

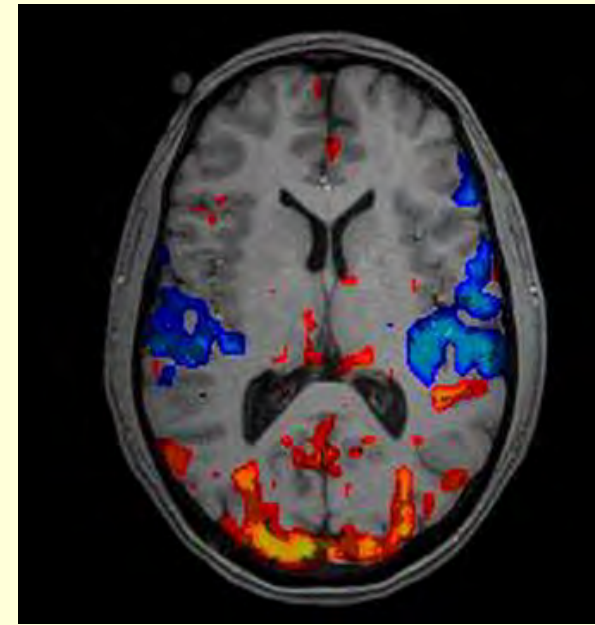
TAGS: [idea explorer](#), [the centrifuge](#)

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

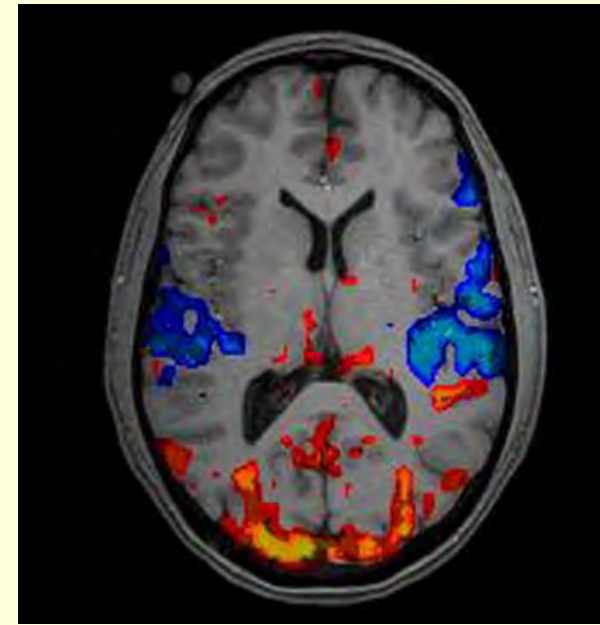
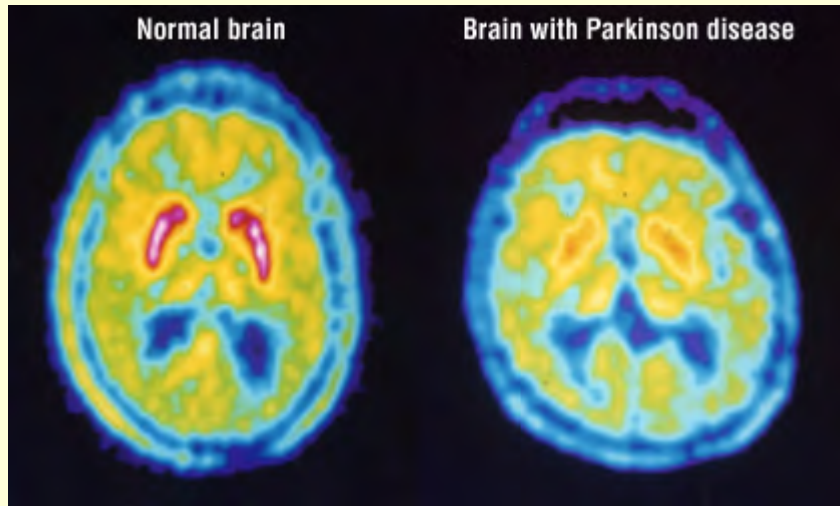
Adding irrelevant neuroscience information thus somehow **impairs people’s baseline ability to make judgments** about explanations.”

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**.

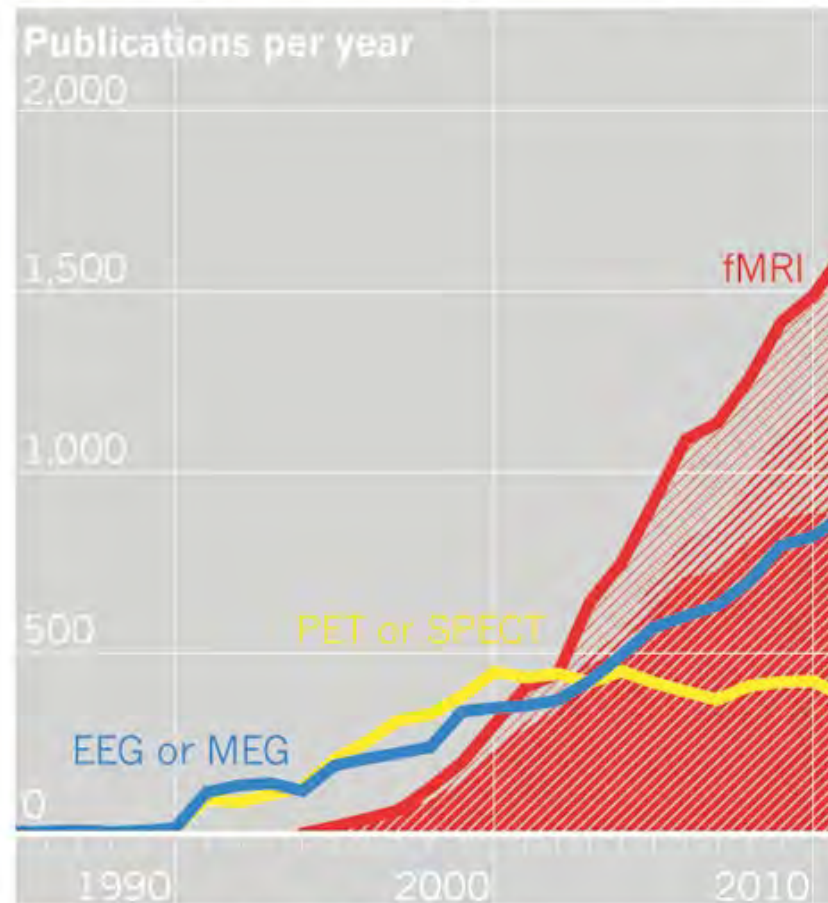


Peut être utilisée sans l'injection de substance dans l'organisme du sujet (contrairement au PET scan).



THE RISE OF fMRI

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



fMRI publications by subject:

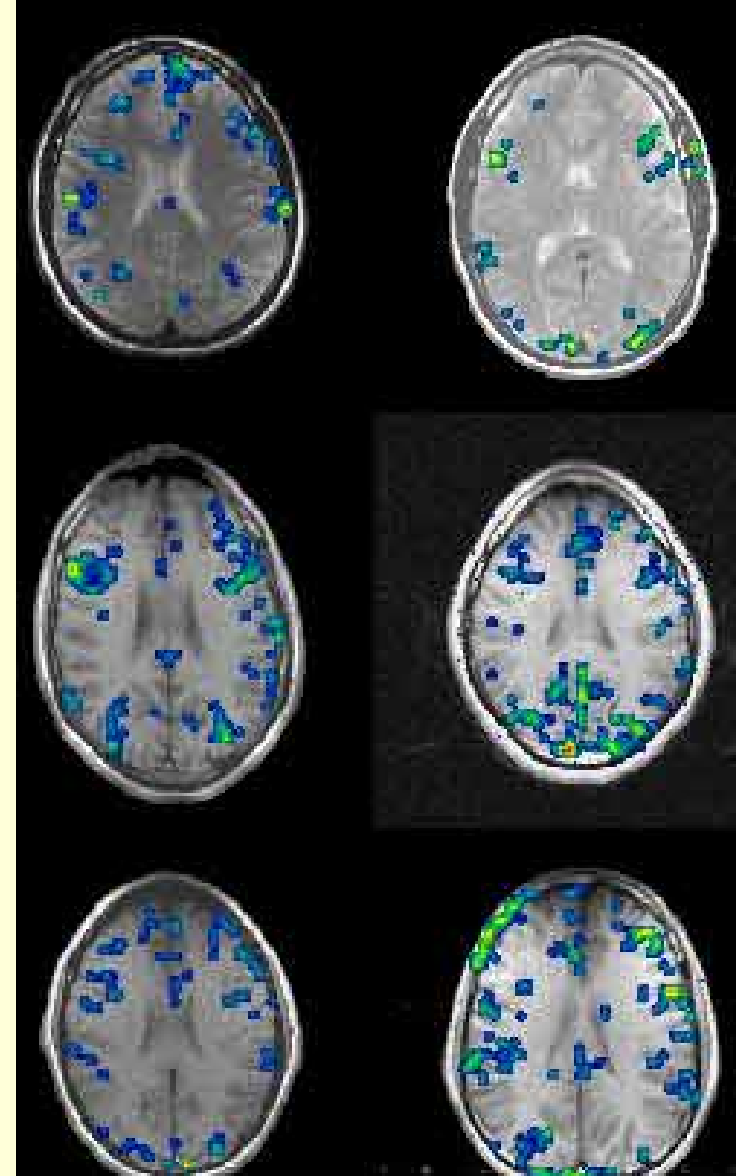
Activation  Connectivity  Other 

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.

2 avantages de fMRI, tiré de **Logothetis 2012** :

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

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjkuDSGg9PPAhXBFz4KHZmnDiQQFggeMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.sfn.org%2F~%2Fmedia%2FSfn%2FDocuments%2FShort%2520Courses%2F2012%2520Short%2520Course%2520I%2FSCI%2520%2520What%2520We%2520Can%2520and%2520What%2520We%2520Can%2520Do%2520with%2520fMRI.ashx&usg=AFQjCNFdi3ZEpf3F6Nv4ySUFuD9J2_PR5Q&sig2=m44tBmq98CA-_8otmiJiUw

Étudier les interactions dynamiques dans le cerveau à l'échelle des neurones ne ferait probablement pas beaucoup de sens, même si c'était techniquement faisable.

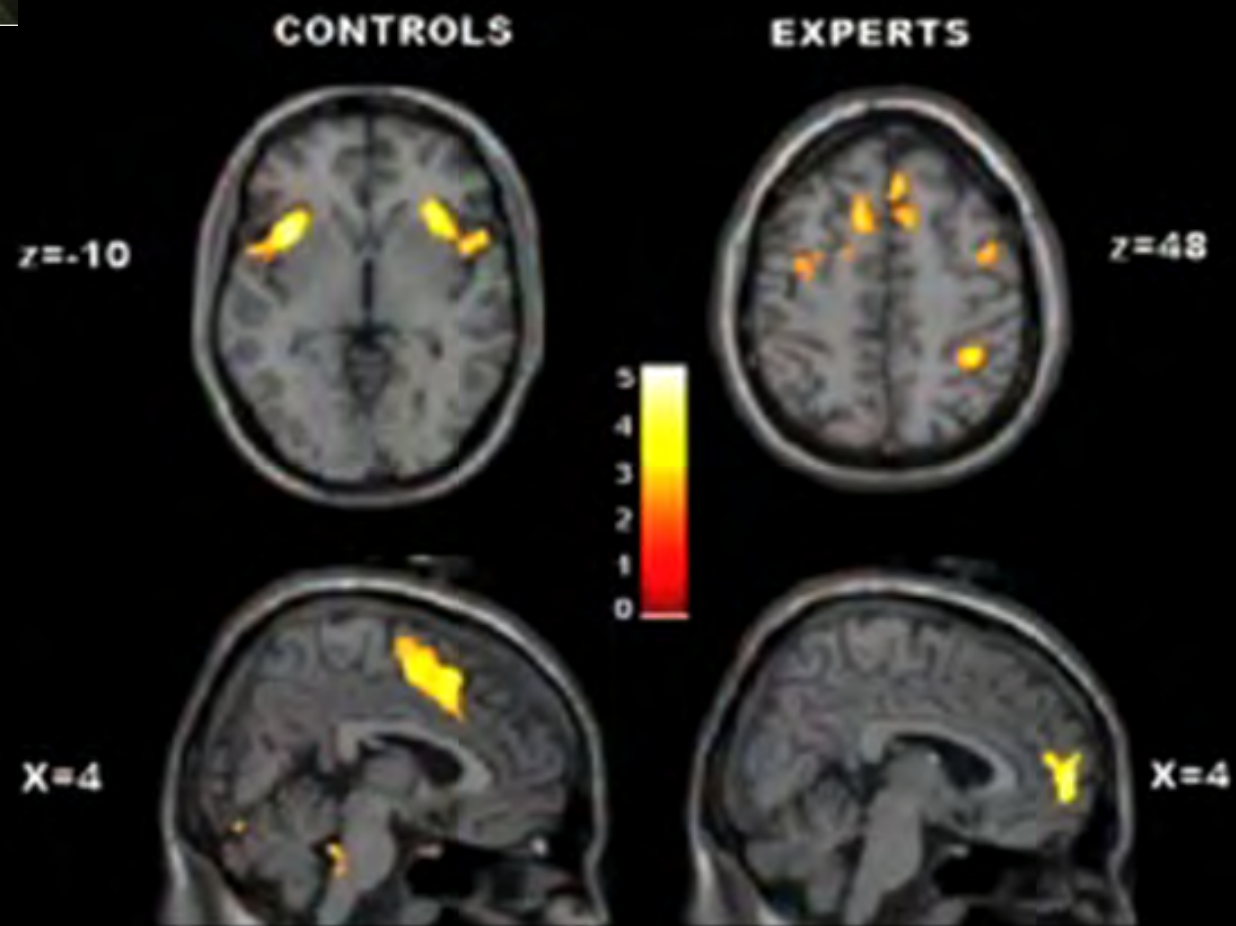
Il est sans doute plus important de comprendre les fluctuations d'activité dans des **sous-unités fonctionnelles** (qu'elles soient des noyaux sous corticaux, des colonnes corticales, ou autres sous-groupes de neurones) et de voir comment leur activité se coordonne et s'articule entre eux.

Si c'est le cas, alors l'IRMf avec sa résolution temporelle et spatiale actuelle est un outil optimal pour s'attaquer à la majorité des questions dans la recherche fondamentale et clinique sur le fonctionnement du cerveau.

Et c'est encore plus vrai à cause de la grande sensibilité de l'IRMf à des phénomènes plus lents comme la **neuromodulation** (des effets accompagnant des phénomènes comme l'éveil, l'attention, la mémoire, etc.)

[\[comme on le verra à la séance 12...\]](#)

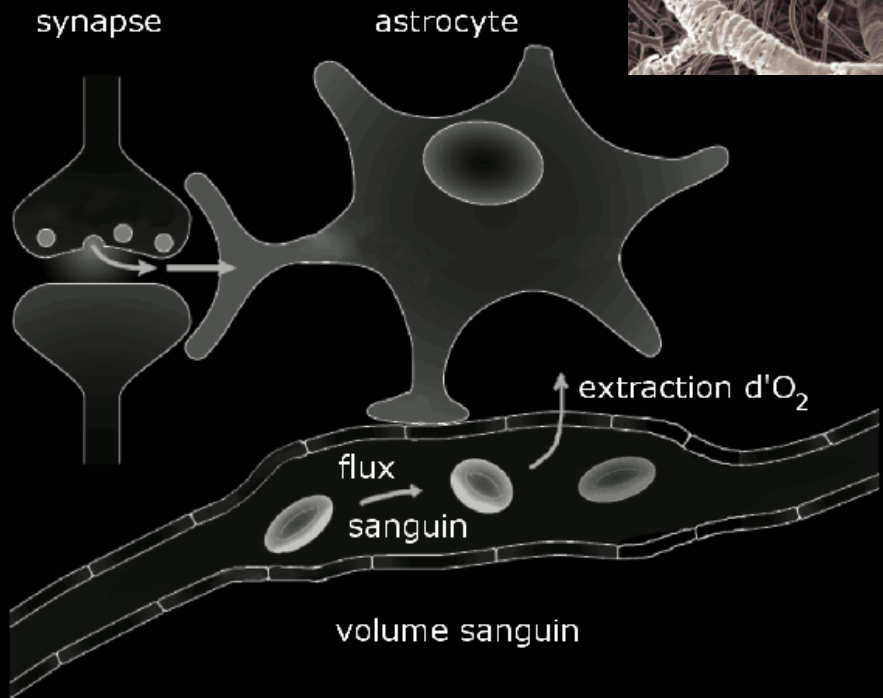
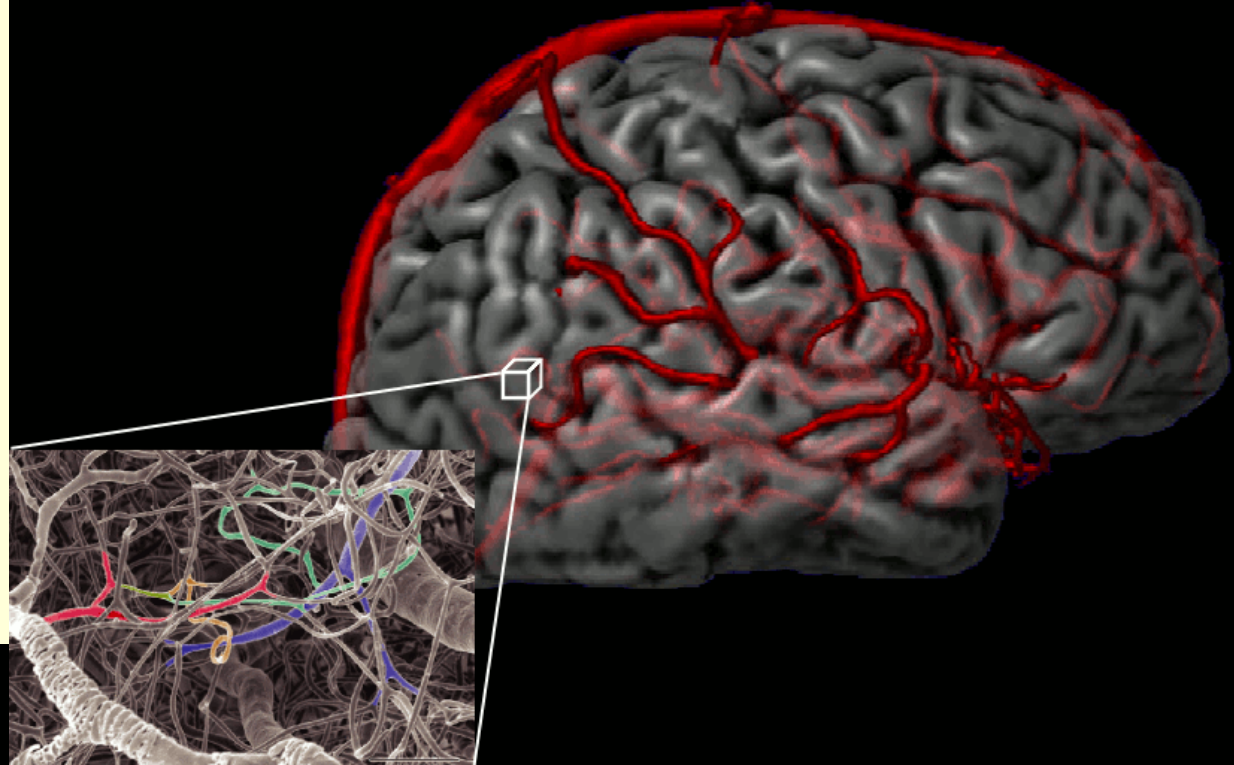
Mais cela contribue aux limites de l'IRMf, comme on le verra dans un instant...



Tirée de Pierre Bellec

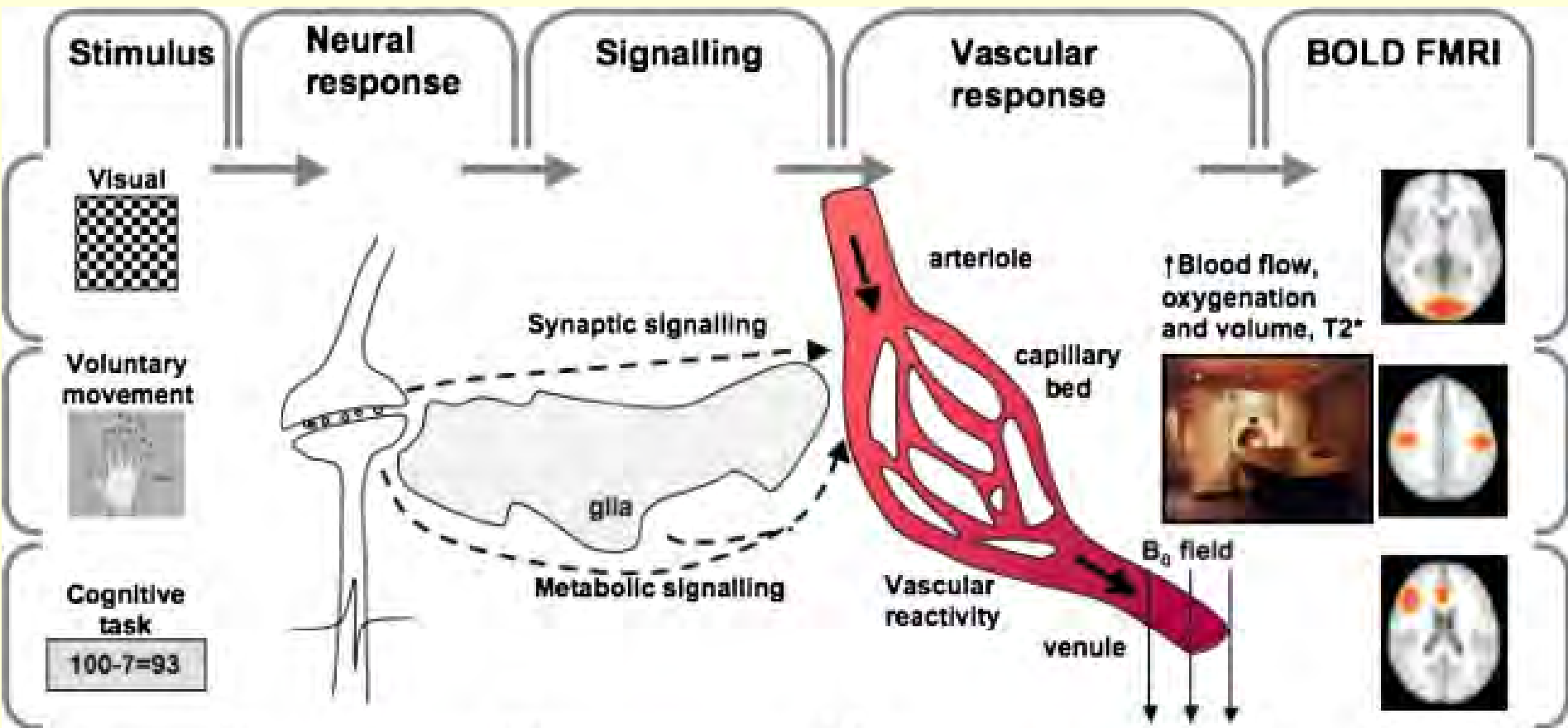
https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLAhXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_lsni.pdf&usq=AFQjCNGBiKg_wv2IF4DtIlo-0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja

(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).

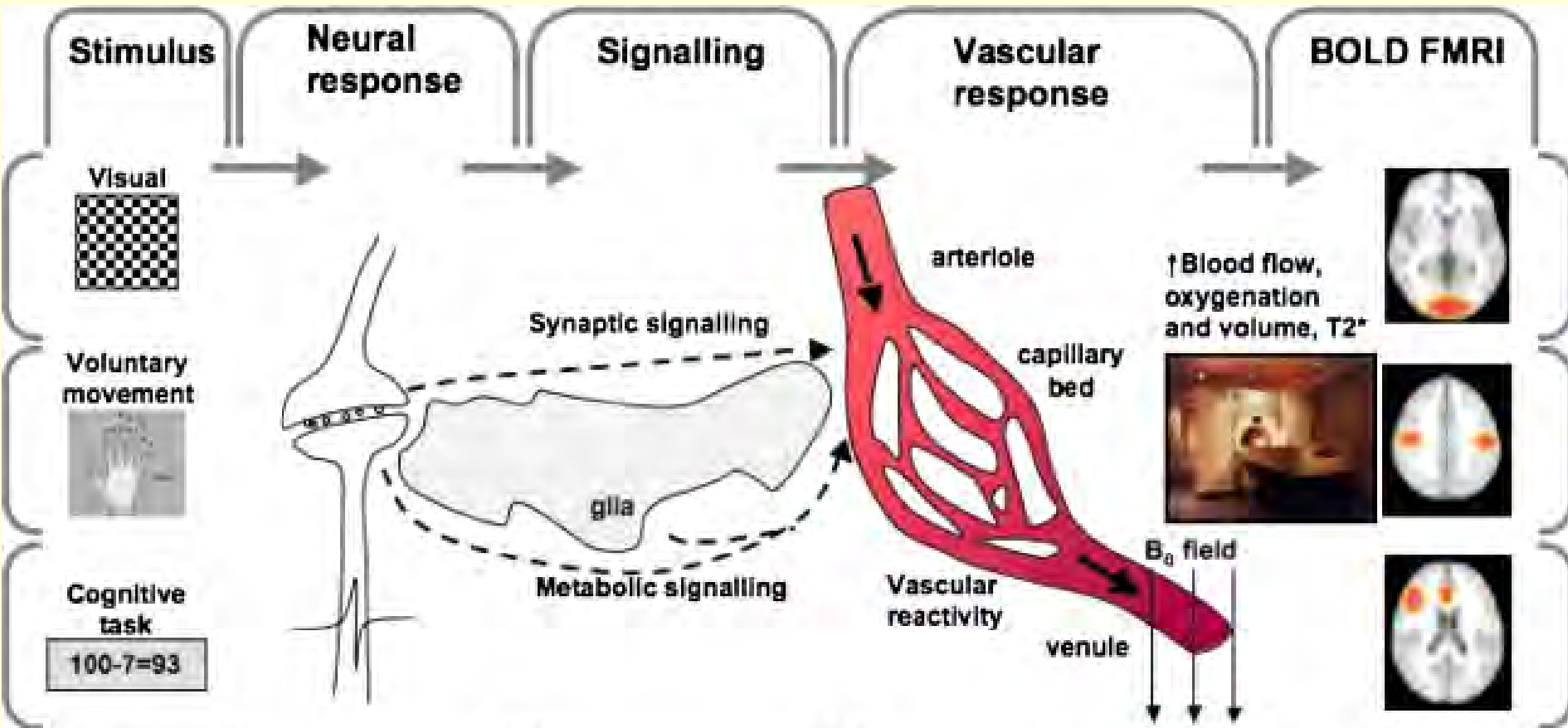
Neurophysiological and metabolic
basis of the BOLD signal



How to interpret fMRI and compare it to other methods

S.F.W. Neggers

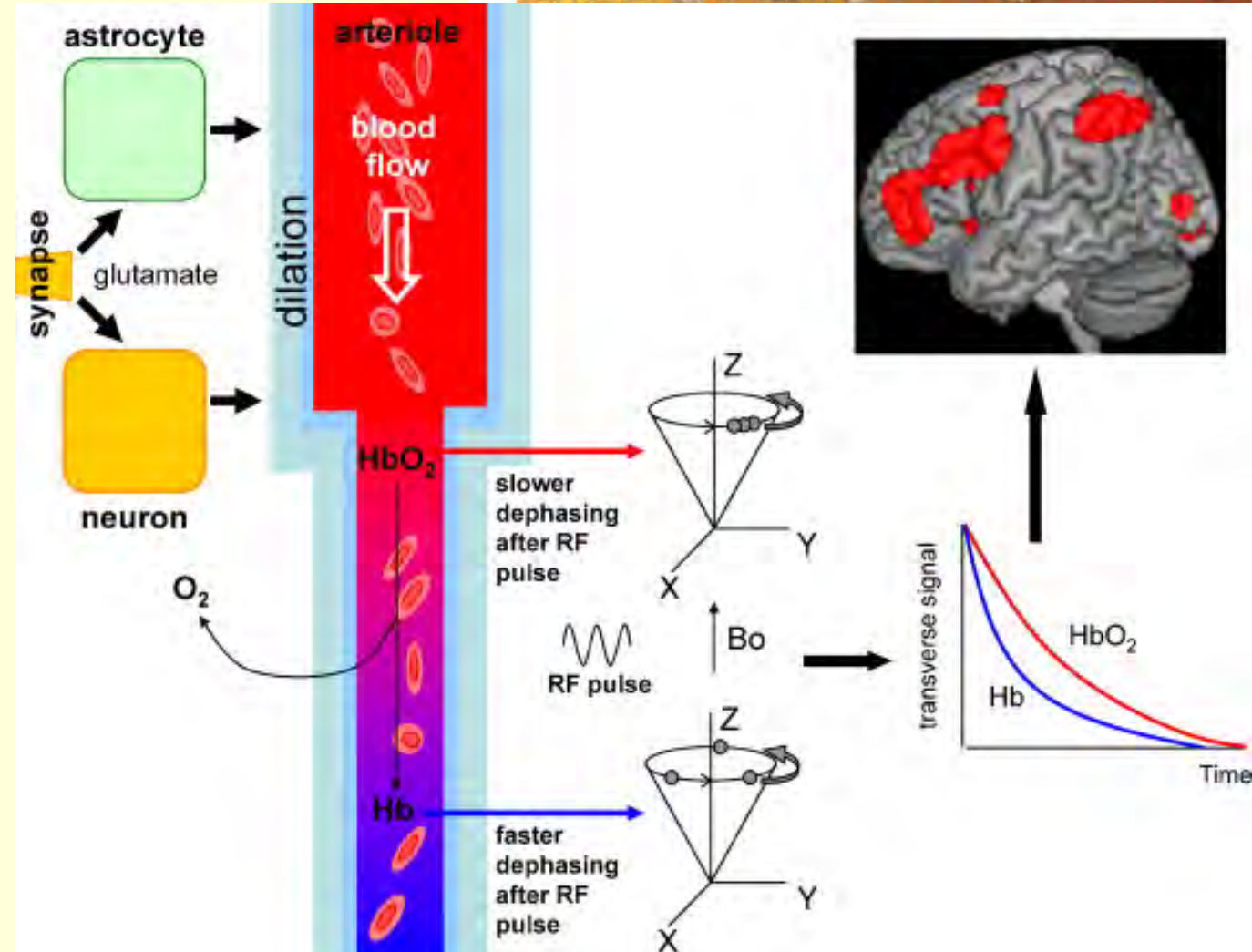
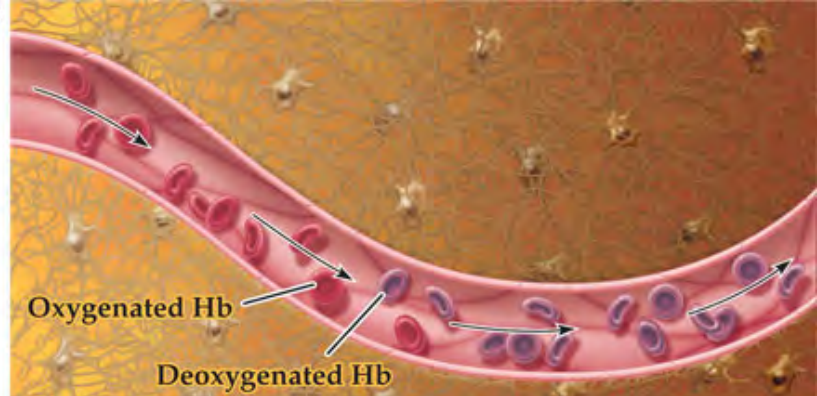
Rudolf Magnus Institute for Neuroscience, Division of Brain Research
University Medical Center Utrecht
(b.neggers@umcutrecht.nl)



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)



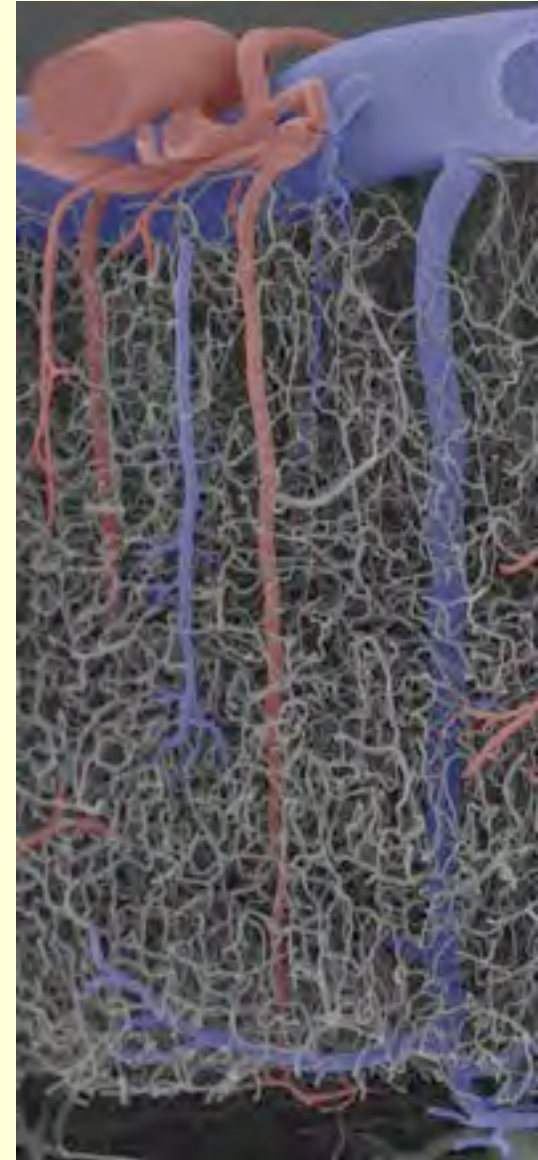
Sans entrer dans les détails,
mentionnons aussi que :

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=0ahUKewjahqGbltPPAhWFbT4KHV2QCjUQFgqeMAA&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.

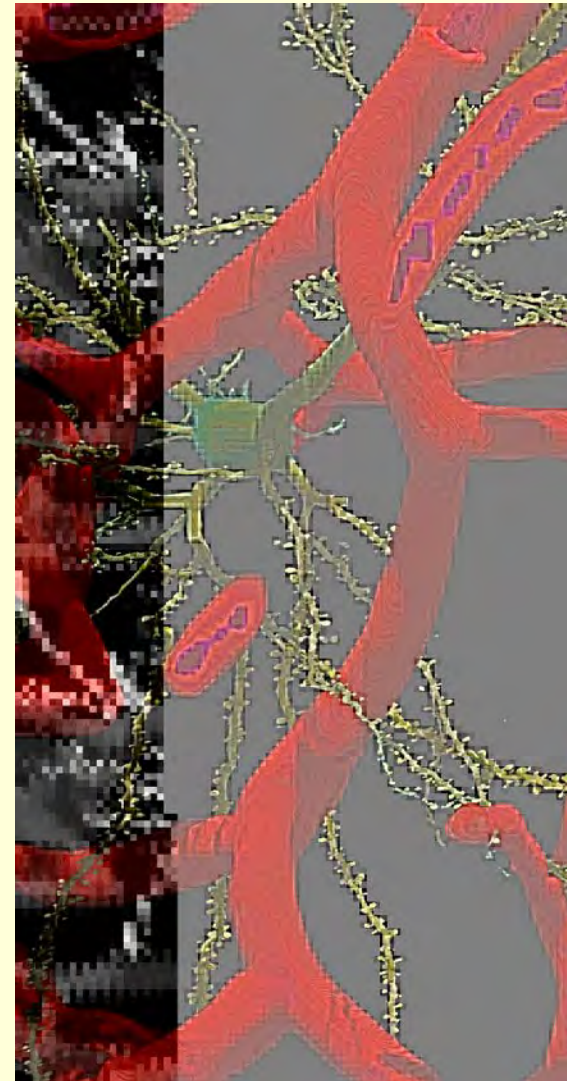
Autrement dit, elle reflète plus l’activité présynaptique que celle des potentiels d’action (Logothetis et al, 2001).

“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=0ahUKEwj kudSGg9PPAhXBFz4KHZmnDiQQFggeMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.sfn.org%2F~%2Fmedia%2FSfn%2FDocuments%2FShort%2520Courses%2F2012%2520Short%2520Course%2520I%2FSCII%2520%2520What%2520We%2520Can%2520and%2520What%2520We%2520Can%2520Do%2520with%2520fMRI.ashx&usg=AFQjCNFdi3ZEpf3F6Nv4ySUFuD9J2_PR5Q&sig2=m44tBmq98CA-_8otmiJiUw

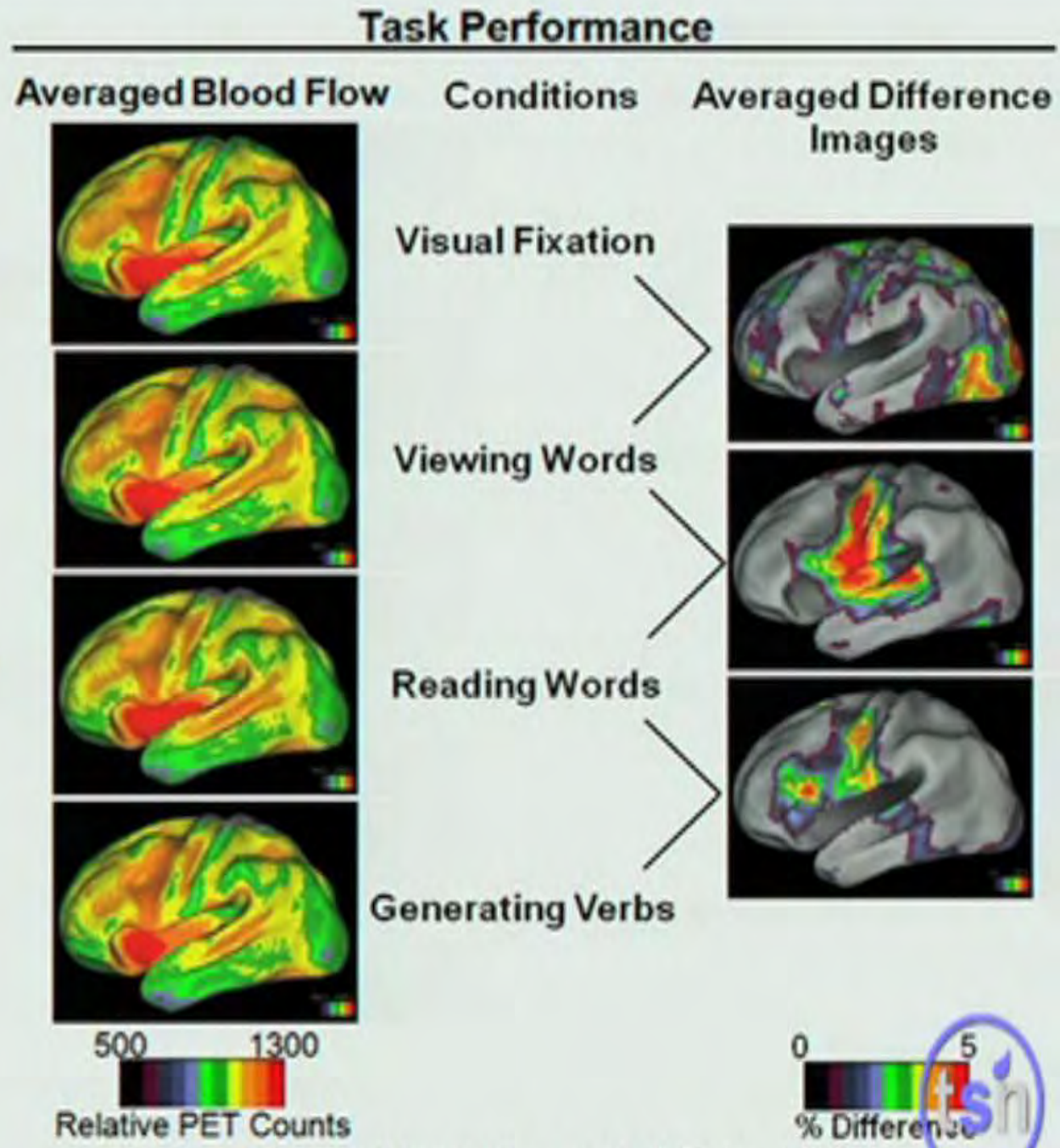


Et bien sûr, c'est toujours **une activité différentielle issue d'une soustraction** entre un état contrôle et l'état de lors d'une tâche.

« Our resting brain is never at rest. »

- Marcus Raichle

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



Limites de l'IRMf :

J'ai gardé plusieurs critiques, notamment méthodologiques, pour la séance 9.

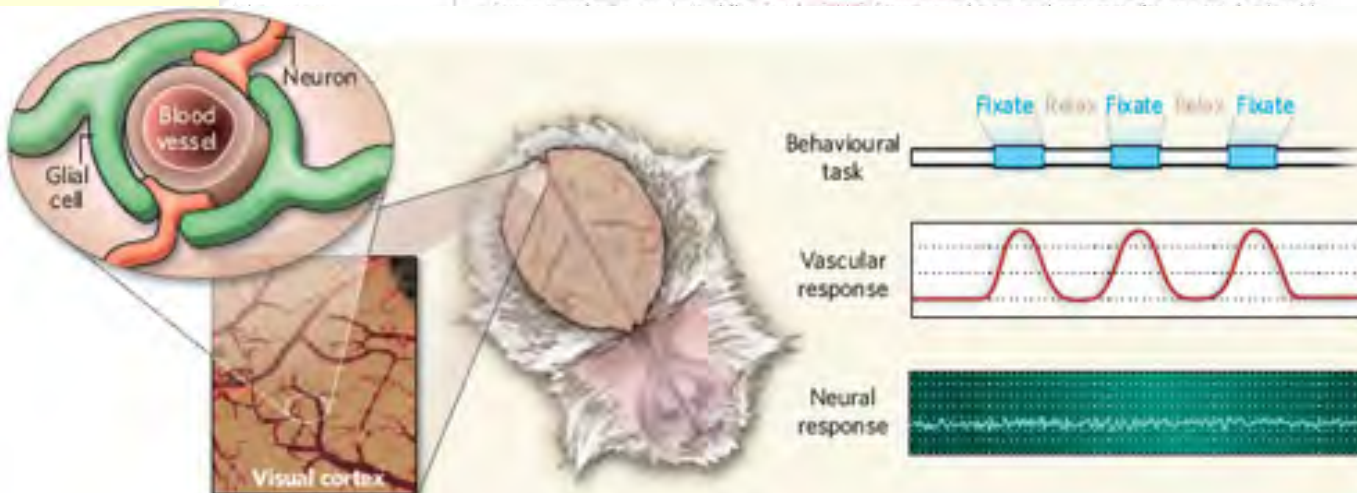
Je voudrais toutefois en évoque ici quelques-unes, plus physiologiques...

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, a navigation menu includes 'Journal home', 'Advance online publication', 'Current issue', 'Nature News', and 'Archive' (which is highlighted in red). The main content area features the article title 'Anticipatory haemodynamic signals in sensory cortex not predicted by local neuronal activity' by Yevgeniy B. Sirotni¹ & Aniruddha Das^{1,2,3,4,5,6}. A list of affiliations follows, including the Department of Neuroscience, Department of Psychiatry, and various centers at Columbia University and New York State Psychiatric Institute.

“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.”



Logothetis 2012 :

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

https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjkuDSGg9PPAhXBFz4KHZmnDiQQFggeMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.sfn.org%2F-%2Fmedia%2FSfN%2FDocuments%2FShort%2520Courses%2F2012%2520Short%2520Course%2520II%2FSCII%2520%2520What%2520We%2520Can%2520and%2520What%2520We%2520Cant%2520Do%2520with%2520fMRI.ashx&usg=AFQjCNFdi3ZEpf3F6Nv4ySUFuD9J2_PR5Q&sig2=m44tBmq98CA-_8otmiJiUw

Une interprétation fréquente de l'augmentation du signal de l'IRMf assume que c'est l'activité de plusieurs neurones spécifiques au stimulus ou à la tâche qui est simplement augmentée.

Cette interprétation peut être correcte dans certains cas.

Cependant, **le signal BOLD peut aussi être augmenté** dans d'autres situations sans qu'il n'y ait une augmentation correspondante dans l'activité neuronale liée à tel stimulus.

Par exemple :

- augmentation des conductances excitatrices et inhibitrices d'une région, mais de façon équivalente, ce qui n'influence pas le taux de décharge neuronal;
- augmentation de l'activité spontanée non reliée au stimulus;
- augmentation des inhibitions récurrentes qui amènent une baisse d'excitation suffisante pour que moins de potentiels d'action soient émis.

Les limites ultimes de l'IRMf ne sont pas reliées à nos connaissances actuelles de la physique ou de l'ingénierie, mais **sont d'origines neurologiques** : l'IRMf peut difficilement faire la différence entre des processus spécifiques à une fonction et les processus de neuromodulation.

Les réponses hémodynamiques à la base du signal BOLD sont sensibles à la taille de la population neuronale activée et donc la répartition spatiale des neurones, de leur plus ou moins grande concentration à tel ou tel endroit.

Dans les régions où les tâches cognitives sont représentées de façon lâche par peu de neurones, la neuromodulation liée à la motivation, l'attention, l'apprentissage, la mémoire, etc., **peut “noyer le signal”** en déterminant en grande partie la réponse hémodynamique, ce qui peut rendre impossible la déduction d'un rôle fonctionnel précis pour la région en question dont les fluctuations excitatrices et inhibitrices ne sont pas captées par le signal BOLD.

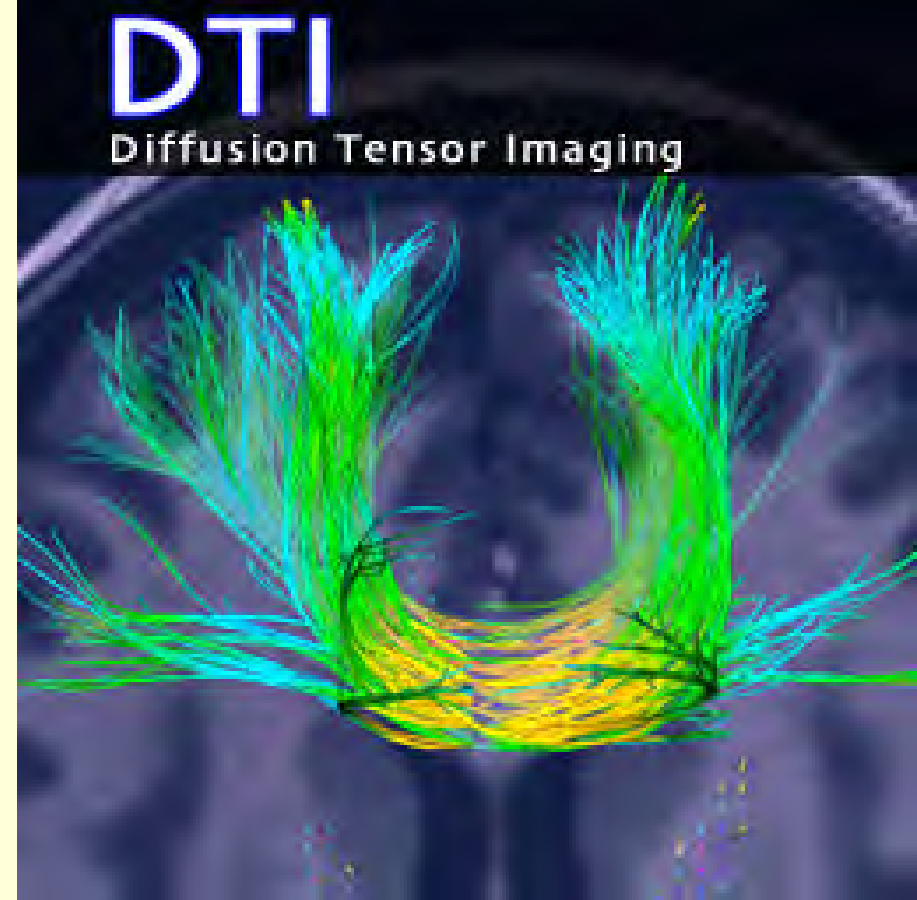
L'IRM de diffusion

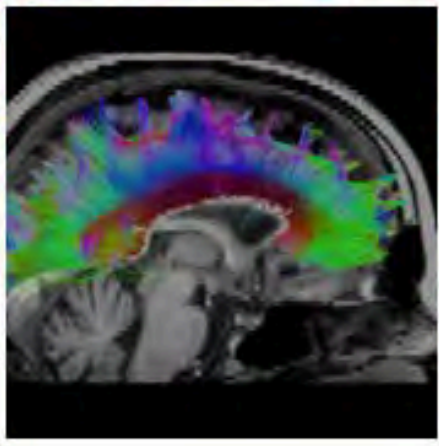
Diffusion Tensor Imaging (DTI)

Variantes :

diffusion weighted imaging (DWI)

diffusion spectrum imaging (DSI)



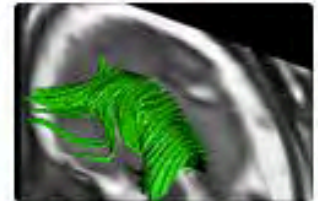


Diffusion Imaging

13 likes

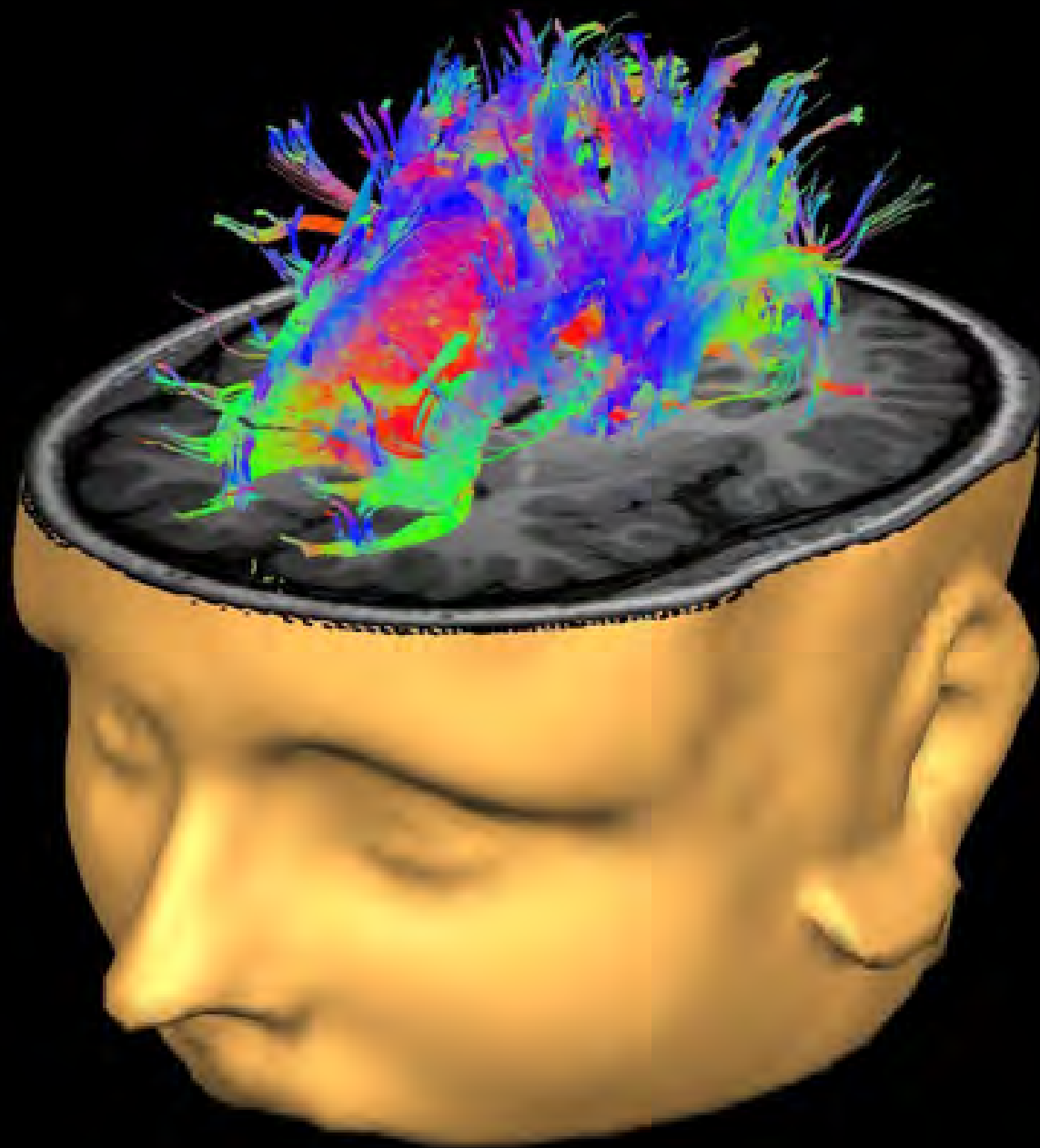
Community [?]

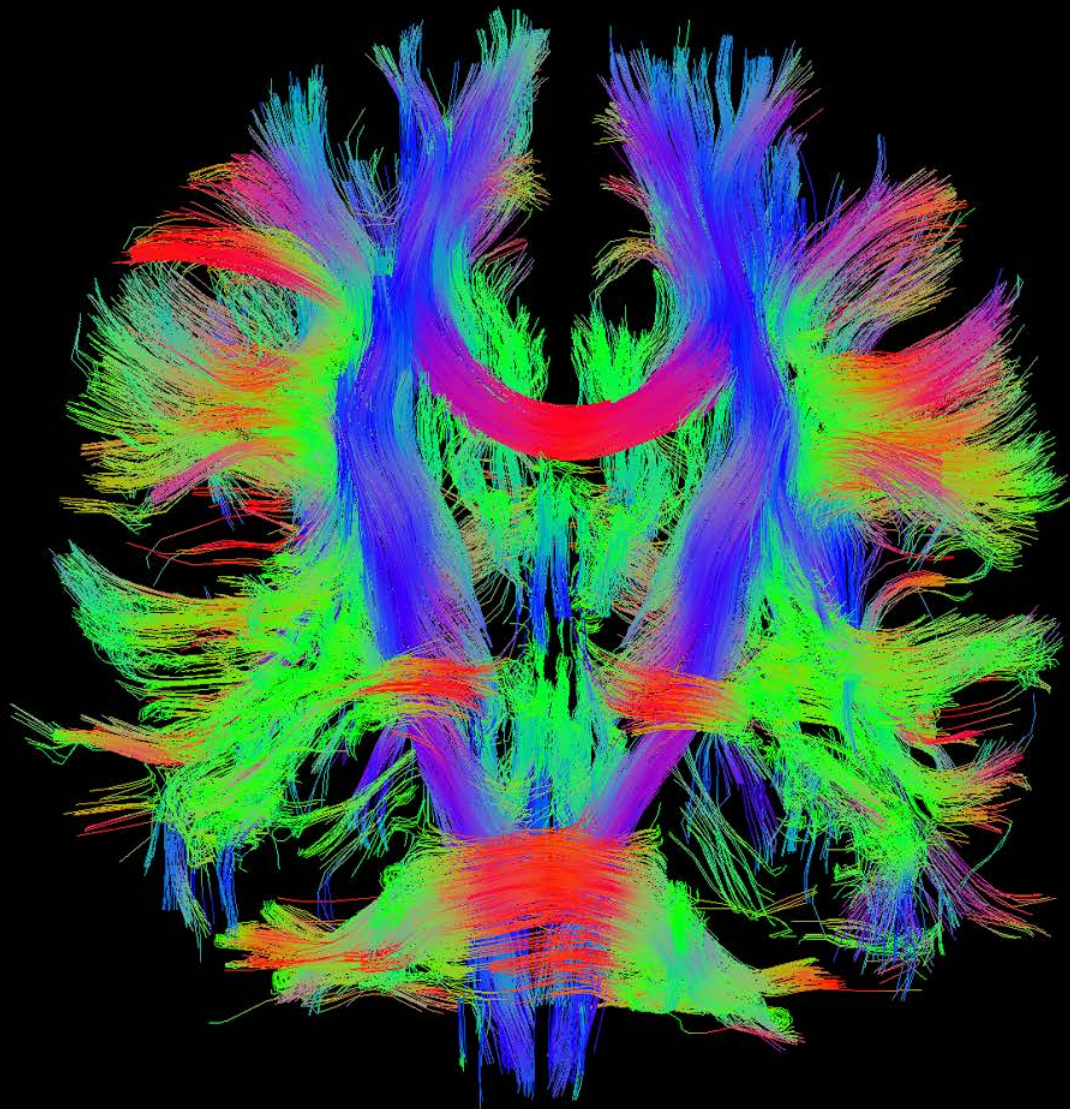
Diffusion Tensor Imaging is a cutting edge imaging technique that provides quantitative information with which to visualize and study connectivity and continuity of neural pathways in the central and peripheral nervous systems in vivo (Basser et al. 2000)



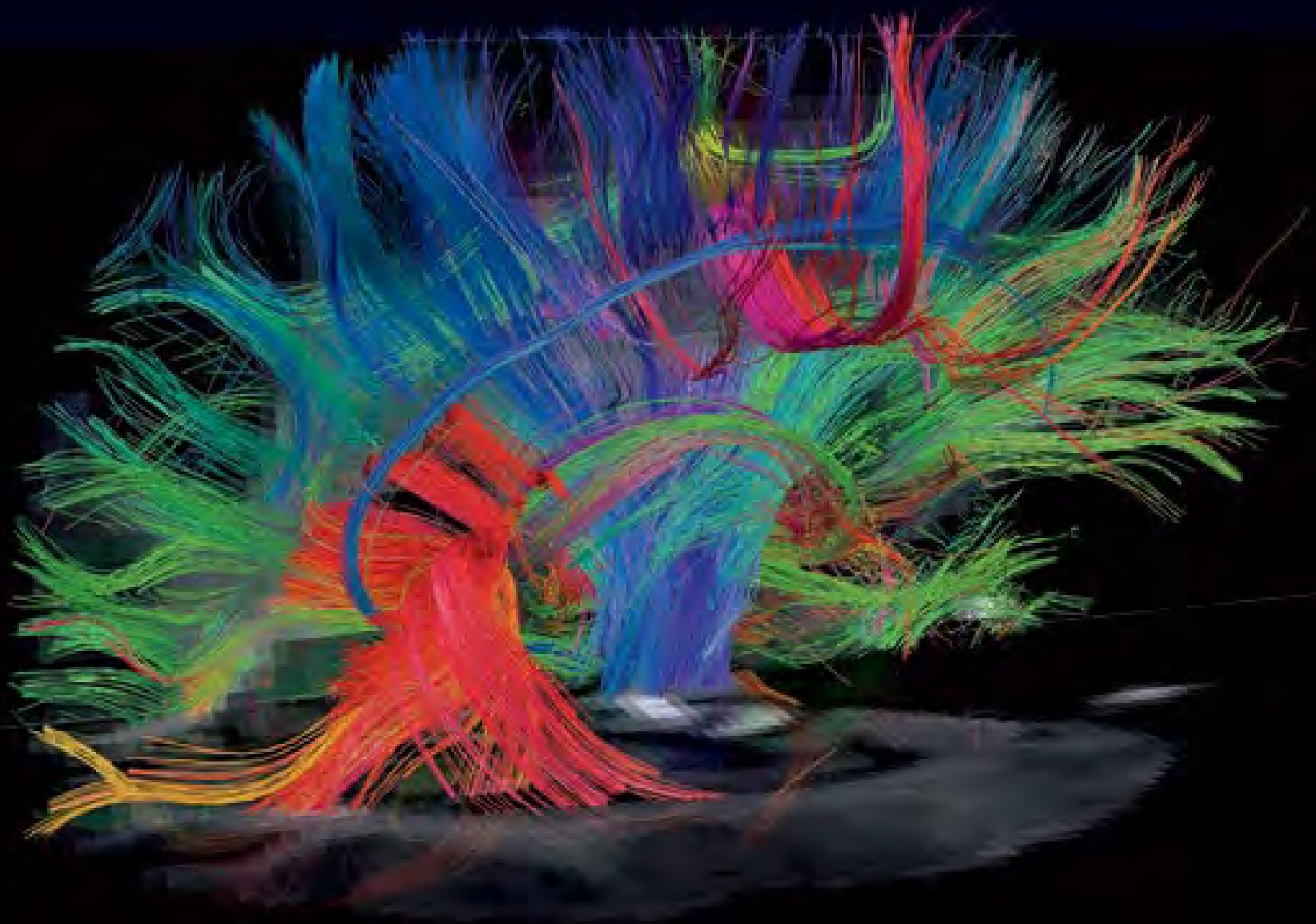
- Premières images : **1985**
- Méthode **non invasive** qui permet de visualiser les grandes connections entre différentes parties du cerveau sur une base individuelle
- Applications cliniques, en particulier pour visualiser les voies nerveuses lésées par des ACVs ou des pathologies impliquant la matière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

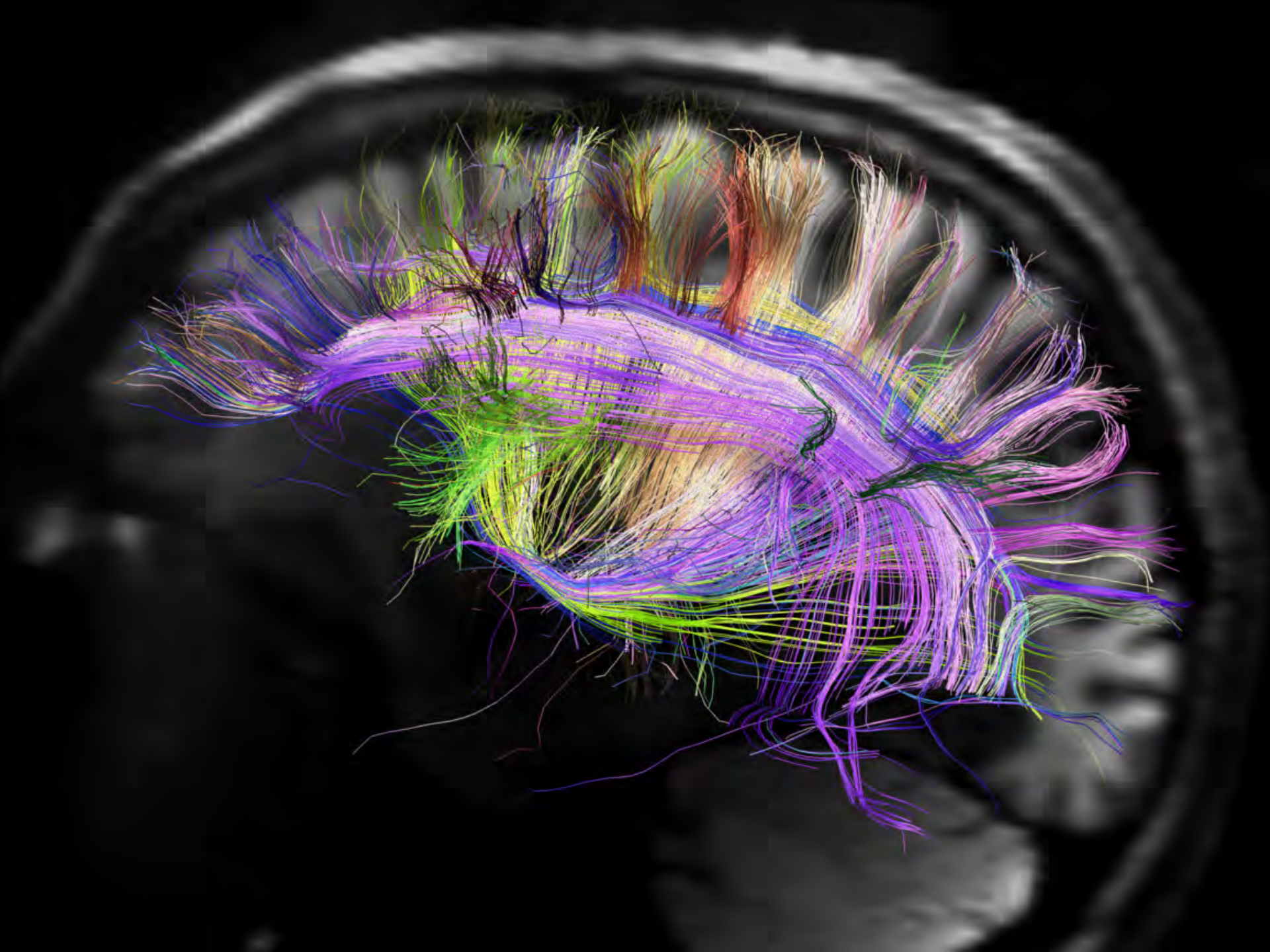
Avec la puissance de traitement des ordinateurs, la qualité des images s'est amélioré au fil des années.



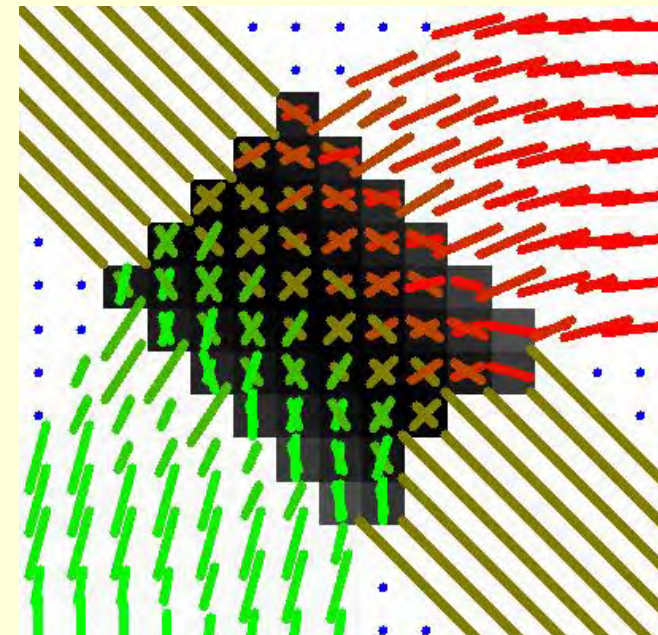
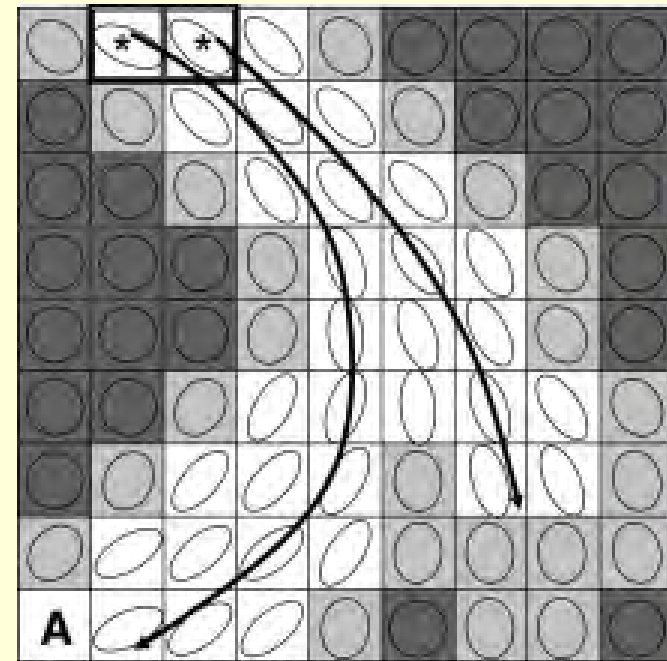








Principe à la base de l'imagerie de diffusion



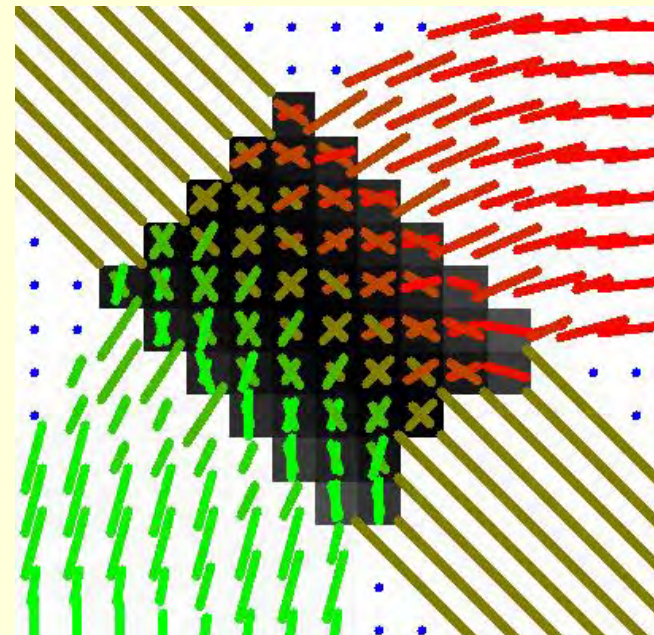
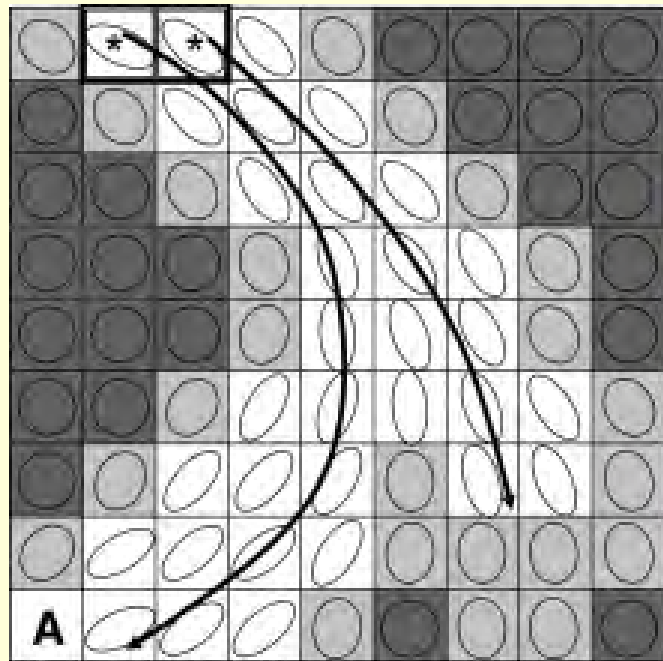
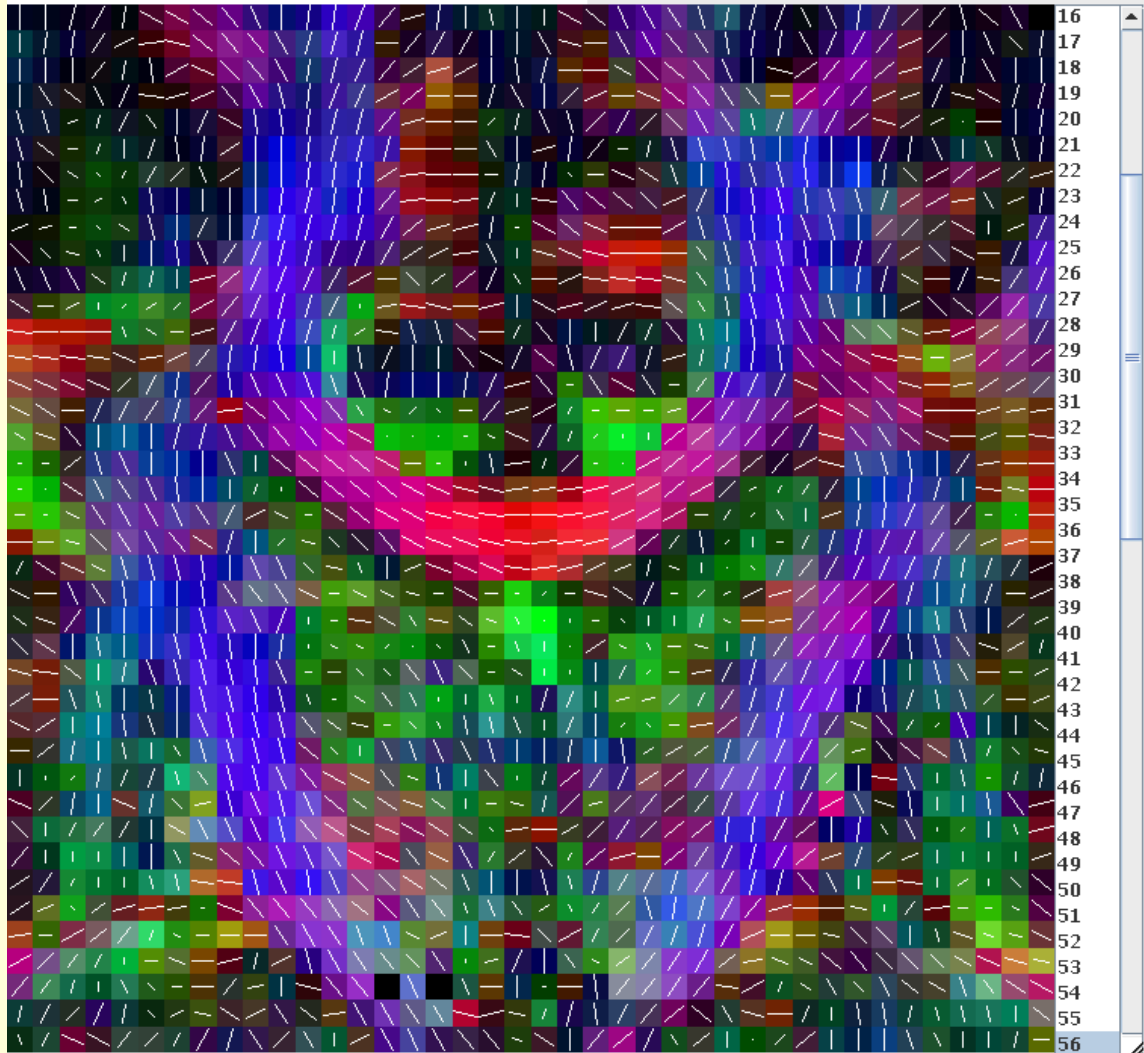
PD Orientation Viewer

AXIAL CORONAL SAGITTAL SAVE RGB

Show vectors Zoom

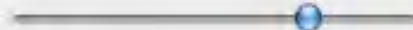
74 56 37
-0.293338 0.759015 0.581248 (0.135361)

Grey gamma 0.7
RGB gamma 1.0



Show vectors

Zoom



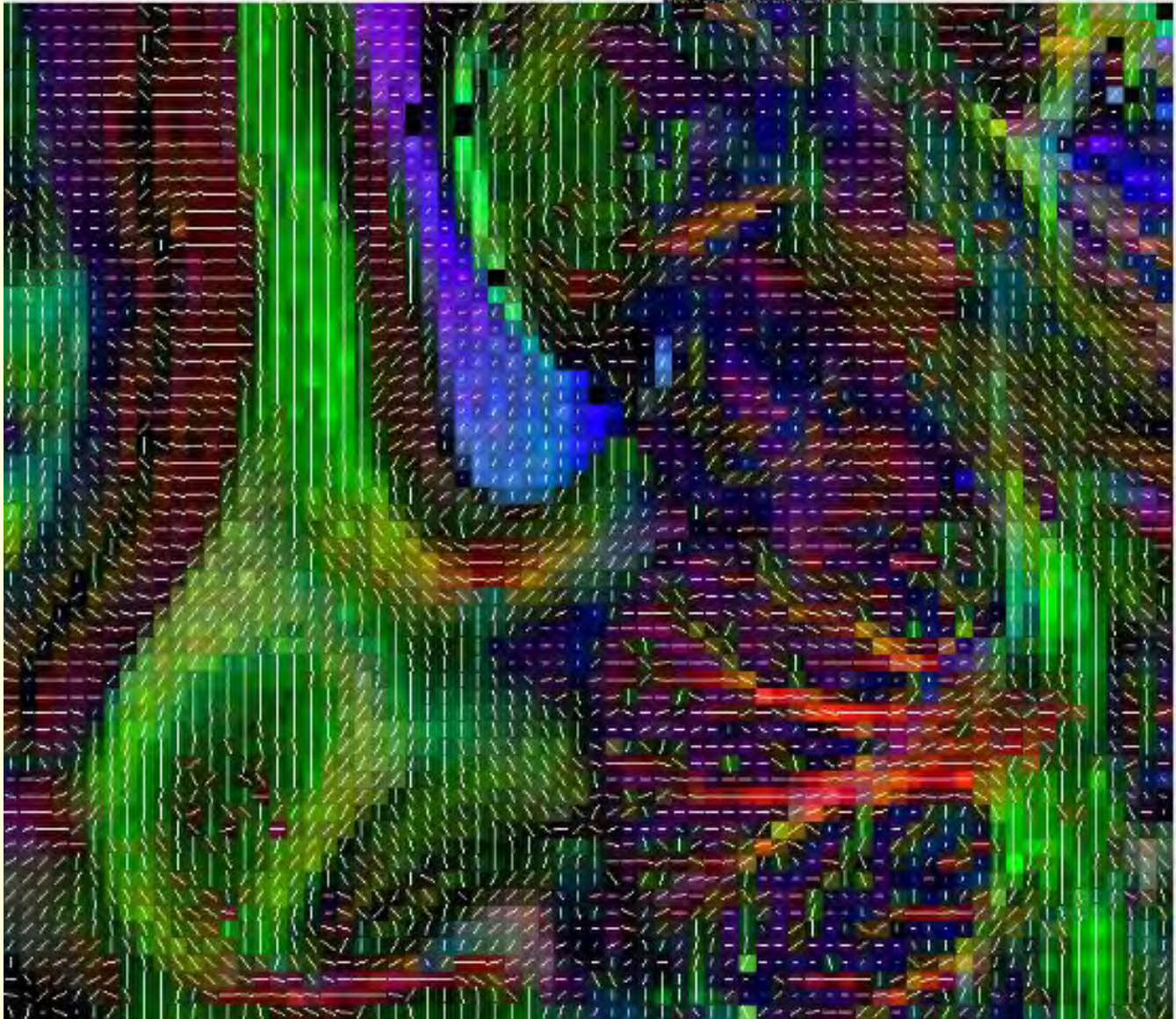
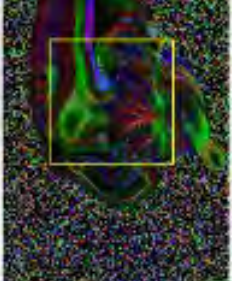
RGB gamma



1.0

96 137 0

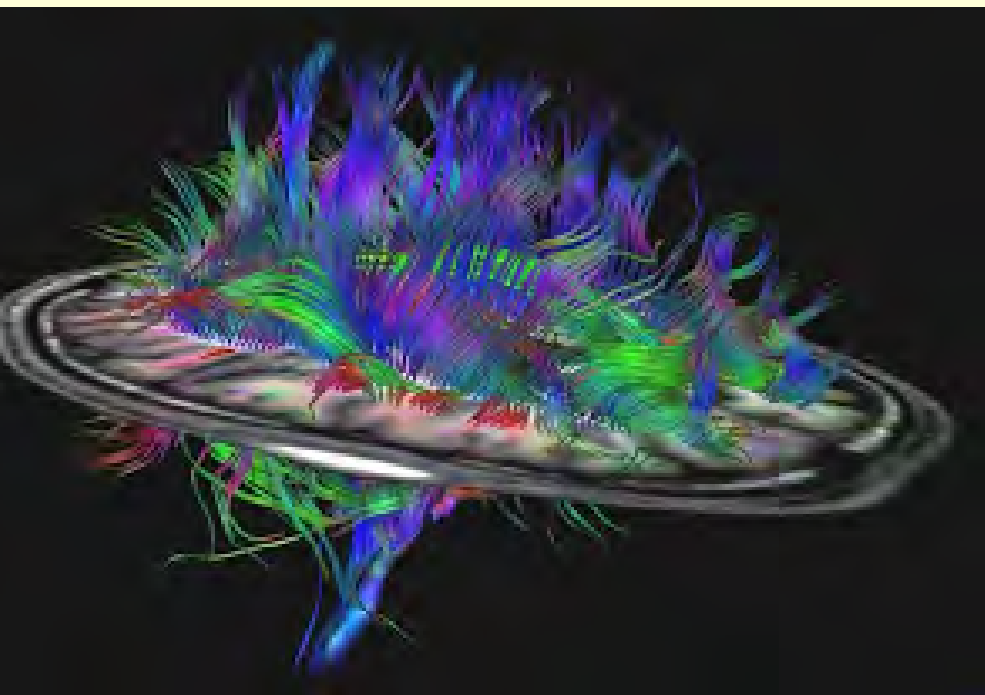
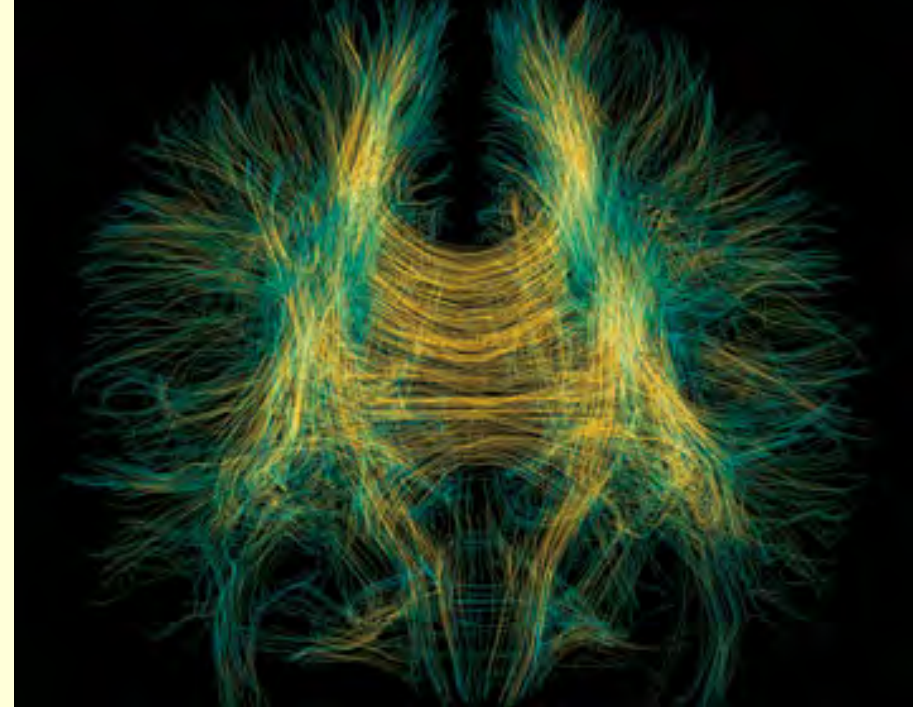
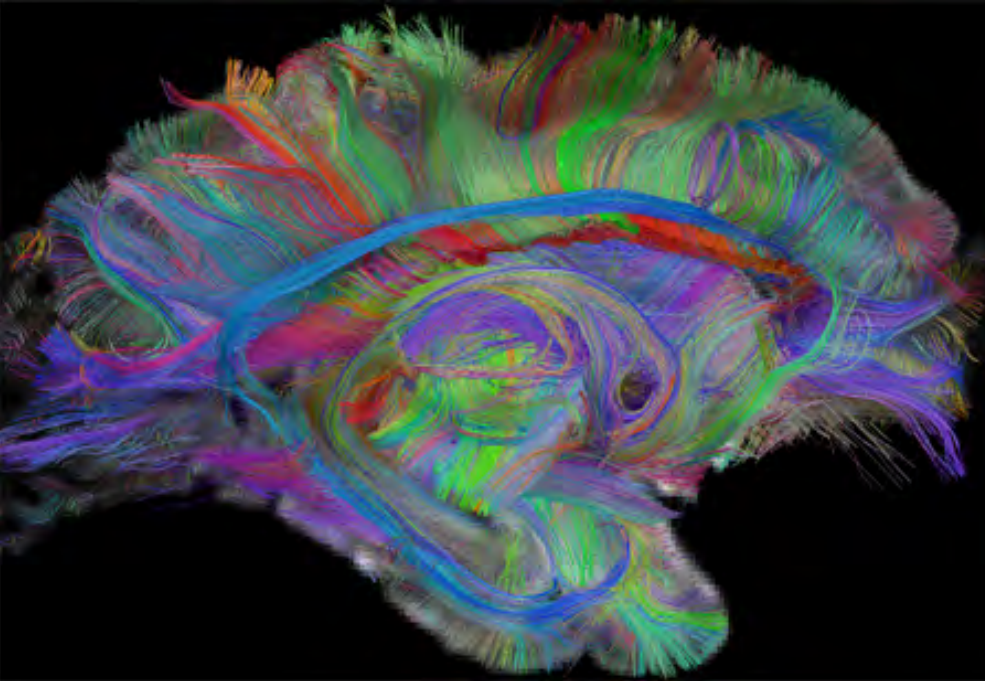
0.704768 0.176565 -0.687114 (0.000000)



- 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

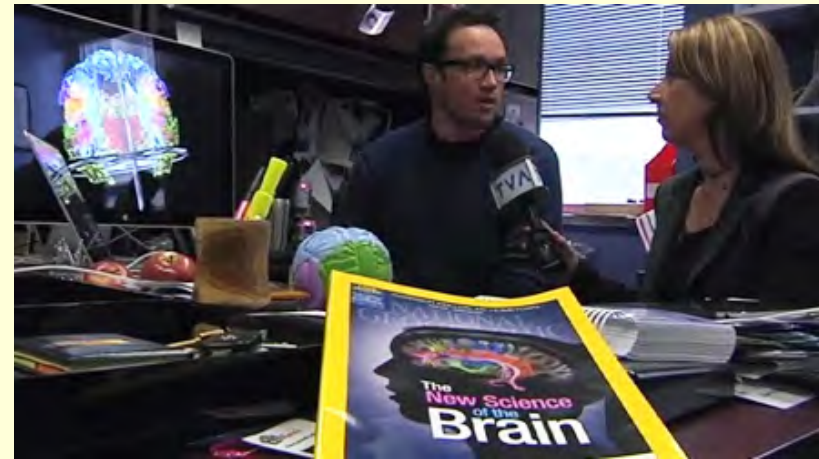
27 janvier **2014**

<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).

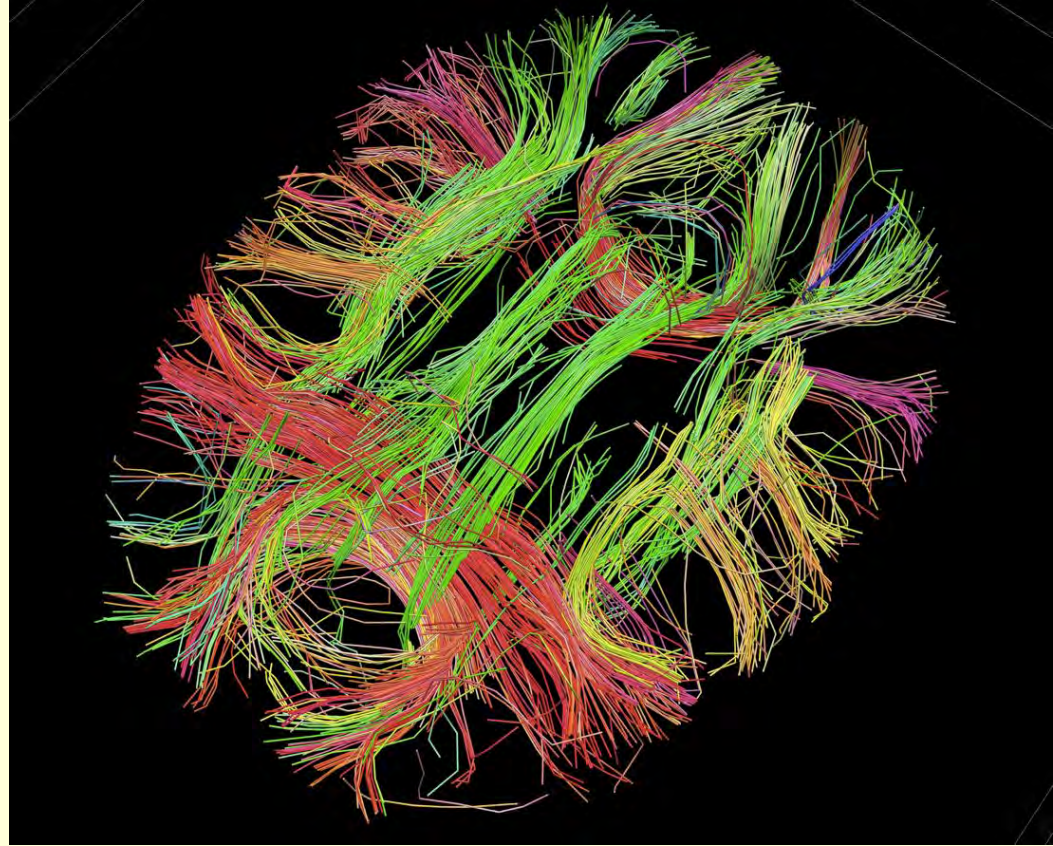
«Mon travail, c'est d'enlever la tumeur sans abîmer l'état des connexions encore fonctionnelles. Ces images nous permettront d'être beaucoup plus précis lorsqu'on va essayer de limiter l'étendue de la tumeur qu'on va enlever», explique le **neurochirurgien, David Fortin**.
[qui travaille en collaboration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

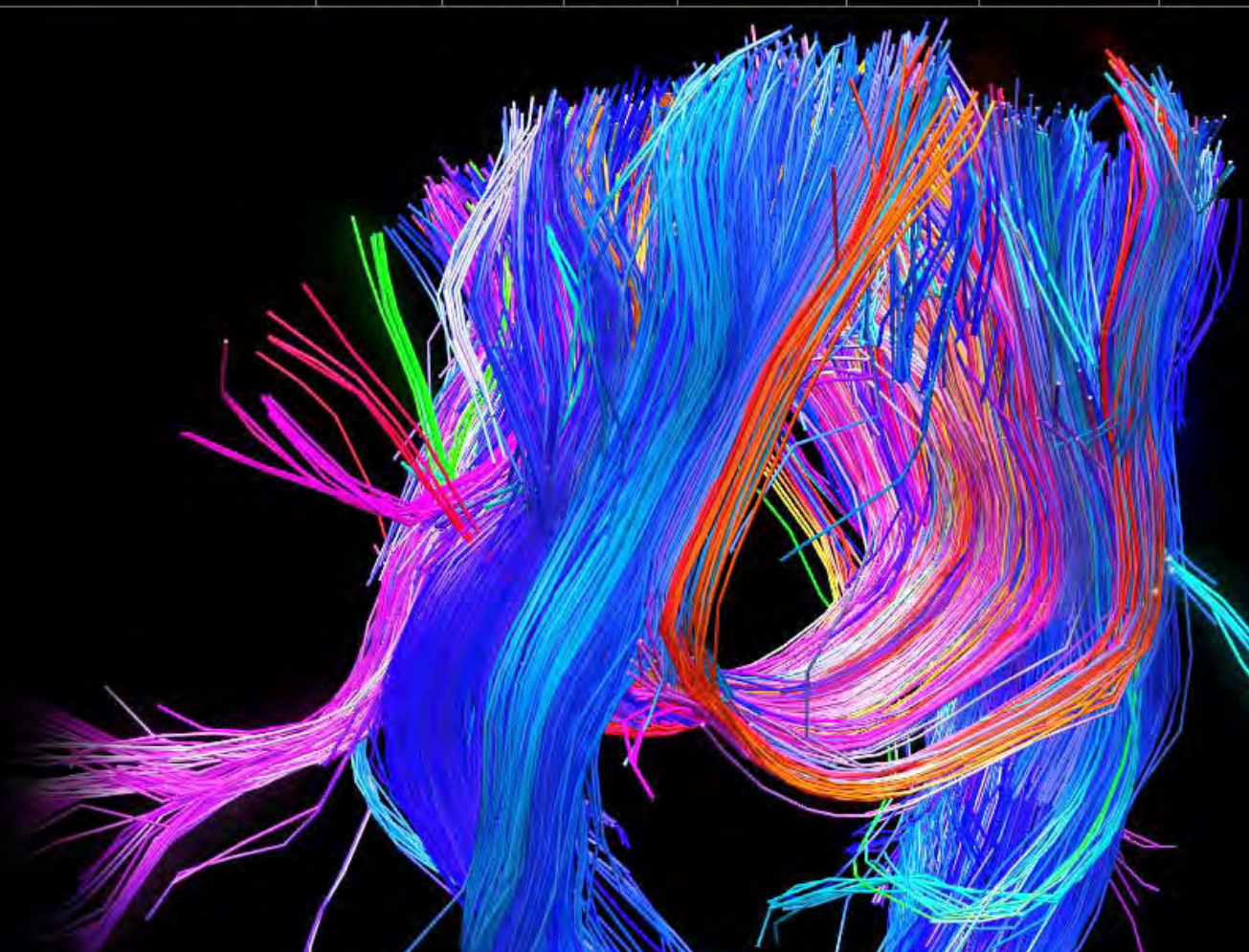
Limite / critique
à l'IRM de diffusion :



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](#)

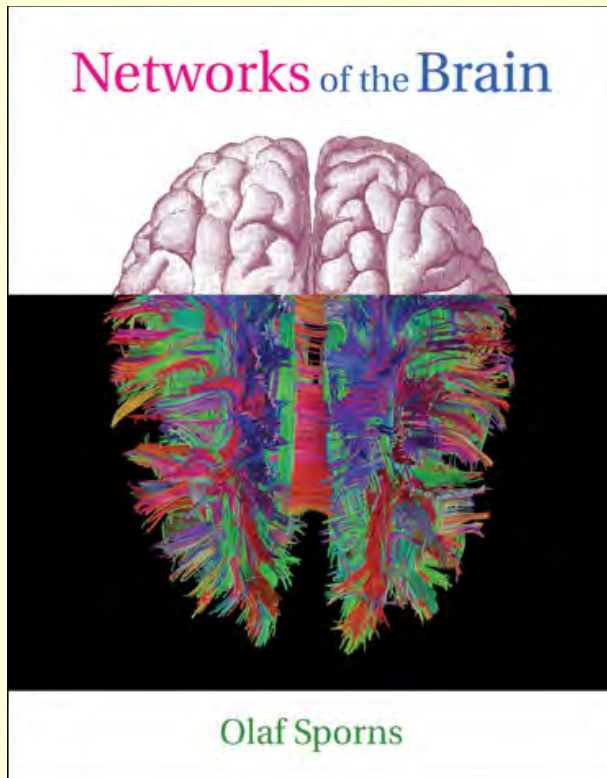
National Geographic features the Human Connectome Project

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.

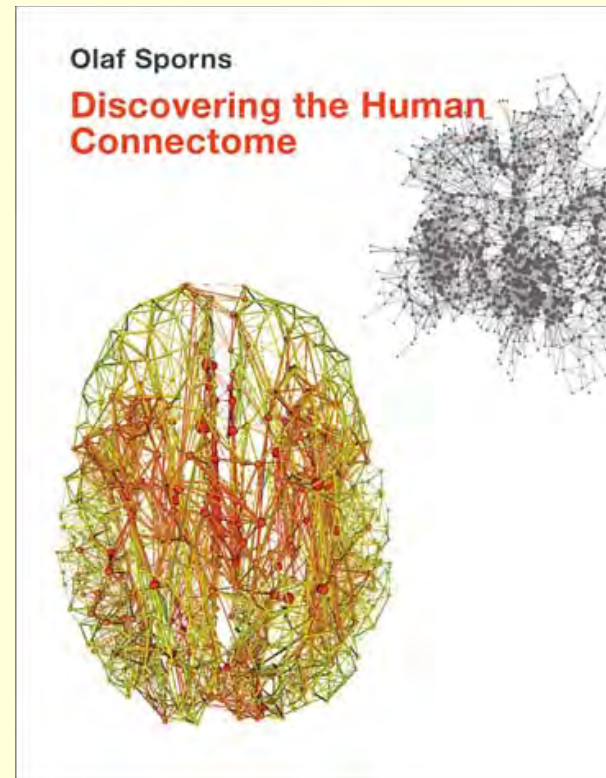
Le connectome (par analogie au génome)

*“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.



Diffusion-spectrum imaging (DSI)

Resting-state functional MRI (rs-fMRI),

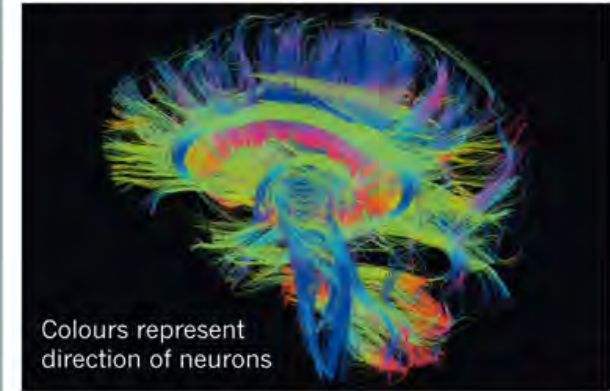
La connectivité fonctionnelle (fcMRI).

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.

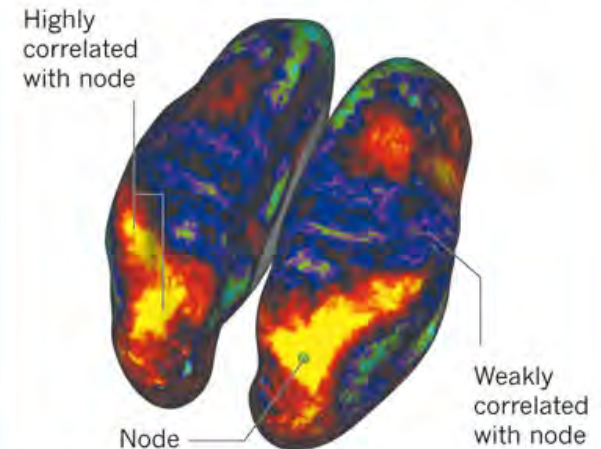
Mapping structure

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

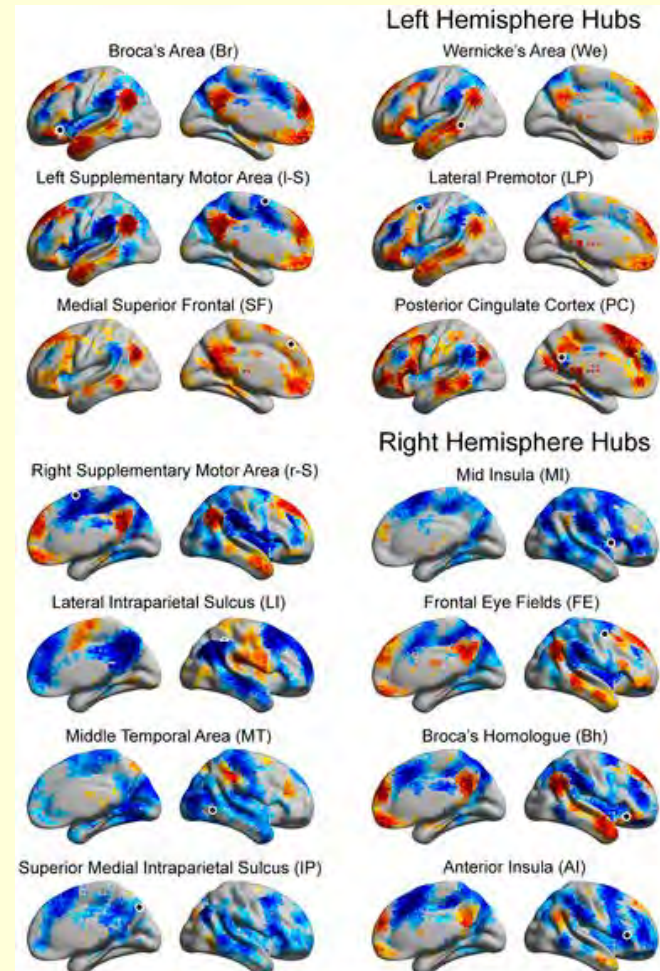
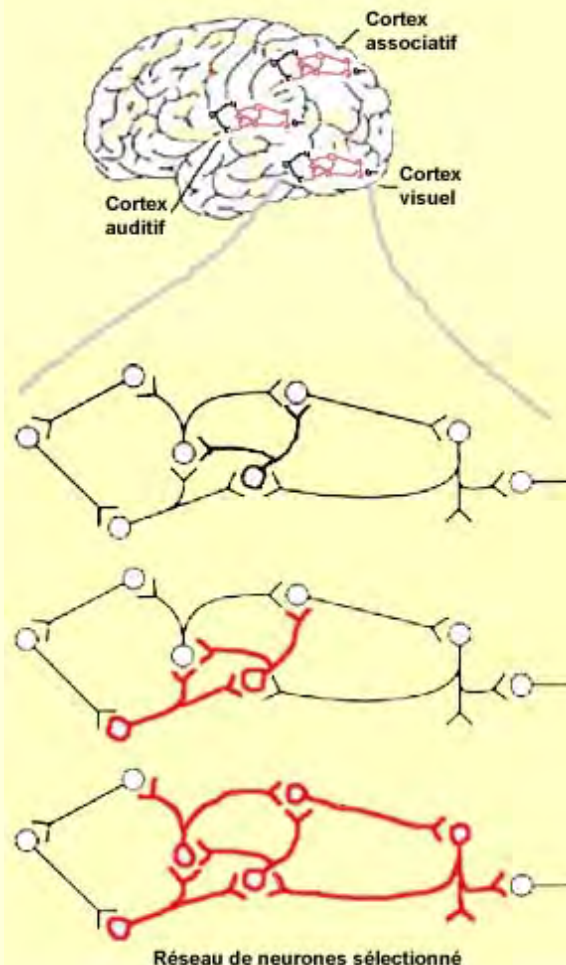
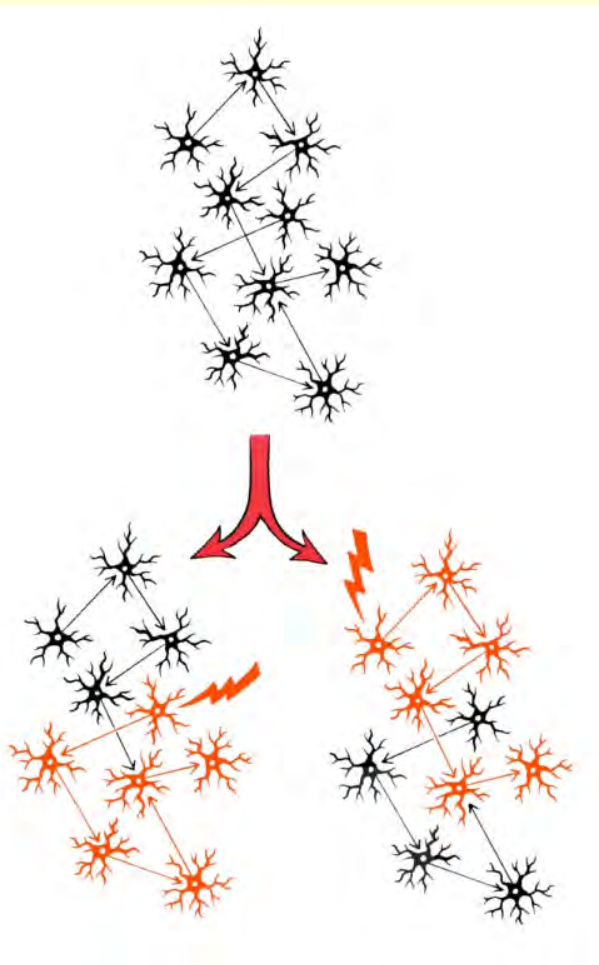
Resting-state functional MRI maps resting brain activity, then looks for correlations between one area and another. Highly correlated areas are thought to have some kind of functional link.

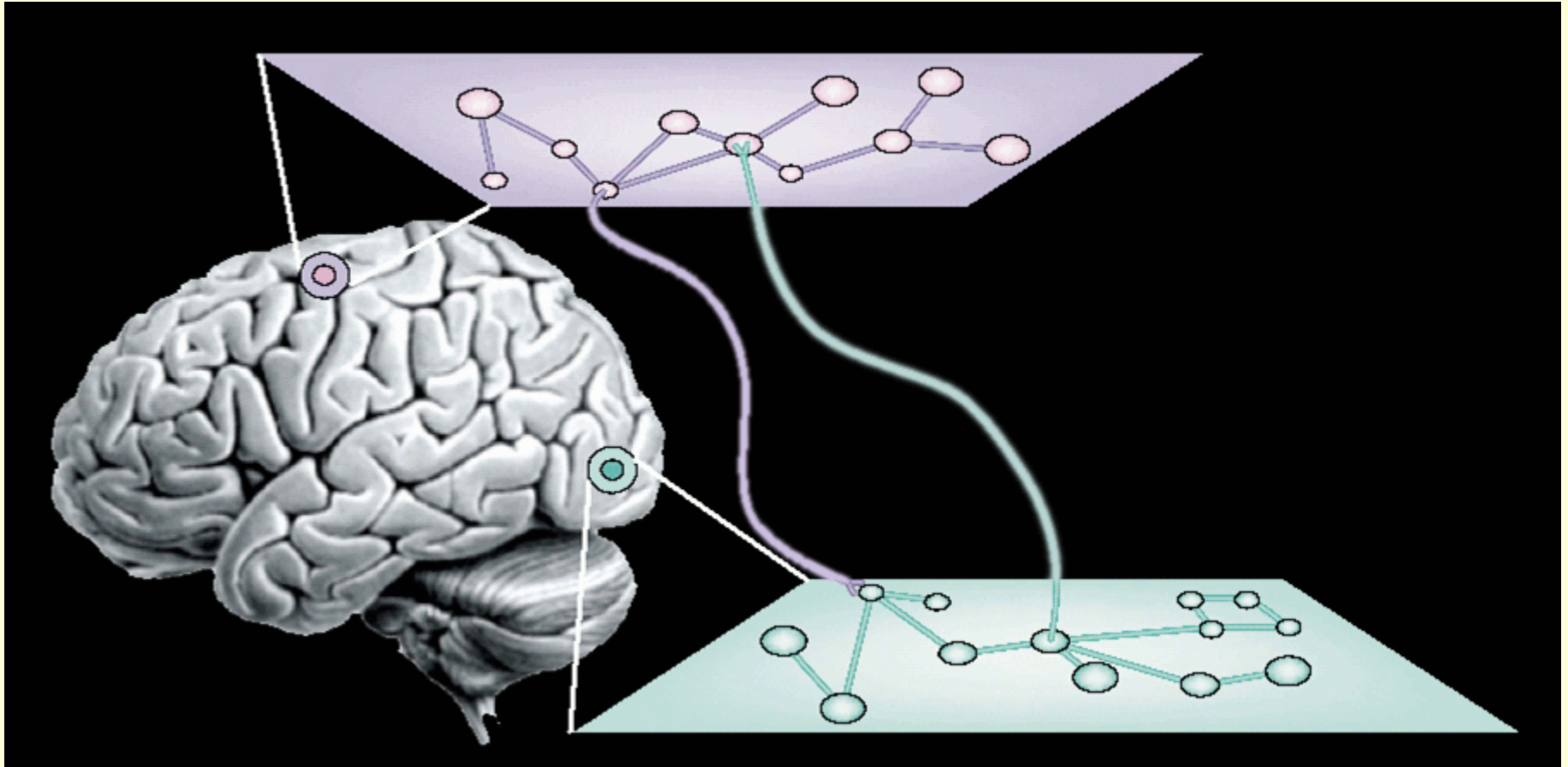


On peut tracer des cartes cérébrales à partir d'une ou de plusieurs aspects du cerveau (que l'on va présenter dans cette séance) :

- **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.)

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

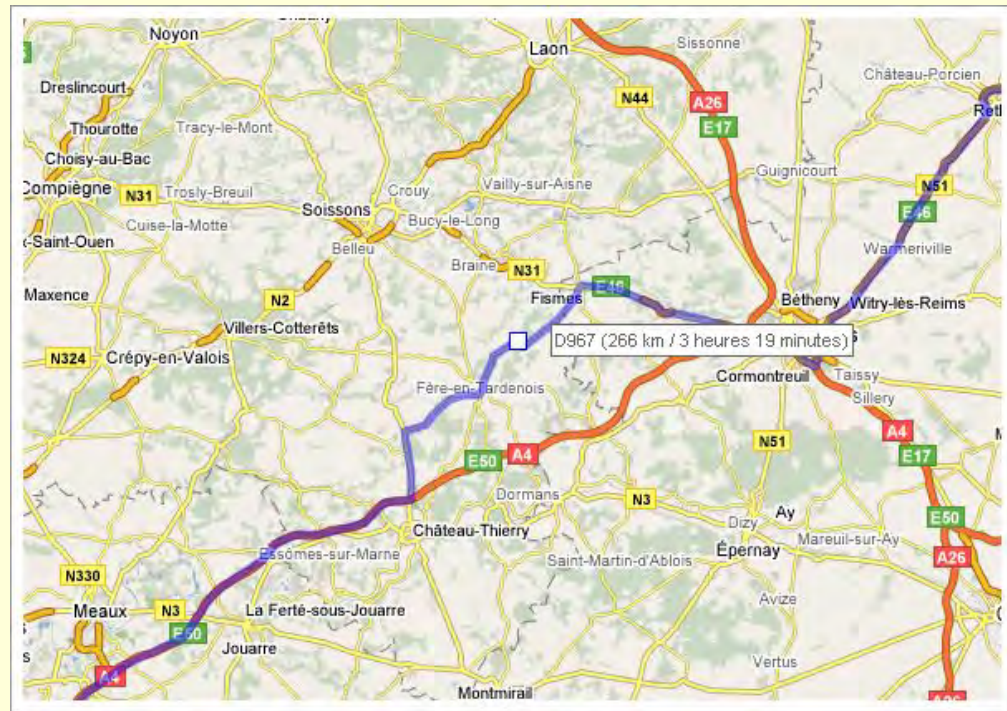
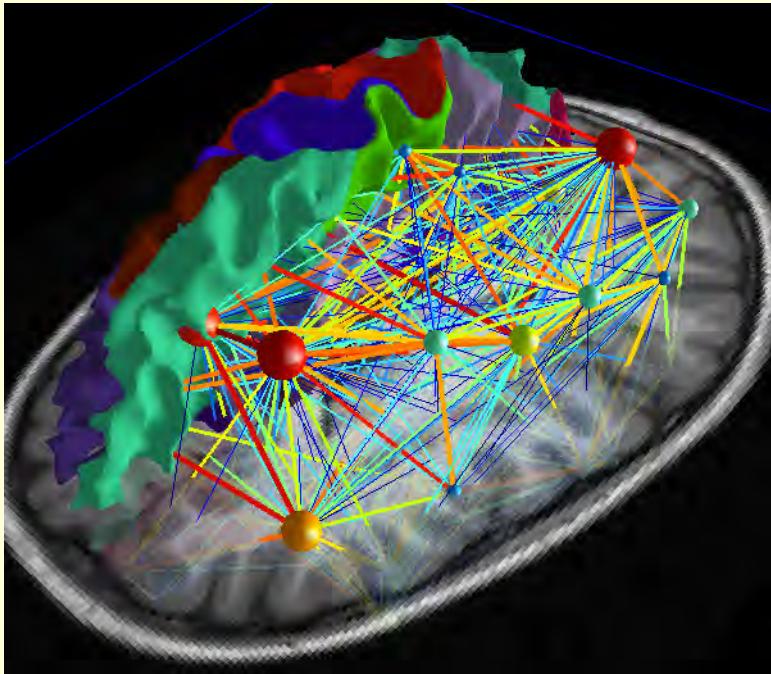
https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwir7vTM45rLahXJ2D4KHf0cAG8QFgg4MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.bic.mni.mcgill.ca%2Fusers%2Fpbellec%2Fdata%2Freview_lsni.pdf&usg=AFQjCNGBiKg_wv2IF4Dtll0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja

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

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 »),

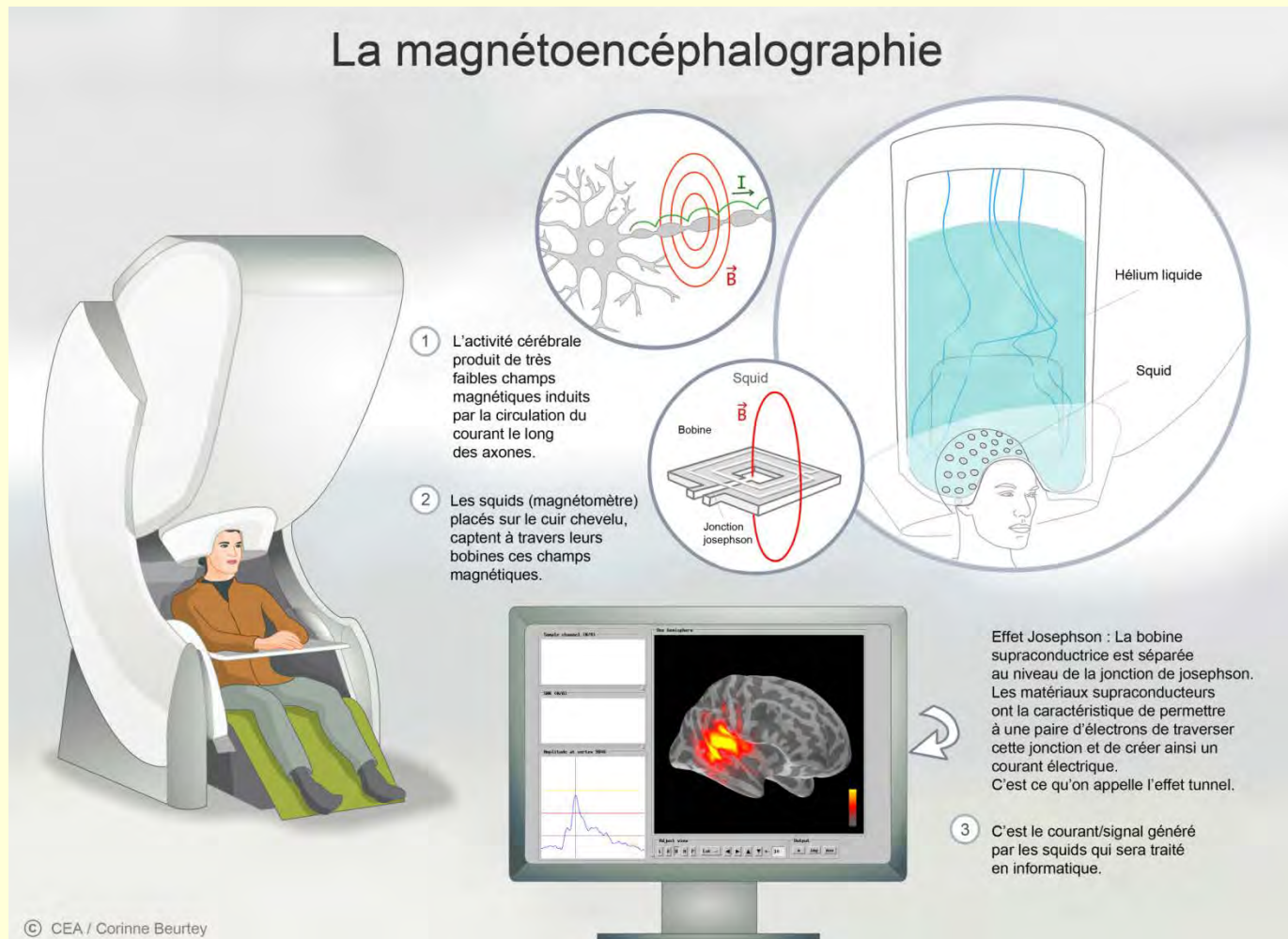
on tente d'identifier des régions qui fluctuent au même rythme et en phase et qui ont ainsi naturellement tendance à « **travailler ensemble** ».



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

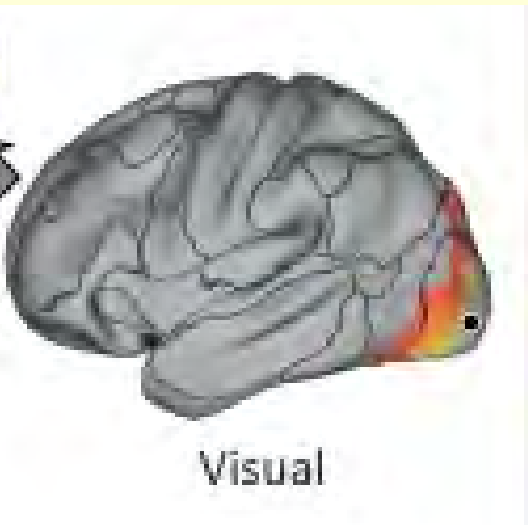
Measuring functional connectivity using MEG: Methodology and comparison with fcMRI

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



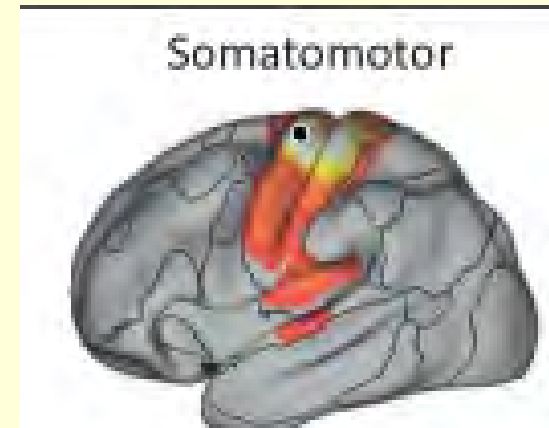
fc-IRM :

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



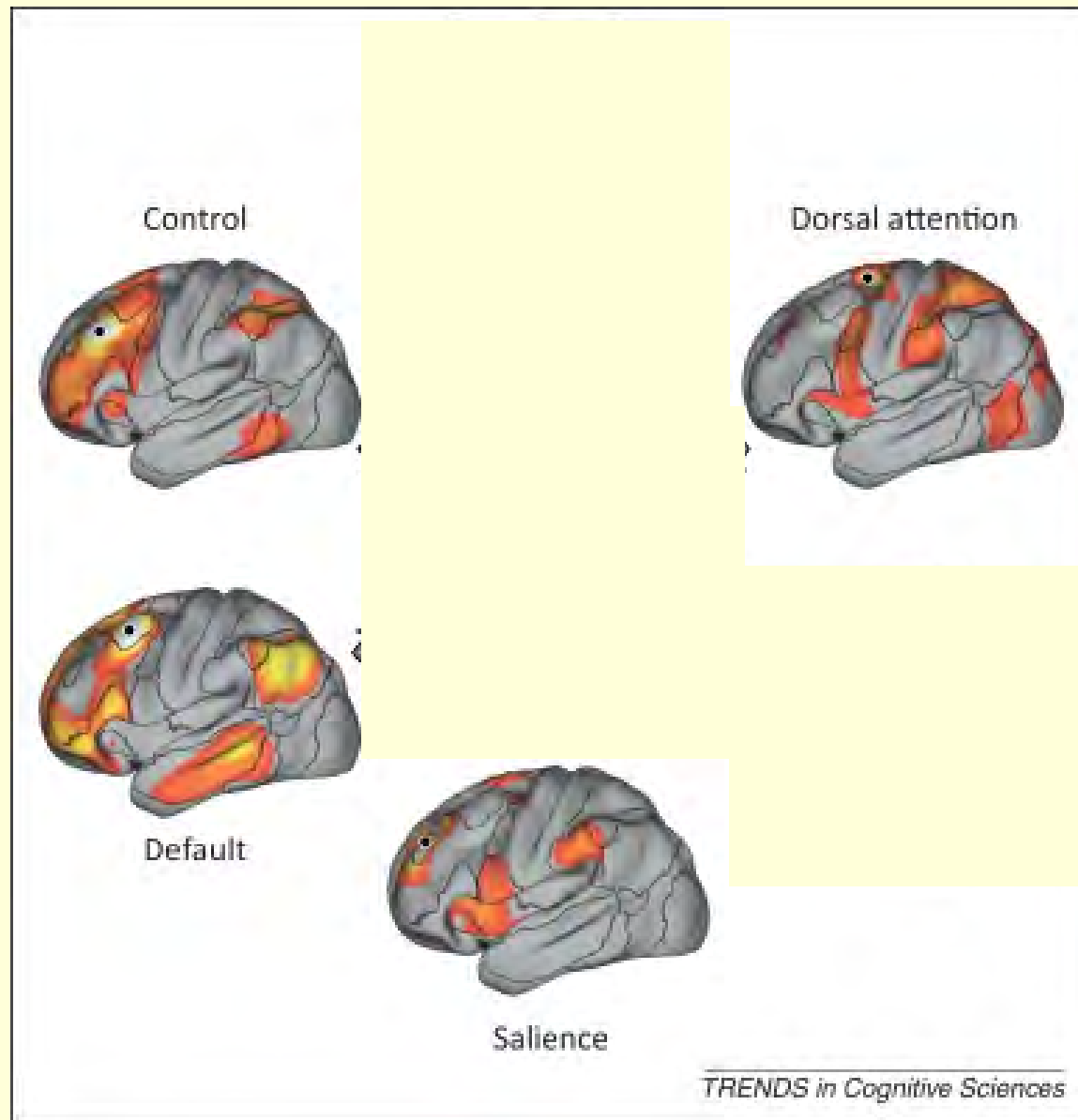
Si la « région semence » est placée dans les zones sensorielles et motrices **primaires**,

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**.

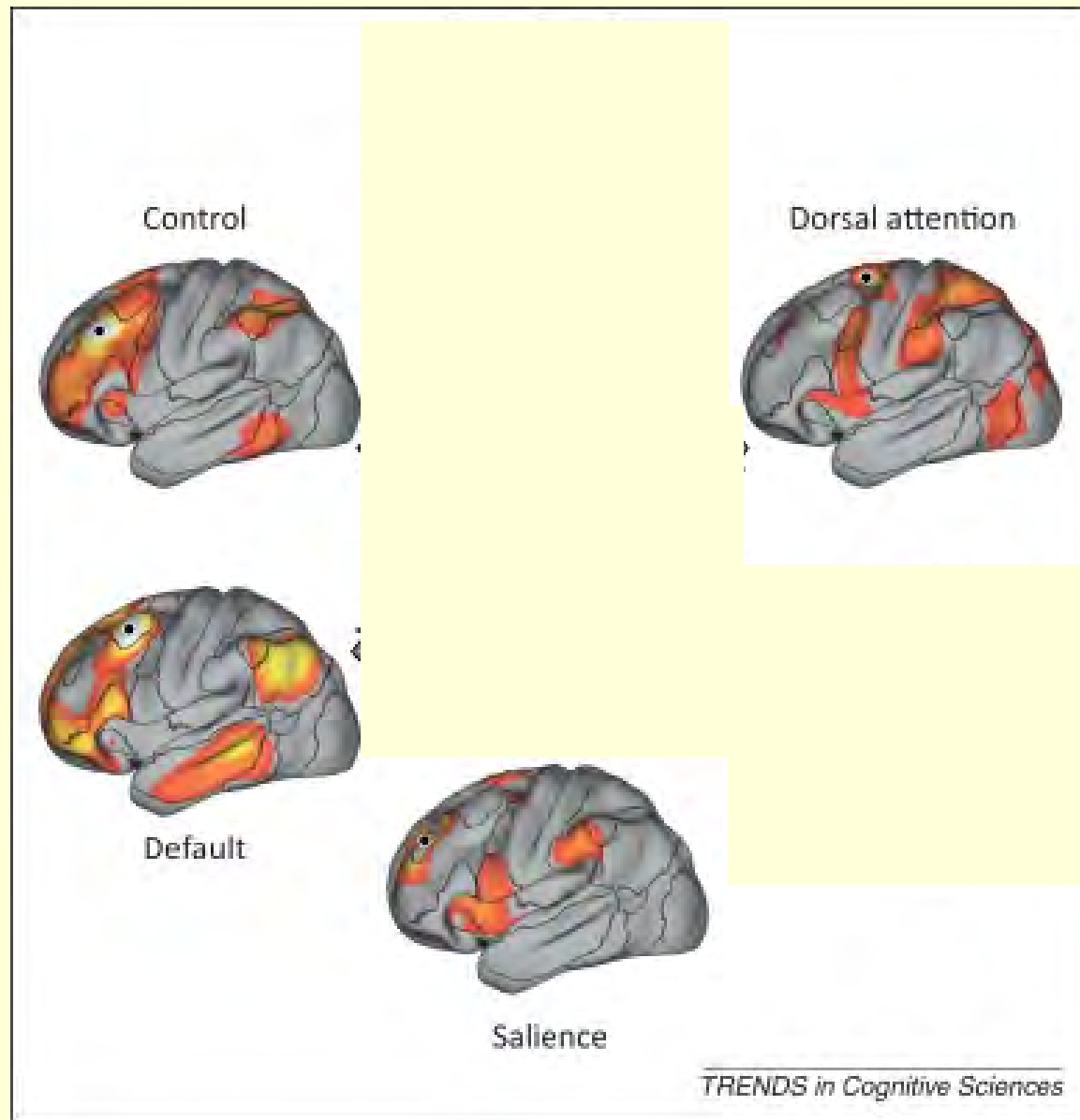


The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, **13 November 2013**

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).

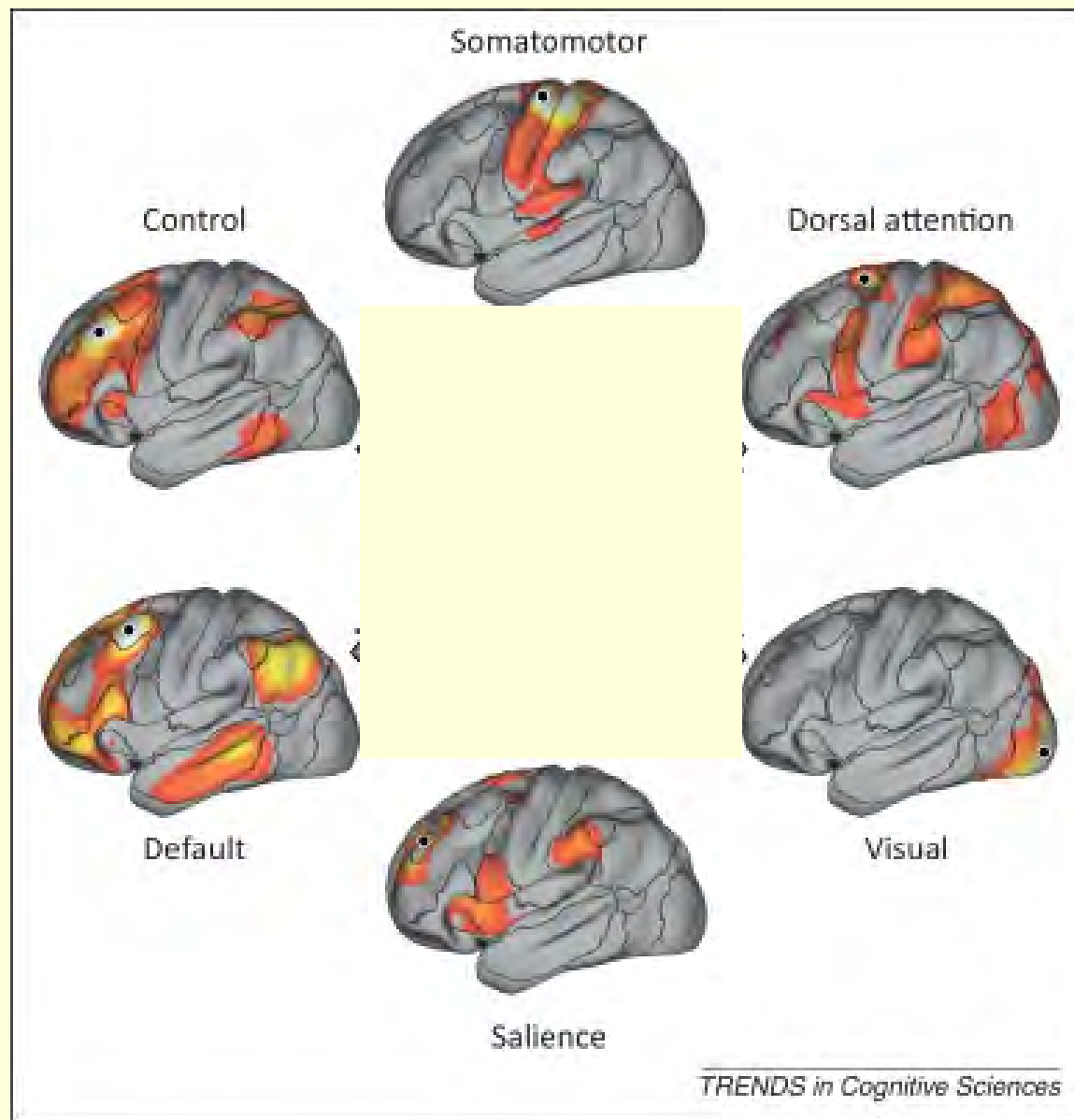
[[comme on le verra dans séance 9](#)]



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,

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



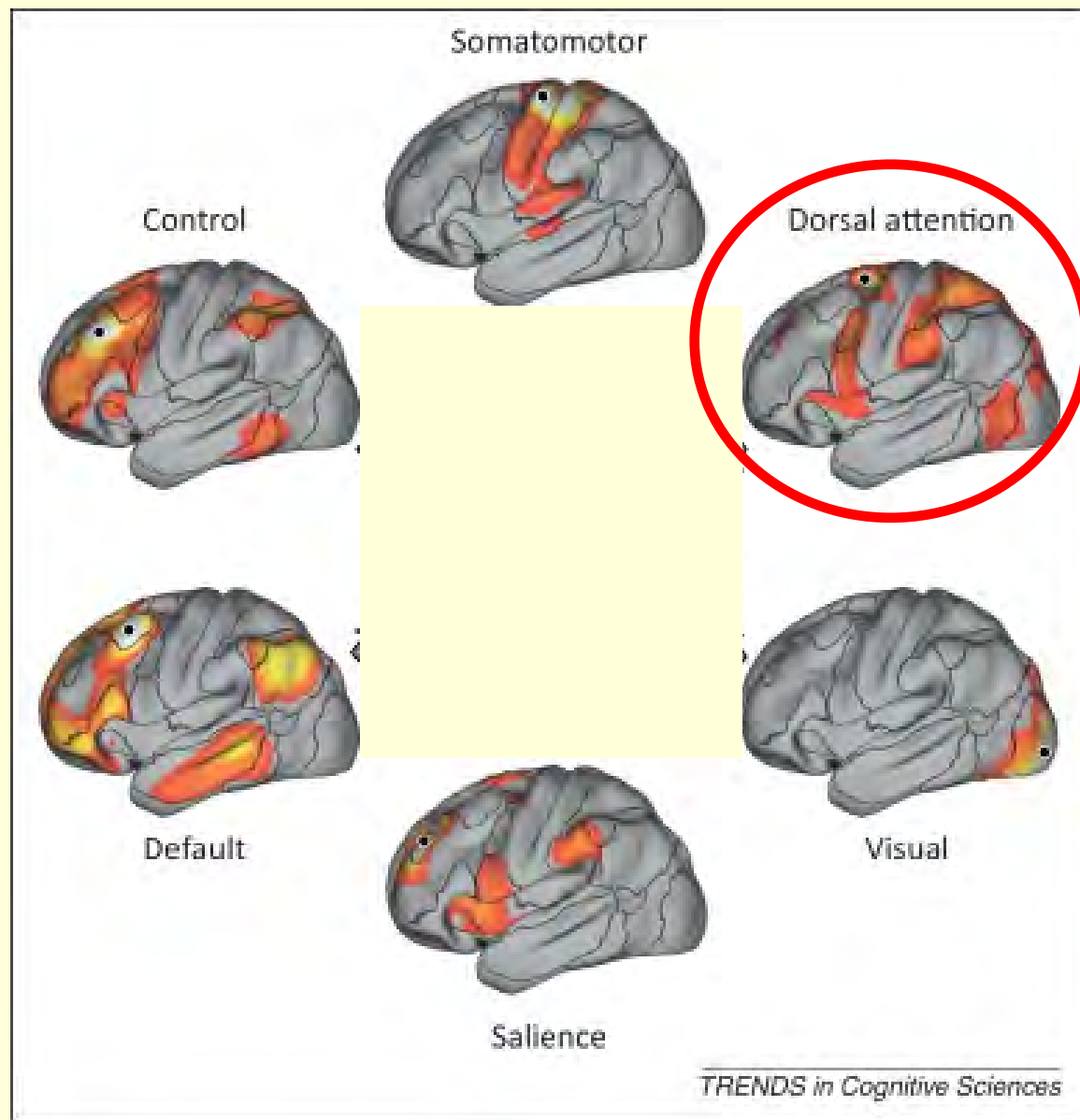
Mapping Functionally Related Regions of Brain with Functional Connectivity MR Imaging (2000)

<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**

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,

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



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

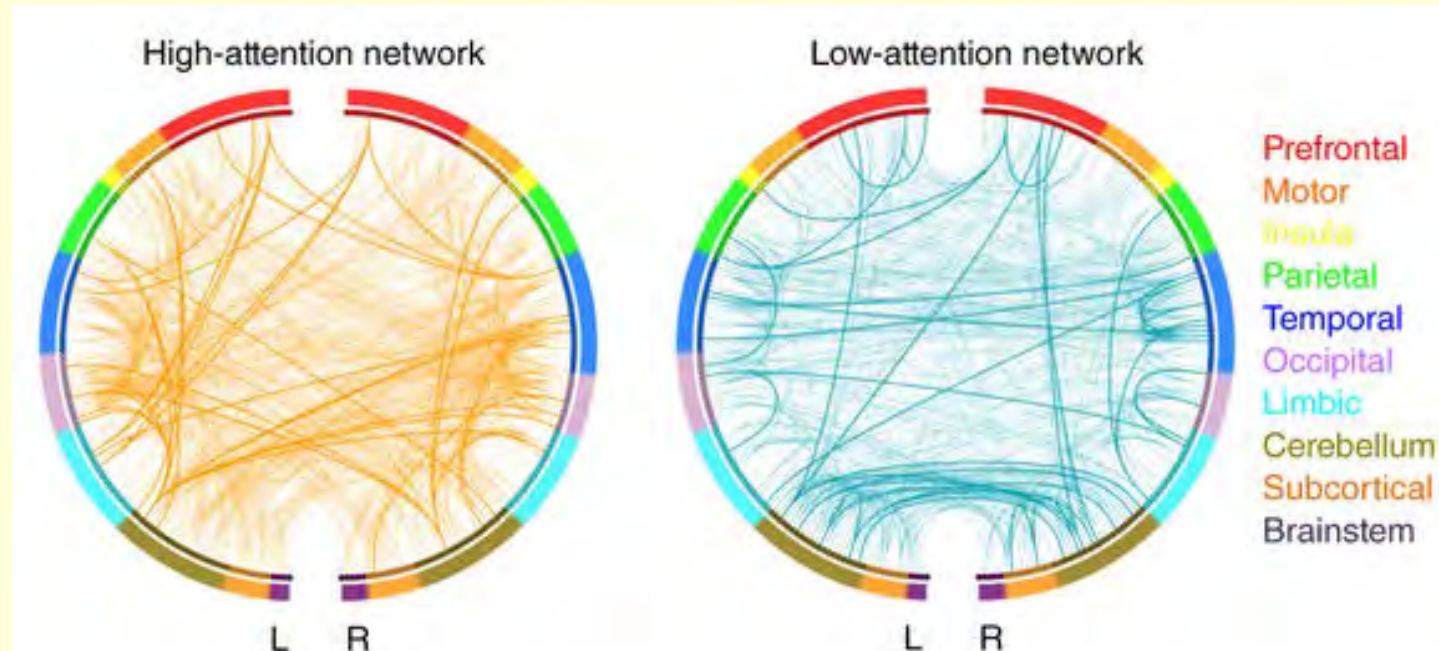
<http://www.ajnr.org/content/21/9/1636.full>

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>



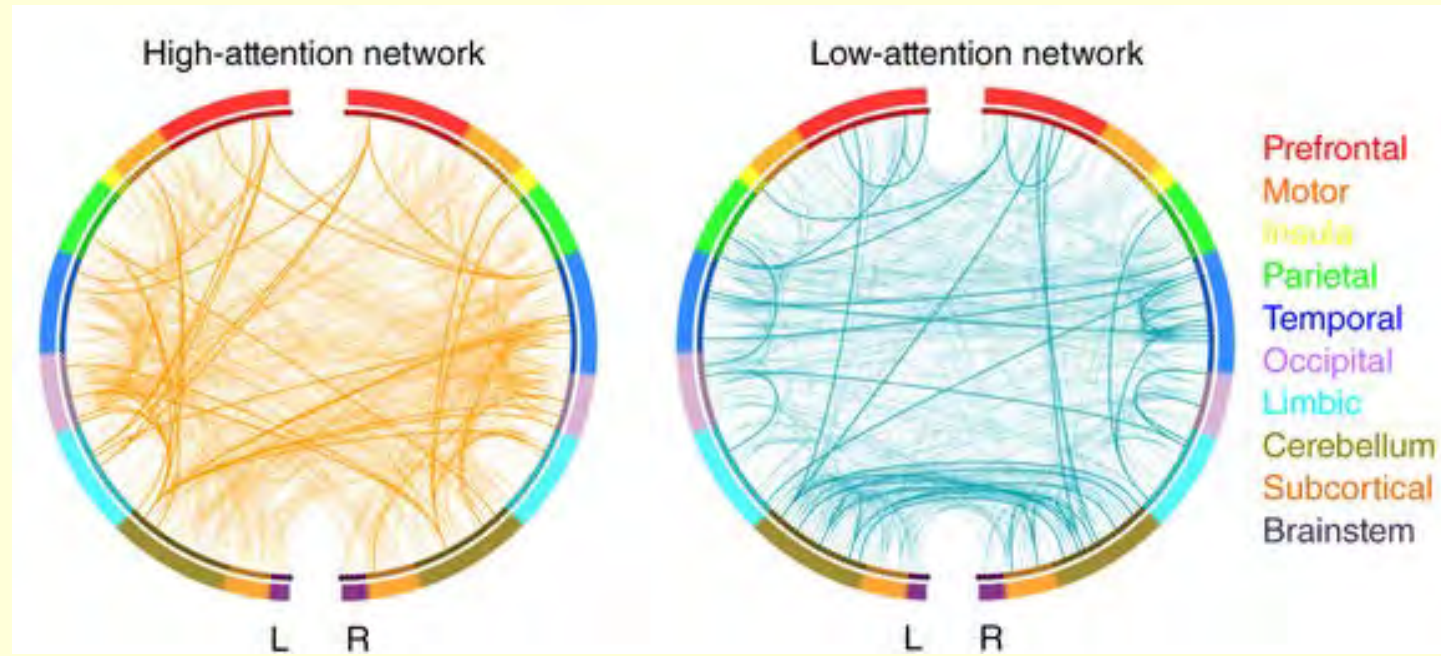
Des modèles construits à partir des patterns de connectivité de cerveau d'individus plus ou moins bons pour soutenir leur attention permettent de prédire les capacités attentionnelles d'un nouvel individu.

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>

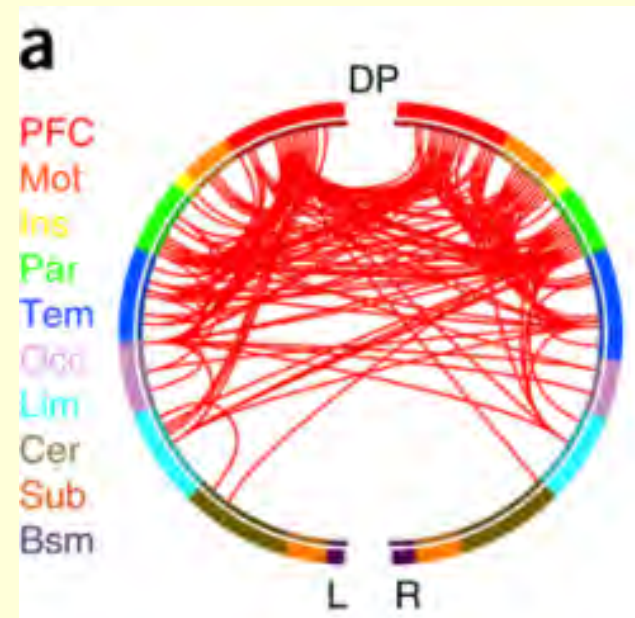
L'imagerie cérébrale de la **connectivité fonctionnelle (fc-MRI)** a permis de prédire avec un taux de réussite supérieur à 90% qui était l'individu dans le scan sur les 26 sujets de l'expérience uniquement en regardant sa connectivité fonctionnelle générale.

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

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

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

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



Tuesday, May 10, **2016**

Our brain activity at rest predicts our performance on tasks.

http://mindblog.dericbownds.net/2016/05/our-brain-activity-at-rest-predicts-our.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+Mindblog+%28MindBlog%29

<http://science.sciencemag.org/content/352/6282/216>

Quand différents individus font la même tâche cognitive, leur cerveau montre des patterns d'activité souvent très différents que l'on explique souvent par des stratégies différentes de résolution du problème.

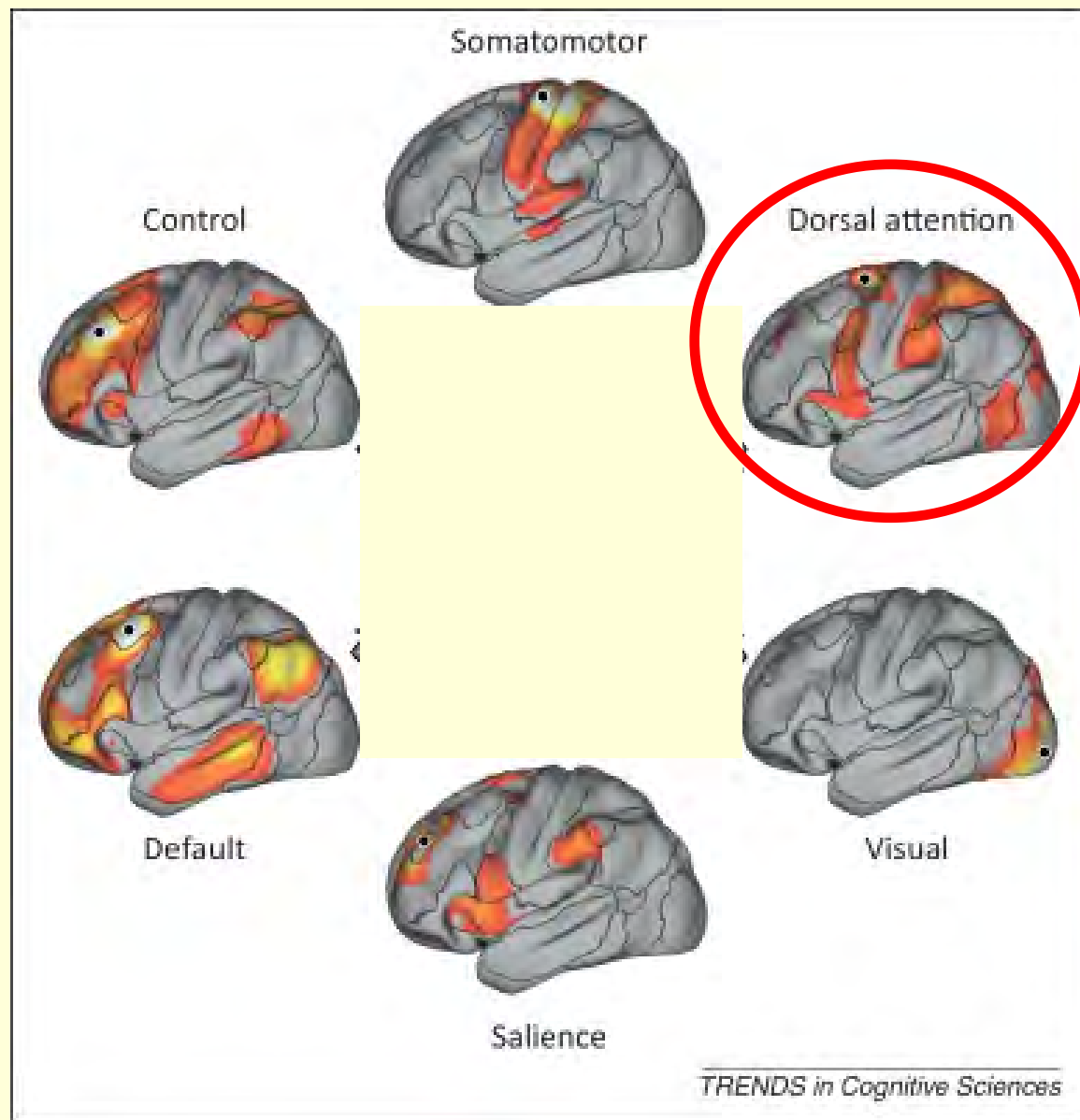
Mais s'il s'agit d'un choix de différentes stratégies, il ne semble pas se faire au hasard.

Cette étude montre en effet que cette variabilité inter-individuelle dans les patterns d'activation cérébraux lors d'une tâche **est, dans une large mesure, inhérent au cerveau d'un individu.**

Car ces patterns peuvent être prédits par le fc-MRI du cerveau de l'individu à l'état de repos.

Encore une fois, la nature du "resting state" fc-MRI d'un individu semble contenir **une signature propre à cet individu**, signature qui s'exprime de manière stable comme un trait particulier d'activité cérébrale lors de l'exécution d'une tâche.

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

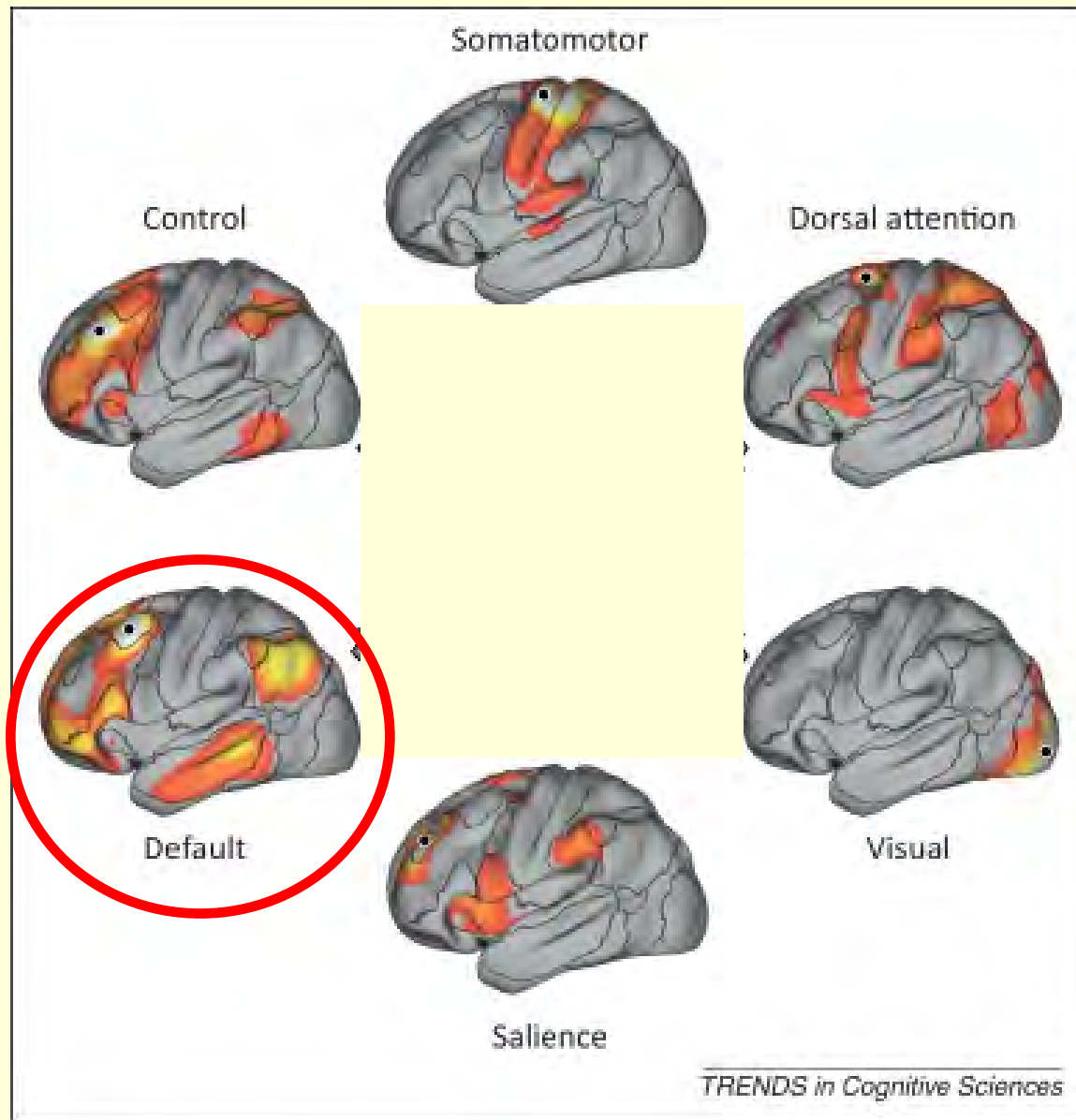


The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, [13 November 2013](#)

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.



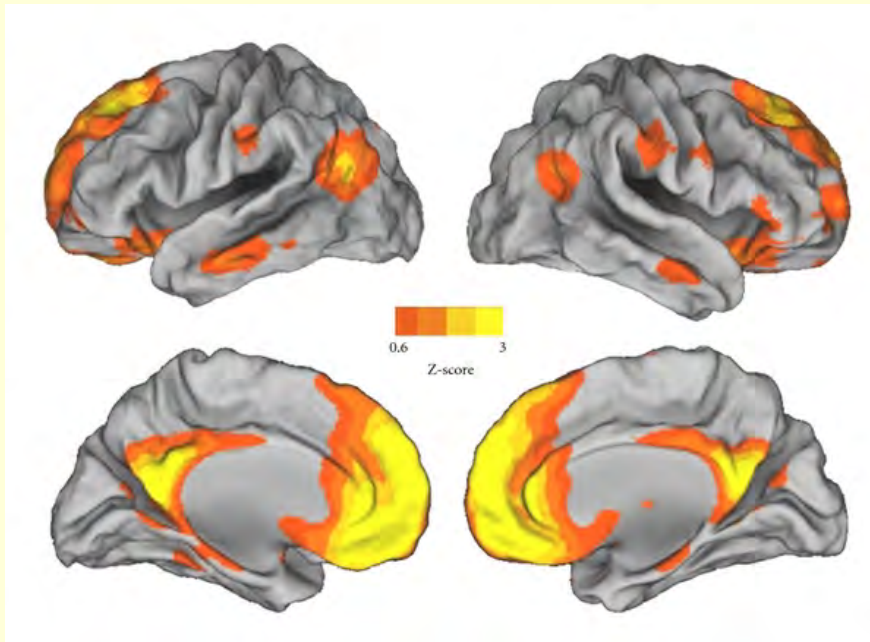
The evolution of distributed association networks in the human brain, Randy L. Buckner & Fenna M. Krienen, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 17, Issue 12, 648-665, **13 November 2013**

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 désactivées durant les tâches, ils les ont considéré comme étant plus actives quand les sujets ne faisaient aucune tâche.

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



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.

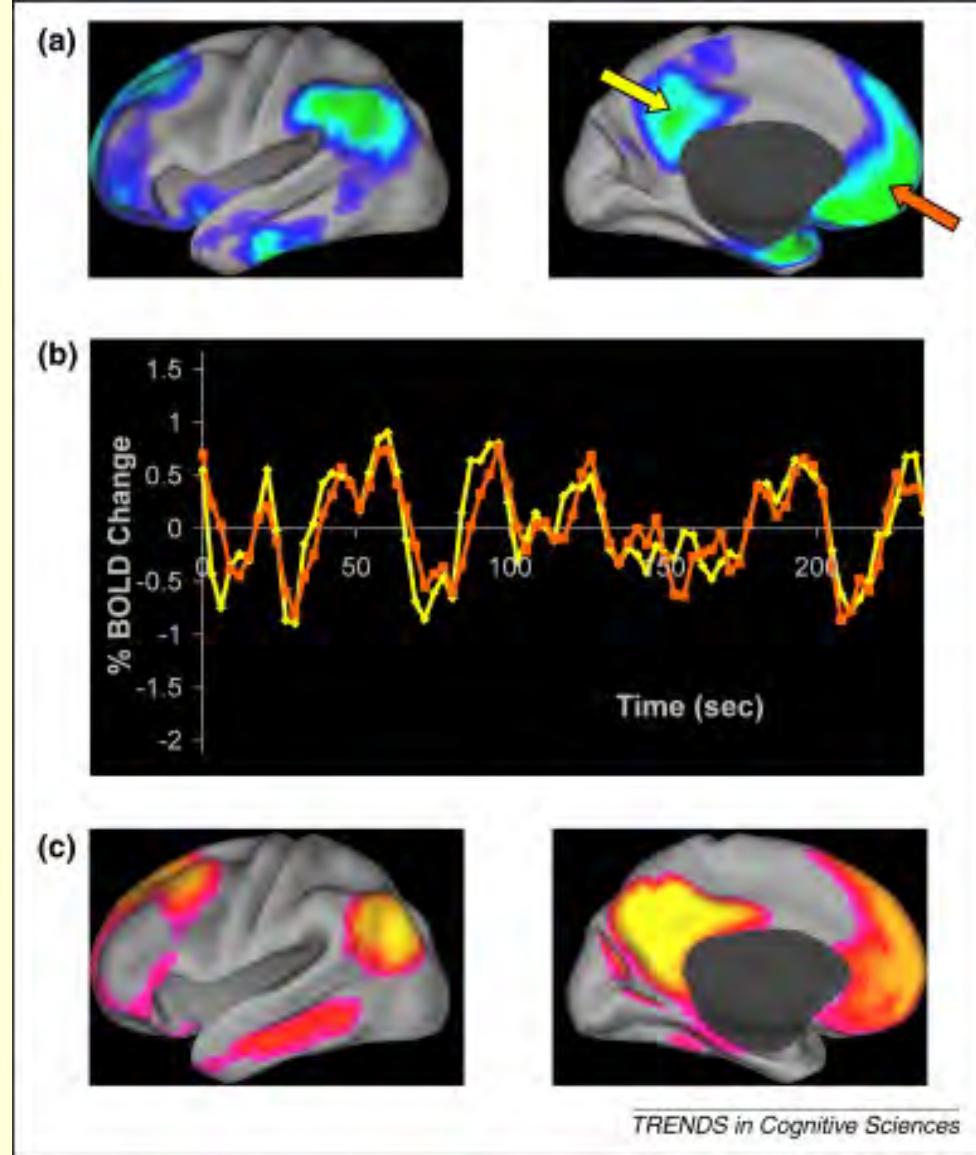
Raichle, M.E. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **2001**; 98: 676–682

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)

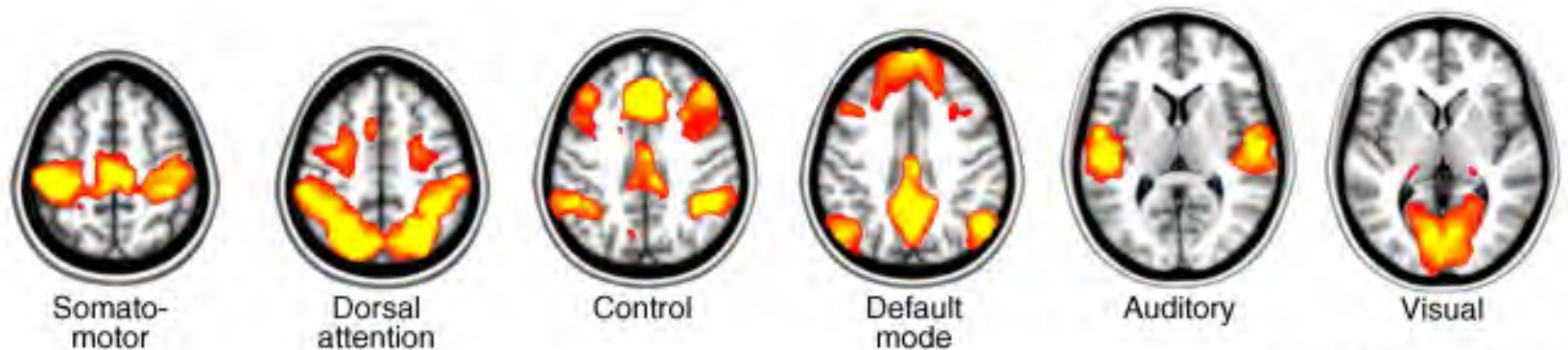
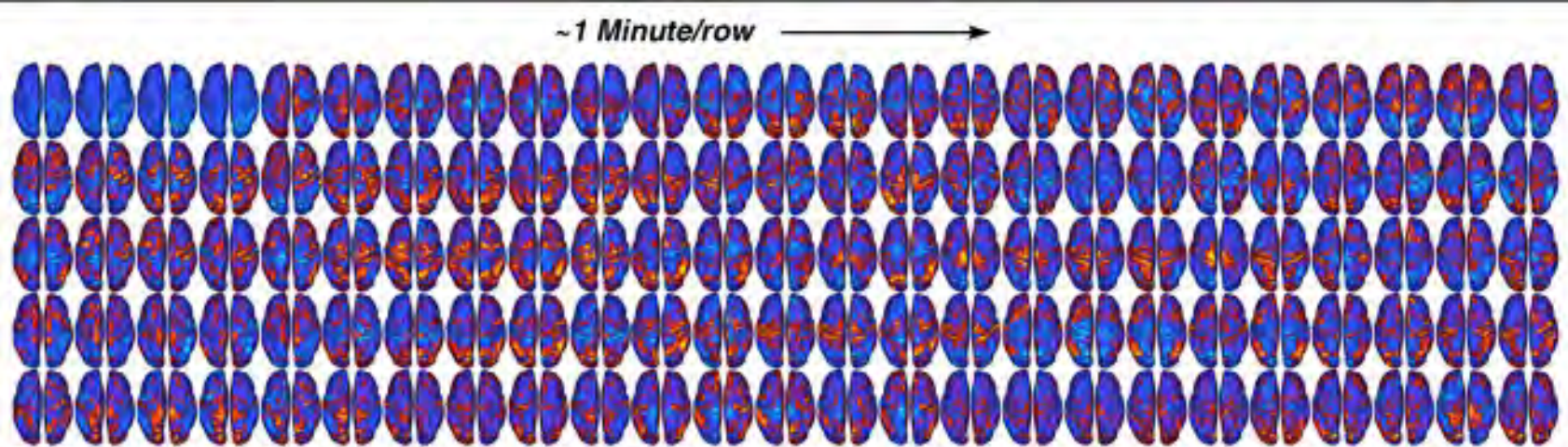
Le tracé très cohérent reflète
aussi le pattern de cohérence de
tout le réseau du mode par défaut
(en (c)).



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

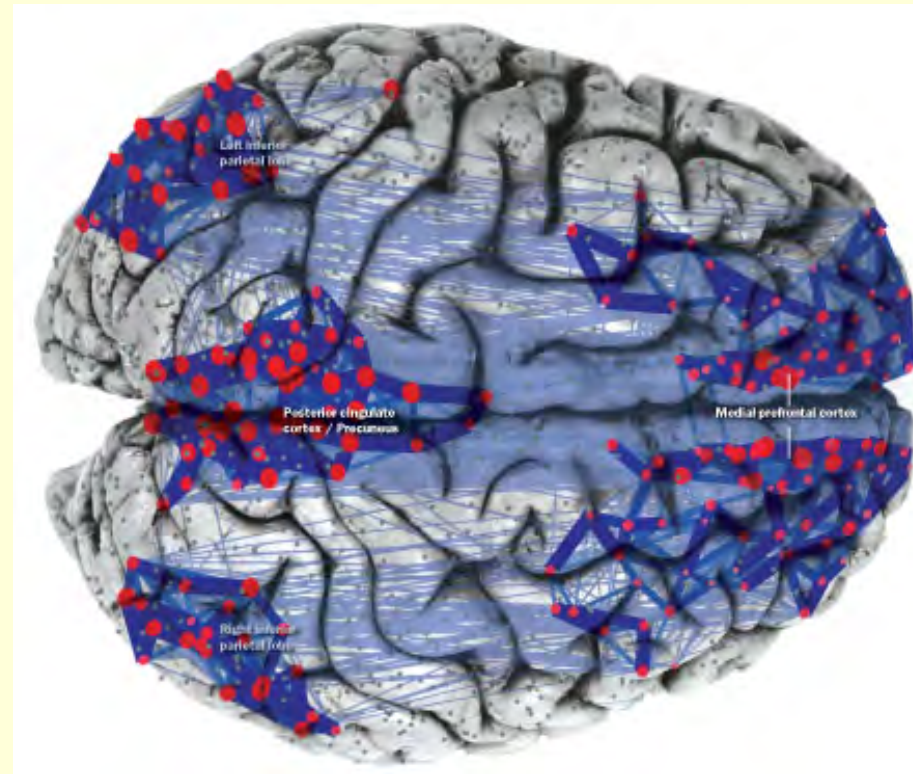
Des patterns similaires de cohérence statistique à l'état de repos ont maintenant été documentés dans la plupart des systèmes corticaux et de leurs connexions sous-corticales.

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.

A default mode of brain function: A brief history of an evolving idea

Marcus E. Raichle and Abraham Z. Snyder

L'étude des fluctuations du signal BOLD au repos (fc-IRM) est maintenant très utilisé.

Mais que représente exactement ces fluctuations intrinsèques d'activité ?

Plusieurs hypothèses :

1) juste des processus cognitifs spontanés indépendants de tout stimulus externe (ex.: être "dans la lune" (daydreams))

Mais peu probable d'un point de vu du coût énergétique requis qui serait beaucoup plus élevé que les processus cognitifs induits par des stimuli qui ne représentent qu'une petite fraction de l'activité endogène cérébrale.

De plus, **les fluctuations intrinsèques d'activité étant présentes sous anesthésie générale**, ce qui suggère qu'elles ne peuvent traduire une activité mentale consciente, mais une propriété organisationnelle plus générale du cerveau.

2) pour offrir un **mécanisme de facilitation de réponse** à certains stimuli

Les neurones recevant continuellement à la fois des excitations et des inhibitions, c'est la "**balance**" de ces stimuli qui détermine la capacité de réponse d'un neurone à ses inputs, et ce faisant qui module l'activité dans les voies cérébrales.

Car cette "balance" se manifeste aussi au niveau du cerveau entier, une lésion à un centre de contrôle du mouvement des yeux amenant une déviation des yeux du côté de la lésion, impliquant la présence d'une "balance" pré-existante.

Bref, il est possible que **cette "balance" de forces opposées augmente la précision d'un grand nombre de processus cérébraux** et pourrait donc être vue comme un élément coûteux mais essentiel du fonctionnement cérébral.

3) les fluctuations intrinsèques d'activité maintiendraient l'information nécessaire à l'interprétation, à la réponse et même à la prédiction des demandes environnementales.

Cette vision s'inscrit dans un cadre théorique voulant que le cerveau opère comme une machine à faire des inférences Bayésiennes pour générer des prédictions sur les situations futures.

Cette activité flucturante pourrait représenter le meilleur modèle prédictif du moment (un "prior", pour utiliser le langage Bayésien) à propos des affordances qui s'offrent à l'organisme.

[Séance 14 !]

Un hypothèse récente qui fait un lien vers l'article de Shanahan...

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.

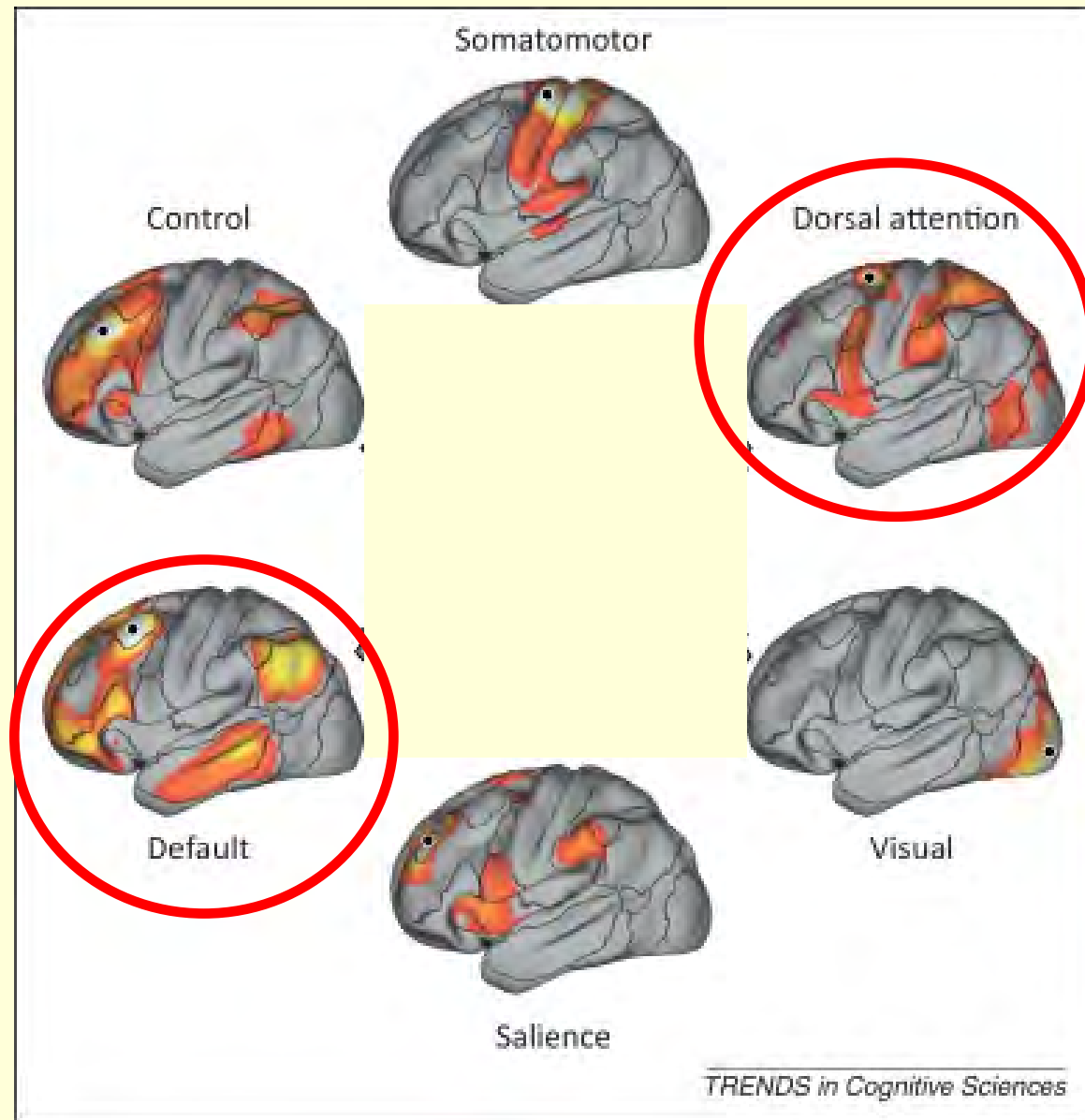
Default Mode Dynamics for Global Functional Integration

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>

Une dernière hypothèse
autour du rôle du mode par
défaut (il y en a beaucoup !)

qui va nous permettre de le
lier d'une certaine façon au
réseau dorsal de l'attention...



Schroeder, C.E. and Lakatos, P. (2008) **Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection.** Trends Neurosci. 32, 9–18

Selon ces auteurs, la phase des oscillations lentes se “reset” sur celle de patterns prévisibles en provenance de l’environnement, ce qui permet d’augmenter la réponse et la performance.

Ceci se produirait sans effort, d’une manière qui rejoint l’idée d’un mode par défaut.

Mais comme le monde dans lequel on vit n’est pas entièrement prévisible, cela appelle une stratégie complémentaire où l’activité cohérente du mode par défaut est interrompue quand quelque chose requiert des efforts d’attention dû à la nouveauté et à l’incertain.

C’est à ce moment que l’on devrait s’attendre à une baisse d’activité dans le réseau du mode par défaut et une augmentation d’activité dans le réseau cérébral associé à l’attention dirigée par un but.

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)

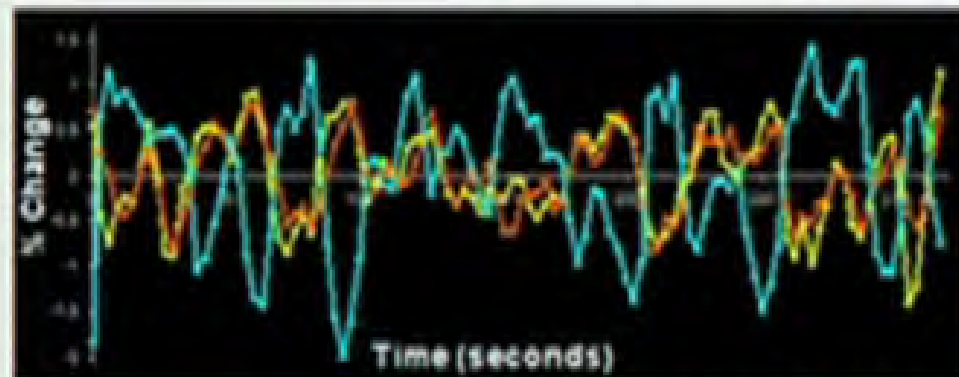
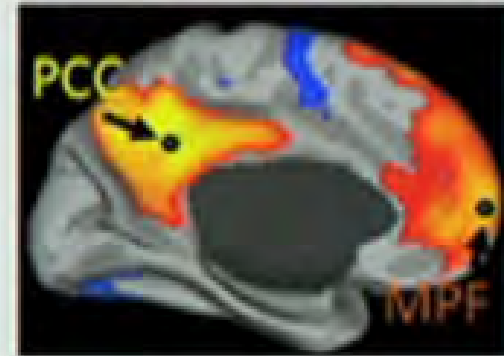
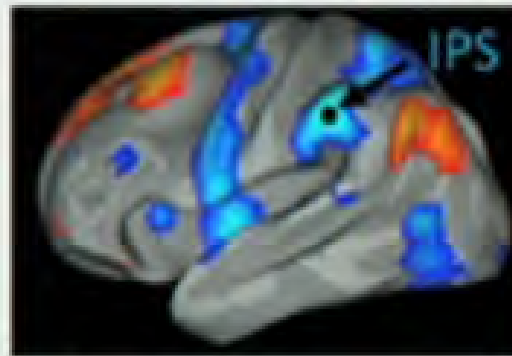
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2810%2900029-X>



Dorsal Attention Network



Default Mode Network

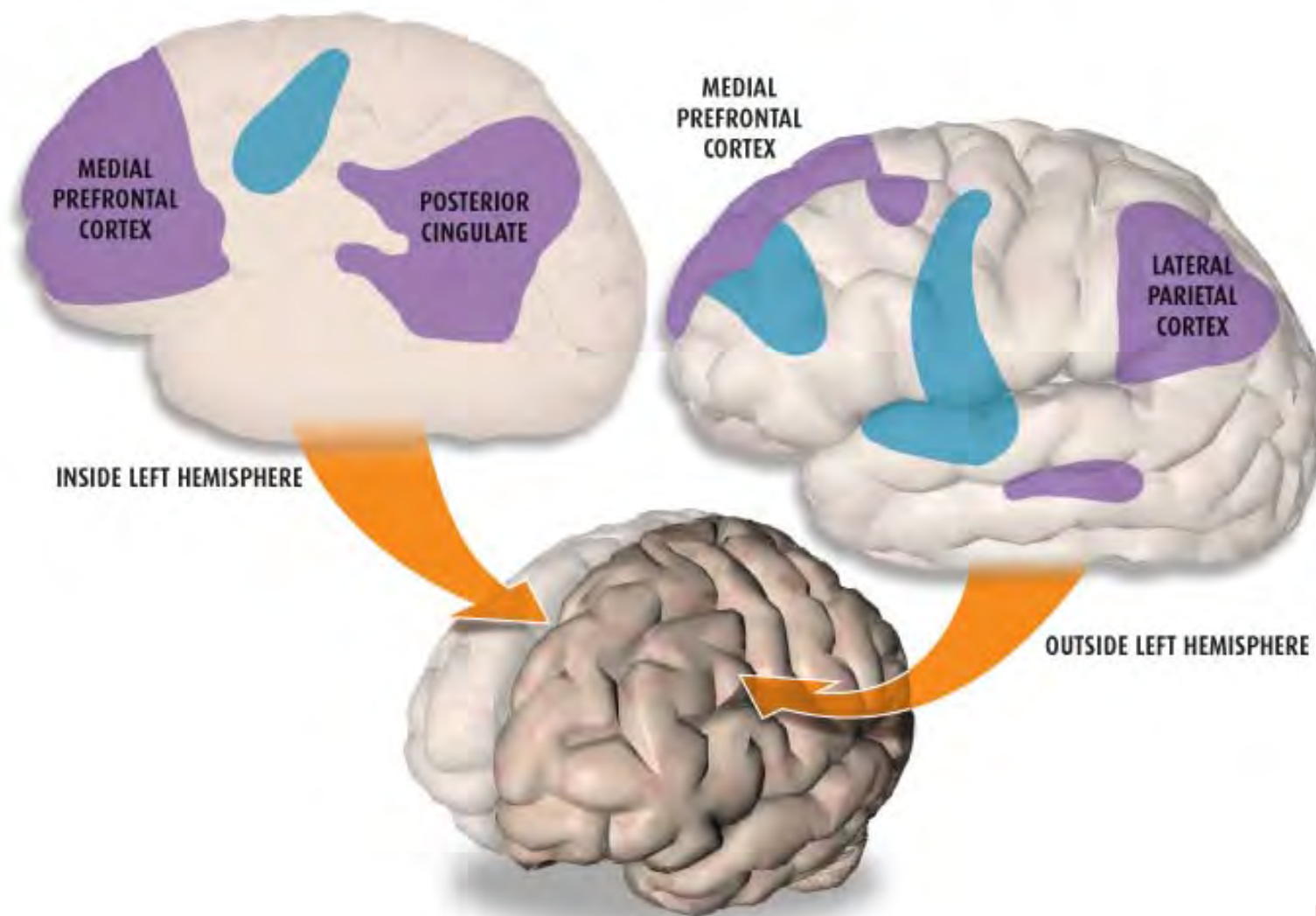


Fox et al (2005) PNAS

THE BRAIN IN NEUTRAL

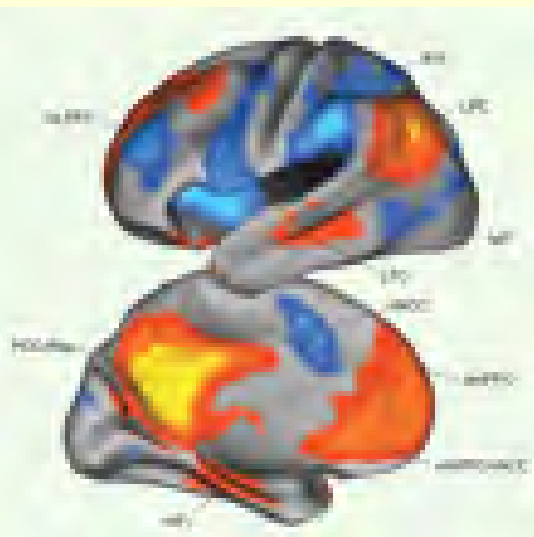
When you switch off, a distinctive network of brain areas not involved in focused attention bursts into action

● Default network ● Areas involved in focused visual attention



**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

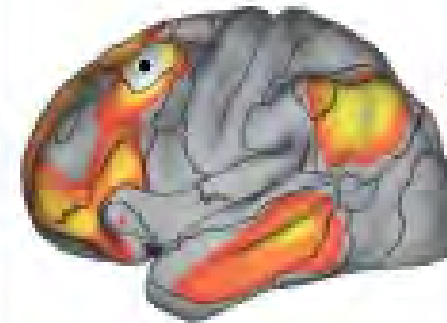


Lundi, 29 septembre 2014

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

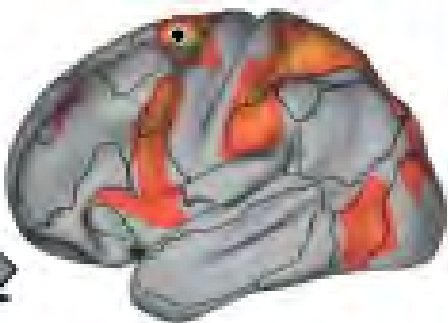
On se trouve souvent dans **deux grands états mentaux qui s'opposent** et sont, d'une certaine façon, mutuellement exclusifs.

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



Default

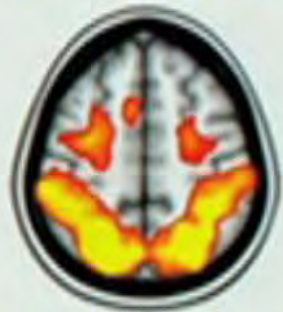
Dorsal attention



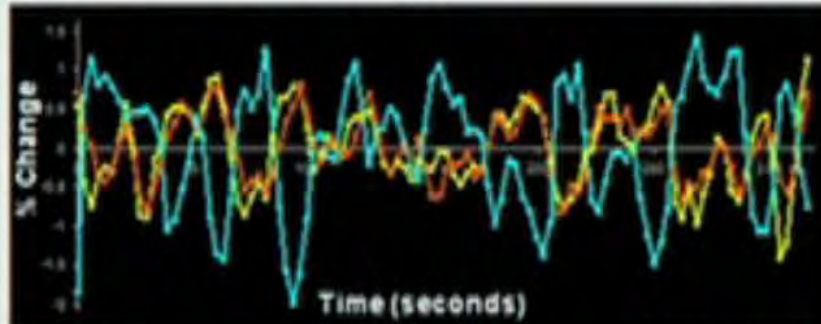
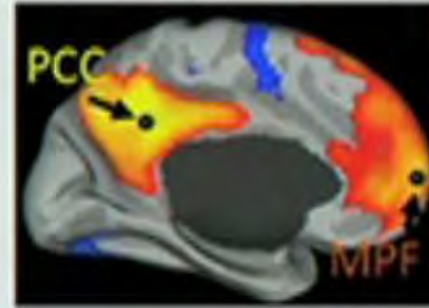
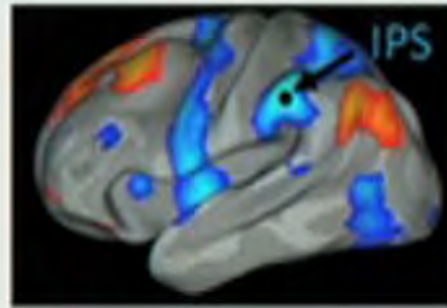
Ou soit, par l'entremise fréquente de régions frontales de notre cortex, nous concentrons notre **attention** sur une tâche cognitive pour la résoudre.



Default Mode Network



Dorsal Attention Network



Fox et al (2005) PNAS

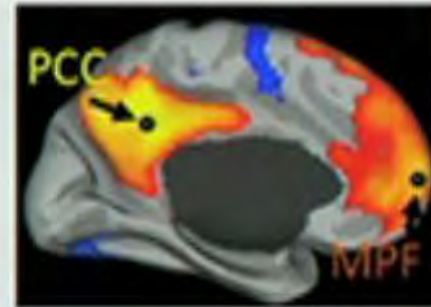
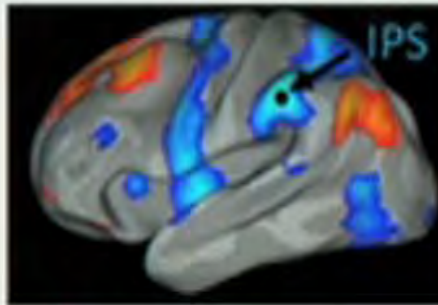
“the tendency towards an optimal grip on multiple affordances can be explained as a **metastable attunement to environmental dynamics.**

This metastable attunement allows for **rapid and flexible switching** between relevant action possibilities (Kelso, 2012).” (J. Bruineberg)

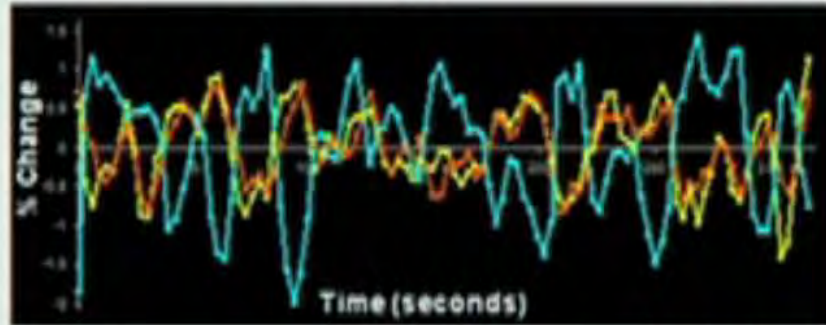
« idées noires » ?



Default Mode Network



Dorsal Attention Network



Fox et al (2005) PNAS

« 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:

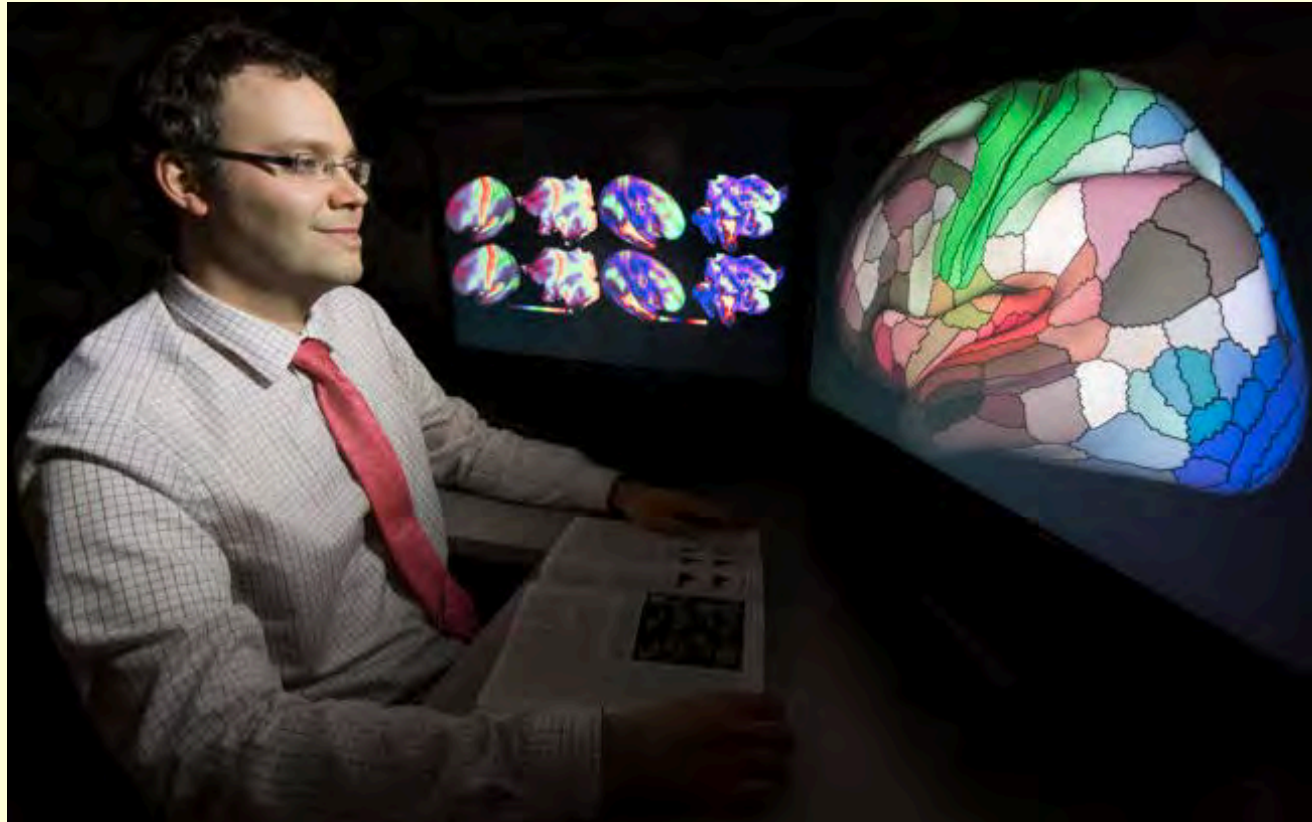
10.1016/j.biopsych.2014.01.023. Epub **2014 Feb 5**.

<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.

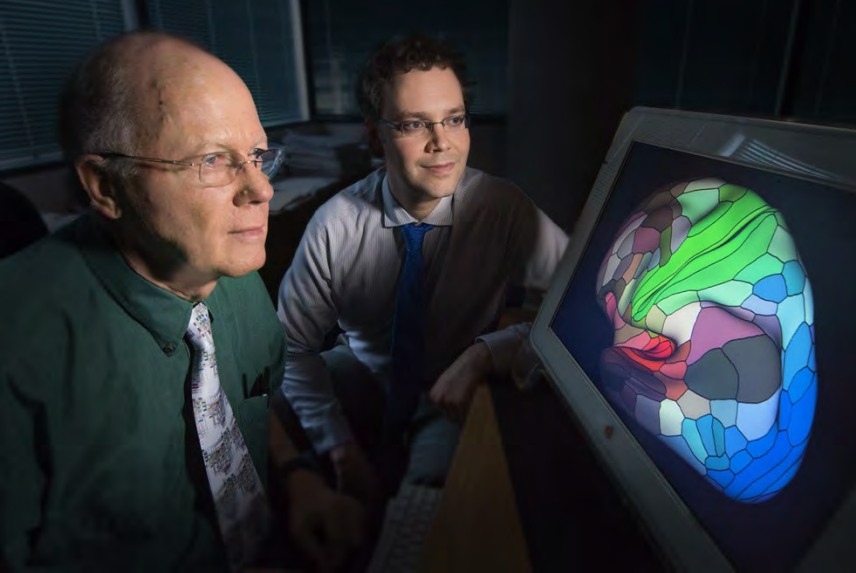
**Cortical
brain maps
at the
highest
resolution
to date**

<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.”

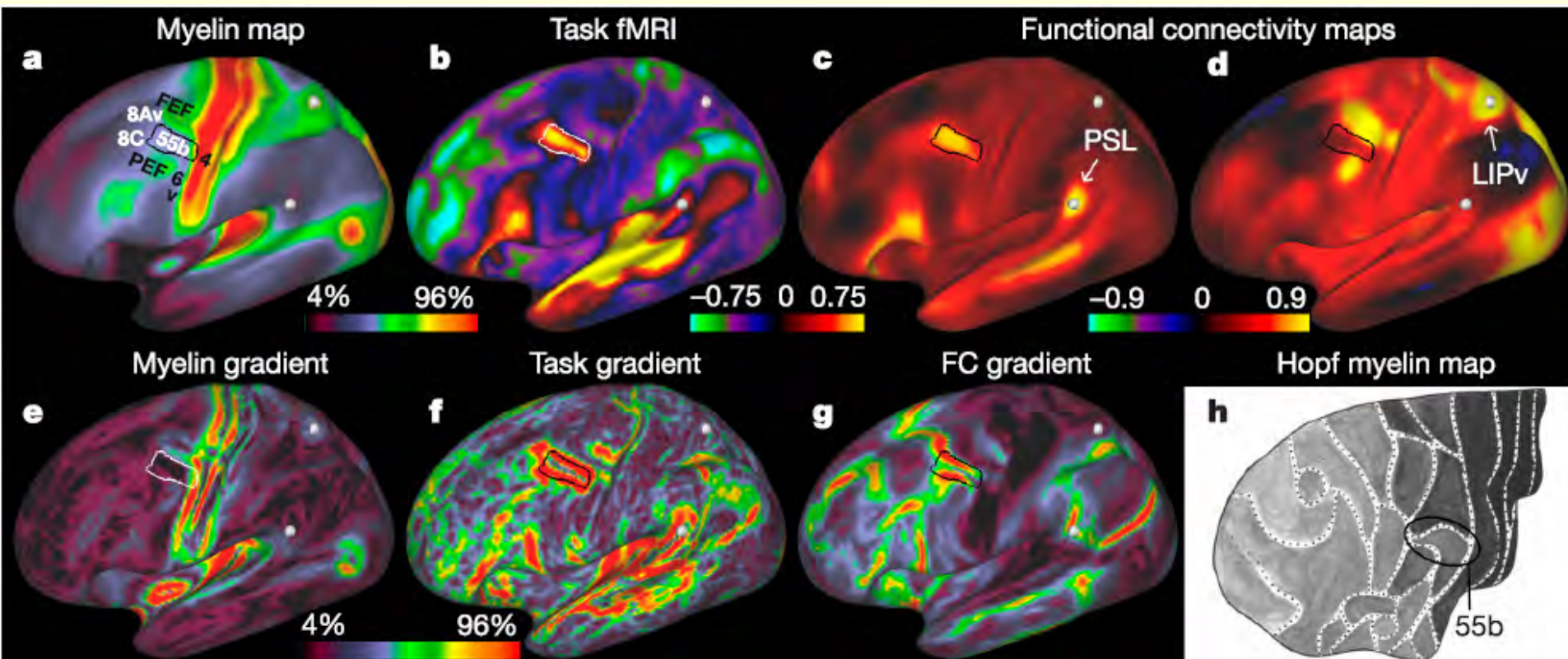


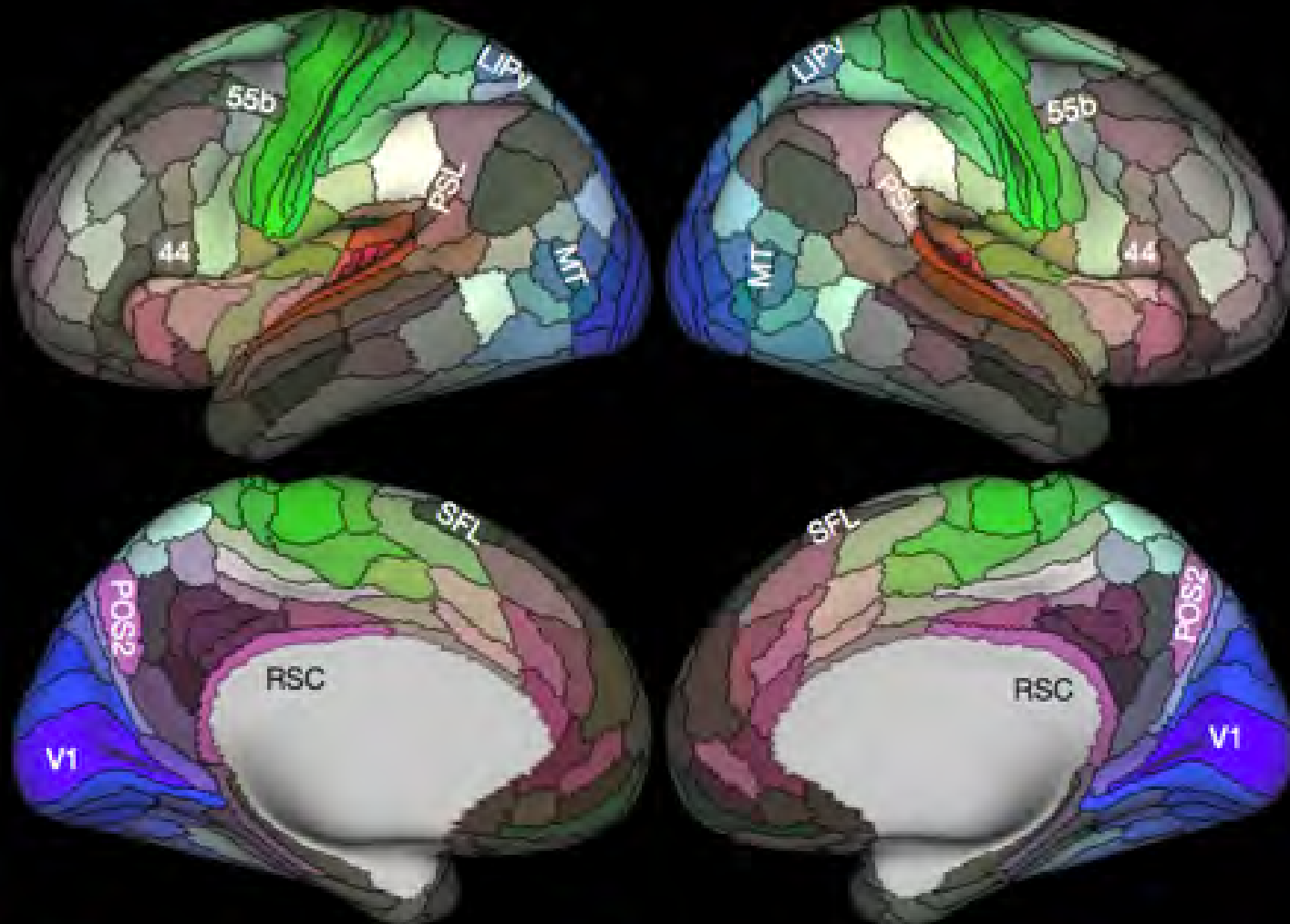
Figure 2 | Parcellation of exemplar area 55b using multi-modal information.

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 !

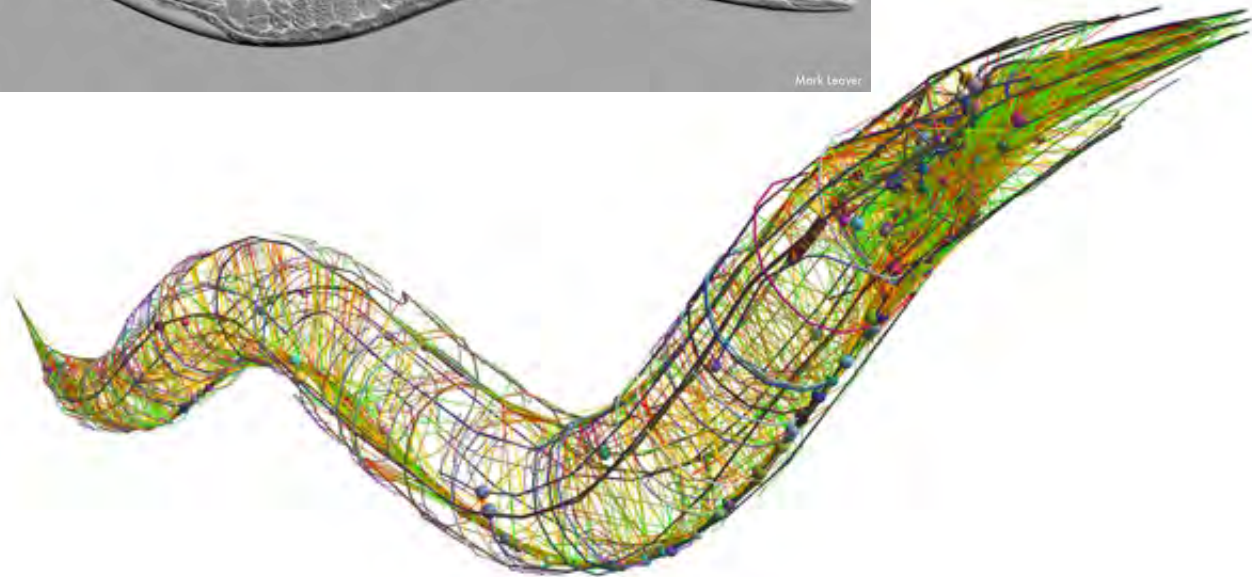
Petrides pense pour sa part qu'on peut établir une « vraie » carte cytoarchitectonique et que « **some patches have common properties** ».

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

Les **limites** du connectome :

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

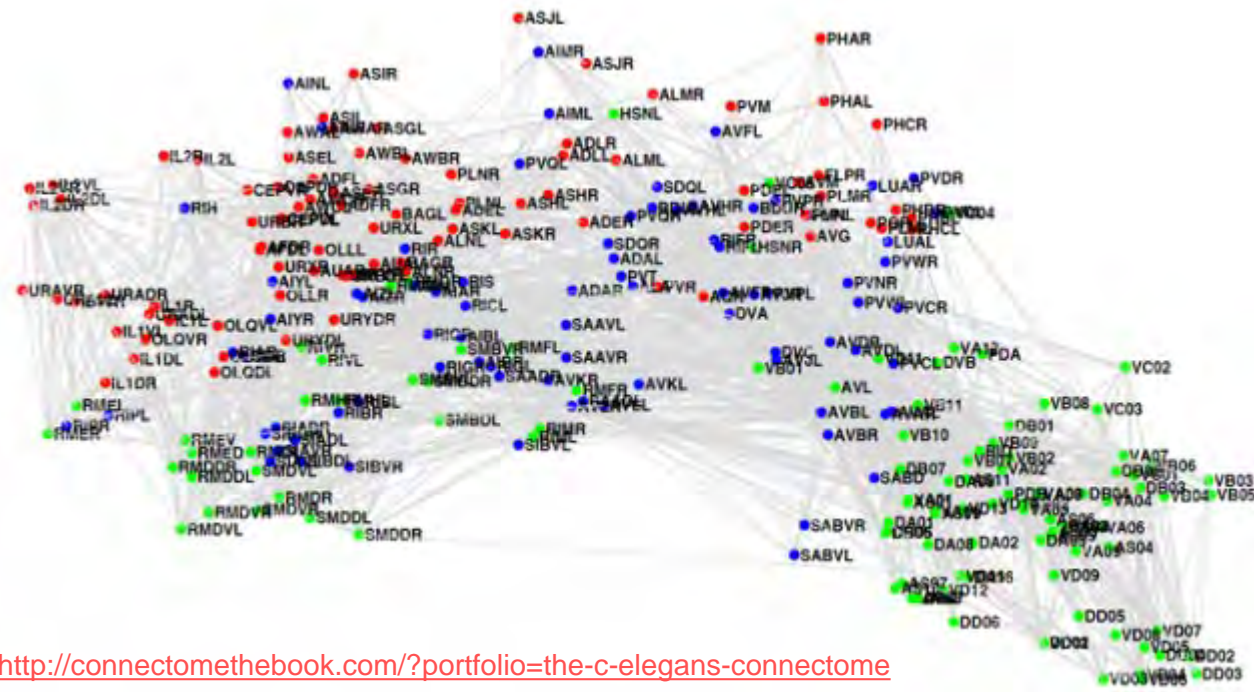
302 neurones et 7000 synapses



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

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

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



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

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

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

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

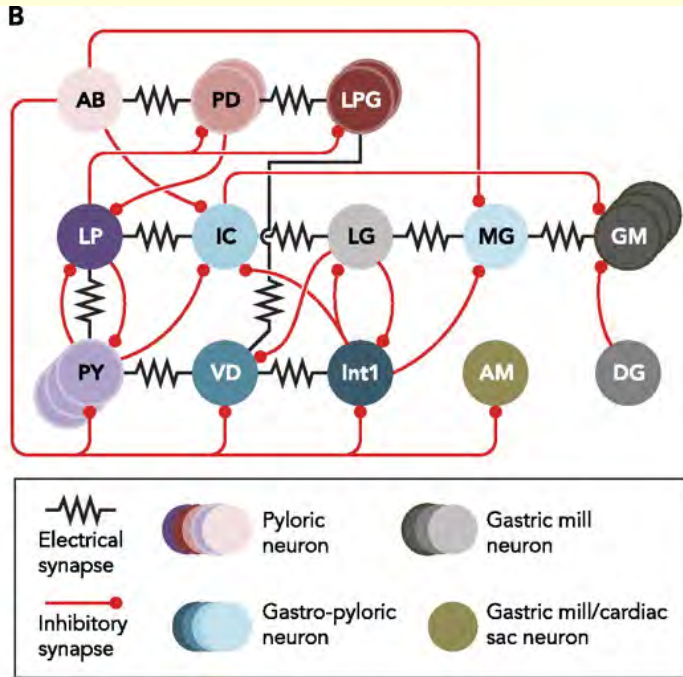
- Anthony Movshon of New York University

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

- Cornelia Bargmann of The Rockefeller University

Quelques points débattus :

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

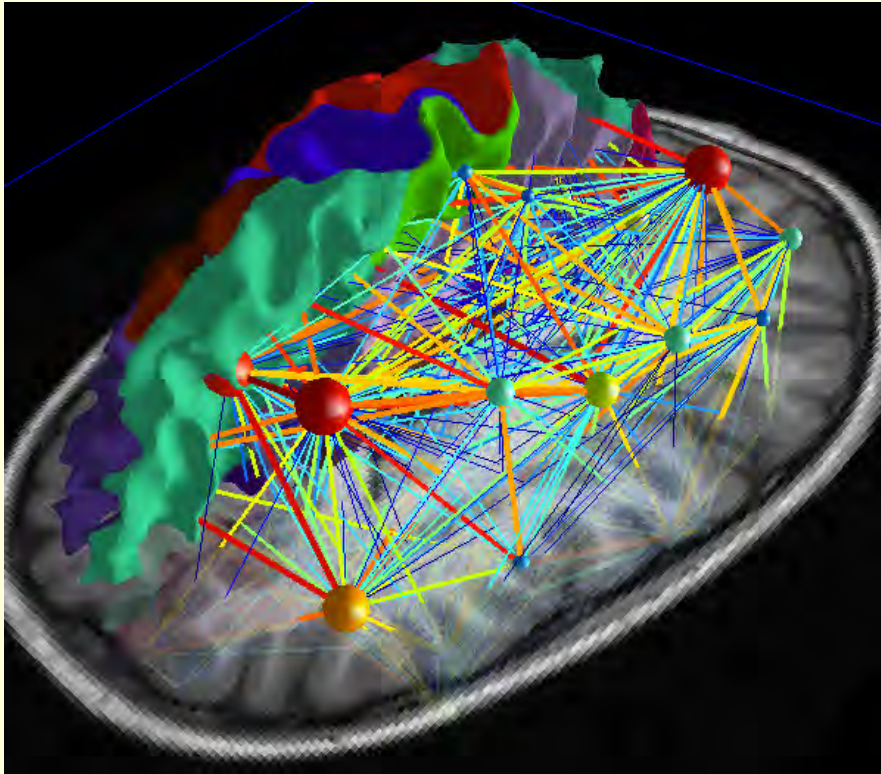


“What Eve Marder has shown, quite convincingly, is that **you can have the same structural circuit**—the same circuit of neurons connected by synaptic connections—and depending on what kind of neurotransmitters, what kind of neuromodulators are active at each given time in the circuit, **the circuit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

- Olaf Sporns



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

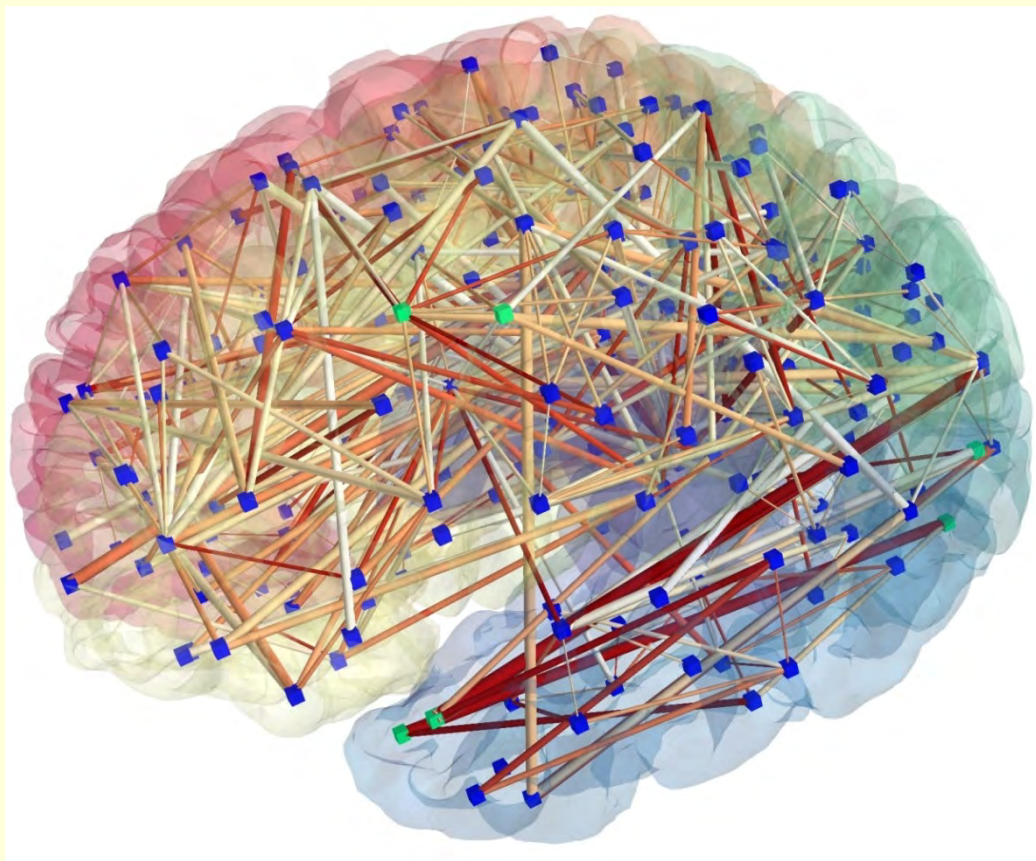


The message here is that **having the structural layout—the wiring diagram of the circuit—alone, may not be the whole story.”**

- Olaf Sporns

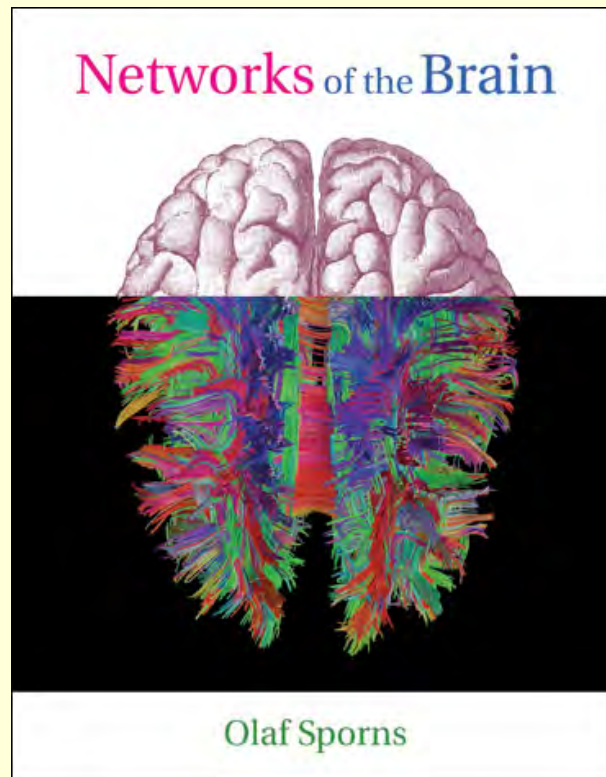
L'organisation générale de nos réseaux cérébraux

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



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

La théorie des réseaux



Publié en 2010

Modular and hierarchically modular organization of brain networks

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

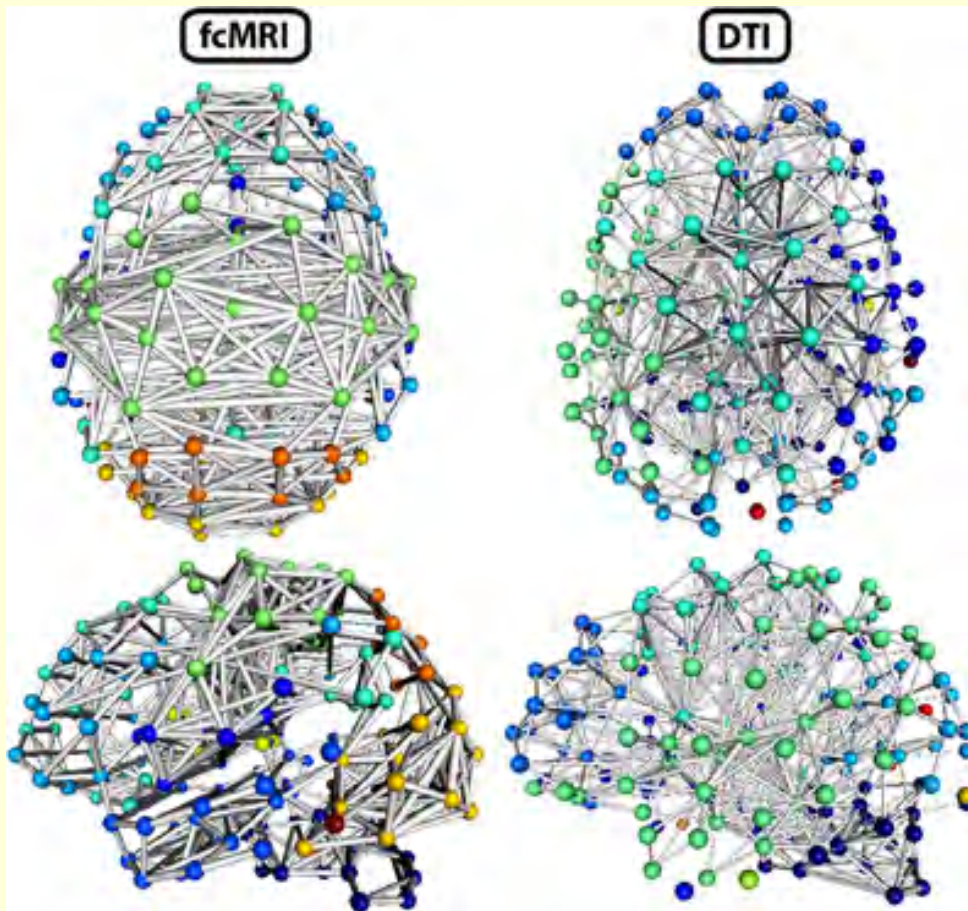
Workshop : **Dynamiques
invariantes d'échelle et
réseaux en neurosciences**

on April 8, **2013**

Where: Centre de recherches
mathématiques Université
de Montréal

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.

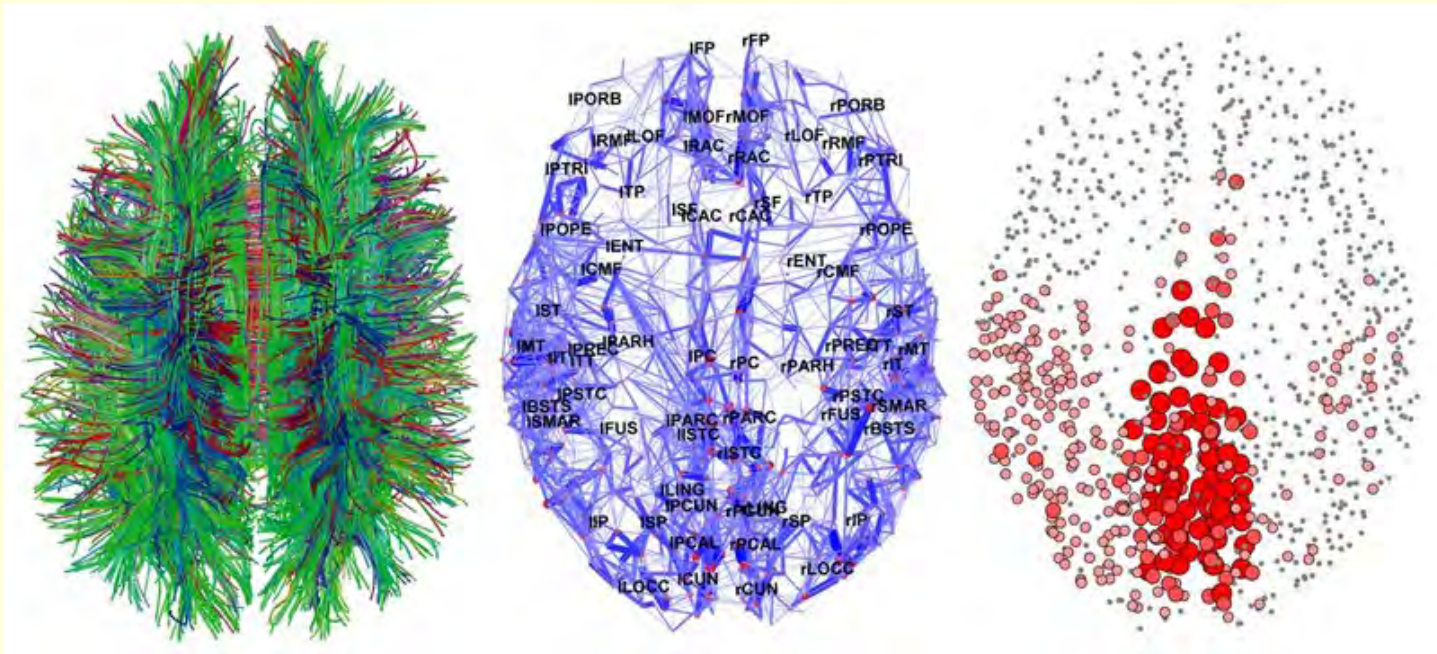
Front. Neuroinform., 28 November 2012

<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**,

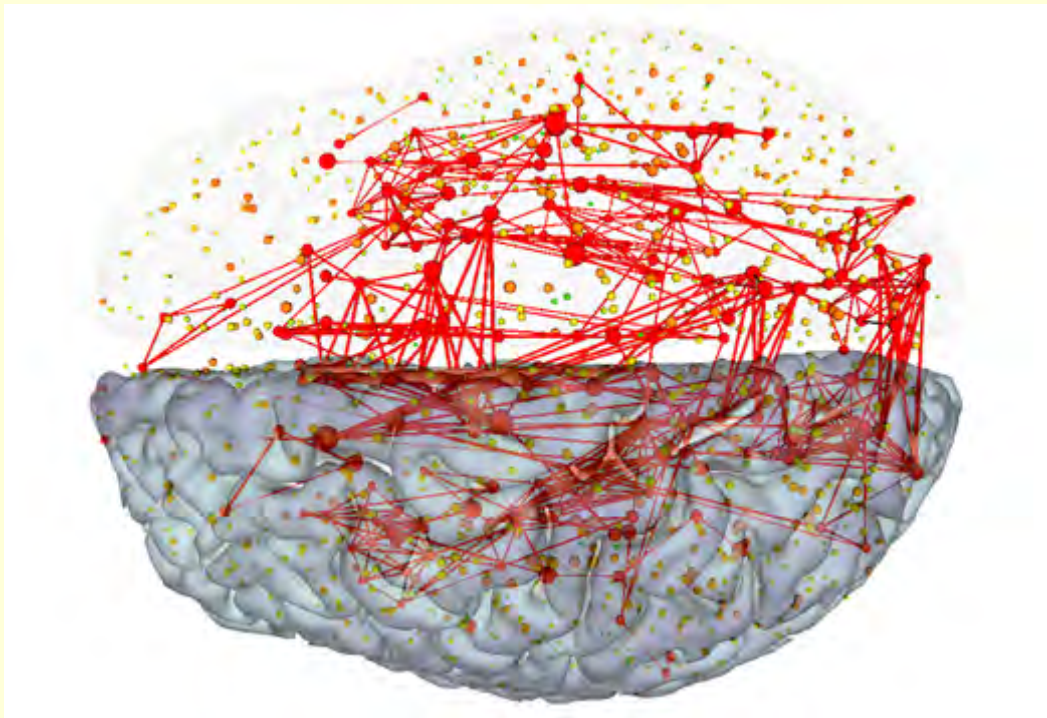
qui permettent de révéler l'**organisation modulaire** d'un tel système complexe.



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>

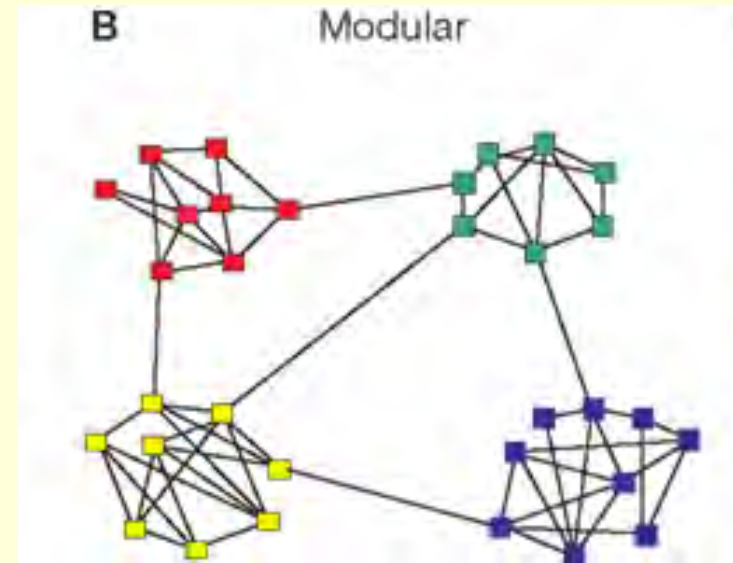


Mapping Brain Connectivity Using Graph Theory

Posted on **October 21, 2015** by Joel Frohlich

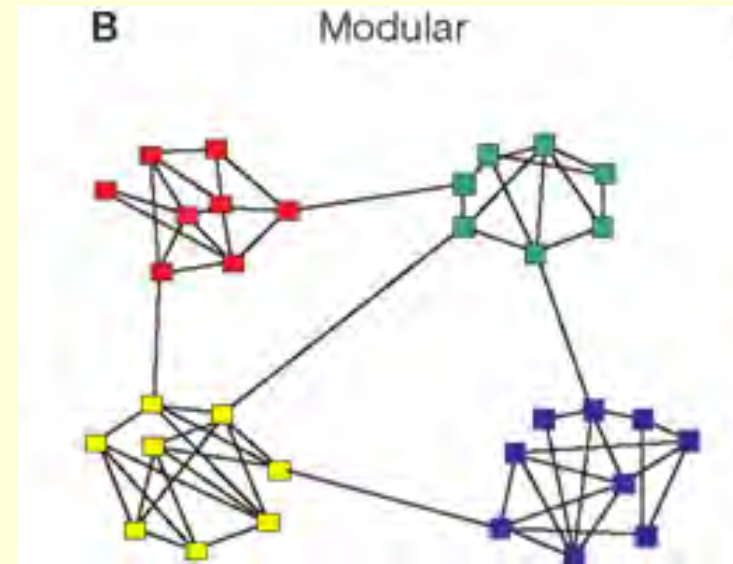
De tels outils mathématiques ont permis de mettre en évidence une organisation **modulaire** du cerveau d'un type particulier appelé "**small world**".

(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.



[de l'article de Shanahan...]

« A **small world network** retains a capacity for locally concentrated processing, but facilitates the rapid flow of information around the network as a whole.

A network is **modular** if it can be partitioned into subsets of nodes (modules) that are densely connected internally but only sparsely connected to other subsets.

Modules are suggestive of functional specialization. »

“It is certainly true that our brain is organized into **"modules"** consisting of regions of **dense local interconnections**, with **sparser connections to other more distant regions**.

This organization--called a **"small world" architecture**--allows for fast communication across the whole brain without the need for wires connecting everything to everywhere, which would take up too much room.

But it is not the case that these network modules are functionally specialized. In fact, as noted in my previous posts, they are put to many different uses under different circumstances.

[...] The irony is that Mr. Fox makes a very deep fact about the brain quite clear: intelligence is less about local processing than about ***cooperative connectivity***.

Function is about establishing and coordinating neural **partnerships** across the brain. ”

Is Our Brain as Good as It Gets?

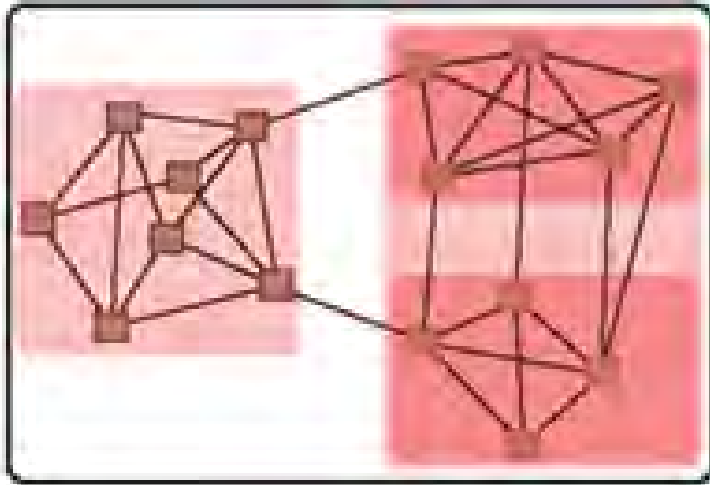
Michael L. Anderson, Jul 07, **2011**

<https://www.psychologytoday.com/blog/after-phrenology/201107/is-our-brain-good-it-gets>

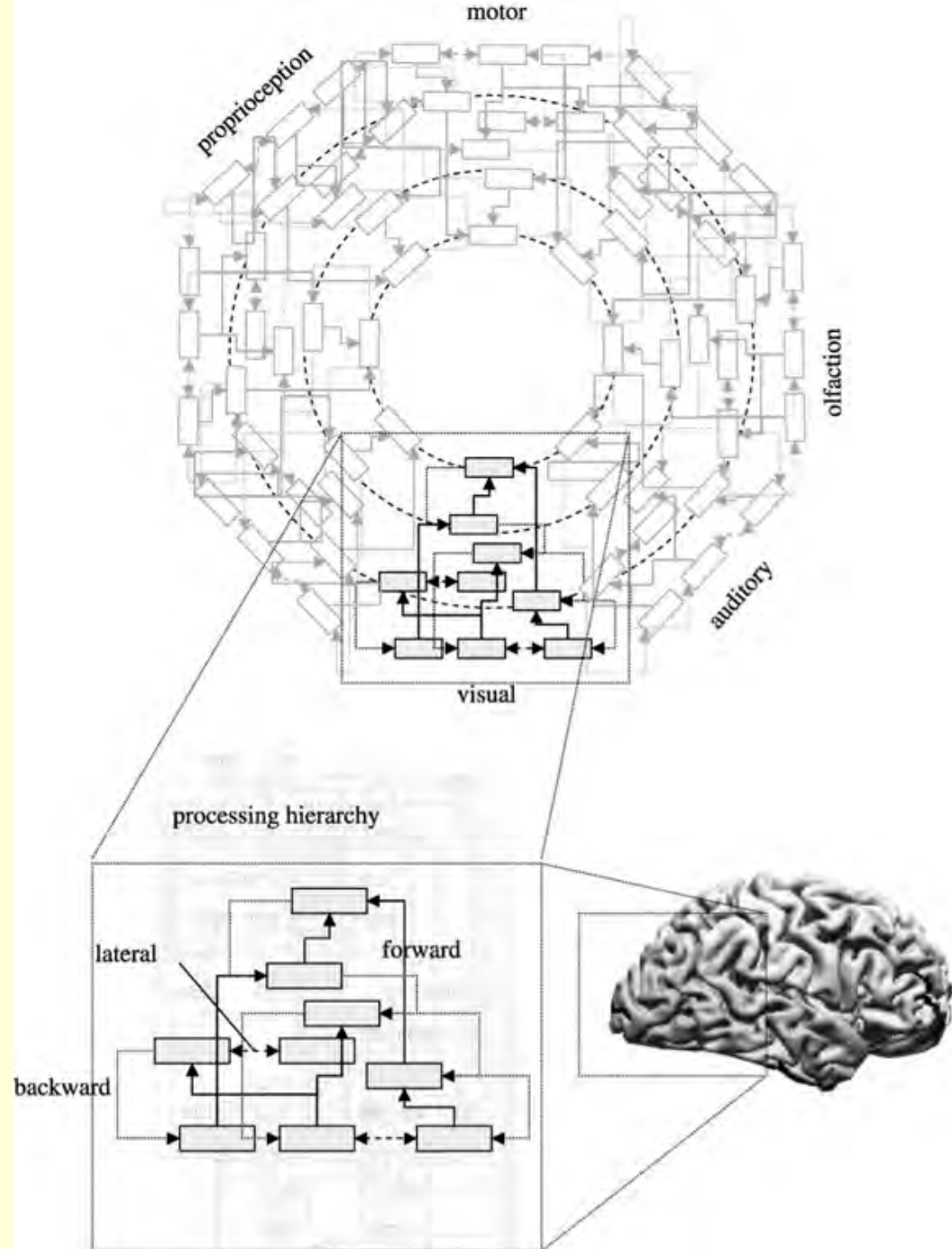
[nous y reviendrons à la séance 9...]

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** :

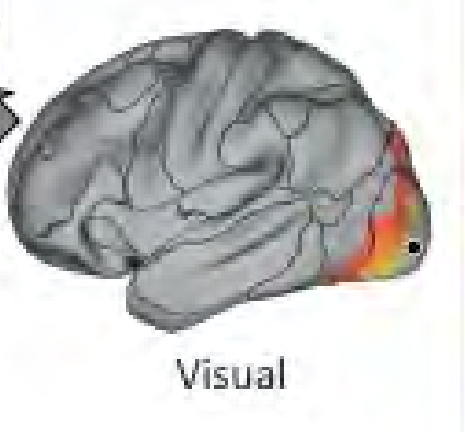
Les réseaux peuvent être identifiés à l'échelle de **vastes assemblées distribuées** (environ 10) qui correspondent à des systèmes fonctionnels.

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.

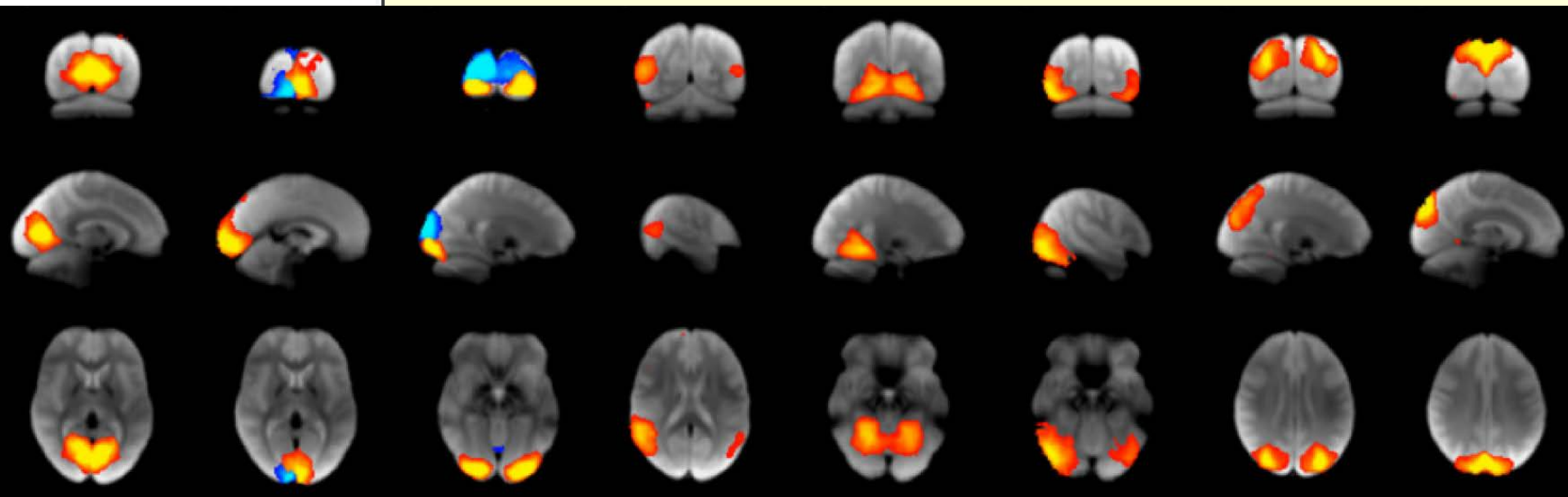
(Tirée de Pierre Bellec

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_wv2lF4DtIlo-0Avlsu1E_A&sig2=ty0vWUO22VVjepAAr_hCbw&cad=rja)



Organisation multi-échelle :

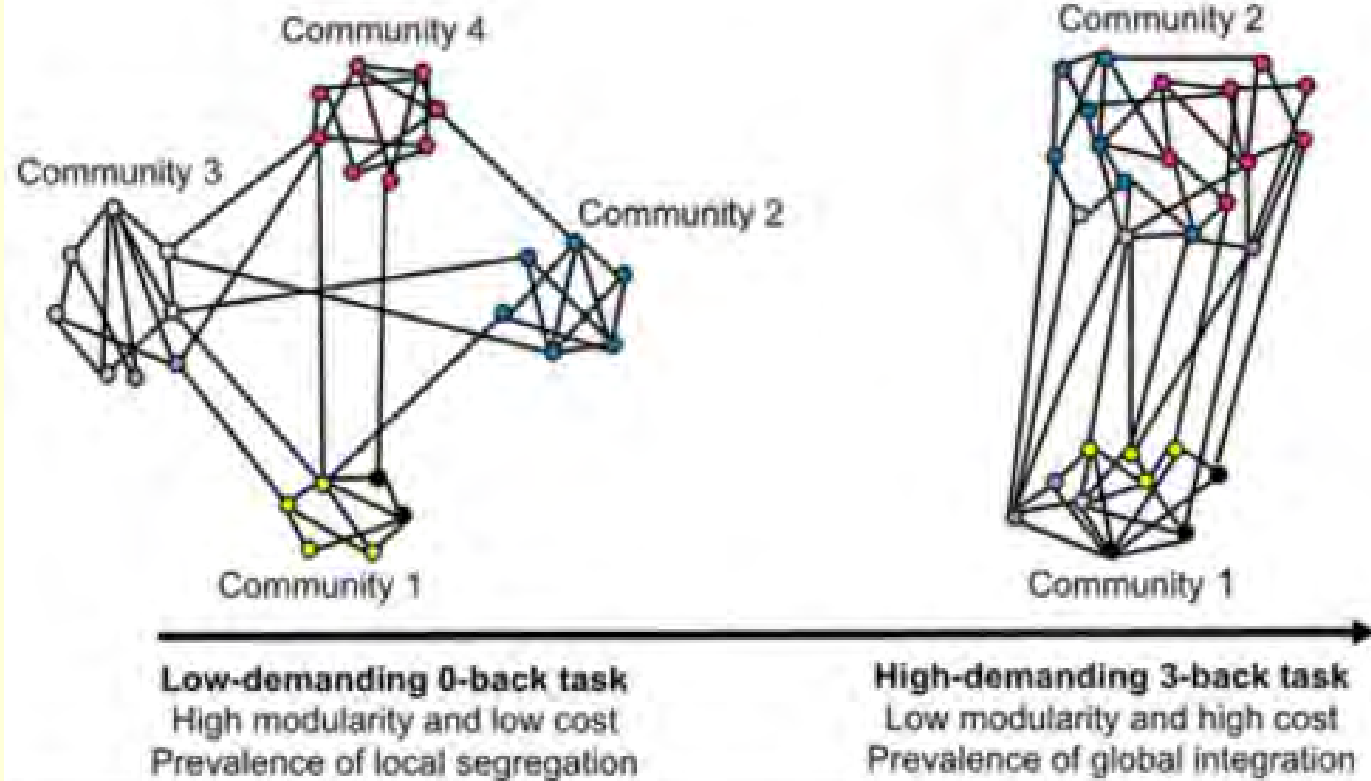
Subdivision du **systeme visuel** en 8 sous-systèmes



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

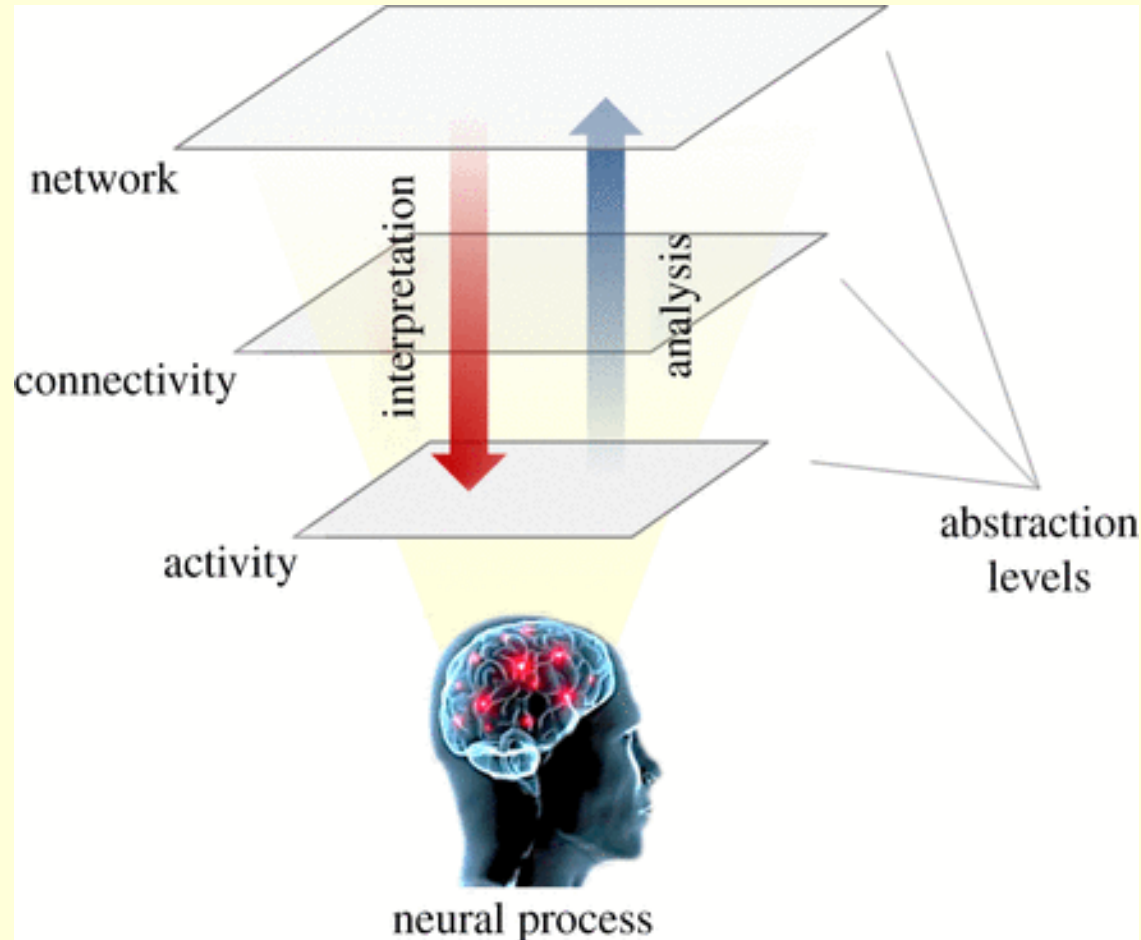
Fabrizio De Vico Fallani, Jonas Richiardi, Mario Chavez, Sophie Achard

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.

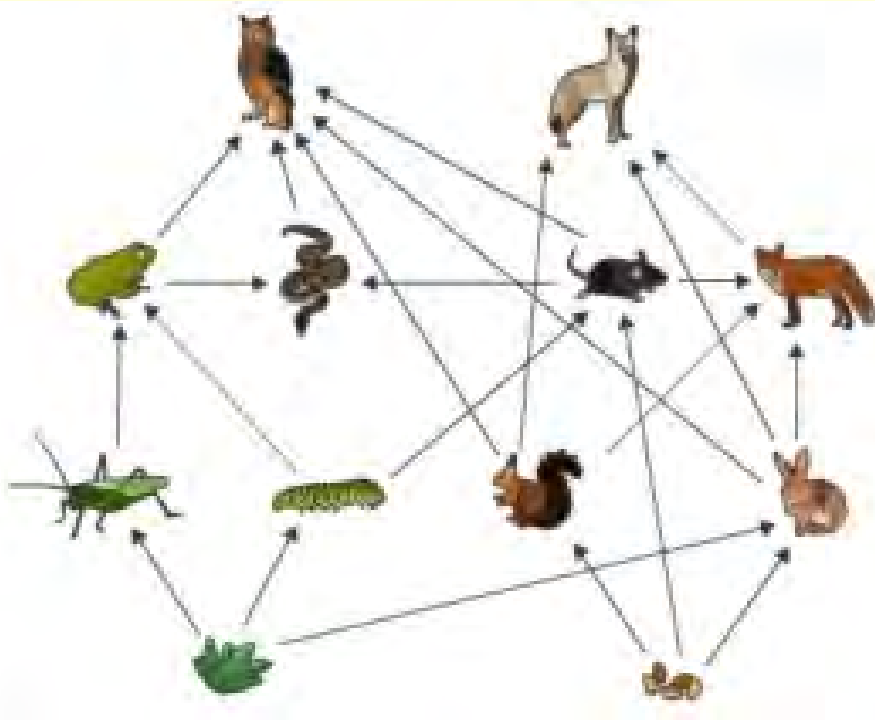


En guise de conclusion,
et pour introduire l'article de Shanahan :

la notion de « **hub** »...

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

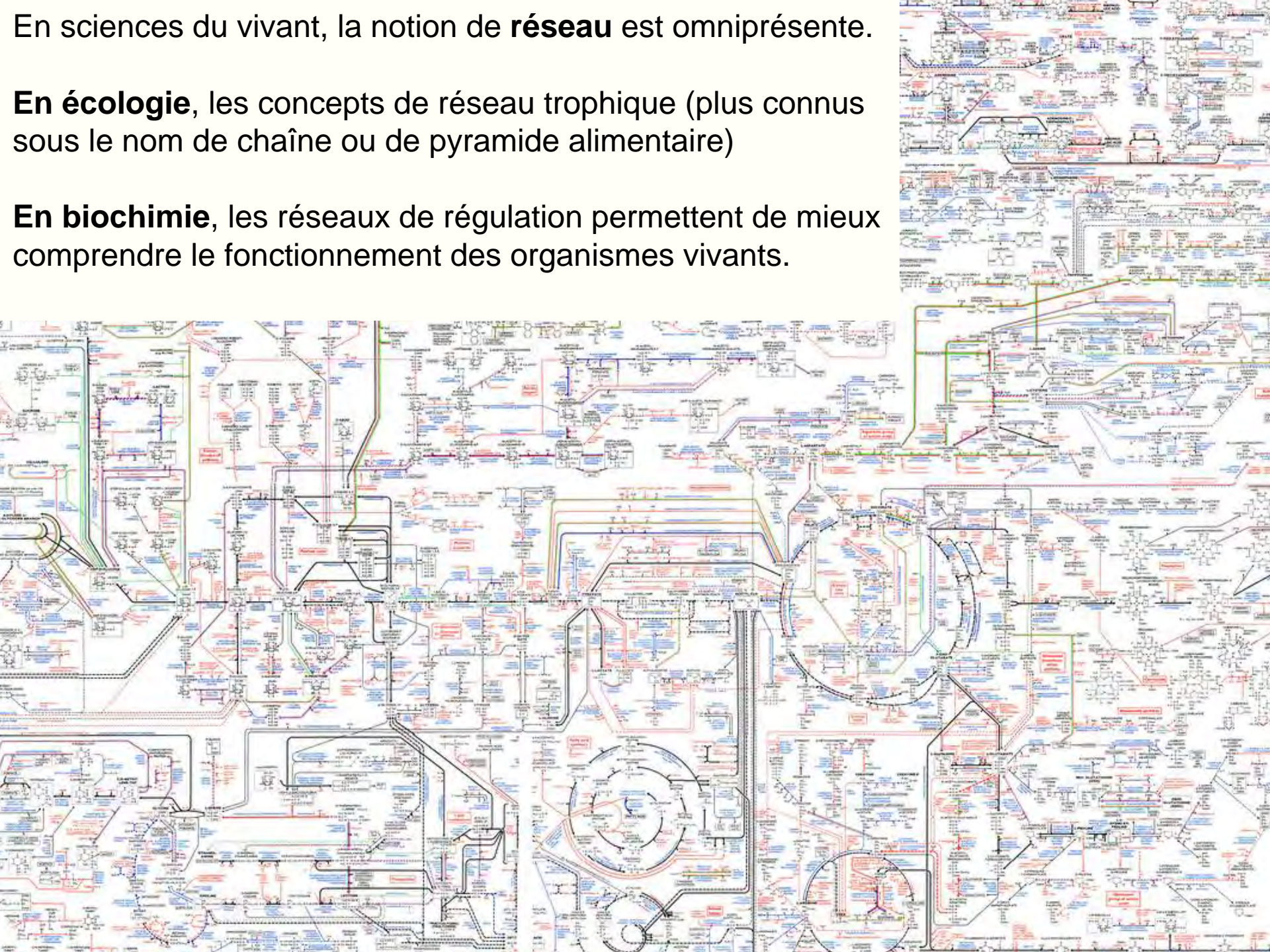
En écologie, les concepts de réseau trophique (plus connus sous le nom de chaîne ou de pyramide alimentaire)



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)

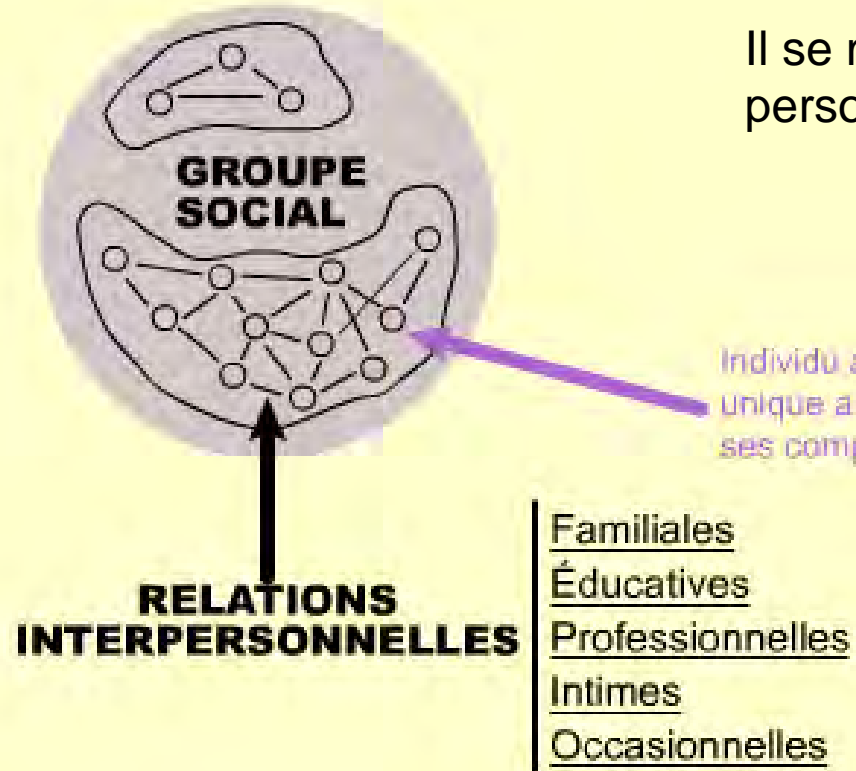
En biochimie, les réseaux de régulation permettent de mieux comprendre le fonctionnement des organismes vivants.



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



École d'été de sciences cognitives **2014**
LA SCIENCE DU WEB ET L'ESPRIT
Du 7 au 18 juillet 2014

► 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

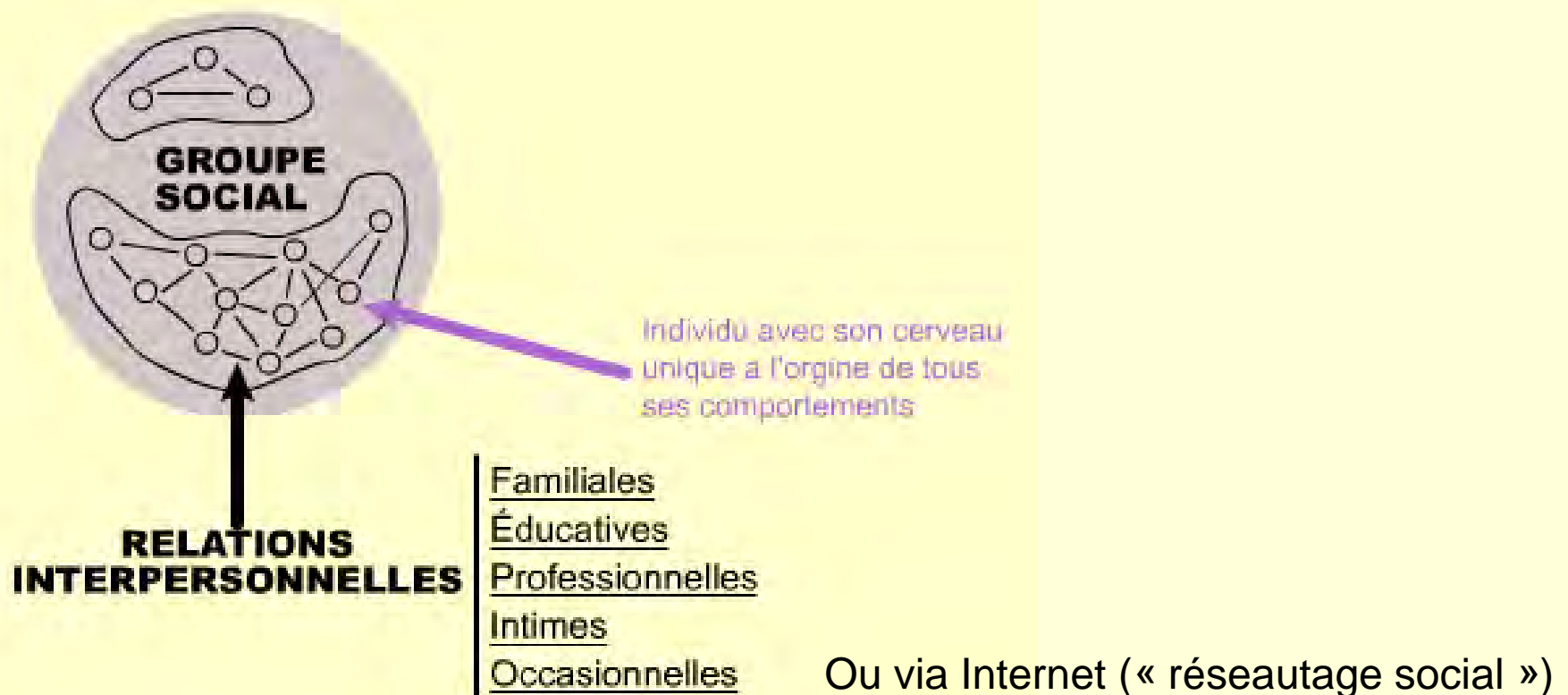
Thème de l'École d'été : La science du web et l'esprit. Cette école d'été offre un survol complet sur les sujets à l'intersections de la science du web et des sciences cognitives, de l'analyse de réseaux sociaux à la cognition distribuée, en passant par le web sémantique.

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* [...].

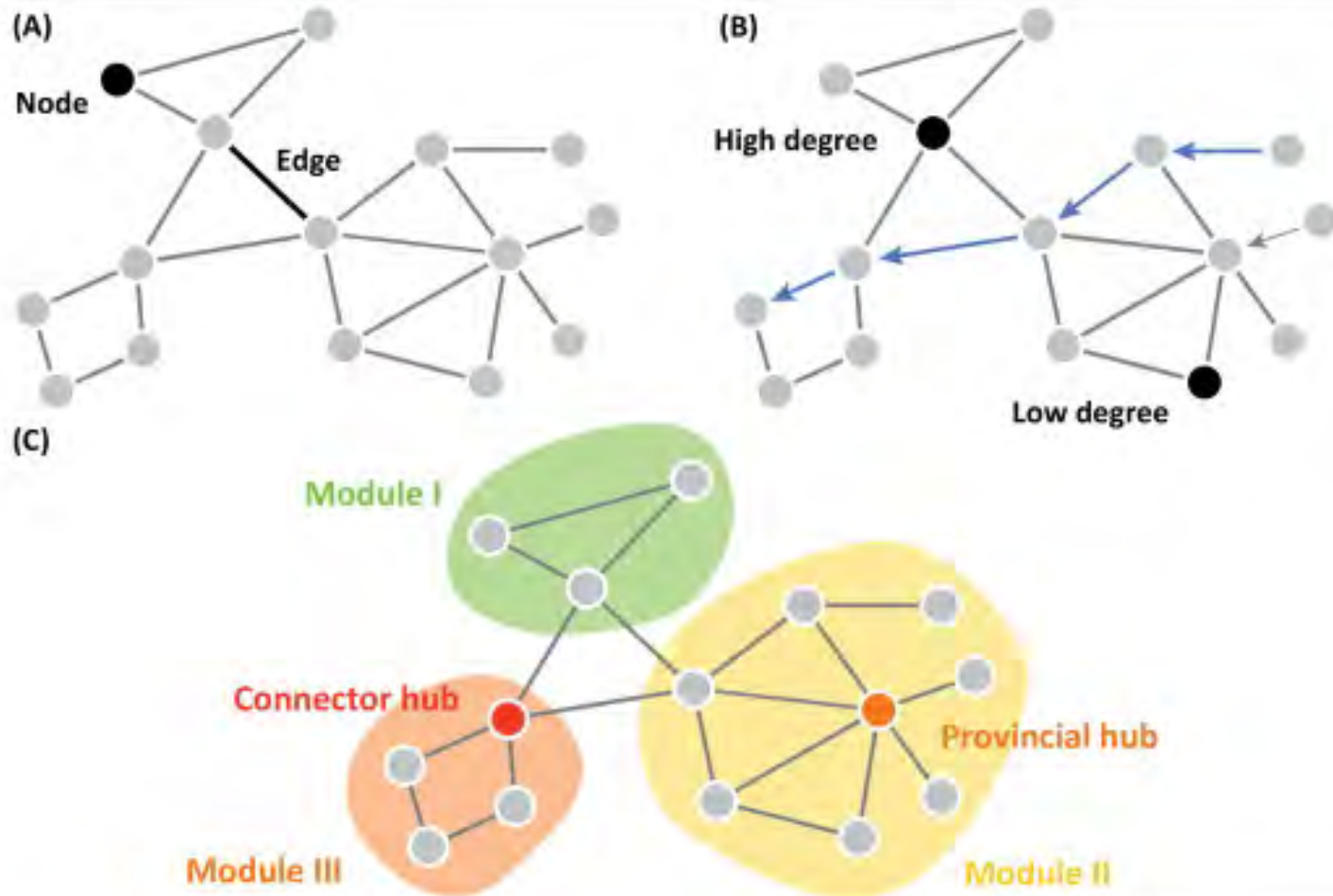
A hub node is one that has an unusually large number of connections, or one that lies on an unusually large number of short paths.

[...] 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

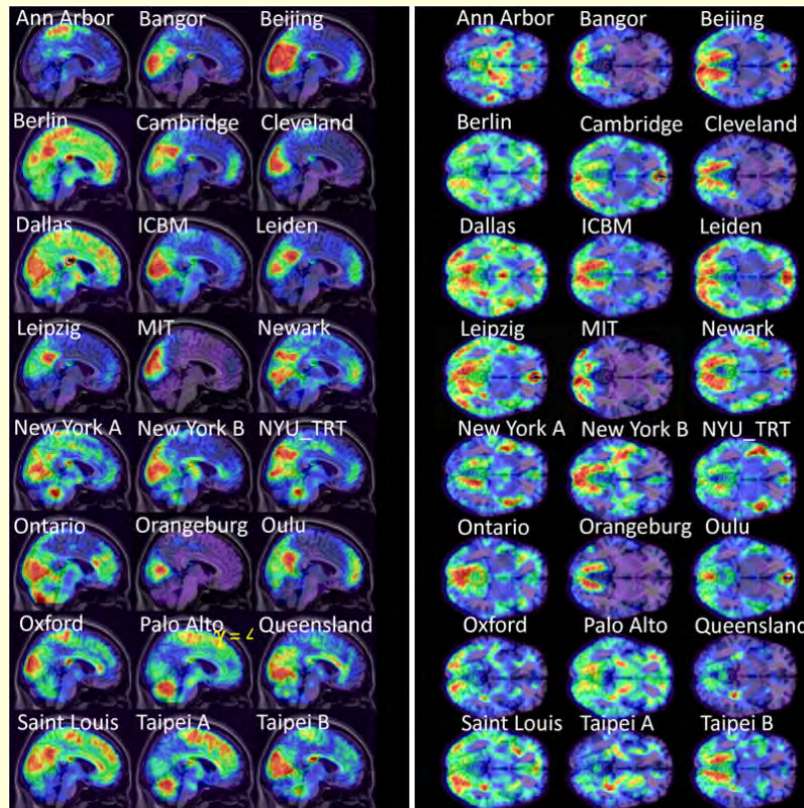
<http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/fulltext/S1364-6613%2813%2900216-7>



Functional connectivity hubs in the human brain.

Tomasi D, Volkow ND. Neuroimage.

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

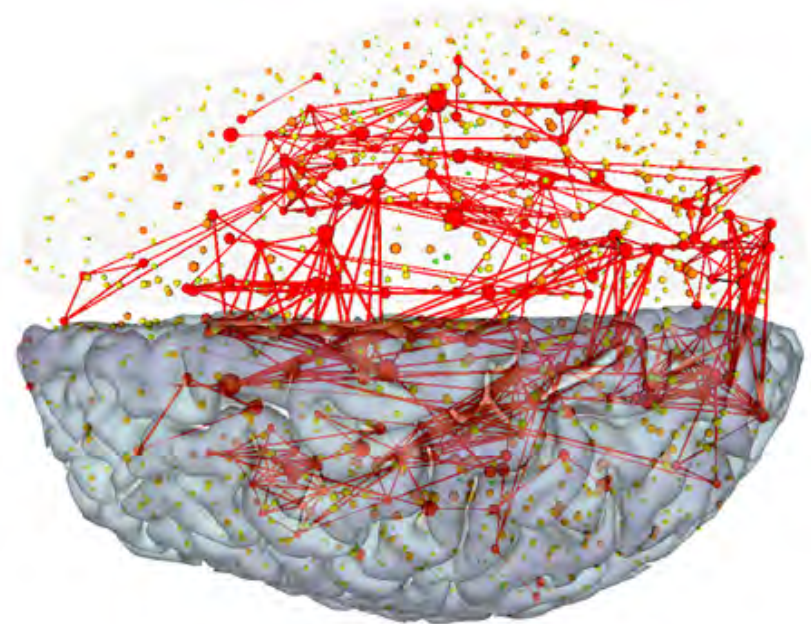


Montre une
“**over-representation**
of hub nodes”

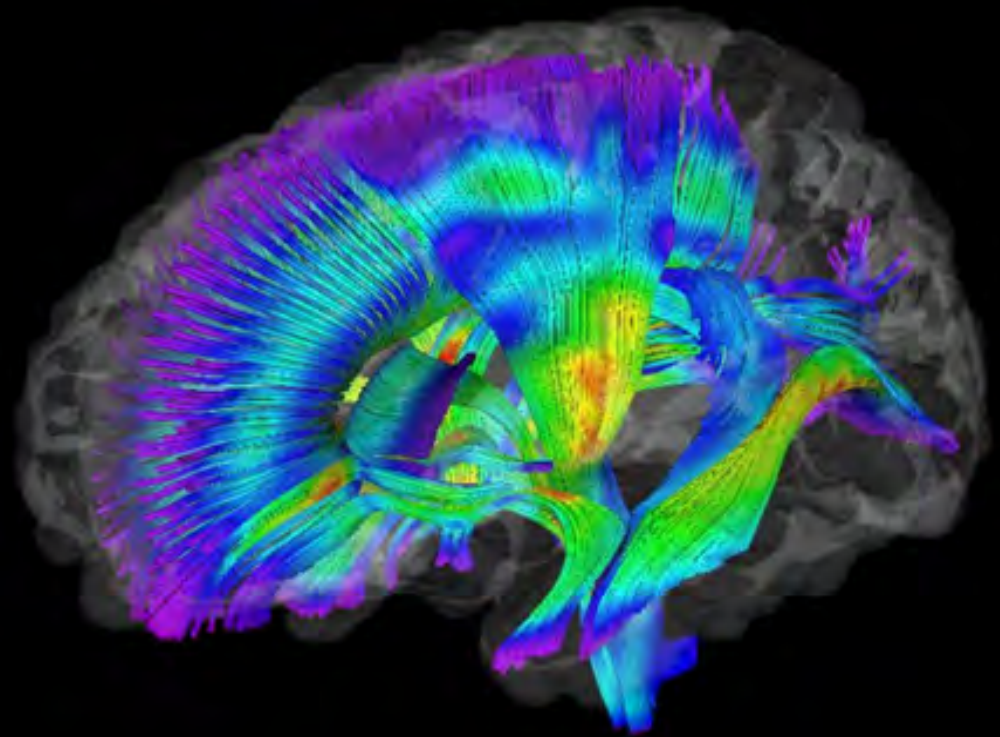
(une propriété des
architectures “small-world”)

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...

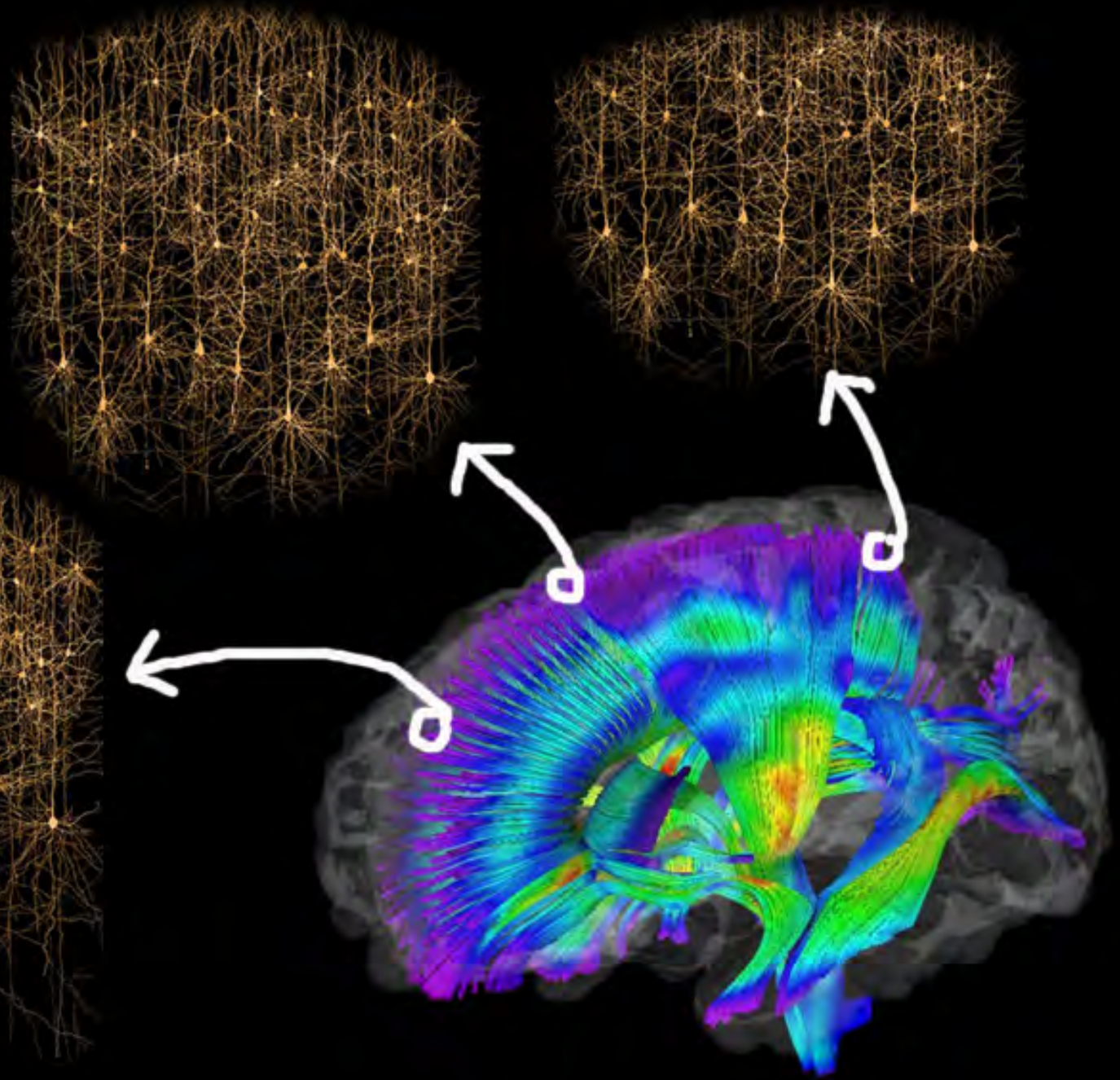


« Grandes
autoroutes...



« Grandes
autoroutes...

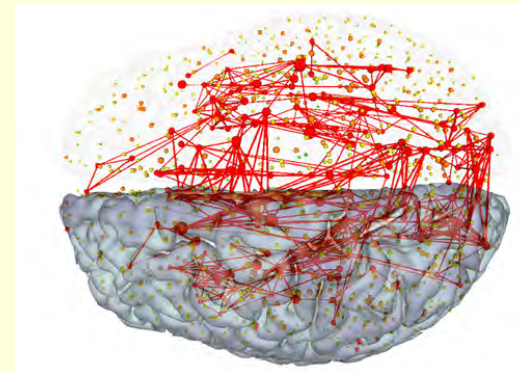
...et petites
rues locales.



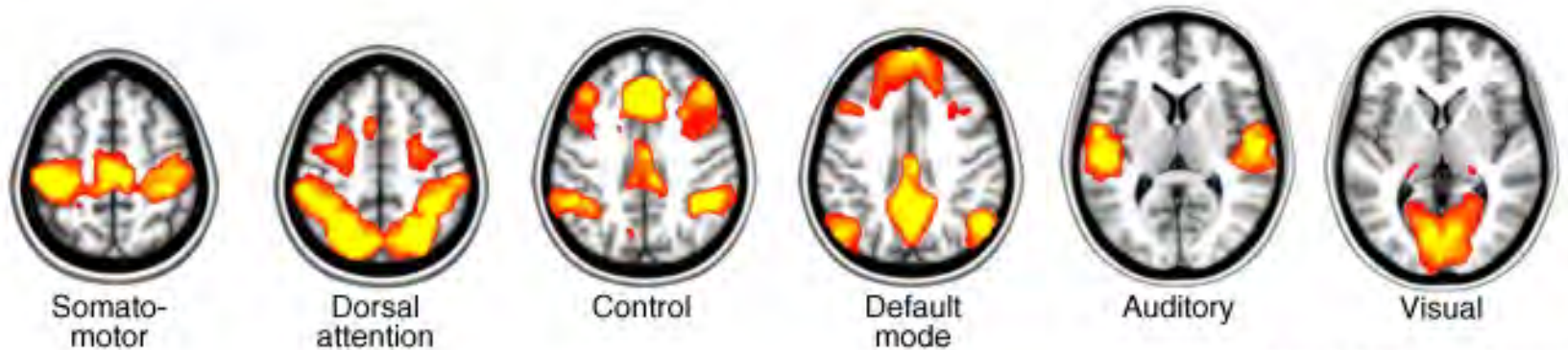
PNAS

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.

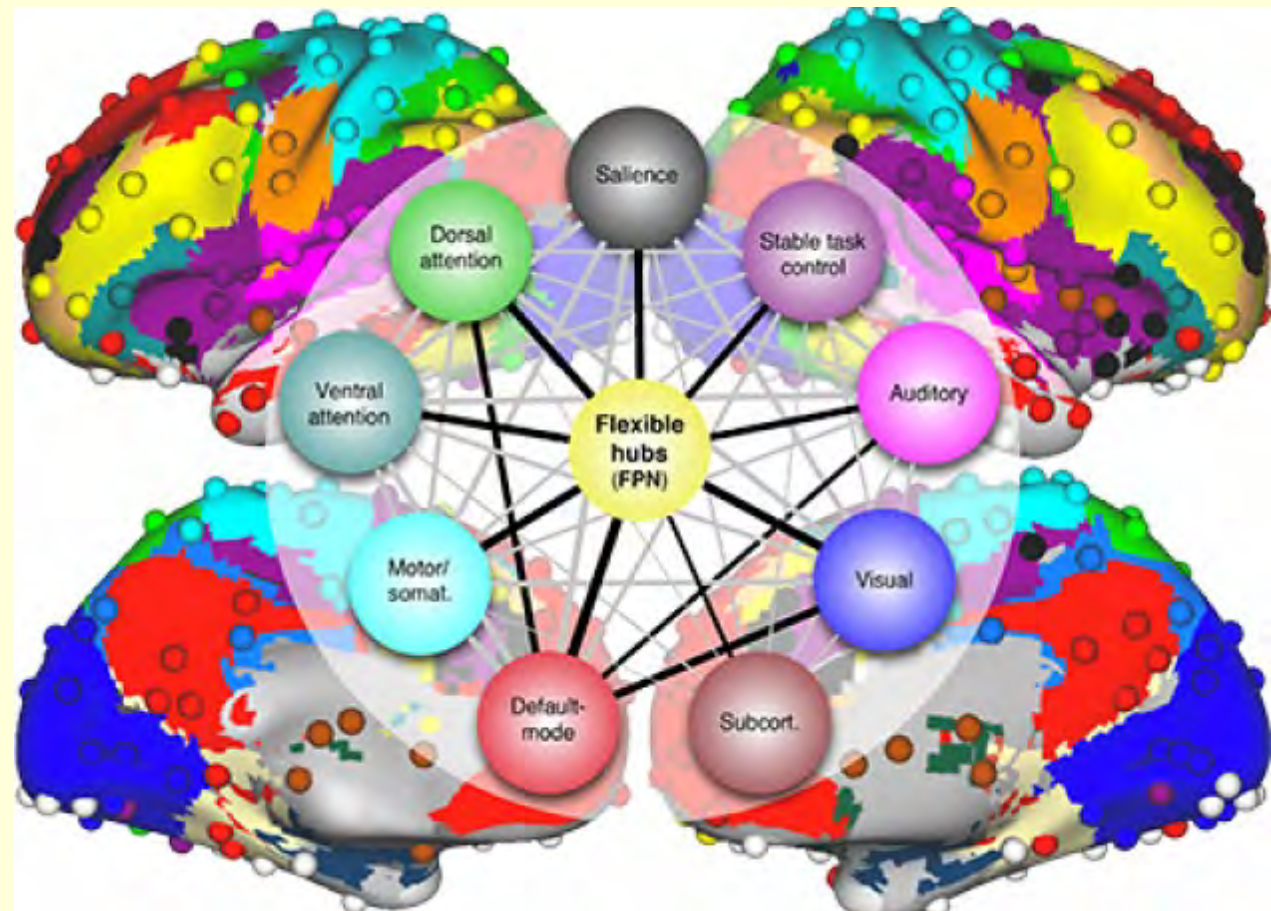
Il semble y avoir dans le cerveau **une fédération de grands "hubs"** (connecteurs) organisés hiérarchiquement dont l'influence s'étend à travers les frontières des systèmes.

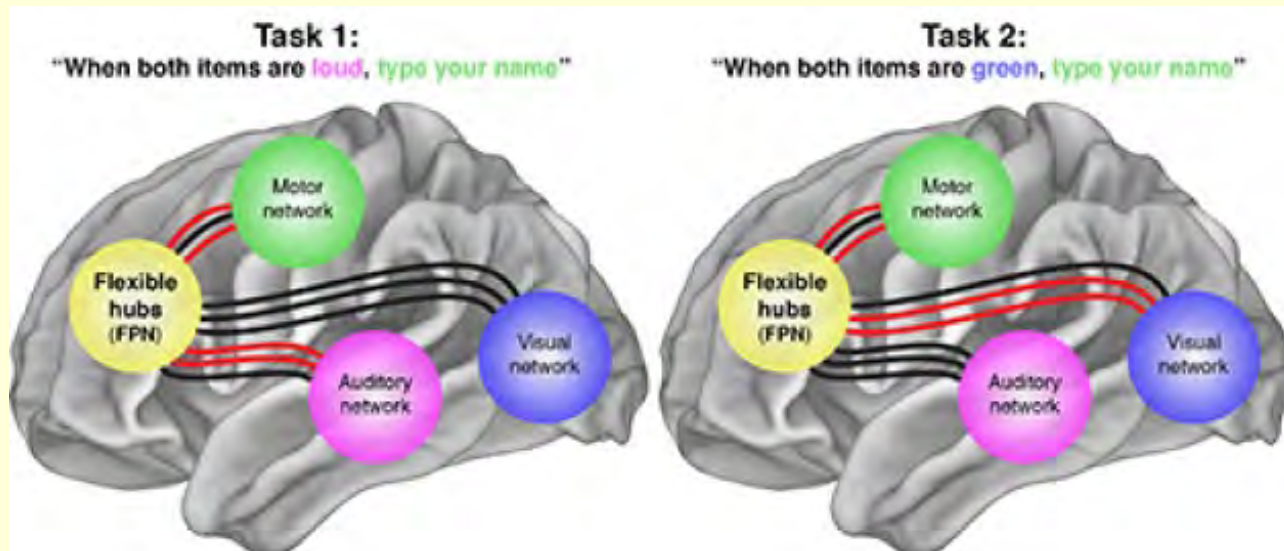
Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control

•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.

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





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

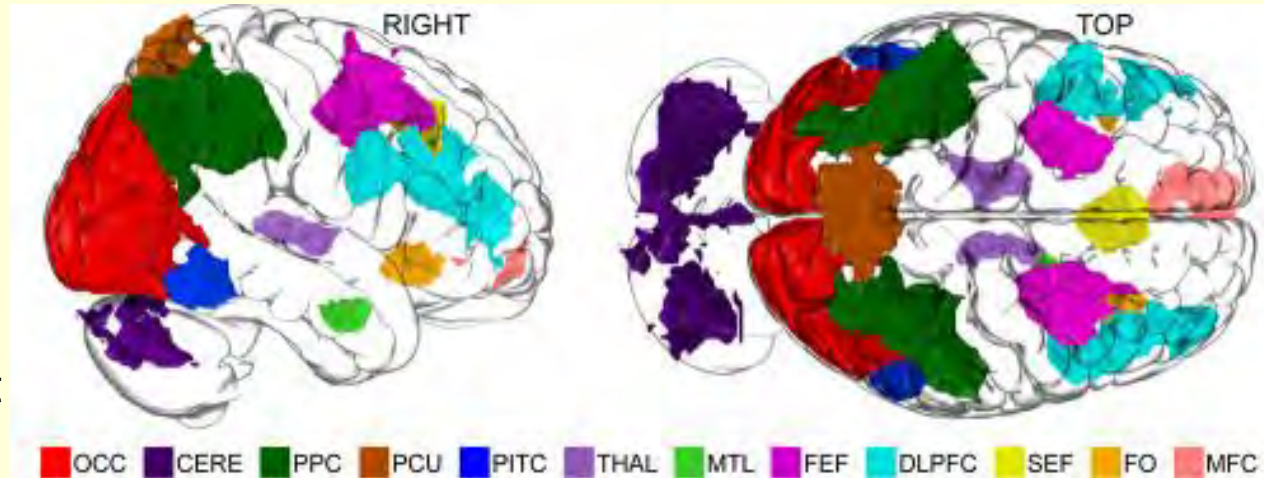
“Like an Internet router, flexible hubs shift which networks they communicate with based on instructions for the task at hand and can do so even for tasks never performed before”

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.”*

[article de Shanahan !?]