

Une Introduction aux Neurosciences Cognitives Sociales

Cours 1

Dr. Guillaume Herbet

guillaume.herbet@univmontpellier.fr



Association
pour la Recherche
sur le Cancer

Introduction

⇒ **Qu'est ce que sont les neurosciences sociales ?**

- (i) C'est une discipline interdisciplinaire qui s'intéresse aux **questions et aux théories issues de la psychologie sociale** en utilisant les moyens modernes des neurosciences cognitives comme l'imagerie fonctionnelle, la méthode lésionnelle (neuropsychologie) et les méthodes neurocomputationnelles (modélisation neurale des processus cognitifs).

- (ii) Les thèmes de recherche sont vastes :
 - La psychologie sociale (ex: la théorie de l'attribution) ;
 - Les comportements économiques en situation d'intersubjectivité ;
 - Les sciences politiques ;
 - La moralité ;
 - Les interactions émotions/cognition dans la prise de décision morale et économique
 - La conscience de soi et des autres
 - La mentalisation
 - La reconnaissance de soi

Introduction

⇒ **Un champs d'étude en pleine expansion**

- (i) En 2001, seulement 53 items étaient retrouvés dans les bases de données en proposant comme requête « social cognitive neuroscience » alors qu'aujourd'hui, on a dépassé les 60 000.
- (ii) Deux journaux internationaux sont spécifiquement dédiés aux recherches en neurosciences sociales :
 - *Social Cognitive and Affective Neuroscience* (Oxford Publication)
 - *Social Neuroscience* (Taylor and Francis Publication)
- (iii) Des recherches en Neurosciences Sociales sont régulièrement publiées dans les revues généralistes de très haut-niveau comme *Nature* ou *Science*.

Introduction

Nombre d'articles scientifiques faisant référence à la théorie de l'esprit

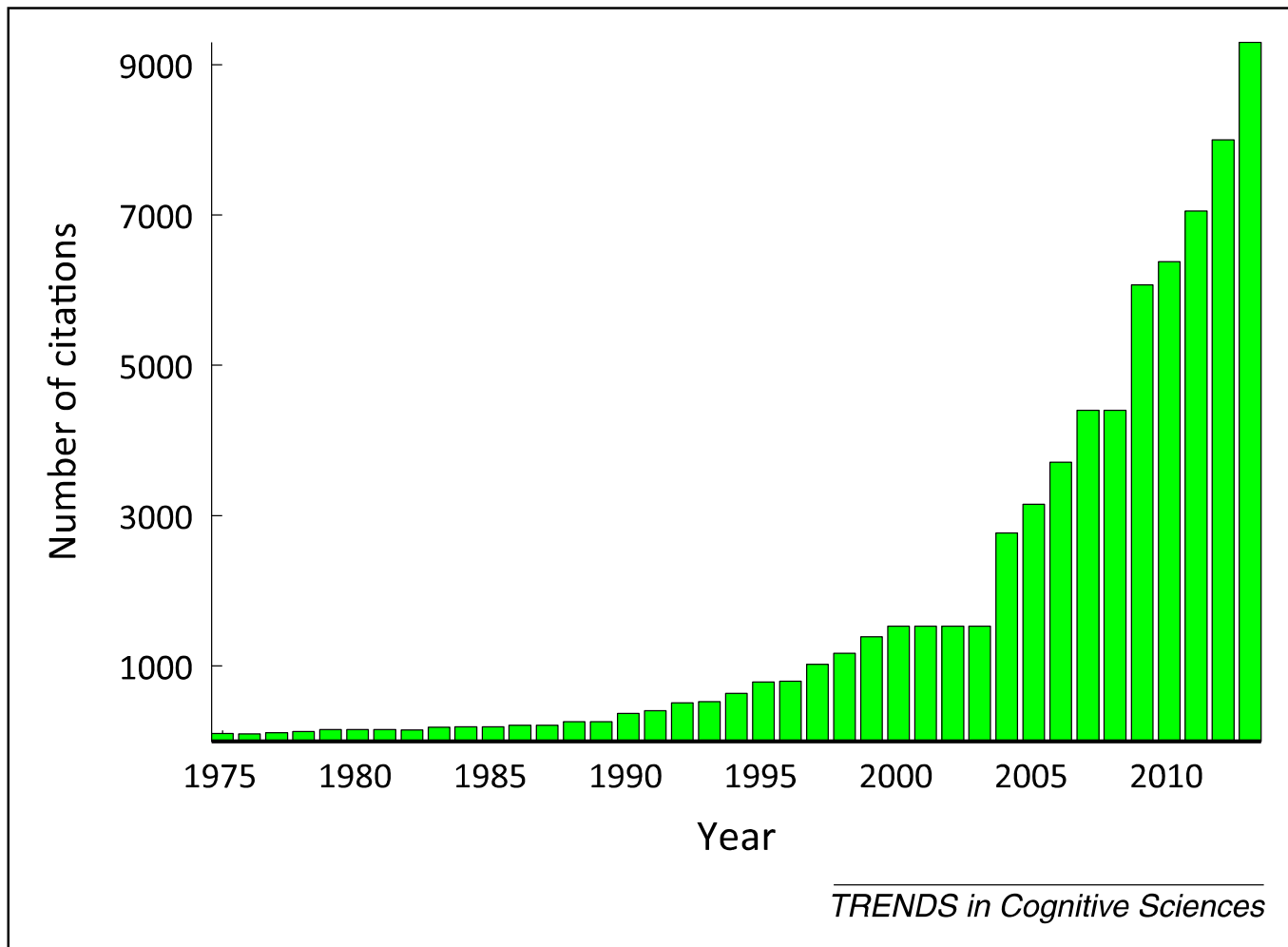


Figure 1. Articles referencing theory of mind have increased markedly in recent years. Estimates are based on a per annum Google Scholar search (<http://scholar.google.com>) for articles that use the exact phrase 'theory of mind'.

Exemple d'études de 'Neuro-politique'

J.T. Kaplan et al. / Neuropsychologia 45 (2007) 55–64

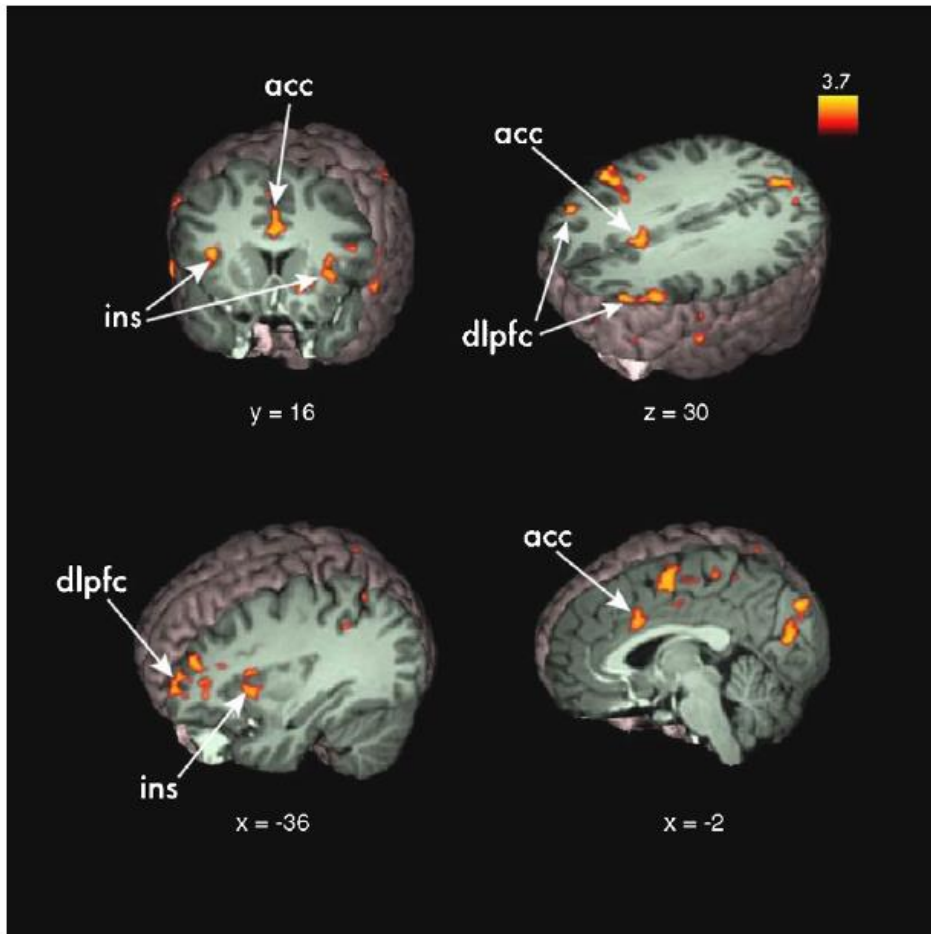


Table 1
Self-report data

	Democrats	Republicans	<i>t</i> -test (<i>p</i>)
Positive feelings about Bush	.67	4.87	<.0005
Negative feelings about Bush	7.20	.37	<.00001
Positive feelings about Kerry	4.85	.31	<.00001
Negative feelings about Kerry	1.48	3.78	<.06

Les sujets évaluent sur une échelle de 1 à 10 ce qu'ils ressentent pour les candidats à la présidentielle des Etats-Unis.

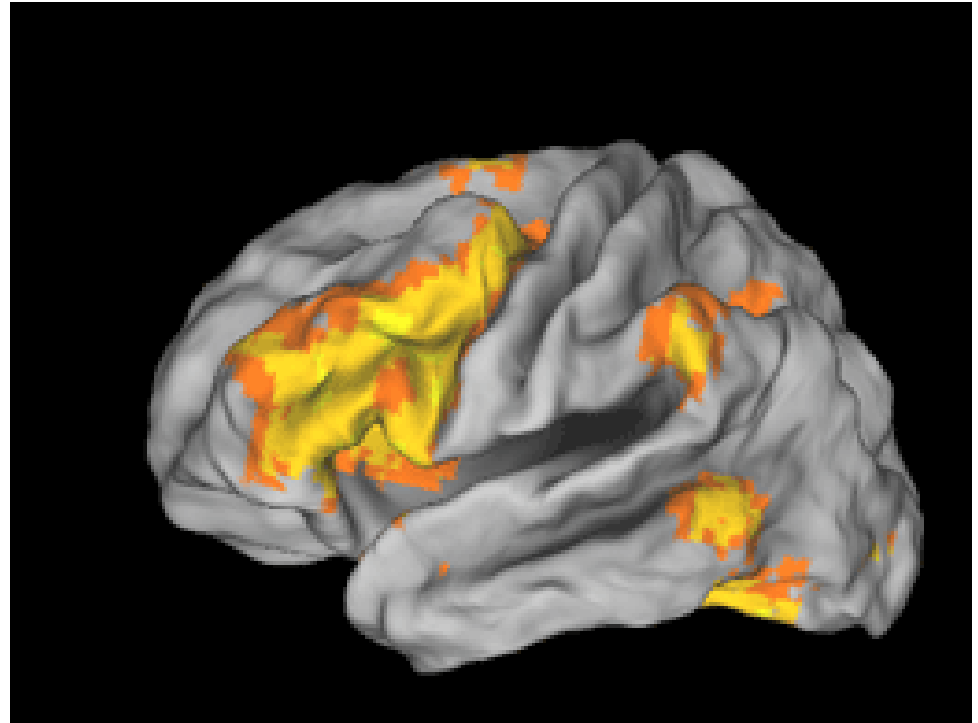
Zones cérébrales plus activées quand nous voyons le visage d'un candidat d'un partie politique opposé au notre comparé à celui du candidat de notre propre partie politique

Quelques techniques en neurosciences cognitives

L'imagerie fonctionnelle d'activation



Exemple d'un scanner

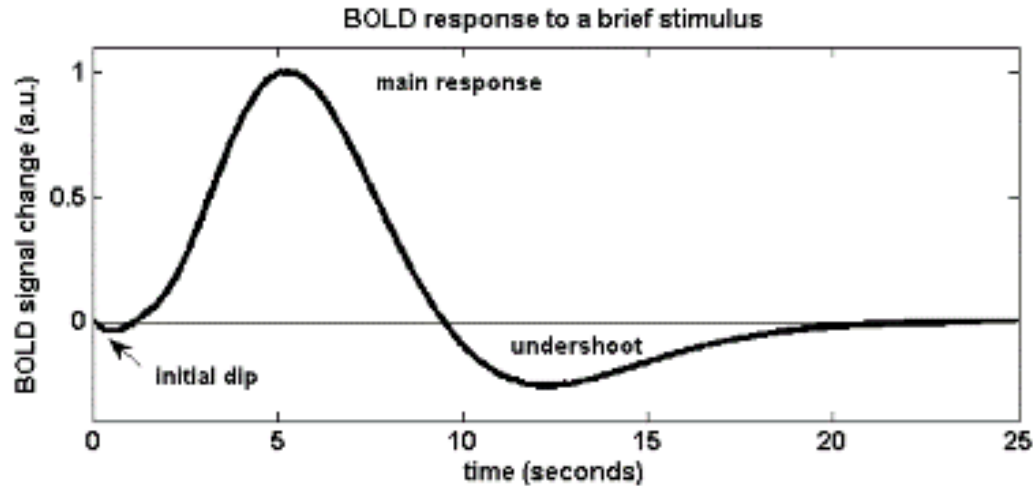


Effet BOLD (Blood-oxygen Level-dependent)

Quelles zones s'activent dans le cerveau lors de tâches cognitives ?

Quelques techniques en neurosciences cognitives

L'imagerie fonctionnelle d'activation Effet BOLD

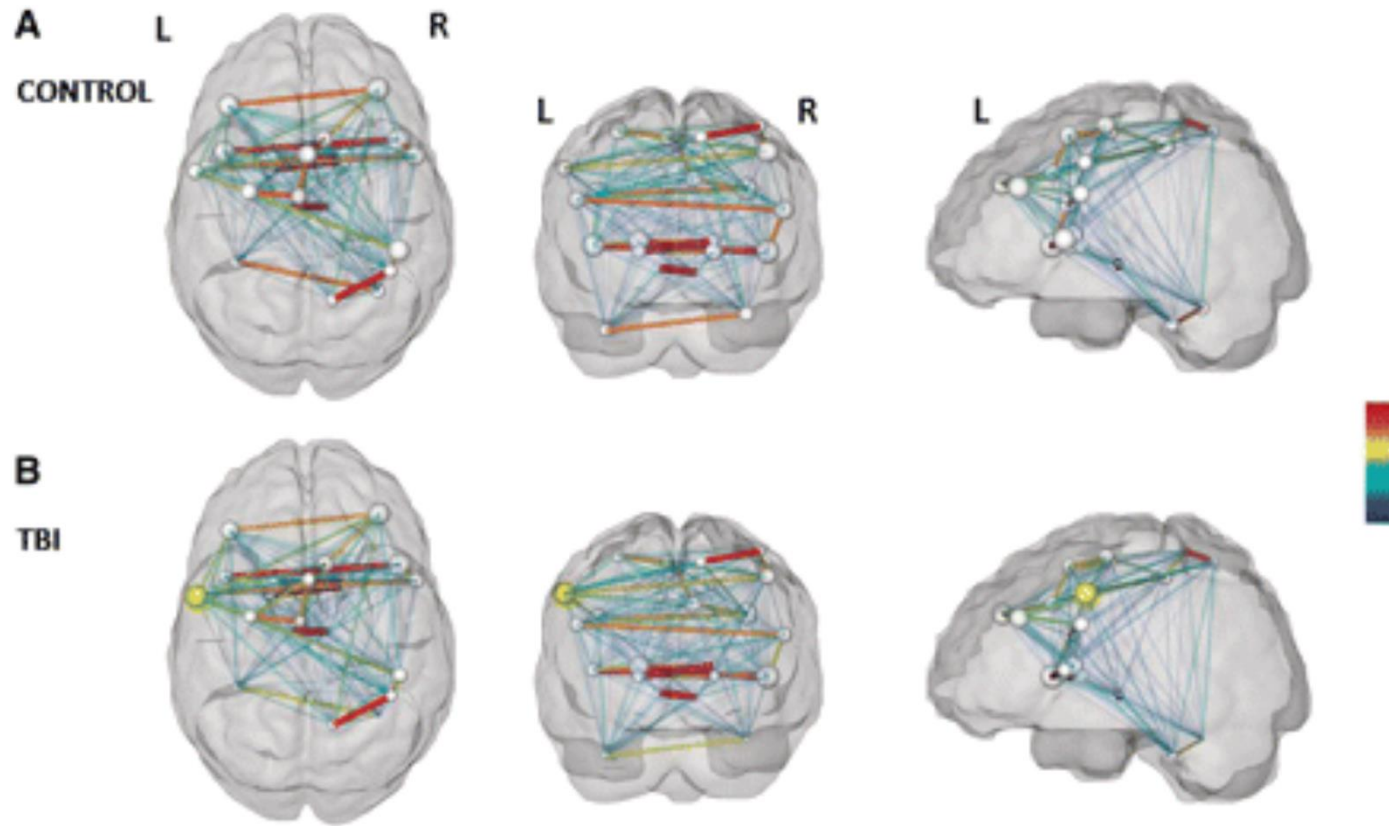


Décours d'une réponse BOLD à un stimuli

- 1 - ↗ Activité neurale
- 2 - ↗ Consommation en O₂
- 3- ↗ ↗ Augmentation du flux sanguin local
- 4- ↘ Concentration en désoxyhémoglobine
- 5- ↗ Signal IRM

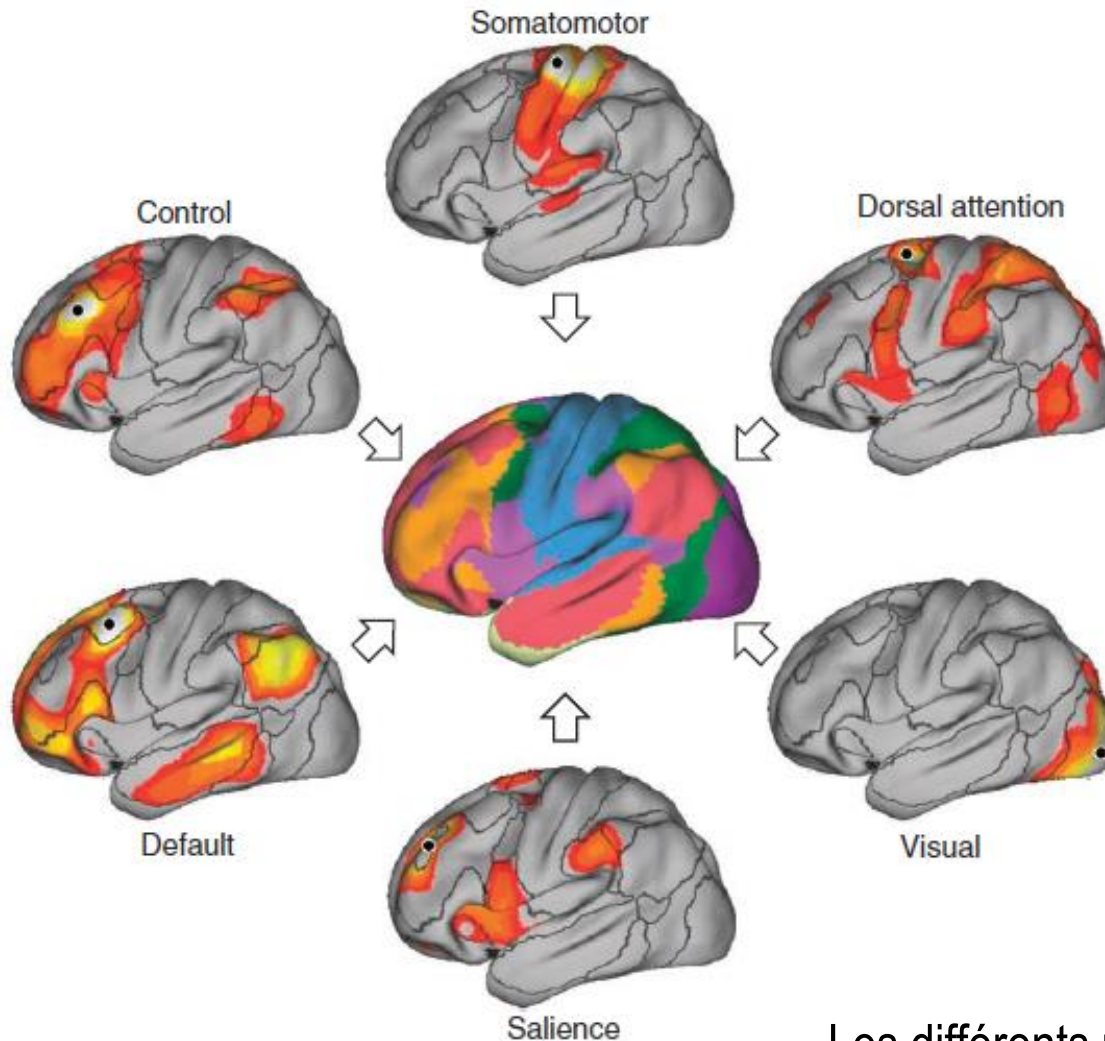
Quelques techniques en neurosciences cognitives

Comment les régions
communiquent entre elles pendant
la réalisation de tâche cognitive ?



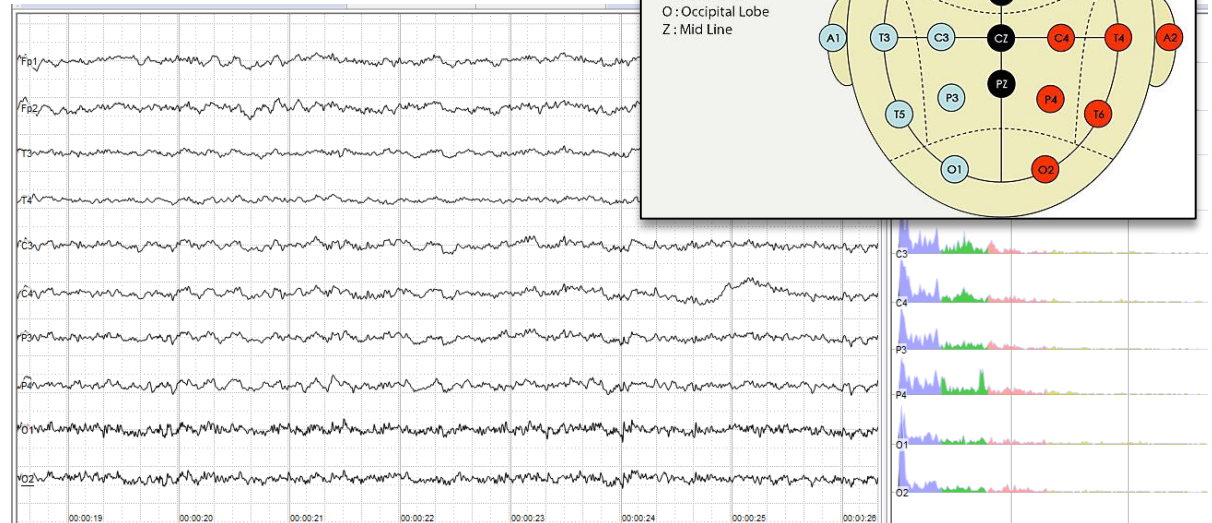
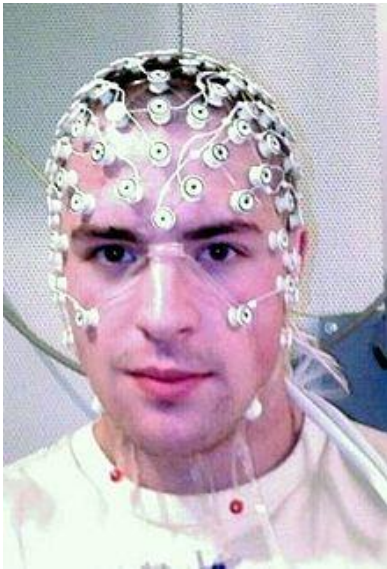
Quelques techniques en neurosciences cognitives

Comment ces différents réseaux peuvent corrélérer avec les performances cognitives ?



Les différents réseaux intrinsèques du cerveau

Quelques techniques en neurosciences cognitives

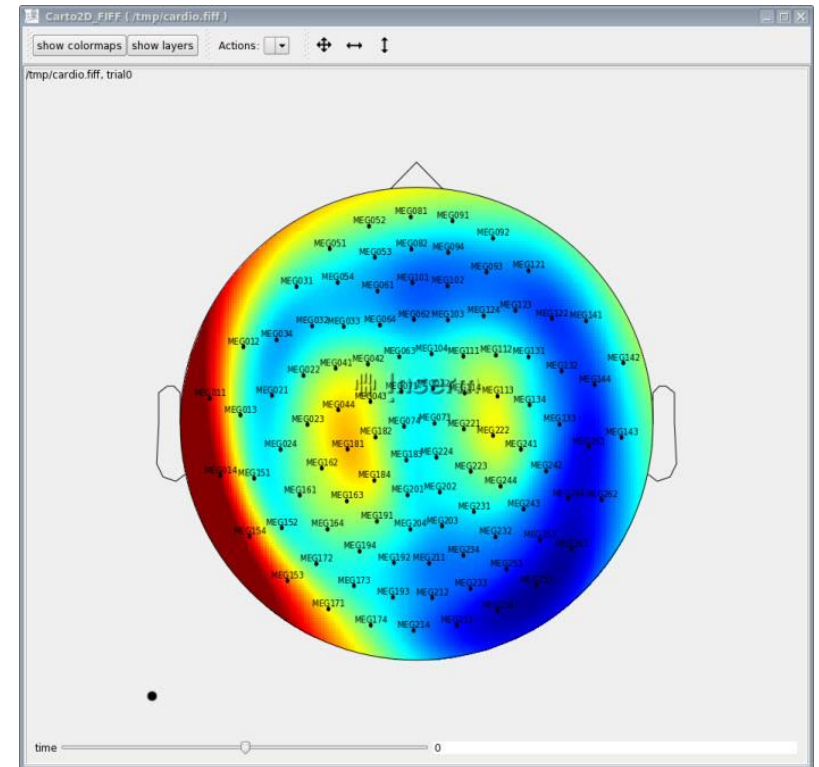


EEG électro-encéphalogramme

Evaluer l'activité électrique du cerveau, notamment lors de la réalisation de tâches cognitives

On va exacerber/amplifier le potentiel électrique mesuré à la surface du cuir chevelu grâce à de nombreuses électrodes placées à divers endroits de la tête. On peut ainsi mesurer l'activité dans de nombreuses régions du cerveau. On peut repérer différentes formes d'ondes (différentes fréquences), en fonction généralement des zones évaluées.

Quelques techniques en neurosciences cognitives

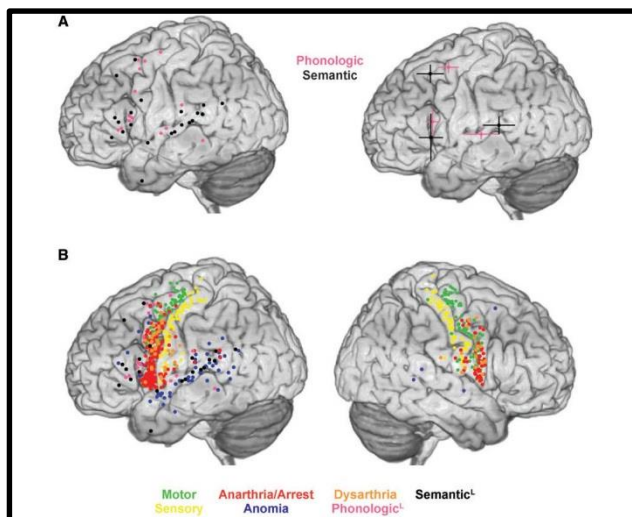


Magnétoencéphalographie

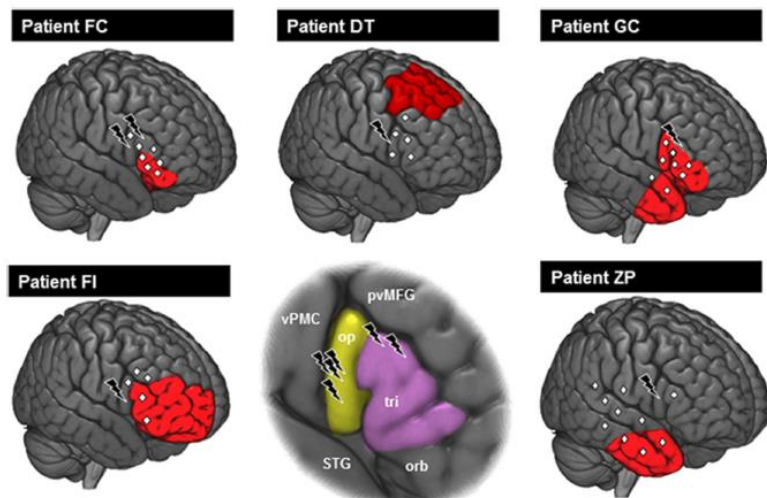
On va mesurer les champs magnétiques induits par l'activité neuronale. Lorsqu'on la couple avec des tâches cognitives, on peut appréhender quels systèmes neuronaux sont impliqués dans le processus cognitif d'intérêt.

Quelques techniques en neurosciences cognitives

Stimulation électrique directe du Cerveau

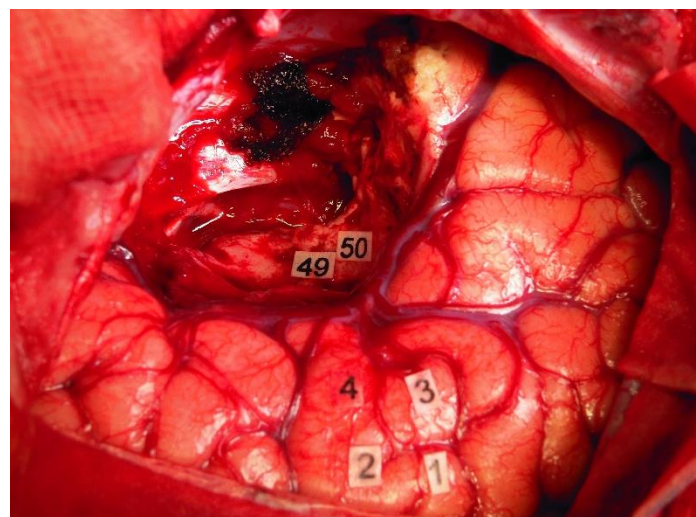
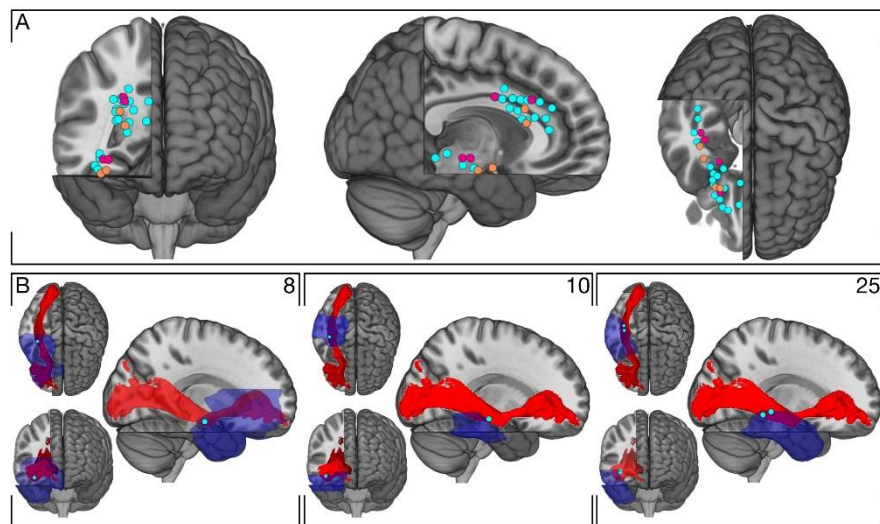


Tate et al. (2014) *Brain*



Herbet et al. (2015) *Brain Struct Funct*

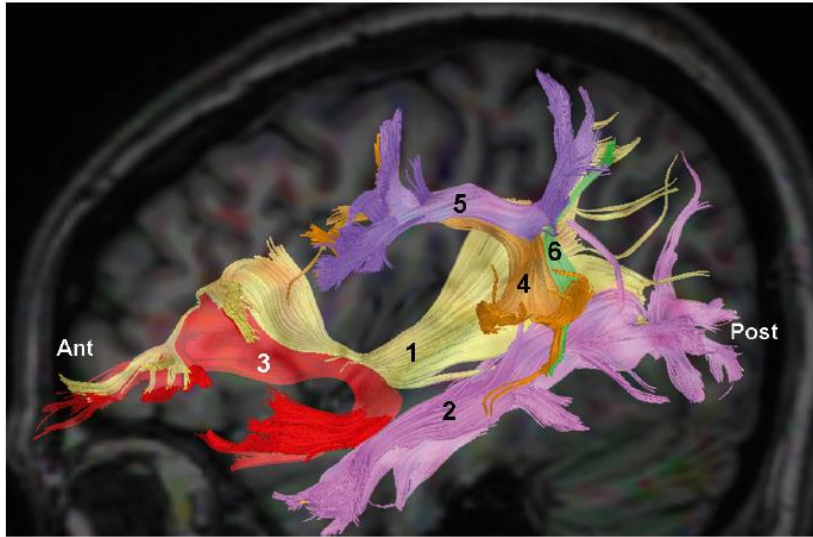
Yordanova et al. (2017) *Brain Struct Funct*



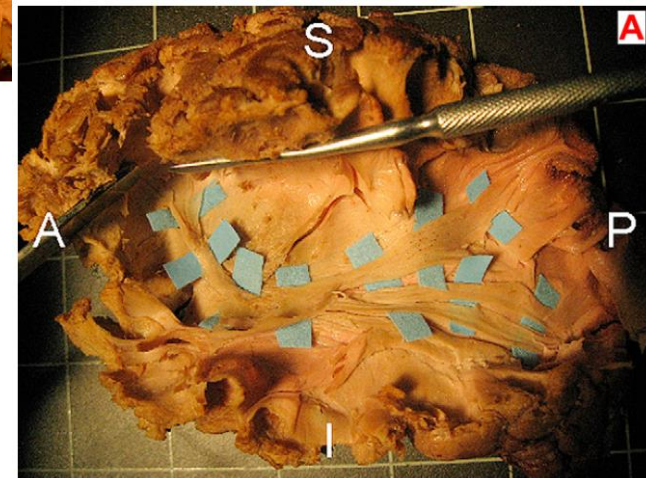
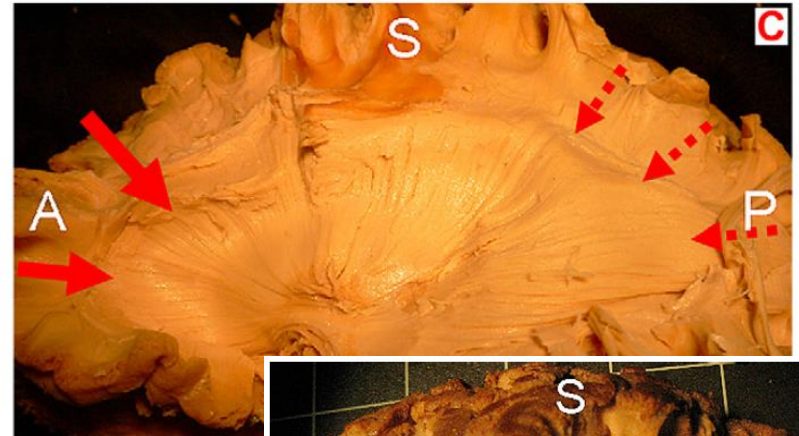
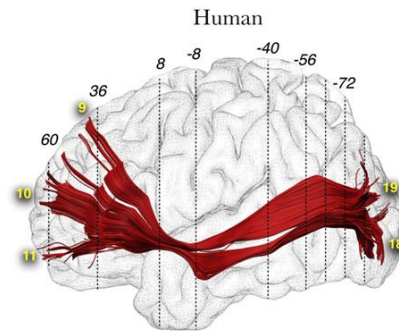
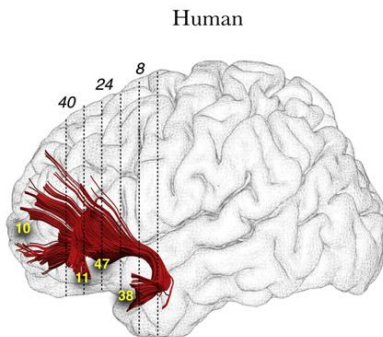
Tractographie et Dissection Anatomique

Quelques techniques en neurosciences cognitives

Catani et al. (2005) *Brain*



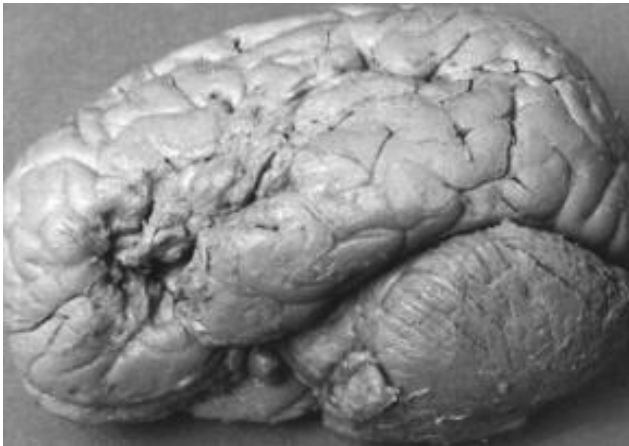
Thiebaut de Schotten (2012) *Cerebr Cortex*



Martino et al. (2012) *Brain Struct Funct*

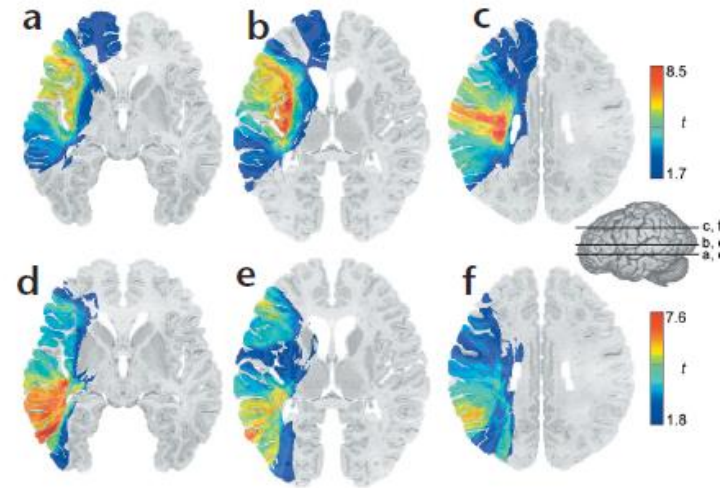
Reconstruction des fibres blanches et corrélations des paramètres avec des performances cognitives.

Quelques techniques en neurosciences cognitives

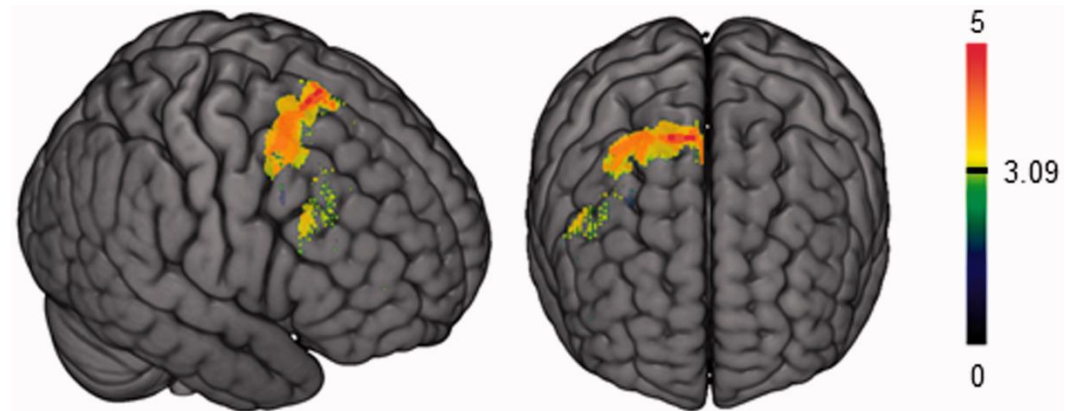


Inférer la fonction des structures cérébrales grâce aux patients cérébrolésés.

La méthode lésionnelle



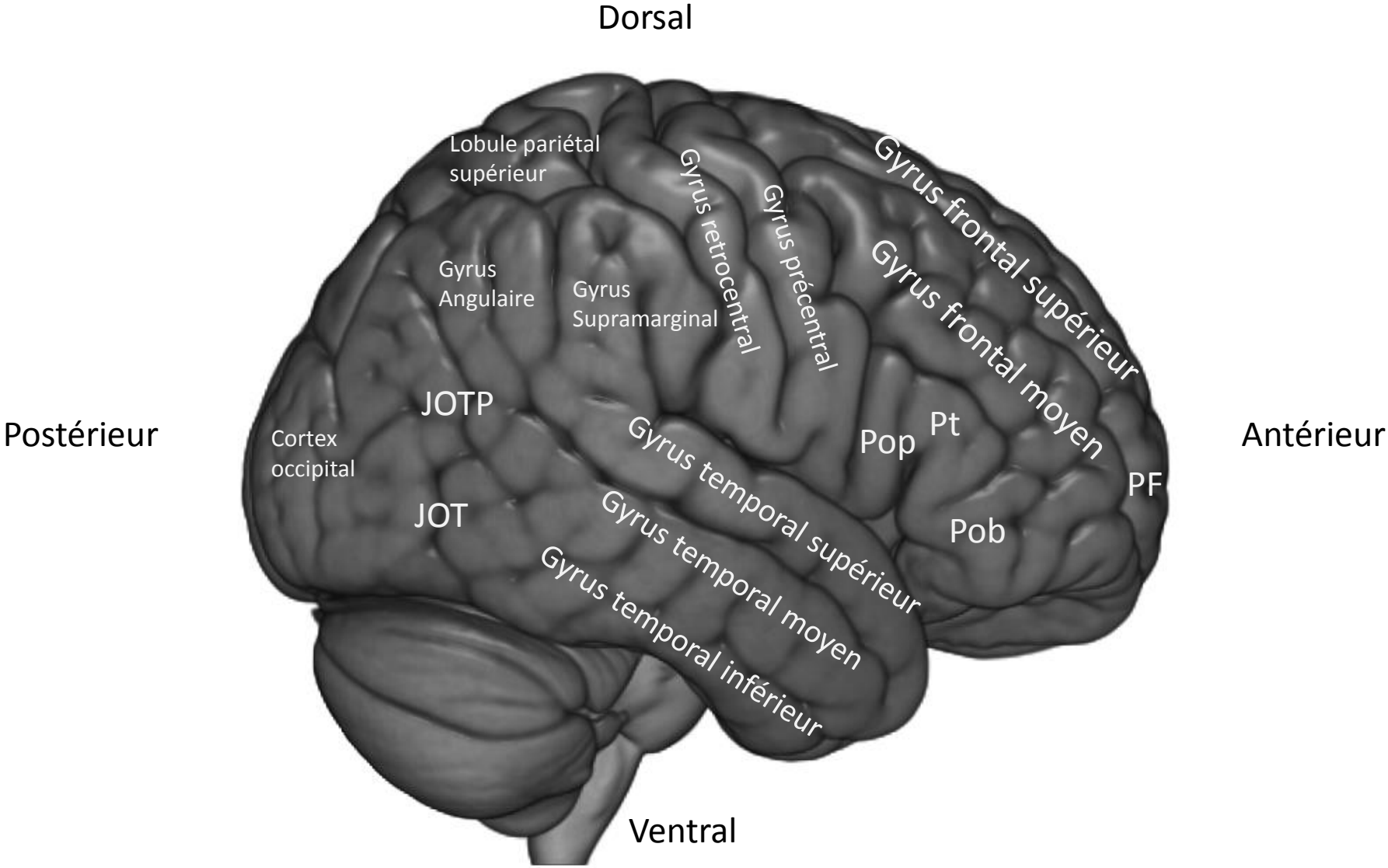
Bates et al. (2003) *Nature Neurosciences*



Herbet et al. (2014) *Brain*

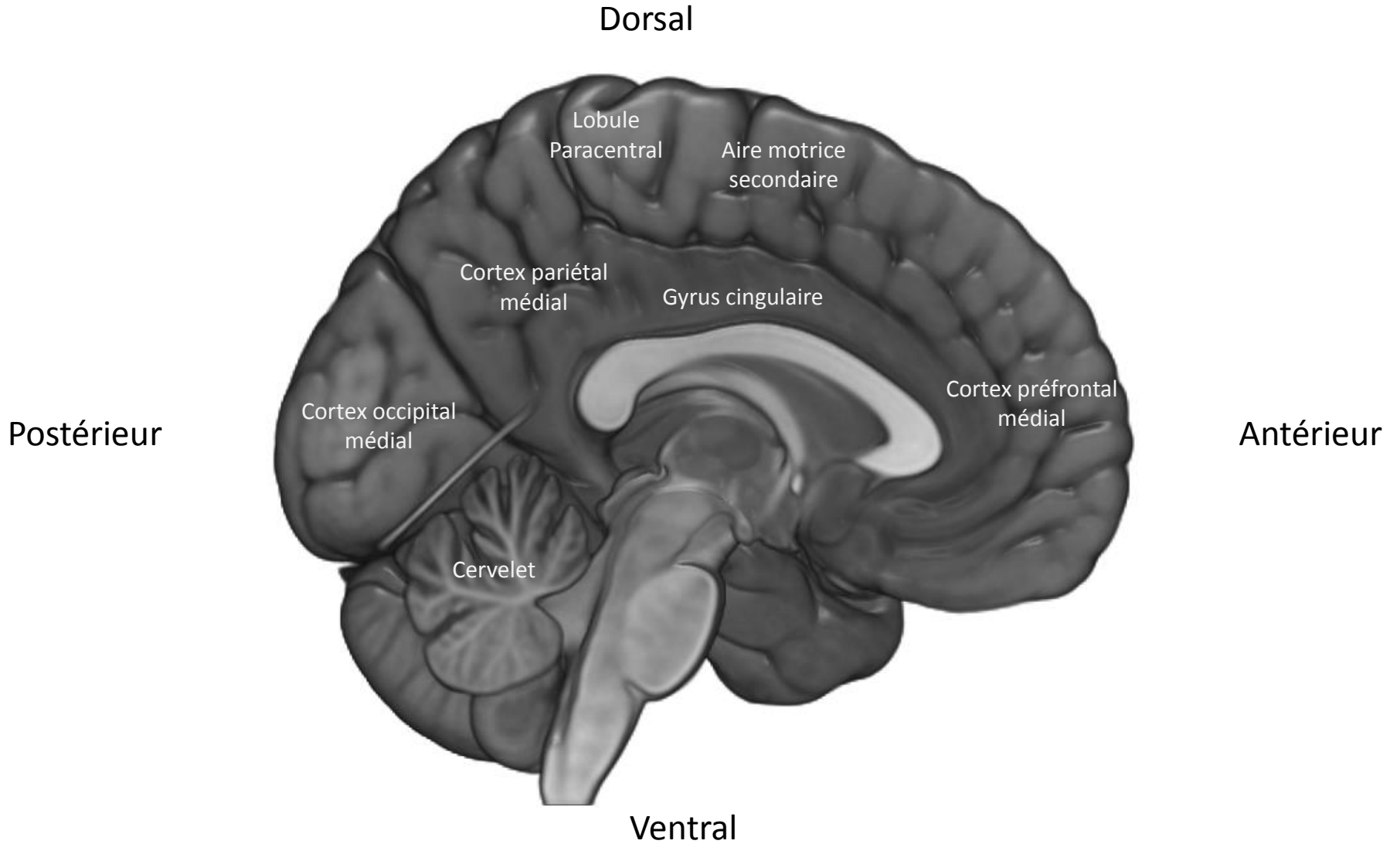
Quelques rappels anatomiques importants

Face latérale du cerveau



Quelques rappels anatomiques importants

Face médiale du cerveau

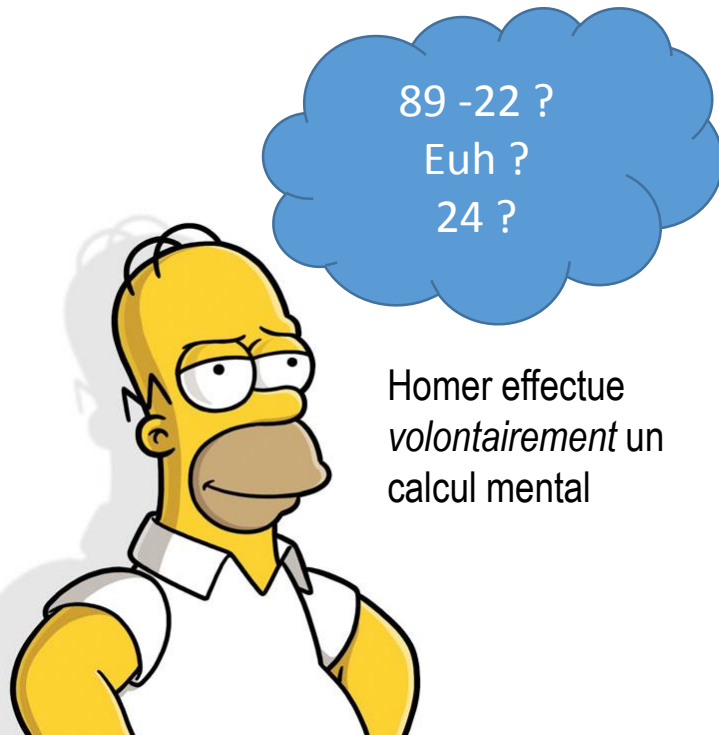


Sommaire du cours

- (I) Ré-aborder La question de la théorie de l'esprit et de l'empathie.
- (II) Les processus de reconnaissance de soi-même
- (III) L'agentivité, ses bases neurales, et ses dysfonctions dans la pathologie
- (IV) Les bases neurales de la cognition morale

Les théories à double processus de la cognition sociale.

⇒ Processus contrôlés versus Processus automatiques



Processus contrôlés: associés à la conscience, à l'intention et à l'effort, peut-être interrompus volontairement



Processus automatiques: ne partagent pas les caractéristiques des processus contrôlés. Ils sont automatiques, spontanés, non voulus par le sujet.

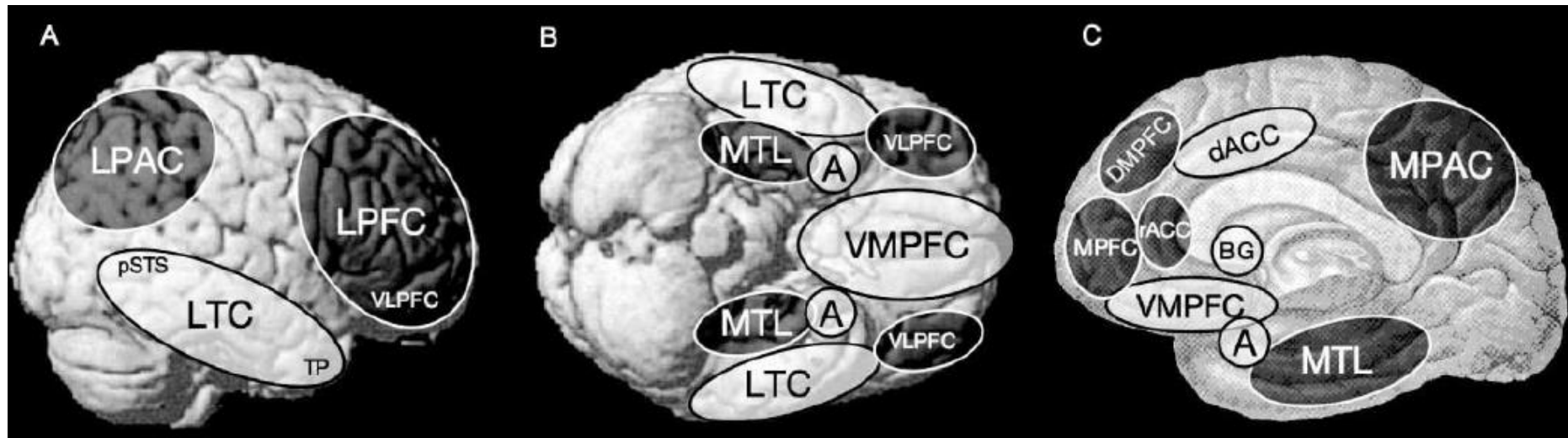
Les théories à double processus de la cognition sociale

⇒ **Caractéristiques des processus automatiques versus contrôlés**

Systeme Automatique	Systeme contrôlé
Traitement sériel	Traitement parallèle
Traitement rapide	Traitement lent
Apprentissage rapide	Apprentissage lent
processus non-conscients	Processus conscients
Sensible aux présentations de stimuli subliminaux	Insensible aux stimuli subliminaux
Processus spontanés	Processus intentionnels
Réponses prépotentes	Régulation des réponses prépotentes
Typiquement sensoriel (mais pas que)	Typiquement linguistique (mais pas que)
Généré par "l'extérieur"	Généré de "l'intérieur"
Relation au comportement non affecté par la charge cognitive	Relation au comportement affecté par la charge cognitive
Phylogénétiquement ancien	Phylogénétiquement nouveau

Les théories à double processus de la cognition sociale

⇒ **Caractéristiques des processus automatiques versus contrôlés**



Lieberman et al., 2007

Régions associées au **système automatique**

- Cortex temporal Latéral (LTC)
- Pole temporal (TP)
- Sillon temporal supérieur (pSTS)
- Amygdale (A)
- Ganglions de la base (BG)
- Cortex préfrontal ventro-médial (VMPFC)
- Cortex cingulaire antérieur dorsal (dACC)

Régions associées au **système contrôlé**

- Cortex préfrontal latéral (LPFC)
- Cortex pariétal latéral (LPAC)
- Lobe temporal médial (MTL)
- Cortex préfrontal médial (MPFC)
- Cortex préfrontal dorso-médial (DMPFC)
- Cortex cingulaire antérieur rostral (rACC)
- Cortex pariétal médial (MPAC)

Les théories à double processus de la cognition sociale

⇒ **Caractéristiques des processus automatiques versus contrôlés**

Fonctions de cognition sociale associées à **des processus plutôt automatiques** dans le cerveau :

- La perception et reconnaissance des visages
- La reconnaissance des émotions basiques
- La reconnaissance de soi
- L'agentivité
- L'empathie émotionnelle

Fonctions de cognition sociale associées à **des processus plutôt contrôlés** dans le cerveau :

- La théorie de l'esprit
- L'empathie cognitive
- La prise de décision
- Etc

Mais pas aussi simple que ça puisque les situations sociales sont complexes et requièrent la plupart du temps l'intégration de plusieurs processus en même temps

Les théories à double processus de la cognition sociale

⇒ Processus dirigés vers l'extérieur (externally-focused) versus vers l'intérieur (self-focused)

2nd façon de classer les processus de cognition sociale

Processus dirigés vers le soi (self-focused)



Processus qui se focalisent sur son propre mental intérieur ou celui des autres

- Pensées
- Sentiments
- Expériences
- Emotions

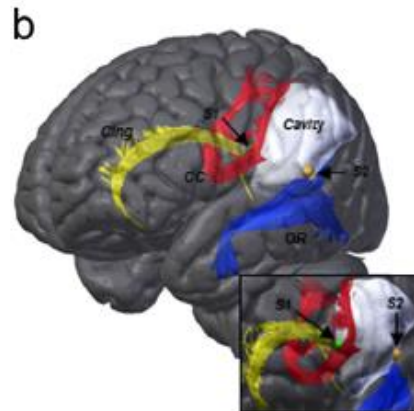
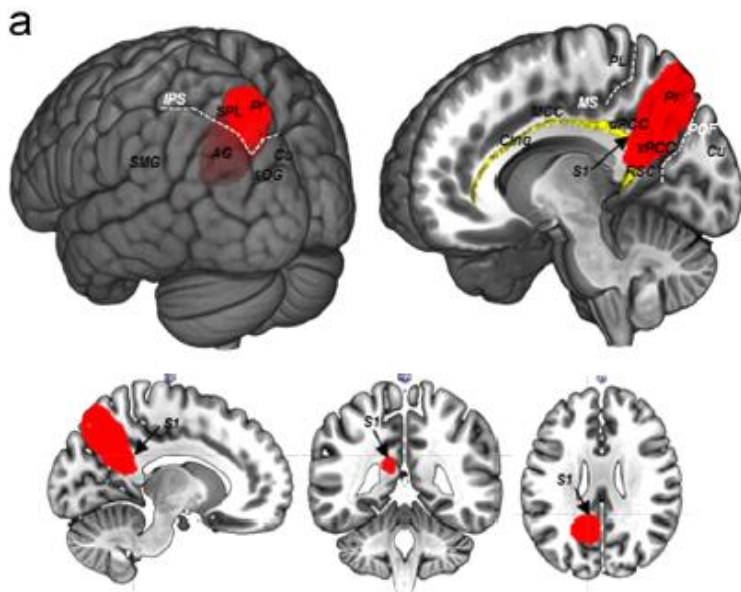
Processus dirigés vers l'extérieur (externally-focused)



Processus qui se focalisent sur les attributs physiques de soi, des autres, et des actions et qui sont perçues à travers les modalités sensorielles comme partie intégrante du monde matériel

- Sa taille

Réseau du mode par défaut, conscience extérieure, états subjectifs internes



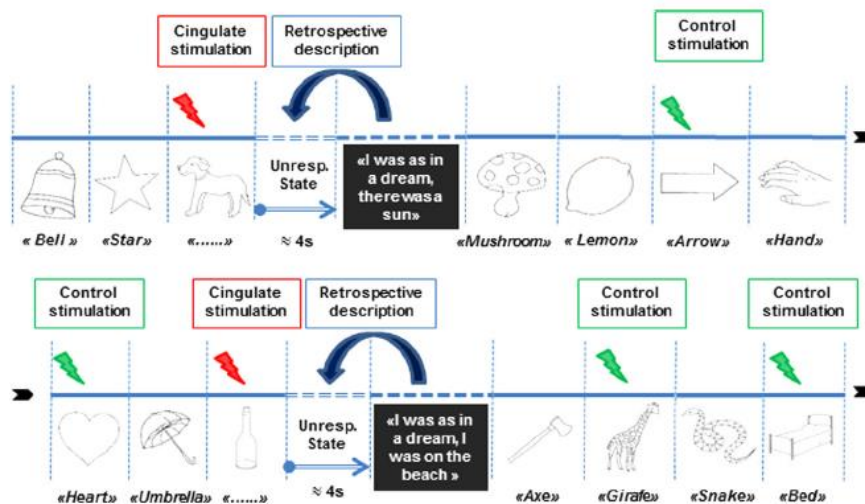
La perturbation de des fibres cingulaires est associée à une perte de conscience du monde extérieur

S1, the patient reported: "I was as in a dream, there was a sun"

S2, the patient reported: "my vision is blurred on the right side"

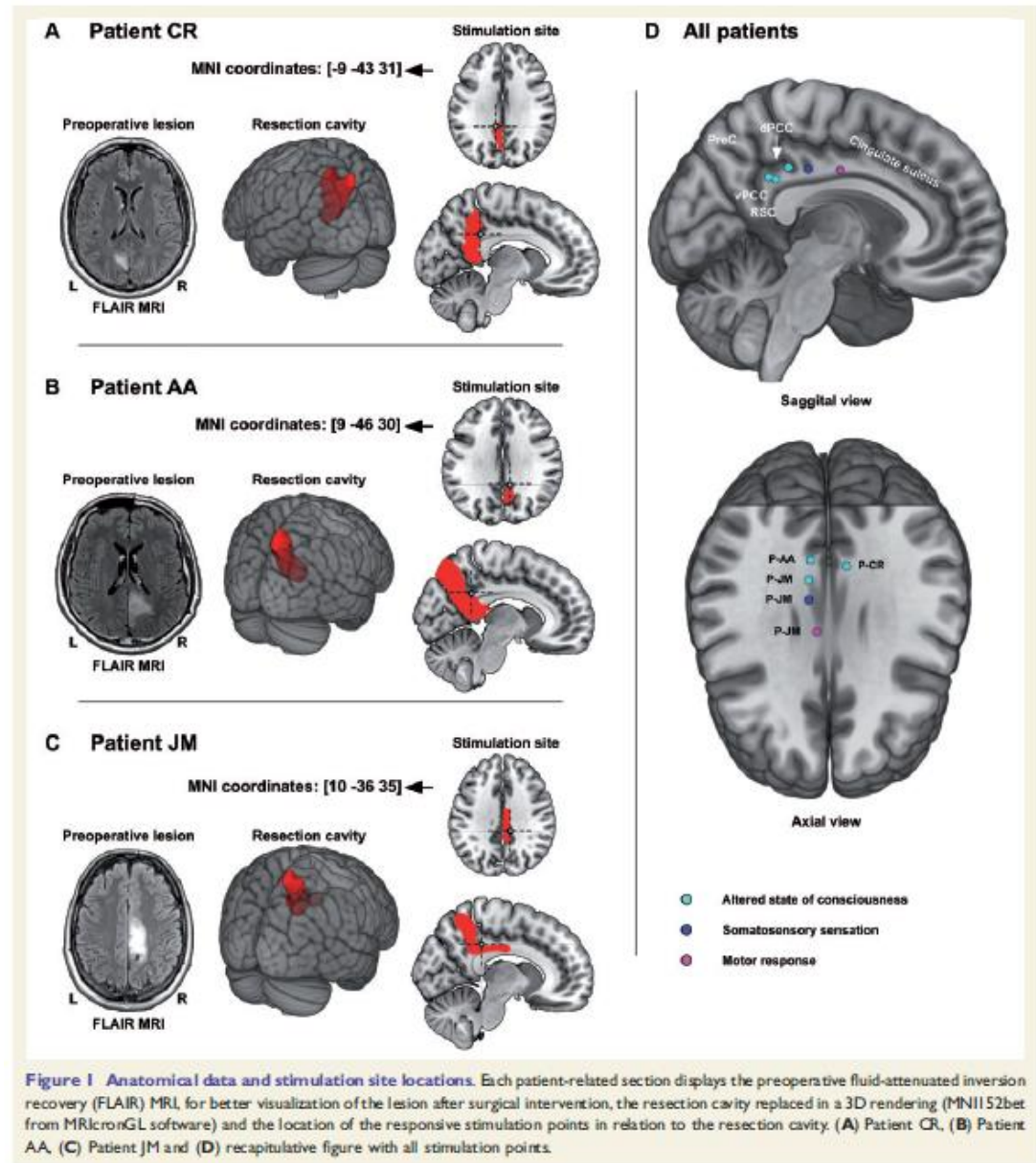
Herbet et al. (2014) *Neuropsychologia*

La résection du précuneus est associé à) un déclin des processus auto-réflexifs



Réseau du mode par défaut, conscience extérieure, états subjectifs internes

La perturbation des fibres émanant du gyrus cingulaire postérieur dorsal est associé à des troubles de la conscience de soi.

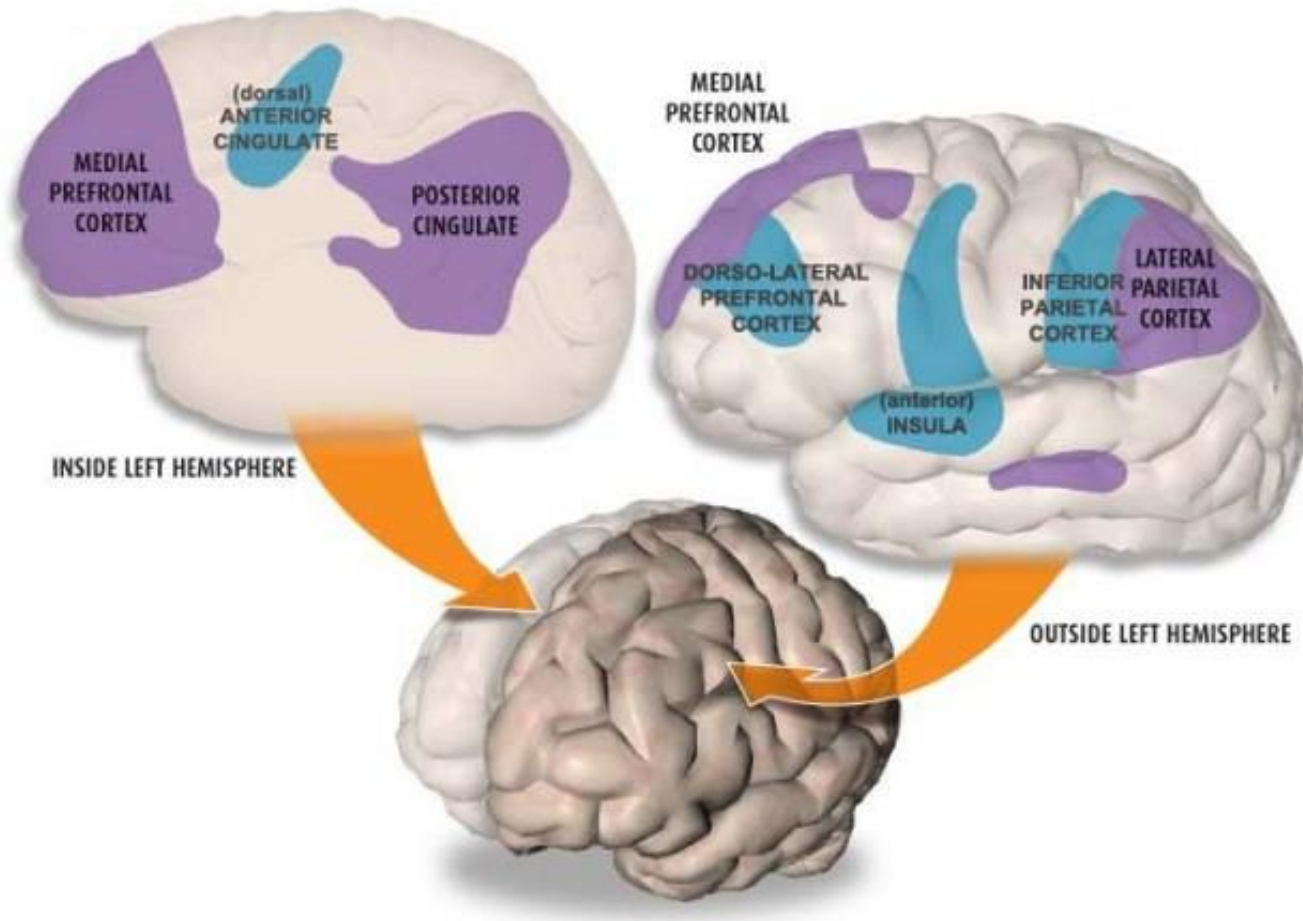


Réseau du mode par défaut et processus autodirigés

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



Le réseau du mode par défaut reflèterait notre activité réflexive

Réseau du mode par défaut et processus autodirigés

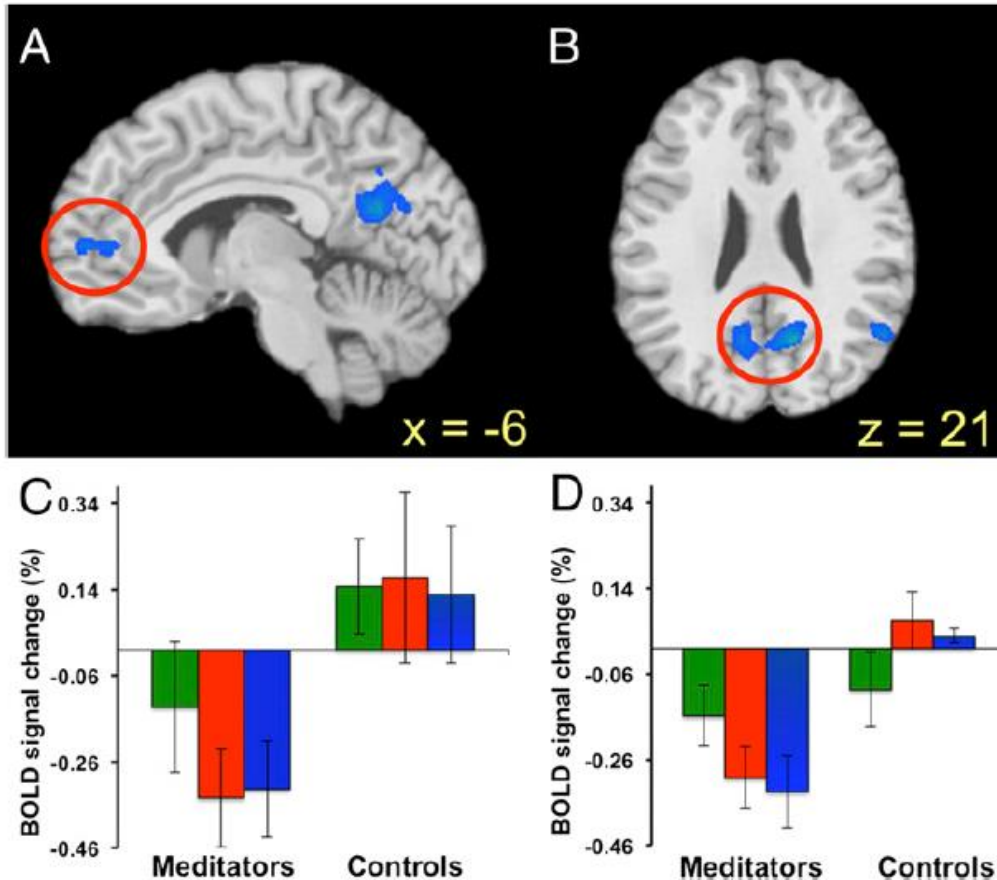


Fig. 1. Experienced meditators demonstrate decreased DMN activation during meditation. Brain activation in meditators > controls is shown, collapsed across all meditations (relative to baseline). (A and B) Activations in the left mPFC and PCC. (C and D) Average percent signal change (\pm SD) during individual meditation conditions in the mPFC and PCC, respectively: Choiceless Awareness (green bars), Loving-Kindness (red), and Concentration (blue) meditations. Note that decreased activation in PCC in meditators is common across different meditation types. $n = 12$ per group.

Les nœuds corticaux du DMN se désactivent plus chez les sujets ayant une expérience de la méditation versus des sujets n'ayant pas une pratique de la méditation.

Concentration: « focalisez-vous sur les sensations physiques de votre respiration. »

Loving-kindness: « focalisez-vous sur des sentiments positifs dirigés vers les autres que vous avez déjà ressentis. »

Choiceless-awareness: « focalisez-vous sur les états-mentaux qui parviennent à votre conscience. Essayez d'identifier s'il s'agit de pensées, d'émotions ou de sensations corporelles. »

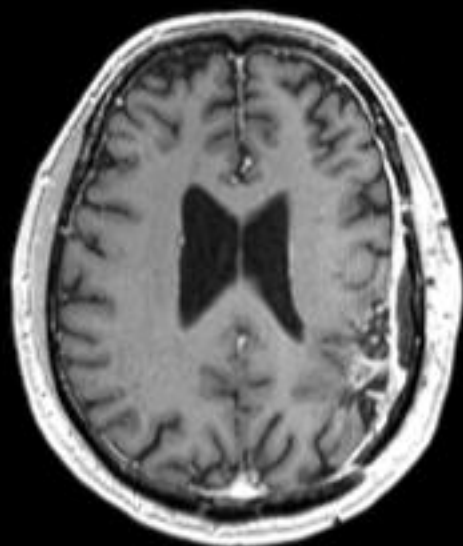
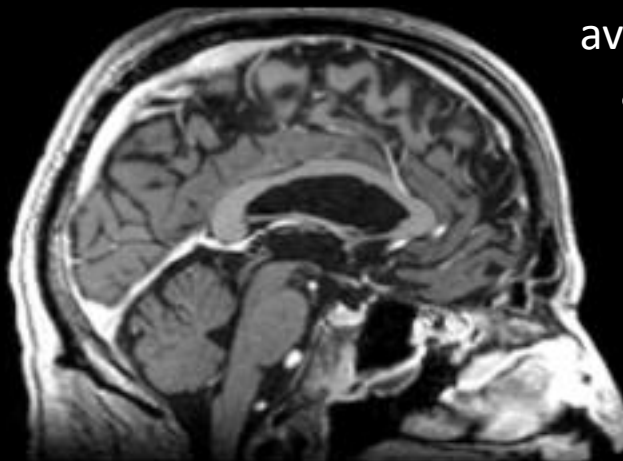
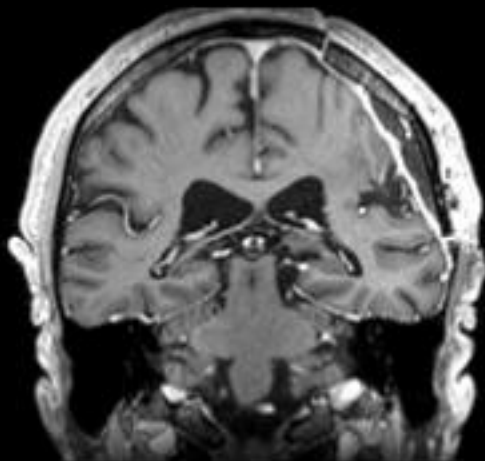
Réseau du mode par défaut et processus autodirigés



Fig. 1. Mean happiness reported during each activity (**top**) and while mind wandering to unpleasant topics, neutral topics, pleasant topics or not mind wandering (**bottom**). Dashed line indicates mean of happiness across all samples. Bubble area indicates the frequency of occurrence. The largest bubble (“not mind wandering”) corresponds to 53.1% of the samples, and the smallest bubble (“praying/worshipping/meditating”) corresponds to 0.1% of the samples.

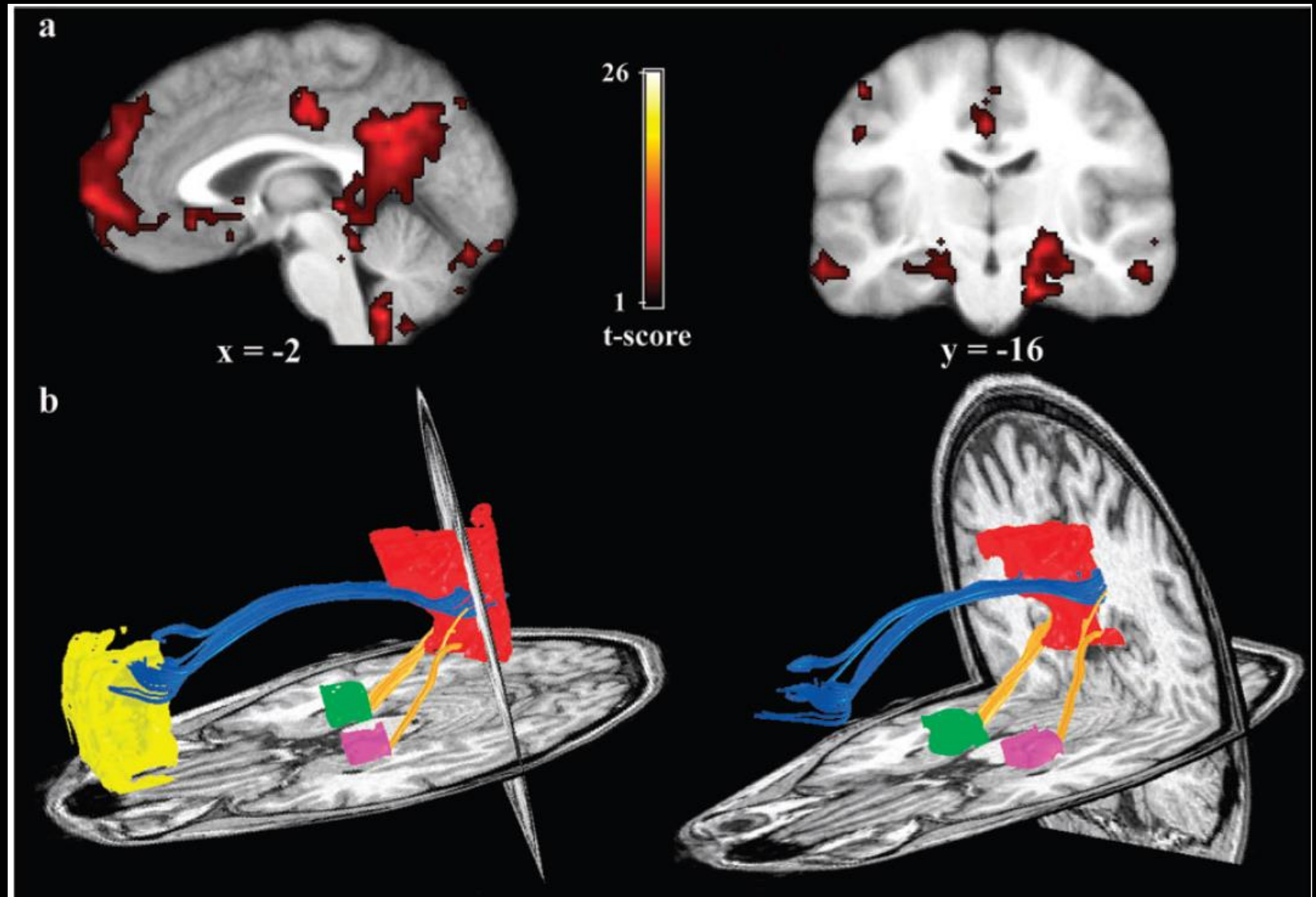
Que se passe-t-il lorsque l'on résèque une des structures critiques du DMN ?

Résection du cortex pariétal inférieur
avec infiltrations résiduelles
allant vers le precuneus



*« Impression d'être dans un état
transcendantal, d'avoir passé derrière
une barrière au delà de laquelle se
trouve la sérénité »*

Lien entre *default mode network* et connectivité cingulaire



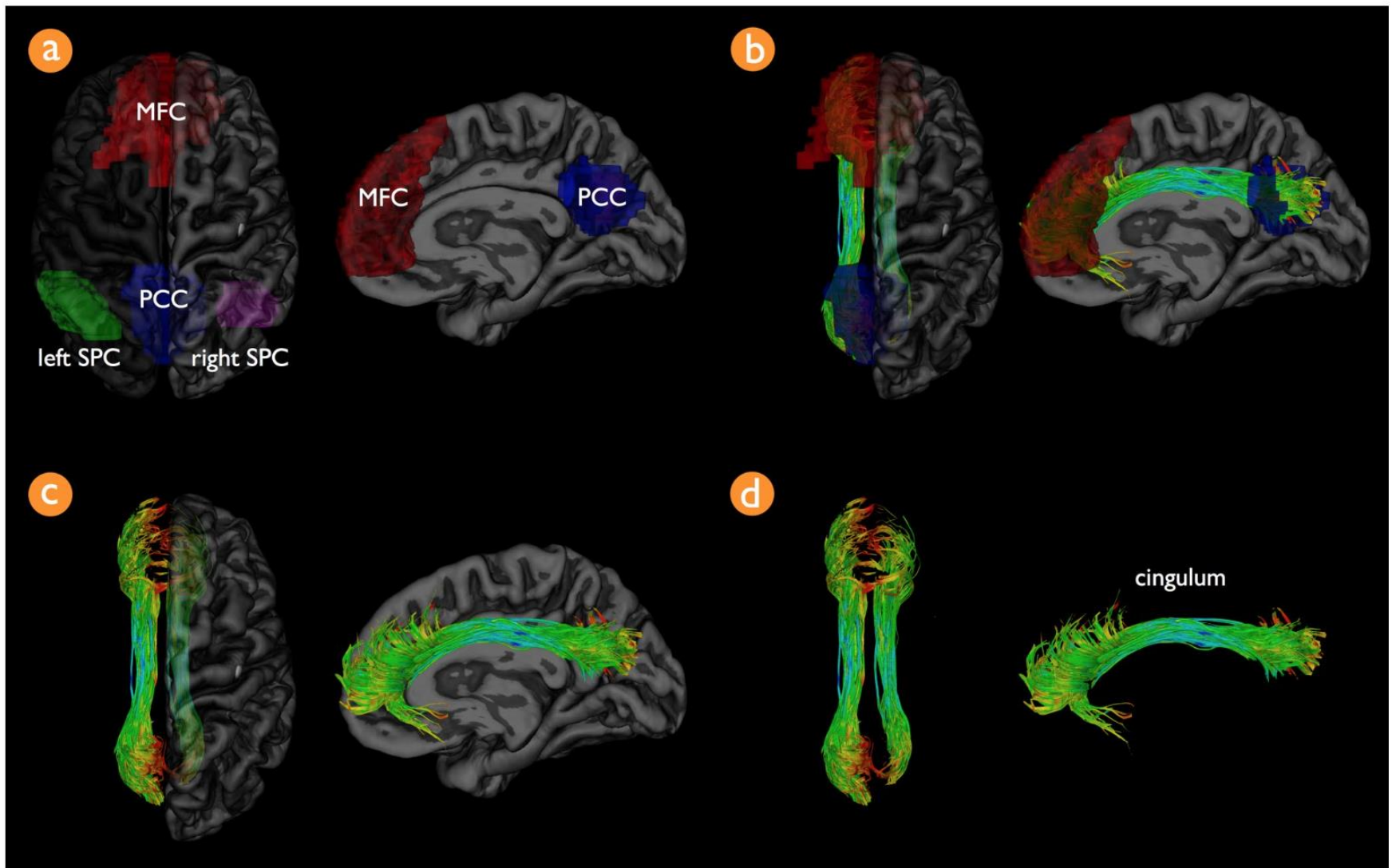
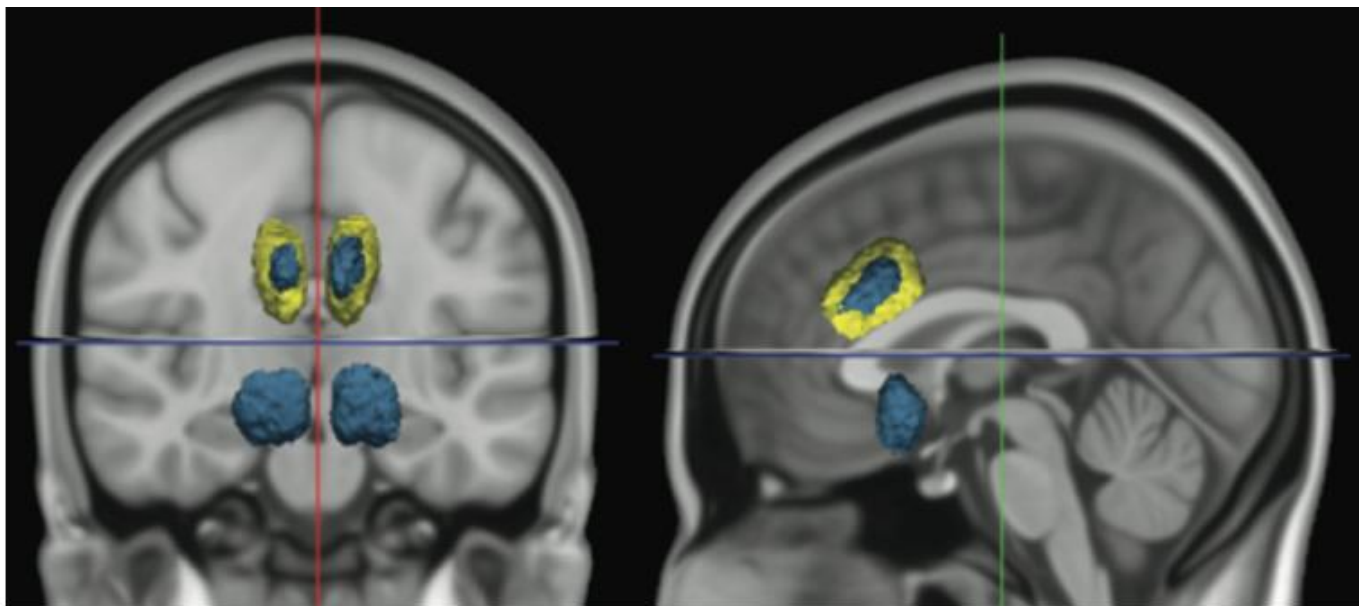
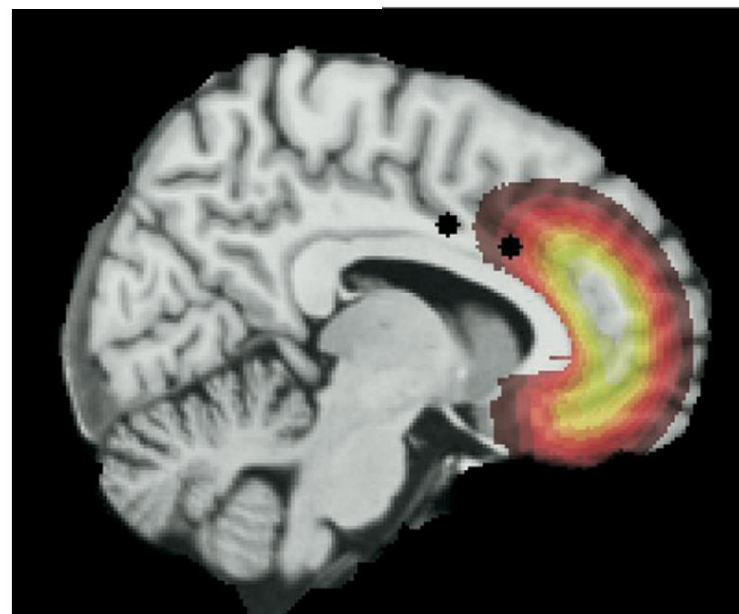


Figure 3. The cingulum tract connects precuneus and posterior cingulate cortex and medial frontal cortex of the default mode network. **a** shows the regions of interest of the default mode network on a 3D rendering of the group-averaged normalized T1 scan. The default mode network was selected by using a normalized cut group clustering approach of the resting-state data. Clustering revealed the default mode network, including the PCC (blue region of interest), MFC (red region of interest), and bilateral SPC (green and magenta regions). **b–d** show the interconnecting tracts between the PCC and MFC regions over all subjects combined. **b** shows both the tracts together with the PCC (blue) and MFC (red) regions of the default mode network.

Dépression et connectivité cingulaire



L'exérèse bilatérale du faisceau cingulaire est associée à une amélioration des symptômes dépressifs dans la dépression sévère (mélancolie)



Quelles sont les précurseurs neurophylogénétiques de la Théorie de l'Esprit ?

La perception sociale

Se représenter l'esprit des autres

Does the chimpanzee have a Theory of mind ? (Premack & Woodruff (1979))



“An individual has a theory of mind if he imputes mental states to himself and others. A system of inferences of this kind is properly viewed as a theory because such states are not directly observable, and the system can be used to make predictions about the behavior of others.”

La réponse est non : bien que les chimpanzés montrent un vaste panel de compétences sociales, celles-ci restent basiques et rien n'indique qu'ils pourraient se représenter consciemment que l'autre a des états mentaux différents de lui-même.

Se représenter l'esprit des autres

*« Bien que la plupart des primates semblent être capables de prédire assez précisément le but du comportement de leurs conspécifiques, il semblerait que seul l'Être Humain soit pourvu de la capacité à dissocier sciemment sa **propre perspective mentale de celle des autres** de se représenter que sa propre réalité psychologique est différente de la réalité psychologique des autres. »*

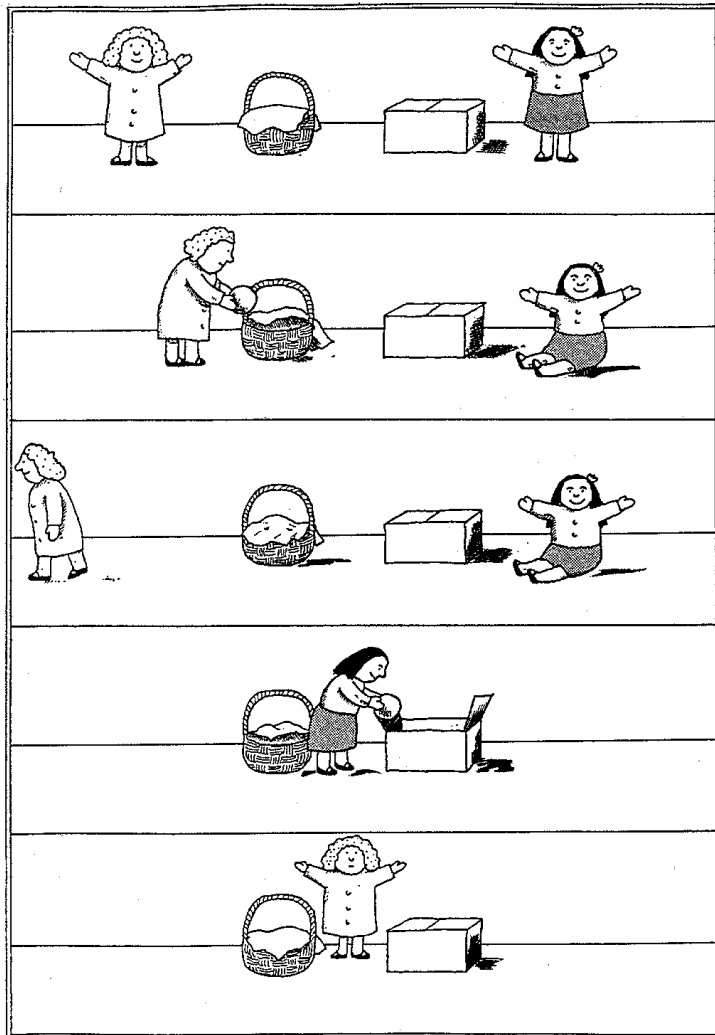
Se représenter l'esprit des autres

⇒ Définition plus complexe

- ❖ *« On désigne par théorie de l'esprit la propension cognitive qu'a un agent à reconnaître l'autre comme une entité intentionnelle, dont le comportement serait régi par un ensemble de déterminants psychologiques propres à lui-même. La théorie de l'esprit permettrait à l'agent d'attribuer aux autres, mais également à lui-même, un ensemble d'états mentaux (intentions, croyances, désires, pensées, émotions), afin de comprendre l'étiologie des comportements humains, voire des animaux ; dans ce cas on parle d'anthropomorphisme »*
- ❖ *« C'est reconnaître l'autre comme une entité subjective à part entière, dont le comportement est motivé par un ensemble de déterminants psychologiques qui diffèrent des nôtres. Pour comprendre l'autre, nous devons déterminer, sur la base de son comportement (réalité physique), les raisons subjectives qui l'ont déterminé (réalité psychologique). »*

Se représenter l'esprit des autres

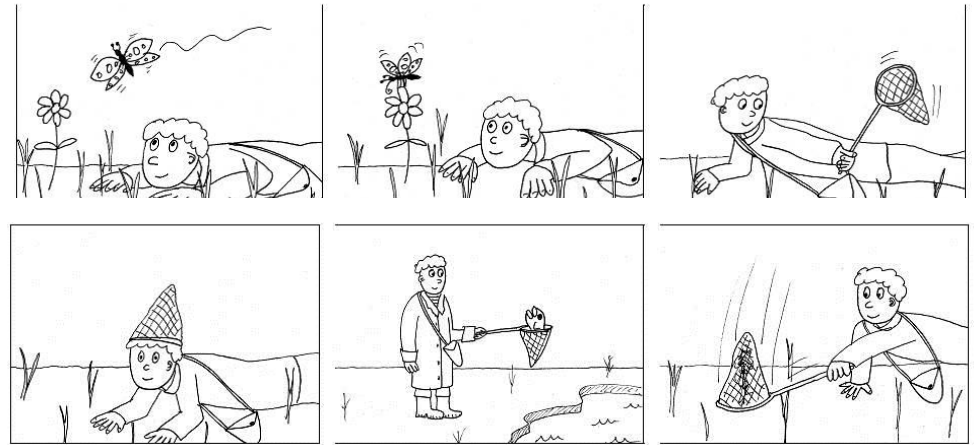
⇒ Tâche de Théorie de l'Esprit



Sally et Anne

Tâche d'attribution d'intentions

#7

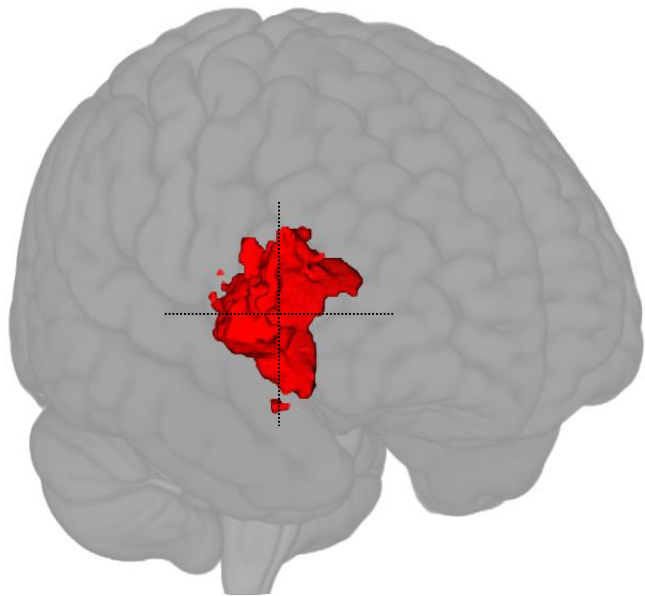


Tâche d'attribution d'états affectifs



Se représenter l'esprit des autres

Les troubles de la mentalisation peuvent conduire à des comportements sociaux aberrants



Femme de 37 ans, enseignante

1- Difficultés à comprendre les intentions de ses élèves

« Je ne comprends très bien où veulent en venir mes élèves lorsqu'ils me posent des questions »

2- Emergence d'un sentiment de « suspicion » envers ses élèves

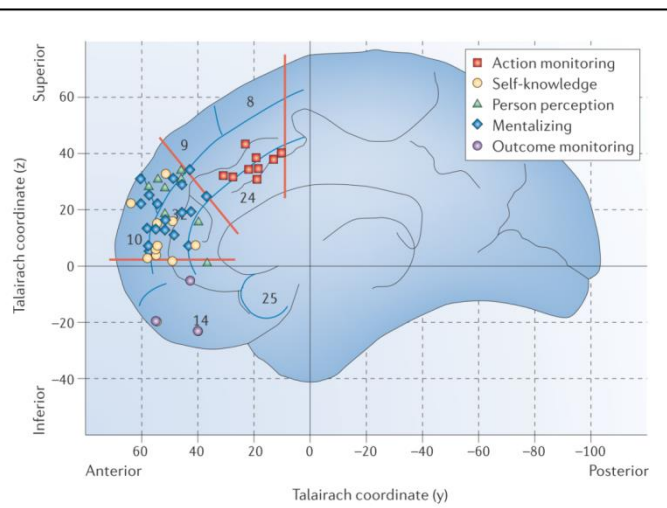
« Mes élèves passent leur temps à trouver la faille chez moi »

3- Installation de comportements aberrants

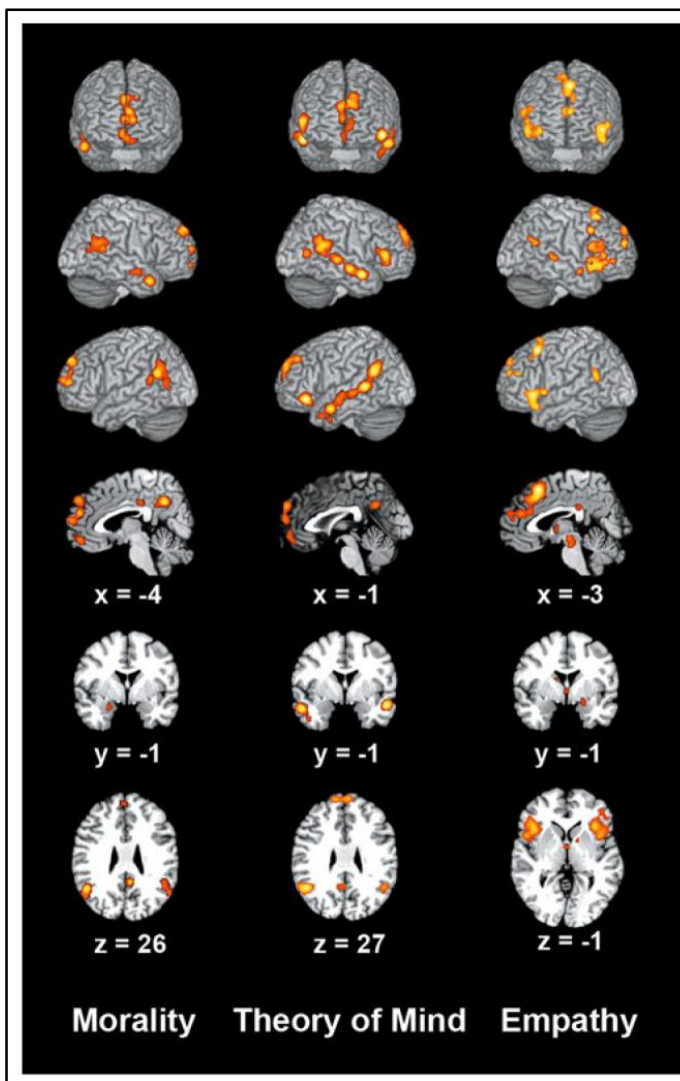
« Je travaille tous les soirs très tard pour ne pas me faire avoir par mes élèves lendemain »

Se représenter l'esprit des autres

⇒ Bases neurales de la Théorie de l'esprit



Amodio & Frith (2006) *Nat Rev Neurosci*



Bzdock et al. (2012) *Brain struct Func*

Face médiale

Cortex préfrontal médial

Précuneus ventral

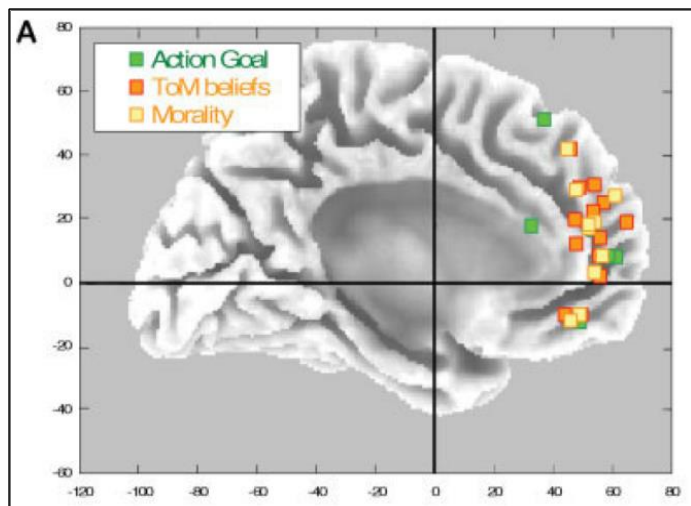
Cortex cingulaire postérieur

Face latérale

Jonction temporo-pariétal

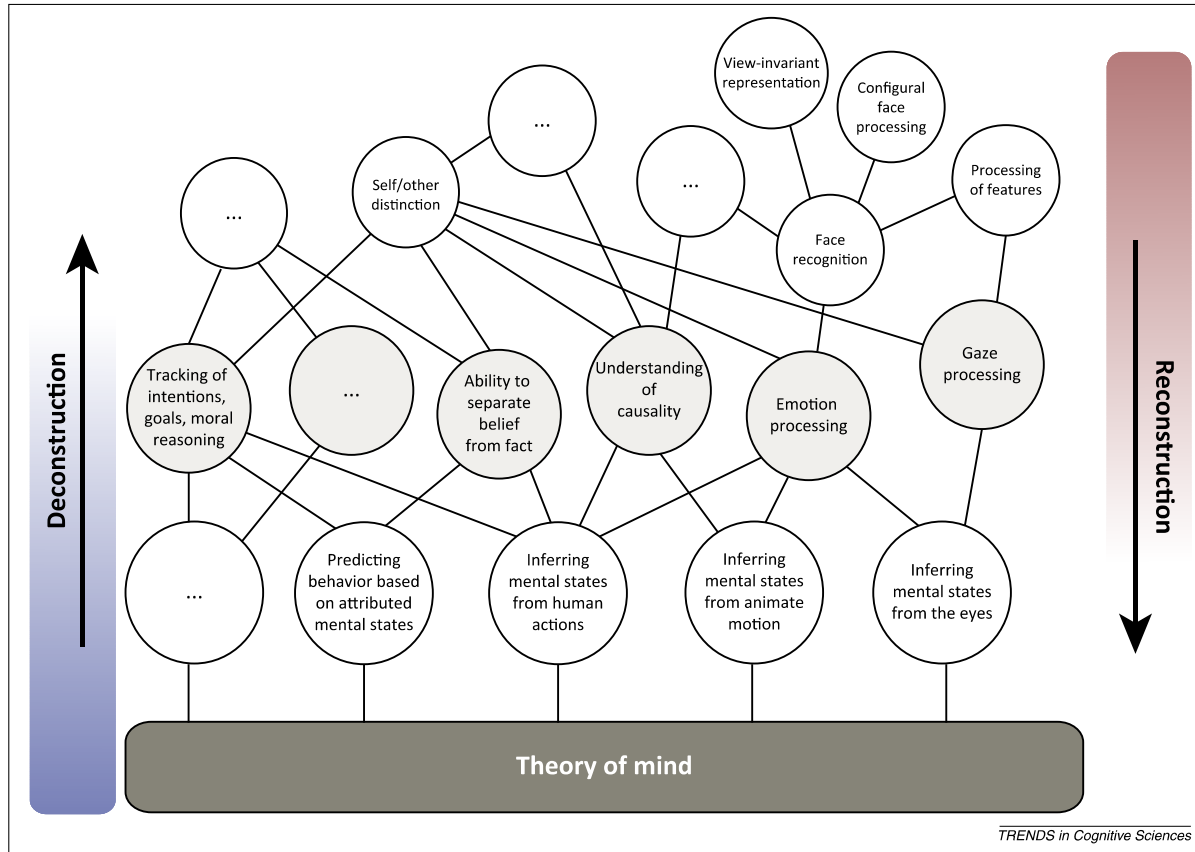
Sillon temporal postérieur

Pole temporal



Van der Overwalle & Baetens (2009) *Neuroimage*

Se représenter l'esprit des autres



- La distinction soi-autrui
- La reconnaissance du visage
- La direction du regard
- Le traitement des émotions
- La Prise de perspective
- Etc.

Figure 3. An illustrative example of the reformulation of theory of mind (ToM) by deconstruction into a comprehensive set of basic component processes on the one hand; and a complementary reconstruction on the other, with the aim to construct a richer and scientifically tractable concept of ToM.

La Théorie de l'esprit n'est pas un processus unitaire mais serait l'aboutissement de plusieurs processus sociocognitifs et socioaffectifs interactifs dont l'implication serait dépendant du contexte social.

Se représenter l'esprit des autres

⇒ Existe-il des compétences chez les animaux proche de la théorie de l'esprit

Deux exemples de comportements faisant penser que certains animaux ont des compétences cognitives proche de la Théorie de l'Esprit :



(1) Les individus de certaines familles de corbeau (ex: le pluvier), quand ils se « *savent* » vus par leurs congénères, font semblant de cacher leur nourriture dans un endroit, puis la déplace à un moment où ils « *savent* » qu'ils ne sont pas vus.

Se représenter l'esprit des autres

⇒ Existe-il des compétences chez les animaux proche de la théorie de l'esprit

Deux exemples de comportements faisant penser que certains animaux ont des compétences cognitives proche de la Théorie de l'Esprit :



(2) Certains poisson nettoyeurs font mieux leur boulot quand ils se savent vus par de possibles clients !

Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la Théorie de l'Esprit ?

- La reconnaissance des visages

La reconnaissance des visages

Le visage nous permet d'identifier un ensemble vaste d'informations sur **l'identité personnelle** des personnes (leur âge, leur sexe, leur ethnie, etc) ainsi que sur **leurs états mentaux** comme les émotions.



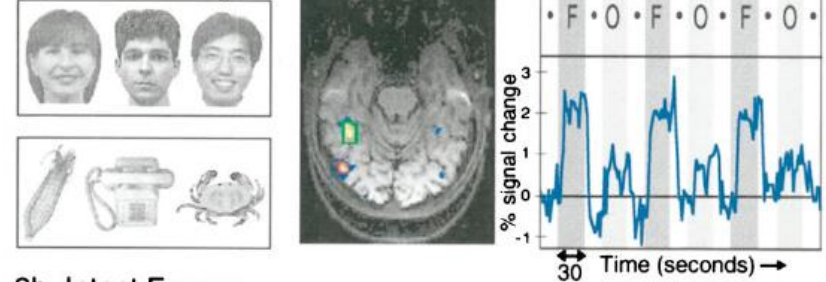
*Nous aurions des circuits
cérébraux alloués à la
reconnaissance des
visages*

Le visage permet d'identifier rapidement les émotions basiques et les états mentaux plus complexes.

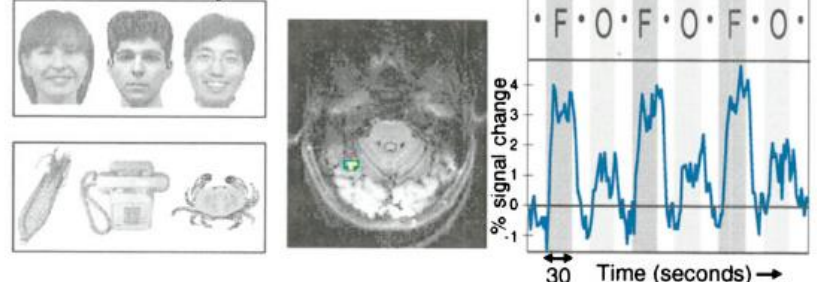
La reconnaissance des visages

Il existe une région dans le cerveau droit qui répond spécifiquement aux visages, *au niveau gyrus fusiforme*.

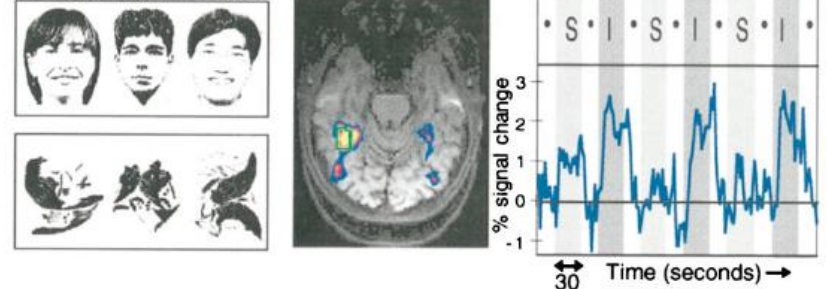
3a. Faces > Objects



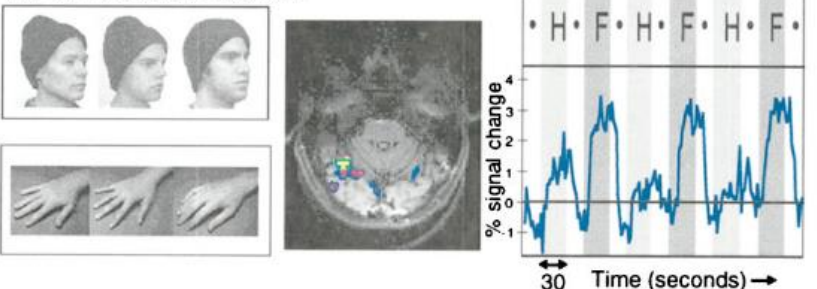
4a. Faces > Objects



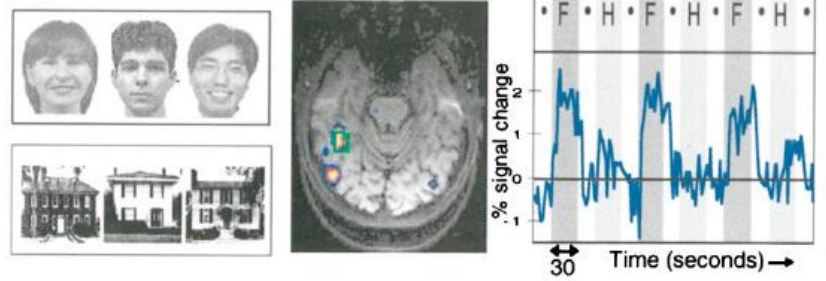
3b. Intact Faces > Scrambled Faces



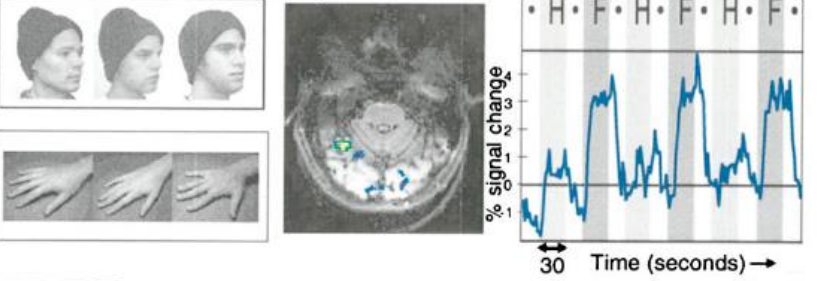
4b. 3/4 Faces > Hands



3c. Faces > Houses



4c. 3/4 F > H (1-back)



Localisation de la FFA

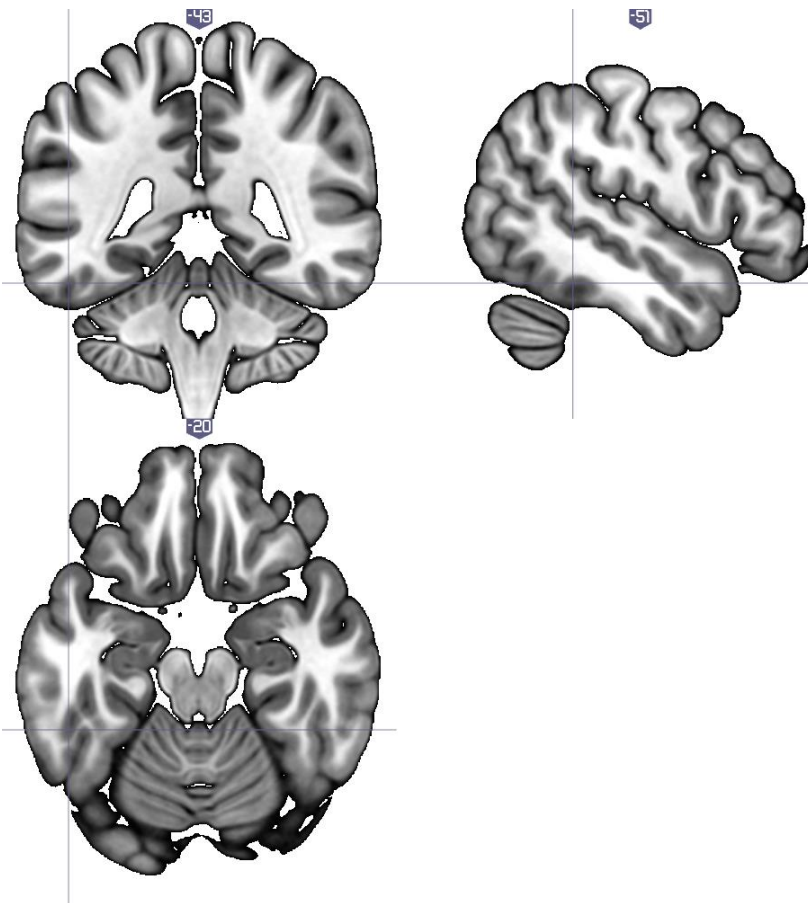
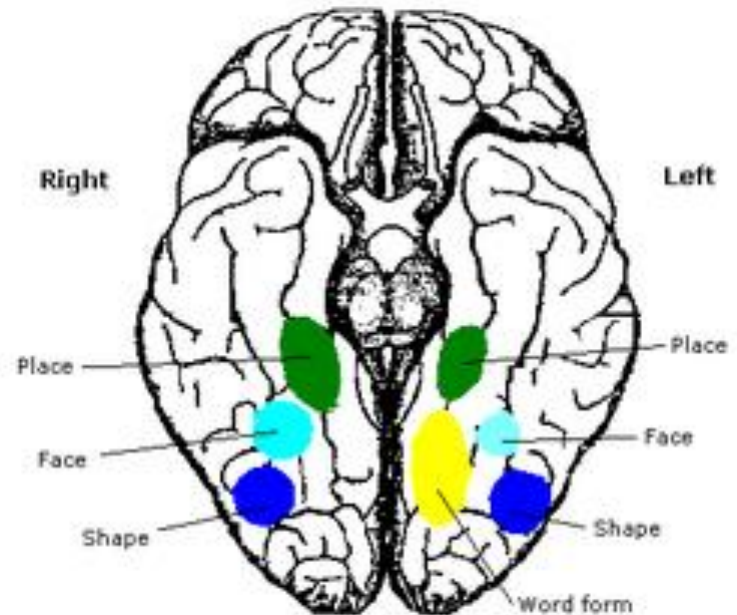


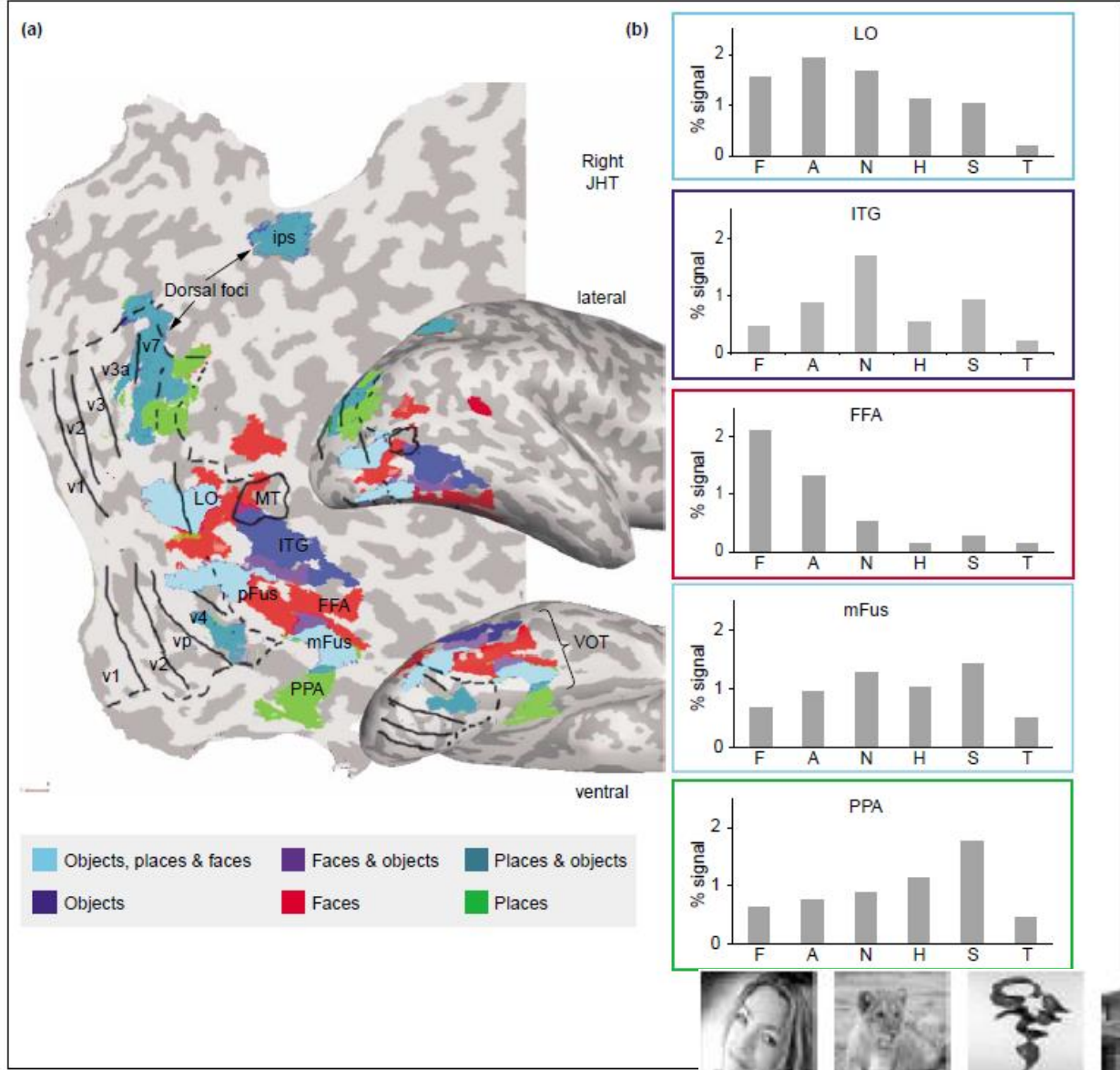
Figure 6

Face-selective regions (yellow) were defined as regions that respond more strongly to faces than to houses, cars, and novel objects ($p < 10^{-4}$). From Grill-Spector et al. 2004.



La reconnaissance des visages

Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la ToM ?



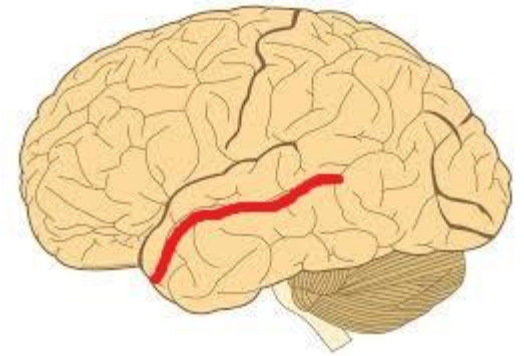
Certaines régions dans le cerveau semblent particulièrement sélective à la perception des visages. Il s'agit de la FFA (ou *Fusiform Face Area*) mais également d'autres régions **comme la partie postérieure du sillon temporal supérieur** qui fait également partie du réseau neural de la mentalisation.

Type de stimuli utilisés

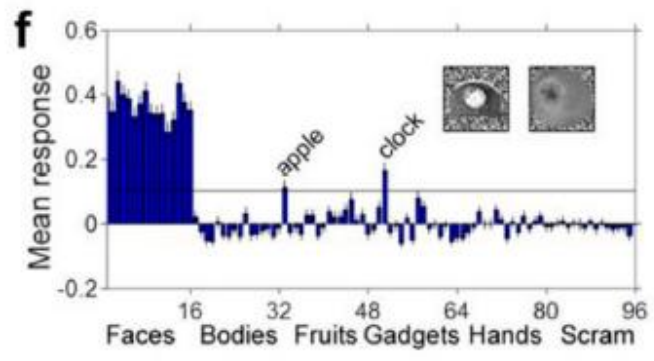
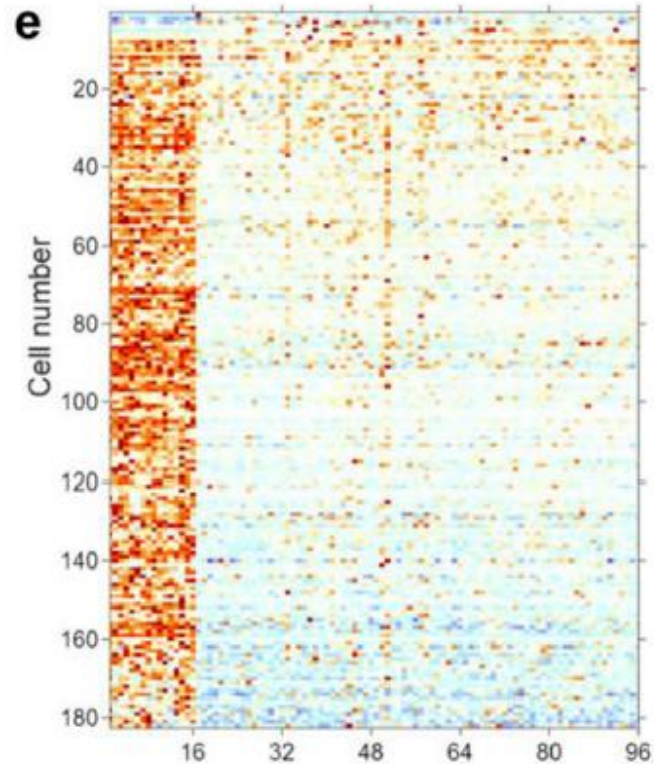
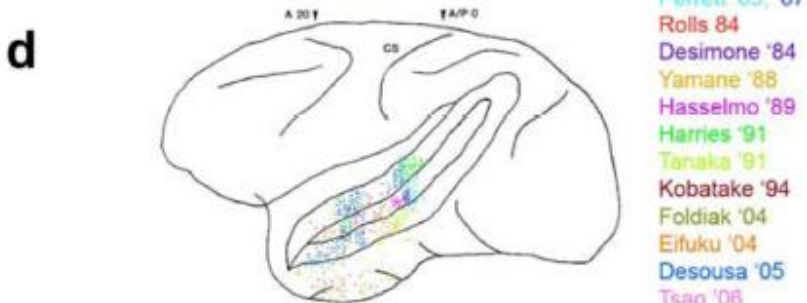
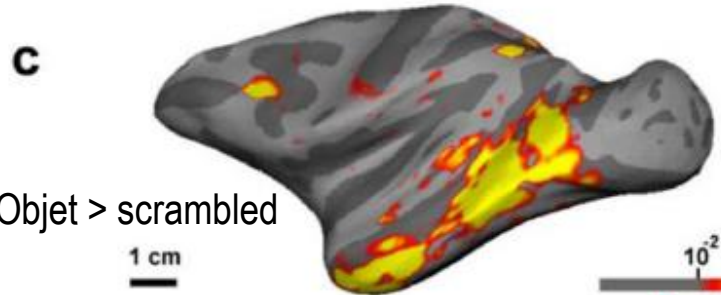


Grill-Spector et al. (2003)

Localisation de la partie supérieur du sillon temporal droit

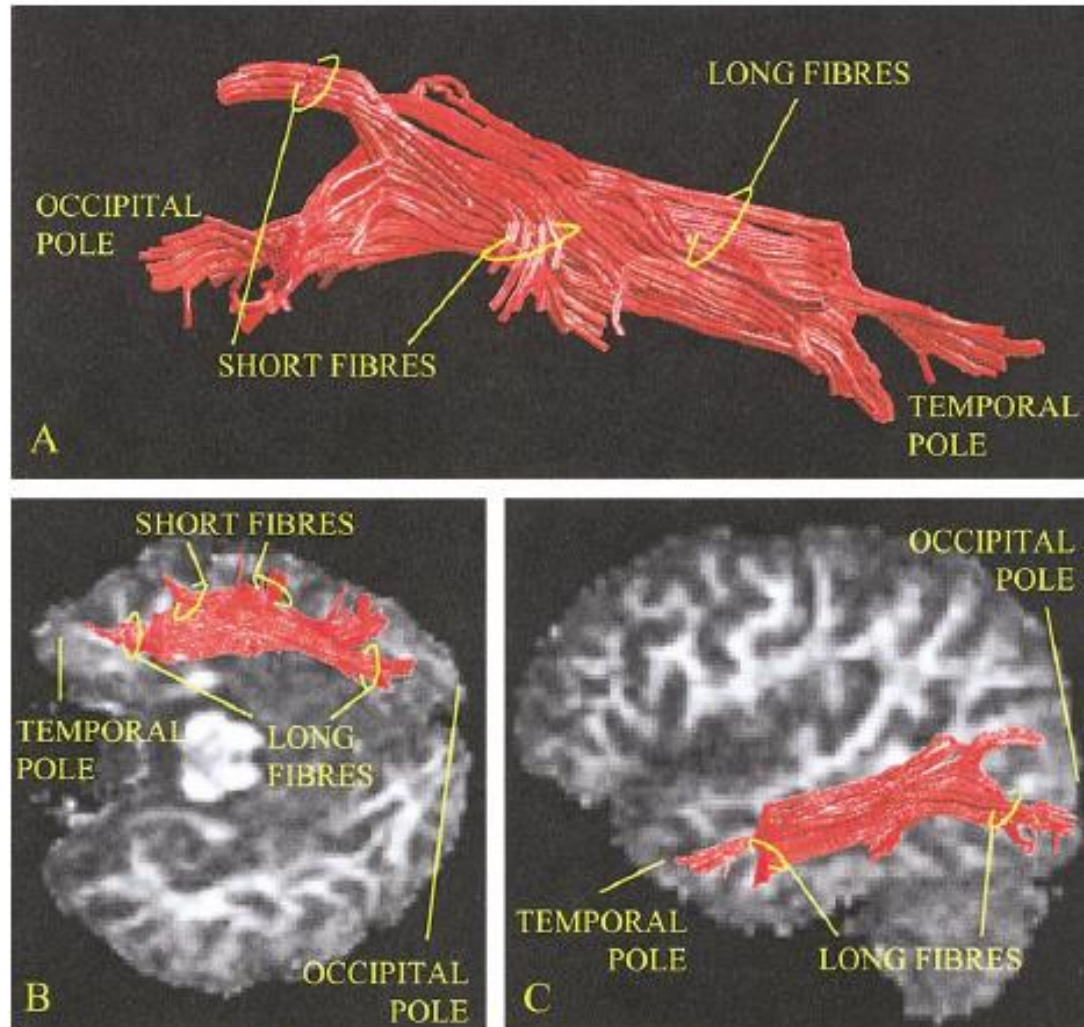


La reconnaissance des visages



Cellules répondant spécifiquement aux visages

Le faisceau longitudinal inférieur



Catani et al. (2002) *NeuroImage*

FIG. 6. The inferior longitudinal fasciculus (right hemisphere) runs through the temporal lobe, connecting the temporal pole with the occipital pole (long fibers). The short fibers emerge from nonpolar temporal and occipital areas and connect neighboring gyri. (A) Lateral view of the parasagittal projection; (B) superior view of the transversal section; (C) medial view of the parasagittal section.

Le système de projection occipito-temporal

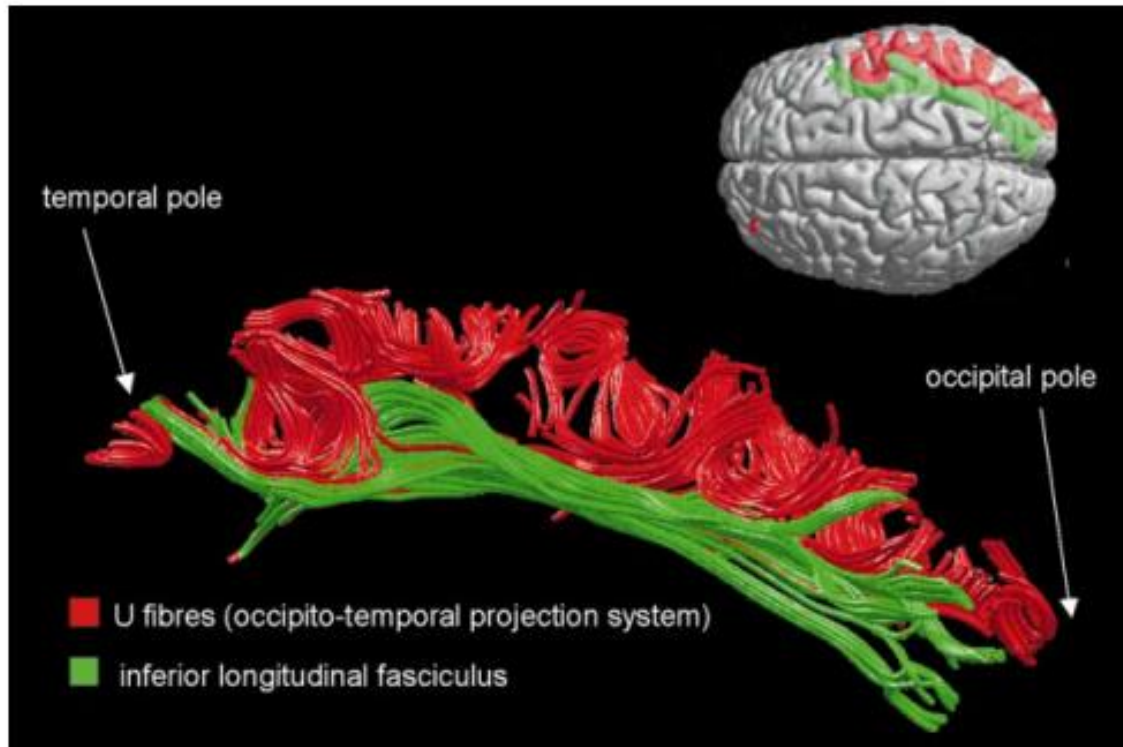


Fig. 8 The ILF (green) and U-shaped fibres (red) of the right hemisphere in a single brain data set. U-shaped fibres are located laterally to the ILF and connect the adjacent gyri of the lateral occipito-temporal cortices to form the occipito-temporal projection system.

Le SPOT est composé de fibres courtes en U reliant les Aires adjacentes du cortex occipital et temporal

Le système de projection occipito-temporale

Le faisceau longitudinal inférieur et les autres connexions

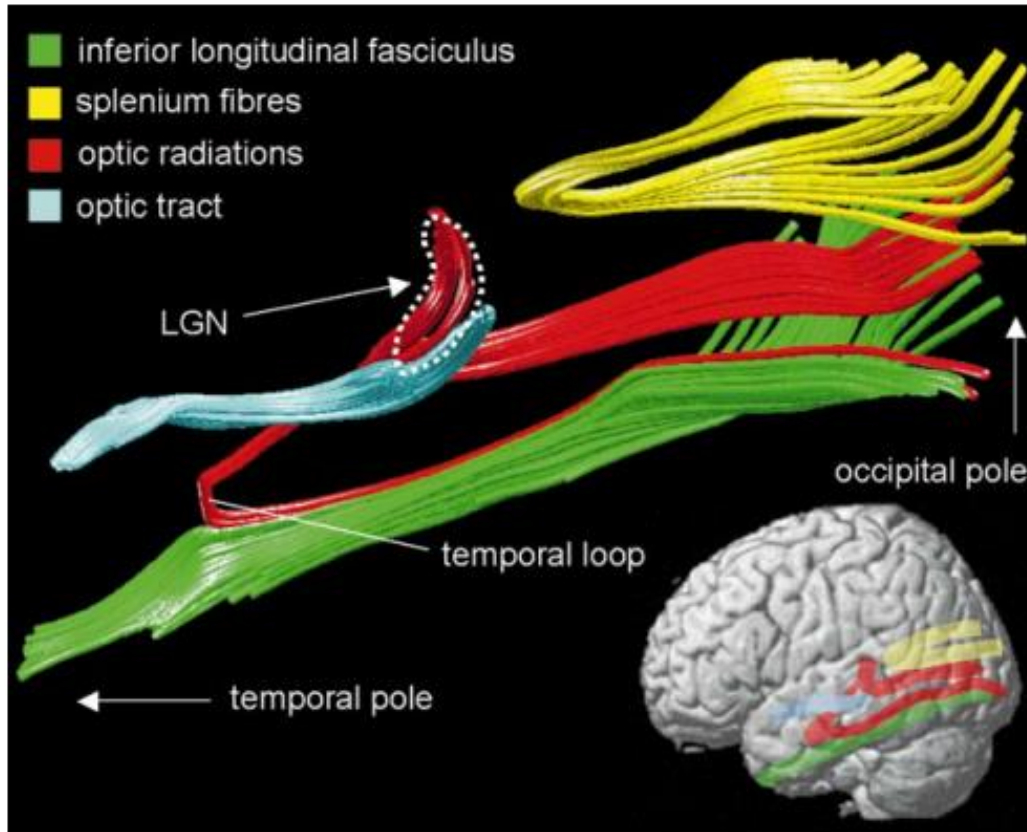


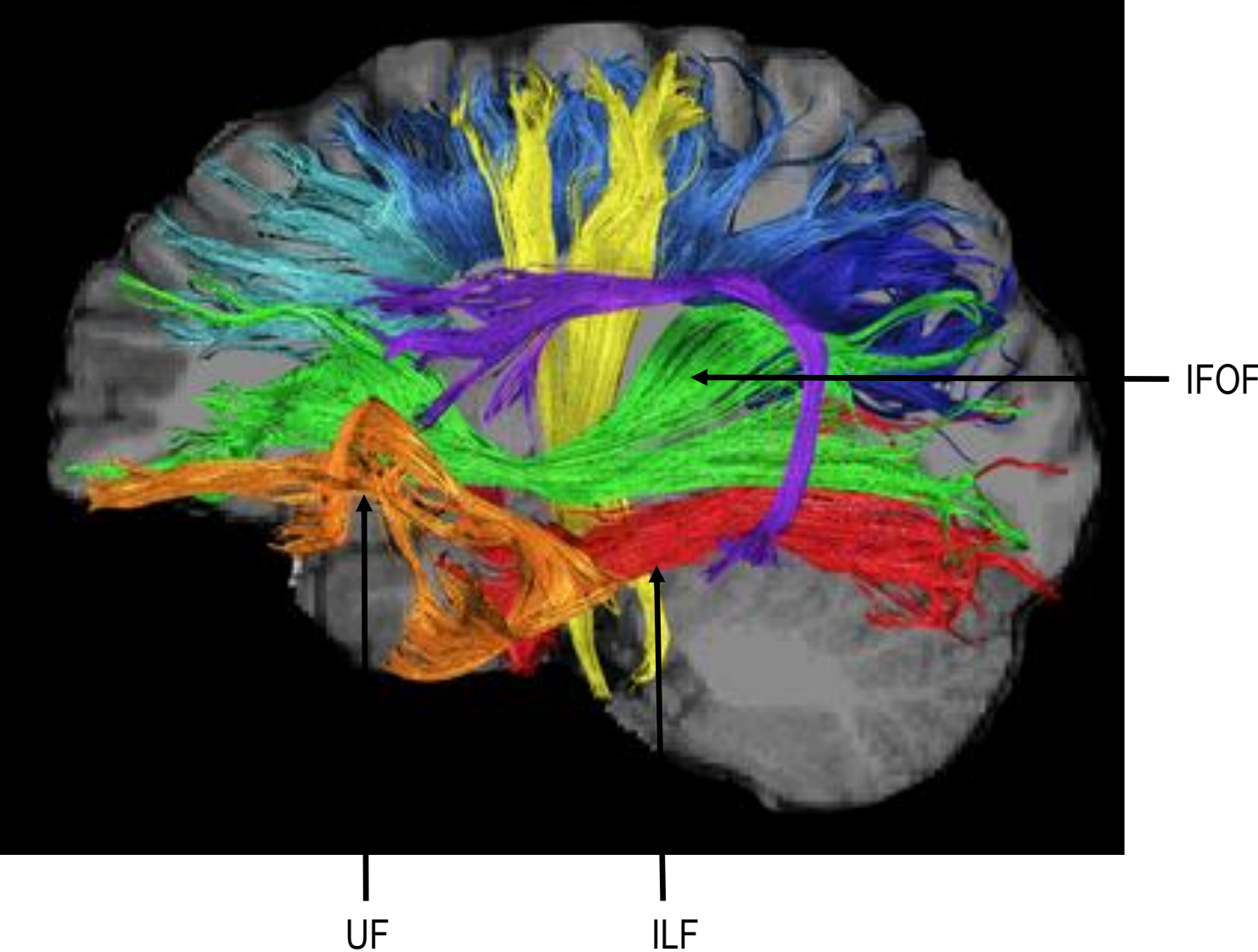
Fig. 2 Virtual *in vivo* dissection of the ILF and visual pathway of the right hemisphere (medial view) in the average brain data set. Splenial fibres connecting medial occipital regions are also shown. See text for explanation.

Le FLS connecte les aires occipitales aux aires temporales Inférieures, au niveau du pôle

Il passe dans les profondeurs du gyrus temporal inférieur

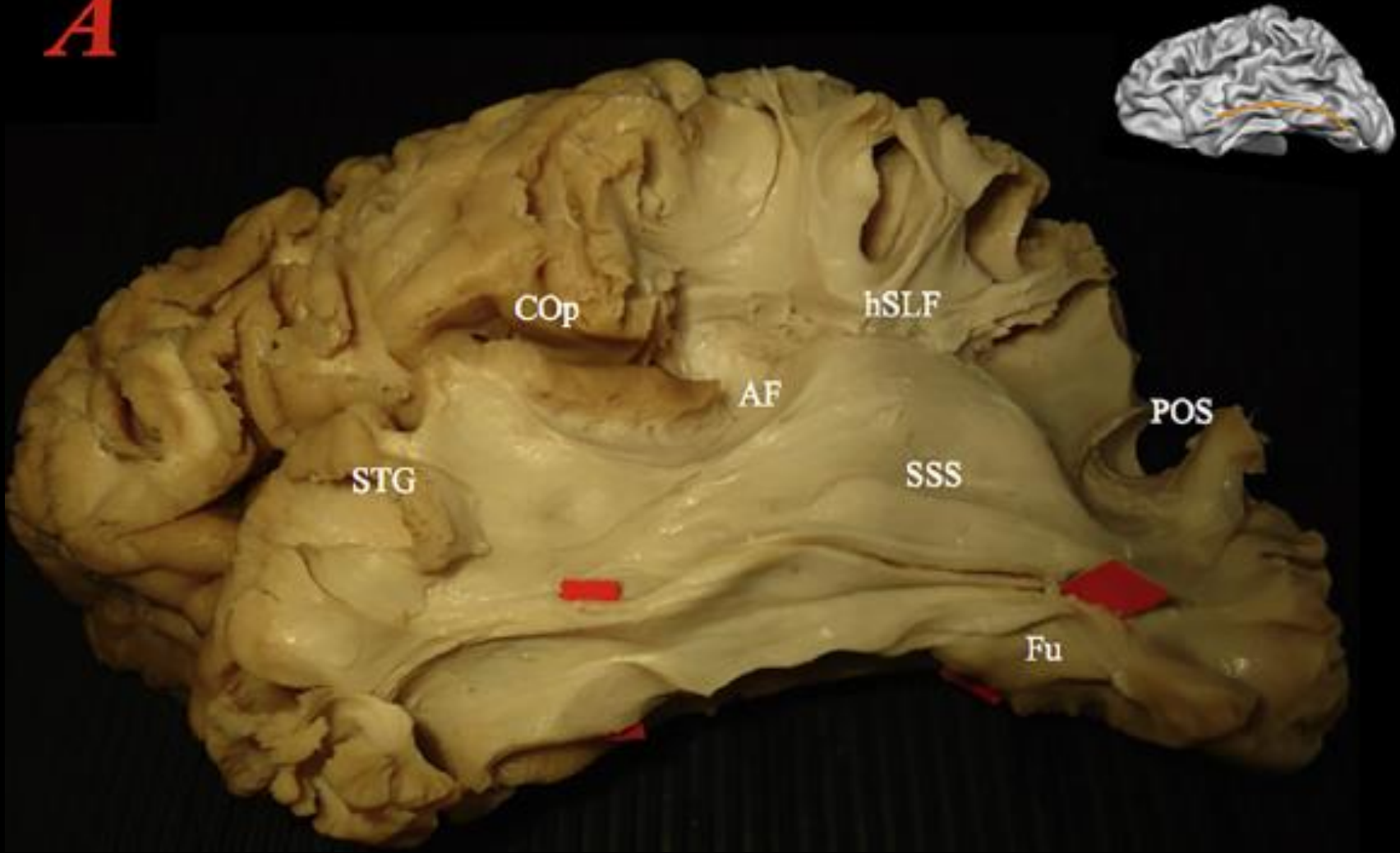
Le faisceau longitudinal inférieur (vert)

Positionnement spatial des autres faisceaux

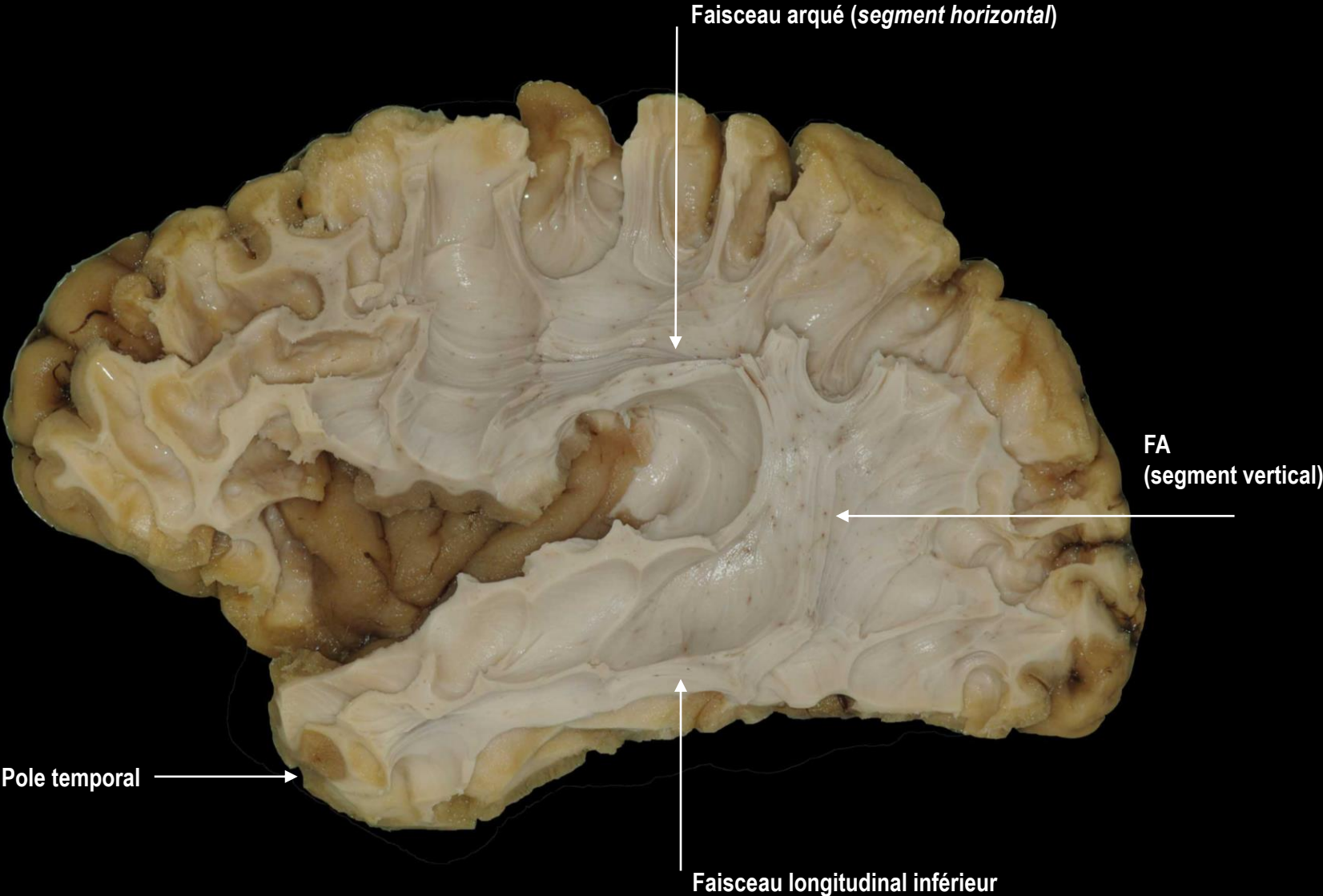


Dissection de la face latérale du cerveau avec mise en évidence des connexions de l'ILF

A

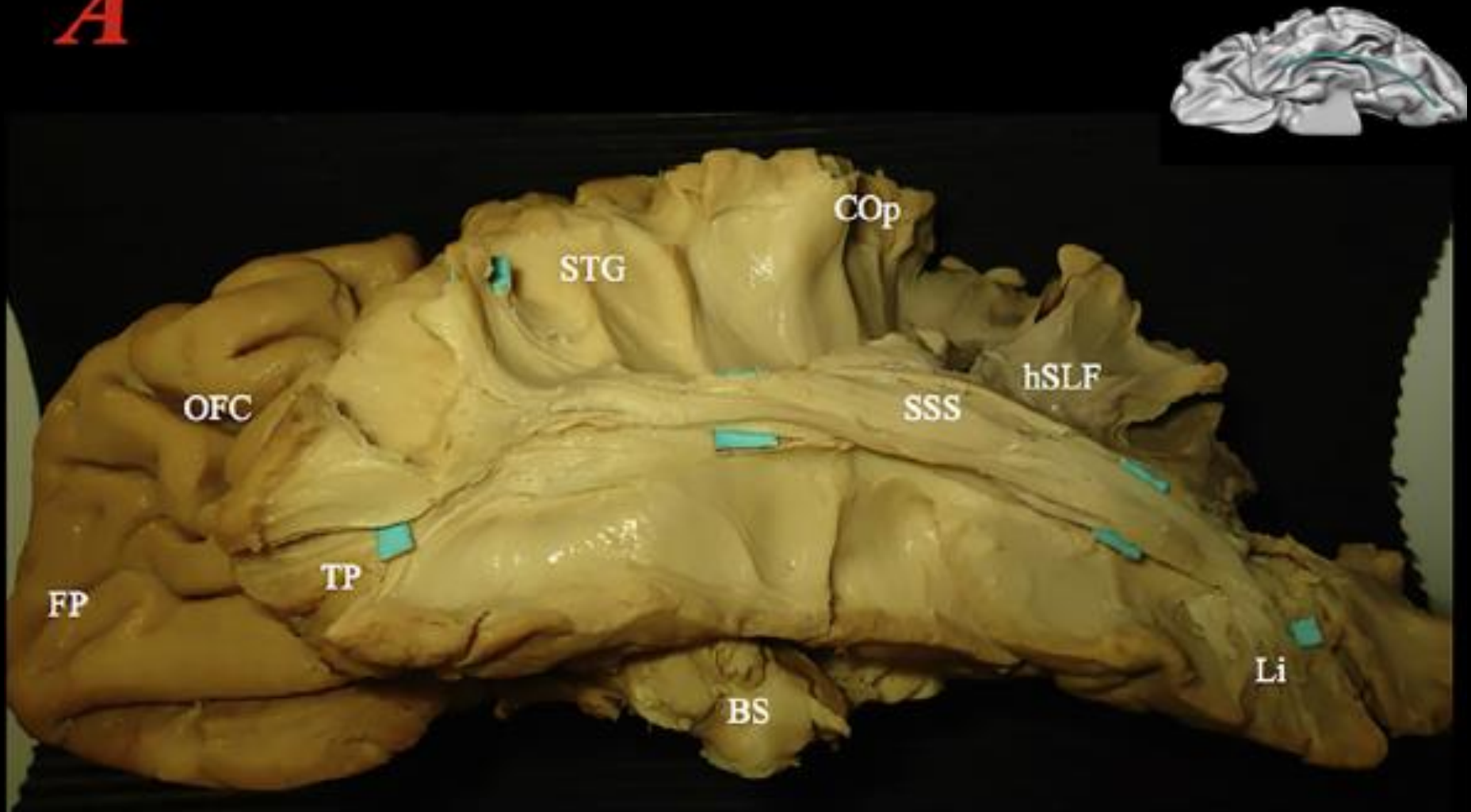


Dissection de la face latérale du cerveau avec mise en évidence des connexions de l'ILF

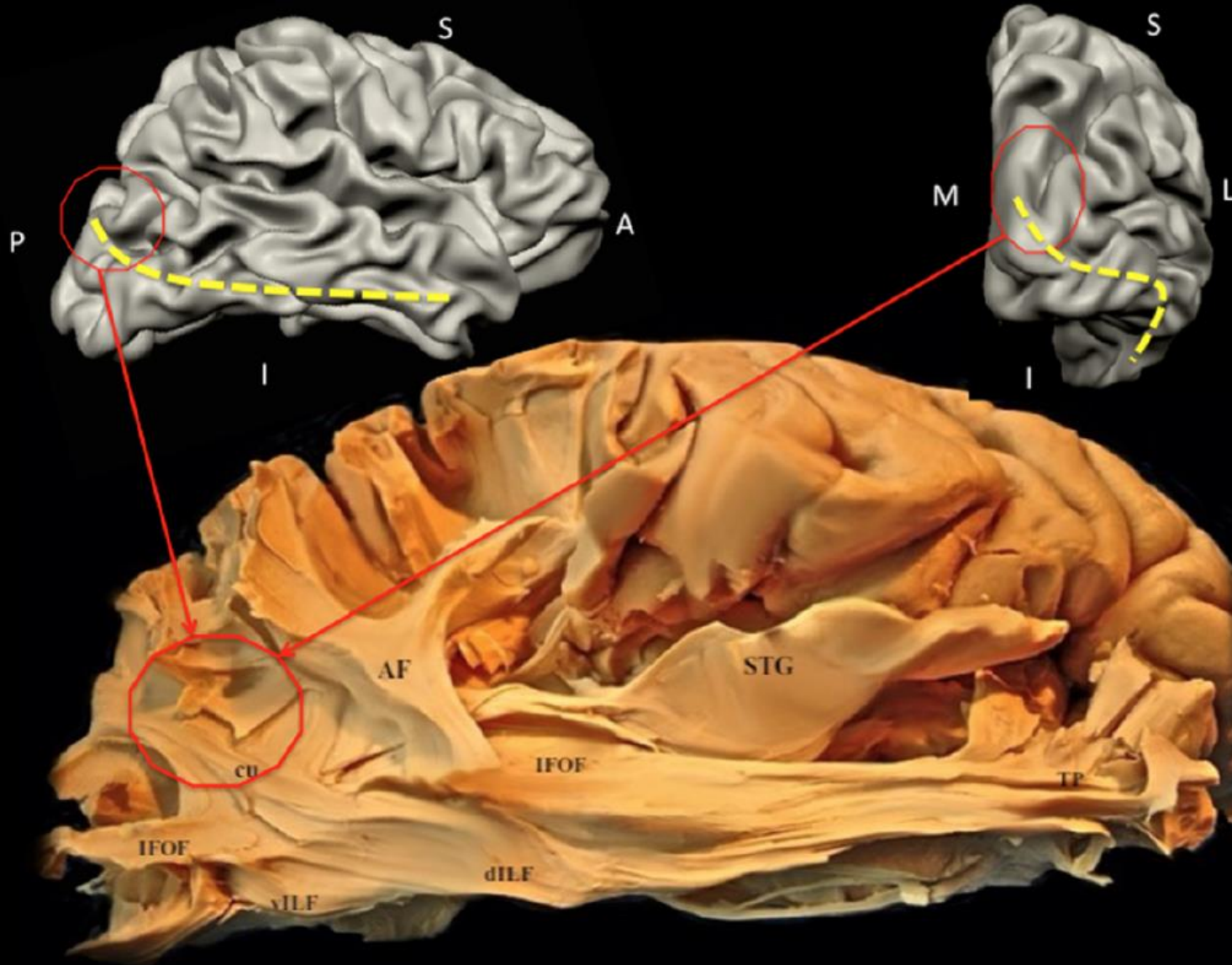


Dissection de la face ventrale du cerveau avec mise en évidence des connexions de l'ILF

A

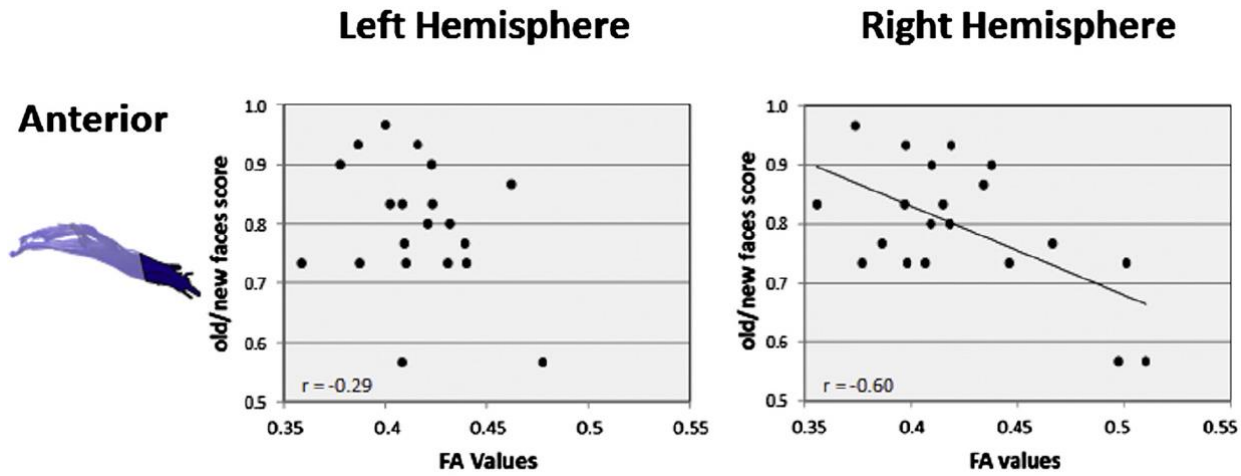


Position topologique de l'ILF par rapport aux autres connexions associatives passant dans le lobe temporal



La reconnaissance des visages

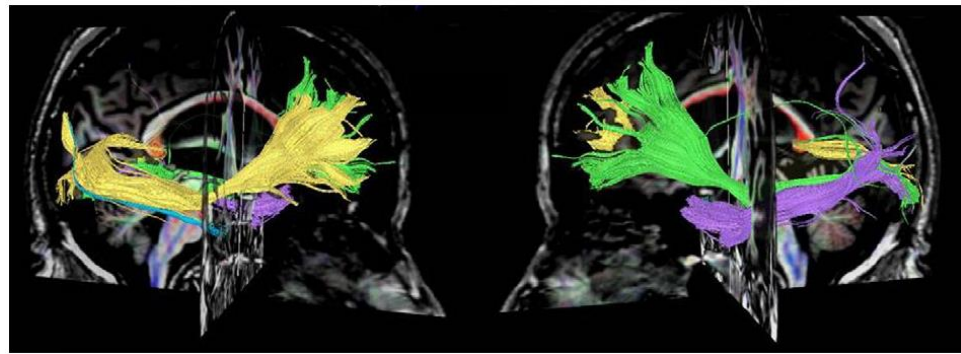
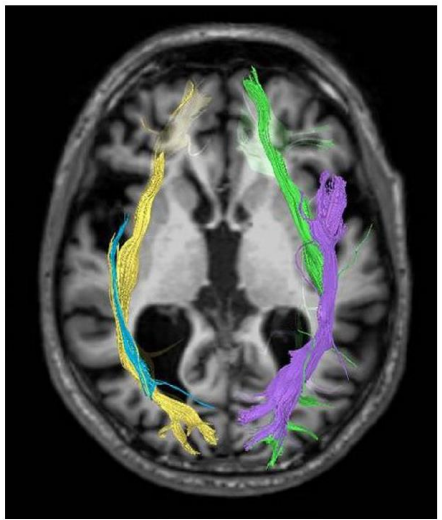
Tavor et al. (2014) *Neuroimage*



Les propriétés microstructurales de faisceau longitudinal inférieur sont corrélées avec les performances en reconnaissance des visages chez sujets normaux



Grossi et al. (2014) *Cortex*



Le faisceau longitudinal inférieur est sévèrement atrophié dans la prosopagnosie développementale.

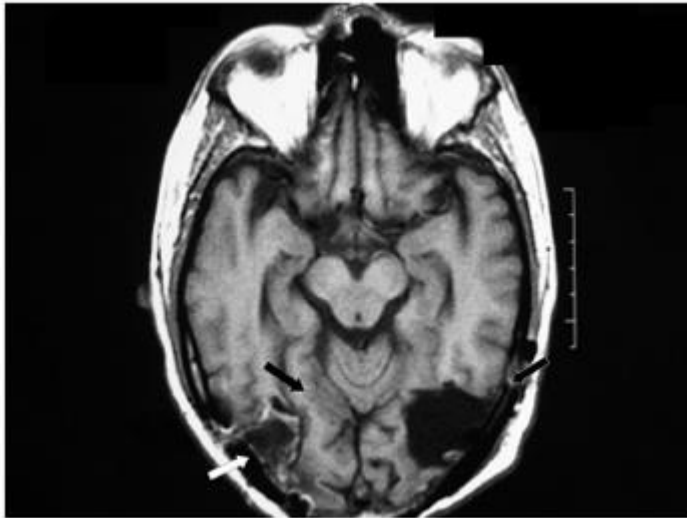
Fig. 2 – Axial sections and lines tractography. LILF is in purple, RILF is in light blue, LIFO is in green, RIFO is in yellow.

La reconnaissance des visages



Prosopagnosie :

Incapacité de reconnaître l'identité d'un visage en modalité visuelle, la reconnaissance de la personne en elle-même étant possible grâce à d'autres indices (la voix de la personne, sa démarche, son odeur, etc).



Exemple d'un patient avec une double lésion du gyrus fusiforme (jonction occipito-temporale), montrant une prosopagnosie.

La reconnaissance des visages

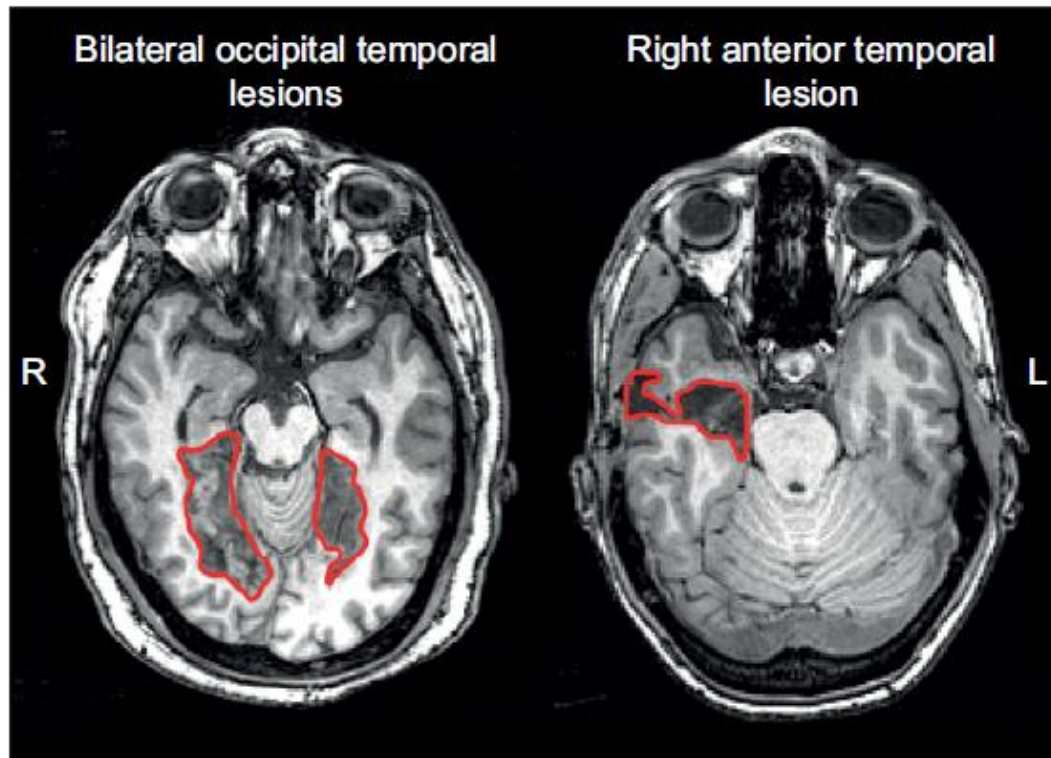


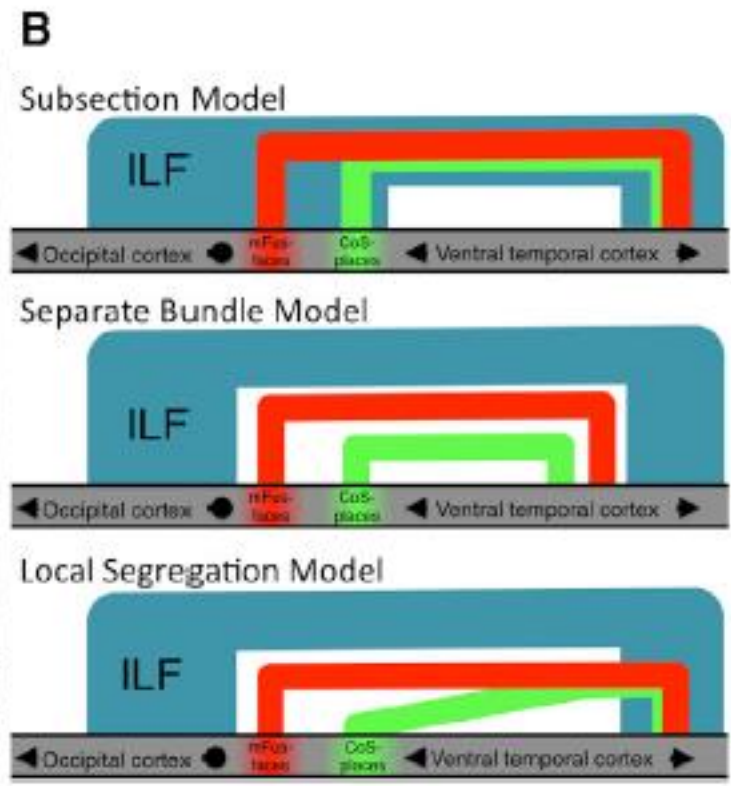
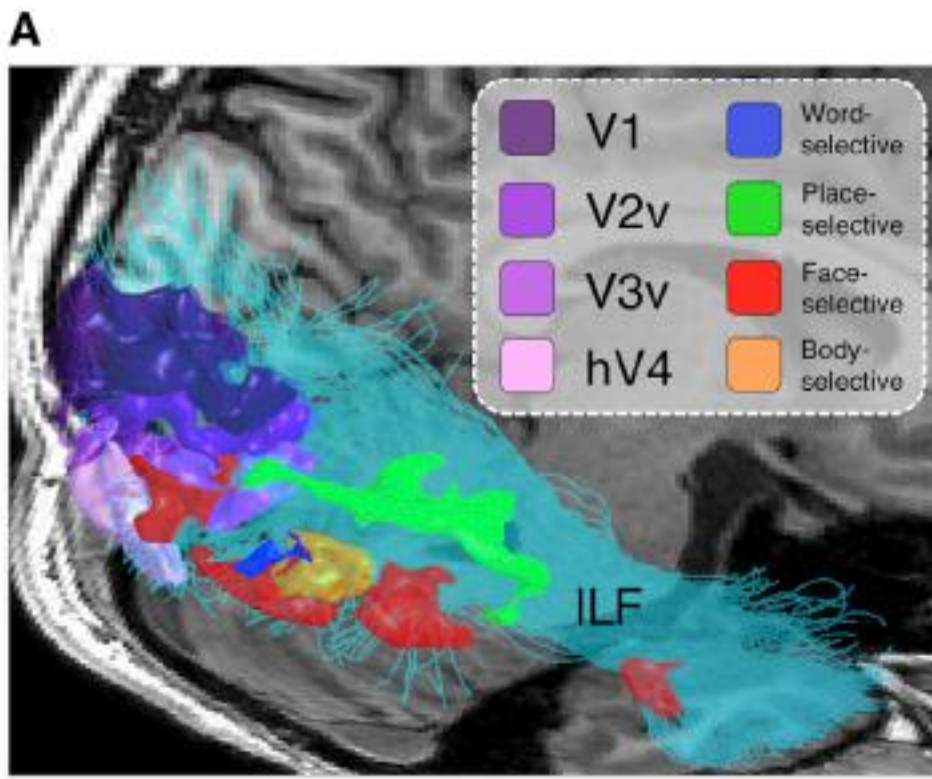
Figure 3 Examples of lesions that produce acquired prosopagnosia.

Notes: Approximate lesions, as can be seen on a single slice, are outlined in red. Patients with bilateral occipital temporal lesions (left) often experience apperceptive prosopagnosia and those with anterior temporal lesions (right) often experience associative prosopagnosia. These cases demonstrate that acquired prosopagnosia is a family of disorders with different mechanisms and different lesion locations that lead to the same end result of prosopagnosia.

Les **lésions temporales antérieures** sont plutôt associées à la prosopagnosie dite associative.
(ce qui pose problème est l'association du visage à un nom)

Les **lésions postérieures** sont plutôt associées à une prosopagnosie dite aperceptive.
(ce qui pose problème est le processus de reconnaissance en lui-même).

La reconnaissance des visages



Le faisceau longitudinal inférieur traverse un ensemble de régions corticales impliquées dans la reconnaissance des « objets » au sens large, et des visages en particulier.

La reconnaissance des visages

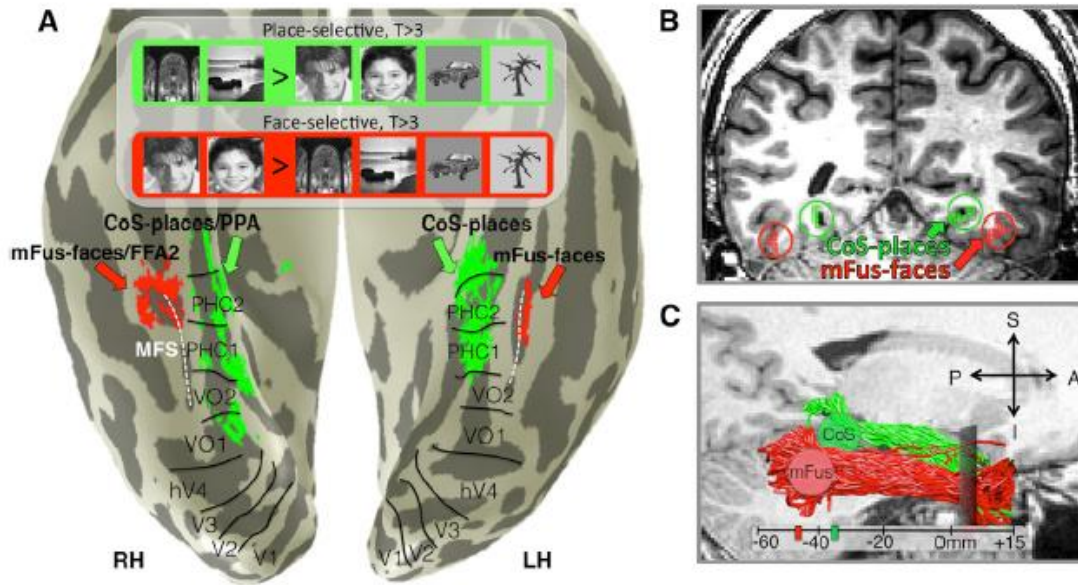


Figure 2. Functionally Defining White-Matter Tracts by Combining fMRI and DWI

(A) Example adult cortical surface depicting mFus-faces/FFA-2 (red, faces > places and objects, $p < 0.001$, voxel level) and CoS-places/PPA (green, places > faces and objects, $p < 0.001$, voxel level). Boundaries of retinotopic regions are indicated in black. Dashed white indicates mid fusiform sulcus (MFS).

(B) A coronal slice from a different example adult indicating mFus-faces/FFA-2, CoS-places/PPA as well as 6 mm spheres extending into white matter that were expanded from the center of each fROI to define mFus- and CoS-fibers.

(C) Functionally defined white matter (FDWM) was defined as all fibers intersecting the spheres as illustrated in (B) with the anterior anatomical plane where the temporal and frontal lobes separated (gray rectangular plane). Resulting mFus- and CoS-fibers of a representative subject with the average location of the mFus and CoS spheres across all subjects marked on the scale bar (zero is anterior commissure).

En utilisant l'imagerie fonctionnelle et l'imagerie de diffusion, les auteurs montrent que les fibres qui émanent du gyrus fusiforme (la région qui répond spécifiquement aux visages) appartiennent au faisceau longitudinal inférieur.

La reconnaissance des visages

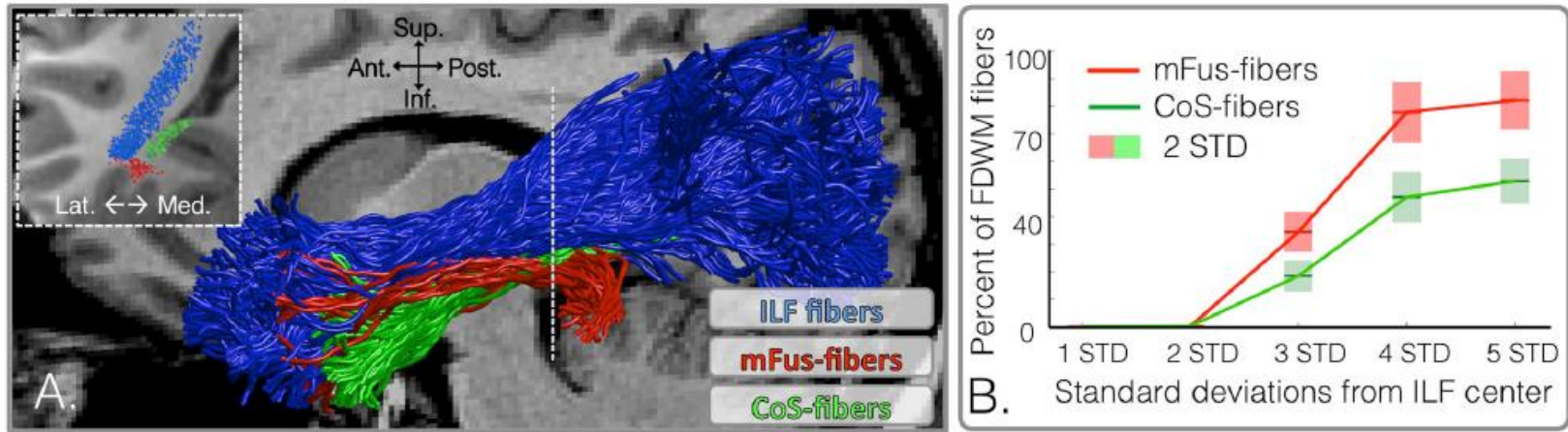
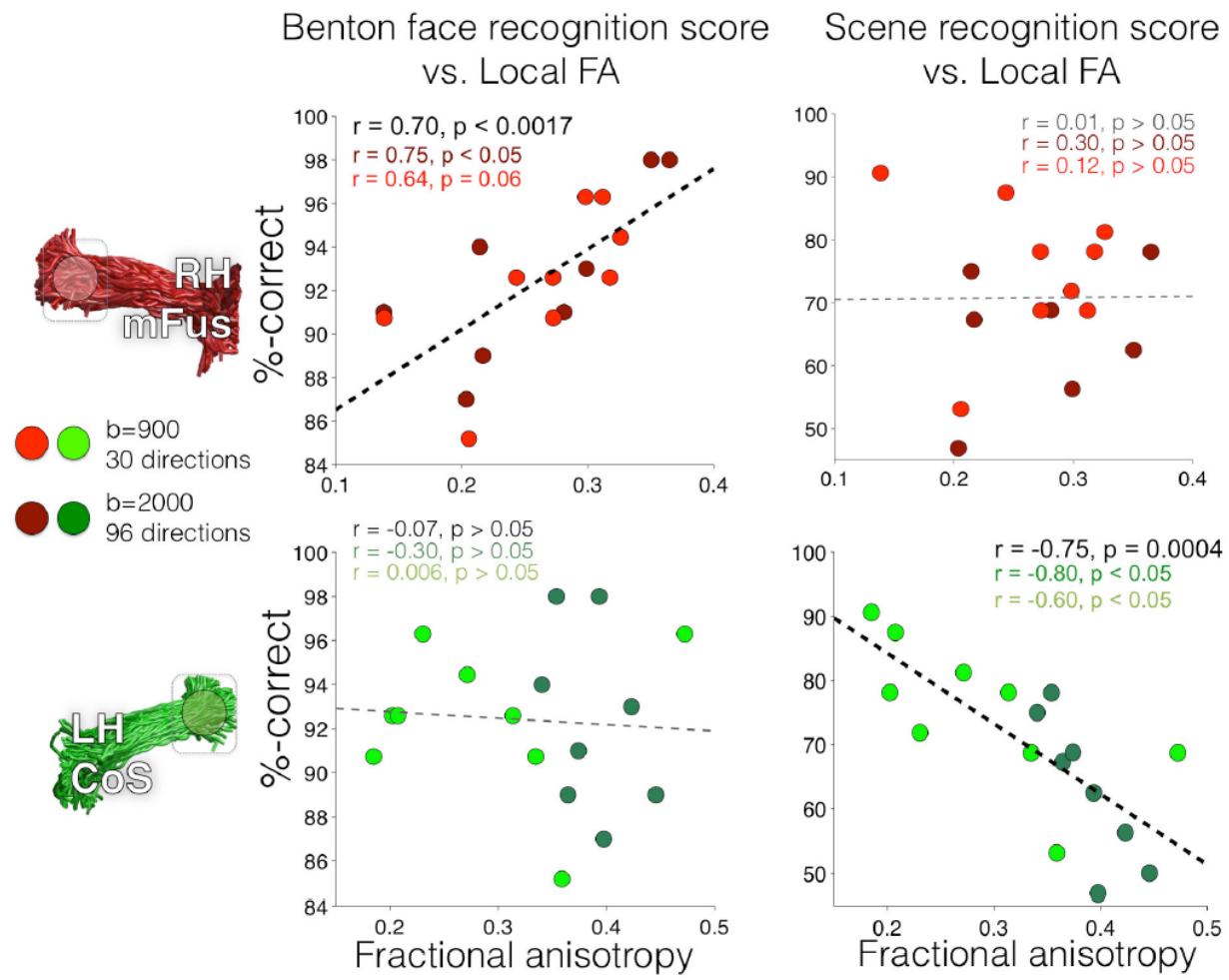


Figure 4. Arrangement of mFus-fibers and CoS-fibers relative to the ILF

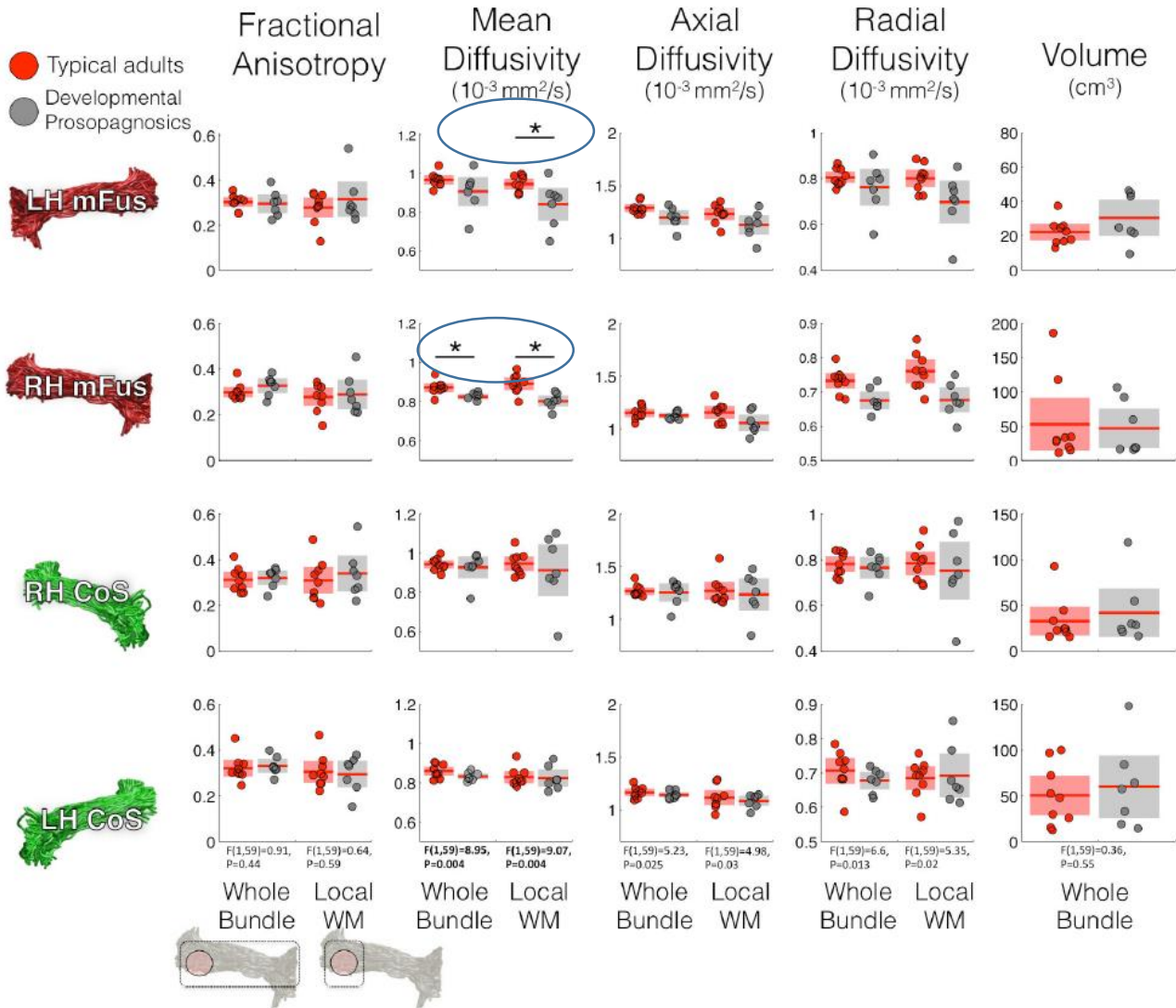
(A) A typical right ILF (blue) from an example subject alongside the tracts of mFus- (red) and CoS- (green) fibers. (B) The percentage of mFus- and CoS-fibers encountered as a function of distance from the Euclidean center of the ILF. 95% of ILF fibers are within 2 standard deviations (STD) of its center and 99.7% of the fibers are 3 STD from the center. Shaded areas indicate 2 STDs across subjects.

La reconnaissance des visages



Les performances en reconnaissance des visages sont corrélées aux mesures d'intégrité des fibres les plus basales et latérales du FLI droit.

La reconnaissance des visages



Ces fibres basales et latérales du FLI droit sont particulièrement dysfonctionnelles dans la prosopagnosia développementale.

La reconnaissance des visages

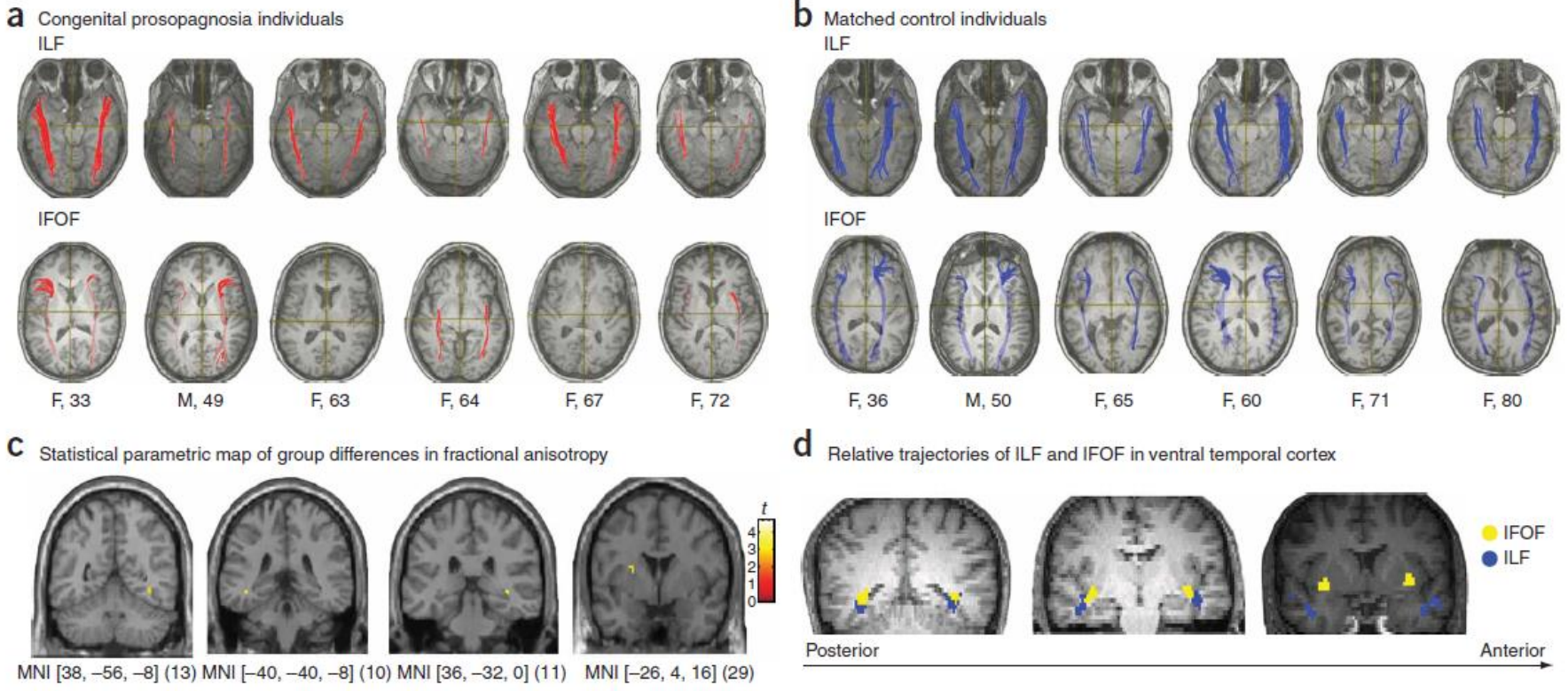
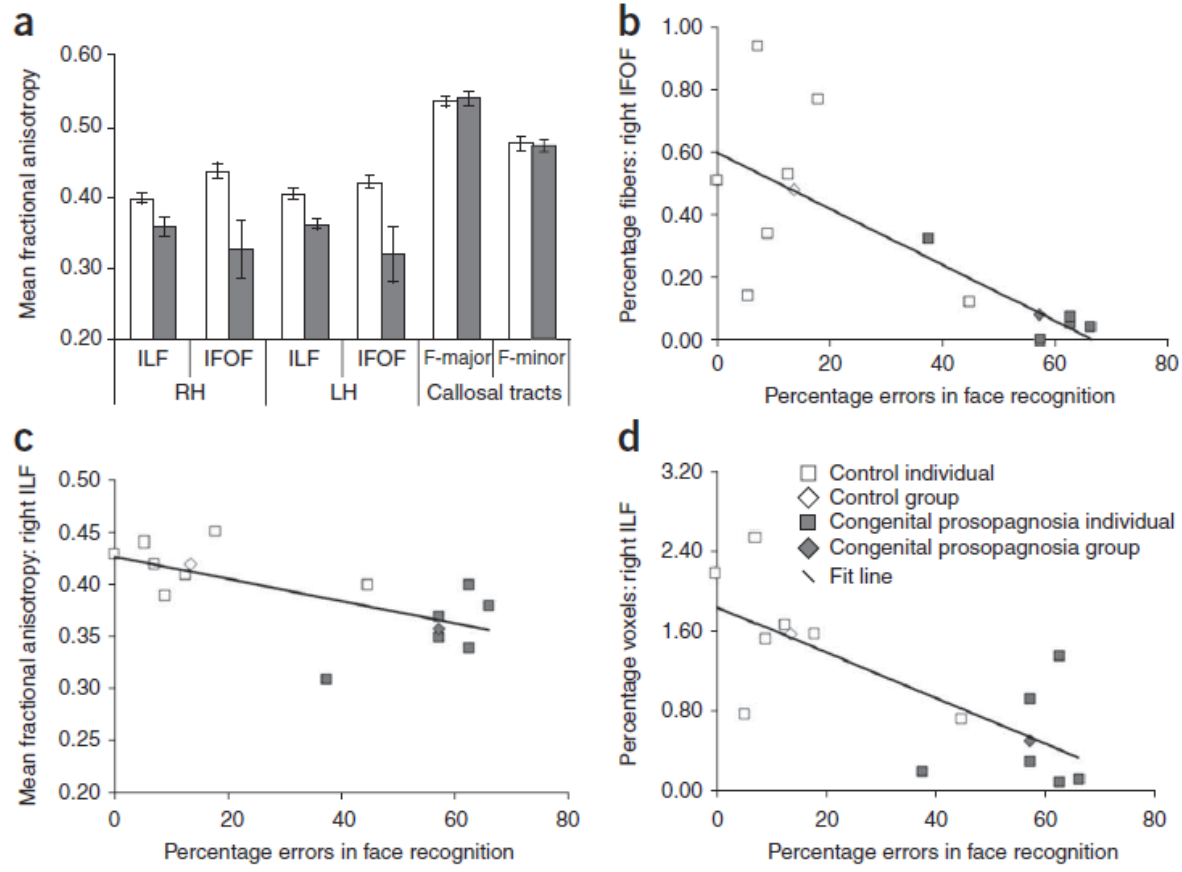


Figure 1 Tractography reveals a profound alteration in the structural integrity of the ILF and the IFOF in individuals with congenital prosopagnosia compared with their matched controls. Further analyses confirmed a reduction in the microstructural integrity of white matter along the trajectory of the ILF and IFOF in both hemispheres. (a,b) Axial slices showing the bilateral ILF and the IFOF in individuals with congenital prosopagnosia and their matched controls. The gender and age of each individual with congenital prosopagnosia and their matched control is indicated below each slice. (c,d) The whole-brain voxel-wise fractional anisotropy analysis revealed a reduction in fractional anisotropy (c) in four regions along the trajectory (d) of the ILF (blue) and IFOF (yellow) in the congenital prosopagnosia group. Montreal Neurological Institute (MNI) coordinates and the number of voxels are provided below each image. All images are displayed in neurological convention.

La reconnaissance des visages



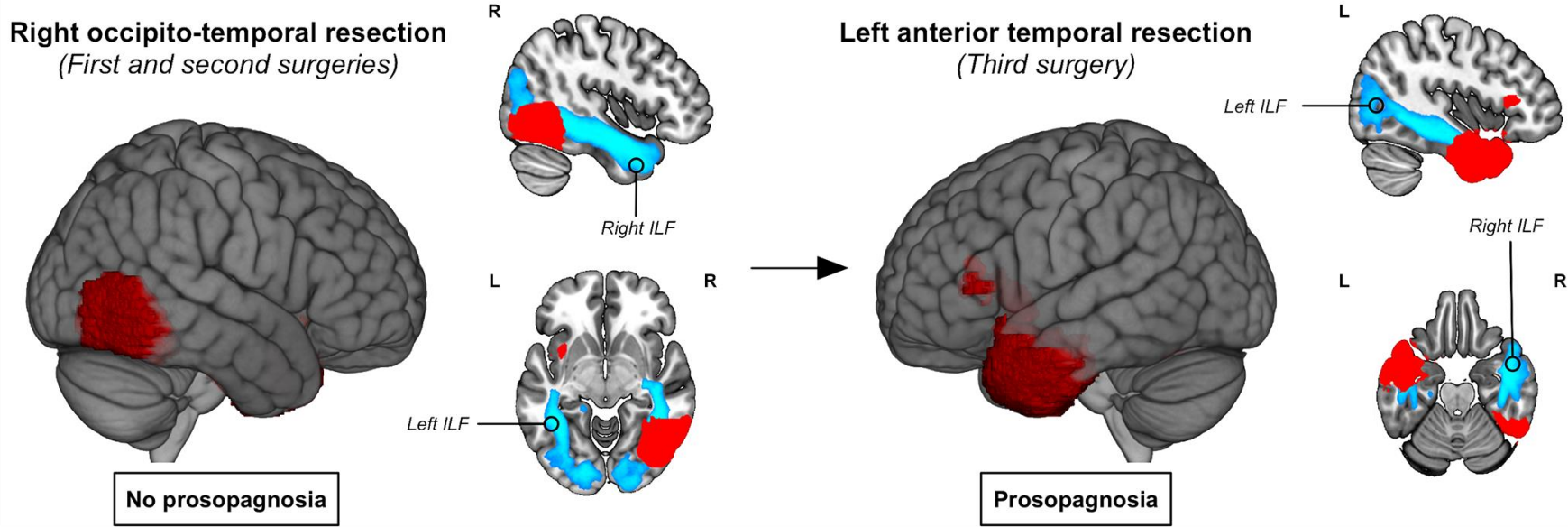
L'intégrité du FLI et FOFI est comprise et ce dans l'hémisphère gauche et droit.

Les mesures d'intégrité de FLI droit sont corrélées aux performances en reconnaissance des visages.

Figure 2 The relation between alterations in structural connectivity in ventral occipito-temporal cortex and poor face-recognition ability. (a) The congenital prosopagnosia group showed a reduction in the microstructural integrity of the bilateral ILF and IFOF, but not in the two callosal tracts. LH, left hemisphere; RH, right hemisphere. (b) A reduction in the percentage of fibers in the right IFOF was associated with an increase in errors in face recognition. (c,d) Similarly, a reduction in the mean fractional anisotropy (c) and percentage of voxels (d) in the right ILF were also associated with an increase in errors in face recognition. Error bars indicate s.e.m.

La reconnaissance des visages

Corrivetti, Herbet, Moritz-Gasser and Duffau (2017) *World Neurosurg*

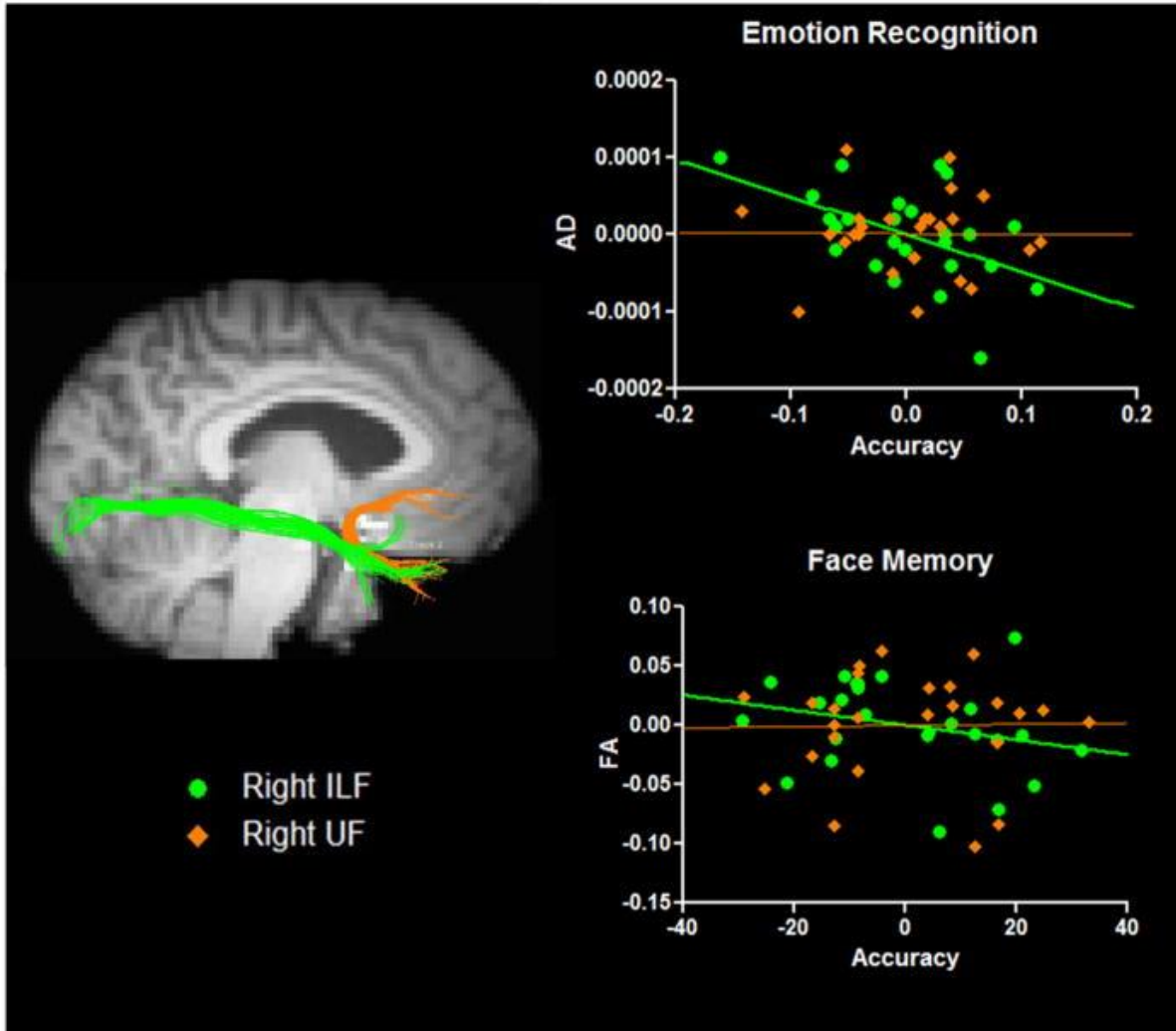


Compensation fonctionnelle du réseau occipito-temporal controlatéral.
(Absence de prosopagnosie)

Décompensation fonctionnelle
(prosopagnosie)

Une déconnexion bilatérale du FLI induit
une prosopagnosie sévère

ILF et reconnaissance des émotions basiques



Les performances en reconnaissance de émotions basiques sont liées aux propriétés microstructurales du FLI droit.

Les performances en mémoire des visages sont corrélées aux propriétés microstructurales du FLI droit.

ILF et hypo-émotivité

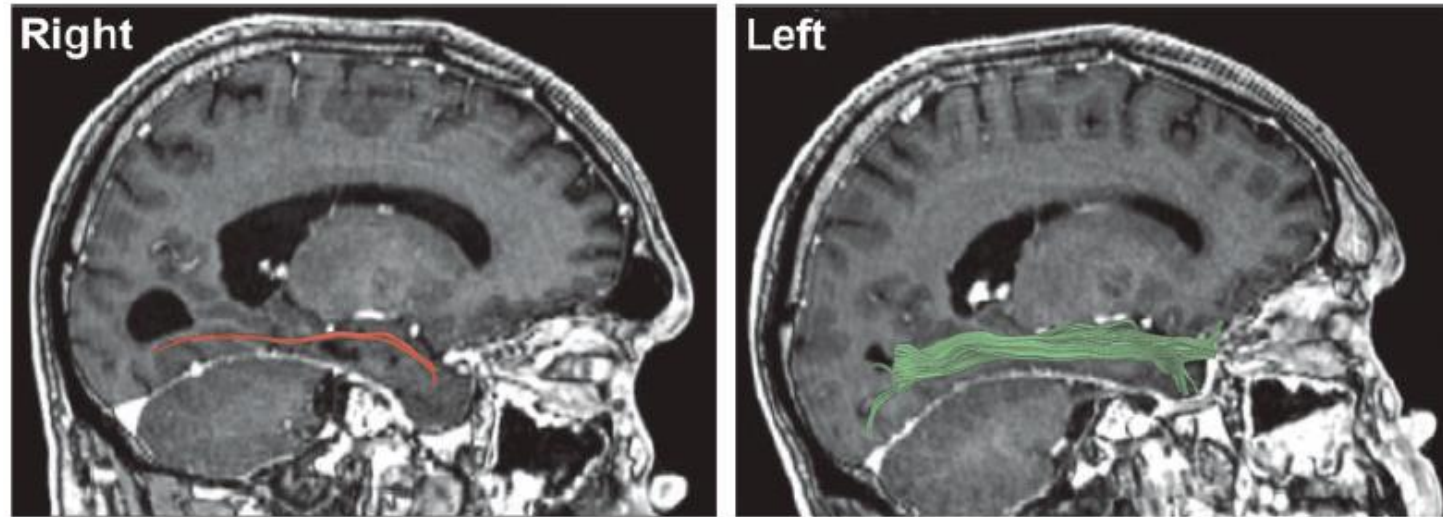
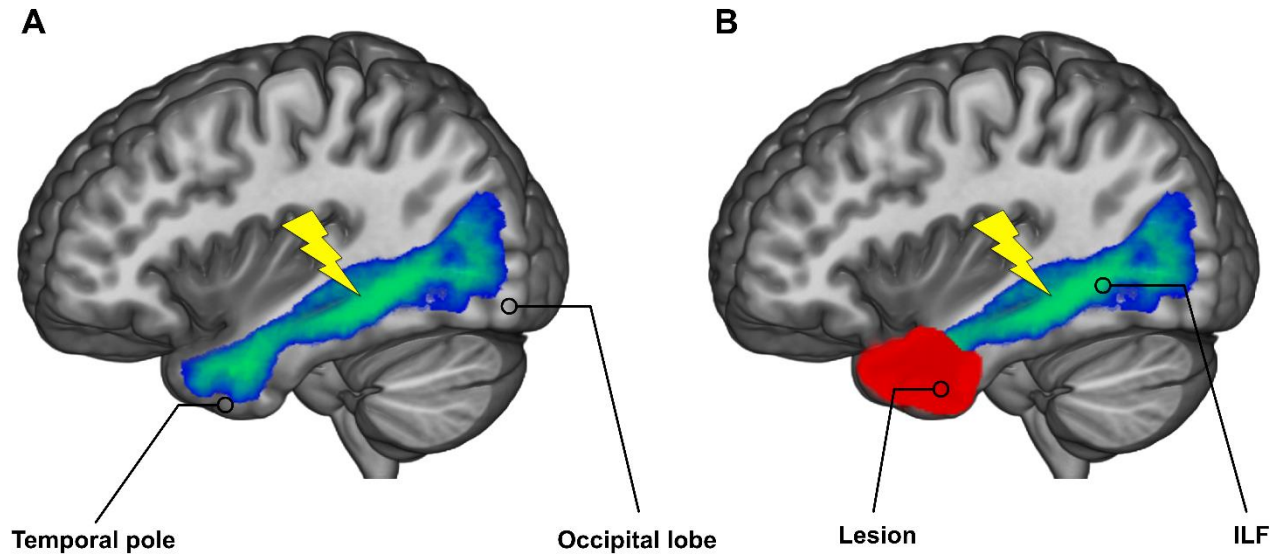


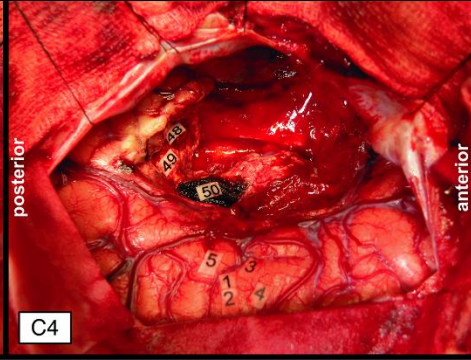
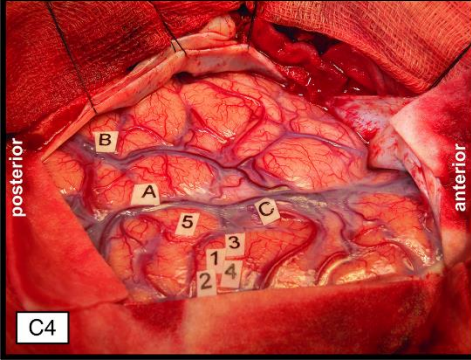
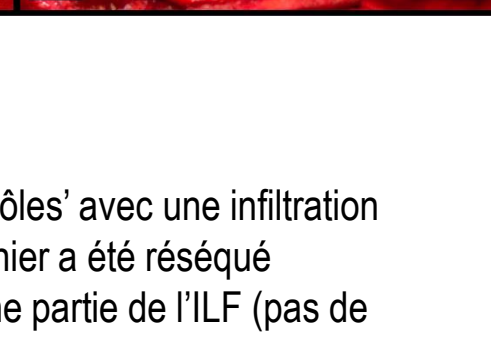
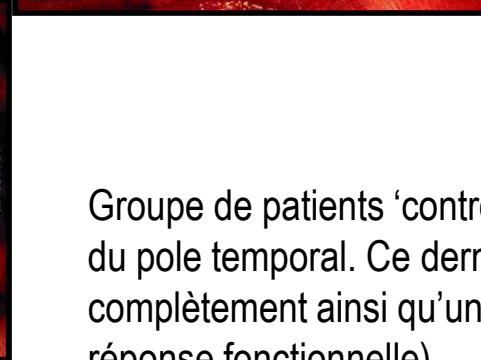
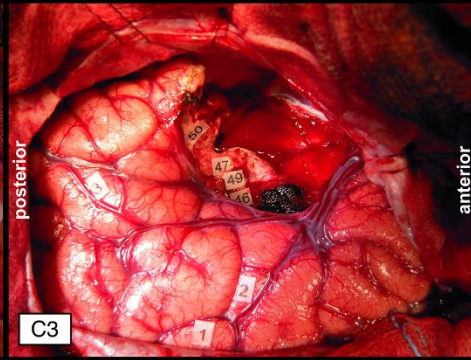
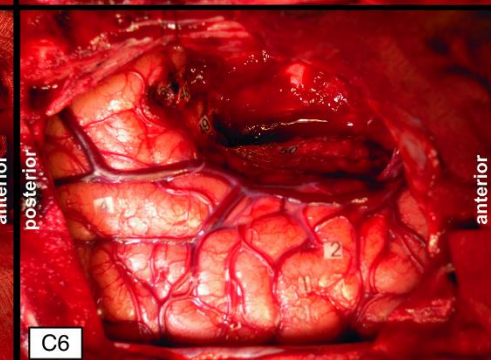
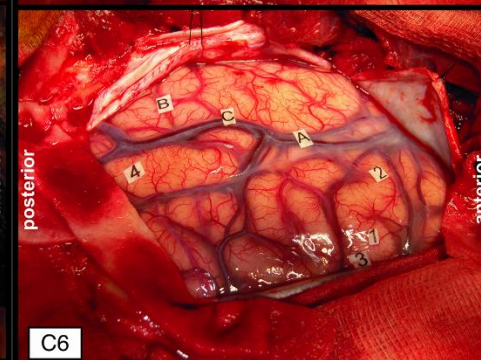
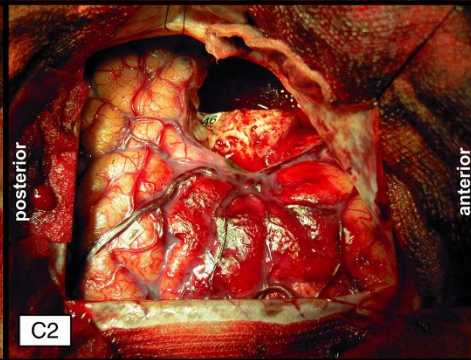
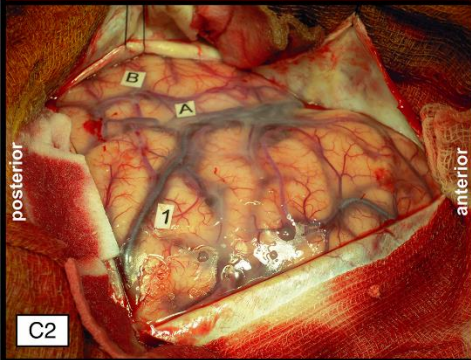
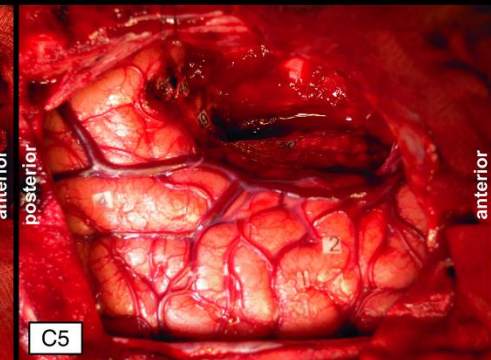
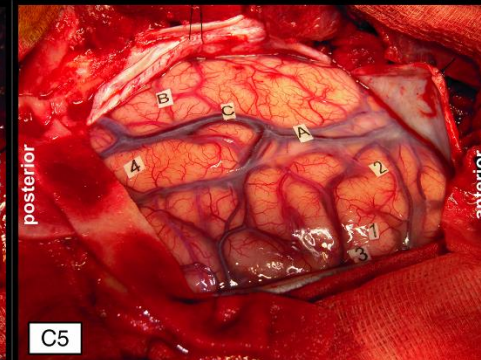
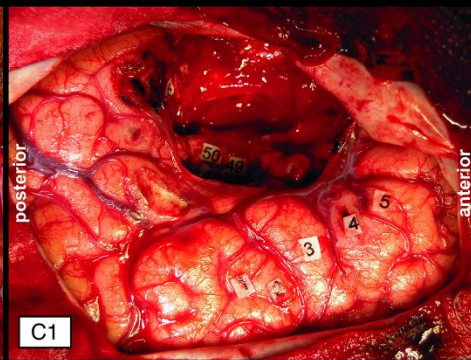
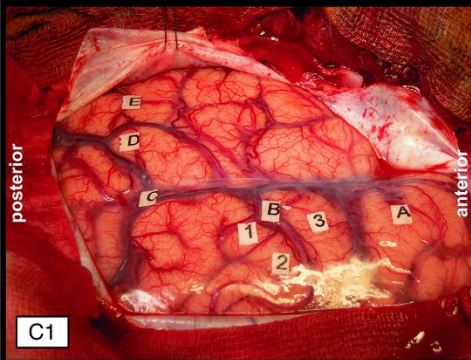
Fig. 4. Diffusion tensor imaging showed diminished structural integrity of the inferior longitudinal fasciculus in the right (lesioned) hemisphere, as compared to the left hemisphere.

Cas d'un patient qui va présenter, après une lésion hémorragique affectant le faisceau longitudinal droit, va présenter une hypo-émotivité (l'absence de réaction émotionnelle à des stimulations visuelles). Le mécanisme physiopathologique envisagé pourrait être une déconnexion de l'ILF qui permet la communication fonctionnelle entre l'ILF et l'amygdale

ILF et processus de récupération lexicale

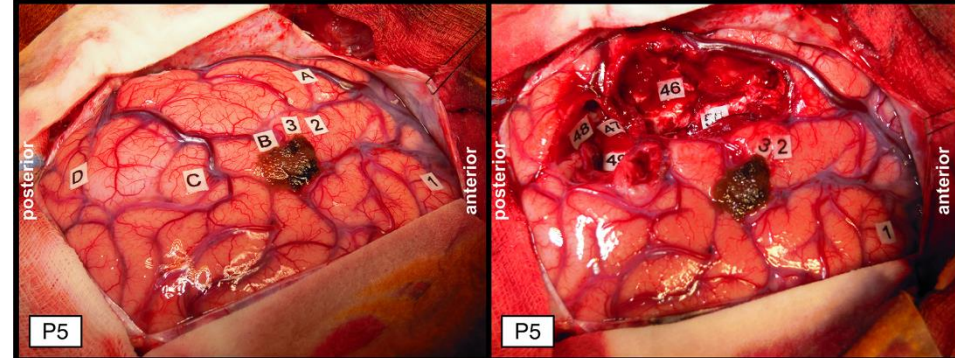
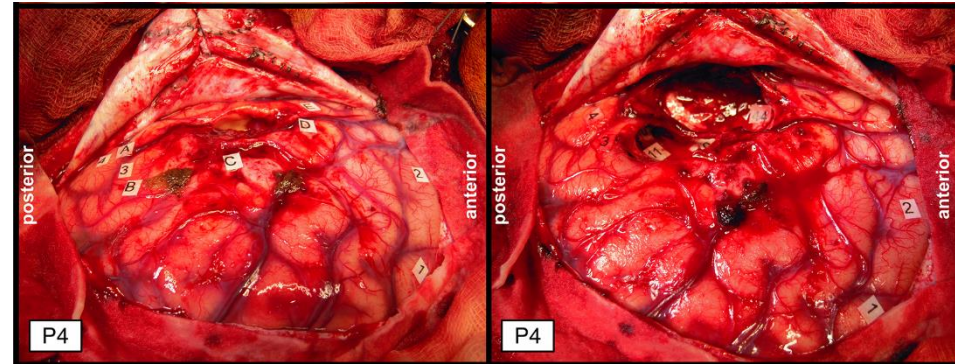
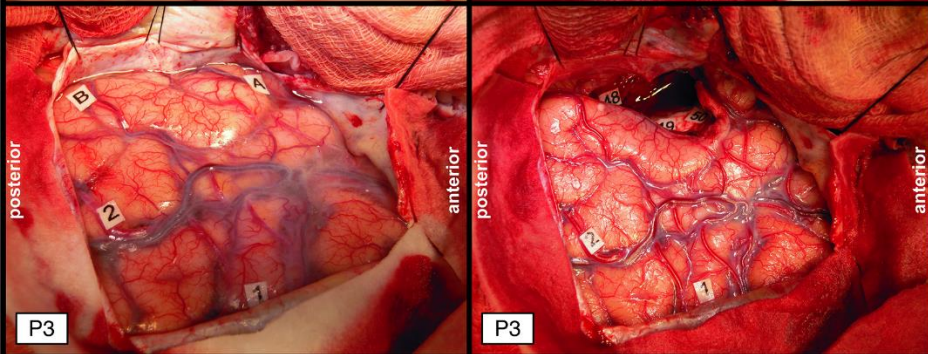
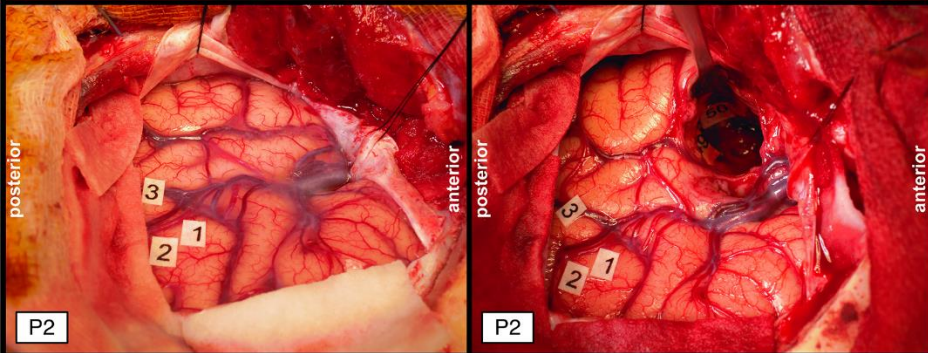
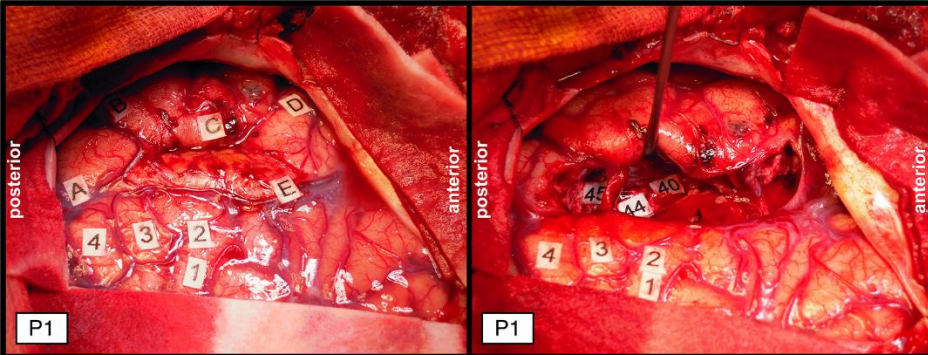


Si le pôle temporel est compensable d'un point de vue fonctionnel (il abandonne sa fonction), les connexions qui projettent dans cette structure devraient être compensables également car n'ayant plus de rôle fonctionnel. De fait, en chirurgie éveillée du cerveau, nous devrions observer des réponses fonctionnelles pour la cognition sémantique, ou plus généralement pour le langage, si et seulement si le pôle temporel n'est pas envahi par la tumeur.

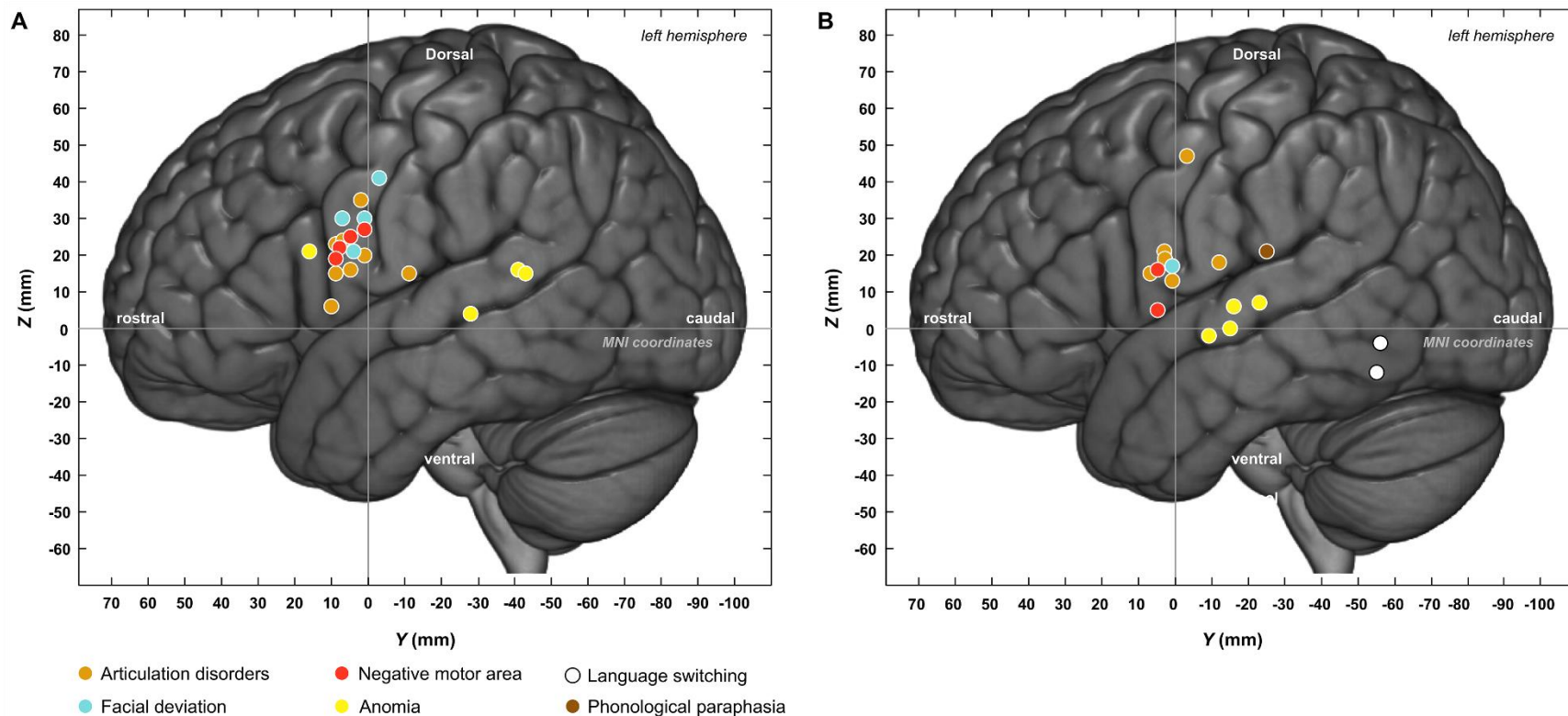


Groupe de patients 'contrôles' avec une infiltration du pole temporal. Ce dernier a été réséqué complètement ainsi qu'une partie de l'ILF (pas de réponse fonctionnelle).

Groupe de patients sans infiltration du pole temporal. L'ILF n'a pas été réséqué car une réponse fonctionnelle a été retrouvée.



ILF et processus de récupération lexicale

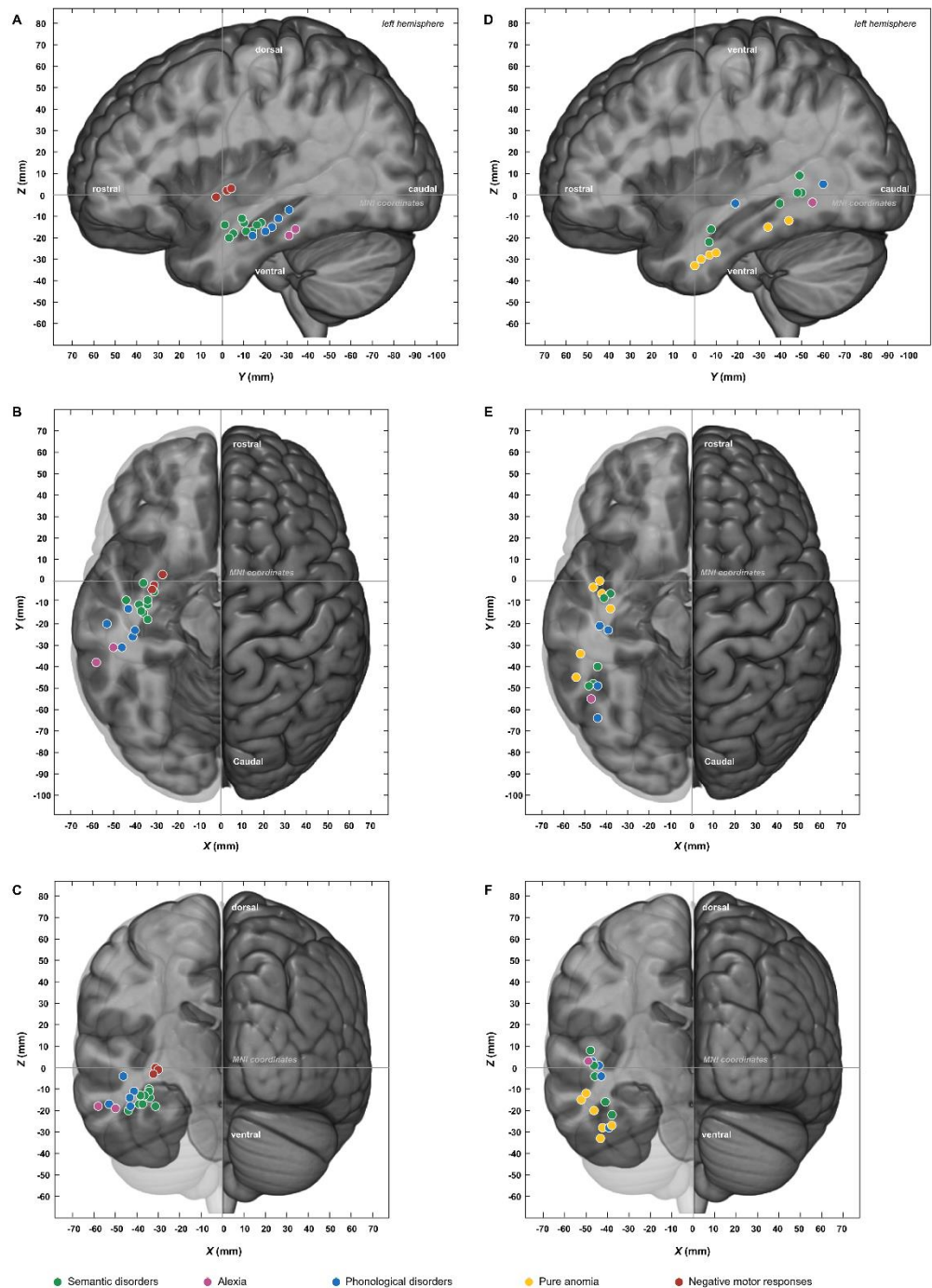


Cartographie corticale

ILF et processus de récupération lexicale

Cartographie Axonale

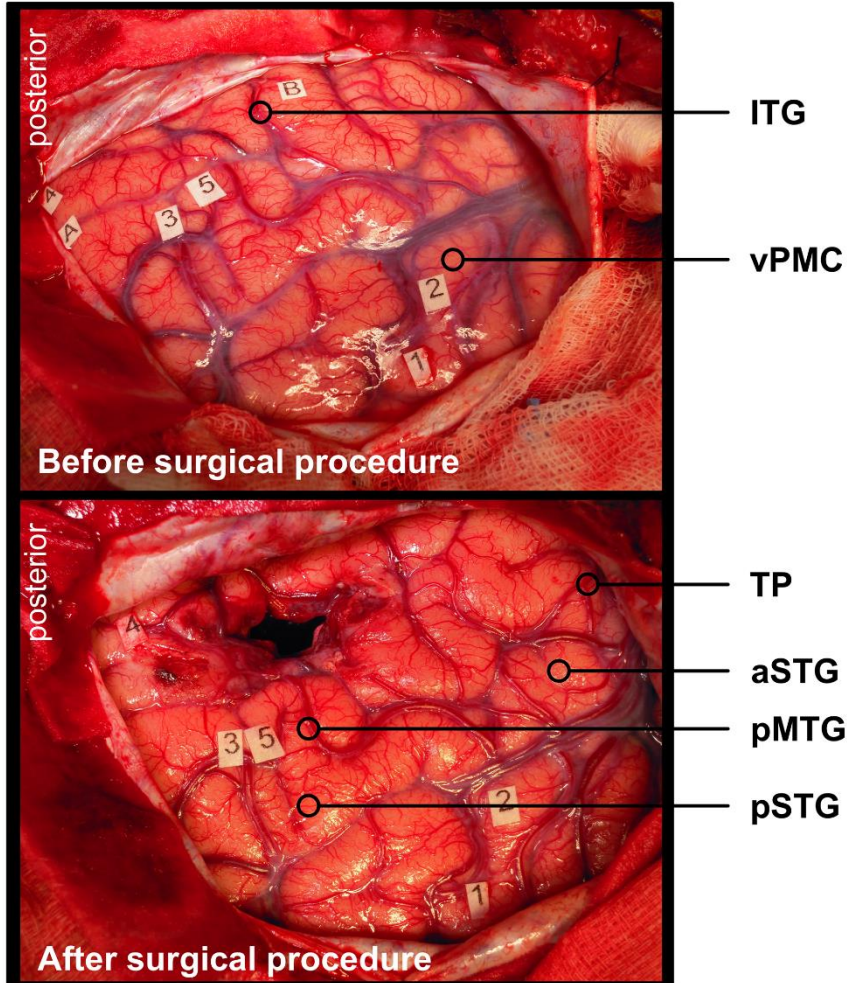
La stimulation des fibres blanches, correspondant à celles formant le FLI gauche, induit systématiquement une anomie pure quand le pôle temporal n'est pas infiltré par le gliome.



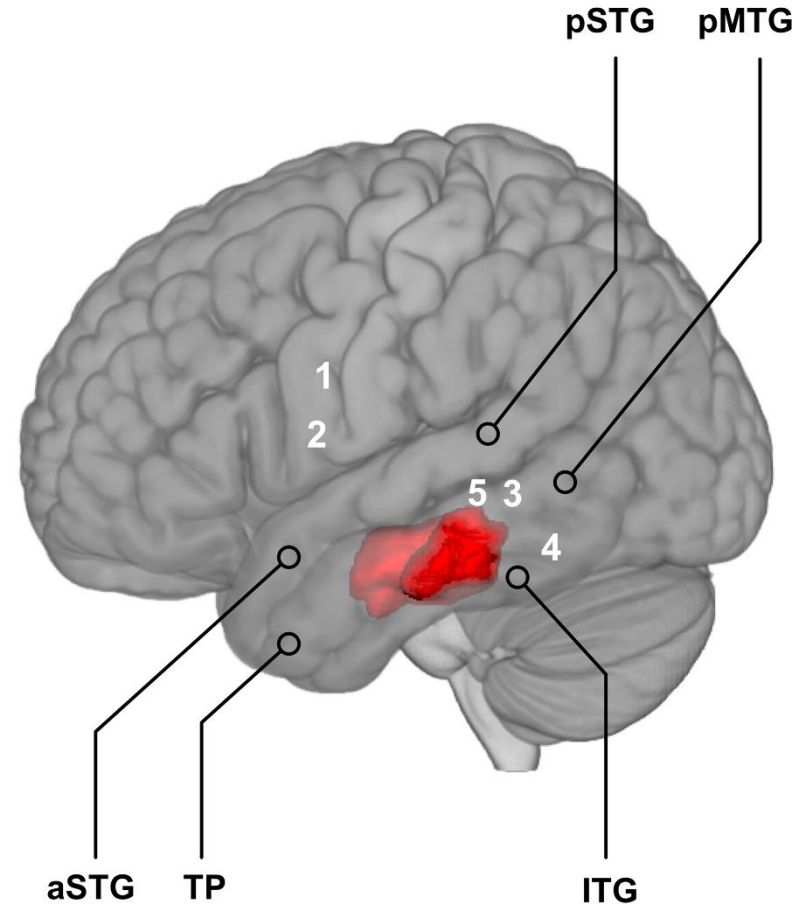
ILF et processus de récupération lexicale

Herbet et al. (2017)

A

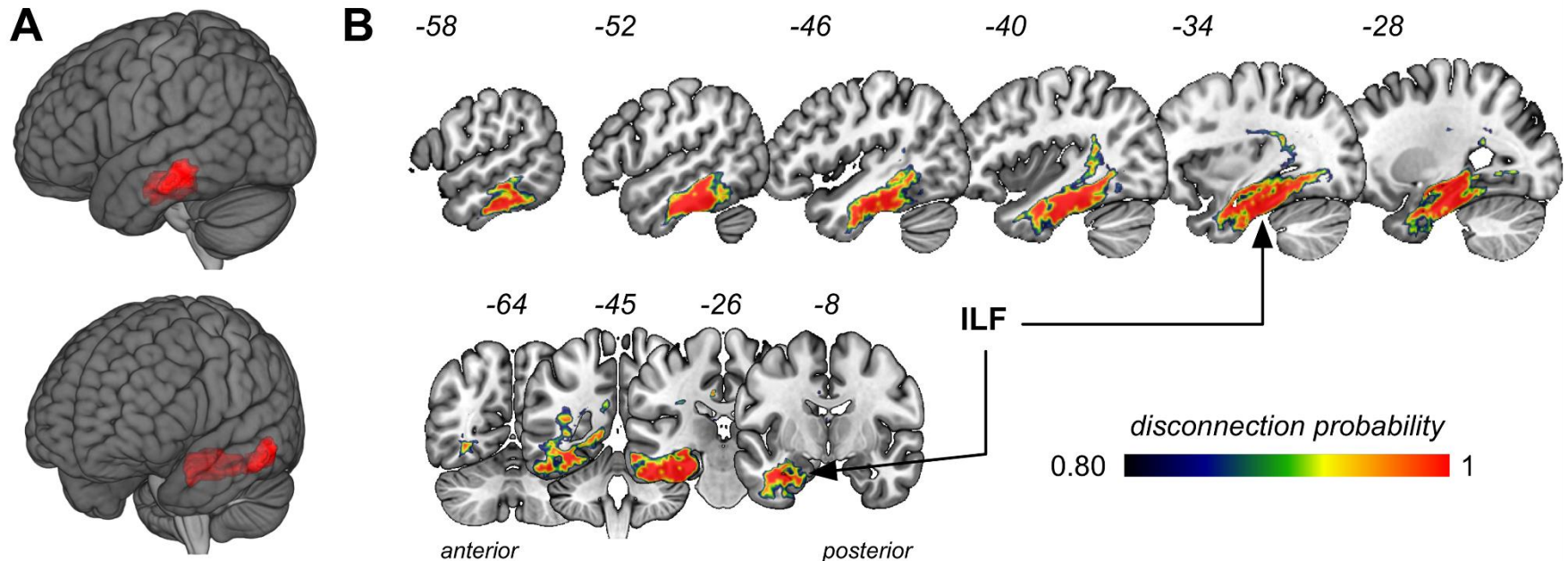


B



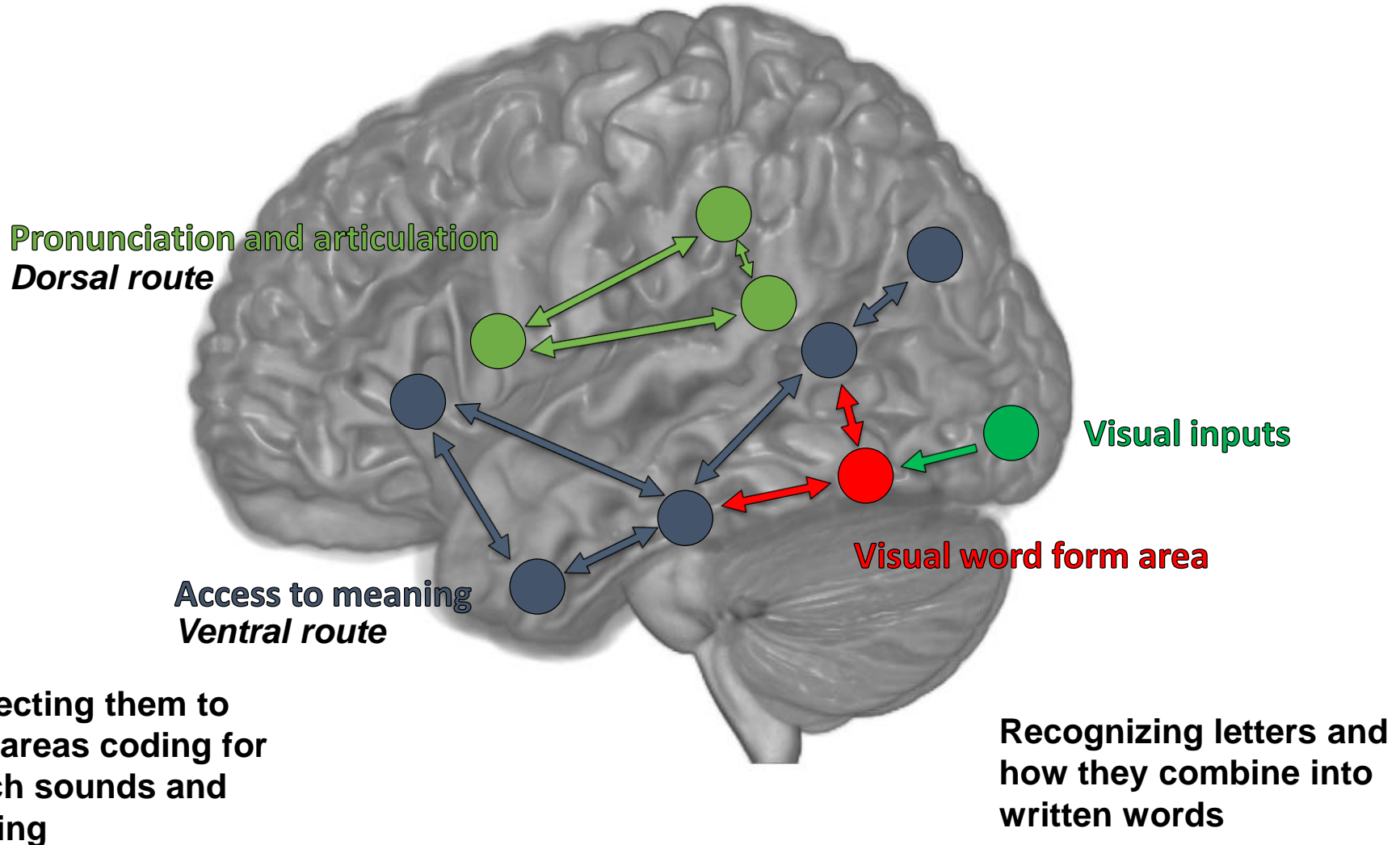
Patient avec une interruption du faisceau longitudinal inférieur qui a développé une aphasie anomique pure

ILF et processus de récupération lexicale

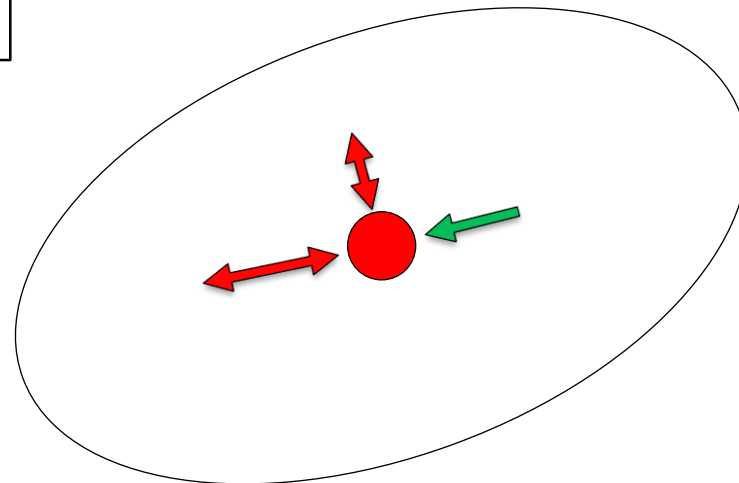
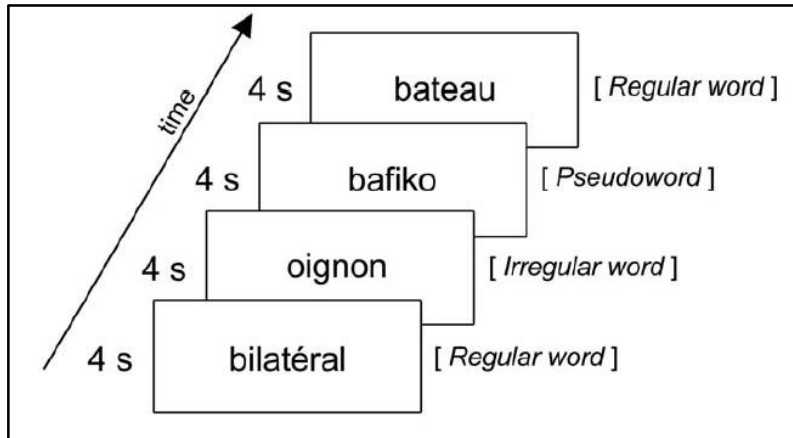


Cette carte de déconnexion probabiliste démontre que ce sont bien les fibres du faisceau longitudinal inférieur gauche qui sont déconnectées.

ILF et processus de lecture



ILF et processus de lecture

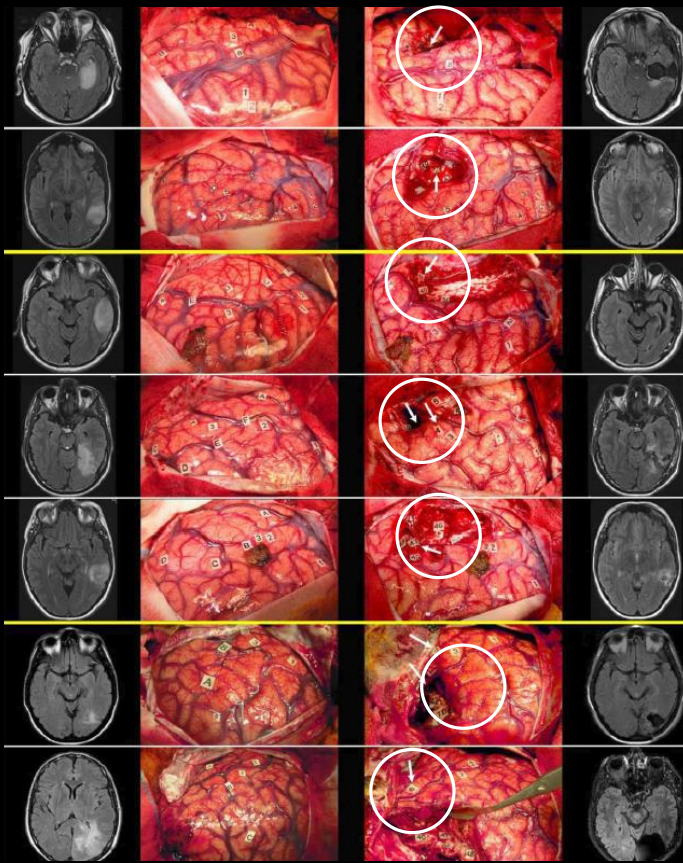


Comment cartographier ce réseau “Coeur” en neurochirurgie ?

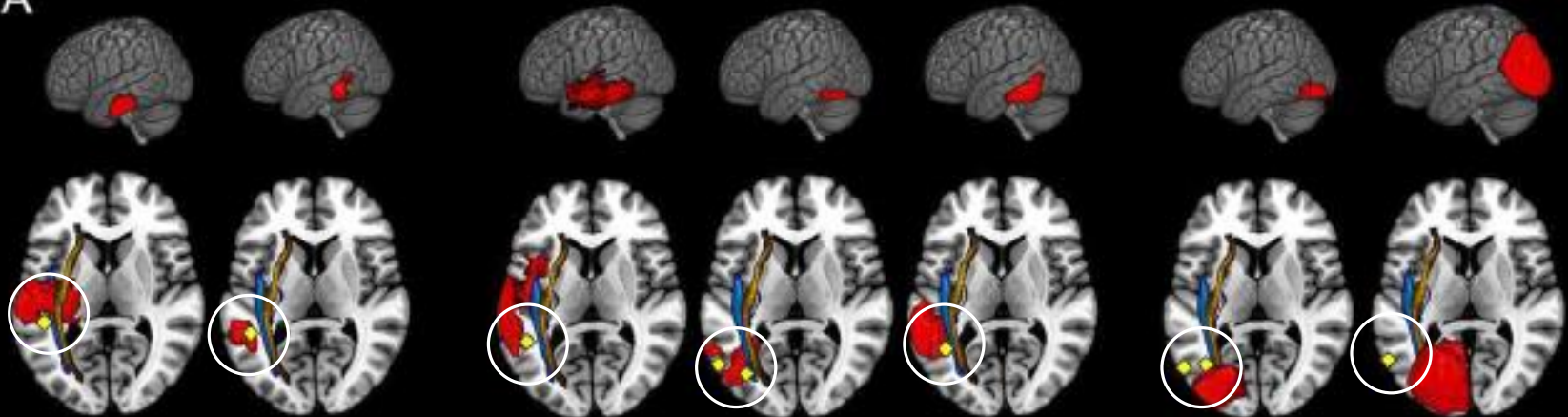
ILF et processus de lecture

Zemmourra, Herbert, Moritz-Gasser and Duffau, 2015
Human Brain Mapping

Différent types of d'alexie
peuvent être engendrer
en fonction de la
localisation de la
stimulation



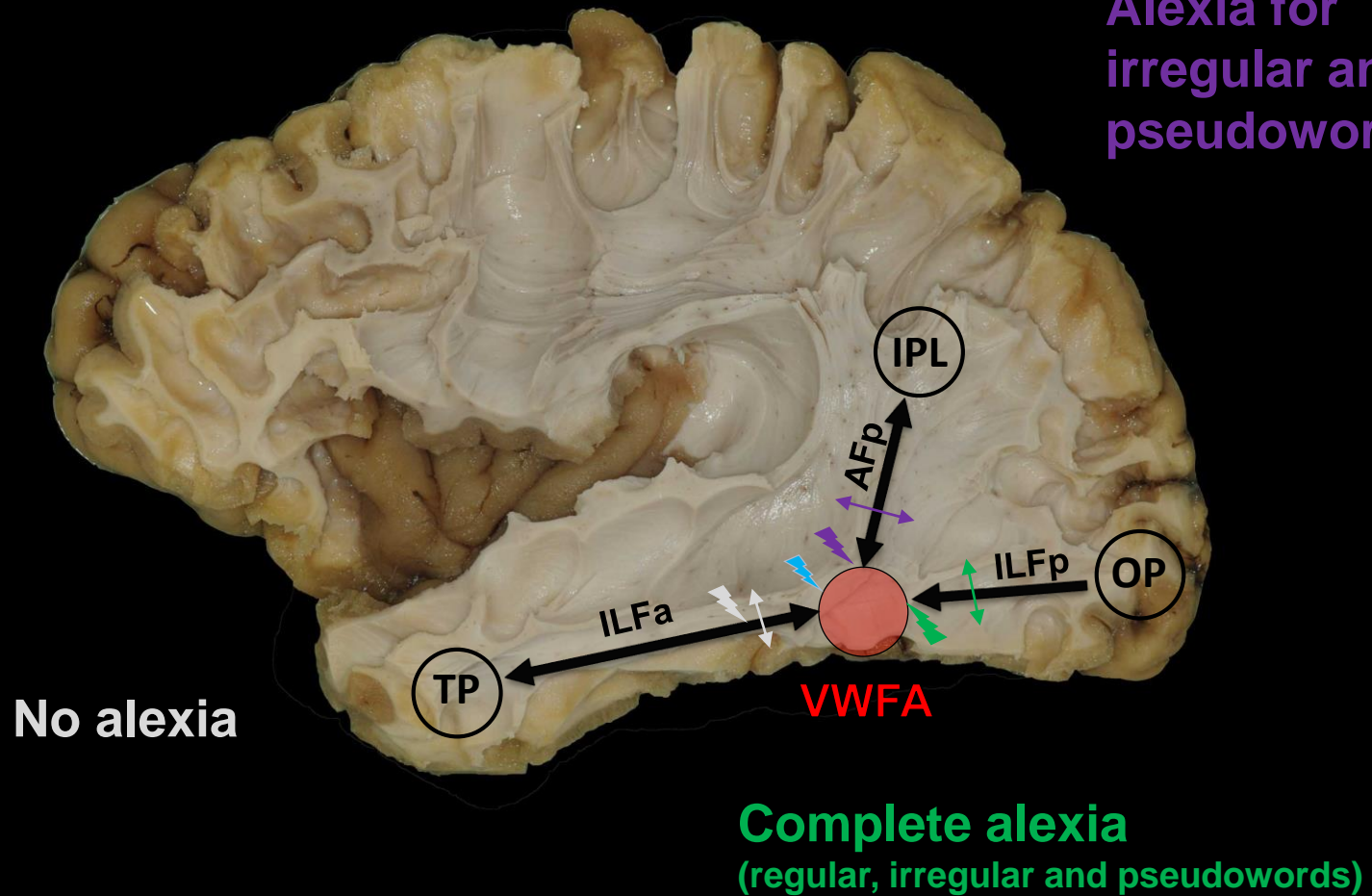
A



ILF et processus de lecture

Alexia for
regular words

Alexia for
irregular and
pseudowords

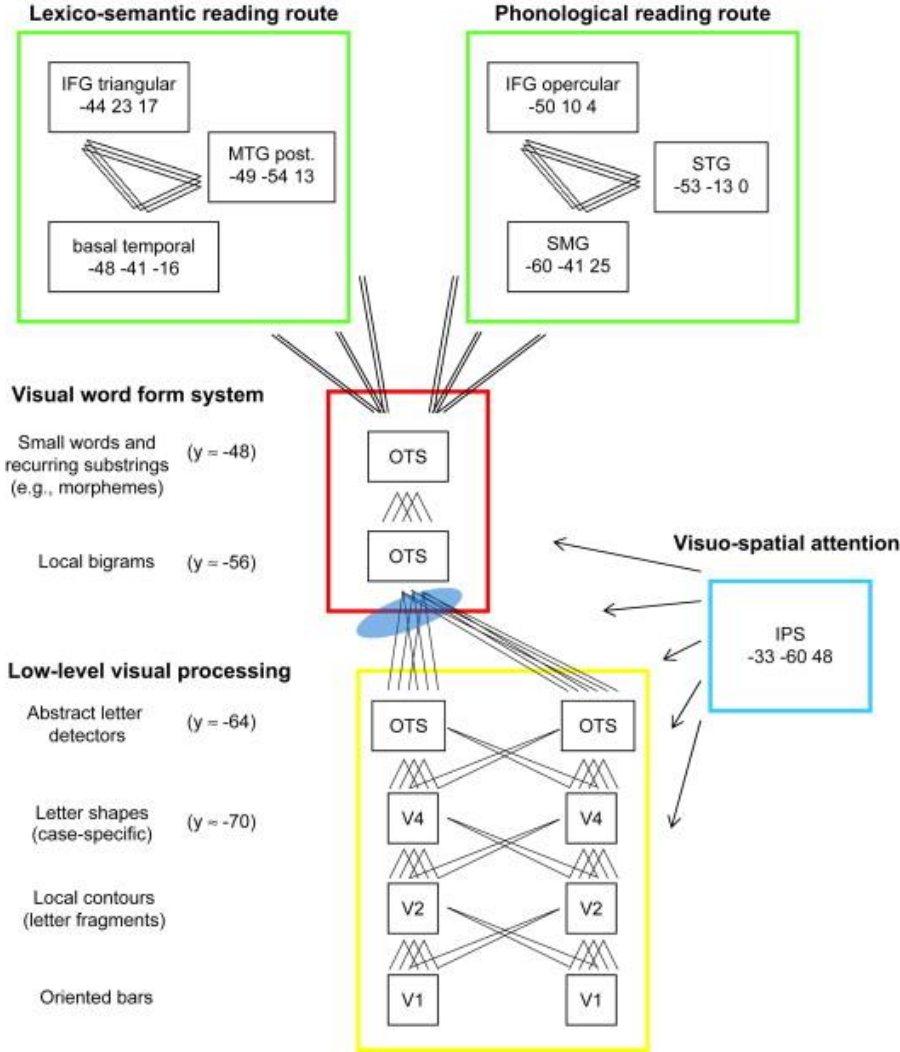


No alexia

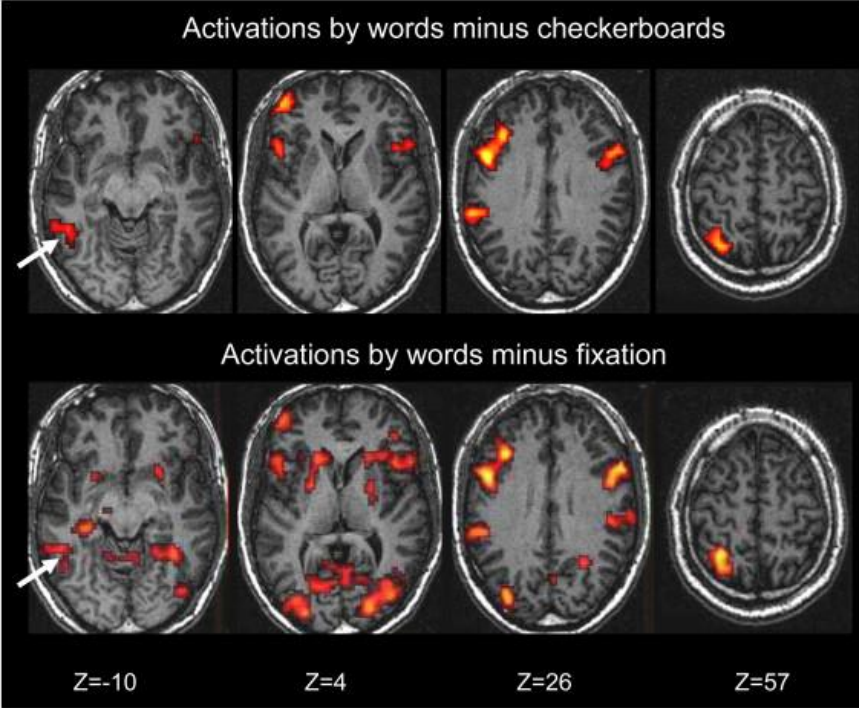
Complete alexia
(regular, irregular and pseudowords)

ILF et processus de lecture

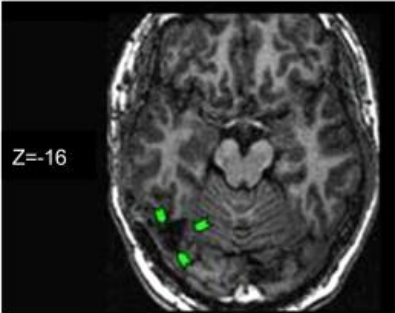
Synthetic schema of the reading system



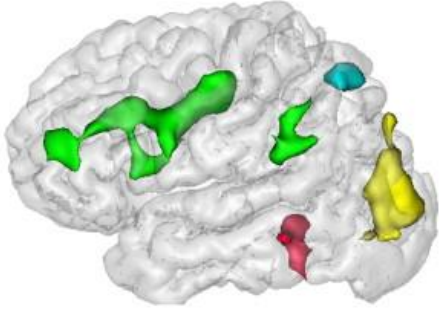
The patient's activations during reading before surgery



Surgical resection



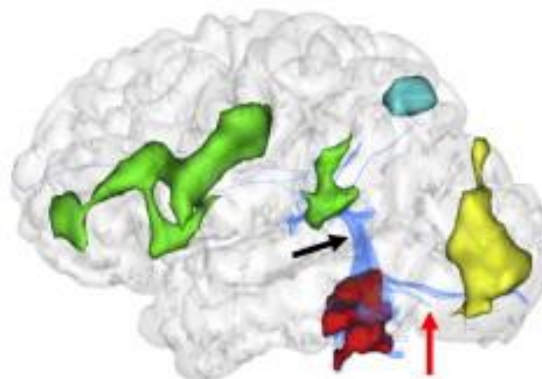
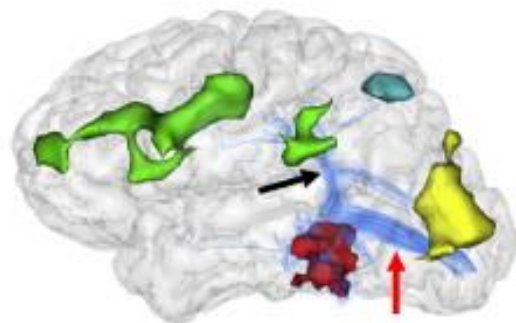
Summary of activations



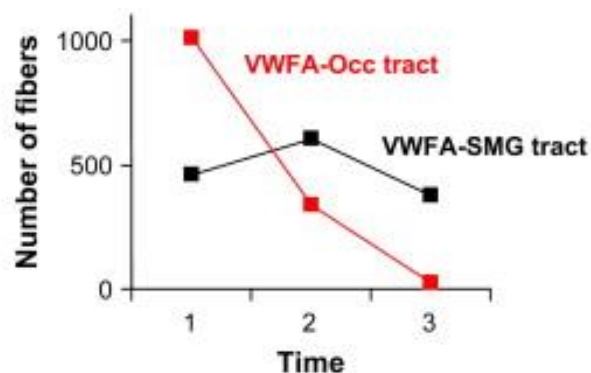
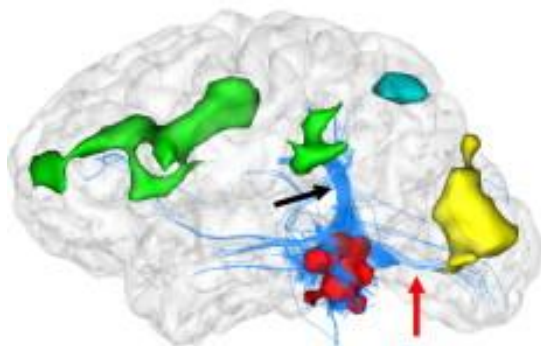
ILF et processus de lecture

Après la chirurgie, le patient a développé une alexie pure. Celle-ci est interprétée comme résultante de la déconnexion des fibres blanches entre l'aire de la forme visuelle des mots et le cortex occipital (autrement dit, la partie postérieure de l'ILF).

White matter bundles tracked from the VWFA
Before surgery 15 days after surgery



6 months after surgery



Alexie pure: incapacité à reconnaître des mots voire des lettres.

Quelles sont les précurseurs neurophylogénétiques de la Théorie de l'Esprit ?

*- La Perception du mouvement
biologique*

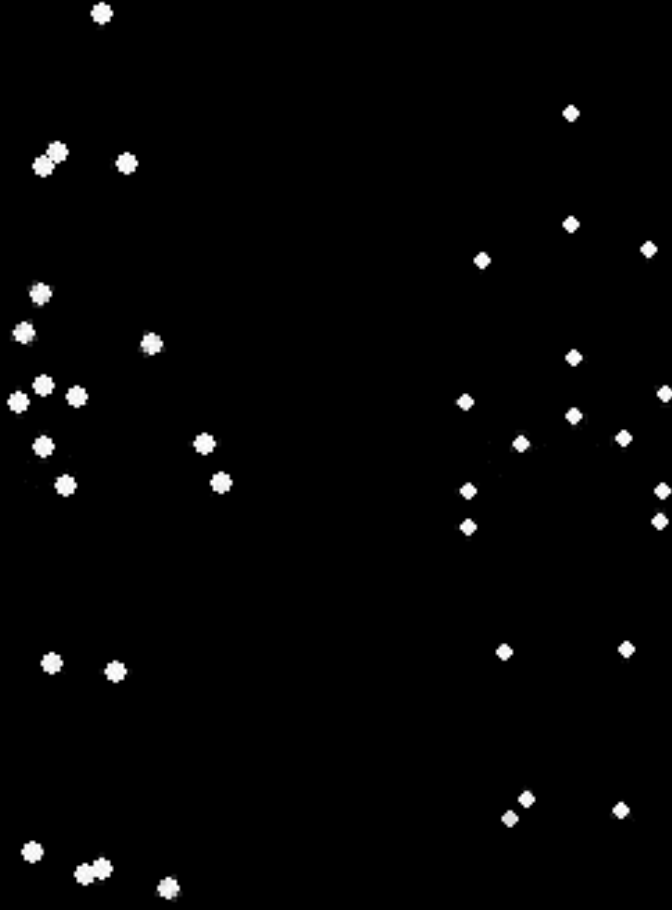
La perception du mouvement biologique

❖ Définition

- Le **mouvement biologique** fait référence à la capacité du système nerveux central de percevoir un mouvement comme provenant d'une entité biologique, même dans des situations où les sources d'information sont faibles;
- Les êtres humains utilisent ce système neurocognitif **pour identifier rapidement des activités, des geste ou des postures familières**, ce qui permet de comprendre rapidement que l'entité est de nature biologique. Cela facilite donc les interactions sociales.
- La capacité de percevoir le mouvement biologique est donc une base sur laquelle des comportements sociaux plus élaborés peuvent être développés.

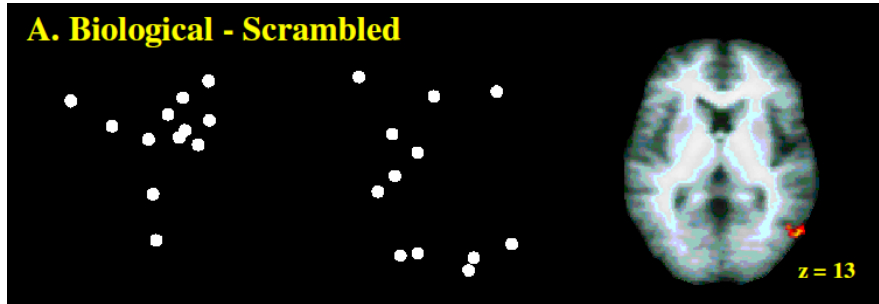
Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la ToM ?

Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la ToM ?



La perception du mouvement biologique

Grossman et al., 2000, *J Cogn Neurosci*



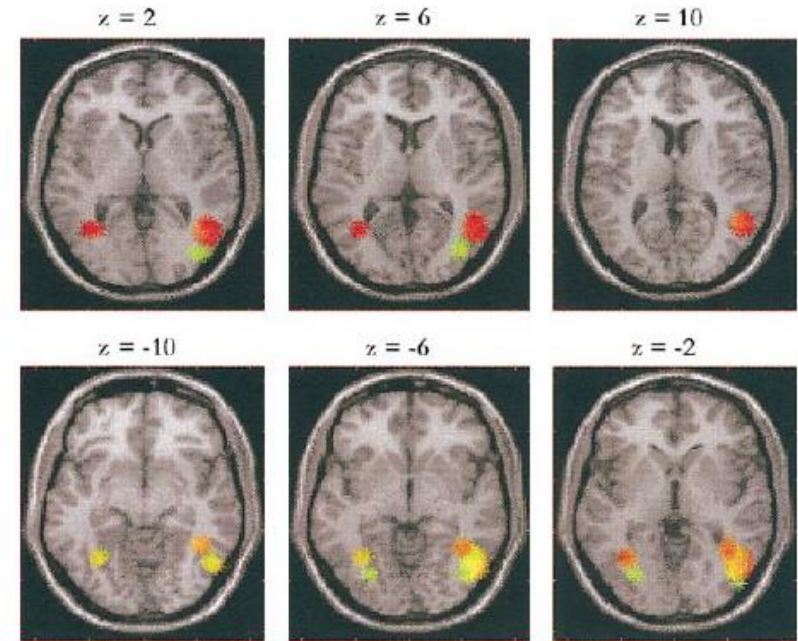
Condition mouvement biologique :

Le « point-light » figure réalise différentes scènes (par exemple, un coup de Karaté).

Condition mouvement non-biologique :

Le « point-light » figure réalise les mêmes mouvements que la première figure mais les points sont placés aléatoirement si bien que l'on ne reconnaît pas que le mouvement perçu est biologique.

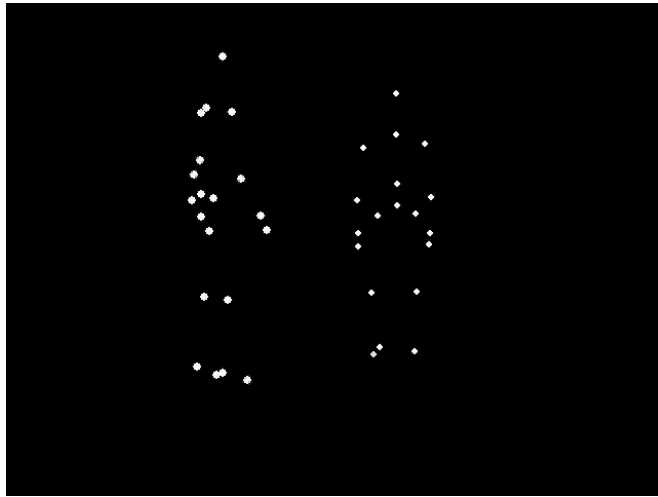
Grèzes et al., 2001, *Neuroimage*



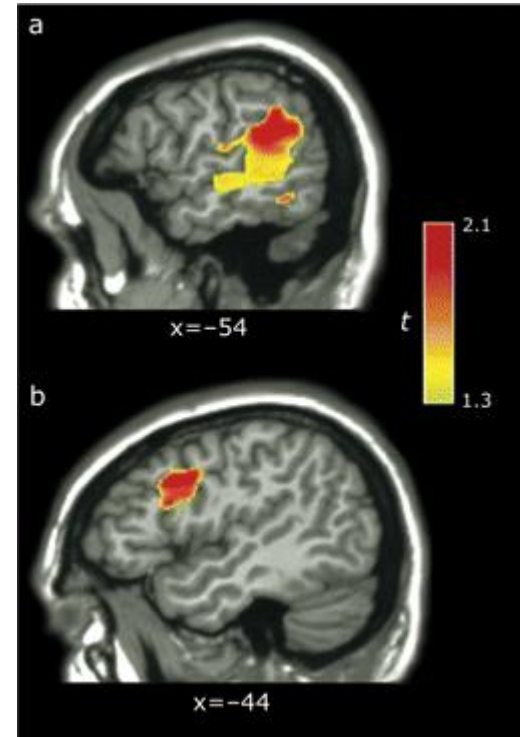
La perception du mouvement biologique (rouge) active spécifiquement une région du cortex temporal supérieur droit alors que la perception d'un mouvement non biologique active une zone qui lui est légèrement postérieure.

Les neurones situés dans le **cortex temporal supérieur droit**, mais également dans le **sillon temporal postérieur** semblent sélectifs à la perception du mouvement biologique. Il est intéressant de remarquer que cette région fait partie du réseau classique de la mentalisation

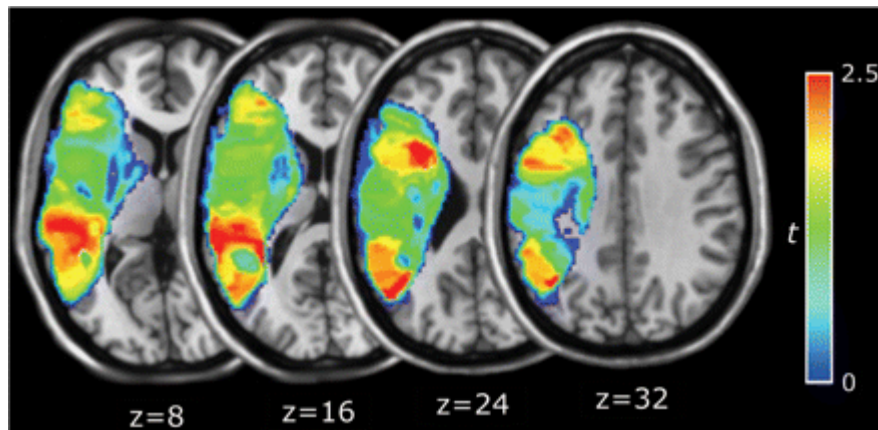
La perception du mouvement biologique



Tâche de reconnaissance du mouvement biologique

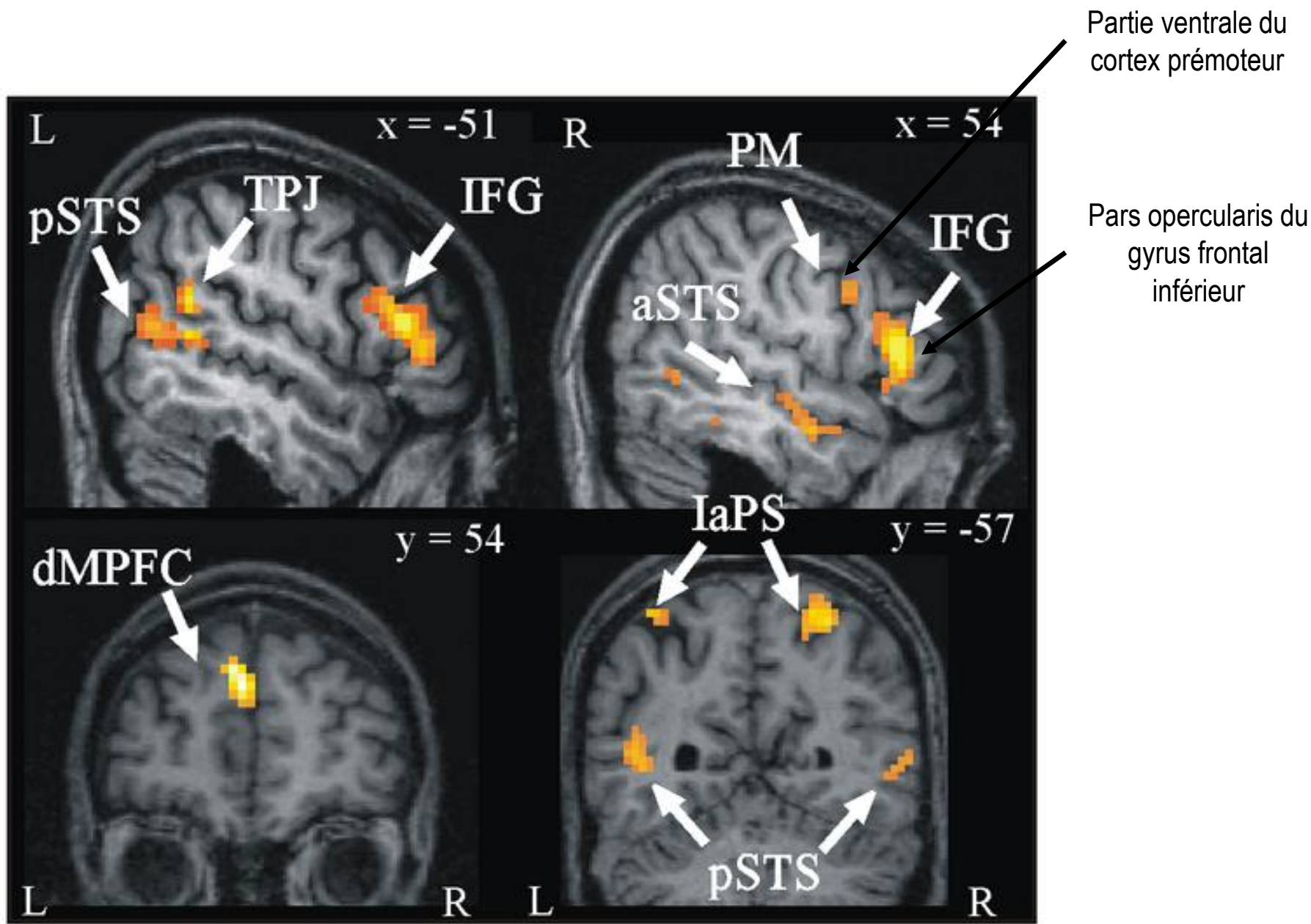


En imagerie fonctionnelle, ces mêmes régions sont activées pendant la reconnaissance du mouvement biologique

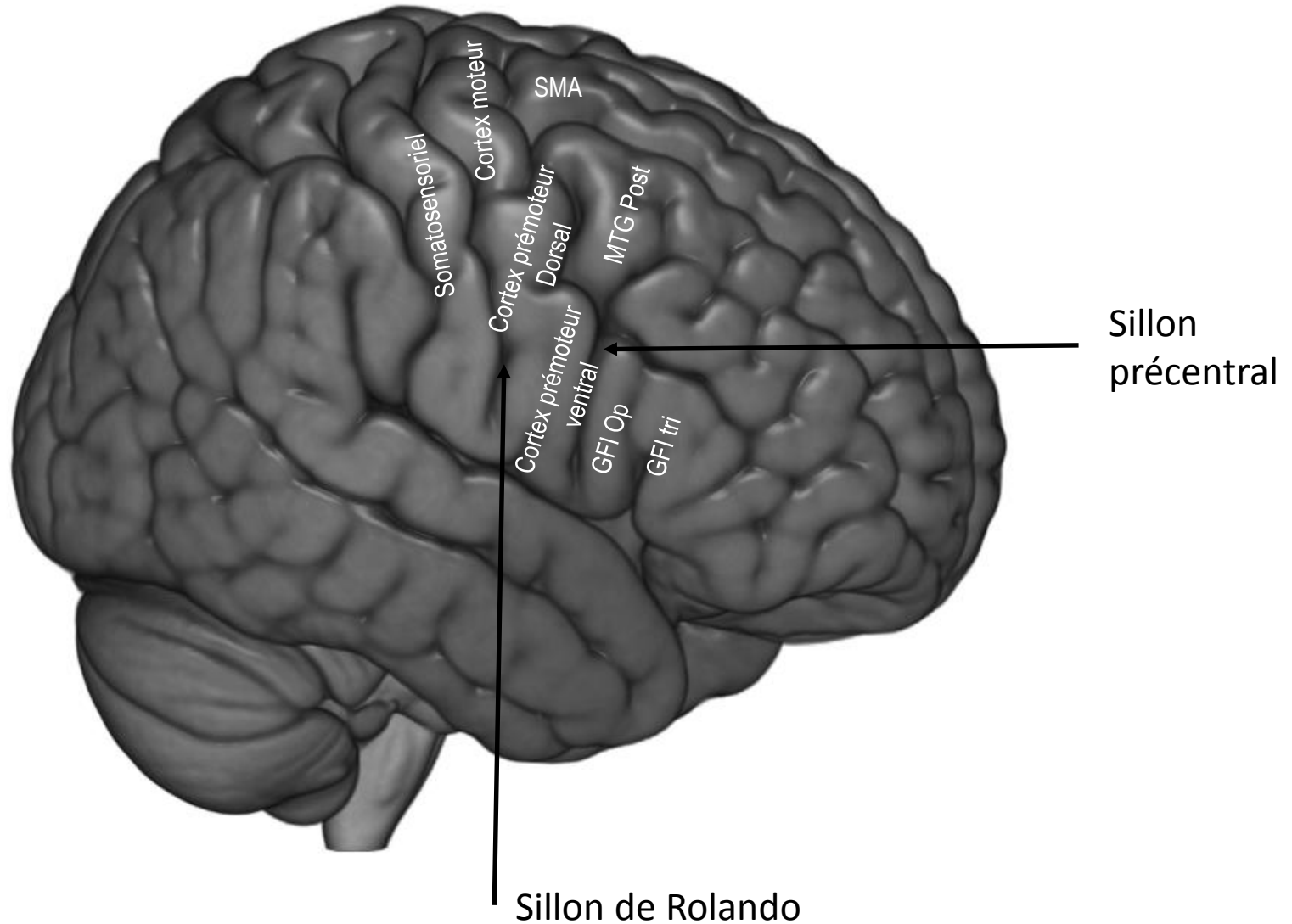


Un déficit de reconnaissance du mouvement biologique est associé aux lésions d'origine vasculaire localisées dans le **cortex temporal supérieur** et au niveau des aires promotrices ventrales

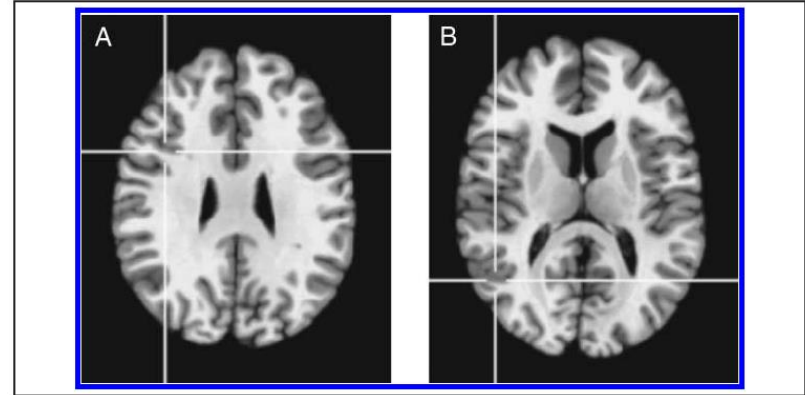
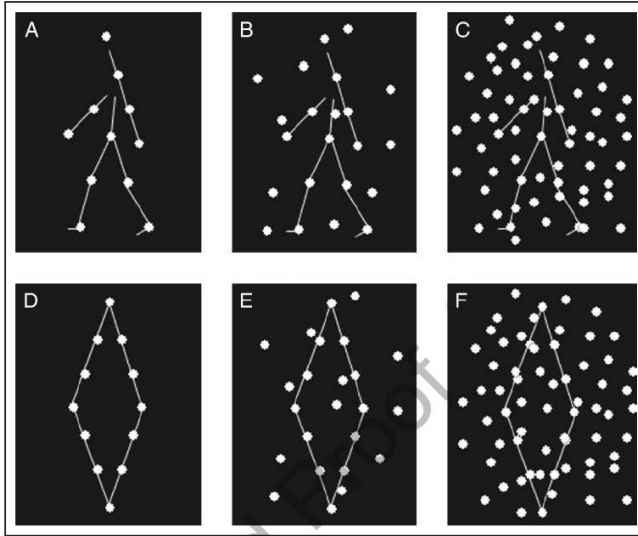
La perception du mouvement biologique



Localisation du cortex prémoteur ventral



La perception du mouvement biologique



La stimulation Trans-crânienne du cortex prémoteur et cortex temporal supérieur perturbe la perception du mouvement biologique.



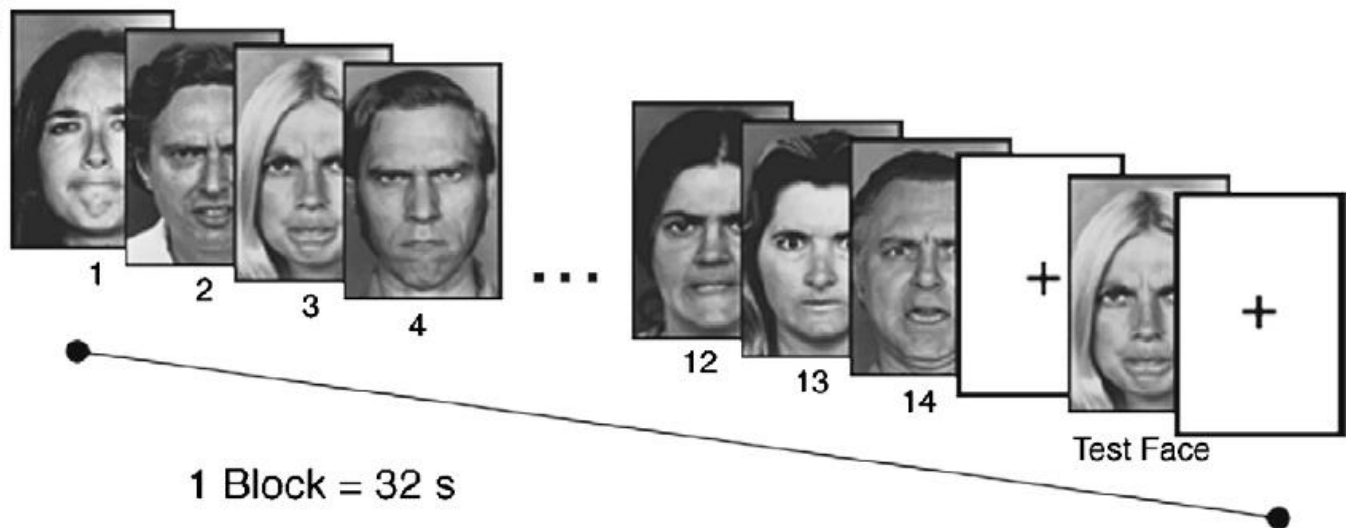
Mouvement biologique et STS

Dans cette étude, on manipule l'expression émotionnelle et la direction du regard.

(a)



(b)

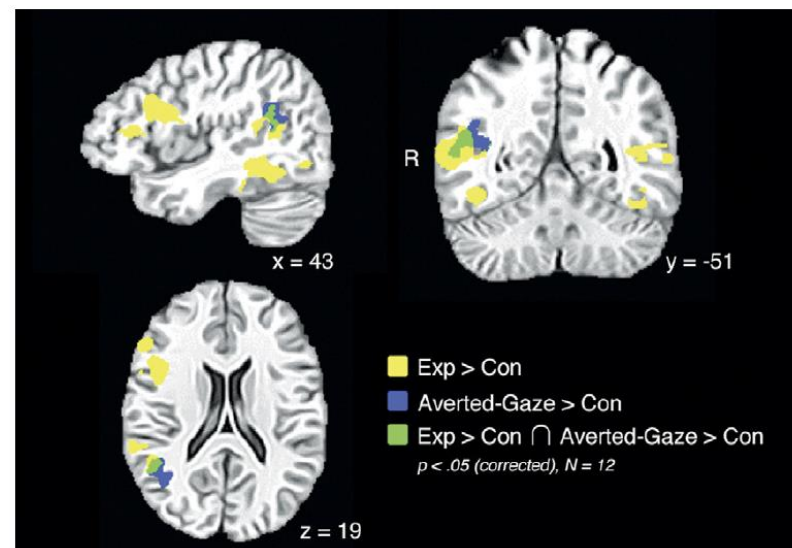


La perception du mouvement biologique

Table 1
Brain regions with stronger responses to faces displaying an emotional expression than to those displaying a neutral expression ($p < 0.05$, corrected, $N = 12$)

Region	Maximum t -value	Volume (mm^3)	x	y	z
Right middle occipital gyrus ^a	12.30	7507	32	-77	0
Left lingual gyrus ^a	8.08	7434	-17	-85	3
Right inferior frontal gyrus	9.50	6373	45	16	22
Right superior temporal sulcus	8.80	5907	52	-48	8
Left superior temporal sulcus	7.99	4539	-55	-60	10

^a Cluster includes the inferior occipital gyrus and extends into the lateral fusiform gyrus.



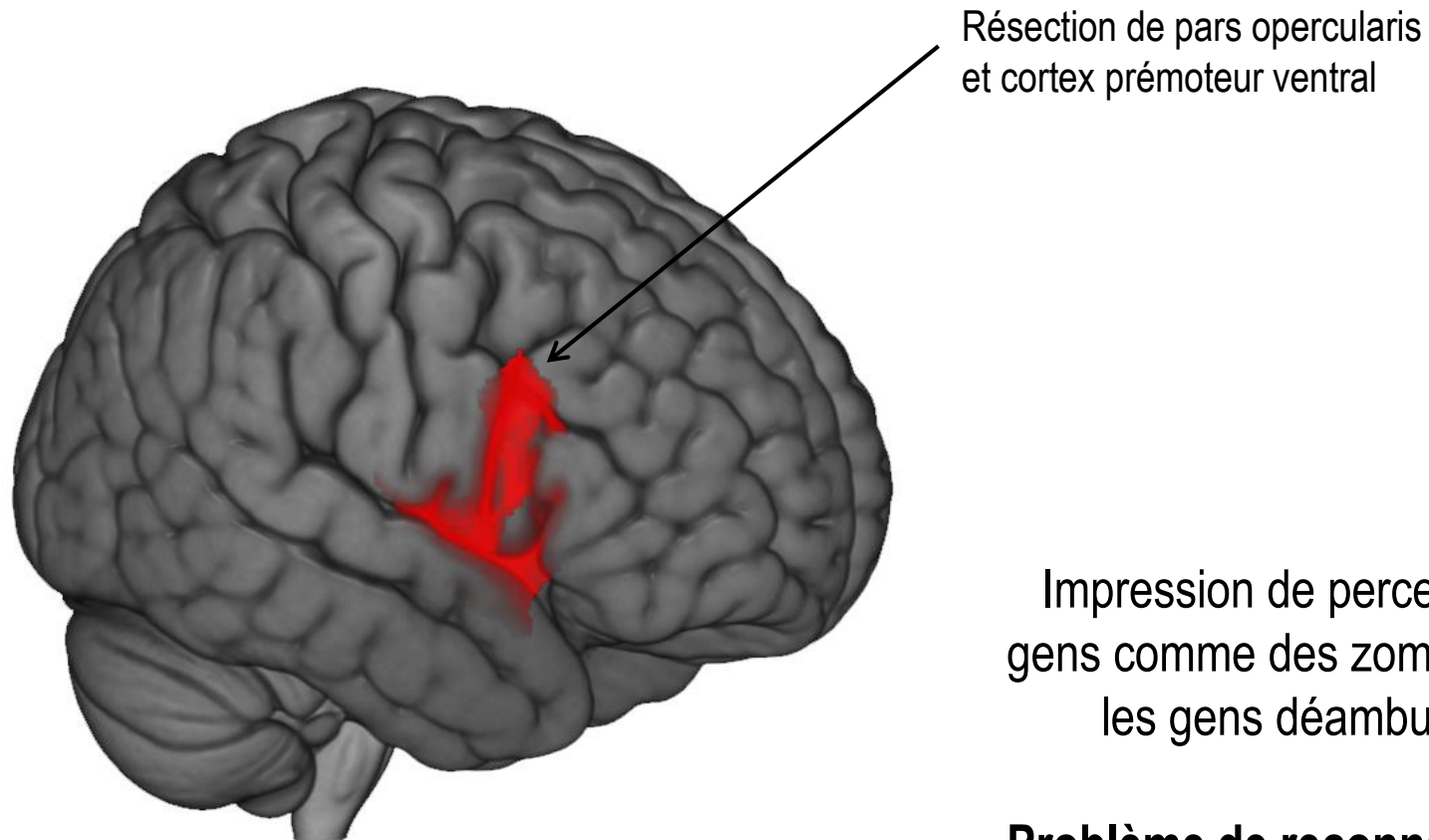
Engel and Haxby (2014) *Neuroimage*

Table 2
Brain region with stronger responses to faces displaying an averted-gaze than to those displaying a direct-gaze ($p < 0.05$, corrected, $N = 12$)

Region	Maximum t -value	Volume (mm^3)	x	y	z
Right superior temporal sulcus	9.37	1878	36	-54	15

Le sillon temporal supérieur répond particulièrement aux visages dont le regard n'est pas direct.

Exemple d'une patiente avec une résection de la partie de la pars opercularis et d'une partie du cortex prémoteur



Quelles sont les précurseurs neurophylogénétiques de la Théorie de l'Esprit ?

- La reconnaissance de soi

La reconnaissance de soi

- ⇒ Se reconnaître soi-même dans un miroir est une capacité qui devient mature entre le 21^{ième} et le 24^{ième} mois, alors que la capacité à reconnaître de visage de sa mère est déjà présent le 9^{ième} moi.
- ⇒ C'est une capacité commune avec certains parents proches d'un point de vue phylogénétique.
- ⇒ Ce serait un des piédestaux sur lequel reposerait la conscience de soi (et donc de l'autre)

Se reconnaître soi-même

Exposition des chimpanzés à un miroir

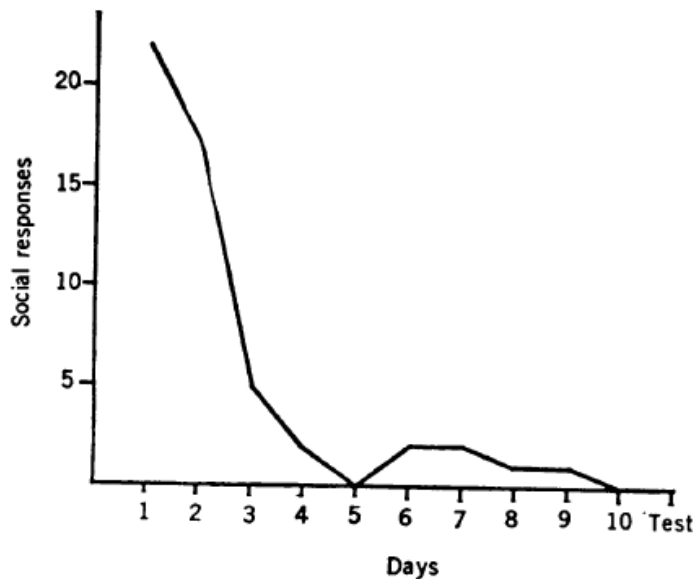


Fig. 1. Number of time-sampled social responses directed to the mirror image, over days.

Baisse des comportements sociaux dirigés vers le miroir (vocaliser, se balancer, prendre un air menaçant).

Le chimpanzé peut-il se reconnaître dans un miroir ?

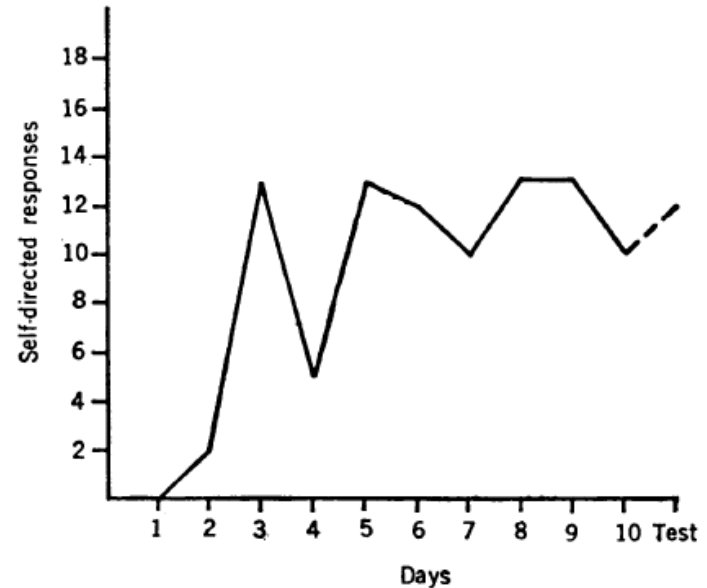


Fig. 2. Total number of time-sampled responses directed toward the self through the mirror reflection over days.

Augmentation des comportements dirigés vers le soi:

- Faire la toilette des parties du corps qui ne sont accessibles visuellement que grâce au miroir;
- Faire des grimaces devant le miroir;
- Souffler pour faire des bulles;

Se reconnaître soi-même

Le chimpanzé peut-il se reconnaître dans un miroir ?

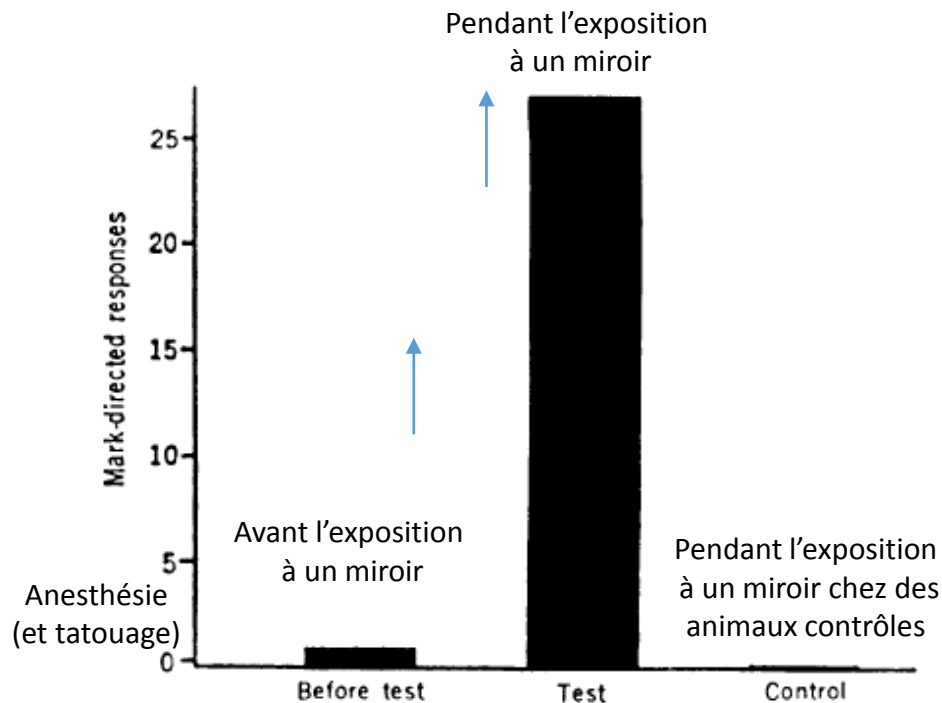


Fig. 4. Number of mark-directed responses made by experimental animals before being exposed to a mirror and by experimental and control animals during the test of self-recognition.

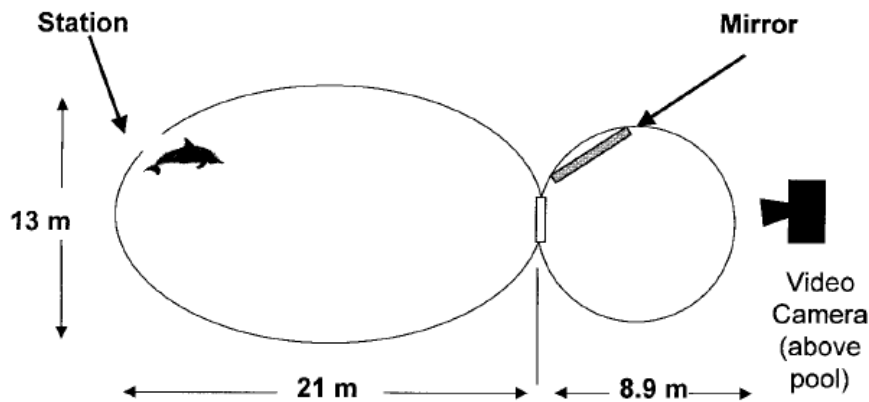
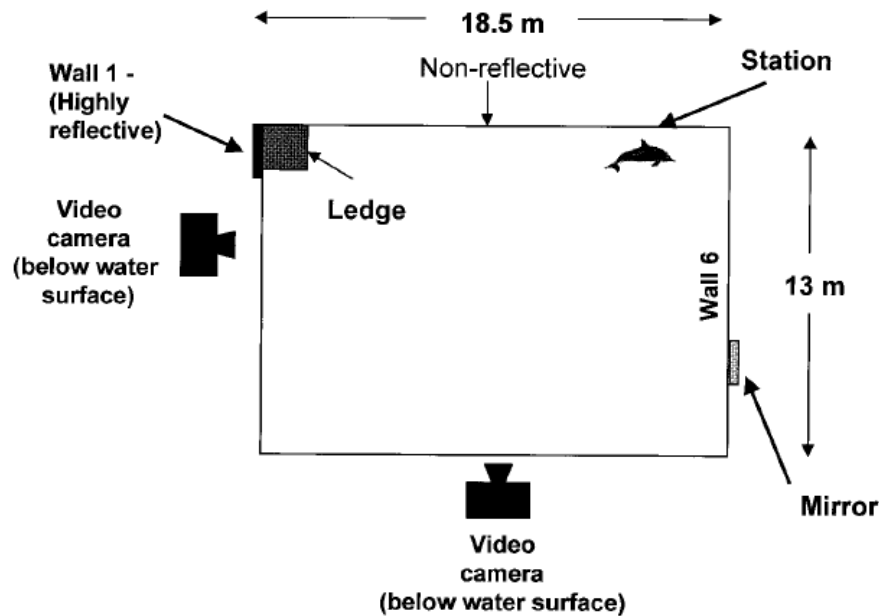
Les chimpanzés produisent des comportements dirigés vers le tatouage rouge alors que d'autres animaux contrôles (non exposés à un miroir), ne produisent pas ce type de comportements.

La capacité à se reconnaître soi-même a donc été apprise à travers l'exposition à un miroir.

Deux autres chimpanzés

Se reconnaître soi-même

Le dauphin peut-il se reconnaître dans un miroir ?



Procédure général: Deux dauphins vont être expérimentés. La question est de savoir s'ils vont utiliser les miroirs pour se voir eux-mêmes suivant trois conditions:

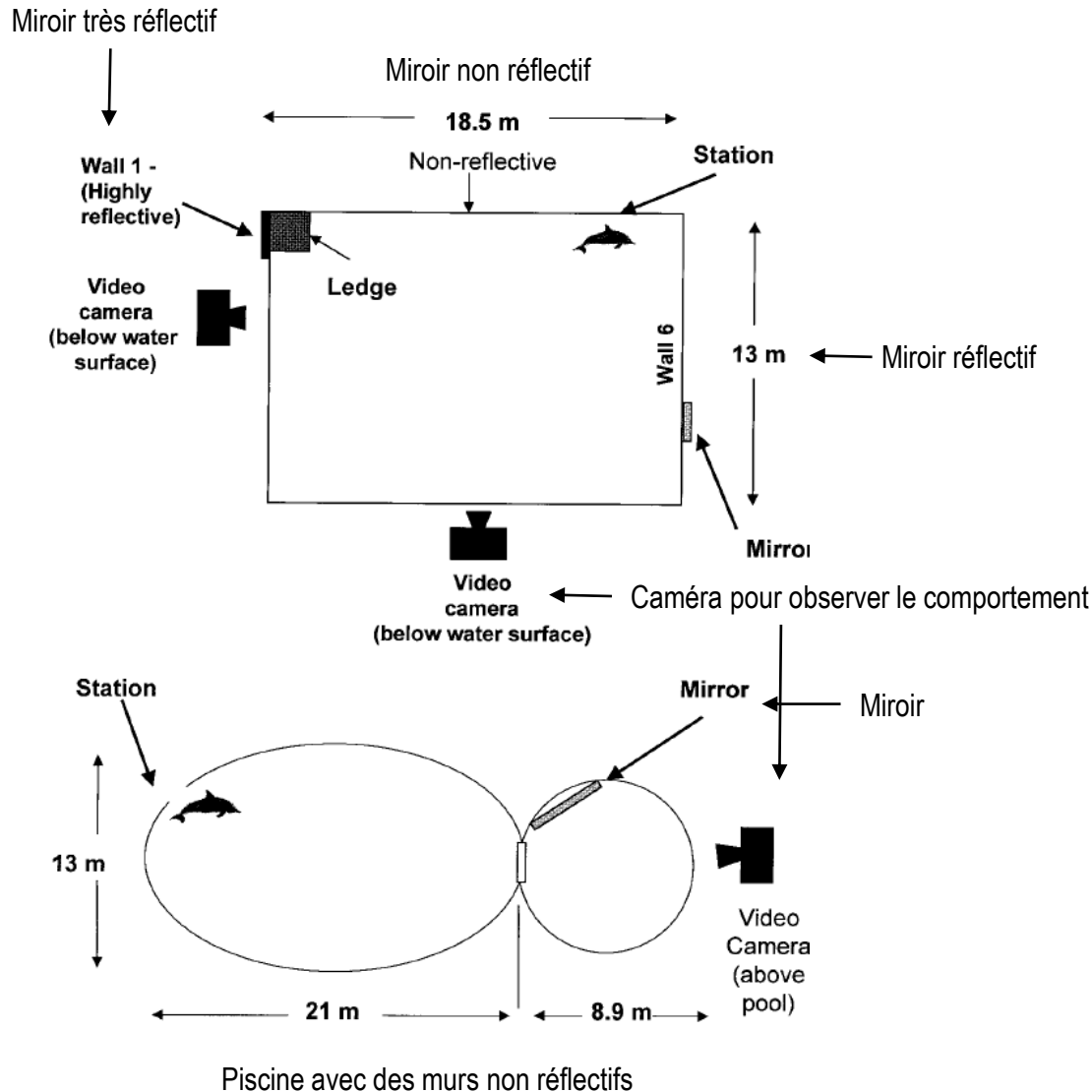
- Soit ils sont « marqués »
- Soit on fait semblant de les « marquer »
- Soit ils ne sont pas marqués

Et ceci en la présence ou l'absence de miroirs réfléchitifs.

Fig. 1. (A) The pool in Phase 1. Phase 1 sessions were conducted in a rectangular pool 13 m × 18.5 m × 3.05 m with three reflective glass walls. During a subset of test sessions ($n = 5$), a narrow Plexiglas mirror, 41.9 cm × 101.6 cm × 0.32 cm, was affixed in a vertical orientation to the exterior of one of the reflective walls (Wall 6). The demarcated area (Wall 1) was more highly reflective than the other glass walls because of a black surface behind it. Thus, the Plexiglas mirror was the optimal mirror when present. In the absence of the Plexiglas mirror, Wall 1 had the most reflective properties. (B) The pool in Phase 2. In Phase 2, by using the same procedures as in Phase 1, testing was conducted in two connected pools, a large oval pool (21 m long × 13 m × 3.66 m deep) connected to a smaller round pool (8.9 m in diameter × 3.05 m deep) with nonreflective walls. During experimental sessions, the subject was stationed at the far end of the larger pool and a Plexiglas mirror (88.9 cm × 119.4 cm × 0.32 cm) was affixed vertically to an open gate just inside the mouth of the connected smaller pool in 16 out of 30 sessions.

Se reconnaître soi-même

Le dauphin peut-il se reconnaître dans un miroir ?



Phase 1 de l'expérience

Le premier sujet va être évalué dans la première piscine suivant des conditions prédéfinies.

Phase 2 de l'expérience

Les deux sujets vont être testés dans cette double piscine. En fonction des essais, un miroir sera rajouté dans la petite piscine.

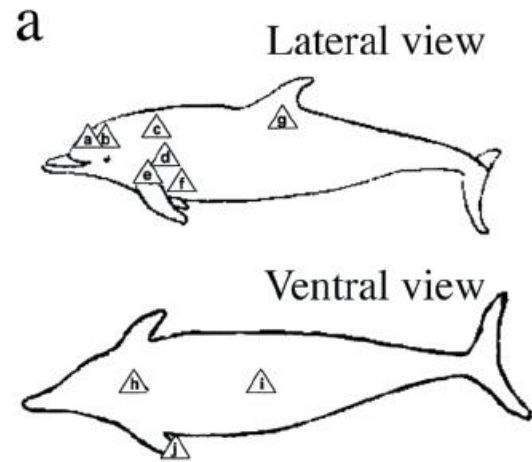
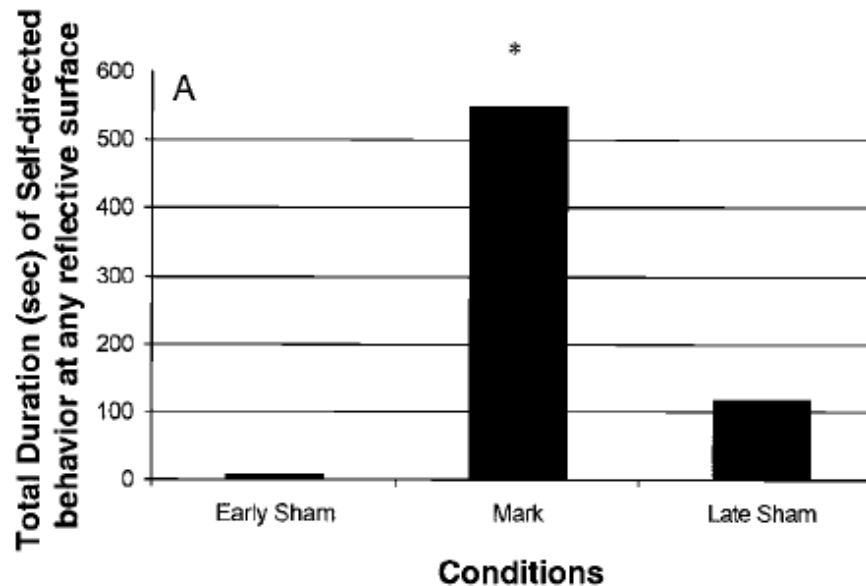


Fig. 2. (A) Locations of the nontoxic, temporary mark and the number of times the dolphins were marked in each location in mark and sham-mark sessions. Marks were applied to either side of the body. Subject 1: b, above eye (right, $n = 1$); c, above and posterior to ear (right, $n = 3$; left, $n = 4$); d, between ear and pectoral fin (right, $n = 2$; left, $n = 2$); e, above pectoral fin (right, $n = 2$; left, $n = 1$); f, posterior to pectoral fin (left, $n = 1$); g, below dorsal fin (right, $n = 3$; left, $n = 7$); h, between pectoral fin ($n = 2$); i, umbilical ($n = 1$); j, underside and tip of pectoral fin (right, $n = 1$). Subject 2: a, on melon (right, $n = 1$; left, $n = 2$); e, above pectoral fin (right, $n = 5$; left, $n = 2$); g, below dorsal fin (right, $n = 2$; left, $n = 1$; umbilical, $n = 2$); h, between pectoral fin ($n = 1$). (B) The dolphin marked above the right eye.

Se reconnaître soi-même

Le dauphin peut-il se reconnaître dans un miroir ?



Les dauphins passent plus de temps à s'observer devant une glace quand ils sont « marqués »

Interprétation:

- ⇒ les deux dauphins utilisent les miroirs ou les surfaces réfléchives pour examiner les parties de leur corps qui sont « tatouées ».
- ⇒ Les des espèces non-primates seraient donc capables de « Mirror self-recognition »
- ⇒ Ils possèdent une certaine forme de conscience d'eux-mêmes et donc des autres.

Se reconnaître soi-même

Les visages des sujets expérimentés sont progressivement dégradés pour générer différents stimuli pour l'imagerie fonctionnelle.

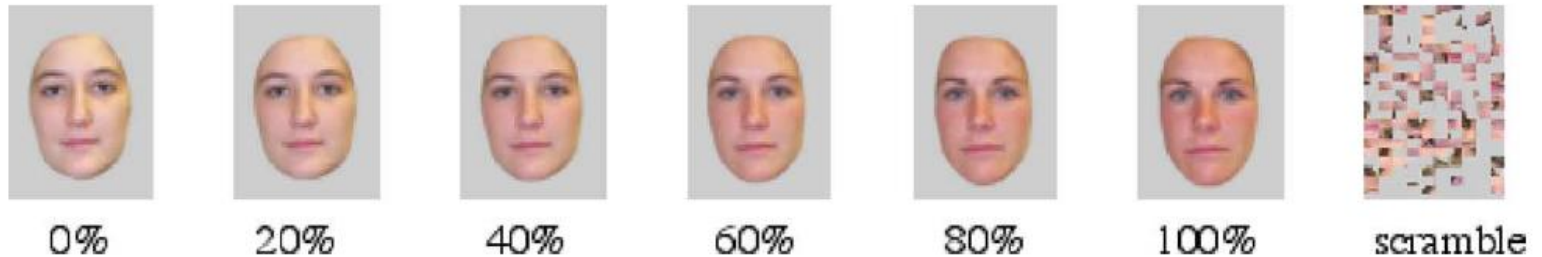
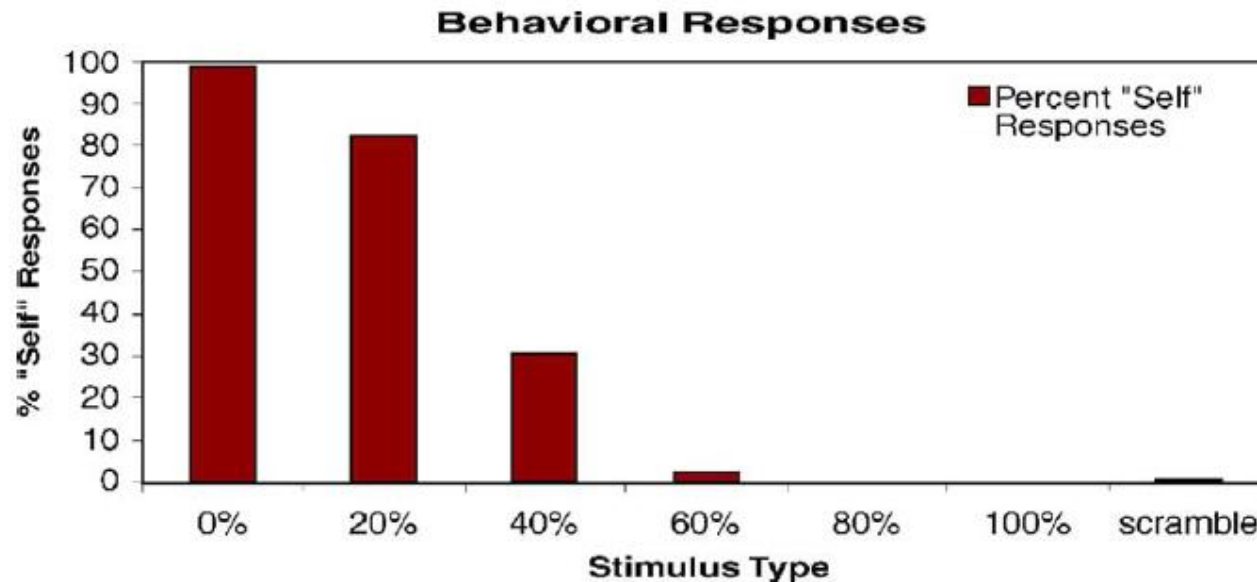


Fig. 1. Examples of stimuli. For each individual subject, an image of the subject was digitally morphed into an image of a highly familiar other in 20% increments.



Plus les visages sont dégradés moins les sujets reconnaissent le visage perçu comme le leur.

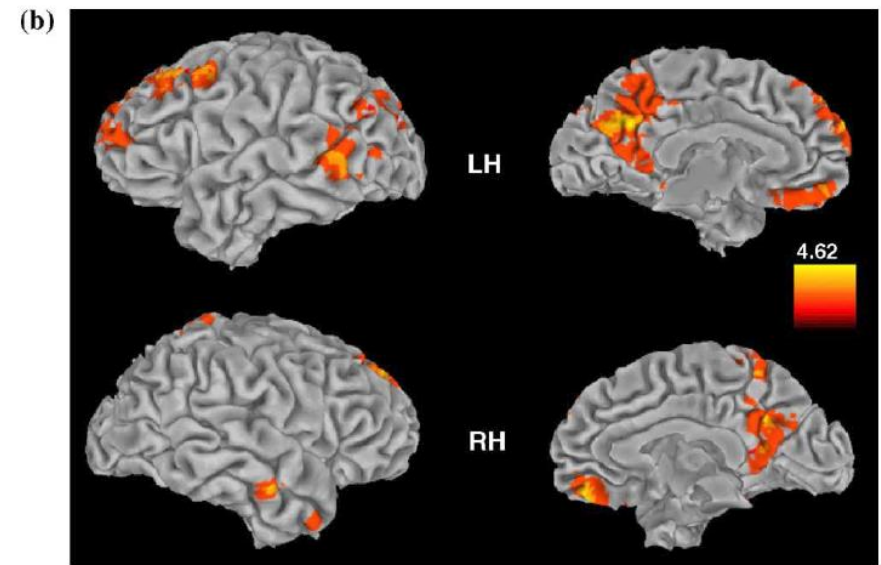
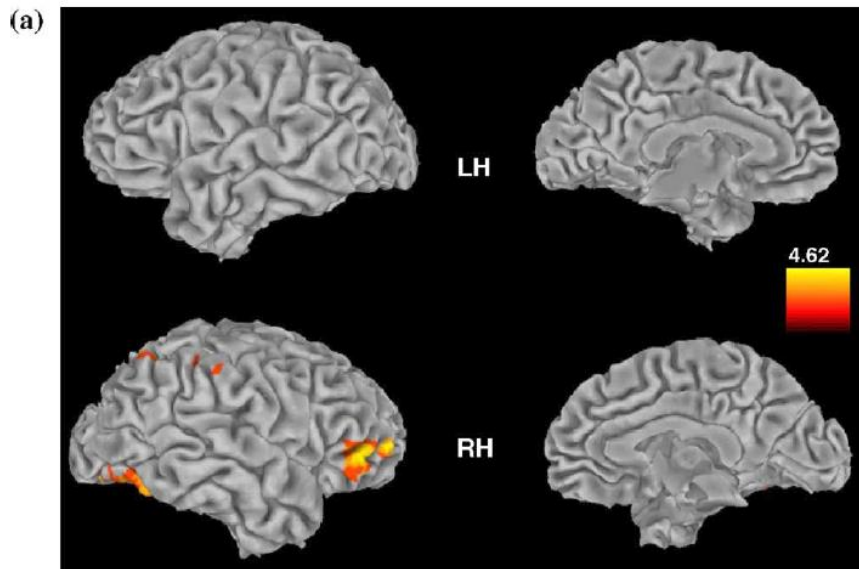
Se reconnaître soi-même

Contraste 1:

activations générées quand le sujet reconnaît son visage versus les autres activations

Contraste 2:

activations générées quand le sujet ne reconnaît pas son visage versus les autres activations



Coordinates (MNI) and peak activation statistics for self-other contrast

Hemisphere	Region	Coordinates			Max Z score
		x	y	z	
Right	SPL	32	-60	52	3.31
Right	IPL	64	-24	50	3.79
Right	IPL	42	-34	38	3.51
Right	IOG	46	-58	-12	3.79
Right	IFG	48	42	-2	3.59

MNI = Montreal Neurological Institute; SPL = superior parietal lobule; IPL = inferior parietal lobule; IOG = inferior occipital gyrus; IFG = inferior frontal gyrus.

Coordinates (MNI) and peak activation statistics for other-self contrast

Hemisphere	Region	Coordinates			Max Z score
		x	y	z	
Left	Precuneus	0	-48	38	4.56
Left	DMPFC	-6	52	44	4.26
Left	SFG	-18	34	52	4.25
Left	SFG	-22	22	52	4.15
Left	STG	-54	-42	12	4.62
Right	VMPFC	2	44	-20	4.38
Right	MTG	70	-12	-16	4.06
Right	aSTS	62	-4	-18	3.66

DMPFC = dorsomedial prefrontal cortex; SFG = superior frontal gyrus; STG = superior temporal gyrus; VMPFC = ventromedial prefrontal cortex; MTG = middle temporal gyrus; aSTS = anterior superior temporal sulcus.

Se reconnaître soi-même

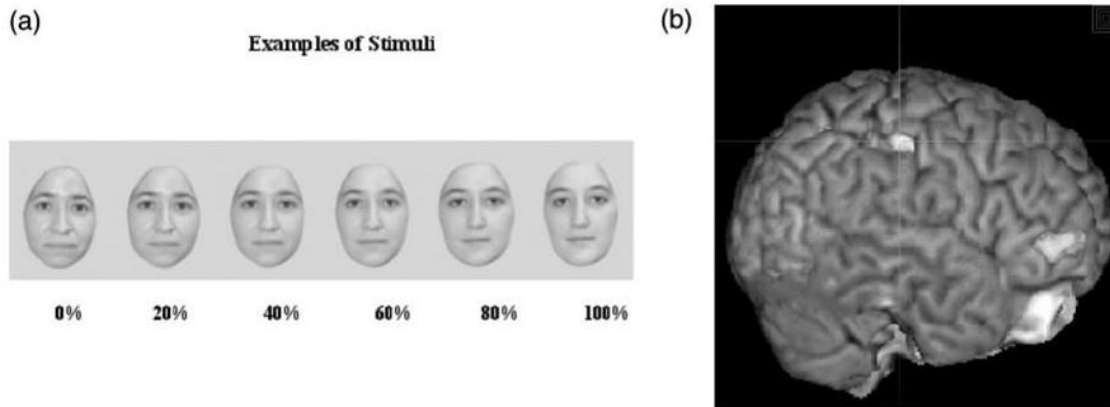
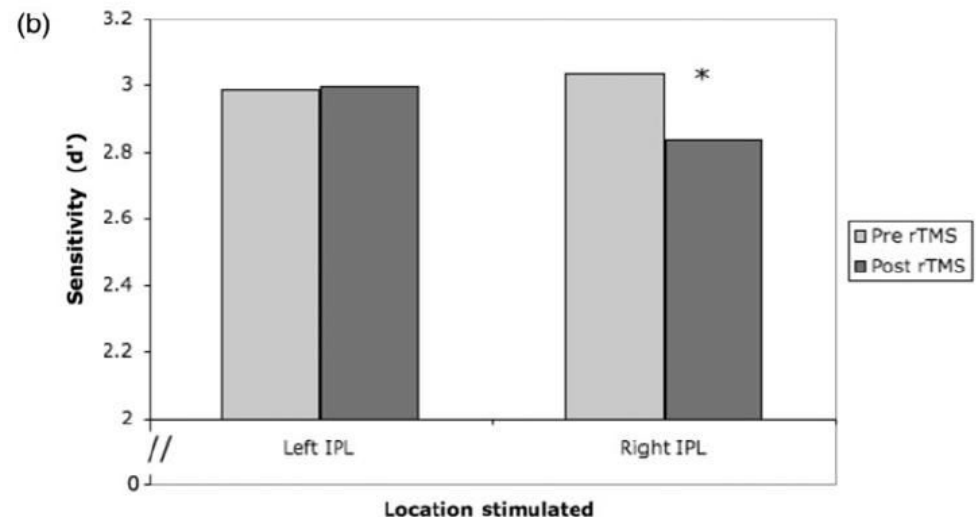
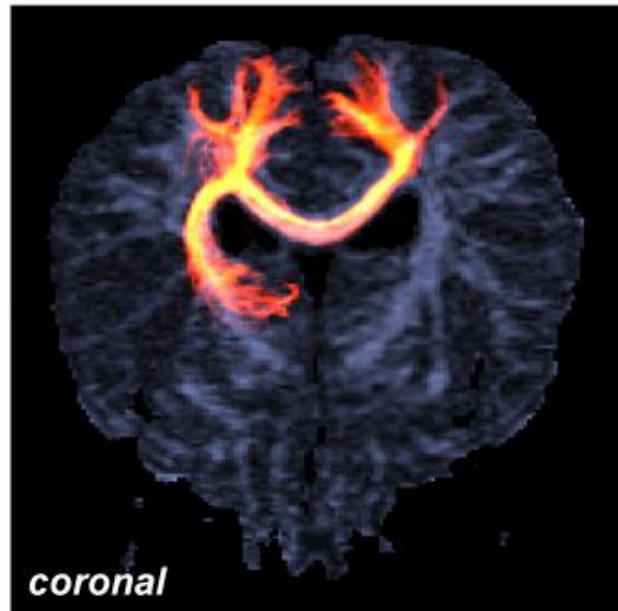
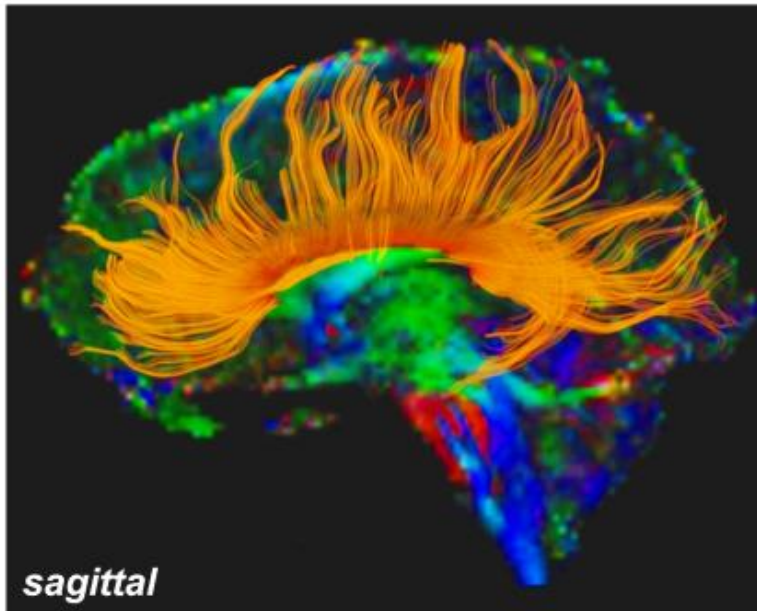


Fig. 1. (a) Subjects viewed morphed self-images presented at random for 1 s each and used a button-box to indicate whether the image presented was 'self' or 'other'. Zero% indicates no morphing (i.e. all 'self'). (b) The right inferior parietal lobe was targeted for TMS in each individual subject by superimposing previously acquired functional imaging data at the individual subject level onto high-resolution structural images.

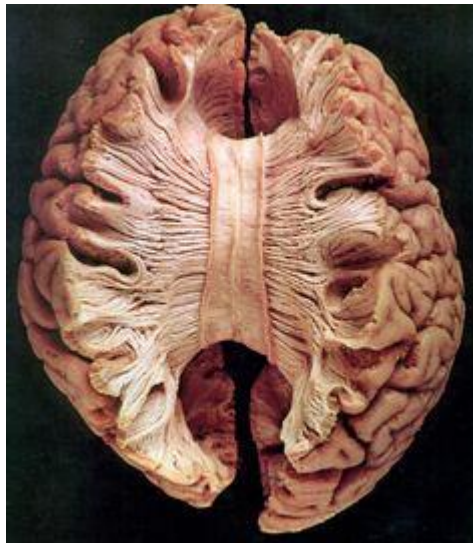
Des stimulations magnétiques ont été réalisées au niveau des aires pariétales mises en évidence lors de l'étude précédente pour savoir si ces régions ont une relation causale avec la reconnaissance de son propre visage.

Les résultats montrent que la stimulation sur cette région, mais seulement dans l'hémisphère droit, interfère avec la précision avec laquelle on reconnaît son visage.





Reconstruction du corps calleux en utilisant la tractographie cérébrale

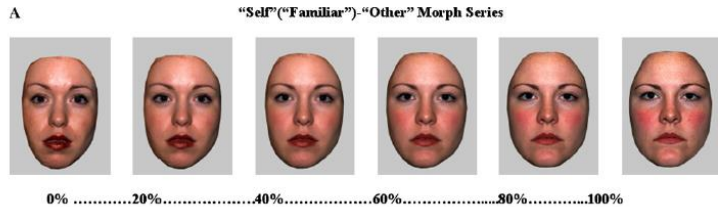


- Le corps calleux est un **faisceau inter-hémisphérique** qui relie principalement (mais pas seulement) les aires homologues du cerveau entre elles.
- Chez les patients « split brain », ce faisceau a été complètement interrompu.

Dissection anatomique du corps calleux)

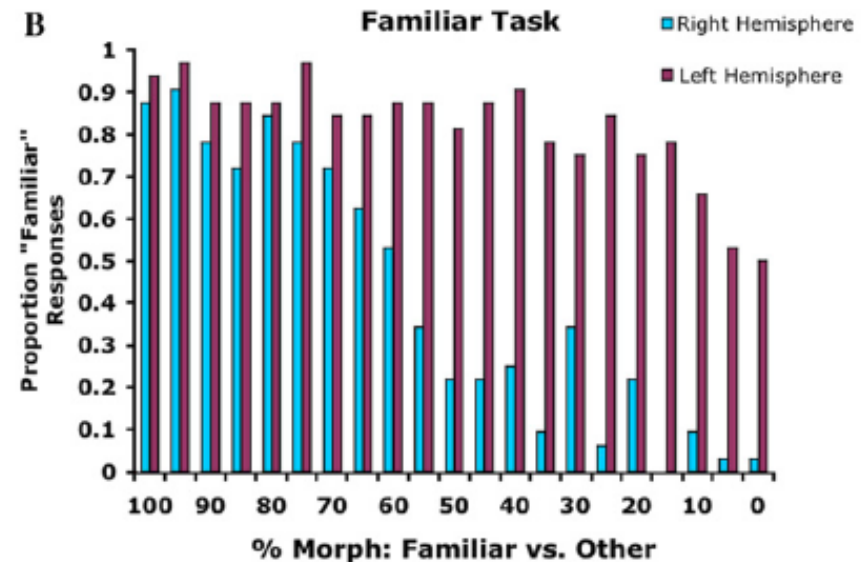
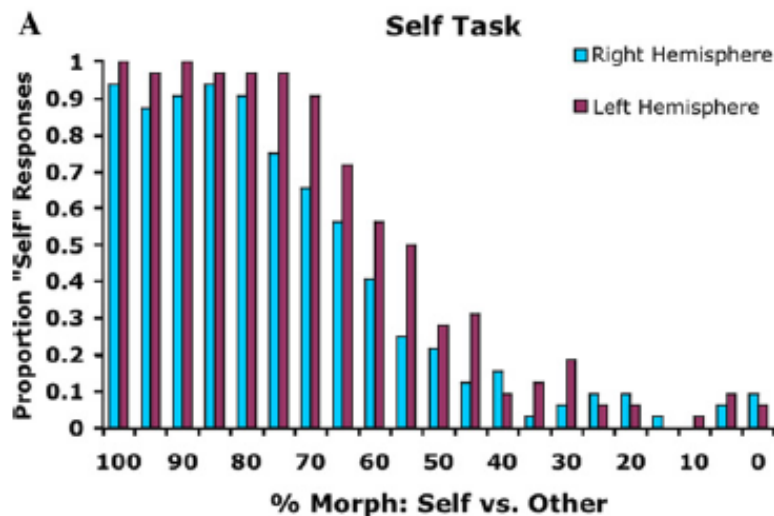
Se reconnaître soi-même

Reconnaissance de soi chez un patient *slip-brain*



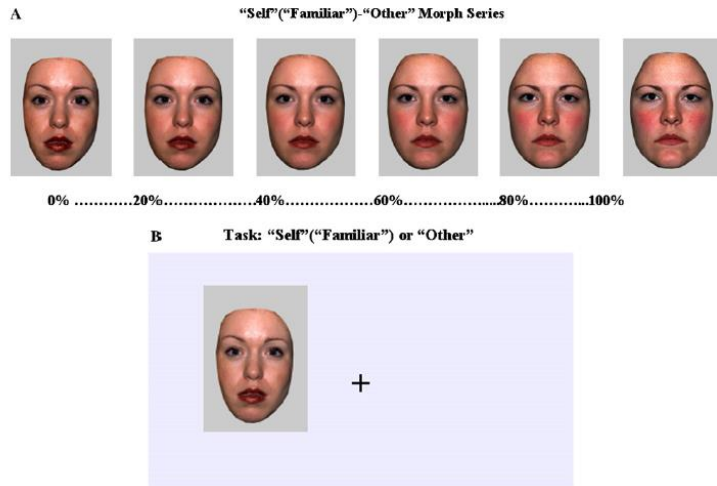
Deux tâches:

- Soit le patient doit dire si le visage est plutôt son visage ou plutôt celui de quelqu'un d'autre;
- Soit le patient doit dire si le visage est plutôt celui d'un collaborateur proche ou celui de quelqu'un d'autre;



Se reconnaître soi-même

Reconnaissance de soi chez un patient *slip-brain*



Conclusions de l'étude :

- L'hémisphère gauche et l'hémisphère droit sont tout deux capables de « reconnaissance de soi », donc ce n'est pas capacité latéralisée du cerveau ;
- L'hémisphère droit est par contre spécialisé dans la reconnaissance de personnes qui nous sont très familières ;

Se reconnaître soi-même

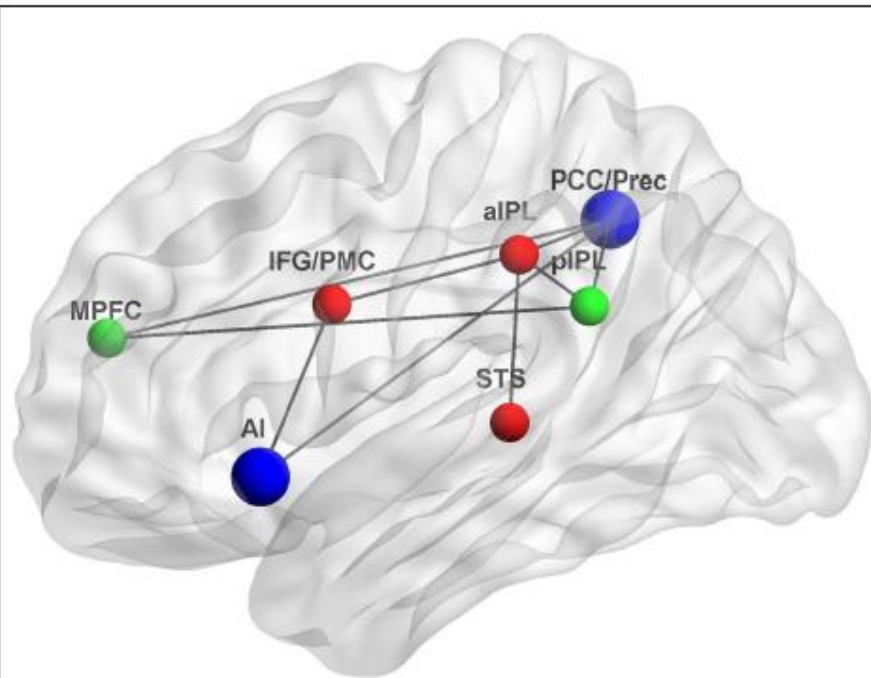


FIGURE 1 | Functional connections underlying interactions between the DMN and MNS. The DMN, a system for psychological self-relevant processing and mentalizing, and the MNS, a system for physical self-recognition and embodied simulation, may interact through densely connected “hubs” such as the AI and PCC/Prec. Green, DMN nodes; red, MNS nodes; blue, interaction nodes; MPFC, medial prefrontal cortex; pIPL, posterior inferior parietal lobule; PCC/Prec, posterior cingulate cortex/precuneus; IFG/PMC, inferior frontal gyrus/premotor cortex; aIPL, anterior inferior parietal lobule; STS, superior temporal sulcus; AI, anterior insula; Gray lines indicate possible functional connections based on (Iacoboni et al., 2001; Lou et al., 2004; Iacoboni and Dapretto, 2006; Sridharan et al., 2008; Schippers and Keysers, 2011). Figure was created using BrainNet Viewer (<http://www.nitrc.org/projects/bnv/>).

Le réseau du mode par défaut (qui recouvre en grande partie avec le réseau de la mentalisation) et le réseau de la reconnaissance de soi (qui semble recouvrir en grande partie avec le réseau des neurones miroirs) pourraient travailler de concert pour nous donner notre conscience de nous-même et par extension celle des autres.

Cette interaction permettrait une intégration du soi physique et du soi psychologique.

Quelles sont les précurseurs neurophylogénétiques de la Théorie de l'Esprit ?

- *Le système miroir*

Le système miroir : Accès à l'autre de manière implicite

Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la ToM ?

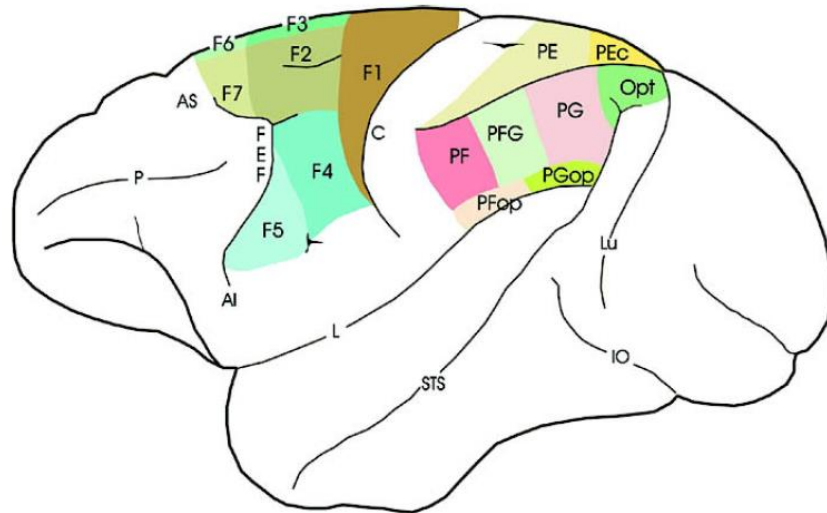


Figure 1 Lateral view of the monkey brain showing, in color, the motor areas of the frontal lobe and the areas of the posterior parietal cortex. For nomenclature and definition of frontal motor areas (F1–F7) and posterior parietal areas (PE, PEc, PF, PFG, PG, PF op, PG op, and Opt) see Rizzolatti et al. (1998). AI, inferior arcuate sulcus; AS, superior arcuate sulcus; C, central sulcus; L, lateral fissure; Lu, lunate sulcus; P, principal sulcus; POs, parieto-occipital sulcus; STS, superior temporal sulcus.

Rizzolatti et al. (2004), *Nature Neuroscience*

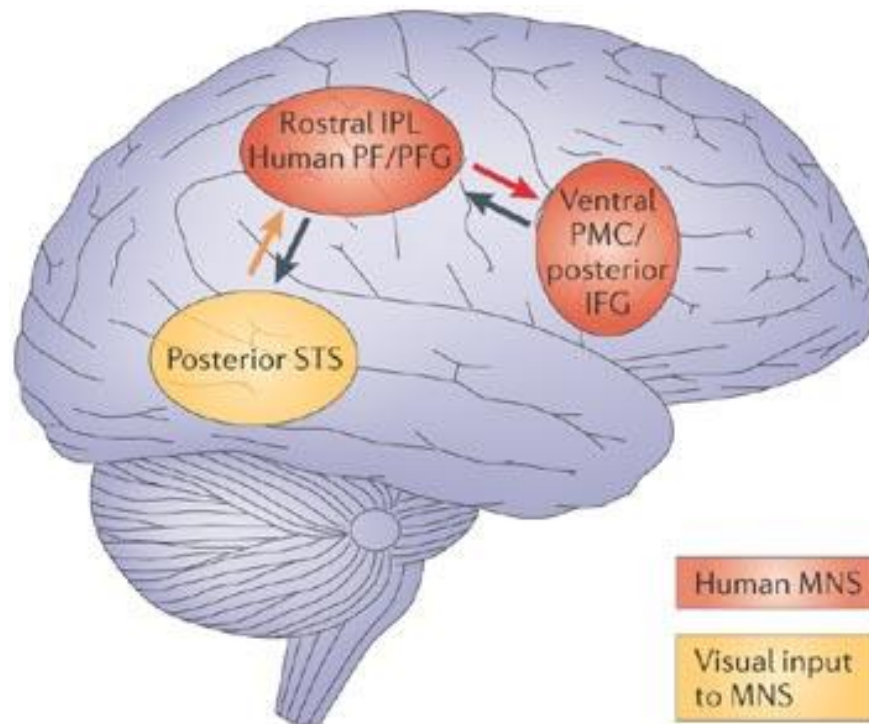
Les neurones miroirs sont des neurones spéciales, découvertes d'abord chez le singe puis chez l'homme, qui s'activent lorsque le singe réalise une action et l'observe chez un autre individu.

Découvertes par une équipe italienne dans les années 1990 (Rizzolatti)

Elles sont situées dans la partie F5 du lobe frontal chez le singe

Le système miroir : Accès à l'autre de manière implicite

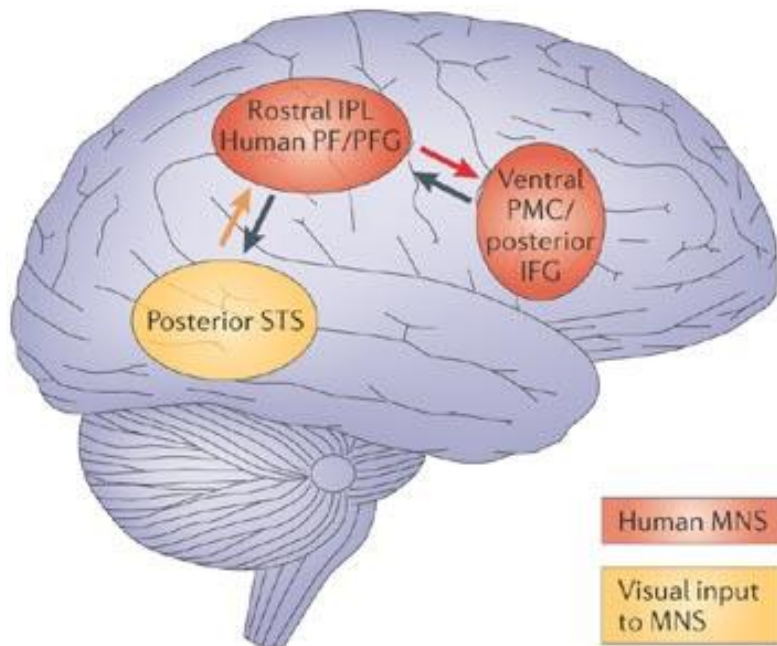
Quels sont les précurseurs neurophylogénétiques de la ToM ?



Chez l'homme, elles se situent dans la pars opercularis du gyrus frontal inférieur, dans la partie ventrale du cortex prémoteur et dans la partie antérieure du cortex pariétal inférieur

Copyright © 2006 Nature Publishing Group
Nature Reviews | Neuroscience

Le système miroir : Accès à l'autre de manière implicite



Copyright © 2006 Nature Publishing Group
Nature Reviews | Neuroscience

Neurones visuo-moteurs qui s'activent aussi bien lorsque l'on réalise une action que lorsque l'on observe cette même action.

Compréhension expérientielle, implicite de ce que l'autre est en train de faire

Décodage des intentions motrices
Identification des émotions
Empathie émotionnelle
Compréhension implicite de l'action

Systeme miroir et reconnaissance des émotions basiques



Figure 2. Example stills from stimuli clips used, showing happy, angry, sad, and disgusted expressions.



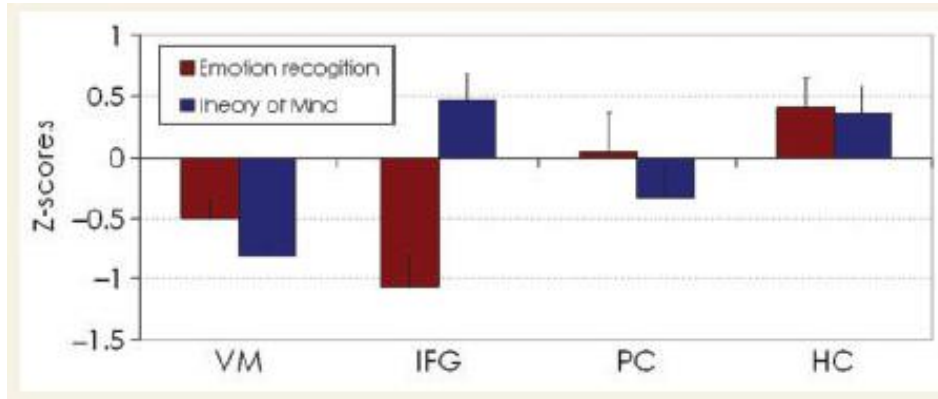
Figure 3. (e) The left dorsal IFG-premotor cortex cluster that shows a common activation in all four (emotion > neutral) vs. EQ correlation maps (cross-hair indicates a local maxima at the following Talairach co-ordinate: -46 20 24).

Chakrabarti et al., 2006

L'activation du cortex pré-moteur/gyrus frontal inférieur est commun à toutes les émotions basiques

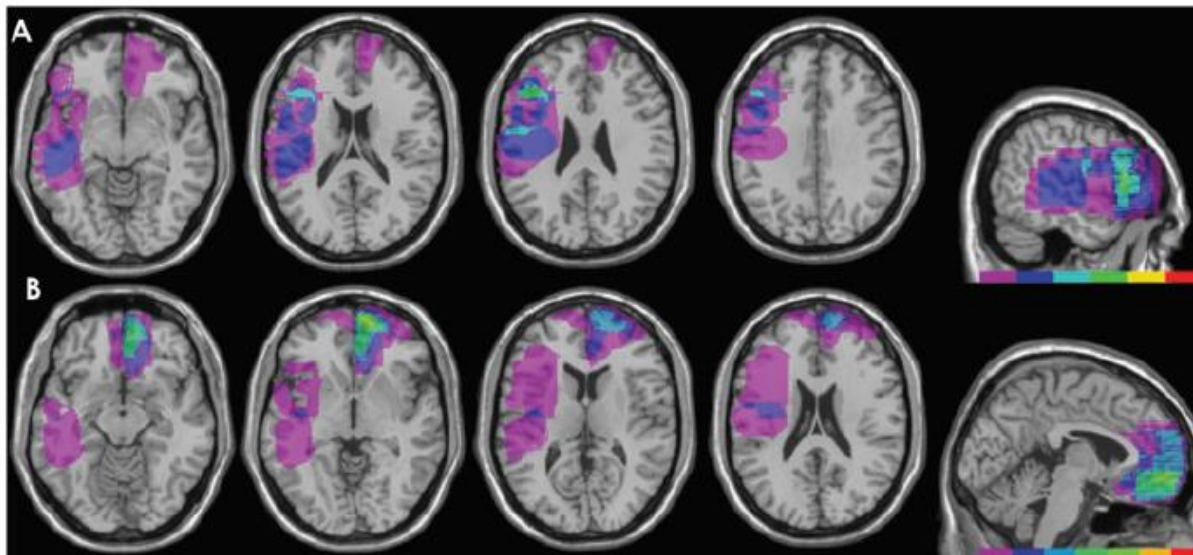
Système miroir et empathie

Affective



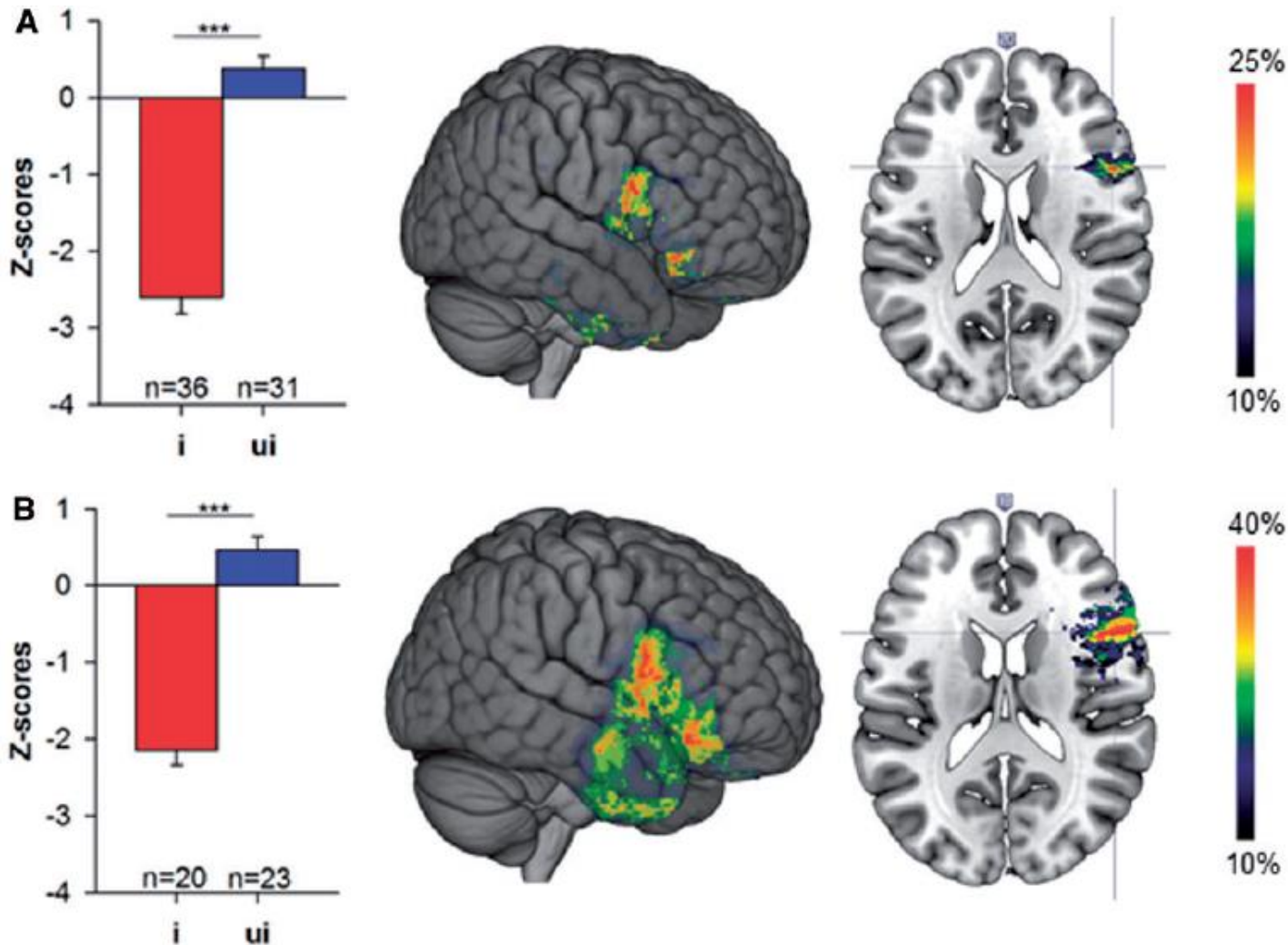
Shamay-Tsoory et al., 2009

Emotional Empathy Simulation system Emotional contagion Personal Distress Empathic concern Emotion recognition	Cognitive Empathy Mentalizing system and Theory of Mind Perspective taking Imagination (of emotional future outcomes) Theory of mind
Core Structure IFG BA 44 Unimodal Dysgranular cortex	Core Structure VM BA 10, 11 Heteromodal Granular cortex
Development Infants	Development Children/adolescents
Phylogenetics Rodents, Birds	Phylogenetics Chimpanzees



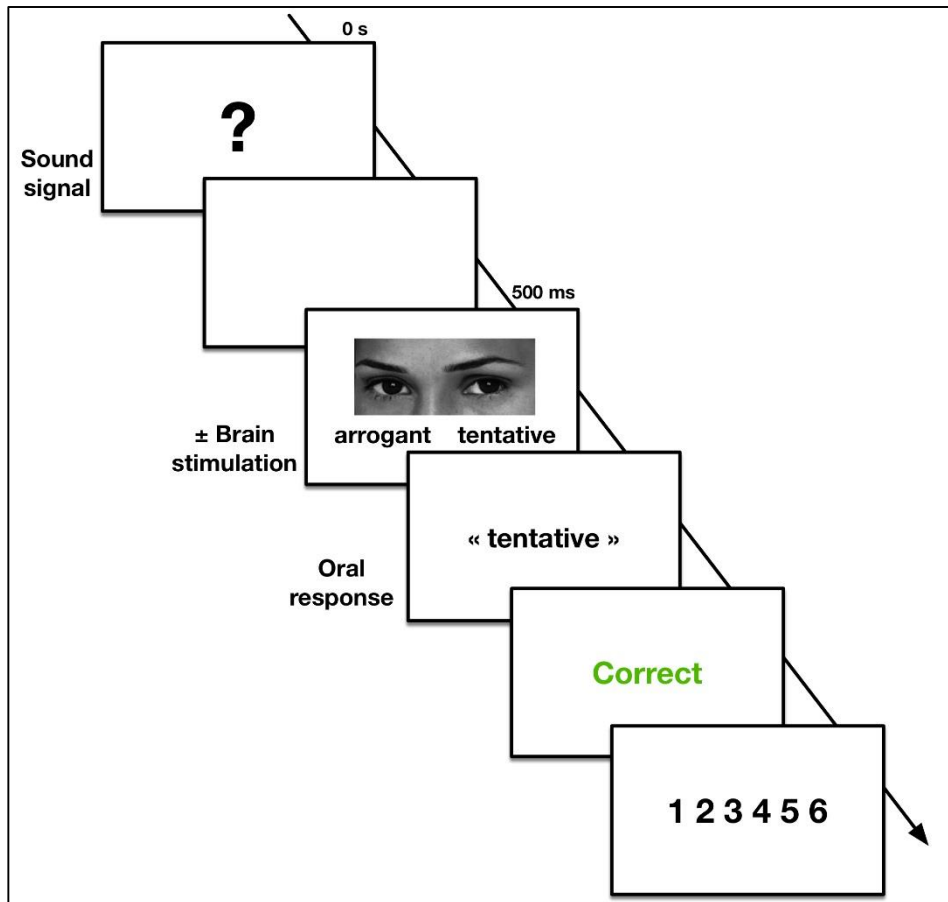
Systeme miroir et mentalisation dite de bas-niveau

Les patients montrant un deficit de reconnaissance des etats affectifs complexes sont ceux les plus frequemment toucheses au niveau de la **pars opercularis** du GFI.



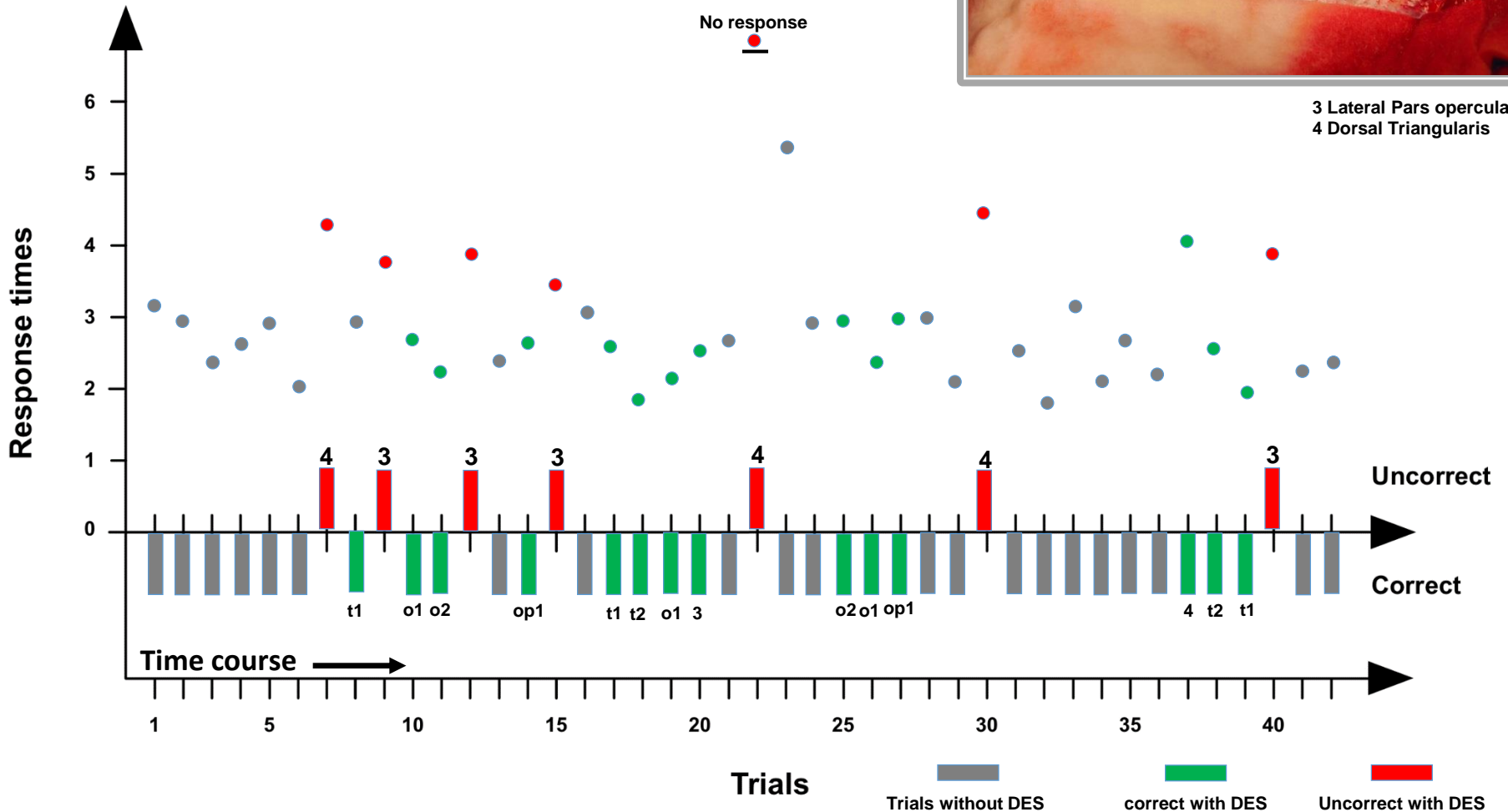
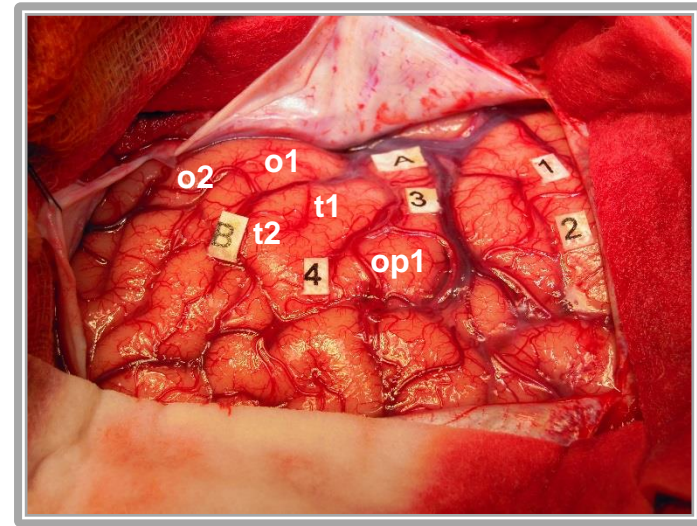
Système miroir et mentalisation dite de bas-niveau

Cortical brain mapping of mentalizing processes

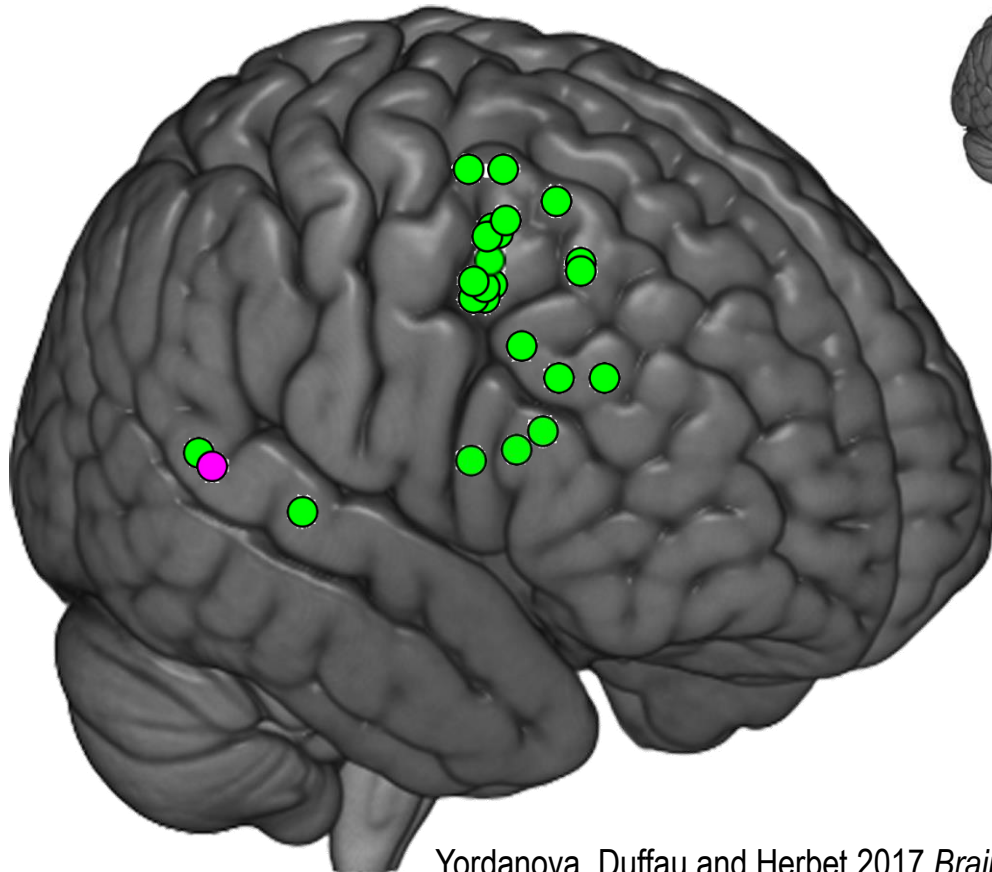


Exemple d'une cartographie des processus de reconnaissance des états affectifs complexes au bloc opératoire.

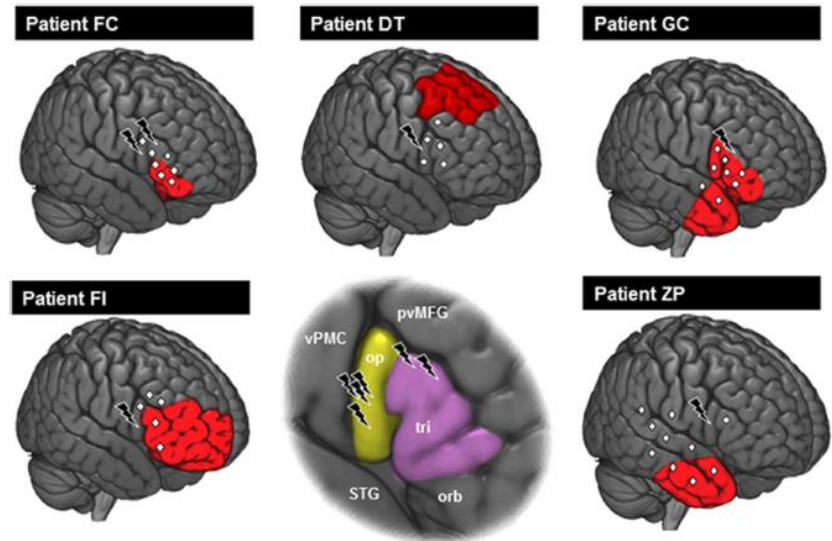
Systeme miroir et mentalisation dite de bas- niveau



Système miroir et mentalisation dite de bas- niveau



Yordanova, Duffau and Herbet 2017 *Brain Struct Funct*



Herbet et al. 2015 *Brain Struct Funct*

La stimulation de la **pars opercularis du GFI droit** (mais aussi le cortex préfrontal dorsolatéral) induit un trouble de la reconnaissance des états affectifs complexes.

L'agentivité et ses perturbations chez les schizophrènes

L'agentivité

Définition : L'agentivité réfère à l'ensemble des processus neurocognitifs impliqués dans la reconnaissance du soi en action (reconnaissance que nous sommes bien les initiateurs de nos propres mouvements).

Pourquoi postuler qu'il existerait des mécanismes dédiés spécifiquement au sentiment que l'on est l'auteur de ses propres actions ?

L'agentivité

⇒ Les patients schizophrènes atteints d'**une schizophrénie dite positive** montrent un cortège de symptômes, dont :

- Des **hallucinations auditives** (les patients entendent des voix qui ne sont pas reconnues comme les leurs) ;
- Des **expériences de passivité** (délires de contrôle) : les patients rapportent que leurs actions, émotions et pensées ne sont pas les leurs, mais l'influence d'une force qui est extérieure à eux-mêmes ;

⇒ Ces symptômes semblent suggérer que les patients ont un problème à reconnaître le soi en action.

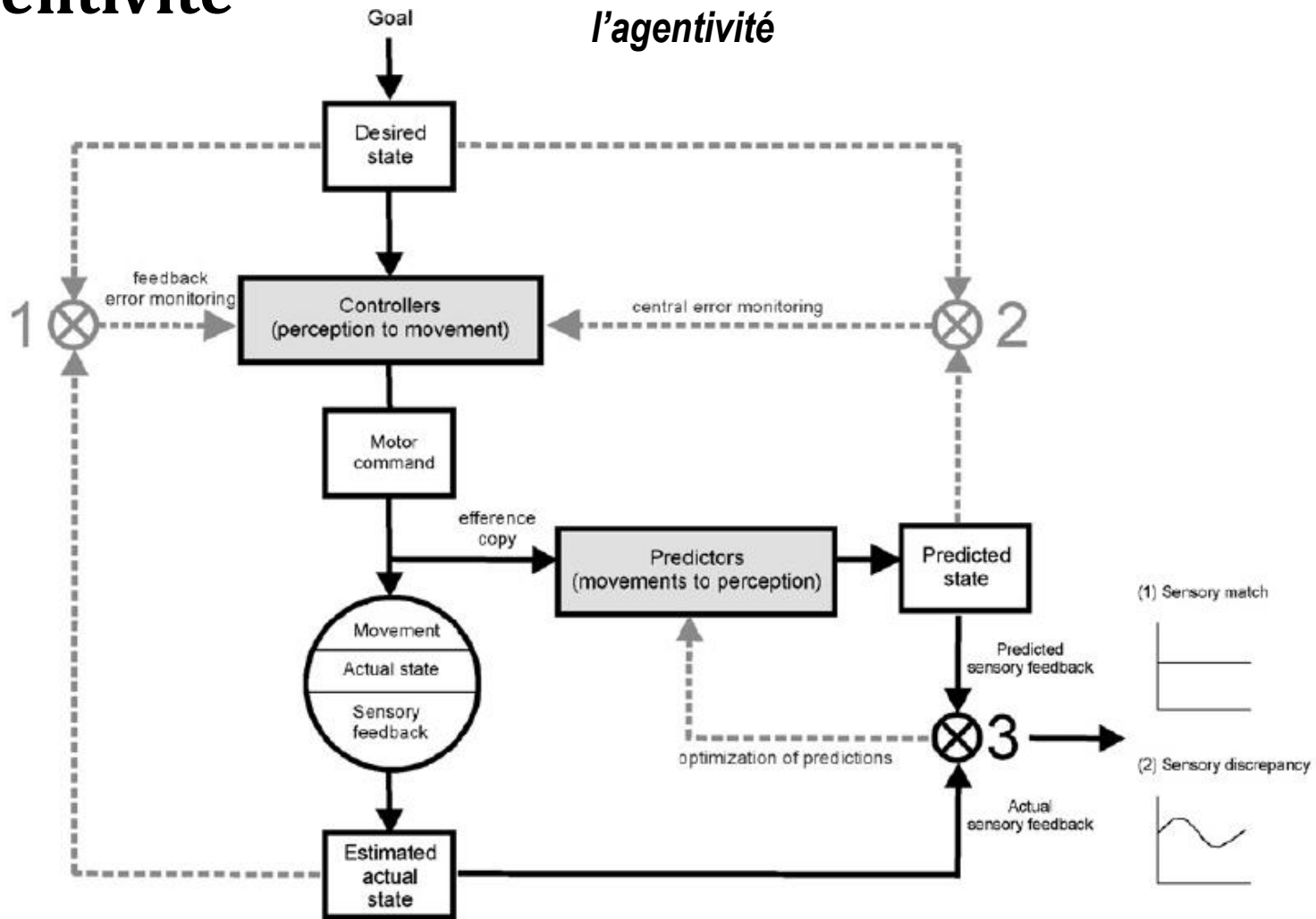
L'agentivité

Exemples d'expériences de passivité rapportées par le patient :

- *Patient 1* : « Ils ont inséré un ordinateur dans mon cerveau. Il me fait tourner à gauche ou à droite quand je marche. »
- *Patient 2* : « C'est juste come si j'étais piloté de l'intérieur, par ou par quoi je ne sais pas. »

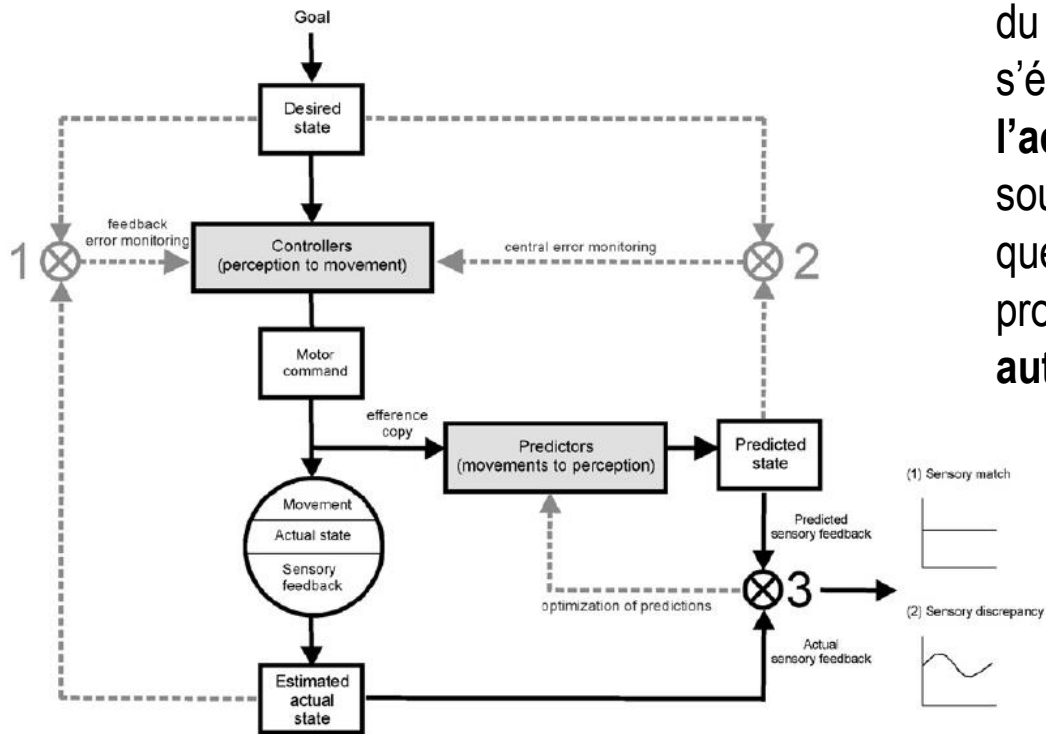
L'agentivité

Mécanismes neurocognitifs sous-tendant le sens de l'agentivité



Lorsque vous agissez (vous avez un but, une intention), vous produisez des commandes motrices. Différents « comparateurs » vont permettre de s'assurer que les actions en cours atteignent leurs buts ou s'il faut réajuster les commandes pour optimiser les actions en cours.

L'agentivité



Les comparateurs ne sont pas seulement des fonctions exécutives opérant au niveau du control sensorimoteur, mais pourrait s'étendre au niveau de la **conscience de l'action**. Deux d'entre deux pourraient sous-tendre le sens de l'agentivité, le sens que nous sommes initiateurs de nos propres actions, que **l'action est bien autogénérée**.

Comparteur 1:

Comparaison entre l'état désiré du système et l'état réel. S'il y a un écart; les commandes motrices seront réajustés.

Comparteur 2:

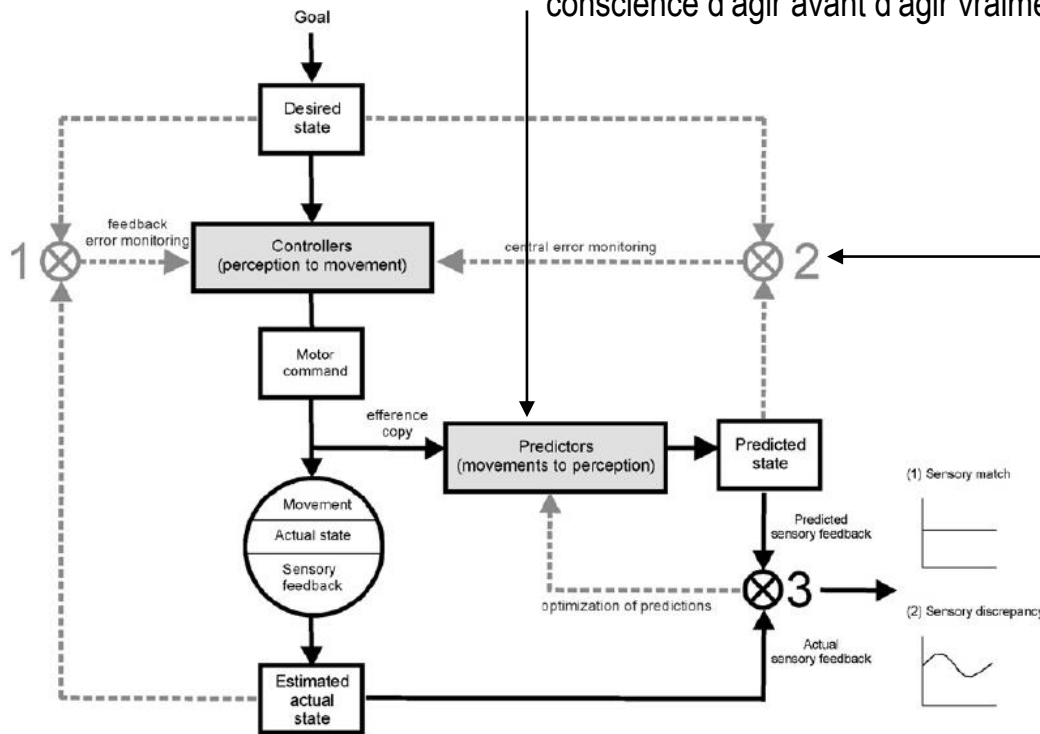
Sur la base d'une commande motrice, le système prédit le résultat (ou conséquences sensorielles) de notre comportement/action. Cette prédiction peut permettre de réajuster l'action en cours

Comparteur 3:

Ces prédictions peuvent être comparées aux réafférences sensorielles (les conséquences réelles des actions), et peuvent être utilisées pour atténuer les conséquences sensorielles des actions auto-générées

L'agentivité

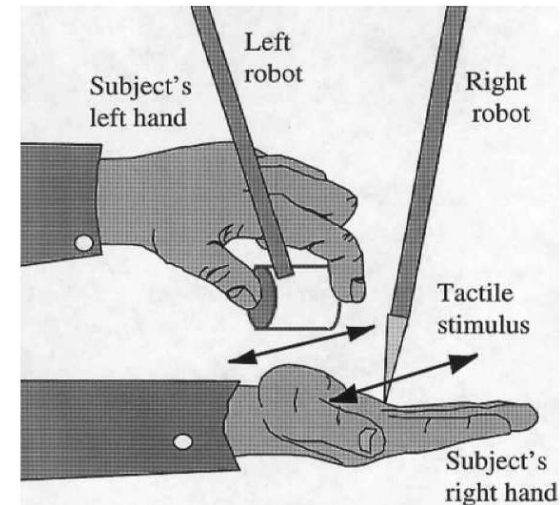
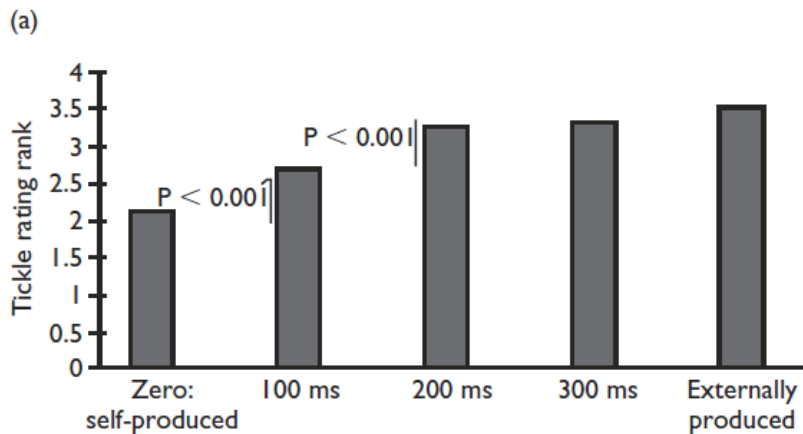
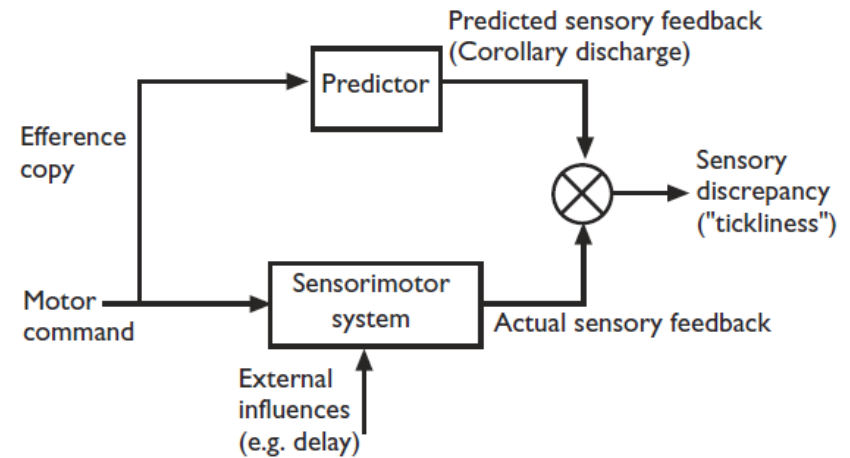
Permettrait d'avoir une conscience prédictive de l'action : « lorsqu'on agit, on a conscience d'agir avant d'agir vraiment »



Permettrait de se « sentir en control » de sa propre action.

Permettrait d'attribuer à soi-même ou à l'extérieur des évènements sensoriels.

Peut-on se chatouiller soi-même ?



Le caractère chatouilleux d'un stimulus tactile augmente quand le délai entre le mouvement de la main gauche and le stimulus tactile appliqué sur la main droite augmente. Cela suggère que l'atténuation sensorielle/perceptive des stimulations autoproduites est basée sur des prédictions sensorielles spécifiques.

Central cancellation of self-produced tickle sensation

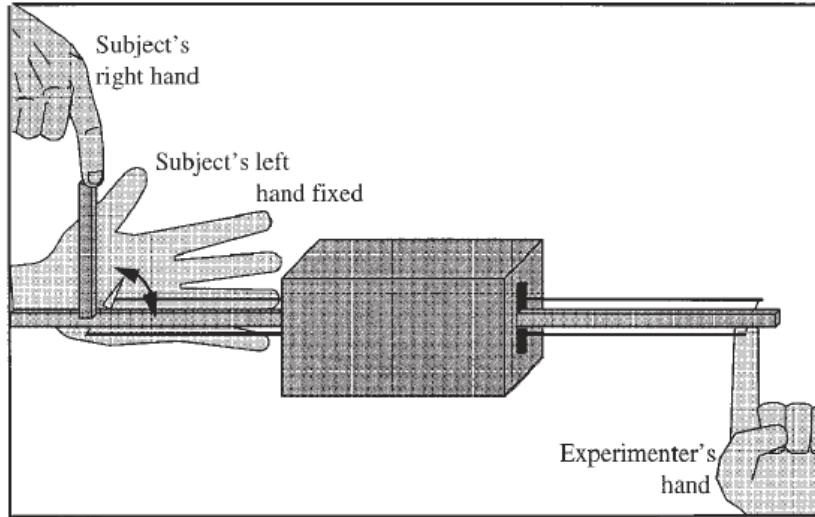


Fig. 1. Diagram of experimental set-up. A tactile stimulus device consisted of a piece of soft foam attached to a plastic rod (length 70 cm), which could pivot about its center. The rotation of the rod was mechanically limited to vertical movements of amplitude 1.5 cm. The rod could be moved either by the subject using the right hand or from the other end of the rod, which was outside the scanner, by the experimenter. A pulley system allowed the foam stimulus to be retracted or exposed, under the experimenter's control, during the scanning. When exposed, the foam made light contact with the subject's left palm.

Condition A: (stimuli tactile autoproduit), les sujets font des mouvements sinusoïdaux verticaux avec la barre (main droite)

Condition B (mouvements autoproduits sans stimulation tactile): les sujets font des mouvement sinusoïdaux verticaux avec la barre (main droite) mais le dispositif permettant de provoquer des stimuli tactiles est enlevé

Condition C: (stimulations tactiles produits par l'expérimentateur).

Condition D: (condition de repos): aucun stimulus (ni mouvement ni tactile)

Central cancellation of self-produced tickle sensation

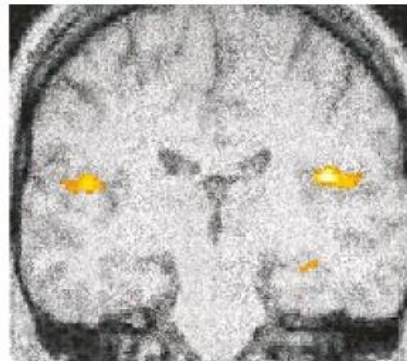
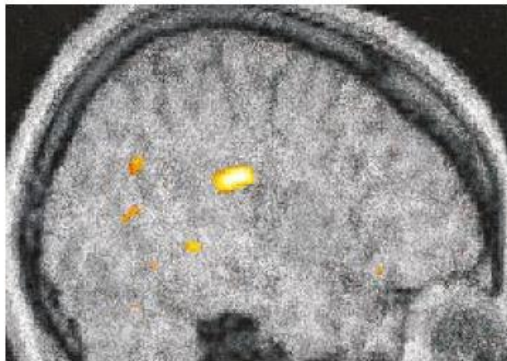
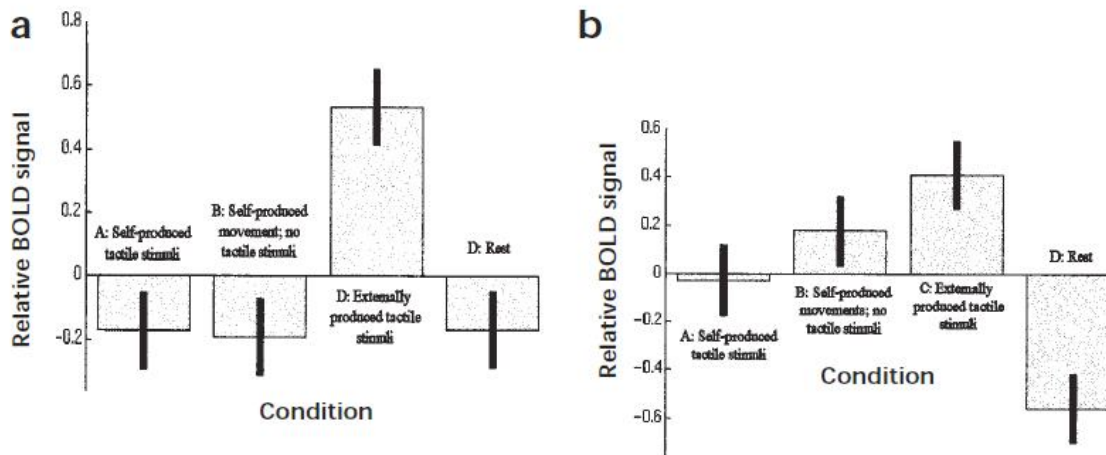


Fig. 4. Significantly decreased activity ($p < 0.05$, corrected for multiple comparisons) in bilateral secondary somatosensory cortex associated with the interaction between the effects of self-generated movement and tactile stimulation. Shown are condition-specific parameter estimates, which reflect the adjusted BOLD contrast signal relative to the fitted mean and are expressed as a percentage of whole brain mean activity. In the lower panel, the effects at voxels in the right (**a**; 42, -24, 18) and left (**b**; -22, -36, 30) parietal operculum are shown for a single subject. Similar parameter estimates were obtained for the remaining subjects in this statistical model. Conditions are labeled as in Table 1.



Quand un stimulus tactile est autoproduit, il y a une baisse de l'activité dans le cortex somatosensoriel alors que cette baisse n'existe pas quand le n'est pas produit par soi-même.

Central cancellation of self-produced tickle sensation

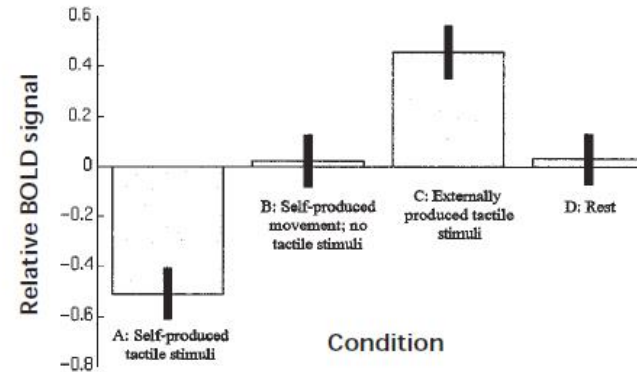
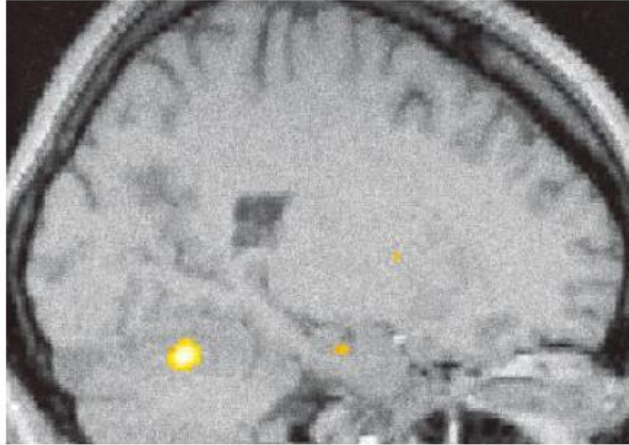
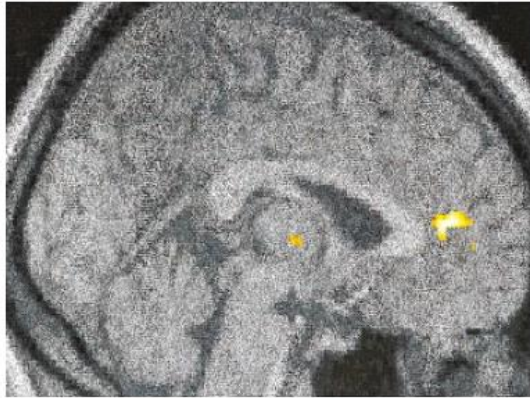


Fig. 5. Significantly decreased activity ($p < 0.05$, corrected for multiple comparisons) in right anterior cerebellar cortex associated with the interaction between the effects of self-generated movement and tactile stimulation. Shown are condition-specific parameter estimates, which reflect the adjusted BOLD contrast signal relative to the fitted mean and are expressed as a percentage of whole brain mean activity. The effects at the voxel 22, -58, -22 are shown, for illustration, for a single subject in the lower panel. Similar parameter estimates were obtained for the remaining subjects in this statistical model. Conditions are labeled as in Table 1. The right anterior cerebellar cortex was the only area of the brain activated in the contrast A-B.

On observe la même chose dans le cervelet...

Central cancellation of self-produced tickle sensation



Et dans le gyrus cingulaire antérieur

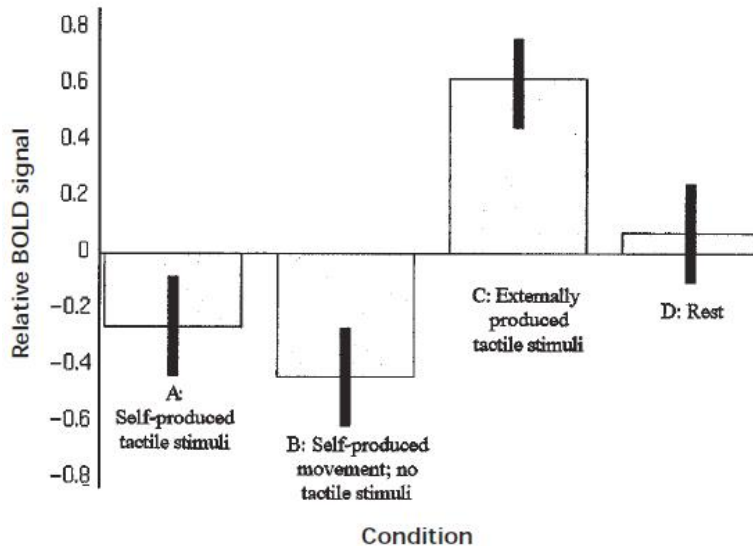
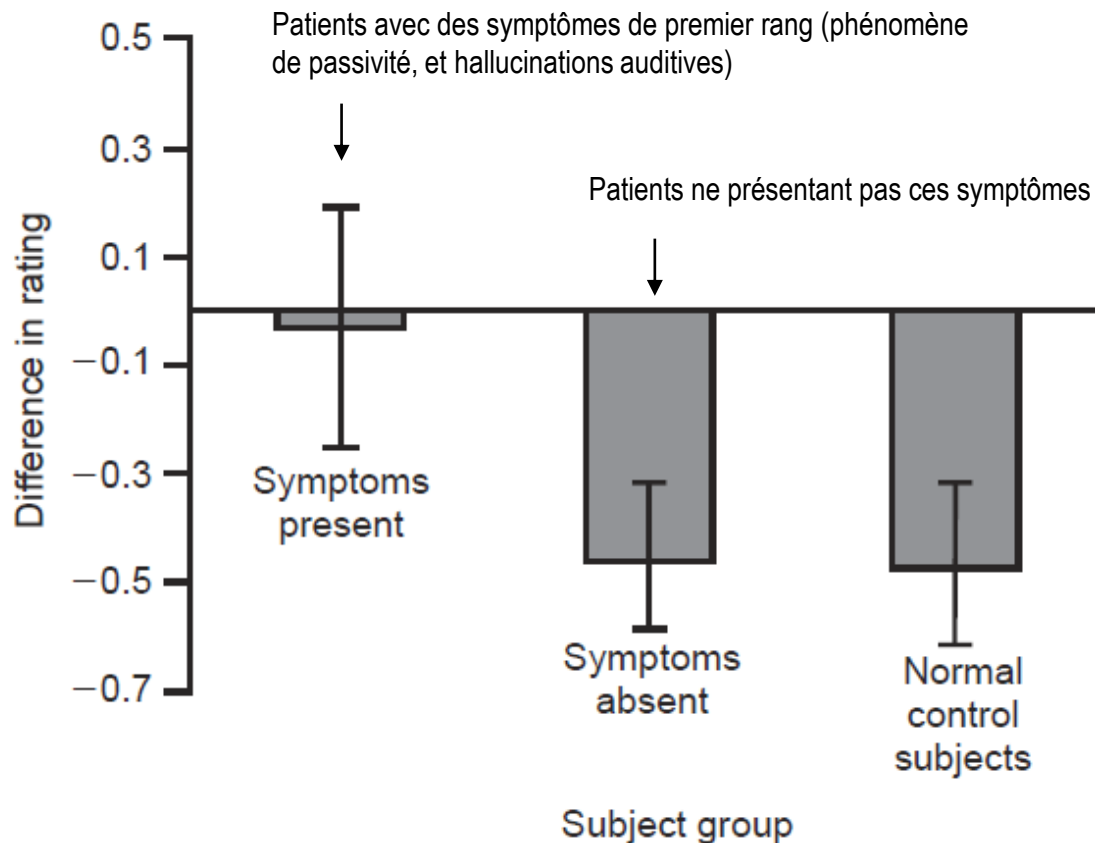


Fig. 6. Significantly decreased activity ($p < 0.05$ corrected for multiple comparisons) in anterior cingulate cortex associated with the interaction between the effects of self-generated movement and tactile stimulation. Shown are condition-specific parameter estimates, which reflect the adjusted BOLD contrast signal relative to the fitted mean and are expressed as a percentage of whole brain mean activity. The effects at the voxel 2, 42, 6 are shown, for illustration, for a single subject in the lower panel. Similar parameter estimates were obtained for the remaining subjects in this statistical model. Conditions are labeled as in Table 1.

Les patients schizophrènes peuvent-ils se chatouiller ?

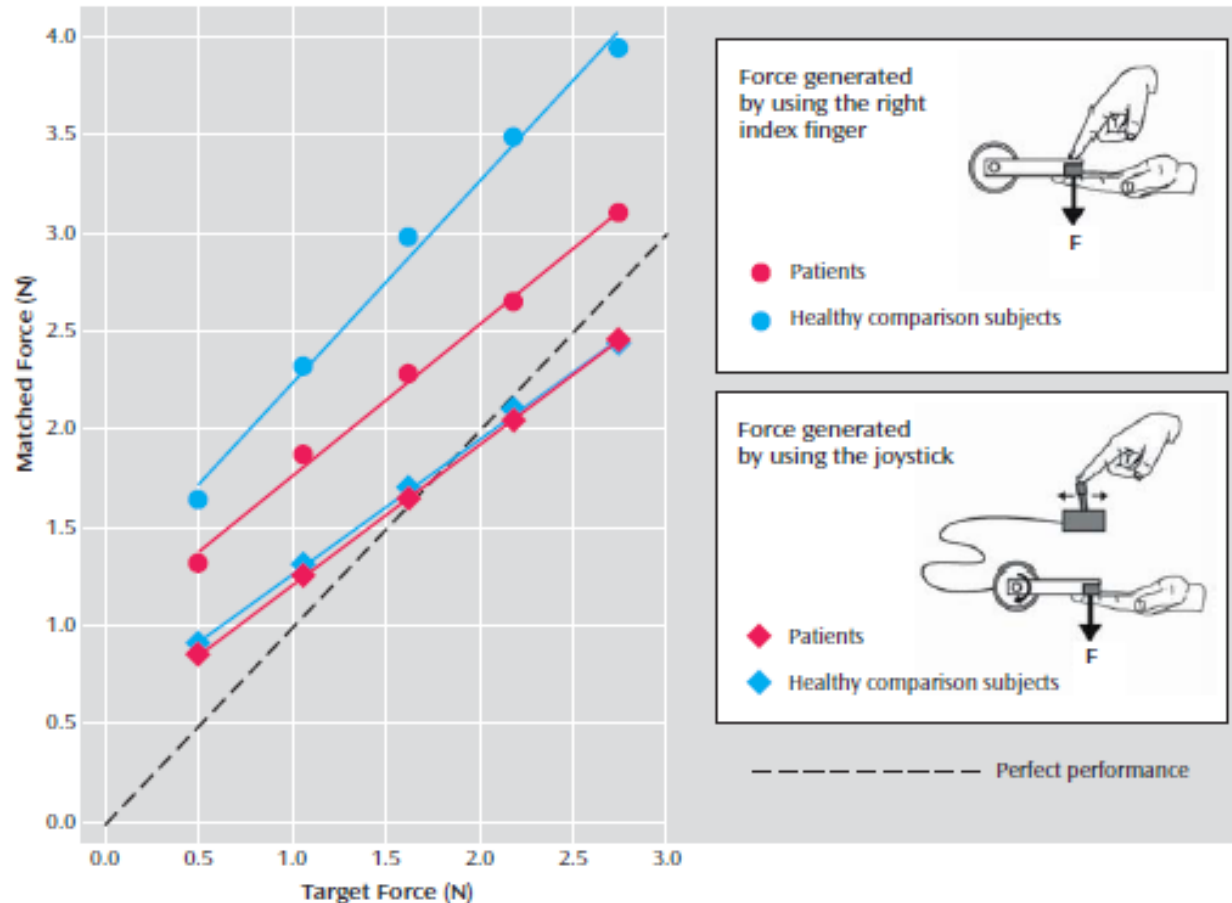
Situation expérimentale:

Soit les sujets s'appliquaient une stimulation tactile, soit un expérimentateur appliquait une stimulation tactile. Les sujets devaient ensuite évaluer la sensation sur une échelle.



L'agentivité

FIGURE 1. Matching Force Generated by 19 Patients With Schizophrenia and 19 Healthy Volunteers Using the Right Index Finger or Joystick as a Function of the Externally Generated Target Force^a



^a Dotted line represents perfect performance. On each trial the torque motor generated a force between 0.5 and 2.75 Newtons on the left index finger for 3 seconds (80 trials in a pseudo-randomized order). Subjects were then required to reproduce the force either by pushing with their right index finger or by using a joystick that controlled the torque motor. Each subject participated in both conditions in a counterbalanced order. The applied forces were measured by using a force transducer mounted in the lever of the torque motor.

Les patients schizophrènes éprouvent des difficultés à prédire les conséquences sensorielles de leurs actions

L'agentivité

- 1 Il m'arrive parfois d'avoir l'impression que ce que je vois à la télévision m'est personnellement destiné ?
- 2 Il m'arrive d'éviter les lieux où il y a de la foule, car j'y deviens facilement anxieux.
- 3 J'ai déjà eu des expériences en rapport avec des choses surnaturelles.
- 4 Il peut m'arriver de prendre les ombres ou certains objets pour des personnes ; ou certains bruits pour des voix.
- 5 Je pense que beaucoup de gens me considèrent comme quelqu'un d'un peu bizarre ou d'un peu curieux.
- 6 Je trouve peu d'intérêts à faire la connaissance d'autres personnes.
- 7 Les gens ont parfois du mal à comprendre ce que je dis quand je me lance dans une explication.
- 8 Les gens me trouvent parfois lointain ou distant.
- 9 J'ai le sentiment qu'on parle de moi dans mon dos.
- 10 Je me rends compte que les gens me remarquent quand je sors pour aller au restaurant ou au cinéma.

L'agentivité

- Ce questionnaire de schizotypy est basé sur les critères du DSM IV. Il existe 3 grandes dimensions :

1- *Dimension cognitive/perceptive* (schizotypie positive) : suspicion, idées de référence, pensée magique, croyance en la clairvoyance, télépathie, 6^{ième} sens.

2- *Dimension désorganisée* (schizotypie négative) : langage vague, stéréotypé, trop métaphorique, etc.

3- *Dimension interpersonnelle*: pas d'amis proche, anxiété sociale démesurée, etc.

- **Self-tickling (ST)**: participant used his/her dominant hand to make back and forth movements of the paintbrush on her/his non-dominant forearm, to each “tick” and “tack” of the metronome. The duration of the stimulation was 8 s (i.e. 6 beats). Both the participant and the experimenter could hear the sound of the metronome.
- **Predictable, externally-produced tickling (ET_P)**: the experimenter applied the tactile stimulation on the participant's forearm with the same rhythm that in the ST condition. Both could hear the sound of the metronome.

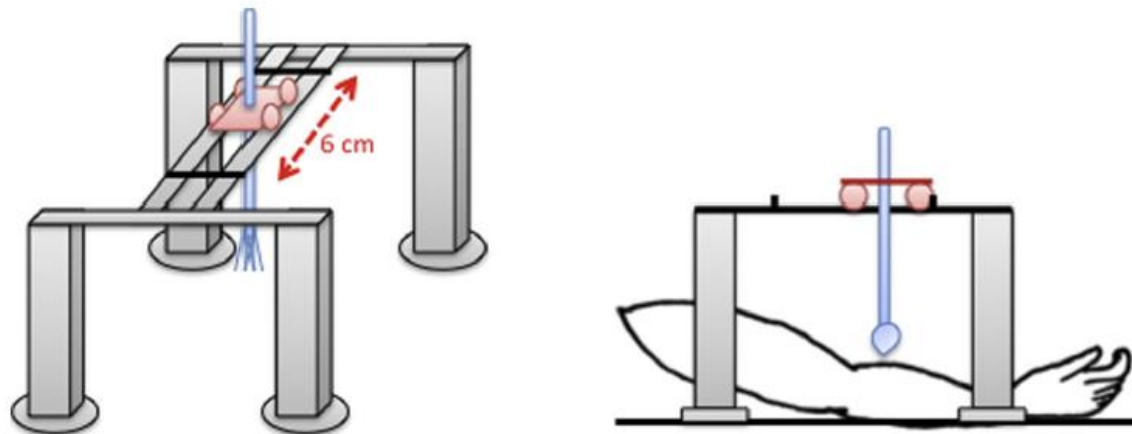
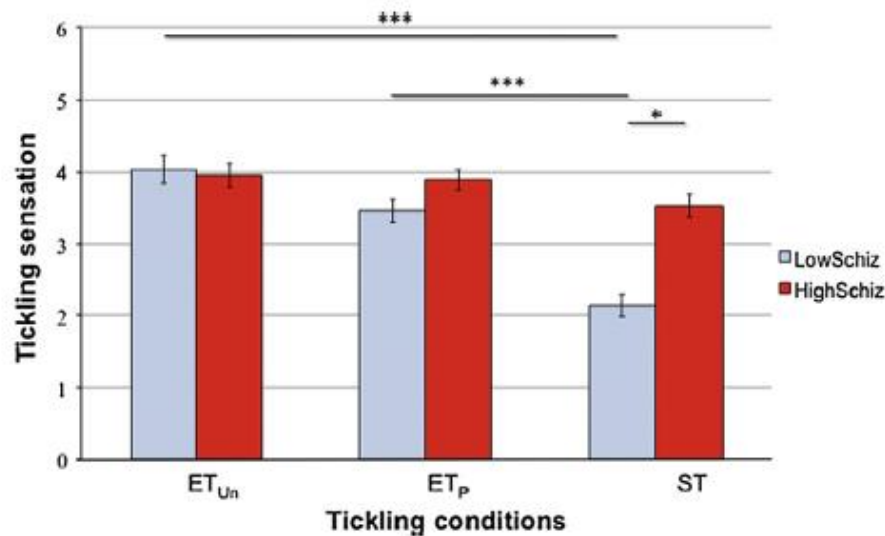


Fig. 1. 2D and 3D views of the device. The experimental material consisted of a wooden frame affixed to a table via four suckers. A paintbrush was mounted on rails to enable it to be moved horizontally back and forth over the participant's forearm. The paintbrush's height could be adjusted with a screw. The rails were blocked on each side, to delineate the area of tickling (total horizontal displacement: 6 cm).

- **Unpredictable, externally-produced tickling (ET_{UN})**: the procedure was the same as in the ET_P condition except that only the experimenter could hear the sound of the metronome through headphones connected to the computer. Here, “unpredictable” means unpredictable on the basis of an effective external signal because the participant couldn't hear the sound of the metronome. In such a condition, at least for the subjects with the less efficient predictive mechanisms, the rhythm of the tactile stimulation should be less easily predictable. Note that the two different externally tickle conditions were also included to add some variety to what was essentially a very repetitive task for the participants.

L'agentivité



Les sujets avec un profil schizotypique évaluent la sensation des stimulations autoproduites comme plus fortes que les sujets avec un profil faiblement schizotypique

Table 1

The correlations (r values with associated two-tailed p values) between Index of Somatosensory Attenuation, SPQ factors and SAPE-GP for High and LowSchiz individuals.

	Index of Somatosensory Attenuation (ISA)			
	HighSchiz		LowSchiz	
	r	P value	r	P value
Cognitive Perceptual Factor	-.58	.001	.30	.13
Ideas of reference	-.28	.16	.29	.14
Magical think	-.01	.95	.01	.96
Unusual perceptual experiences	-.44	.02	.31	.12
Suspiciousness	-.56	.002	.22	.29
Interpersonal factor	.17	.38	.08	.70
Social anxiety	.22	.26	.06	.77
No close friends	-.05	.80	.02	.93
Constricted affect	.23	.24	.08	.69
Disorganized factor	-.03	.91	.07	.73
Odd speech	.05	.81	-.06	.79
Odd behavior	-.1	.63	.16	.44
SAPE-GP	-.41	.036	.07	.73

L'agentivité

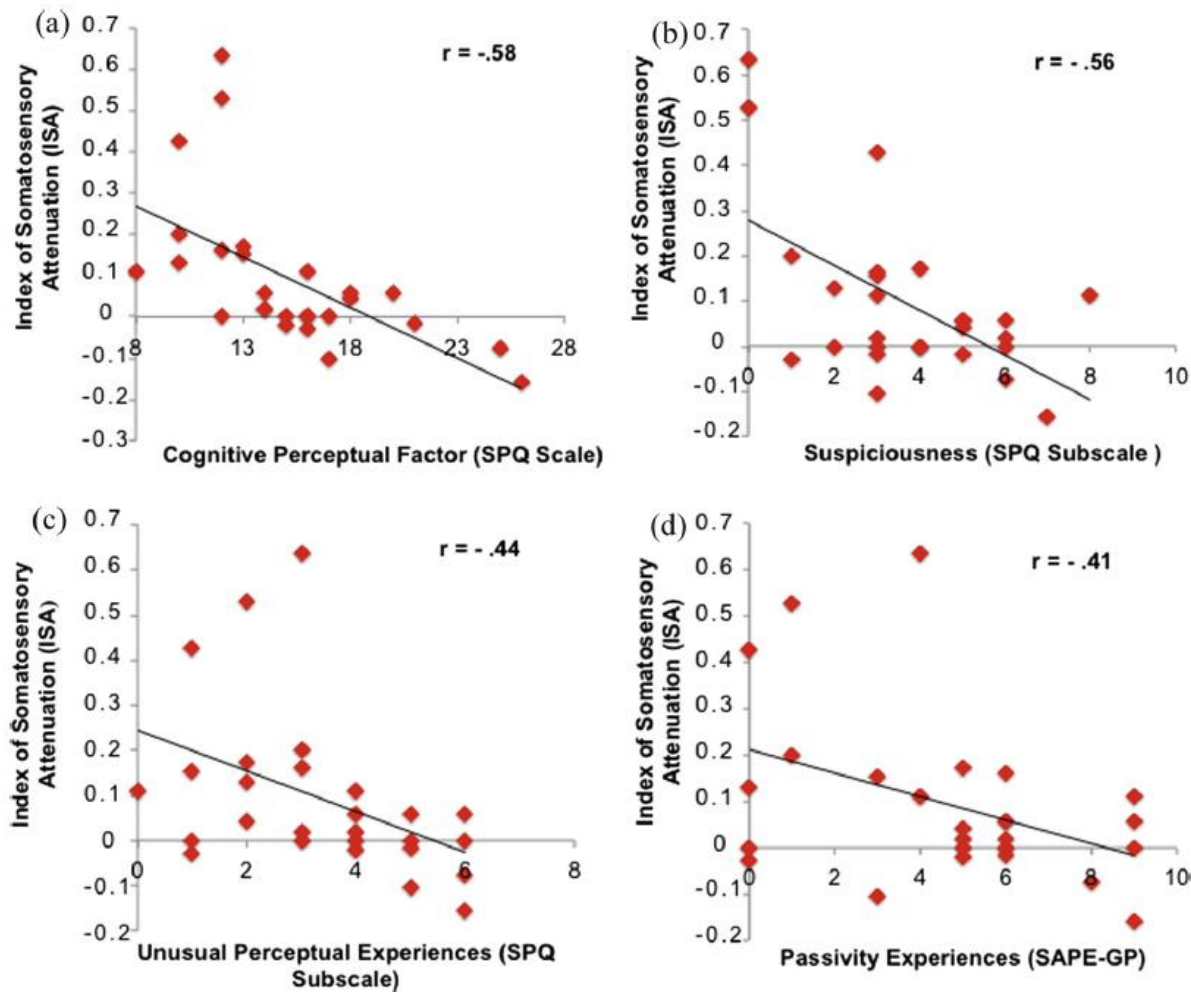


Fig. 4. Individual Index of Somatosensory Attenuation values as a function of (a) Cognitive Perceptual Factors scores; (b) Suspiciousness scores; (c) Unusual Perceptual Experiences scores and (d) Passivity Experiences (SAPE-GP) scores.

Bases neurales de l'agentivité

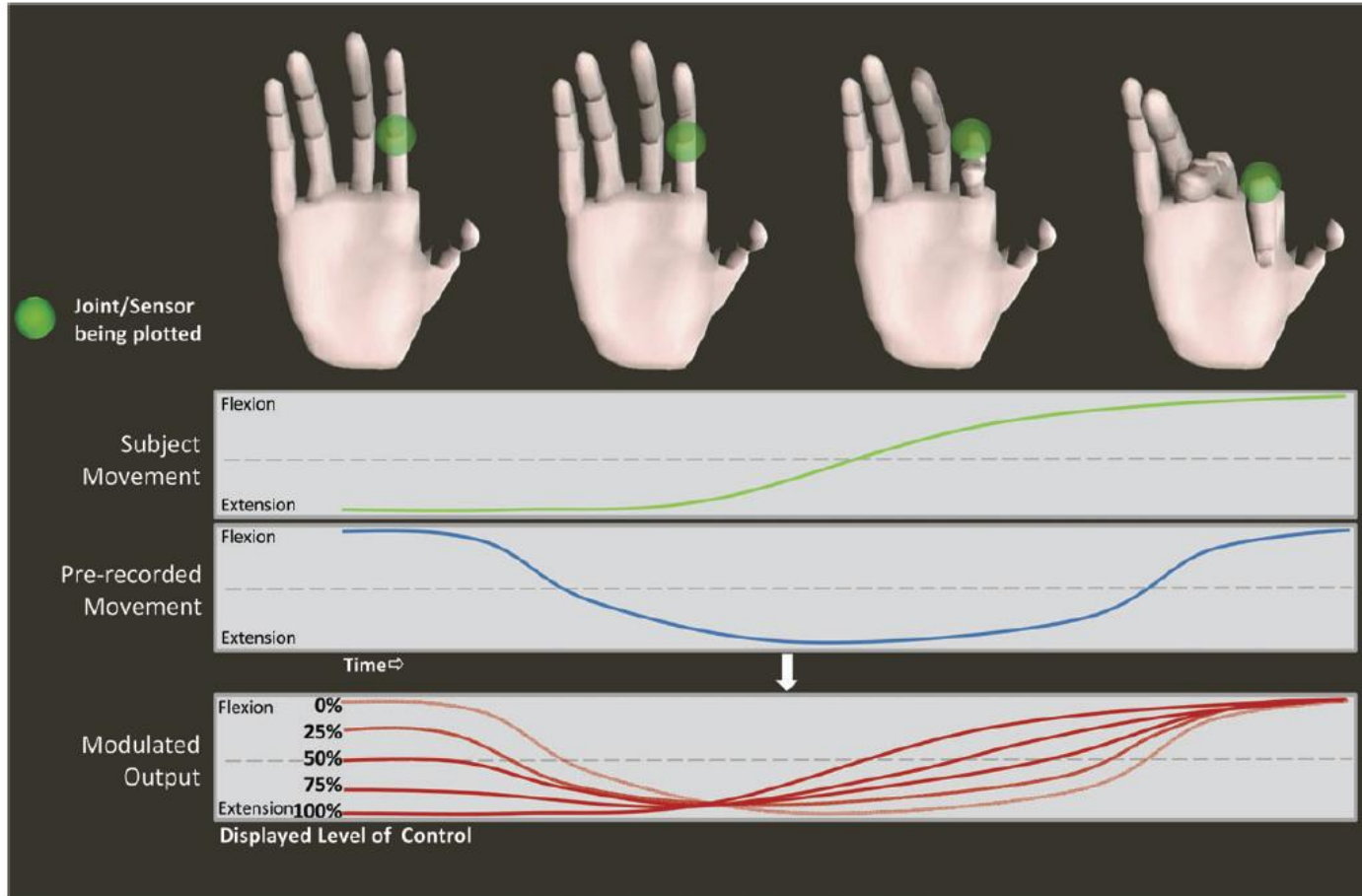
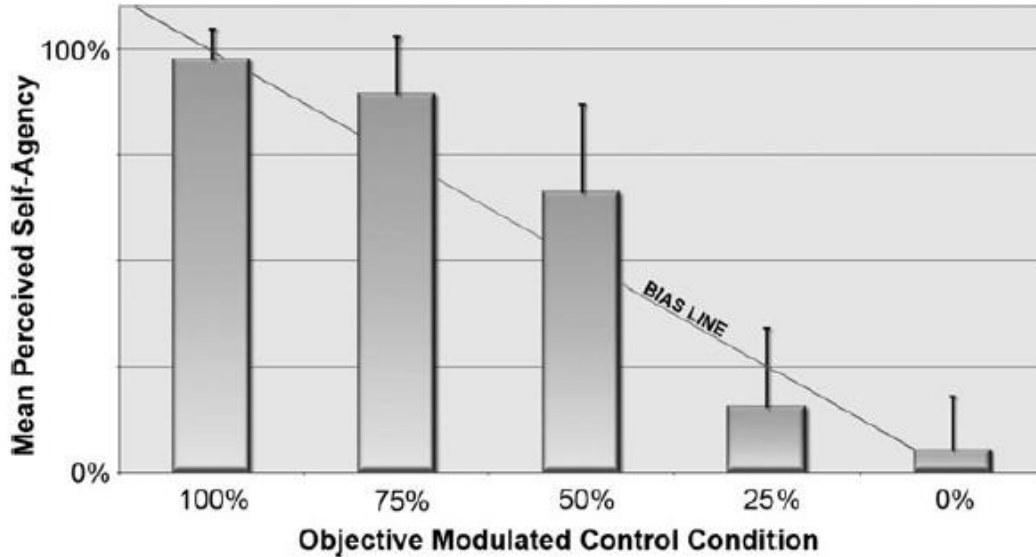


Figure 1. Demonstration of virtual-reality paradigm showing the joint angle data from one of 18 total sensors while the subject performs the sequential finger movements. The level of SA is modulated based on the relative contribution of the subject's actual data with a prerecorded set of movements to produce the output of the model hand seen by the subject. Note the actual paradigm performs these calculations for all 18 sensors simultaneously.

Situation de réalité virtuelle où les sujets doivent réaliser des séquences de mouvements. Plusieurs conditions sont réalisées. Soit les sujets perçoivent réellement ce qu'ils sont en train de faire, soit le mouvement perçu est distordu (on introduit dans la séquence des mouvements du sujet préenregistrés)



Les sujets doivent dire si la séquence exécuté correspond à leur mouvement ou à un mouvement tronqué.

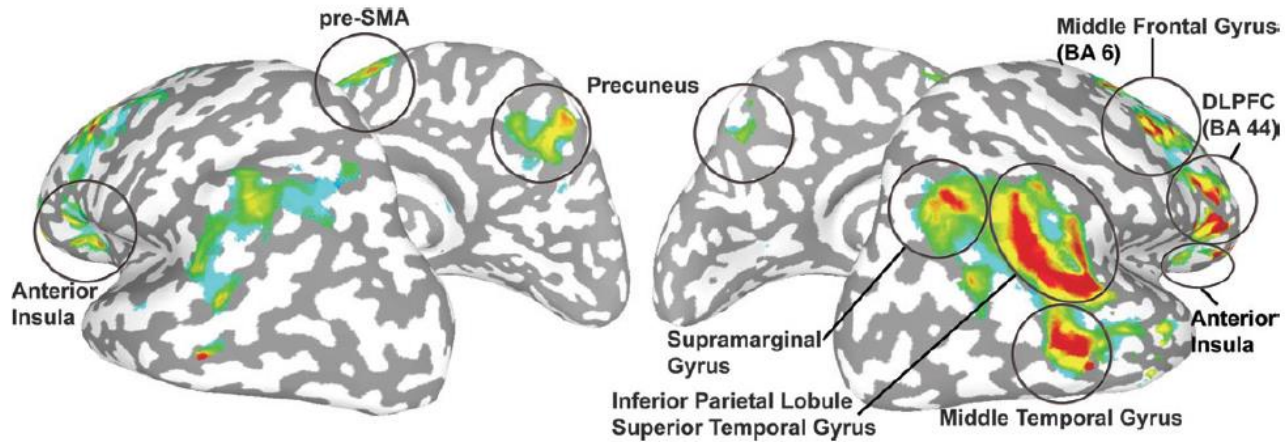
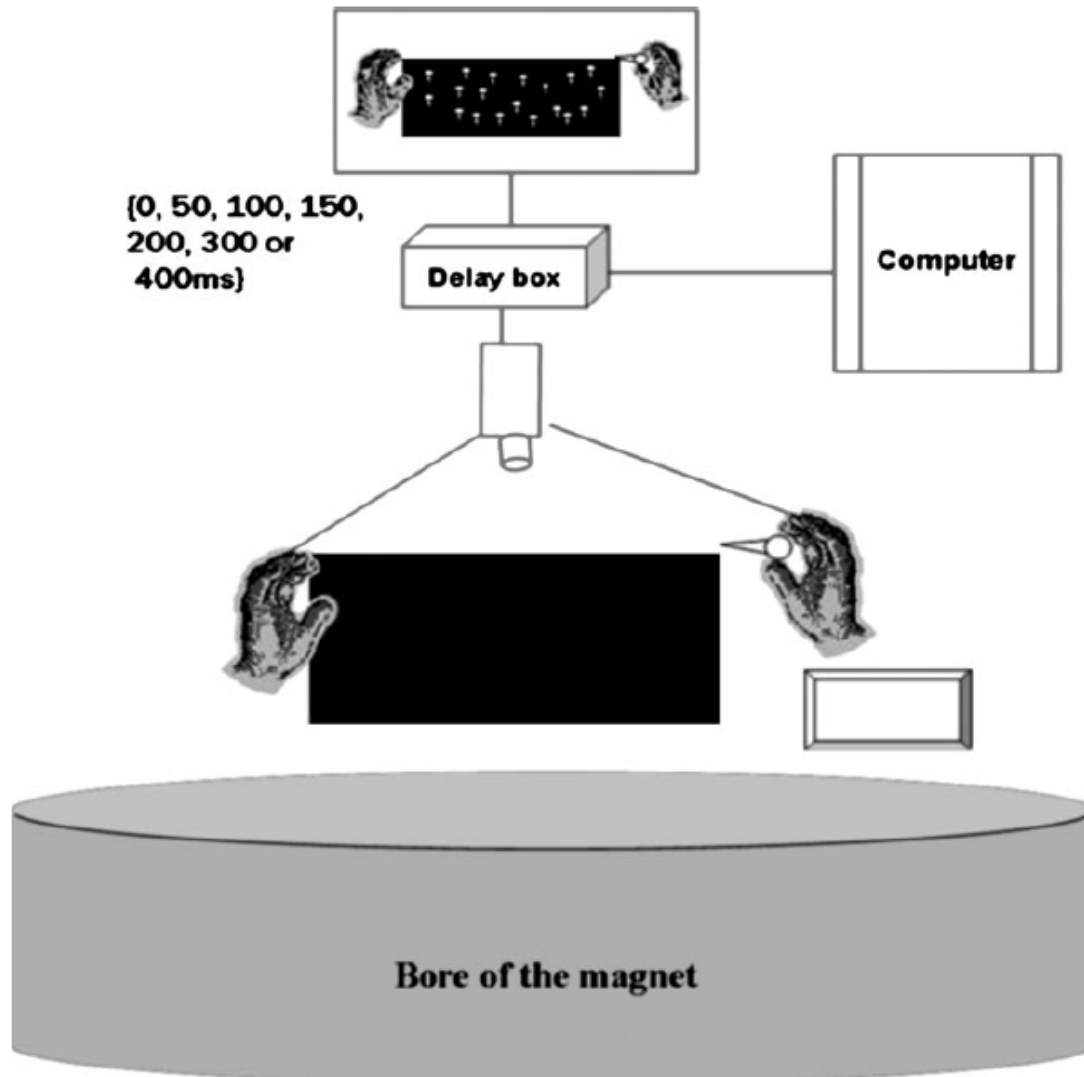


Figure 3. Linear trend map of regions responding proportionally to the loss of SA displayed on an inflated standard brain ($P = 0.05$, corrected). The response to the loss of SA was mediated by bilateral brain regions, though the right hemisphere produced preferentially larger and more proportional responses.

Bases neurales de l'agentivité

Farrer et al. (2008) *Cerebral Cortex*

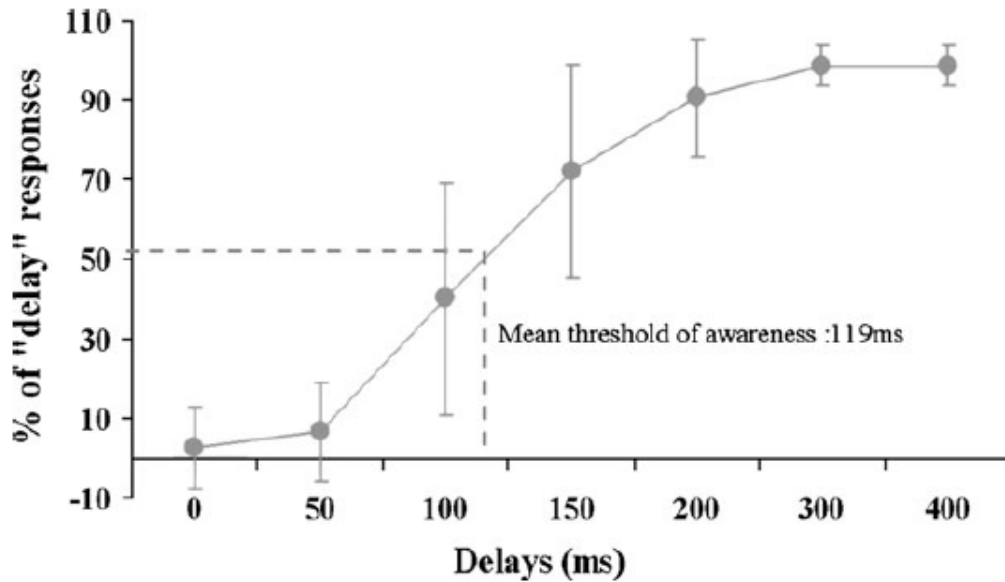


Manipulation expérimentale

Des sujets sont mis dans une IRMs.

- Dans une première expérience, ils doivent toucher sur un écran tactile des stimuli visuels avec une espèce de pointeurs.
- Des délais temporels sont introduits entre leurs actions de pointer et les résultats visuelles de l'action.
- Les sujets doivent dire si un délai a été introduit ou non.

Bases neurales de l'agentivité



- Sujets perçoivent un délai quand celui-ci est en moyenne de 119 ms ;
- Le gyrus angulaire (surtout à droite) est activé quand les sujets perçoivent consciemment le délai.

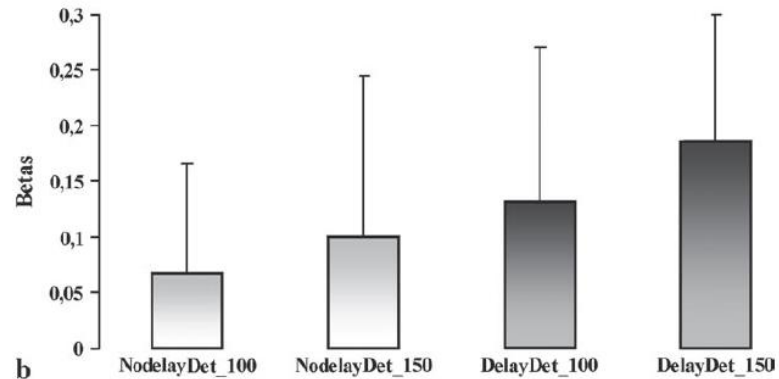
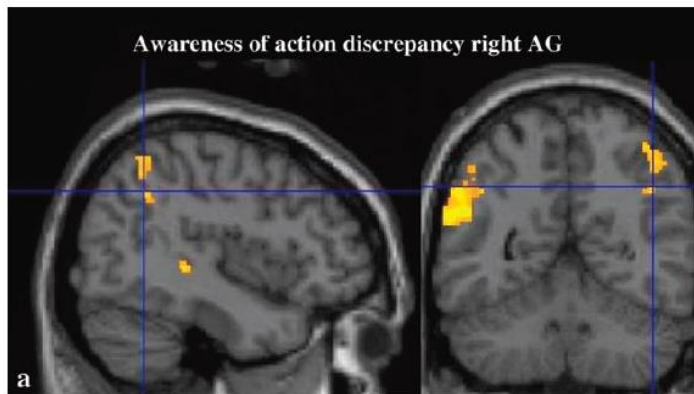


Figure 3. Awareness of action discrepancy. Activation of the right Ag when subjects are aware of a delay [(DelayDet100 + DelayDet150) - (NodelayDet100 + NodelayDet150)]. (a) The SPM{7} threshold at $P < 0.001$ (uncorrected) and superimposed on sagittal and coronal sections of the T_1 image shows the activation in the right Ag ($x, y, z; 44, -54, 38$). (b) Mean and standard errors of the beta values calculated in the right Ag (sphere of 8 mm centered at $x, y, z; 44, -54, 38$) for the no delay detection (NodelayDet_100 and NodelayDet_150) and the delay-detection conditions (DelayDet_100 and DelayDet_150).

Bases neurales de l'agentivité

Manipulation expérimentale

Dans une seconde expérience, les sujets doivent réaliser des séquences de mouvements avec les doigts. Différents délais temporels sont introduits entre les mouvements réalisés et les conséquences visuelles de ces mouvements. Les sujets doivent dire s'il s'agit de leurs mouvements ou des mouvements de quelqu'un 'autre (jugement explicite d'agentivité).

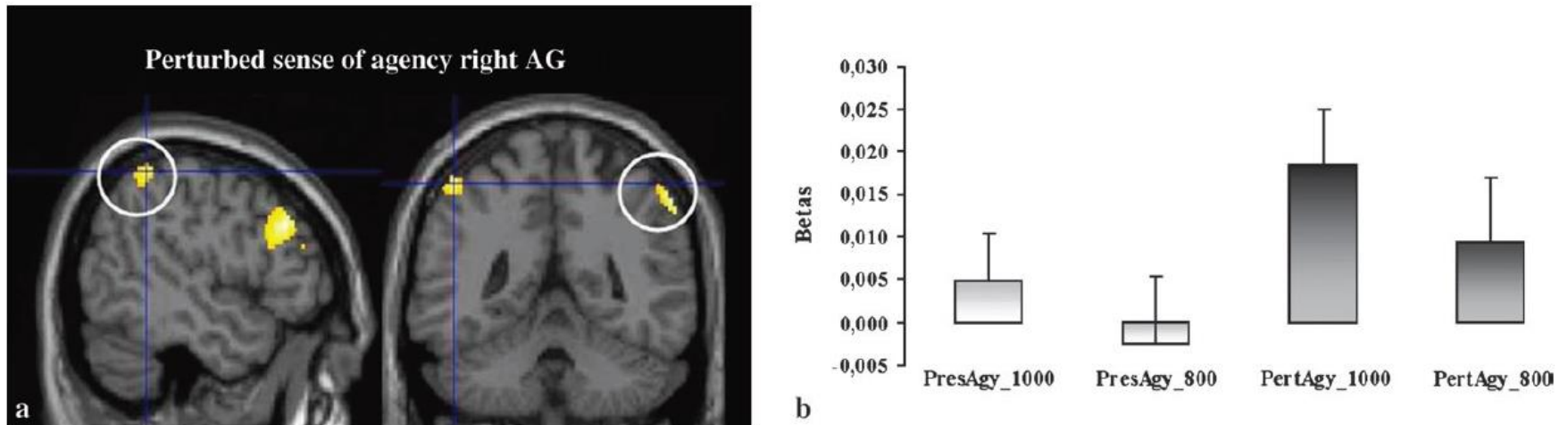


Figure 4. Perturbed agency. Activation of the right Ag when subjects experience a perturbed sense of agency $[(\text{PertAgy}_{1000} + \text{PertAgy}_{800}) - (\text{PresAgy}_{1000} + \text{PresAgy}_{800})]$. (a) The SPM- $\{T\}$ threshold at $P < 0.001$ (uncorrected) and superimposed on sagittal and coronal sections of the T_1 image shows the activation in the right Ag ($x, y, z; 58, -46, 48$). (b) Mean and standard errors of the beta values calculated in the right Ag (sphere of 8 mm centered at $x, y, z; 58, -46, 48$) for the perturbed sense of agency (PertAgy_{1000} and PertAgy_{800}) and the preserved sense of agency conditions (PresAgy_{1000} and PresAgy_{800}).

Bases neurales de l'agentivité

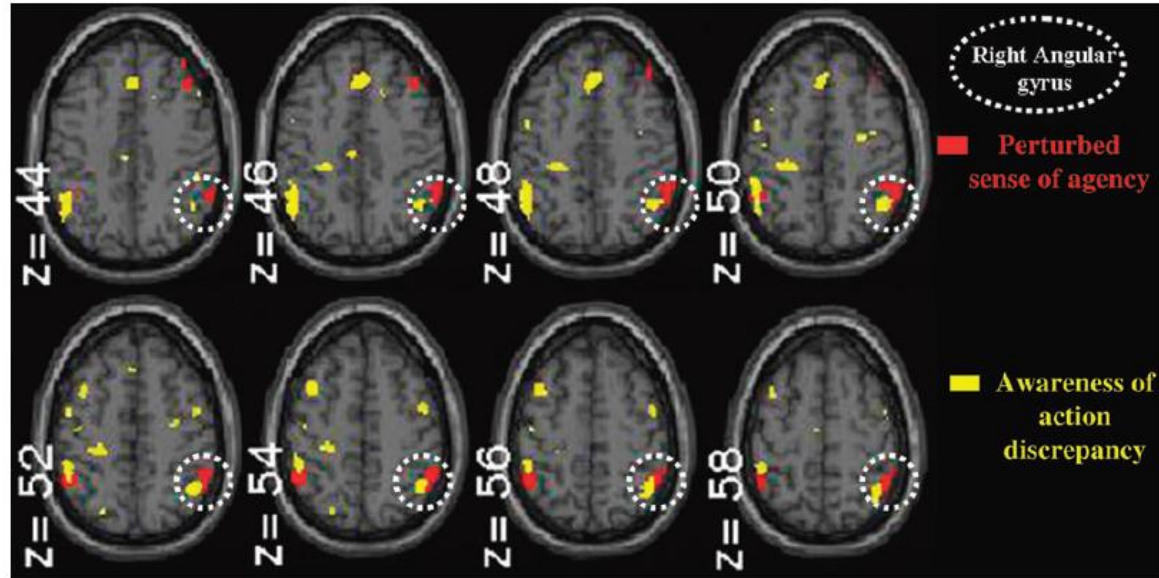


Figure 5. Conjunction analysis across the 2 studies. Awareness of action discrepancy (in yellow) and awareness of action authorship (in red) activate the same right IPL area: the right Ag (peak activation; x, y, z : 46, -50, 48; $P \leq 0.001$ uncorrected for multiple comparisons at the voxel; voxel extent threshold ≥ 10). Activations are shown superimposed on axial slices ($x = 46, y = -50, z = 44-58$). This analysis was corrected for variance heterogeneity using a generalized Greenhouse-Geiser correction.

Les résultats de conjonction montrent que différentes régions cérébrales semblent-êtré impliqués dans « être conscient que son action est modifiée » et « juger que l'on est pas l'auteur de sa propre action », **mais également des régions communes, et plus particulièrement le gyrus angulaire.**