

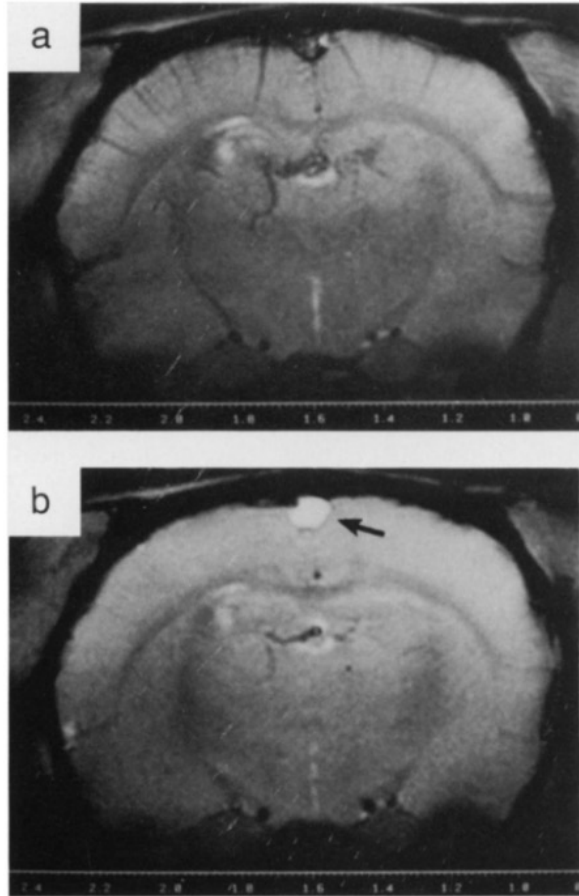
Une petite histoire de l'IRM fonctionnelle : plus de 30 années résumées en moins de 40' !

Julien Sein & Jean-Luc Anton

(Centre IRM-INT@CERIMED, Marseille)

<https://irmf.int.univ-amu.fr>

1990 : découverte du phénomène (sérendipité) : contraste BOLD



Rat, 7T, Echo de gradient, TE = 12ms
117 μm x 117 μm x 550 μm

Respiration de CO₂ +++

→ Flux sanguin +++

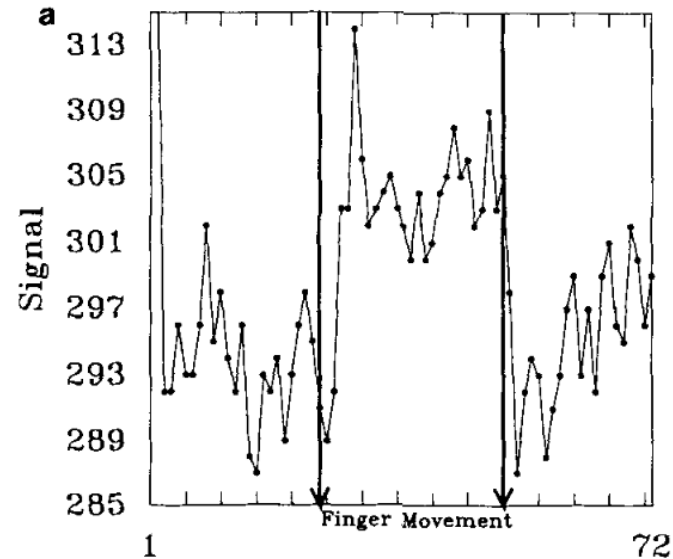
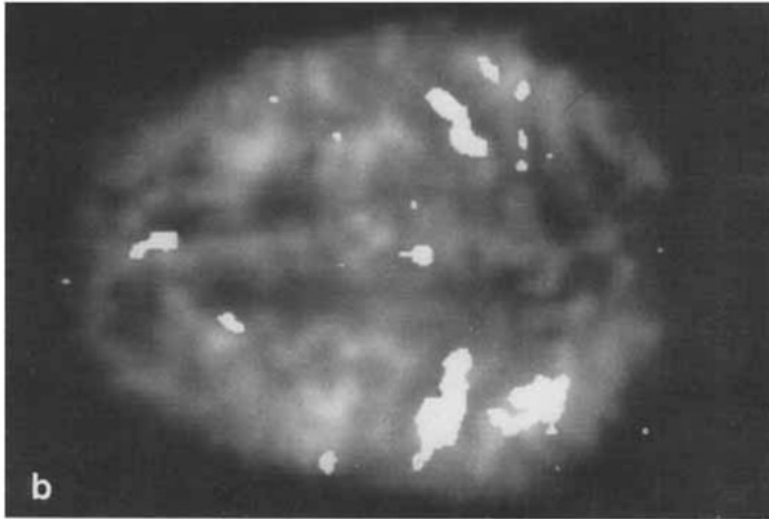
→ Apport en O₂ dans les veines +++

→ T₂* +++

Ogawa (1990)

Premières études IRMf chez l'être humain

- 1.5T GRE-EPI axial, TE=50ms, TR=3s, voxel : 3.12 x 3.12 x 25 mm
- tâche motrice de la main (tapping)

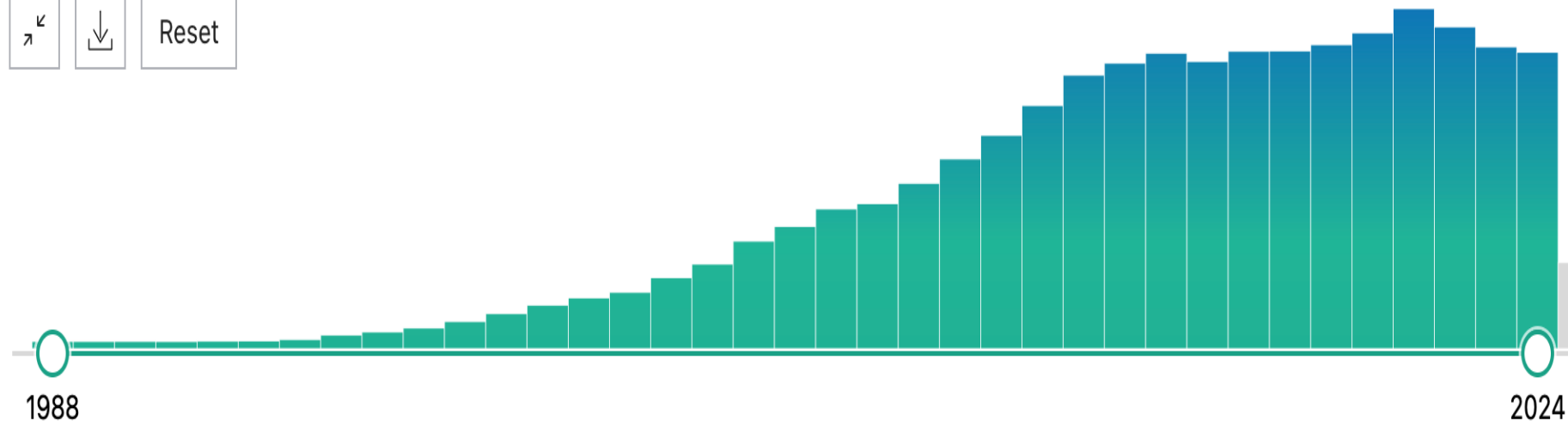


IRMf : développement rapide et intense

RESULTS BY YEAR

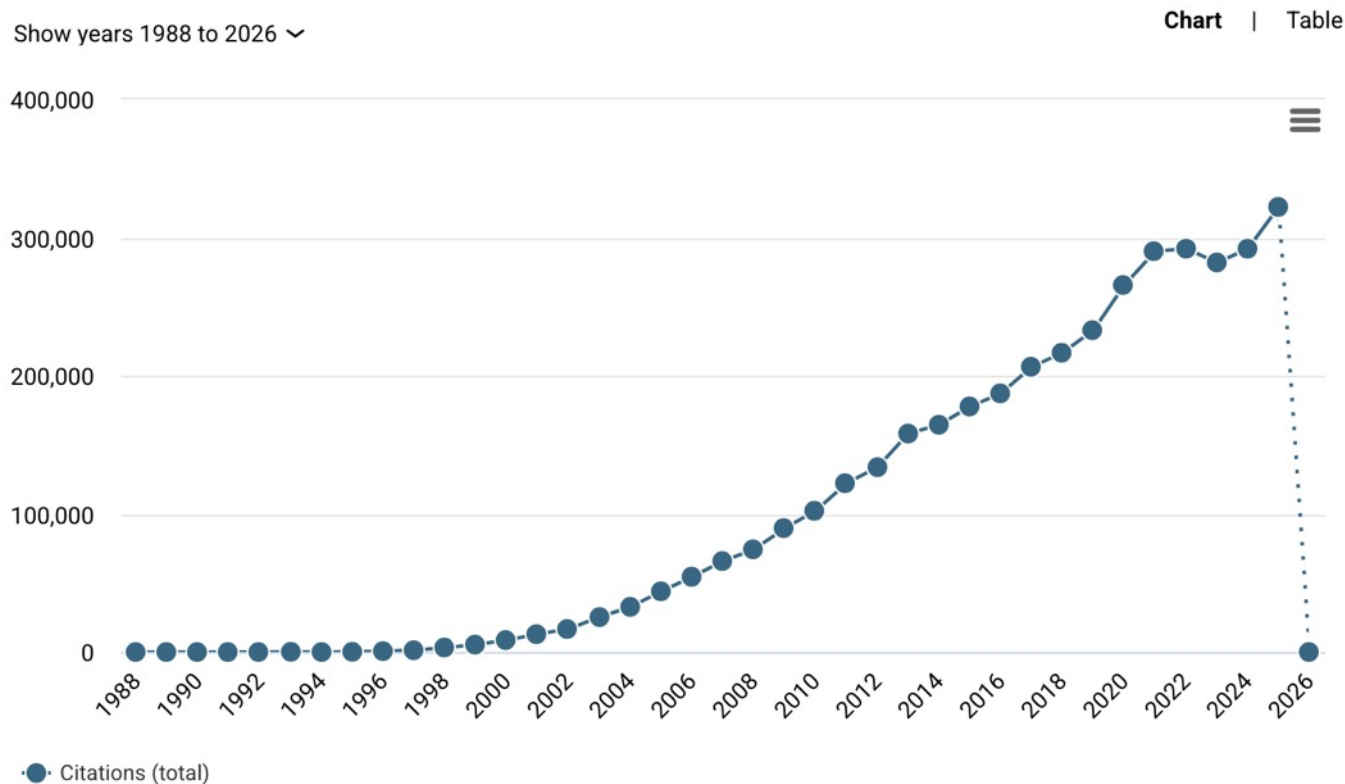
84,750 results

Page 1 of 8,475



PubMed : "fMRI" OR "functional MRI" OR "functional magnetic resonance imaging »

IRMf : développement rapide et intense

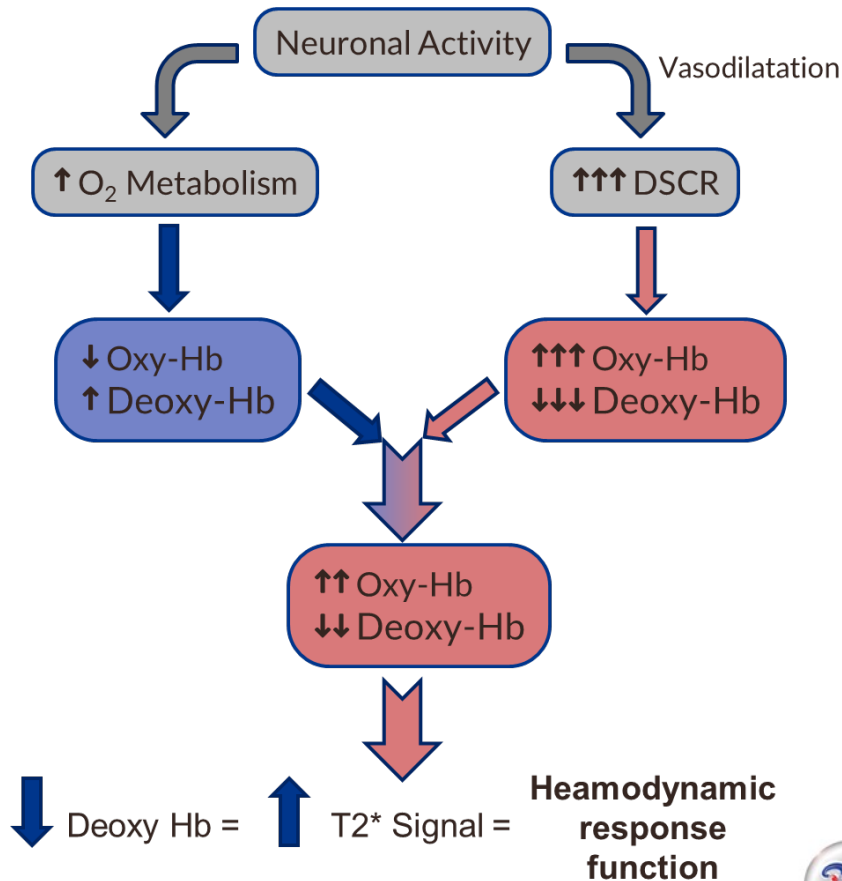
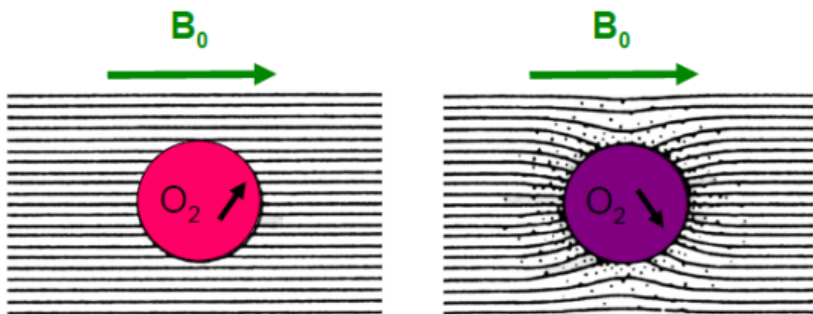


<https://app.dimensions.ai> : "fMRI » dans le titre ou l'abstract

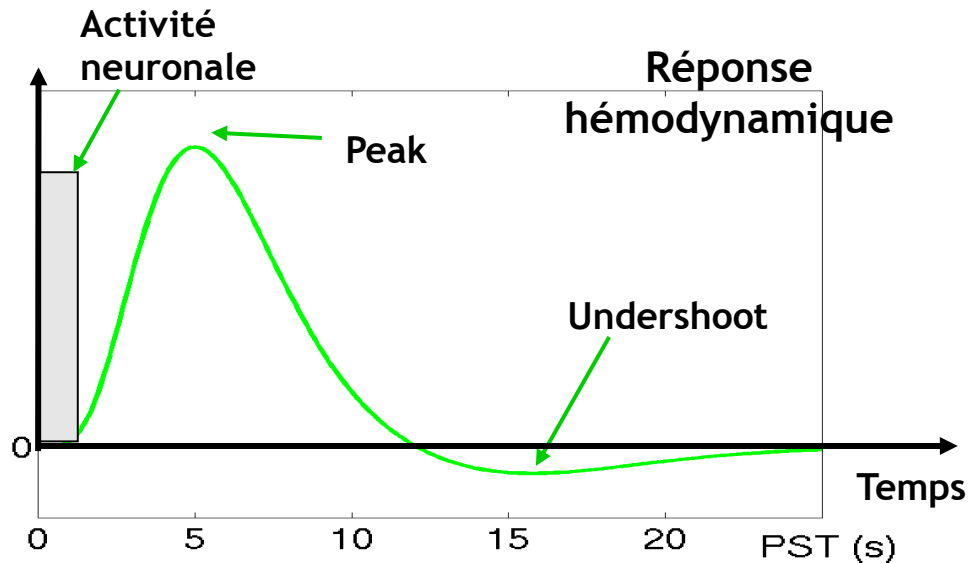
Principe biophysique du phénomène : dans les veines et capillaires

Deux états différents de l'hémoglobine
(Pauling 1936)

- **Oxyhemoglobin** : diamagnétique
- **Deoxyhemoglobin** : paramagnétique

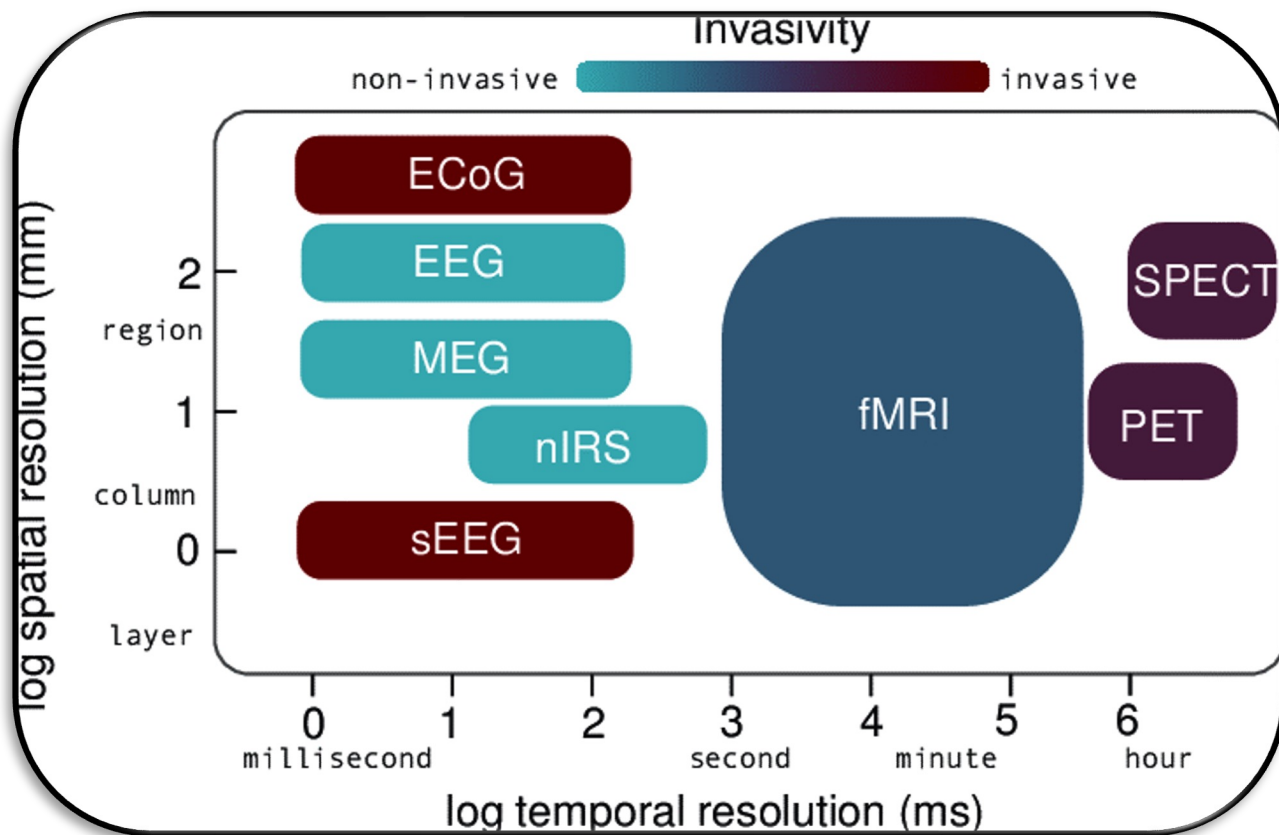


IRMf BOLD : mesure indirecte de l'activité cérébrale



Réponse hémodynamique (HRF) : forme “canonique” (à discuter ...)

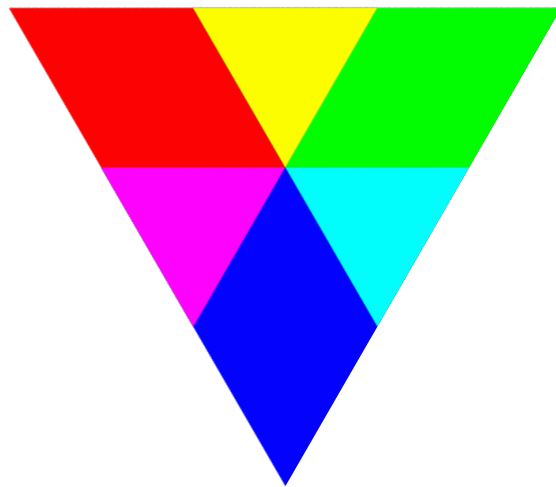
IRMf BOLD et les autres techniques d'exploration cérébrale fonctionnelle



L'IRMf : une aventure qui rassemble trois univers de recherche entremêlés en développement continu depuis plus de 30 ans

**IRM : instrumentation
& séquences d'acquisition**

**Méthodologies : paradigmes
& analyse des images**



**Interprétation des signaux
& Neurosciences**

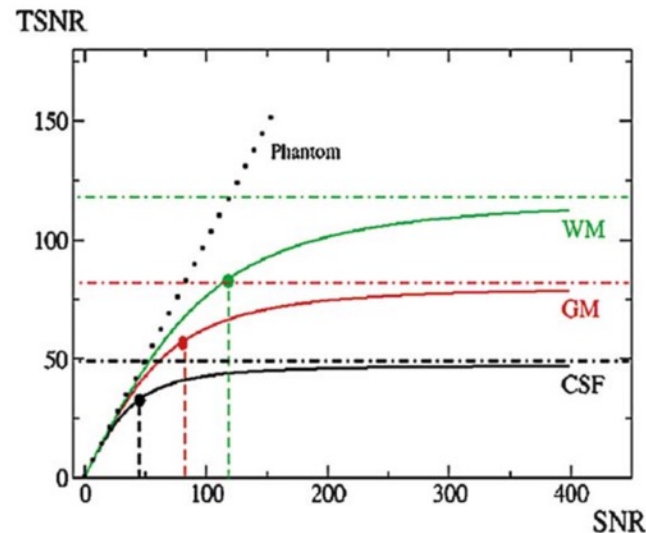
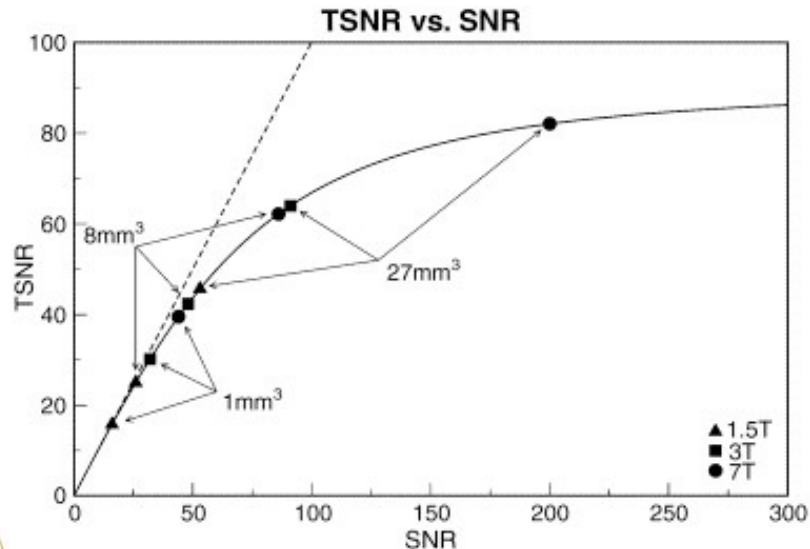
IRM : instrumentation

Champ magnétique B0 :

+ de plus en plus élevé : 1,5T → 3T → 7T → 11,7 T ...

→ Rapport Signal-sur-Bruit (SNR) de plus en plus élevé

Mais Signal-sur-Bruit Temporel (TSNR) limité à cause du bruit physiologique



IRM : instrumentation

Champ magnétique B0 :

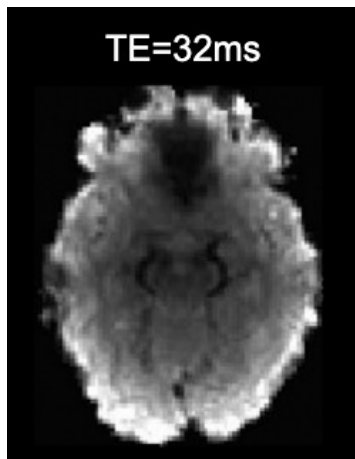
+ de plus en plus homogène spatialement (shims d'ordre élevé)

Mais encore des problèmes pour les hauts champs dans les régions à fort gradient de susceptibilité magnétique

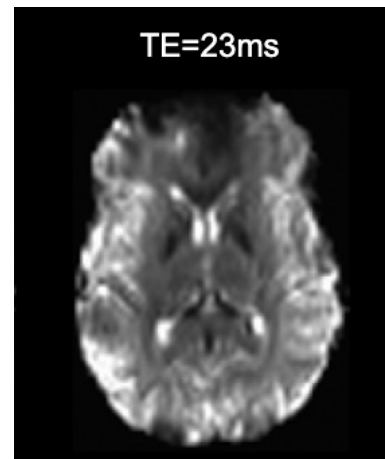
→ Perte de signal à TE long

→ Distorsions spatiales en lecture EPI

3T



7T



IRM : instrumentation

Chaîne Radiofréquence (RF) :

- * émission B1+ plus homogène (antenne à plusieurs canaux en parallèle pTX) mais limite de SAR (Specific Absorption Rate) à haut champ
- * ou émission B1+ par antenne locale (mais problème d'homogénéité spatiale)
- * réception B1- avec de plus en plus de canaux en parallèle : 8 → 16 → 32 → 64 → ...

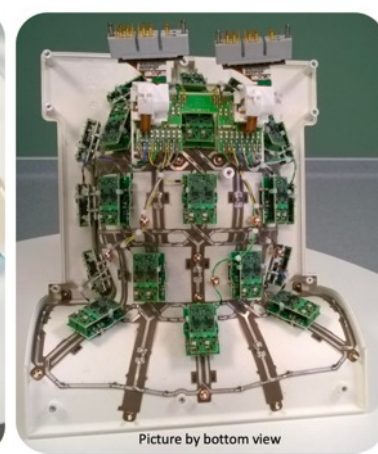
→ Augmentation du SNR et accélération de l'acquisition



Centre IRM-INT@CERIMED



Cerimed

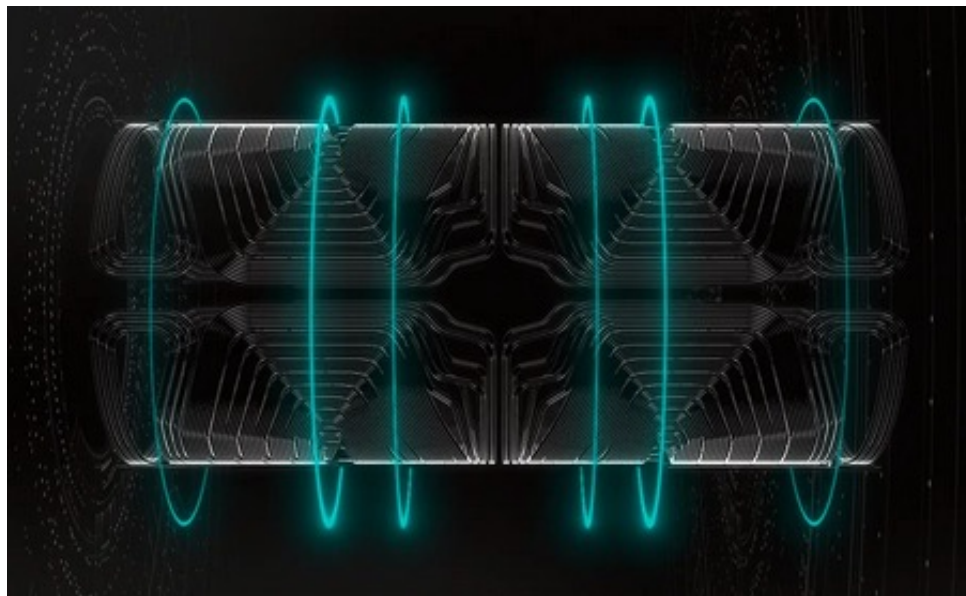


RMN 15 / 01 / 2026

IRM : instrumentation

Système de gradients de plus en plus puissants

- + amplitude élevée : 45 mT/m \rightarrow 80 mT/m \rightarrow 200 mT/m \rightarrow ...
- + bonne linéarité (dans le cerveau)
- + vitesse de commutation élevée,
mais limitée par la biologie (stimulations nerveuses périphériques)



IRM : séquences d'acquisition

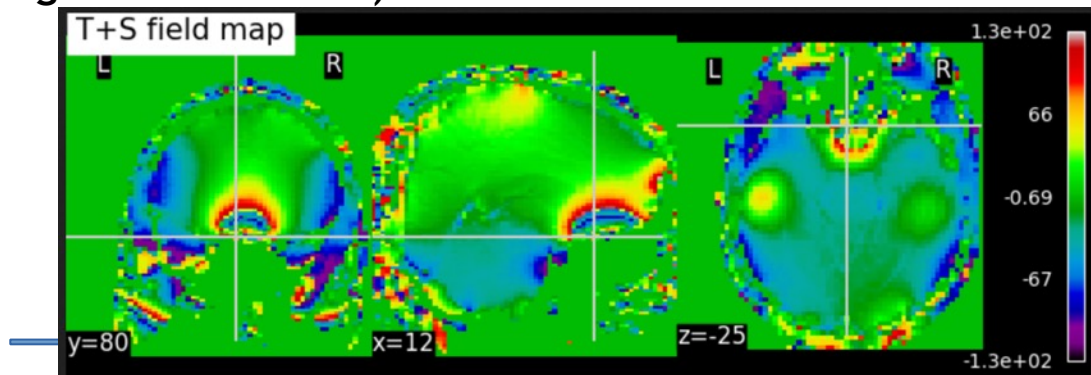
Echo de Gradient :

- + bonne sensibilité au BOLD
- très (trop) sensible au niveau des veines de drainage

Accélération :

- + Echo-Planar Imaging (EPI) (mais déformations au niveau de certaines régions)
- + GRAPPA (moins de distorsions mais sensibilité importante aux mouvements)
- ++ Multi-Bande (grâce aux antennes multi-canaux)

Correction des déformations spatiales grâce à une carte de champ B0
(acquisition d'une fieldmap ou de trains EPI inversés : AP et PA, ou recalage non linéaire vers une image non distordue)



IRM : séquences d'acquisition

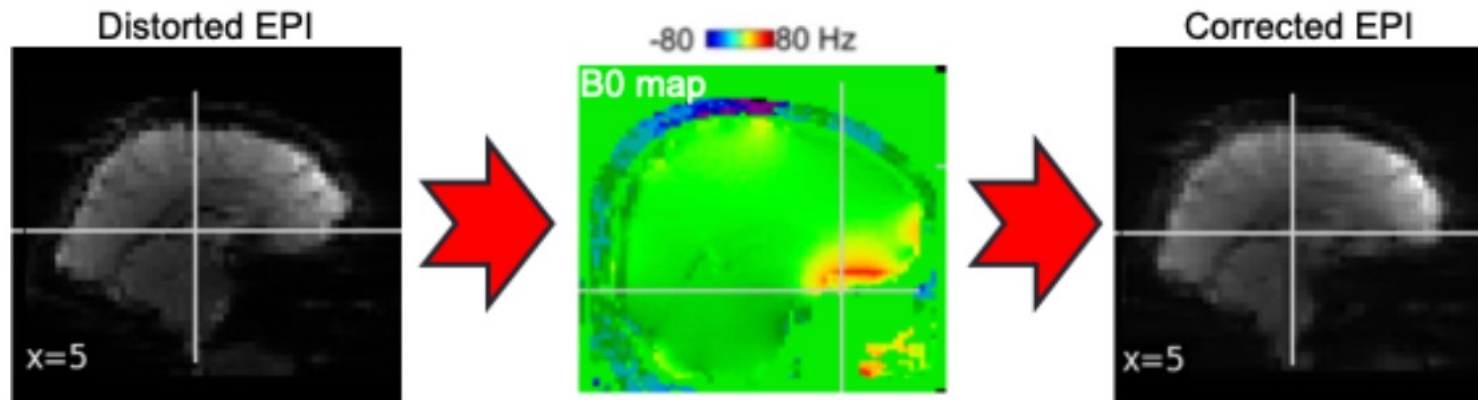
Echo de Gradient :

- + bonne sensibilité au BOLD
- très (trop) sensible au niveau des veines de drainage

Accélération :

- + Echo-Planar Imaging (EPI) (mais déformations au niveau de certaines régions)
- + GRAPPA (moins de distorsions mais sensibilité importante aux mouvements)
- ++ Multi-Bande (grâce aux antennes multi-canaux)

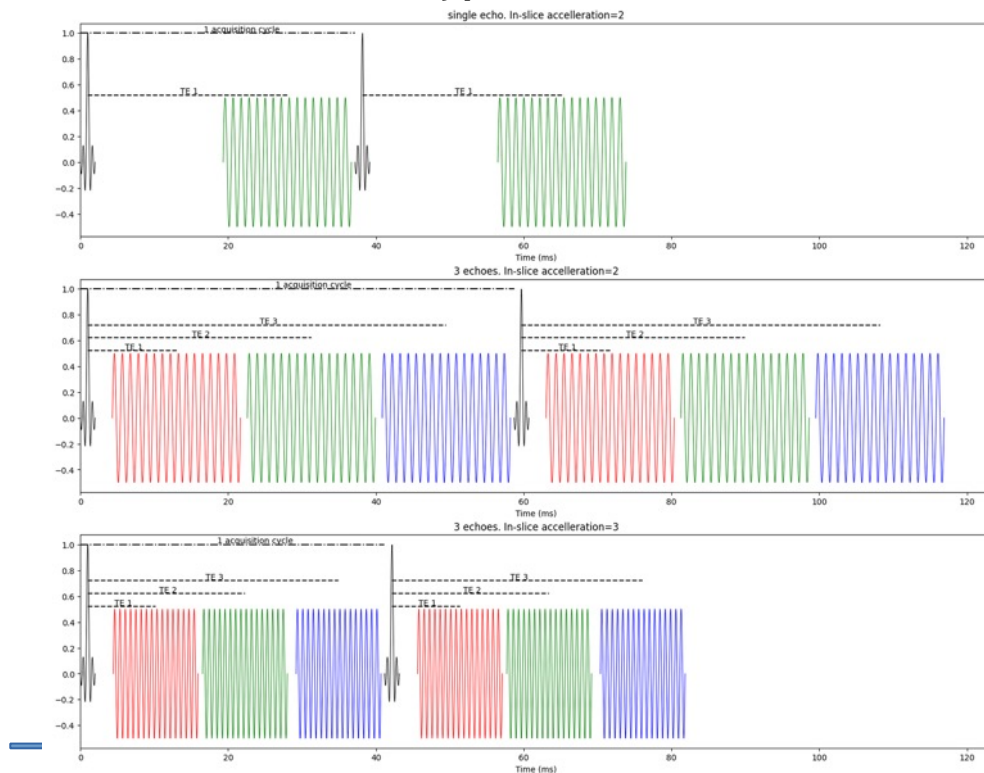
Correction des déformations spatiales grâce à une carte de champ B0
(acquisition d'une fieldmap ou de trains EPI inversés : AP et PA)



IRM : séquences d'acquisition

Acquisitions multi-échos :

→ Adaptées aux variations du $T2^*$ local dans le cerveau
mais nécessite accélérations de type GRAPPA ou Partial Fourier (sensibles aux mouvements)

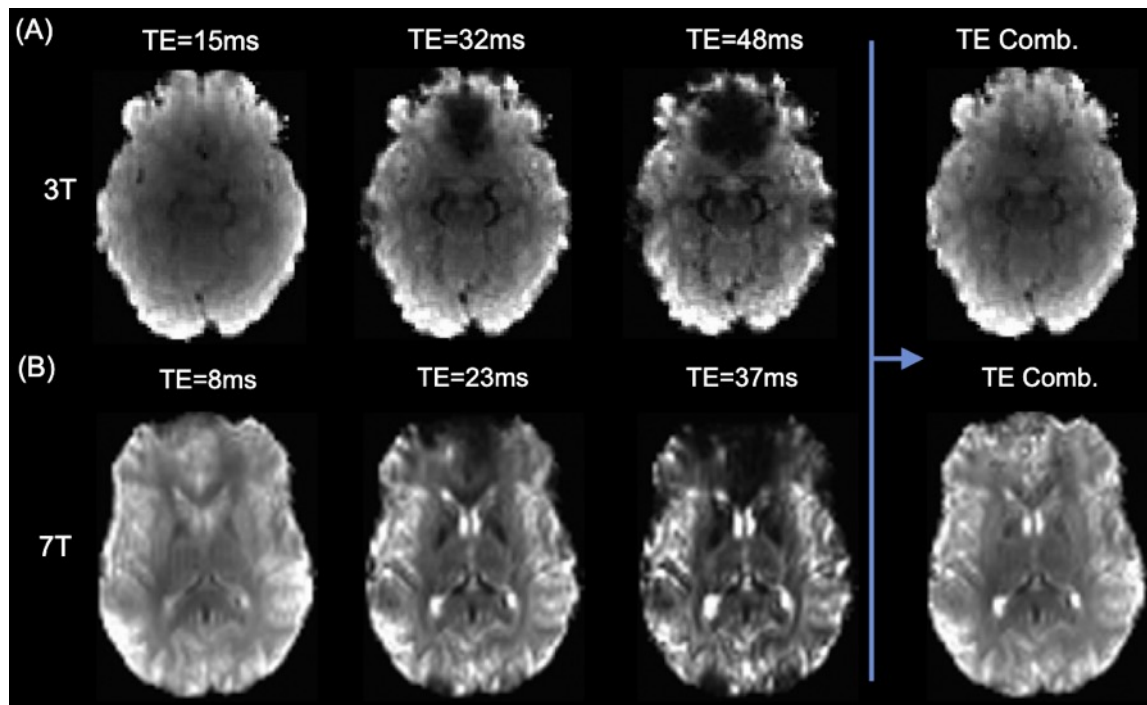


https://me-ica.github.io/multi-echo-data-analysis/content/fMRI_Sequences.html

IRM : séquences d'acquisition

Acquisitions multi-échos :

→ Adaptées aux variations du $T2^*$ local dans le cerveau
mais nécessite accélérations de type GRAPPA ou Partial Fourier (sensibles aux mouvements)

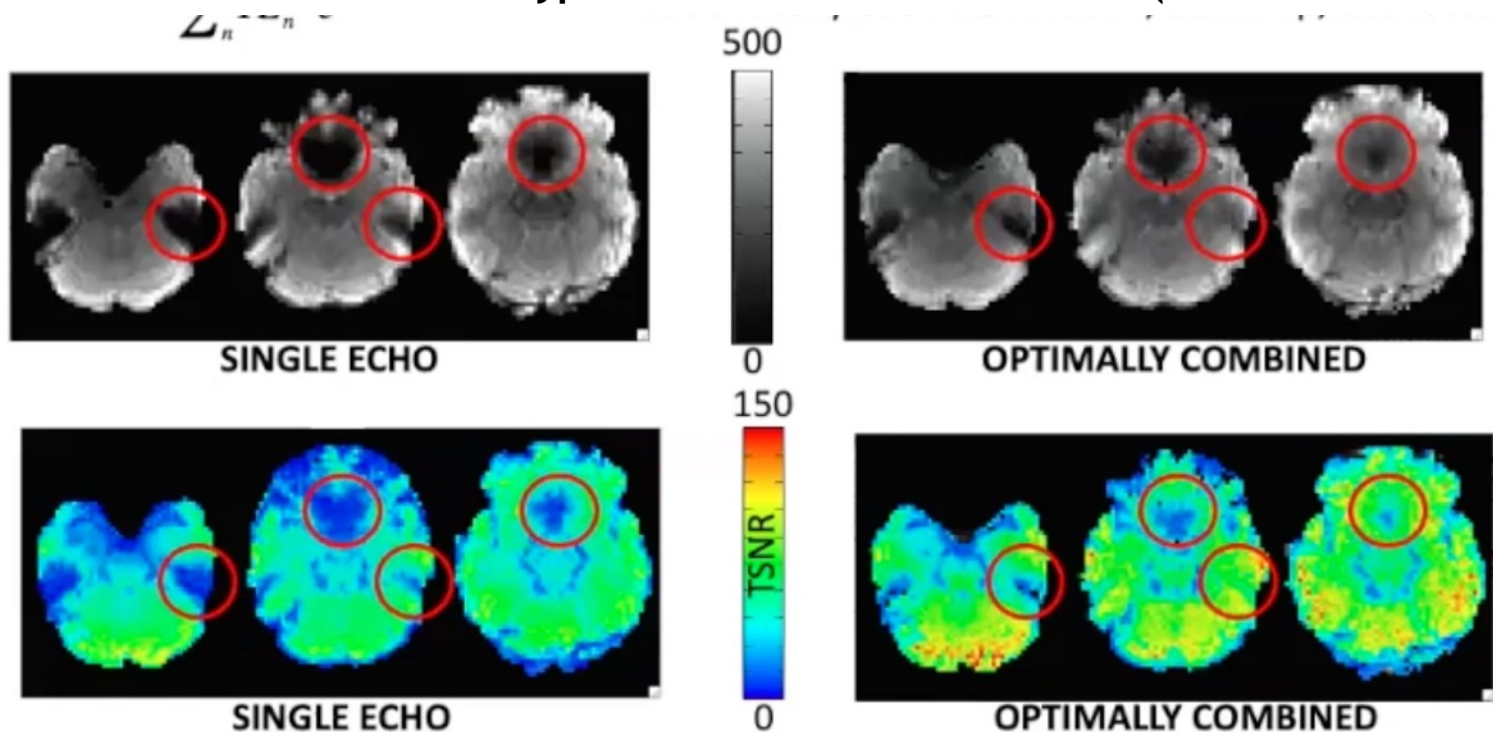


IRM : séquences d'acquisition

Acquisitions multi-échos :

→ Adaptées aux variations du T2* local dans le cerveau

mais nécessite accélérations de type GRAPPA ou Partial Fourier (sensibles aux mouvements)



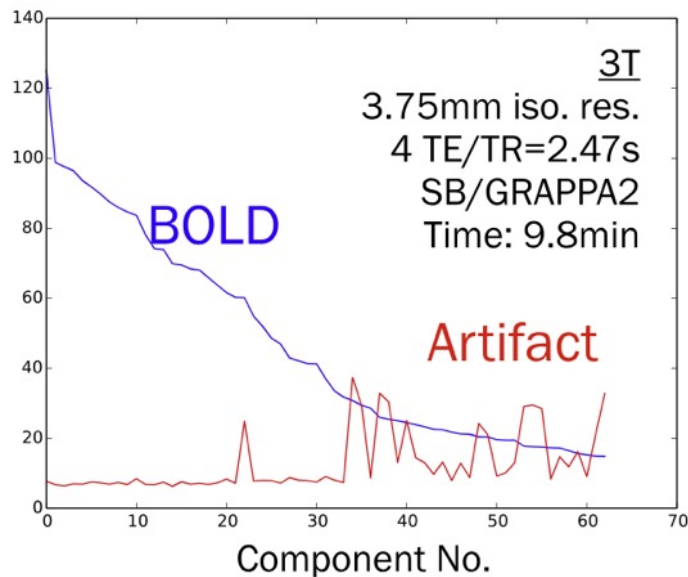
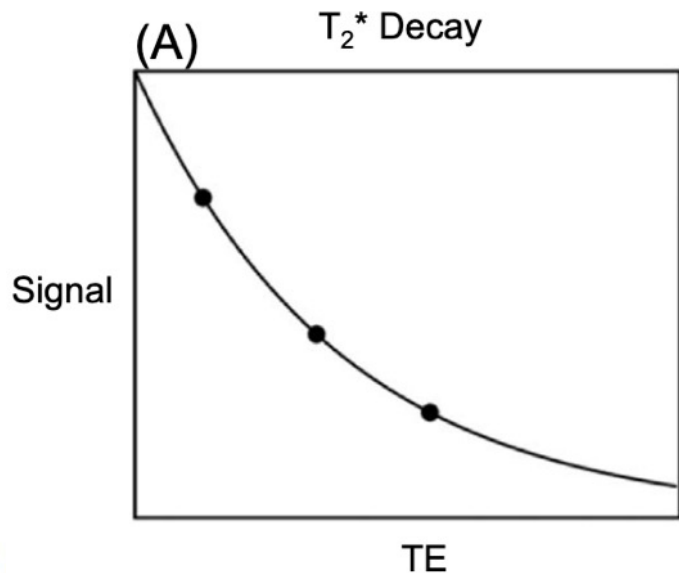
IRM : séquences d'acquisition

Acquisitions multi-échos :

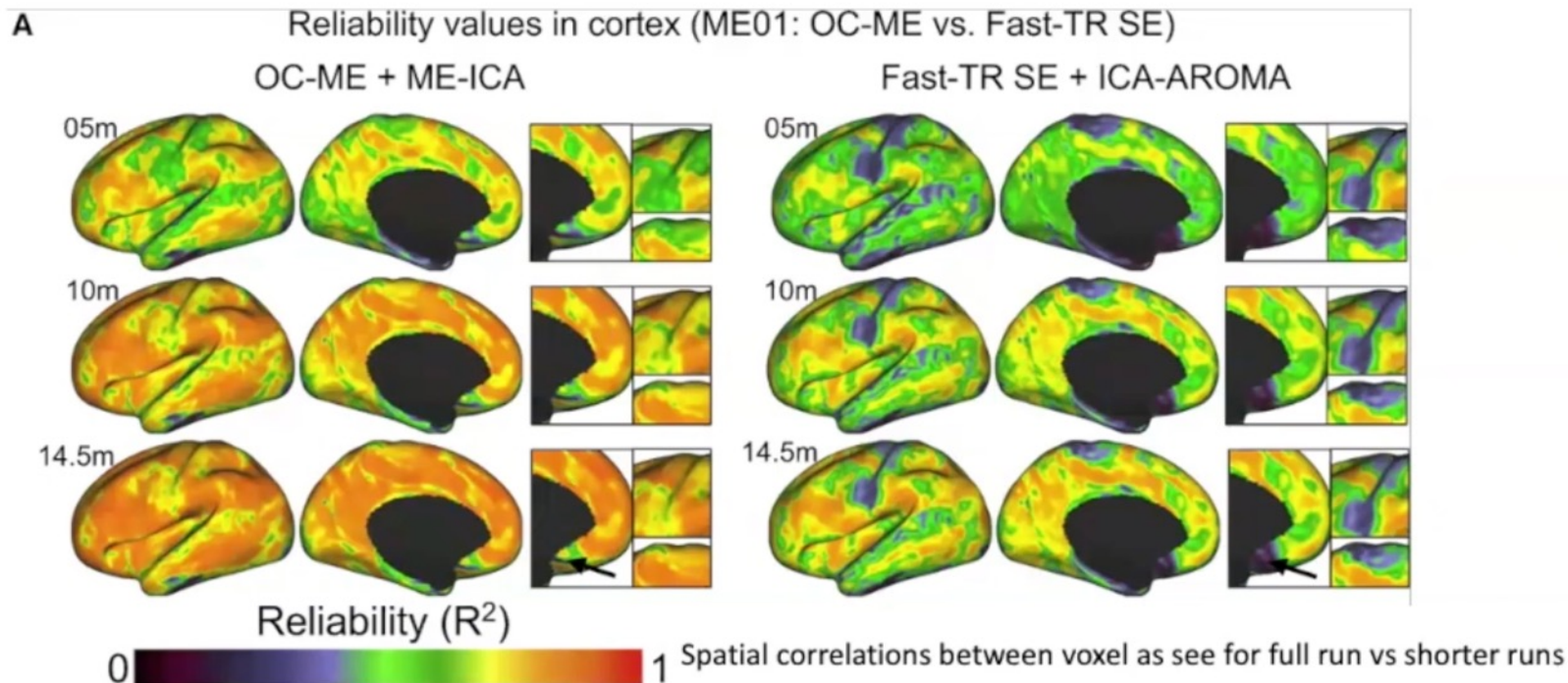
→ Adaptées aux variations du T_2^* local dans le cerveau

mais nécessite accélérations de type GRAPPA ou Partial Fourier (sensibles aux mouvements)

→ Correction possible des artefacts par la méthode ME-ICA



Reliably for functional connectivity



“In four densely sampled individual humans, just 10 min of multi-echo data yielded better test-retest reliability than 30 min of single-echo data in independent datasets.”

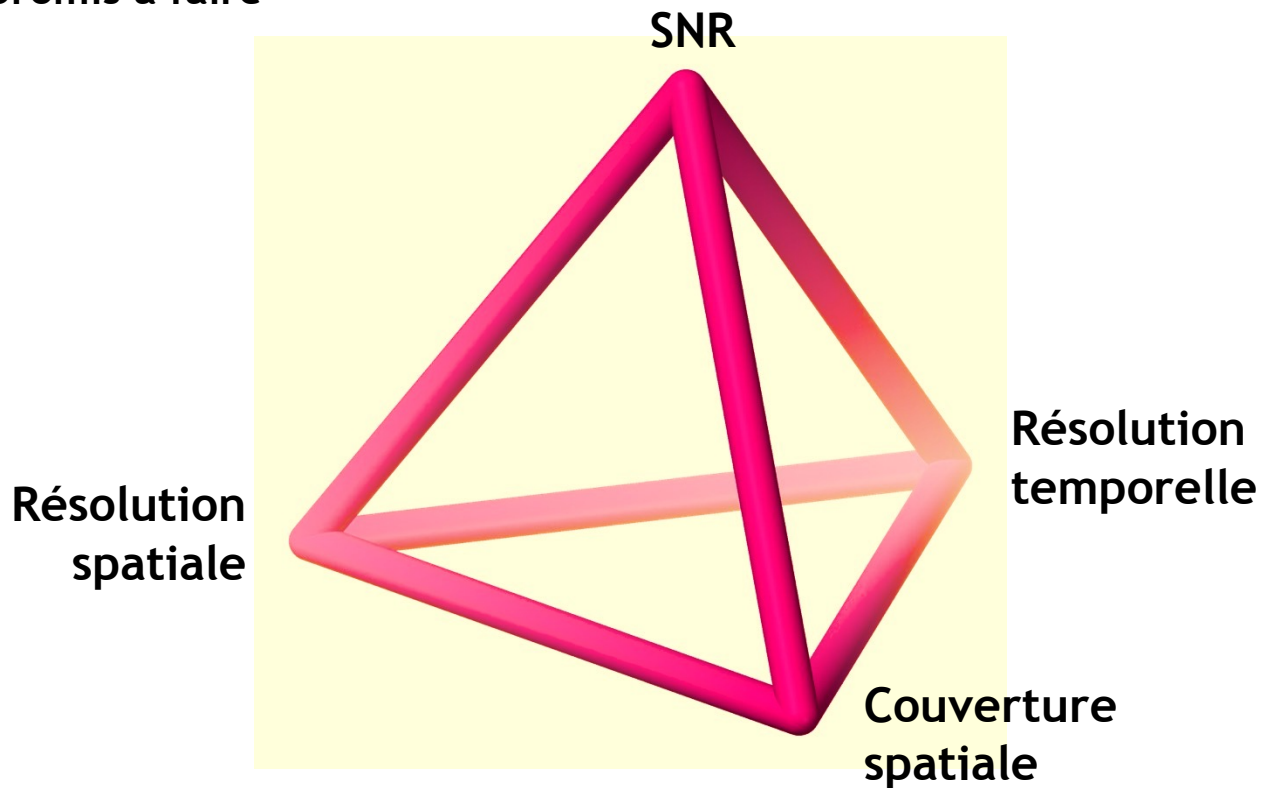
Growth of multi-echo fMRI usage

- Neurocognitive aging data release with behavioral, structural, and multi-echo functional MRI measures
 - N=181 younger, 120 older
- Cambridge Centre for Ageing Neuroscience (Cam-CAN)
 - N=649
- Heart rate variability biofeedback training and emotion regulation
 - N=193
- Le Petit Prince
 - N=112
- Multi-echo Cambridge
 - N=89
- Evidence supporting a time-limited hippocampal role in retrieving autobiographical memories
 - N=40

<https://tedana.readthedocs.io/en/stable/multi-echo.html#datasets>

IRM : séquences d'acquisition

Toujours des compromis à faire
(No free lunch !)

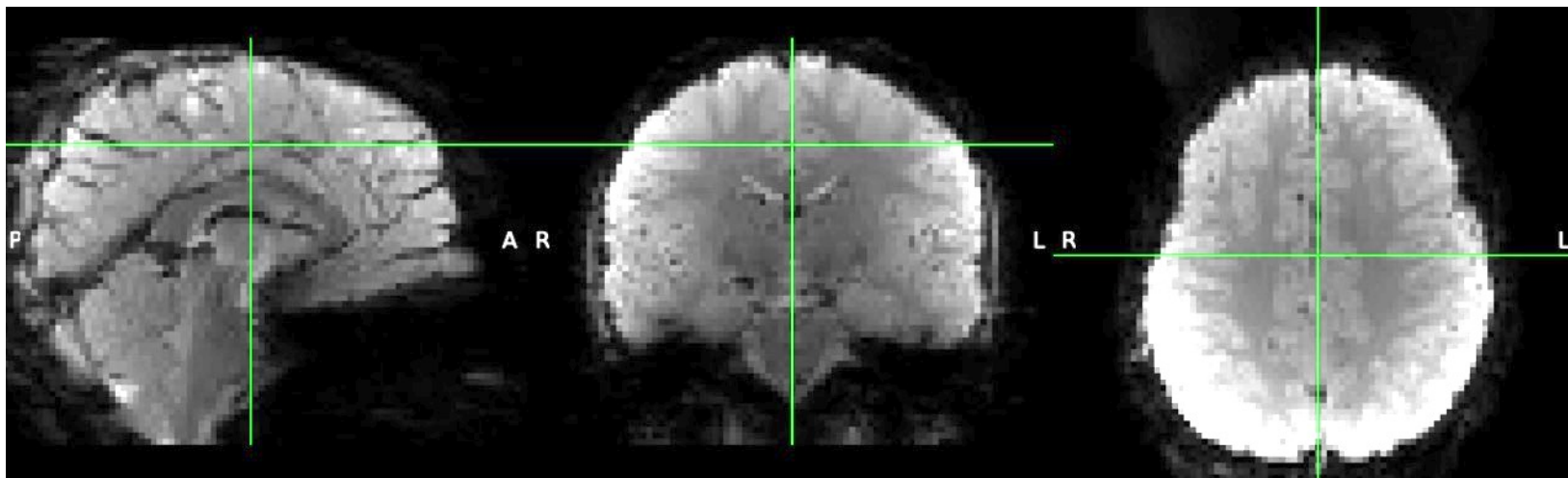


IRM : séquences d'acquisition

Aujourd'hui, typiquement à 3T :

- + Temps de Répétition ≈ 1 sec
- + Résolution spatiale $\approx 2 \times 2 \times 2$ mm
- + Couverture de l'ensemble du cerveau
- + SNR moyen ≈ 50
- + TSNR moyen ≈ 40

Image moyenne

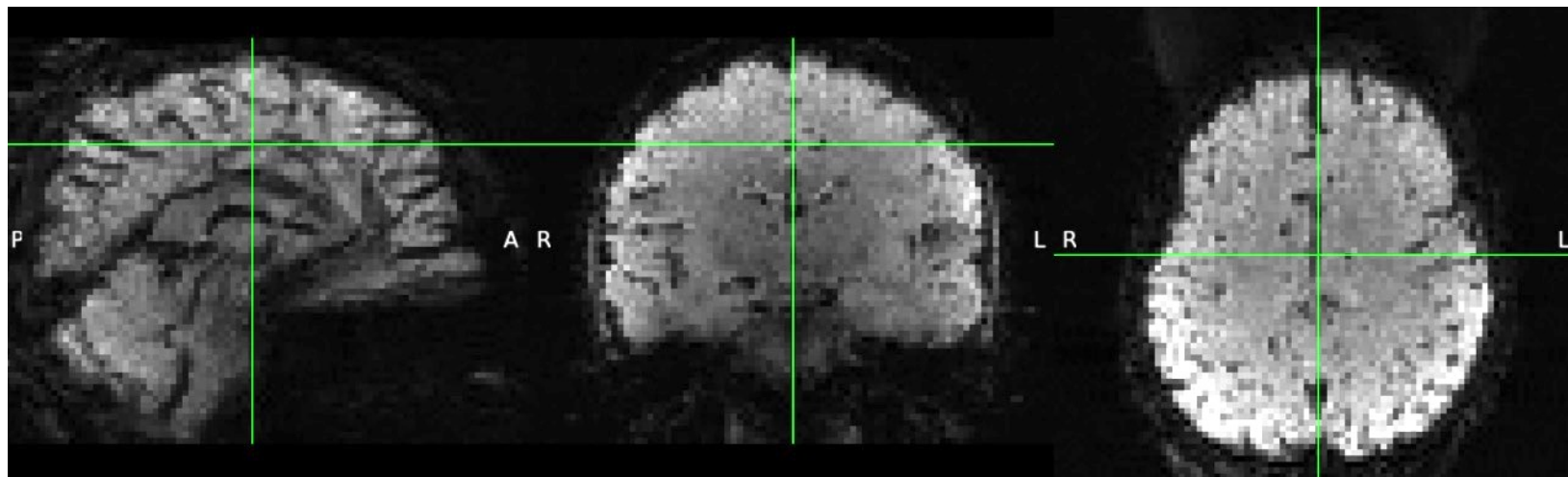


IRM : séquences d'acquisition

Aujourd'hui, typiquement à 3T :

- + Temps de Répétition ≈ 1 sec
- + Résolution spatiale $\approx 2 \times 2 \times 2$ mm
- + Couverture de l'ensemble du cerveau
- + SNR moyen ≈ 50
- + TSNR moyen ≈ 40

Image TSNR

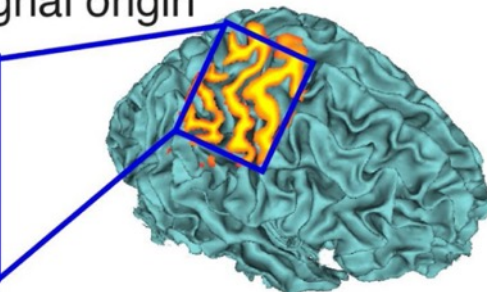
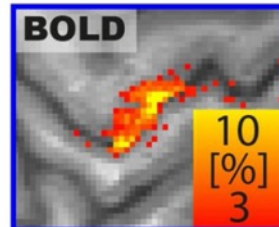
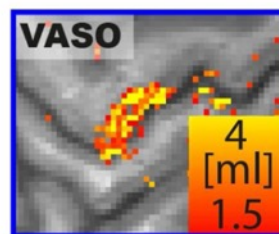


IRM : autres types de séquences

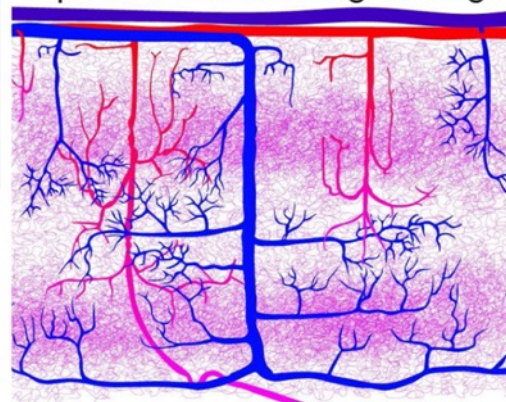
Vascular-Space-Occupancy (VASO, changement du Volume Cérébral Sanguin : CBV) : moins sensible que GE (écho de gradient) → nécessite un très haut champ (≥ 7 T)

Attention aux mouvements !!

B) expected signal origin



expected vascular signal origin



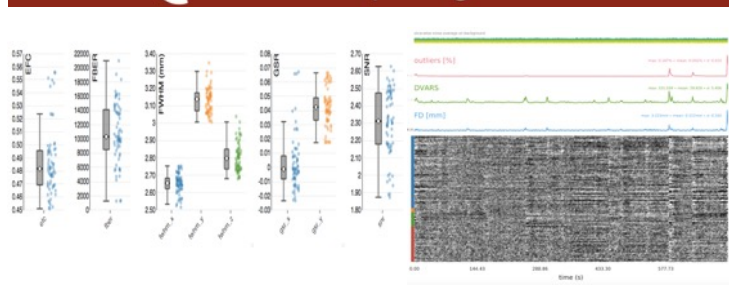
CBV is dominated from micro-vessels in pink

GE-BOLD is dominated large veins in blue

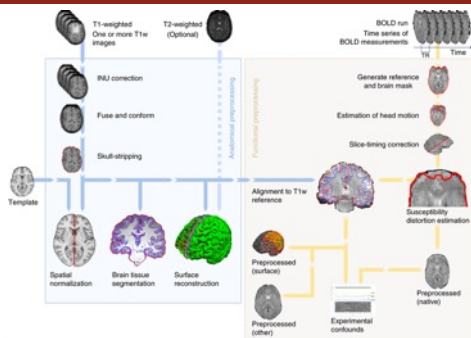
Méthodologies : Analyse des images : énormes avancées de standardisation !



MRIQC: automatic prediction of quality and visual reporting of MRI scans

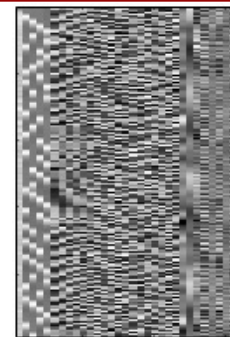
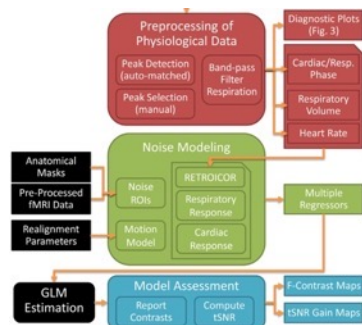


fMRIPrep: a robust preprocessing pipeline for task-based and resting-state fMRI data



GLM + denoising

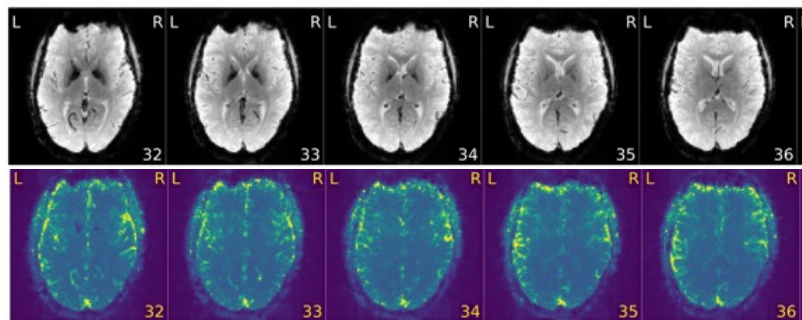
Physiological signals, CompCor, mvts parameters



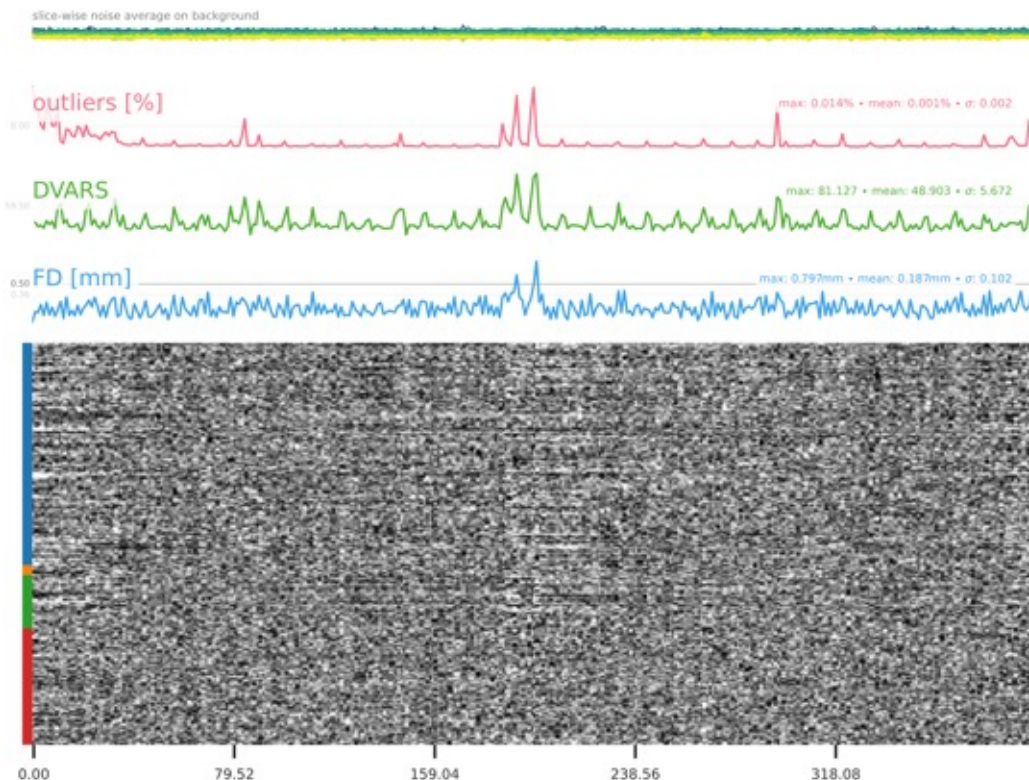
Méthodologies : Analyse des images

Analyse qualité des données (QC : Quality Check)

Exemple : MRIQC (au niveau individuel)



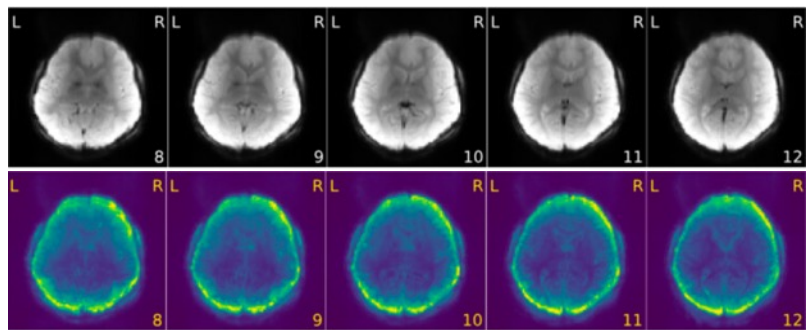
Bon sujet ☺



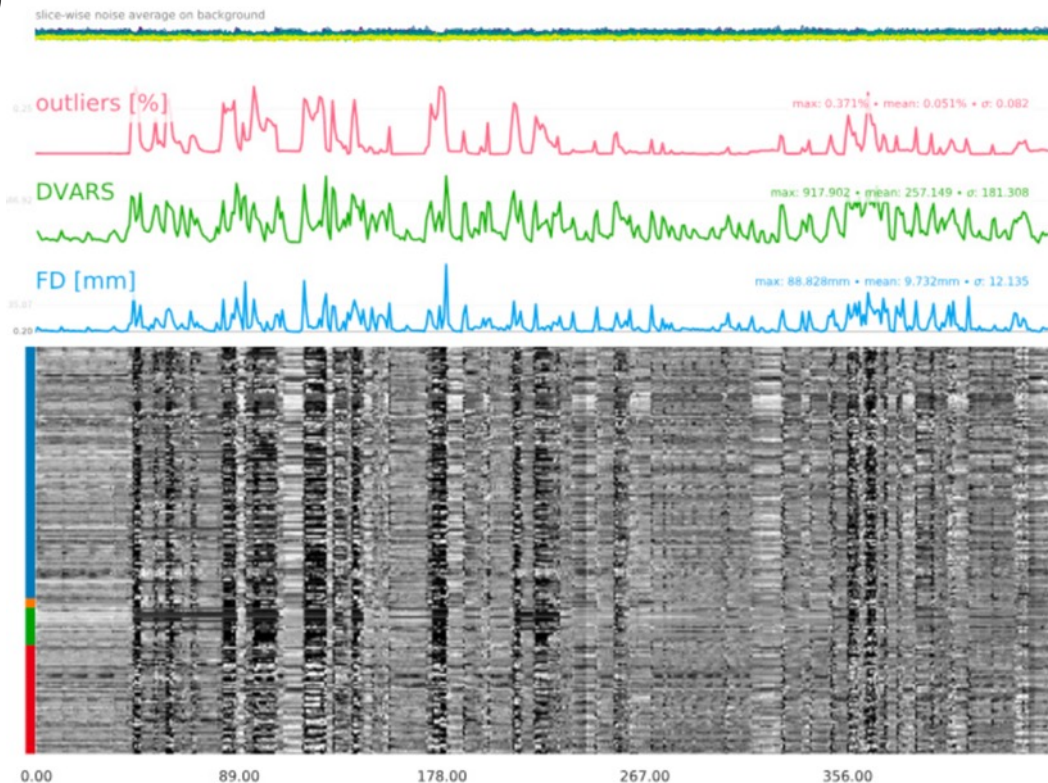
Méthodologies : Analyse des images

Analyse qualité des données (QC : Quality Check)

Exemple : MRIQC (au niveau individuel)



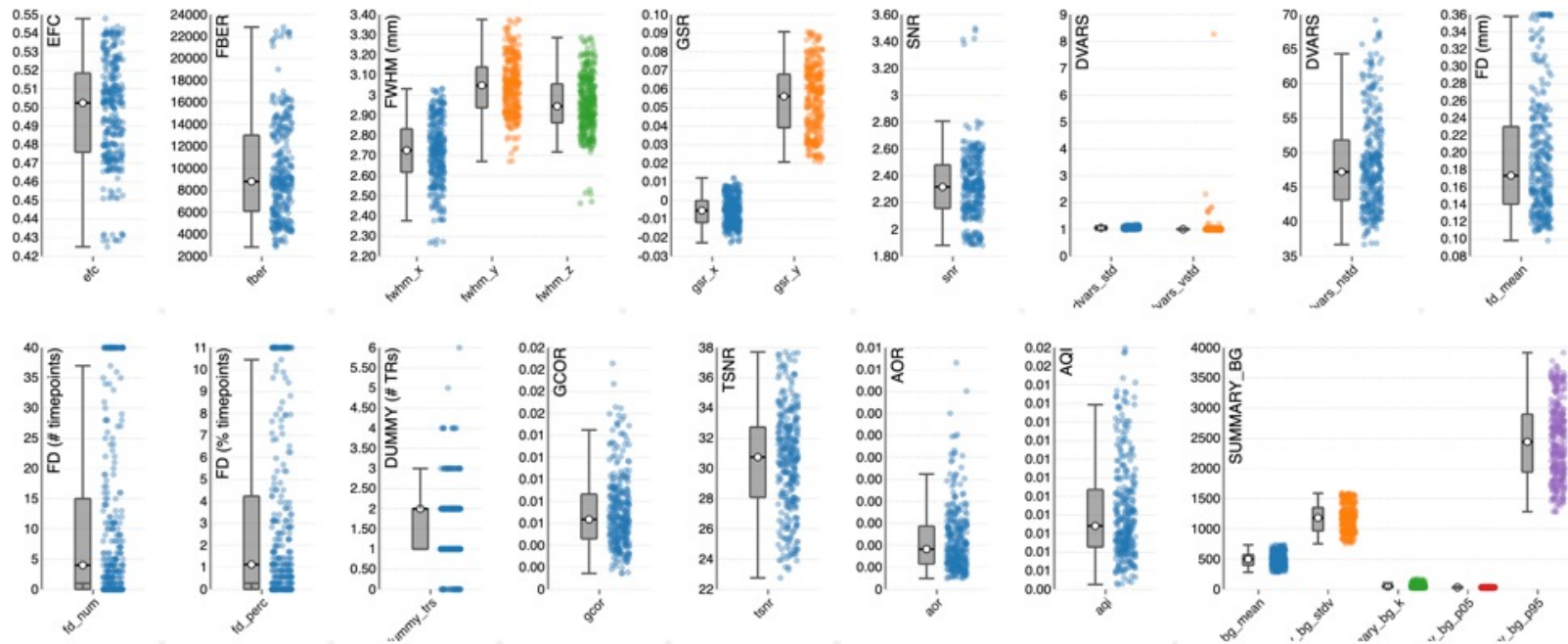
Mauvais sujet ☹️



Méthodologies : Analyse des images

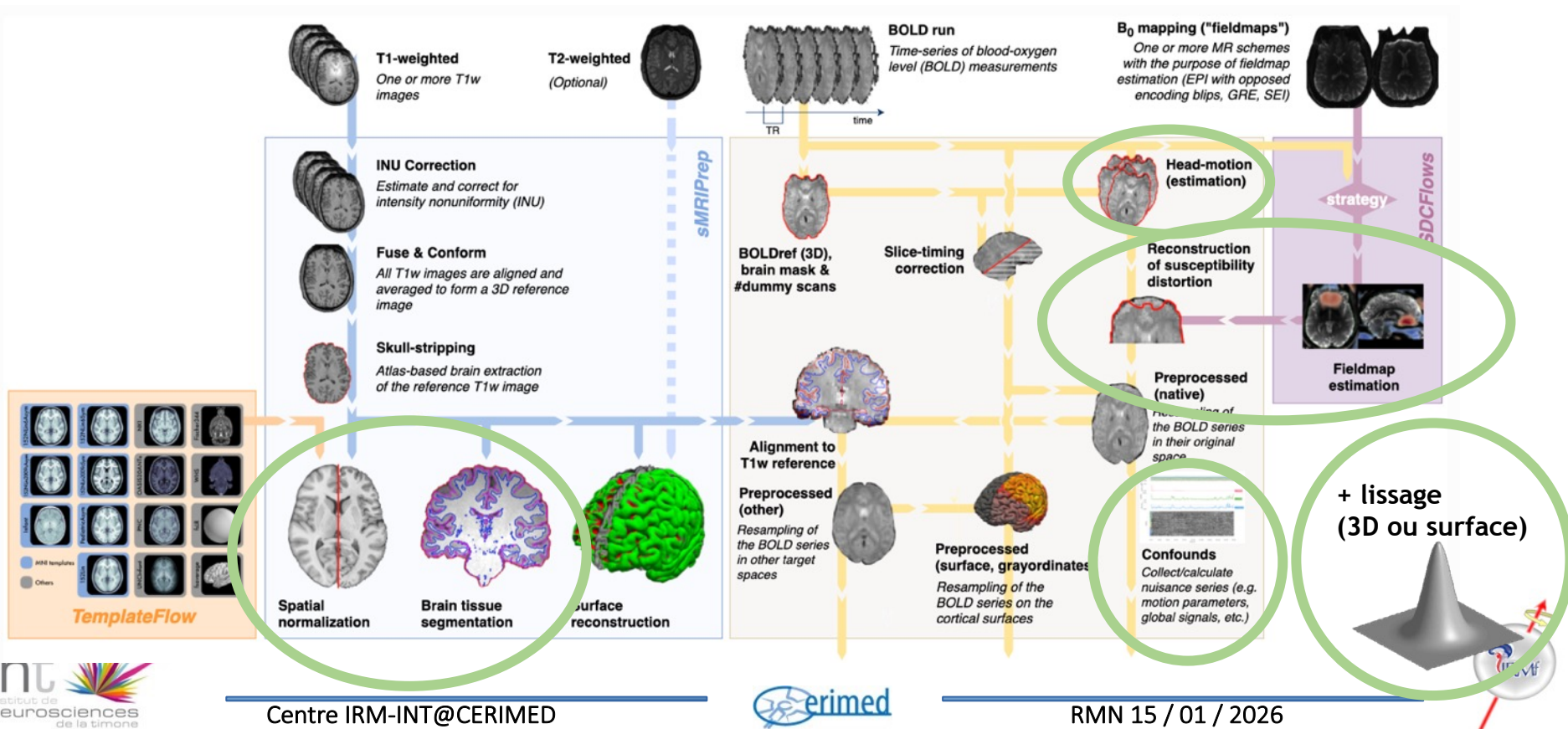
Analyse qualité des données (QC : Quality Check)

Exemple : MRIQC (au niveau du/des groupe/s)



Méthodologies : Analyse des images : pré-traitements

De plus en plus standardisé. Exemple : fMRIPrep

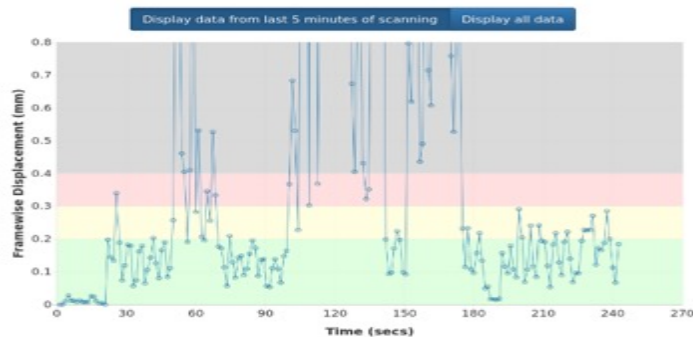


Méthodologies : Analyse des images : débruitage !!

Première source de nuisance : les mouvements de la tête

En amont :

- bien caler / maintenir la tête & confort +++
- respirer régulièrement
- vérifier les mouvements en cours de manip



Summary

Series	Description	Frames	TR (sec)	Time (min)	< 0.2 mm (min) (%)	< 0.3 mm (min) (%)	< 0.4 mm (min) (%)
15	AUDIO_RUN1_PERC	182	1.224	3:42	1:57 (52.7%)	2:25 (65.4%)	2:35 (69.8%)
10	task-rest_bold	15	1.224	0:18	0:18 (100.0%)	0:18 (100.0%)	0:18 (100.0%)
9	task-rest_bold_SBRef	1	1.224	0:01	0:01 (100.0%)	0:01 (100.0%)	0:01 (100.0%)

FIRMM version 2.1.3

Start Reset

Load Previous Scan



Collected Low Movement Frames

	< 0.2 mm	< 0.3 mm	< 0.4 mm
Good Time (min) (%)	2:17 (56.6%)	2:45 (68.2%)	2:55 (72.2%)
Good Frames	112	135	143
Bad Frames	86	63	55

Méthodologies : Analyse des images : GLM pour le débruitage

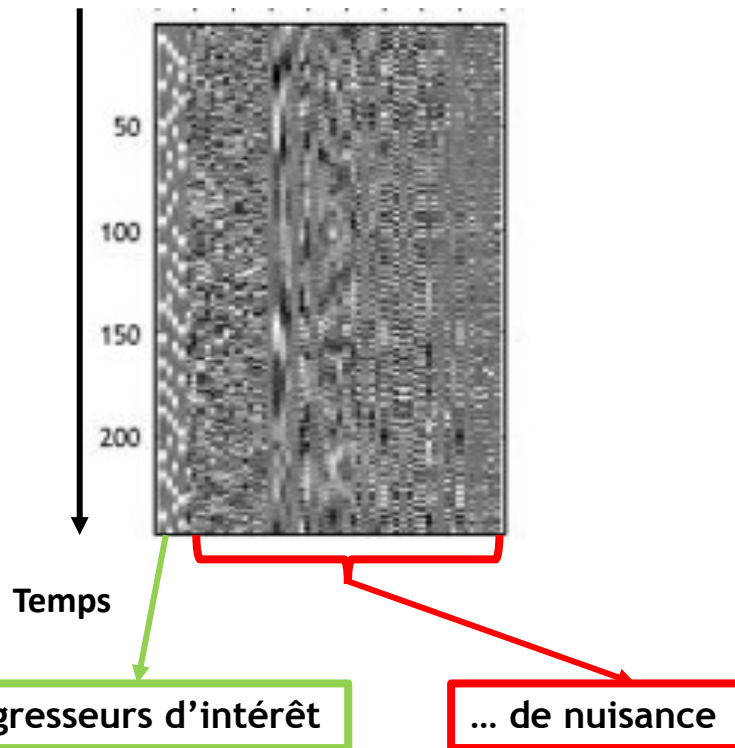
Correction des nuisances :

- Mouvements de la tête
- Fluctuations physiologiques
- Instabilité système

Les « régresser out »

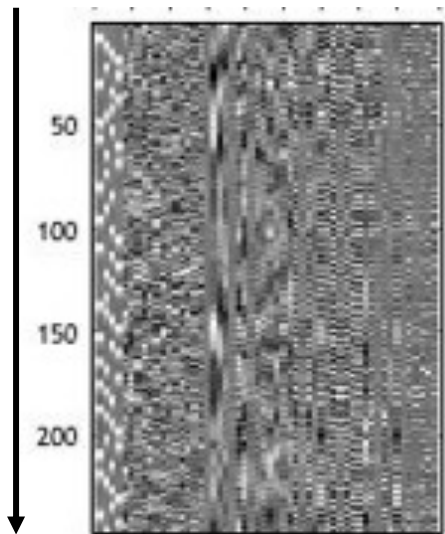
- paramètres de mouvement
- aCompCor (signaux extraits du CSF et WM)
- Scans outliers
- ...

Matrice de dessin :
Modèle Linéaire Général



Méthodologies : Analyse des images : GLM pour le débruitage

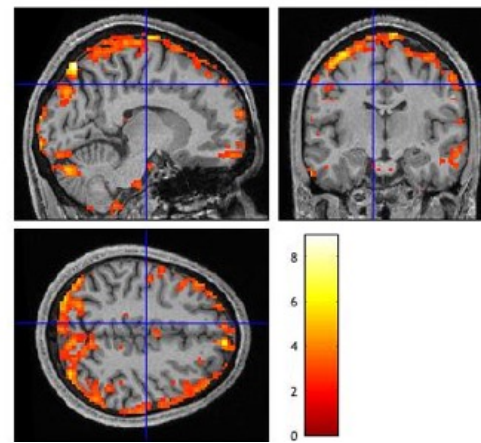
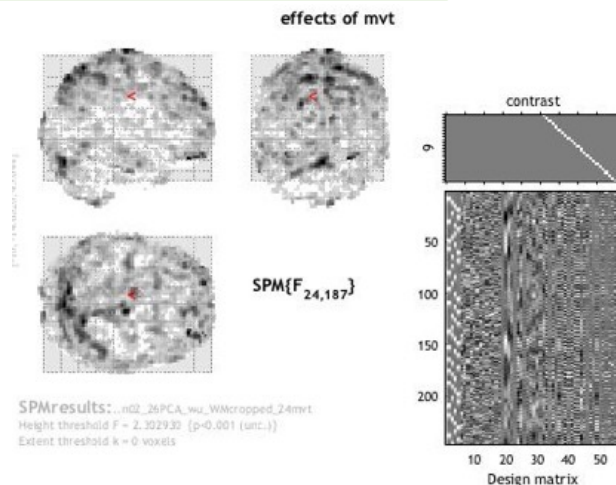
Matrice de dessin :
Modèle Linéaire Général



Temps

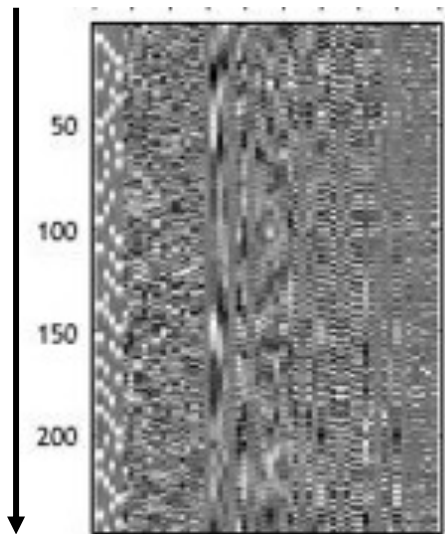
Régresseurs d'intérêt

... de nuisance



Méthodologies : Analyse des images : GLM pour le débruitage

Matrice de dessin :
Modèle Linéaire Général

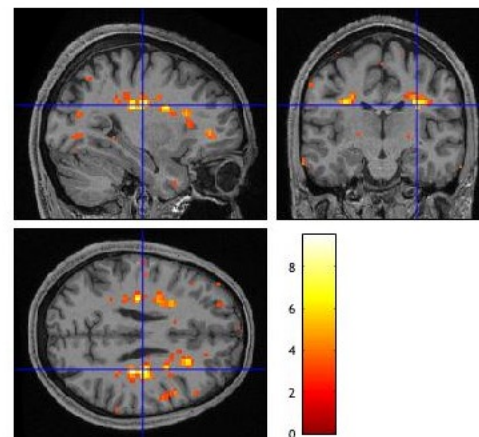
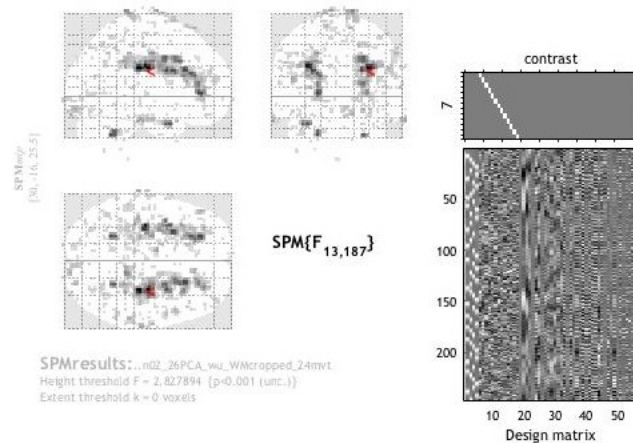


Temps

Régresseurs d'intérêt

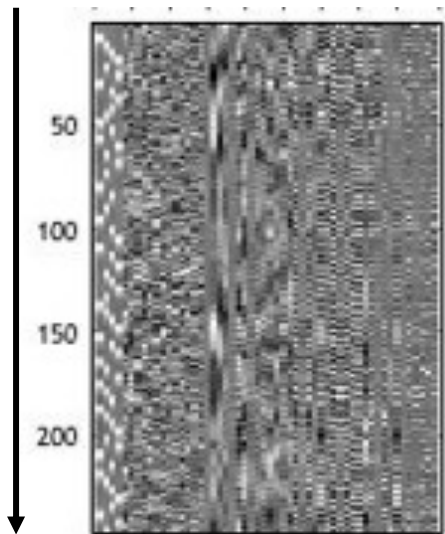
... de nuisance

effects of PCA WM



Méthodologies : Analyse des images : GLM pour le débruitage

Matrice de dessin :
Modèle Linéaire Général

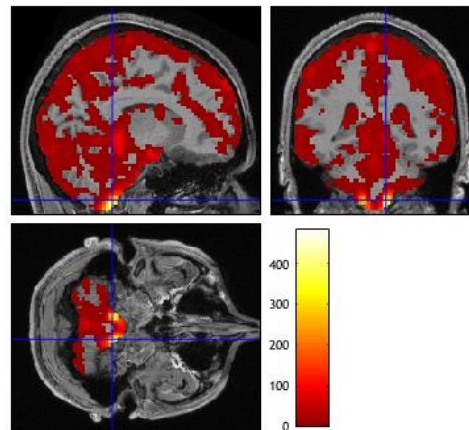
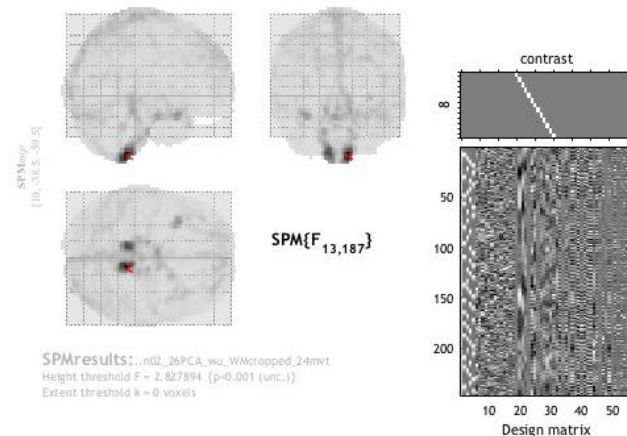


Temps

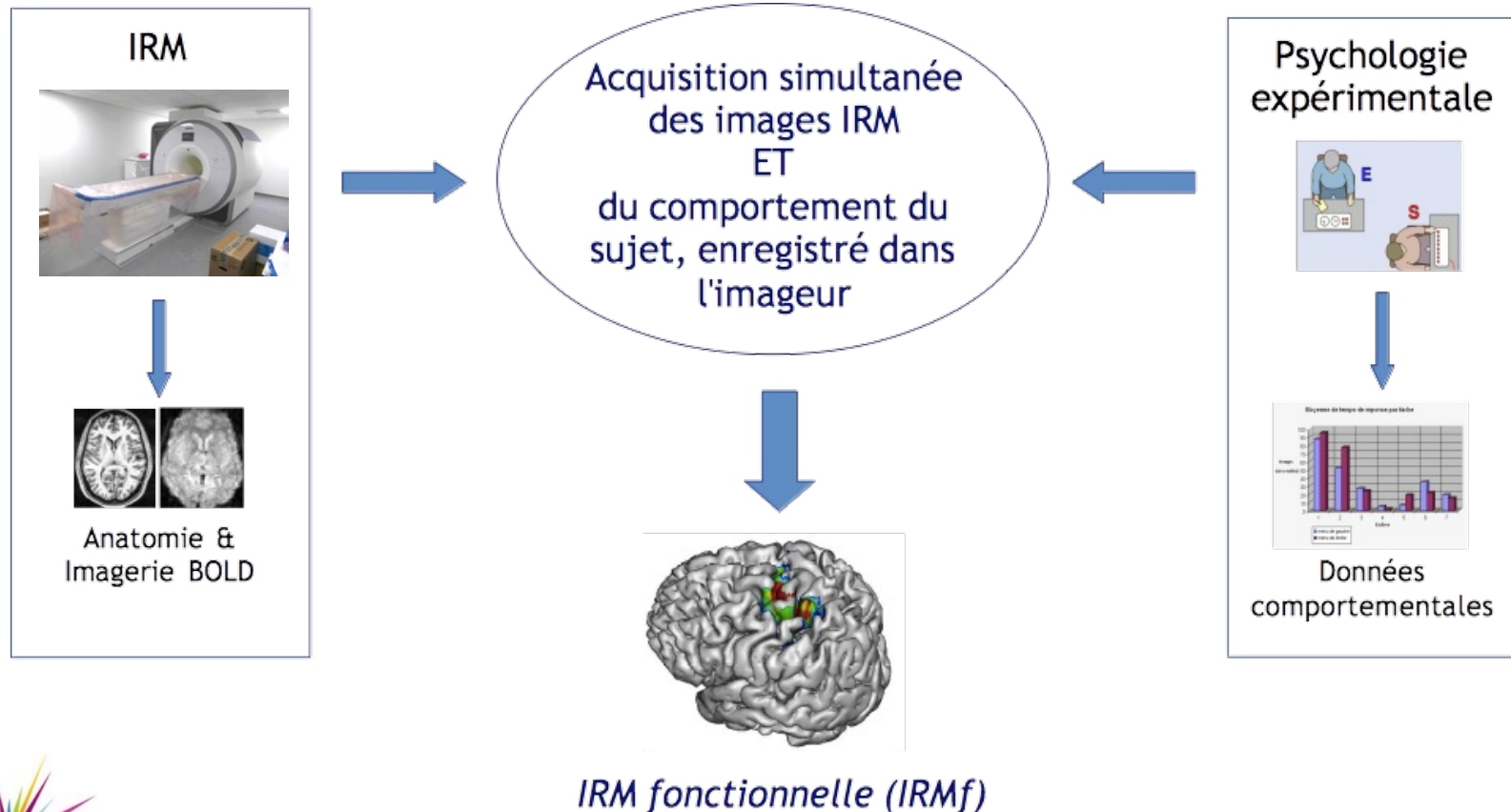
Régresseurs d'intérêt

... de nuisance

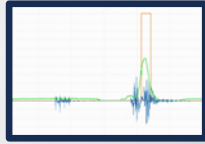
effects of PCA CSF



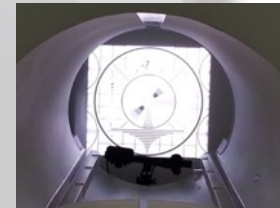
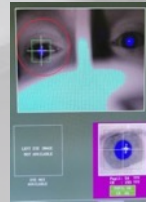
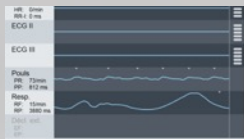
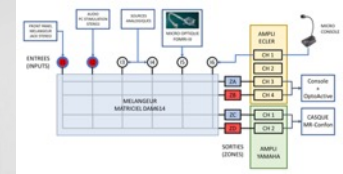
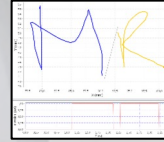
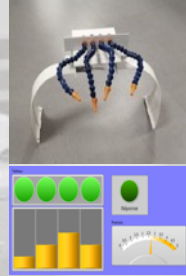
Méthodologies : paradigmes (activation)



Méthodologies : paradigmes (activation) → instrumentation



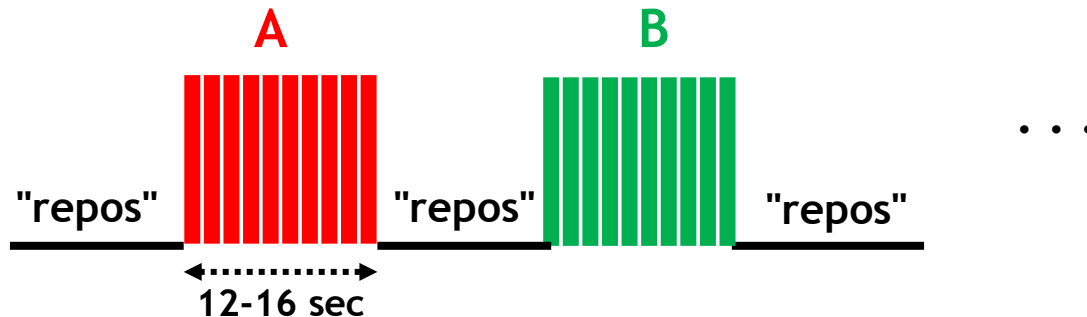
EMG : poster #088



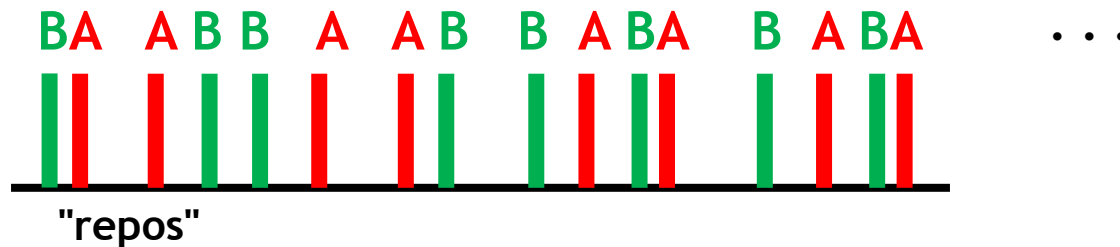
Méthodologies : paradigmes (activation)

- Dessins temporels :

- Bloc

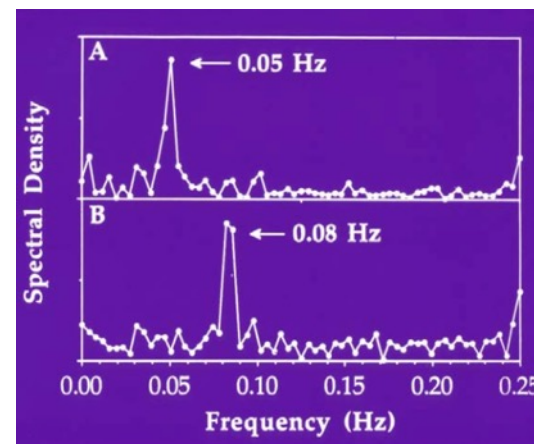
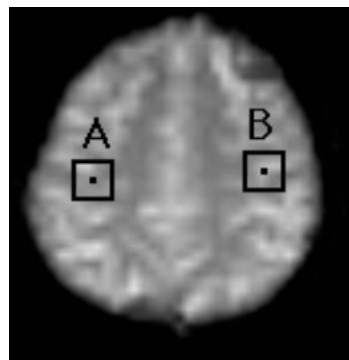
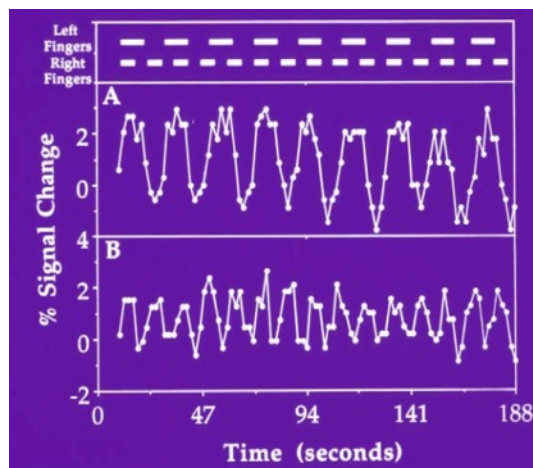
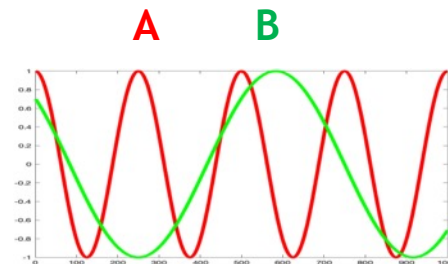


- Evènementiel



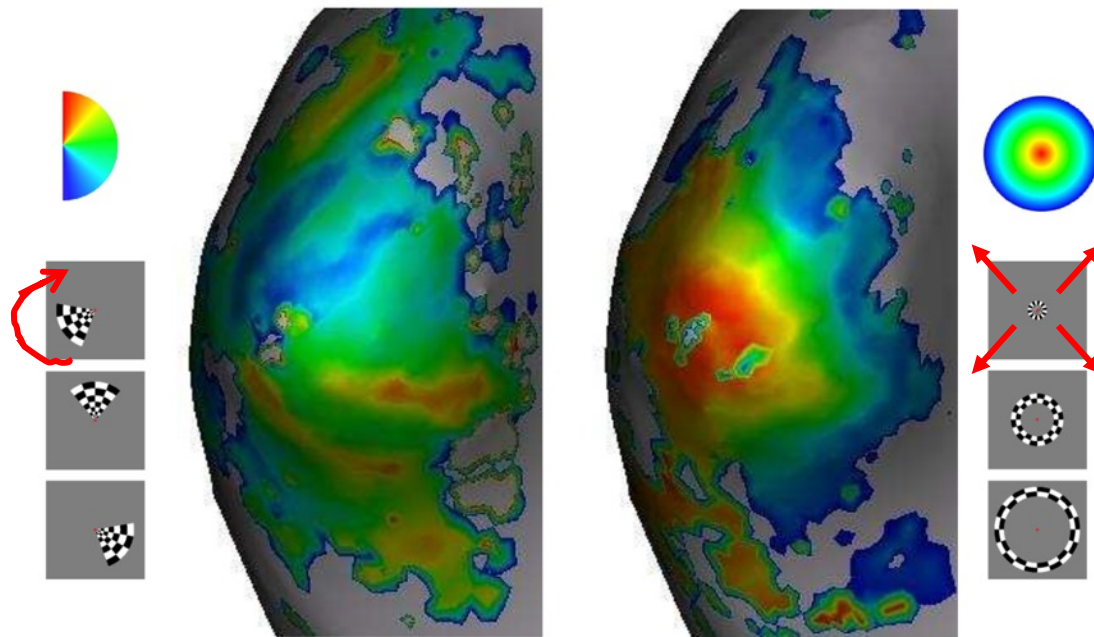
Méthodologies : paradigmes (activation)

- Dessins temporels :
 - Modulation par la fréquence (frequency encoding)



Méthodologies : paradigmes (activation)

- Dessins temporels :
 - Modulation par la phase (phase encoding)
→ ex : rétinotopie



Méthodologies : paradigmes (activation)

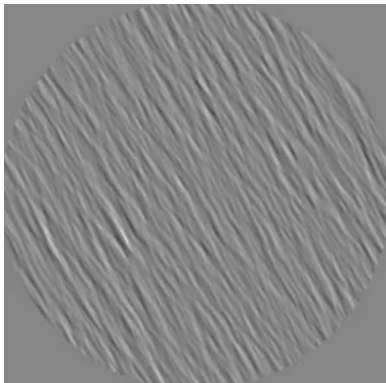
- Manipulation psychophysique :
 - Catégoriel : tâche A versus tâche B
 - Factoriel : manipulation de plusieurs facteurs :
 - Effet principal de chaque facteur
 - Interaction entre les facteurs

Facteurs & niveaux	A1 (ex : mouvement)	A2 (pas mouvement)
B1 (ex : attention)	A1 B1	A2 B1
B2 (pas attention)	A1 B2	A2 B2

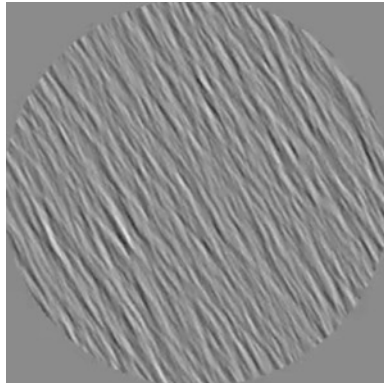
Méthodologies : paradigmes (activation)

- Manipulation psychophysique :
 - Paramétrique : effet de l'amplitude d'un paramètre (ex : contraste de l'image)

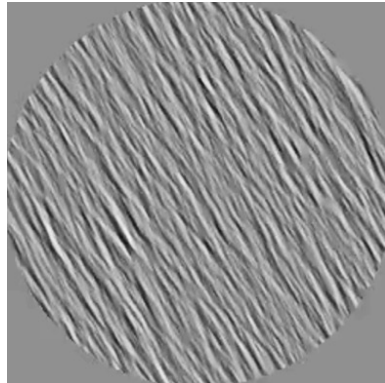
12,5%



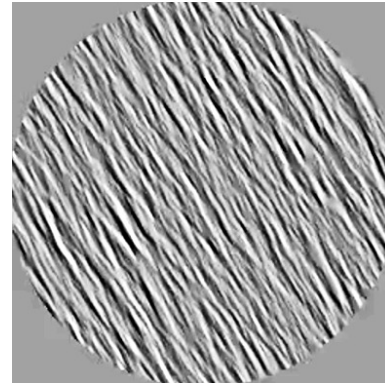
25%



50%

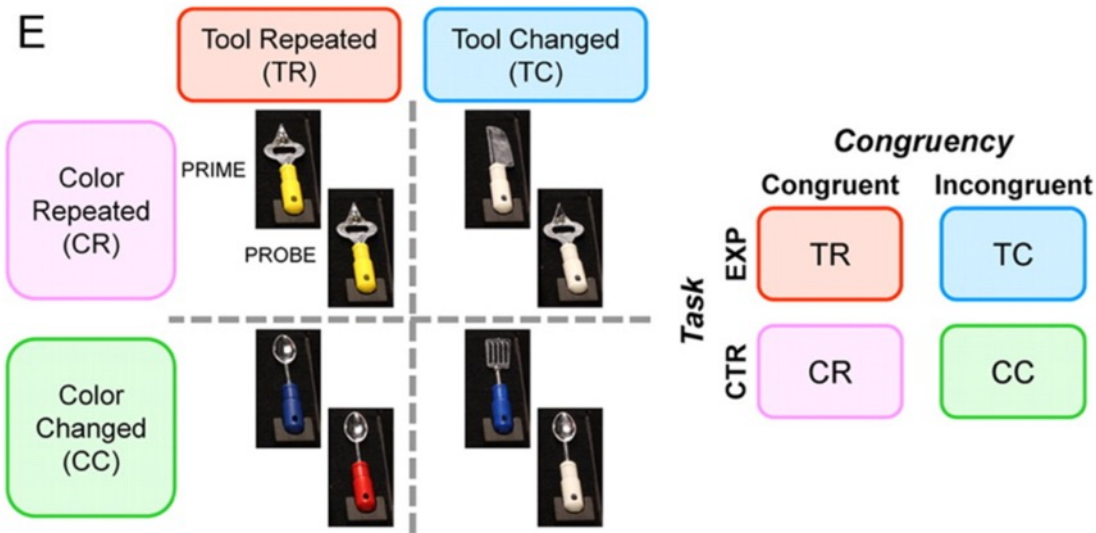
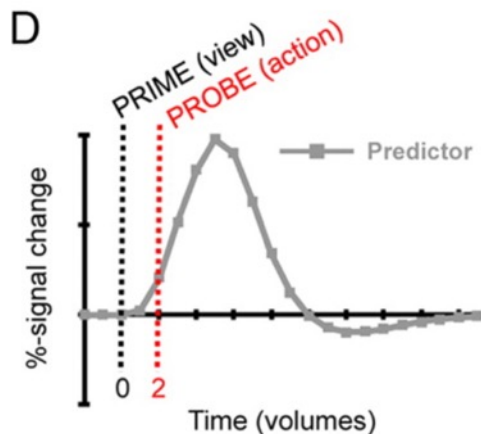


100%



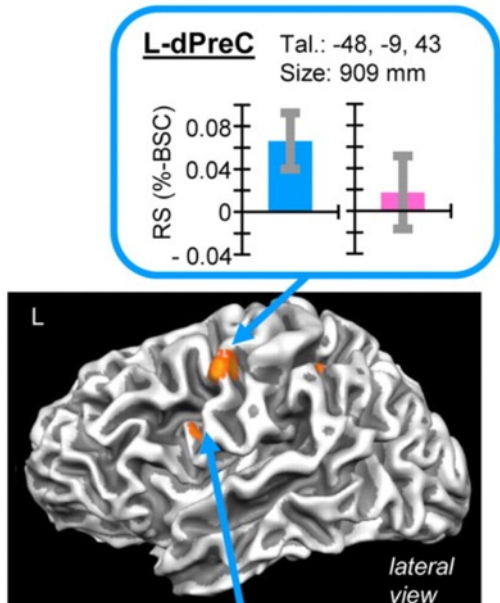
Méthodologies : paradigmes (activation)

- Manipulation psychophysique :
 - Répétition-suppression : atténuation de la réponse BOLD due à la répétition de la caractéristique des stimuli traitée localement

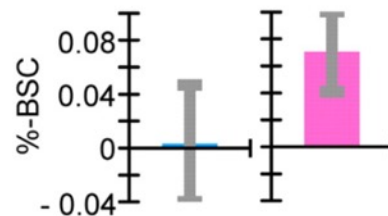
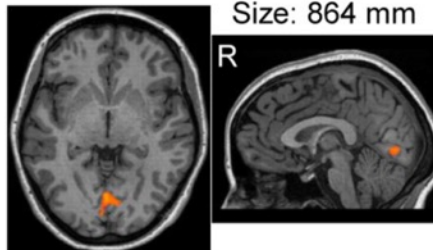


Méthodologies : paradigmes (activation)

- Manipulation psychophysique :
 - Répétition-suppression : atténuation de la réponse BOLD induite par la répétition de la caractéristique des stimuli traitée localement



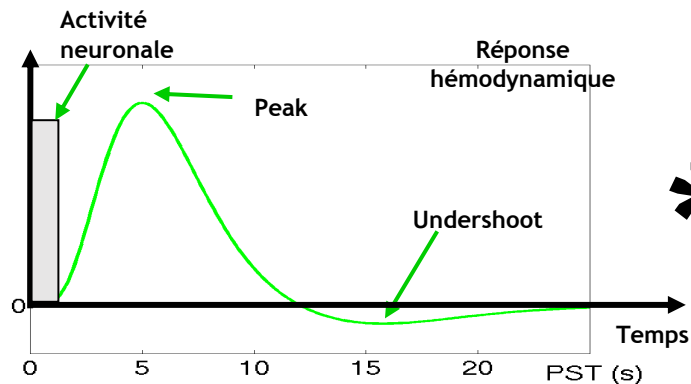
B-Calc



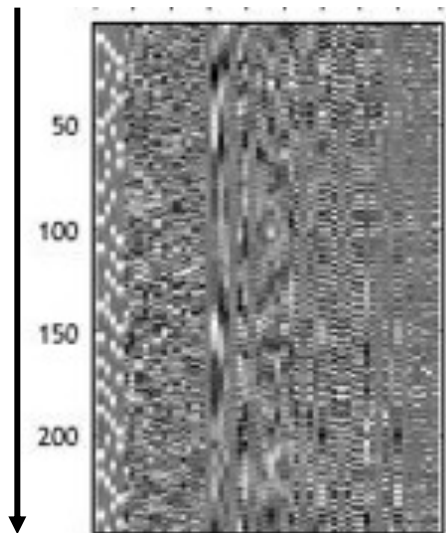
Méthodologies : Analyse des images : GLM pour l'IRMf d'activation

Hypothèses / approximations (discutables !) :

- même HRF partout dans le cerveau
- identique pour tous les sujets
- linéarité de la réponse HRF
(quelle que soit la durée de l'activité neuronale)



Matrice de dessin :
Modèle Linéaire Général



Temps

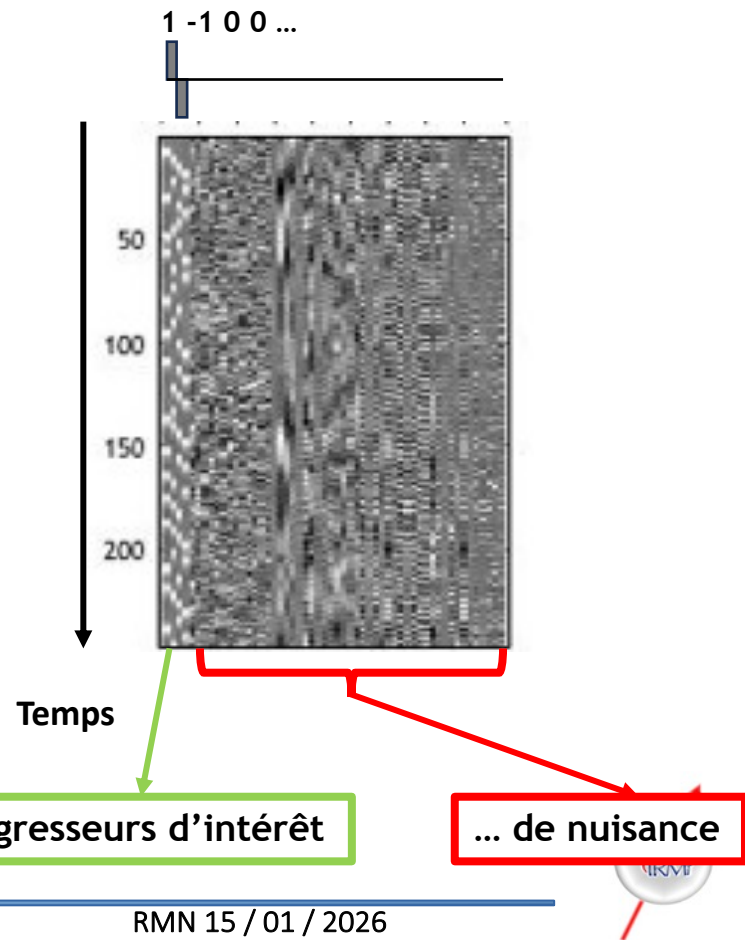
Régresseurs d'intérêt

... de nuisance

Méthodologies : Analyse des images : GLM pour l'IRMf d'activation

En chaque voxel (analyse univariée !!) :

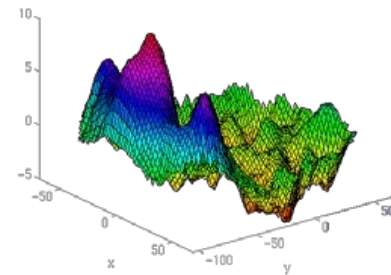
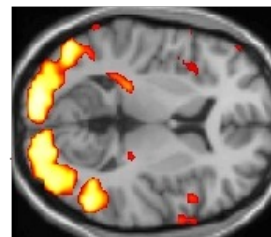
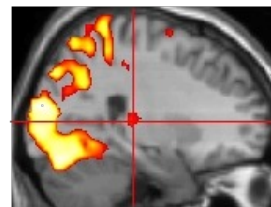
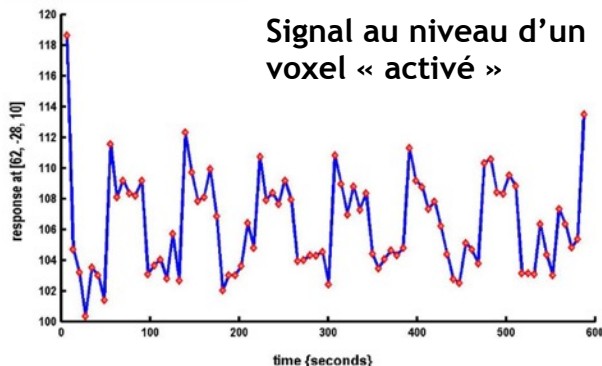
- estimation des coefficients de régression (méthode des moindres carrés : LMS)
- contraste d'intérêt (ex : 1 -1 0 0 0 ...)
- test statistique (contraste / variance résiduelle)



Méthodologies : Analyse des images : GLM pour l'IRMf d'activation

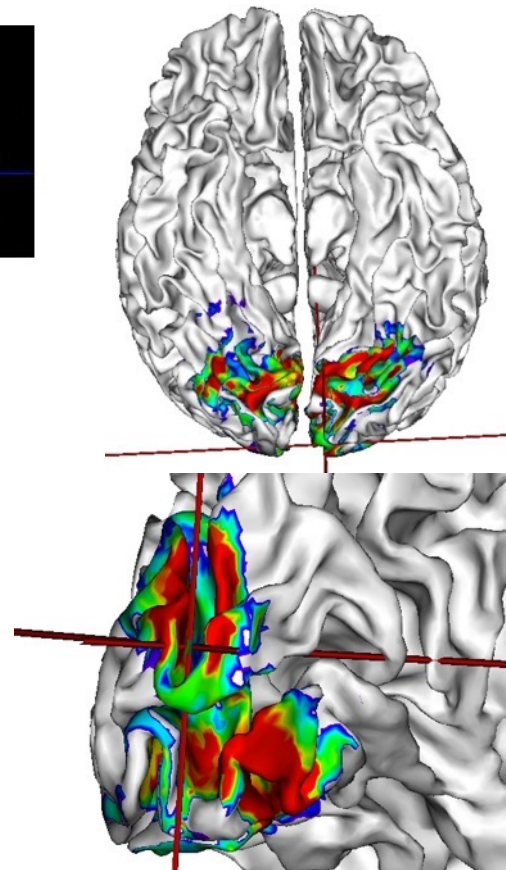
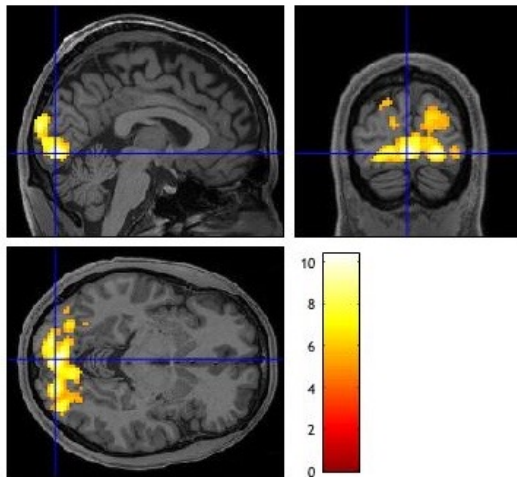
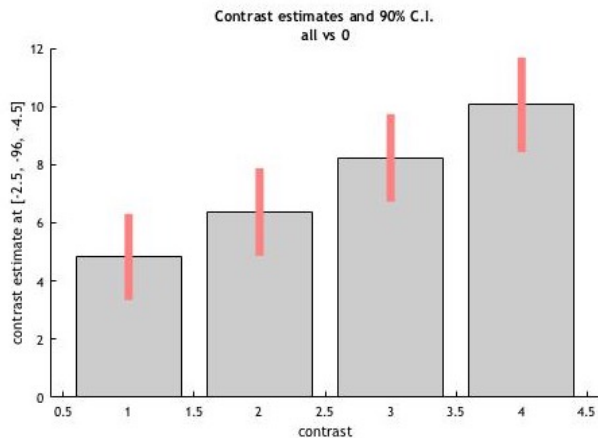
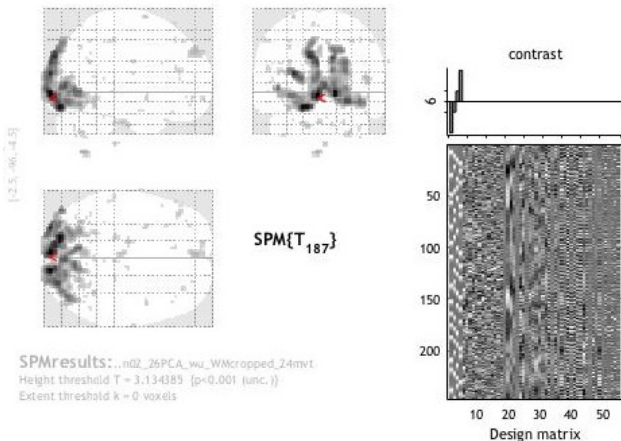
En chaque voxel (analyse univariée !!) :

- estimation des coefficients de régression (méthode des moindres carrés : LMS)
- contraste d'intérêt (ex : 1 -1 0 0 0 ...)
- test statistique (contraste / variance résiduelle)
- seuillage
- correction pour les comparaisons multiples (FWE, FDR, ...) : au niveau du voxel ou du cluster



Méthodologies : Analyse des images : GLM pour l'IRMf d'activation

Parametric_effects_contrast_visual

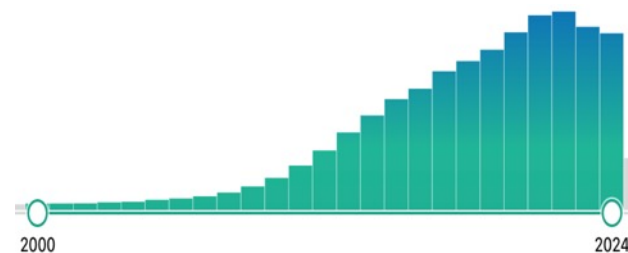
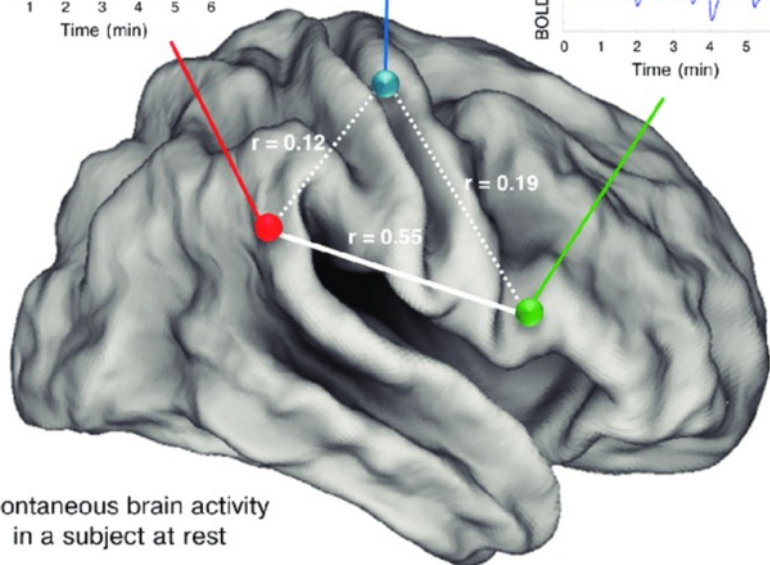
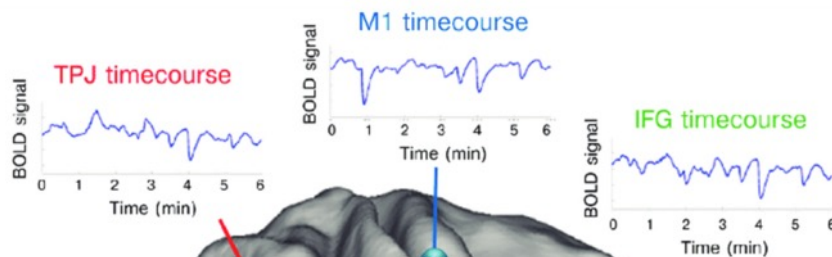


Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

- Repos (resting-state fMRI) : facile à mettre en œuvre \rightarrow très répandu

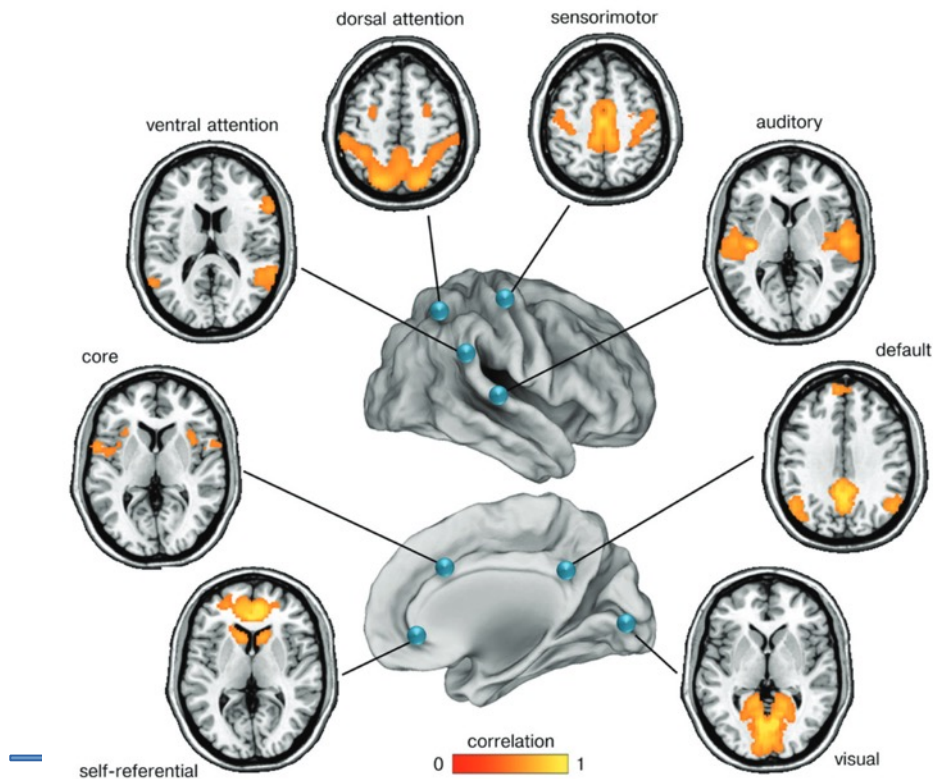
\rightarrow Corrélations dans la bande fréquentielle (0.01 - 0.1 Hz)

Interprétation : « connectivité fonctionnelle » (discutable ...)



Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

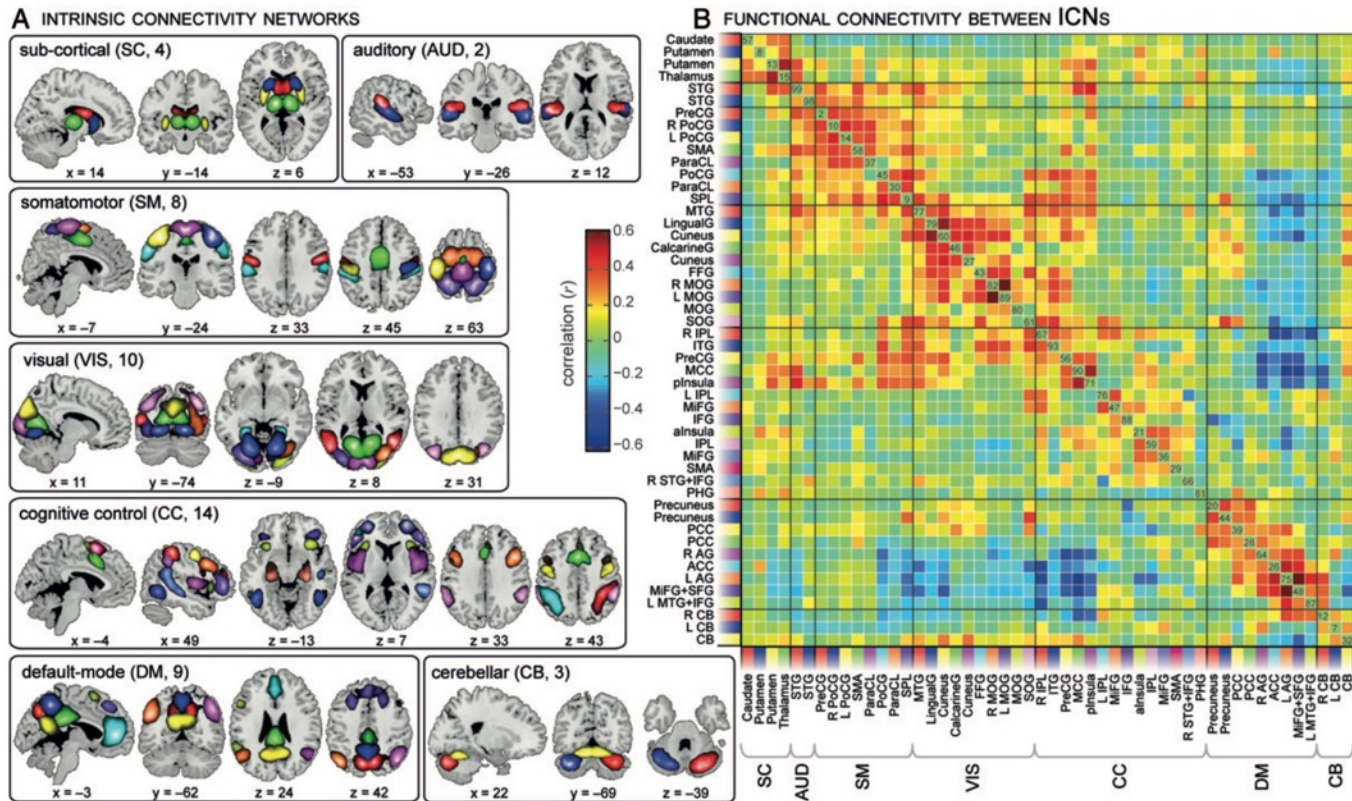
- Repos (resting-state fMRI) :
→ Analyses des grands réseaux fonctionnels



Biswal & al, 1995
Gillebert & al, 2012

Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

- Repos (resting-state fMRI) :
→ Analyses des grands réseaux fonctionnels

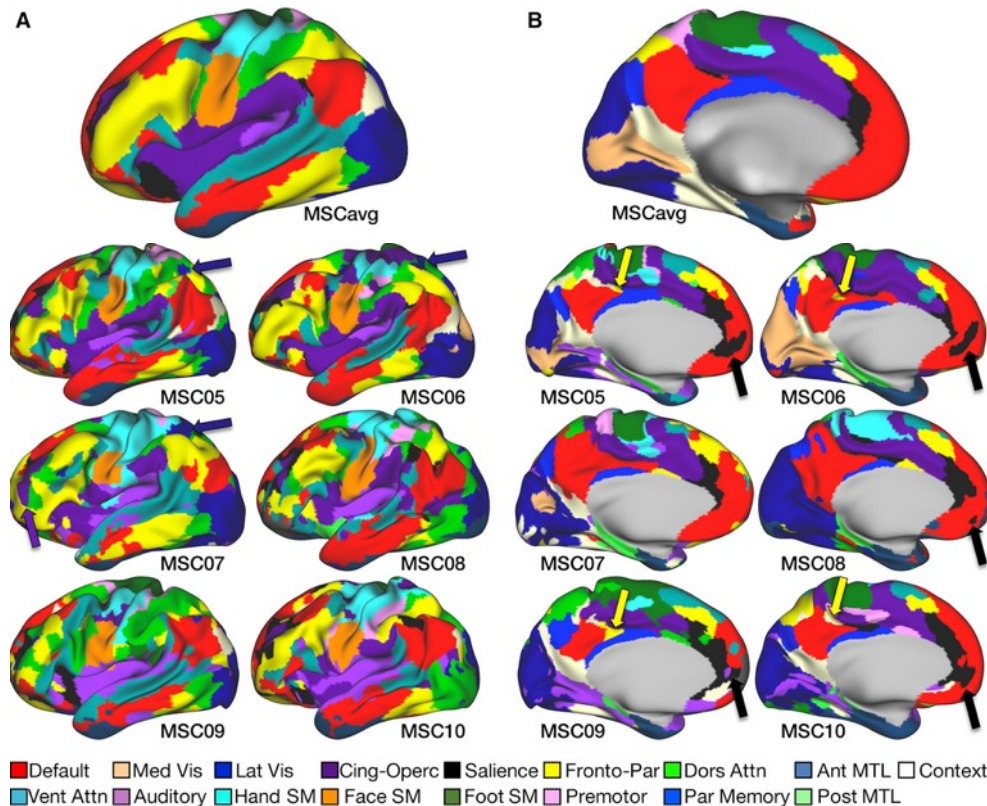


Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

- Repos (resting-state fMRI) :

→ Analyses des grands réseaux fonctionnels

→ variabilités inter-individuelles !!



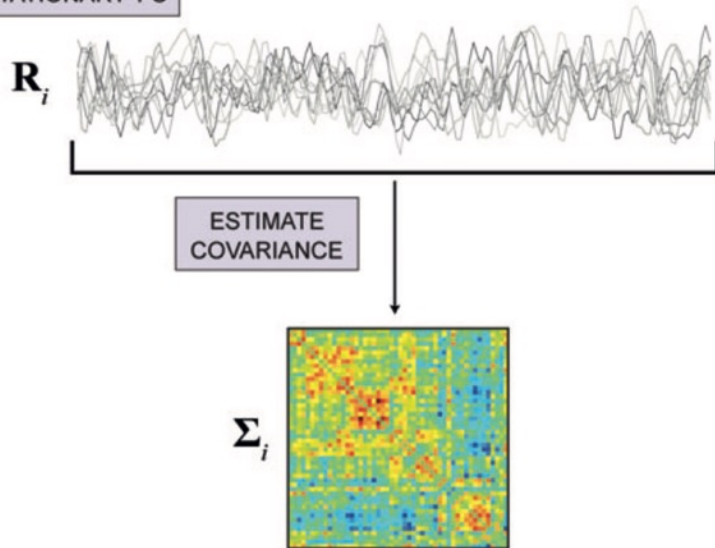
Gordon & al , 2017

RMN 15 / 01 / 2026

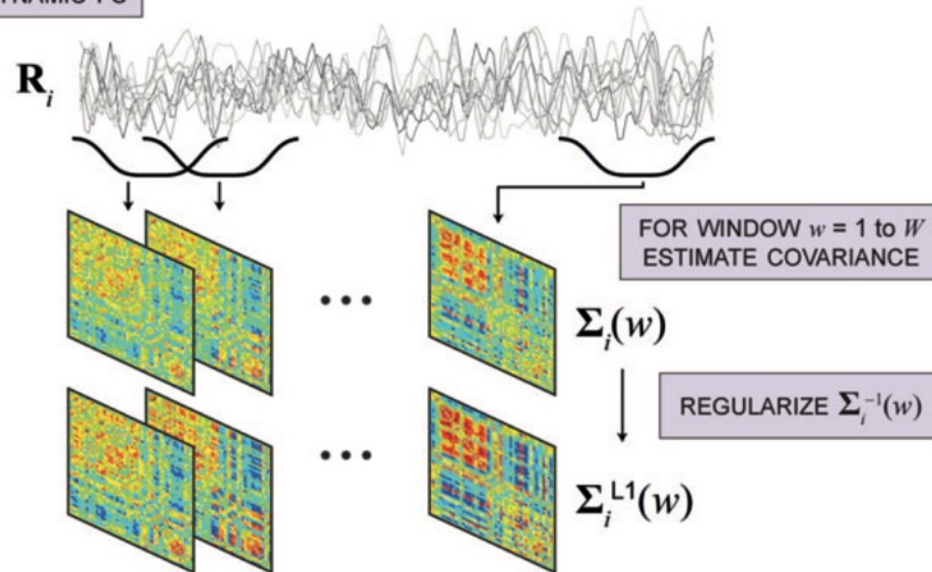
Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

- Repos (resting-state fMRI)
 - Analyses dynamiques : fenêtres temporelles glissantes

STATIONARY FC



DYNAMIC FC



Méthodologies : Analyses & paradigmes (\approx connectivité)

- Connectivité pendant la réalisation de tâches :
 - Connectivité effective
 - PsychoPhysiological Interactions (PPI)
 - Structural Equation Models (SEM)

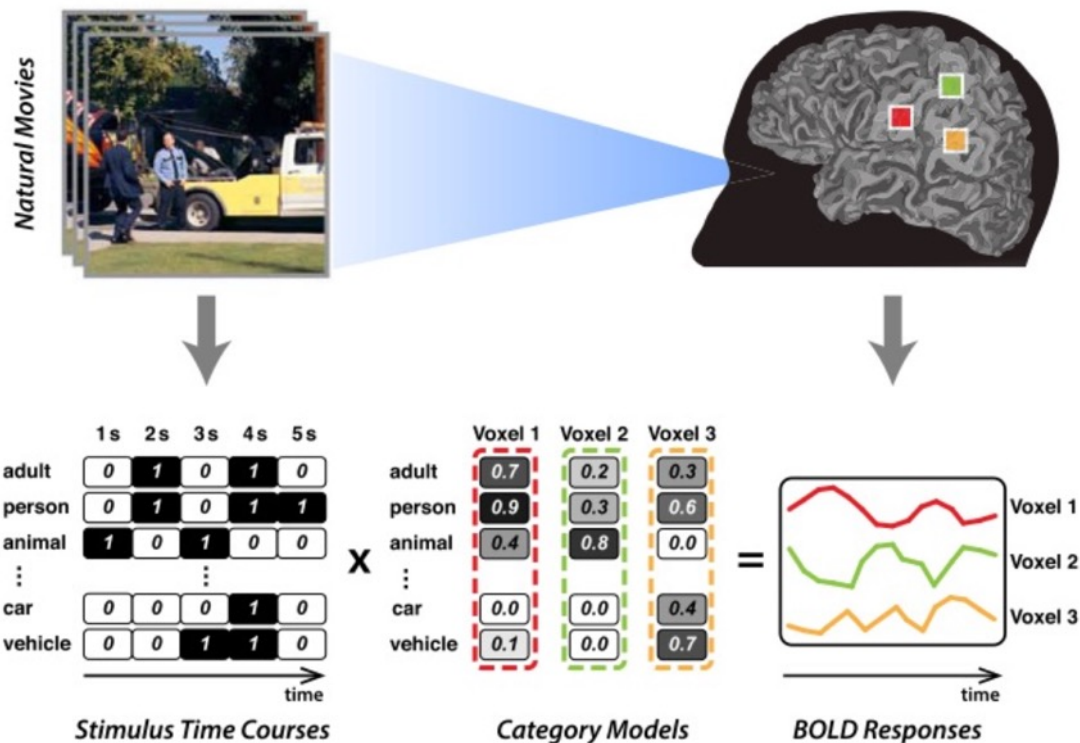
- Dynamic Causal Models (DCM) : problème avec la forme lente et variable de la HRF
- Granger Causality : idem

Méthodologies : Analyses & paradigmes

- protocoles naturalistes : visionnage de film, conversation ...

→ Catégorisation des évènements

→ Catégorisation des régions cérébrales

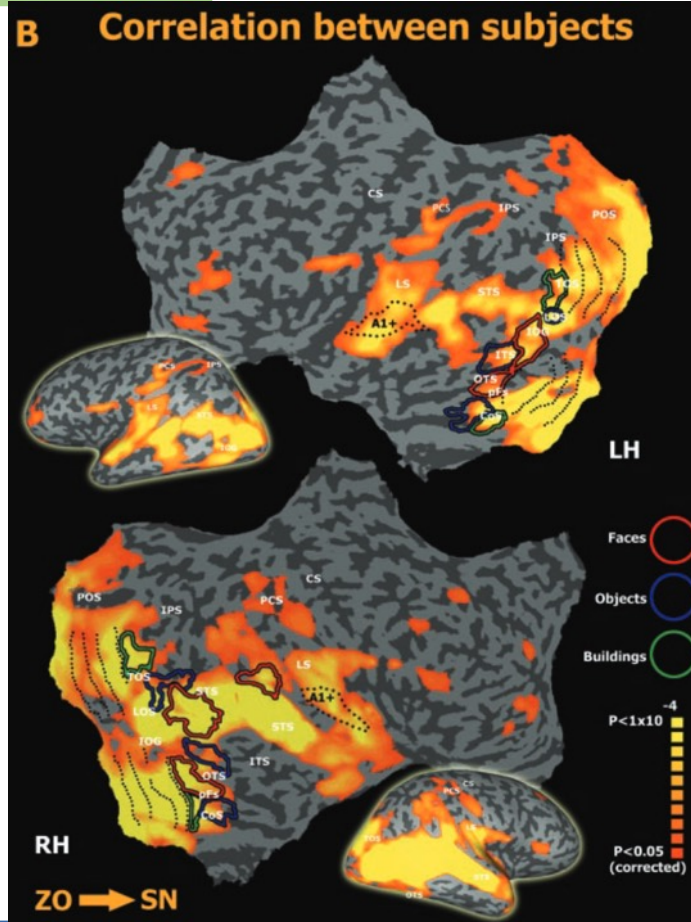


Huth & al , 2012

01 / 2026

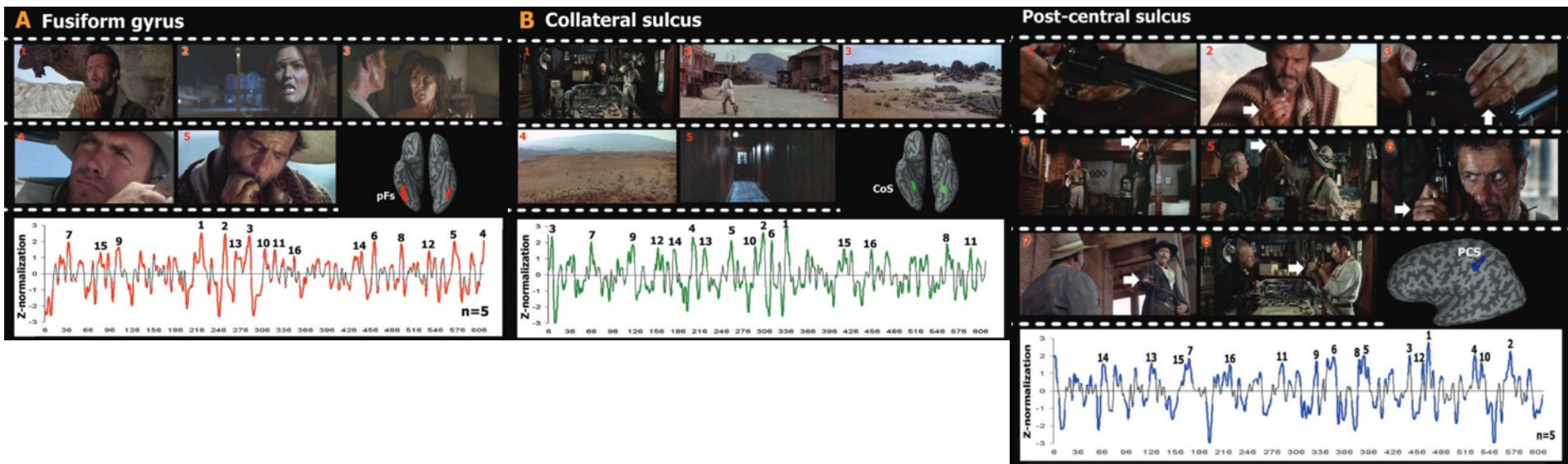
Méthodologies : Analyses & paradigmes

- protocoles naturalistes : visionnage de film
- Corrélation inter-sujets
- Réponses cérébrales stables induites par le visionnage (suppression des variabilités physiologiques ...)



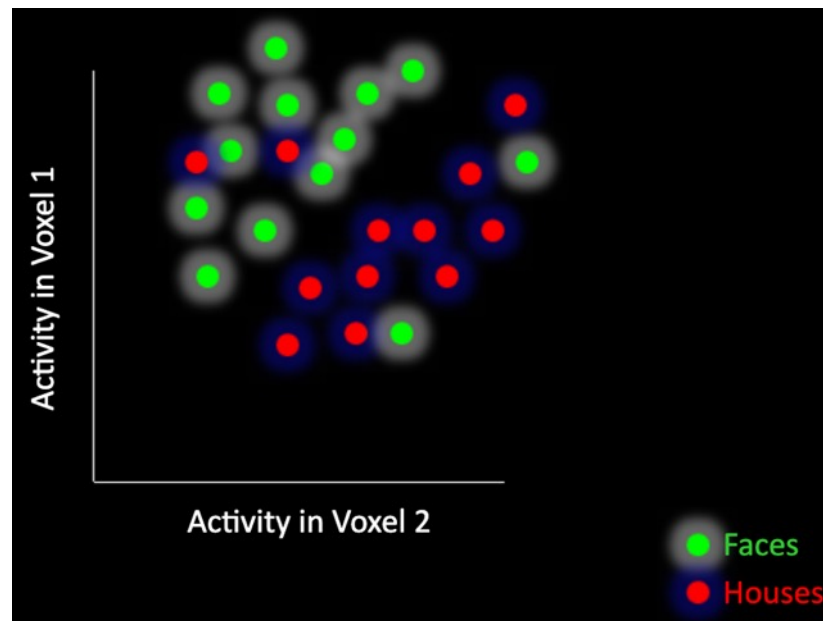
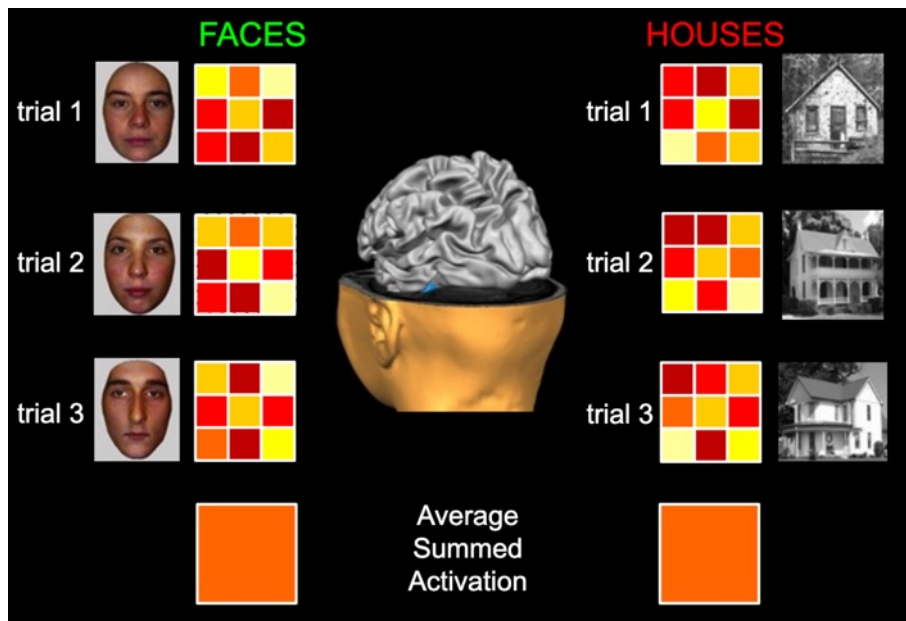
Méthodologies : Analyses & paradigmes

- protocoles naturalistes : visionnage de film
→ sélectivité fonctionnelle révélée par corrélation inverse (reverse correlation)



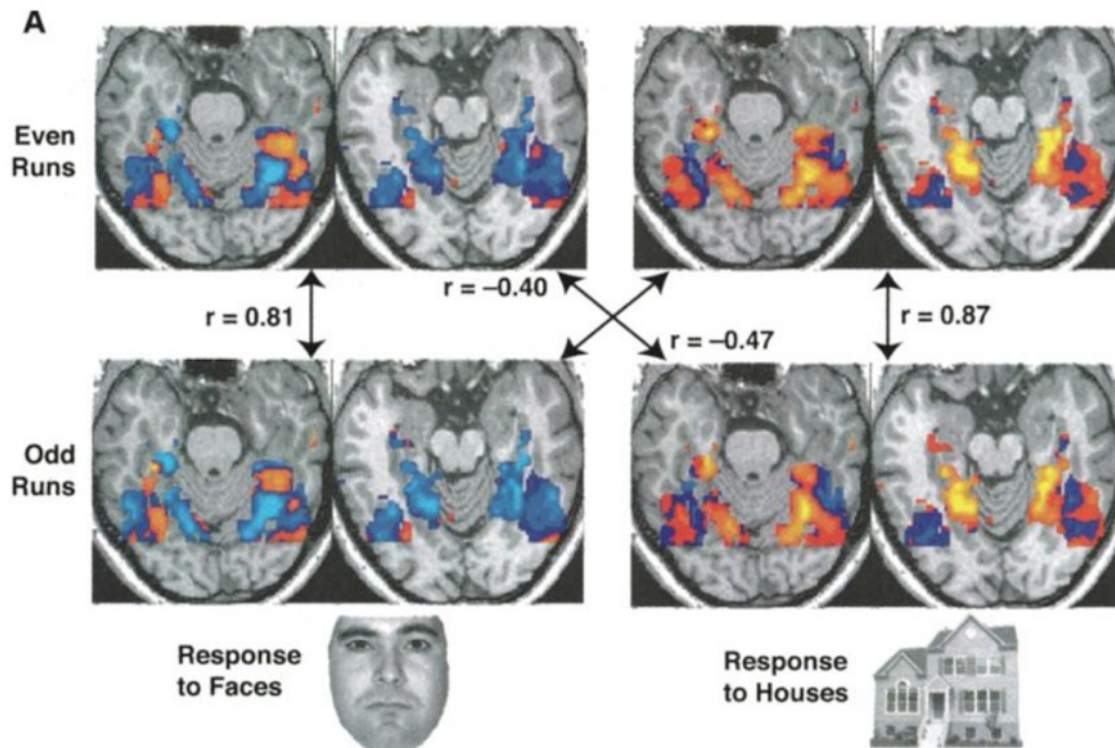
Méthodologies : Analyses Multi-variées

- Analyse des profils spatiaux de réponses : Multi-Variate Pattern Analysis (MVPA)



Méthodologies : Analyses Multi-variées

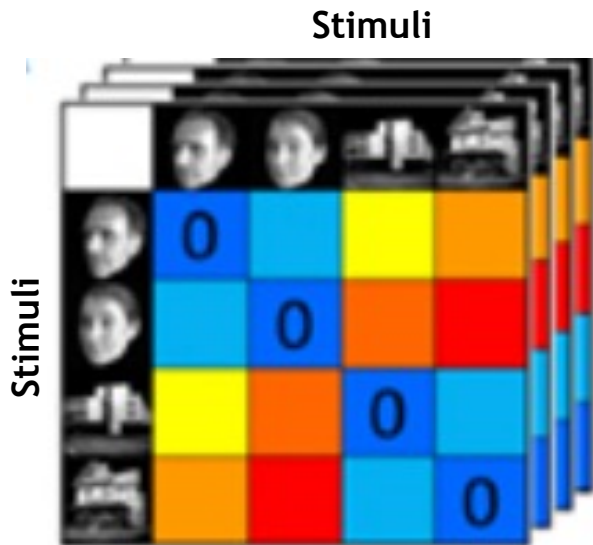
- Analyse des profils spatiaux de réponses : Multi-Variate Pattern Analysis (MVPA)



Haxby & al, 2001

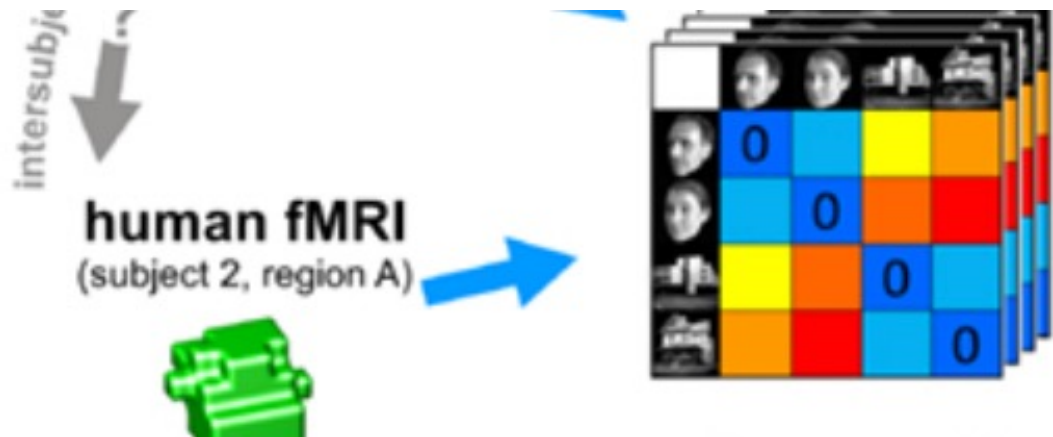
Méthodologies : Analyses Multi-variées

- Analyse par similarité représentationnelle : Representational Similarity Analysis (RSA)



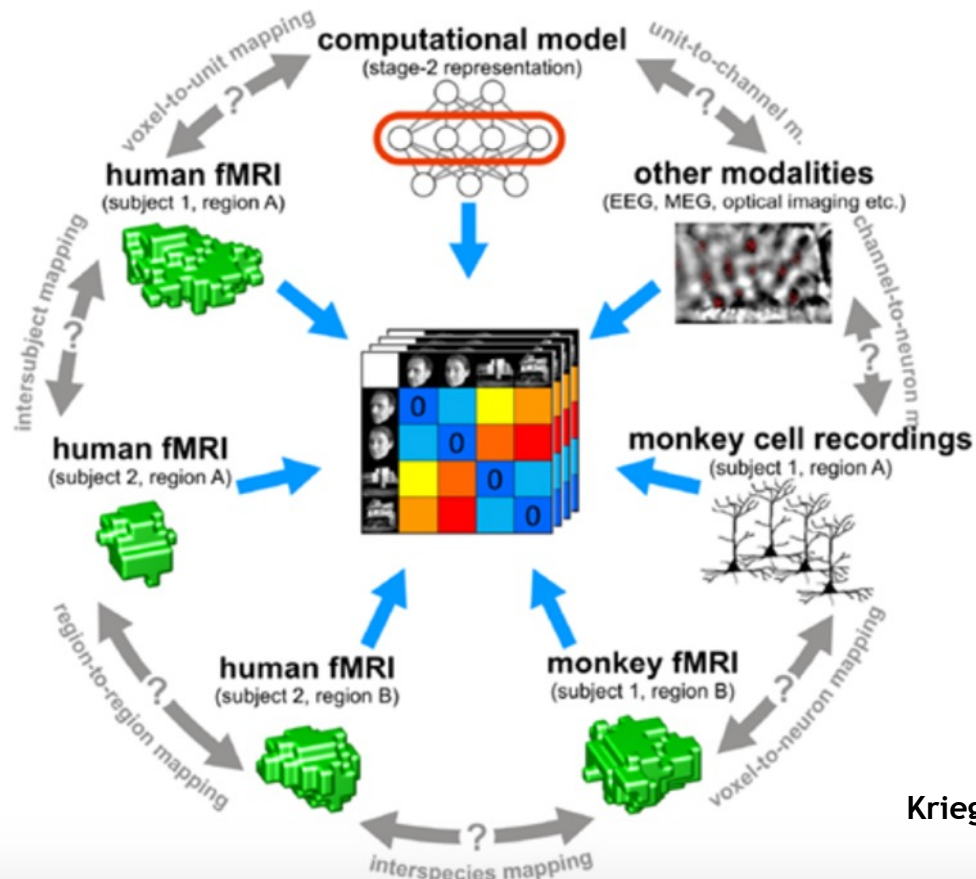
Méthodologies : Analyses Multi-variées

- Analyse par similarité représentationnelle : Representational Similarity Analysis (RSA)



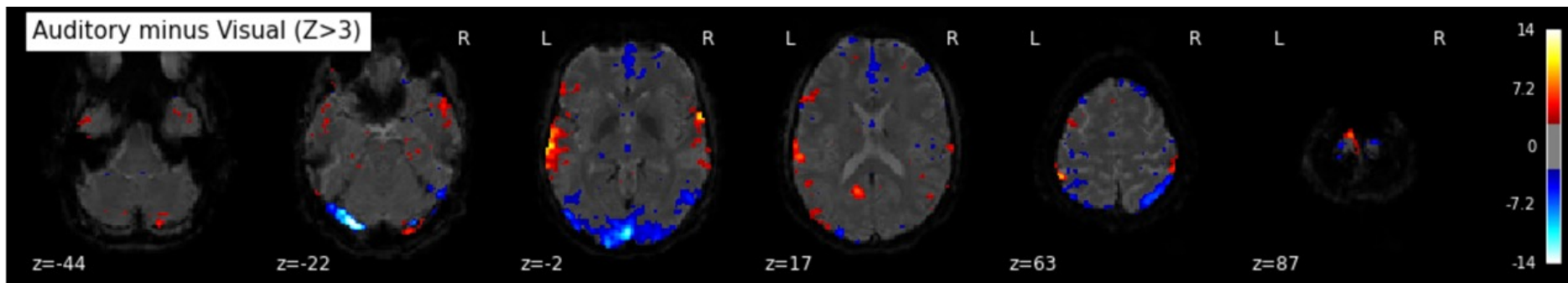
Méthodologies : Analyses Multi-variées

- Analyse par similarité représentationnelle : Representational Similarity Analysis (RSA)

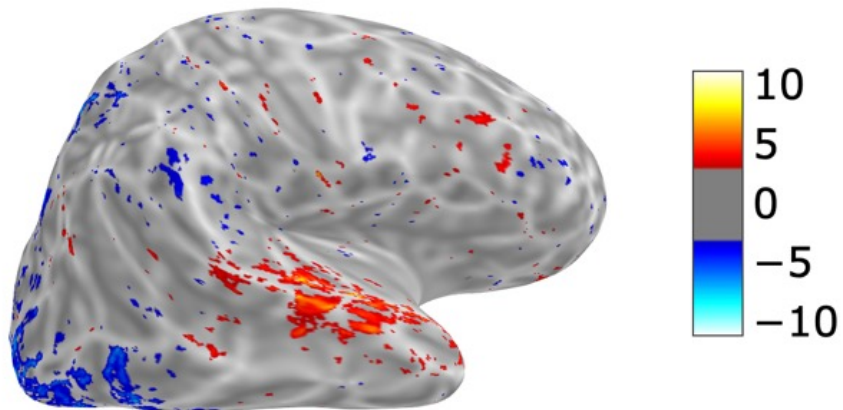


Méthodologies : Analyse des images : volume 3D ou surface ?

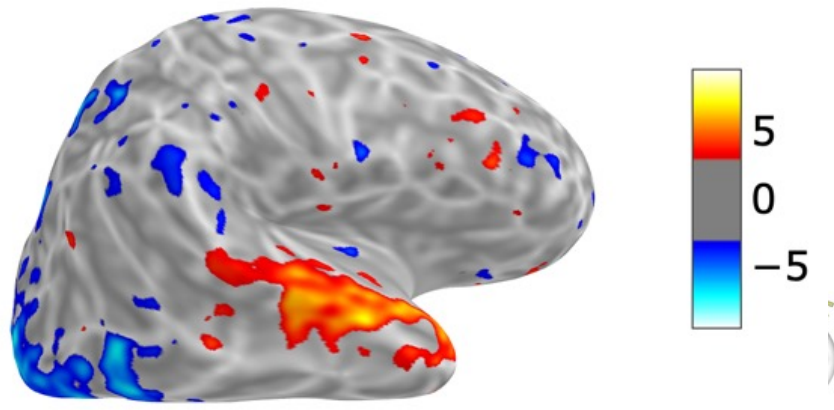
Lissage et analyse en 3D



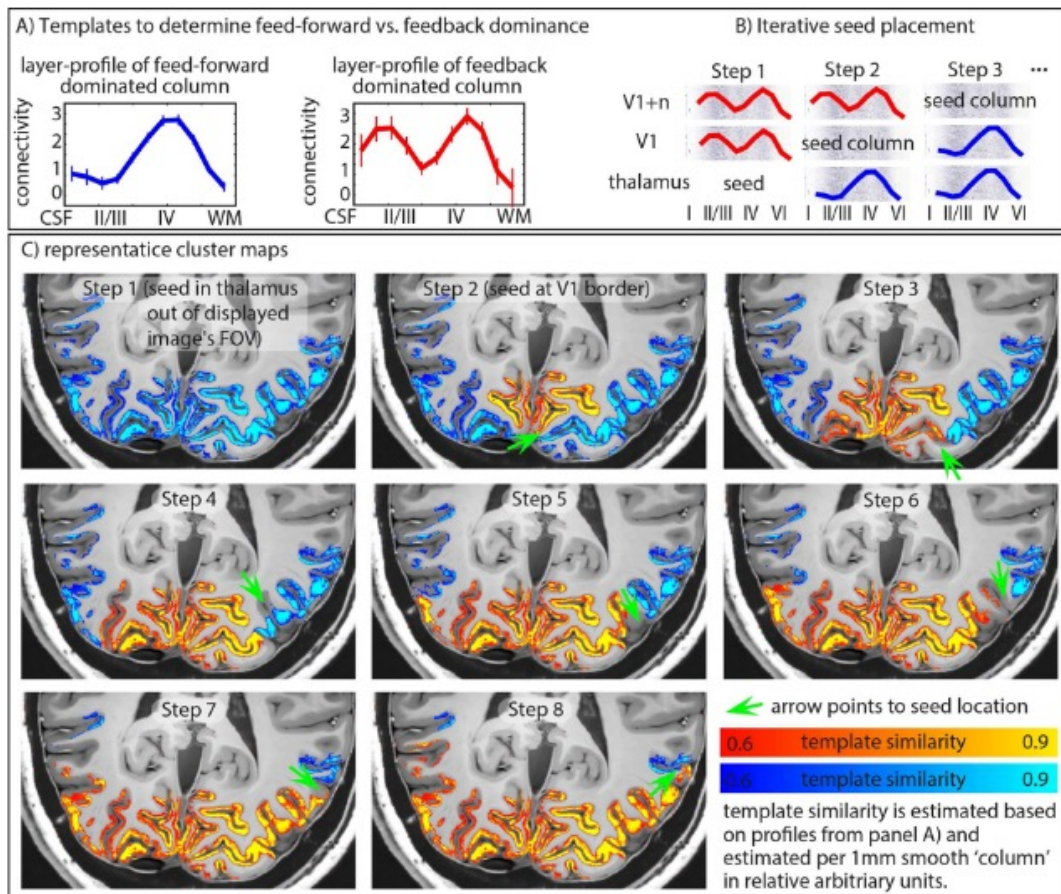
Analyse en surface (cortex)



Lissage et analyse en surface (cortex)



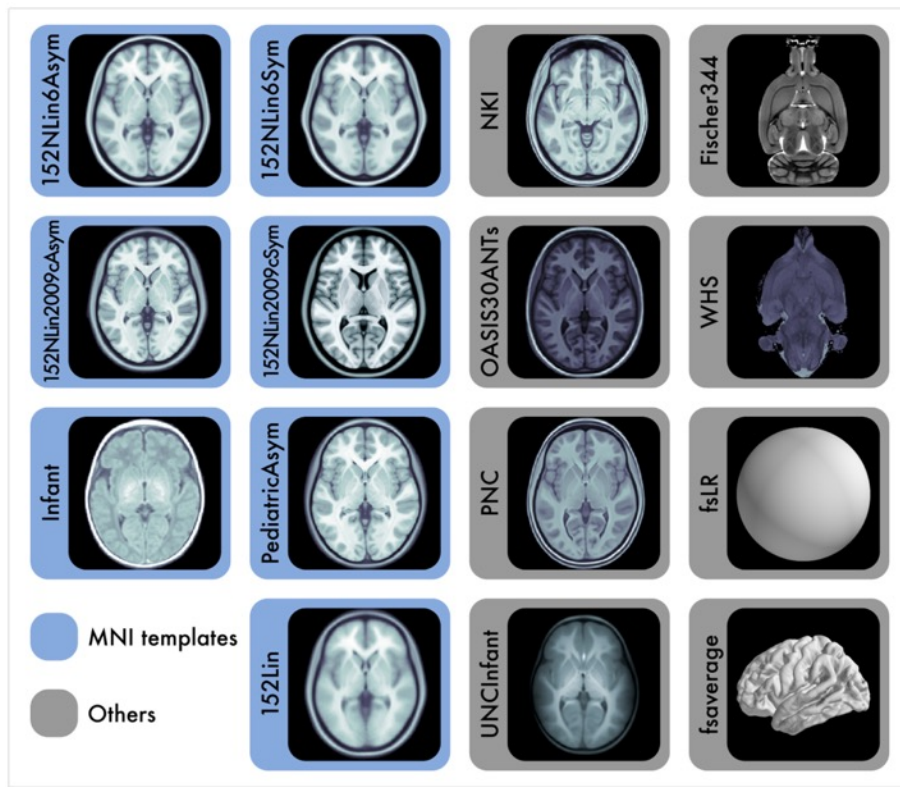
Méthodologies : Analyse des images : laminaire ?



Huber & al, 2011

Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

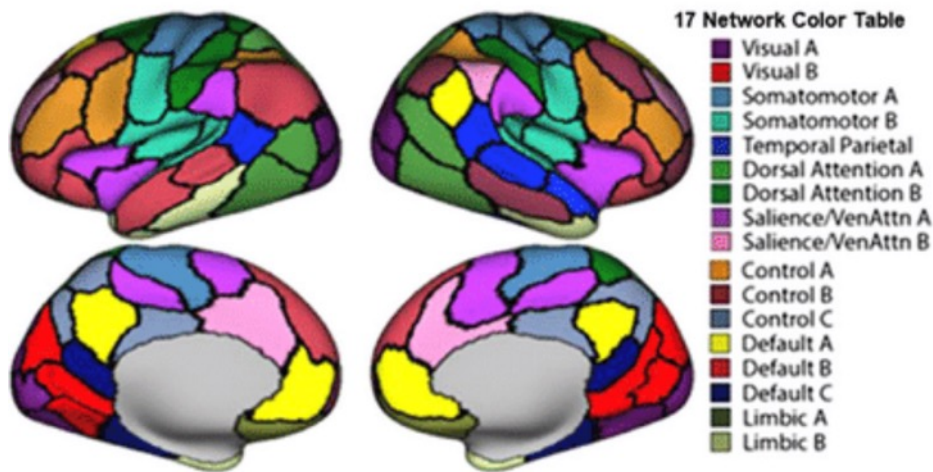
Cadre commun : Normalisation vers un template



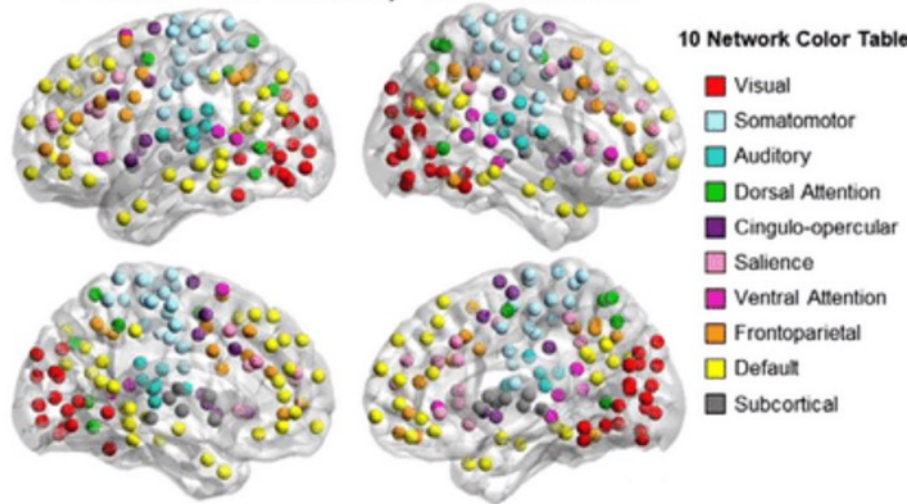
Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

Cadre commun : Normalisation vers un template : atlas structural et/ou fonctionnel

Schaefer 100 parcels, 17 networks

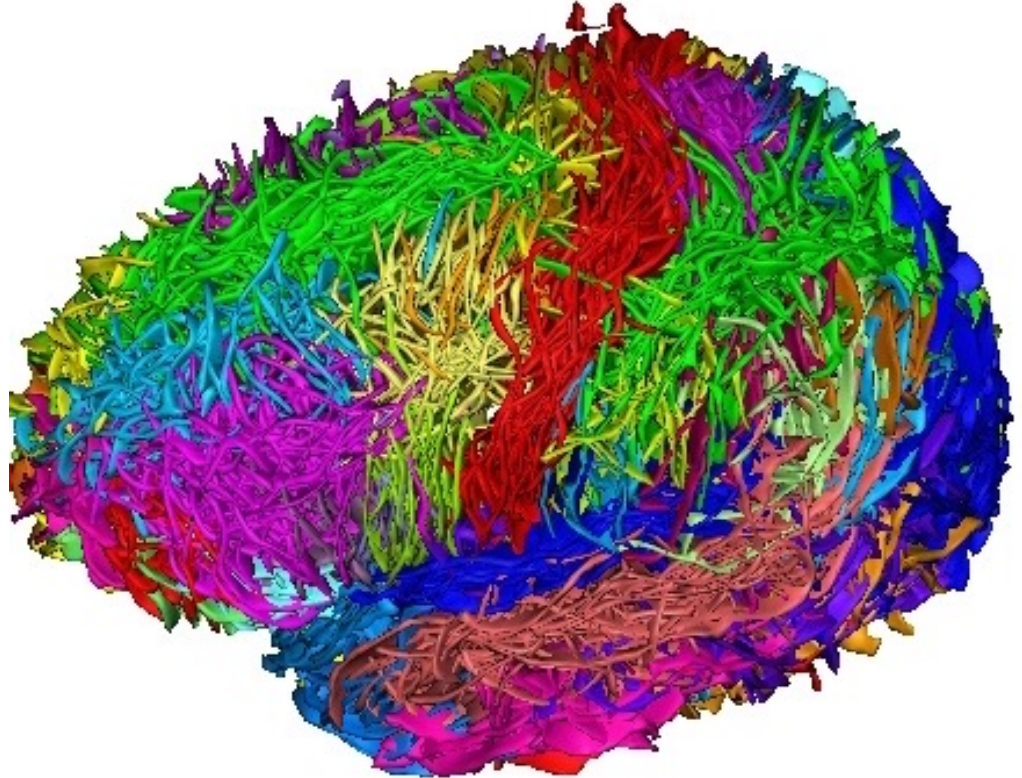
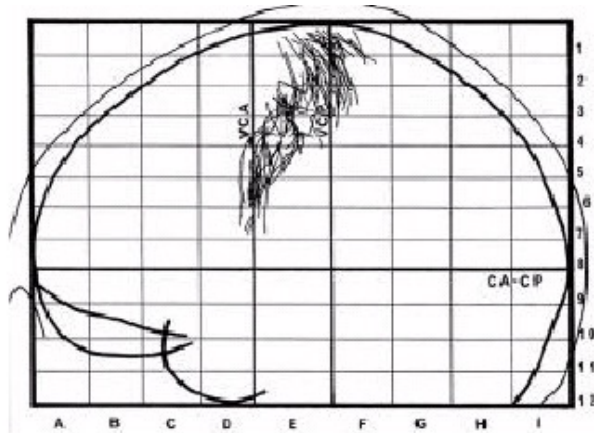


Power 229 nodes, 10 networks



Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

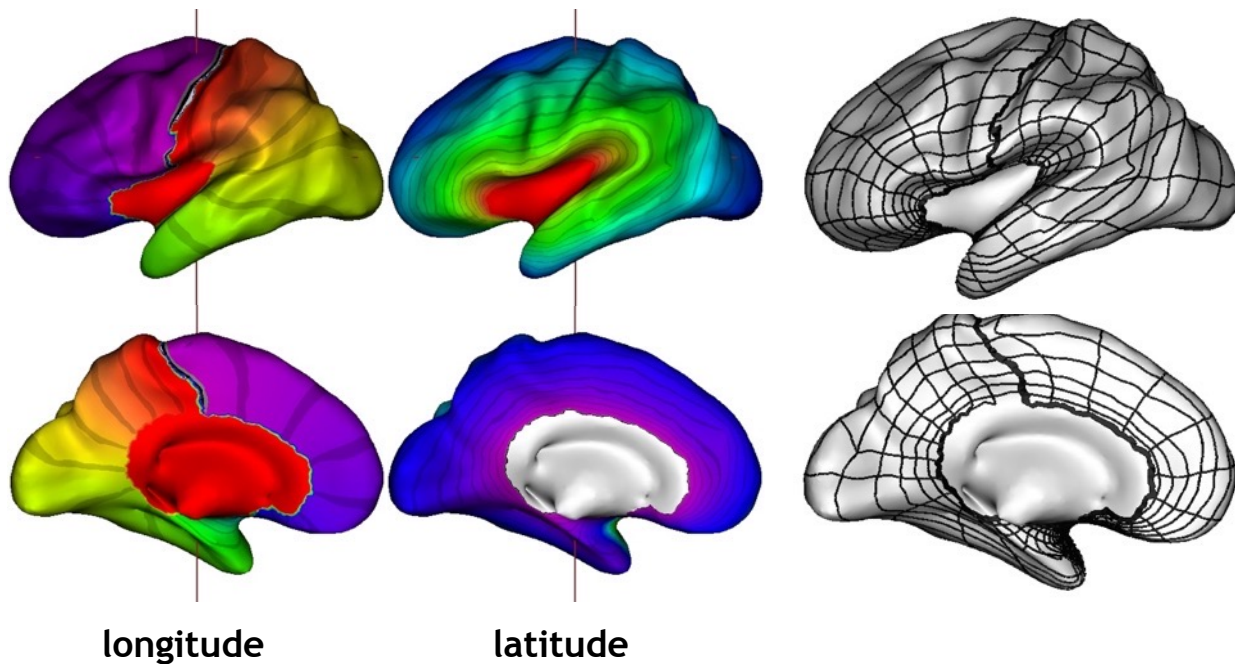
Problème : variabilité inter-individuelle



Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

Prise en compte des variabilités structurales et/ou fonctionnelles

→ Un modèle générique d'organisation de l'anatomie corticale
(fondé sur les sillons individuels)

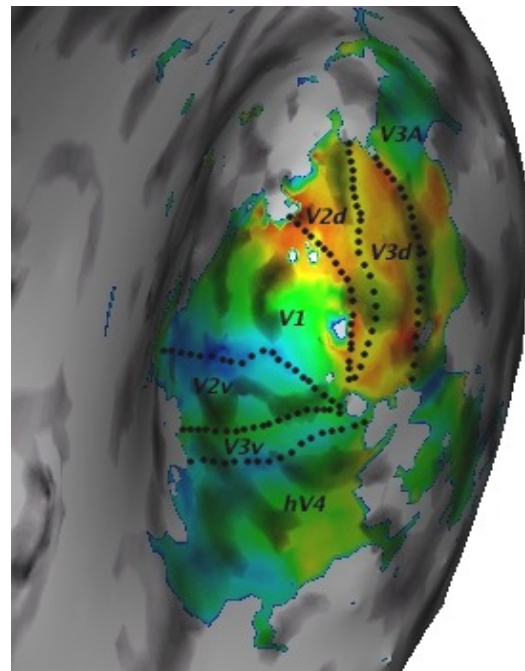
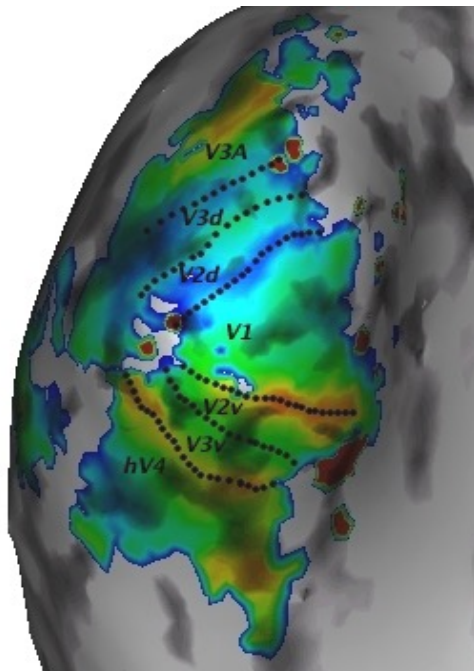


Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

Prise en compte des variabilités structurales et/ou fonctionnelles

→ Régions d'intérêt (ROI) fonctionnelles (functional localizers)

Exemple : Rétinotopie



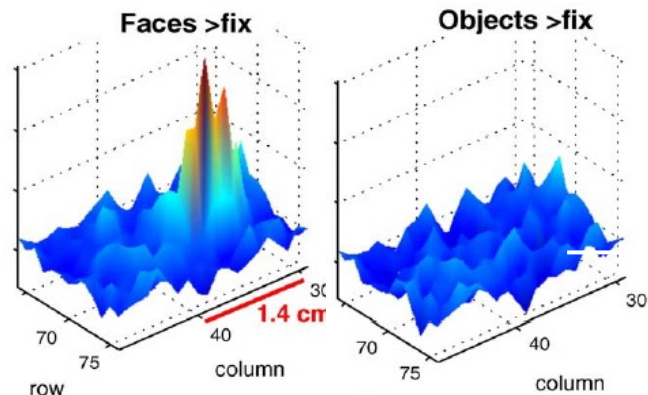
Méthodologies : Analyse des images : étude de groupe

Prise en compte des variabilités structurales et/ou fonctionnelles

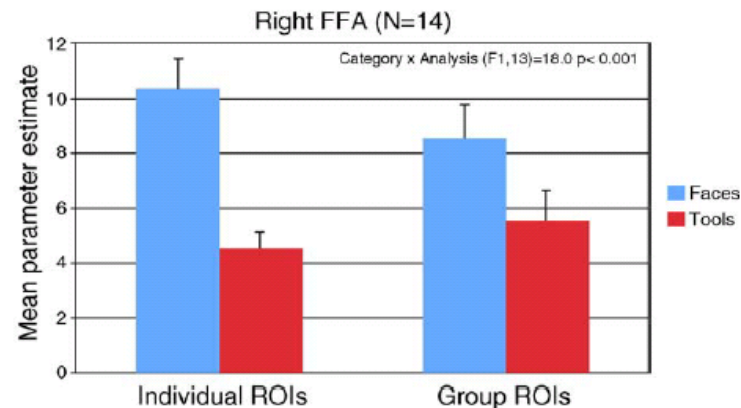
→ Régions d'intérêt (ROI) fonctionnelles (functional localizers)

Exemple : Fusiform Face Area (FFA)

Réponse pour un sujet → ROI individuelle

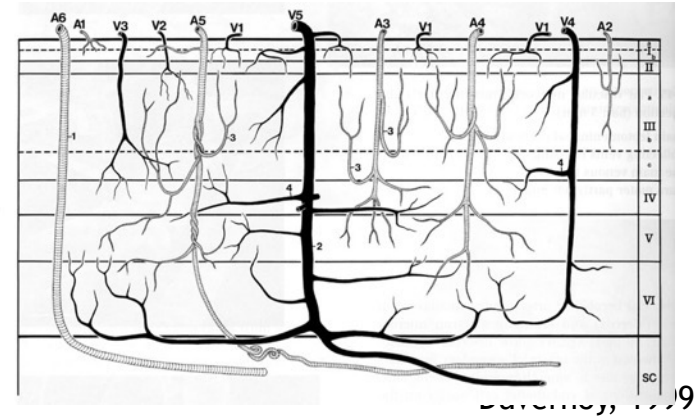
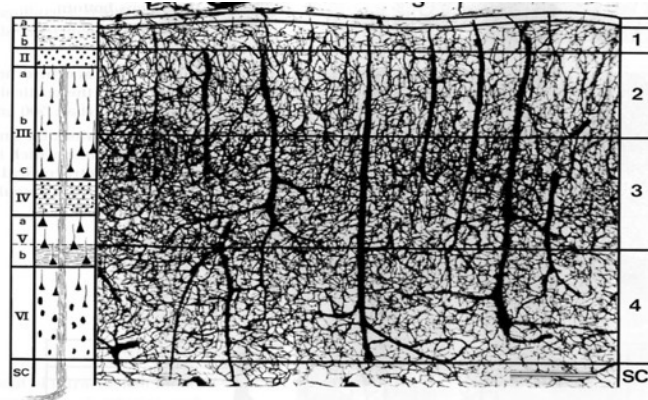
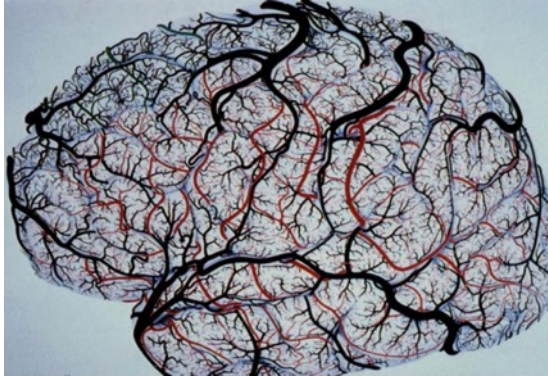


→ ROI individuelle plus sélective
que ROI de groupe

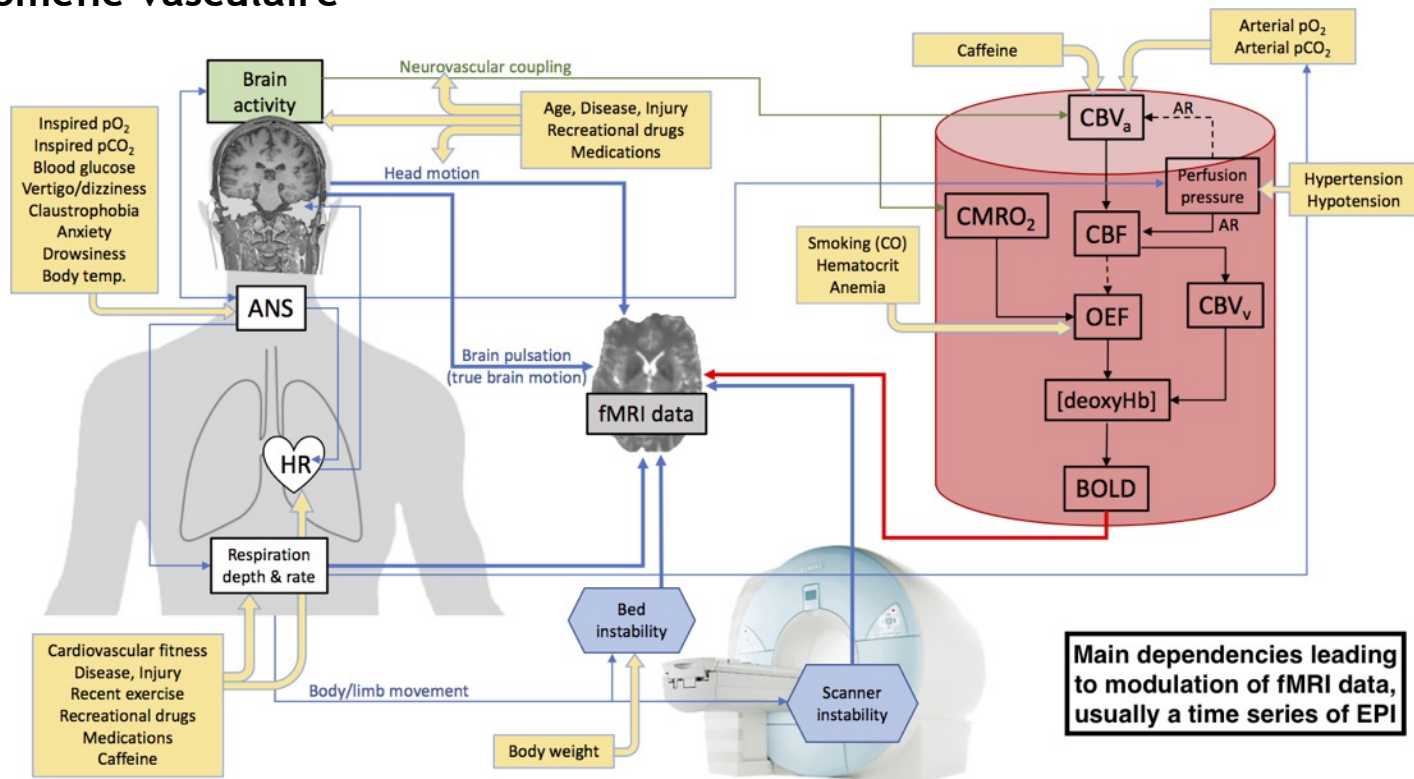


Saxe & al, 2006

BOLD : phénomène vasculaire



BOLD : phénomène vasculaire

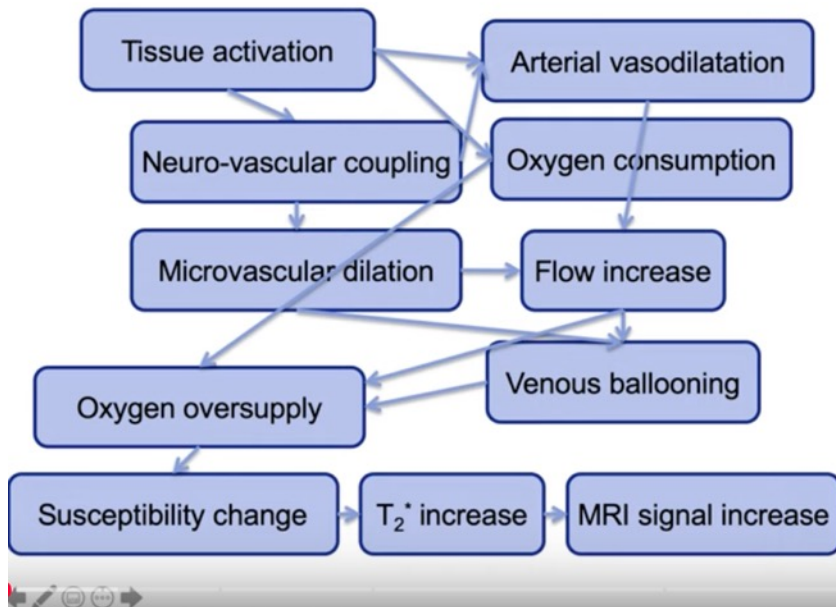


Krainik & al, 2013

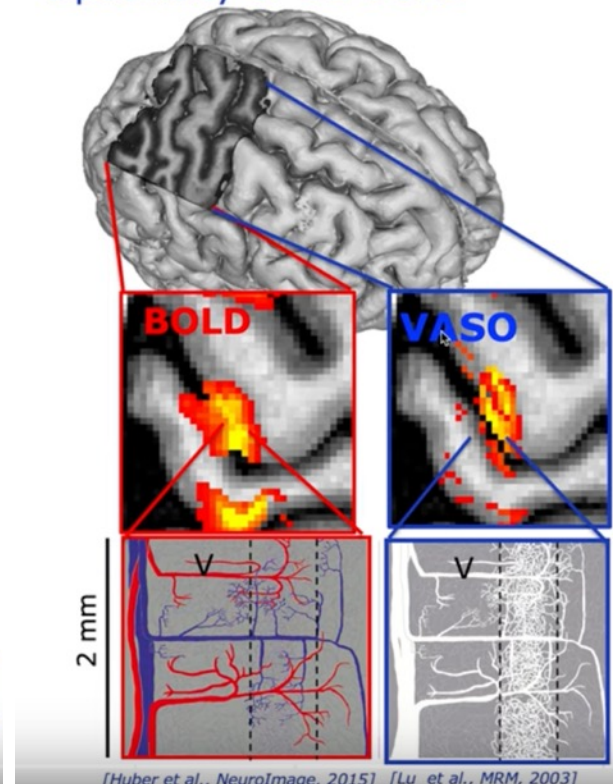
Mesure indirecte de l'activité cérébrale : quantification & spécificité spatiale ?

Quantifiability of GE-BOLD

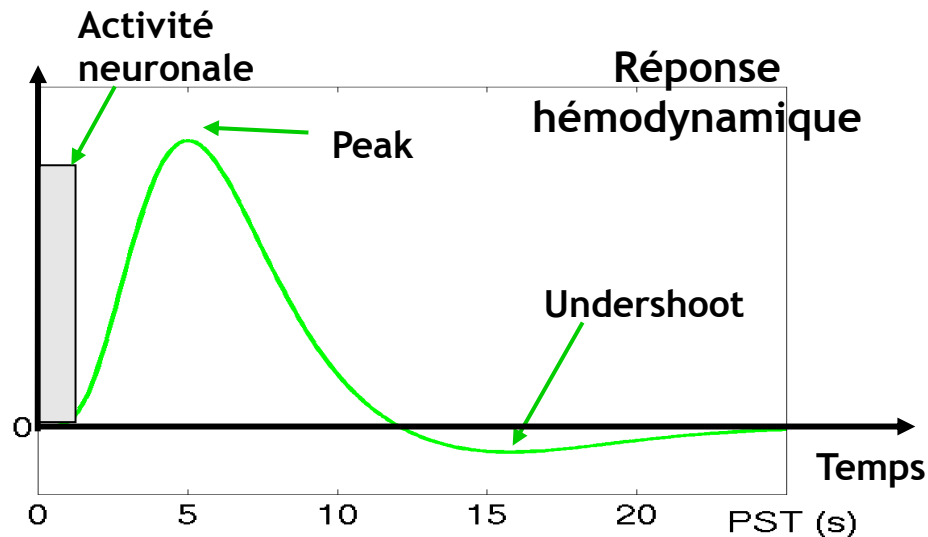
BOLD contrast origin is not straight-forward:



Specificity of GE-BOLD



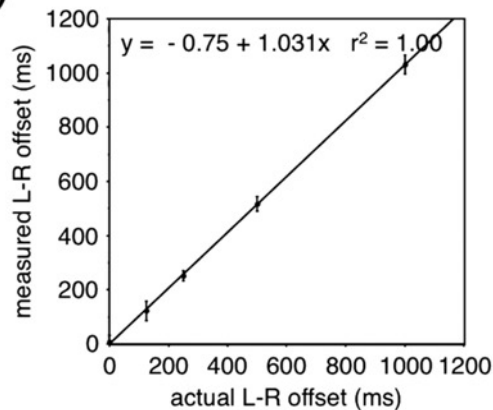
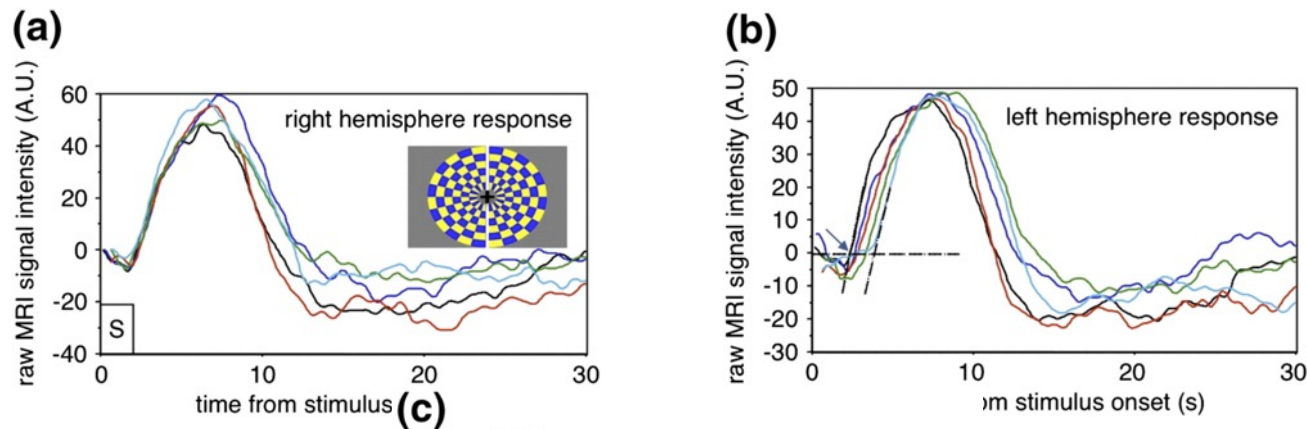
Mesure indirecte de l'activité cérébrale : précision temporelle ?



Réponse hémodynamique (HRF) : pas “canonique” !

Lisse, lente, a priori variable selon les régions cérébrales et les sujets

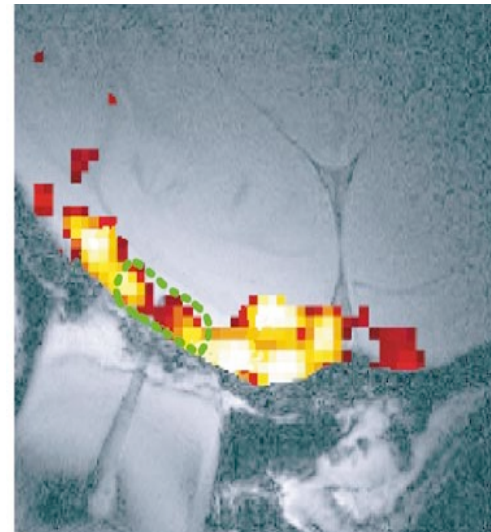
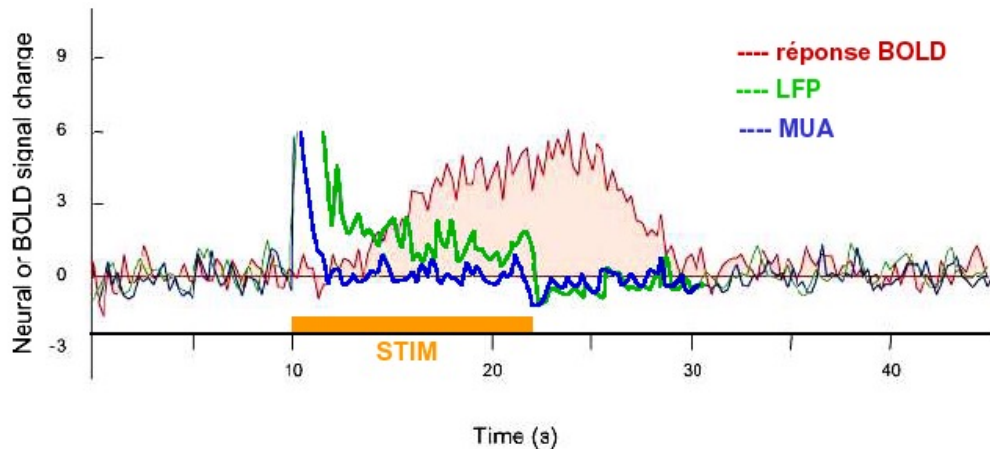
Mesure indirecte de l'activité cérébrale : précision temporelle ?



Protocole astucieux
→ chronométrie mentale !

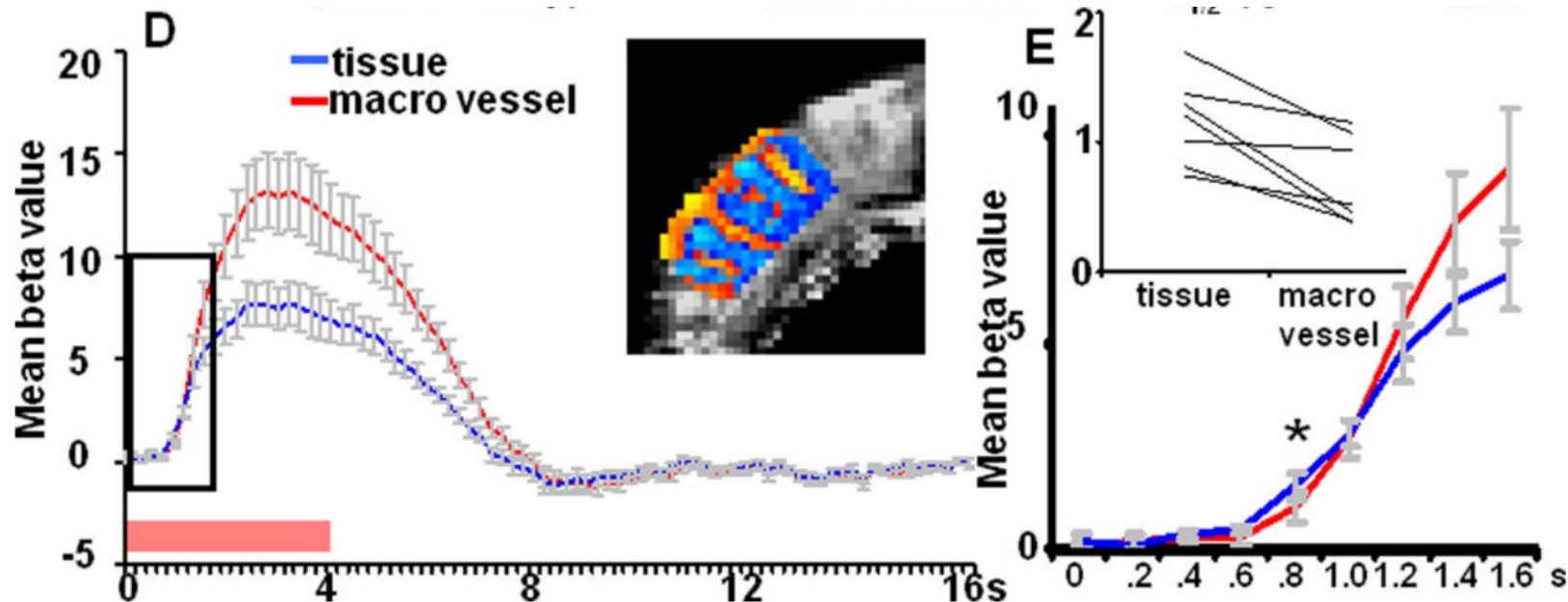
Mesure indirecte de l'activité cérébrale : quel type d'activité ?

Chez le singe anesthésié, enregistrements conjoints :
IRMf & signaux électriques neuronaux par microélectrode



La réponse BOLD semble corrélér plutôt avec les LFP qu'avec les MUA : a priori plus sensible aux évènements dendritiques et synaptiques qu'aux potentiels d'action

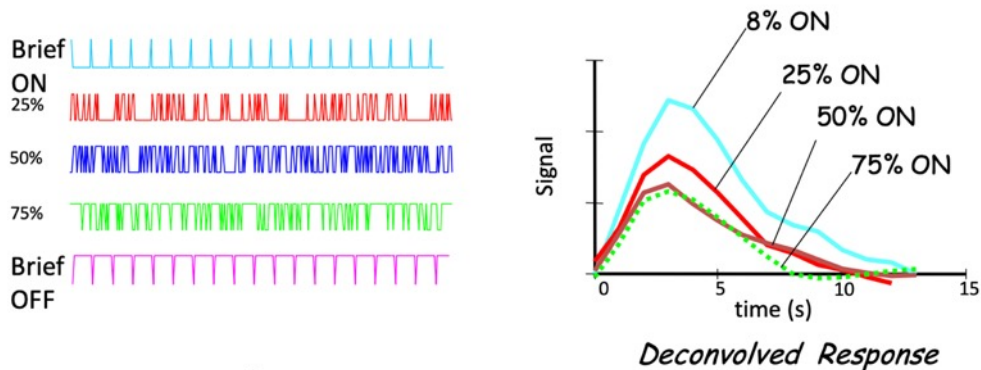
Origine de la réponse BOLD : tissu (micro-vaisseaux) & macro-vaisseaux
(chez le rat à 11,7T : $150 \times 150 \times 500 \mu\text{m}$ / TR = 200ms)



Non-linéarité de la réponse BOLD !

Par rapport à une simple convolution linéaire, l'amplitude de la réponse BOLD est :

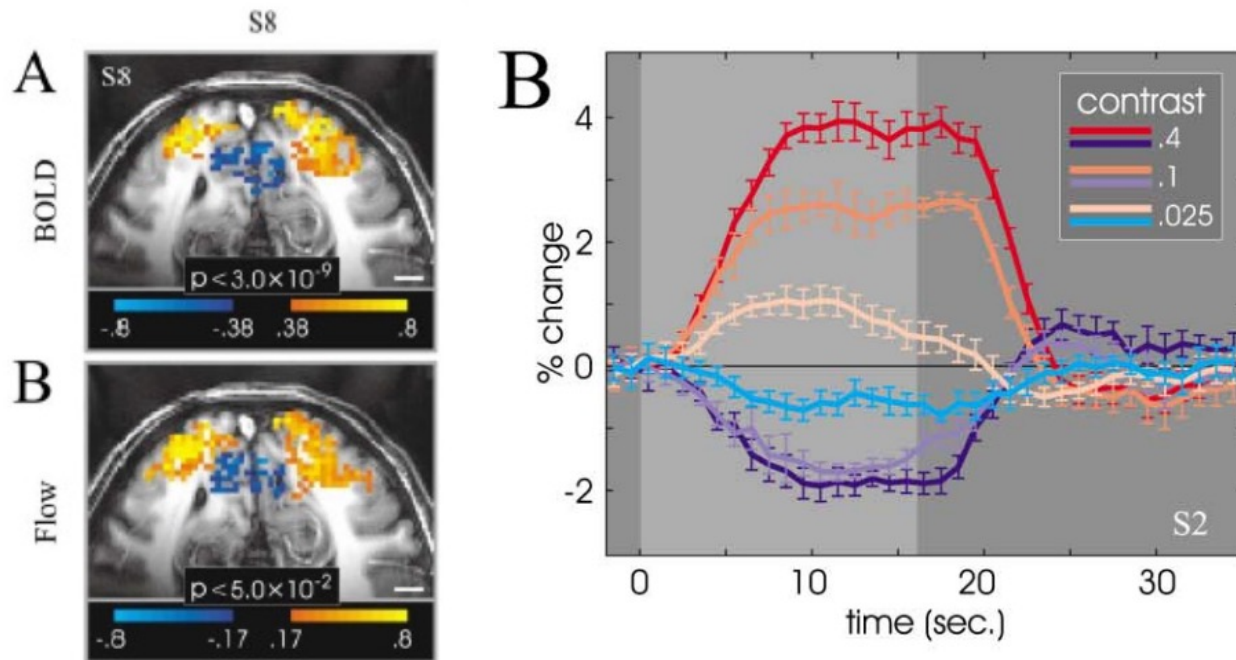
- amplifiée pour des stimuli courts
- atténuée pour des stimuli longs



Birn & al 2005

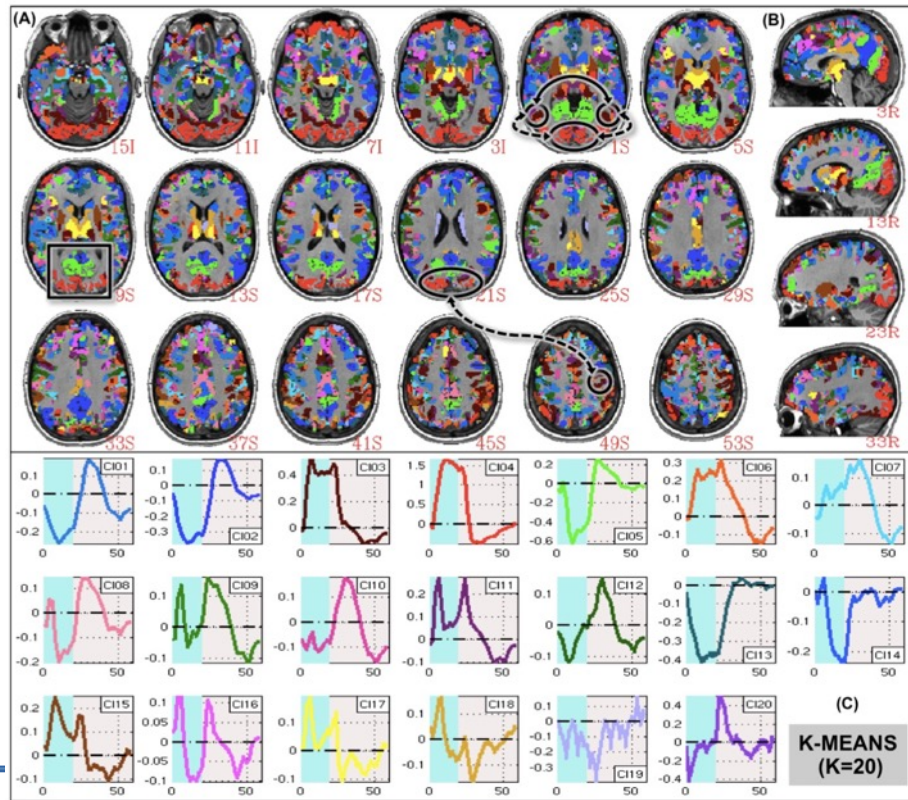
Réponse BOLD : positive ET négative

(réduction de l'activité neuronale & possible composante hémodynamique)



Moyenne de la réponse BOLD sur 9 heures, 100 runs
Modèle libre simplement synchronisé sur le stimulus

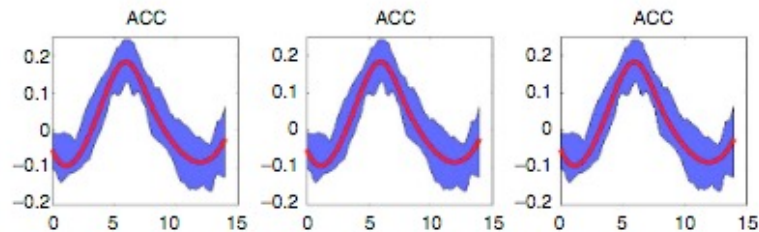
- Tout le cerveau « réagit » ?
- Formes variables



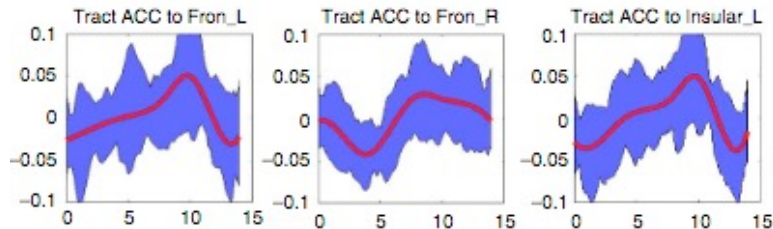
Réponse BOLD dans la substance blanche ?

- faible, variable, retardée
- reproductible ?

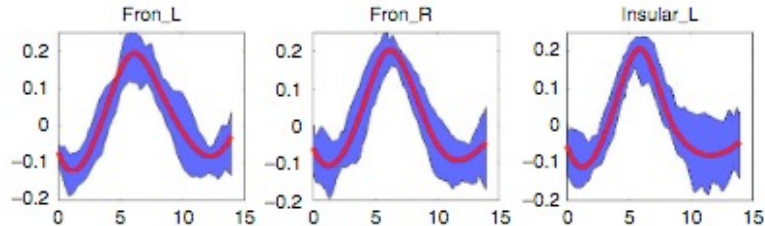
Cortex (région A)



Substance blanche
Faisceau A-B



Cortex (région B)

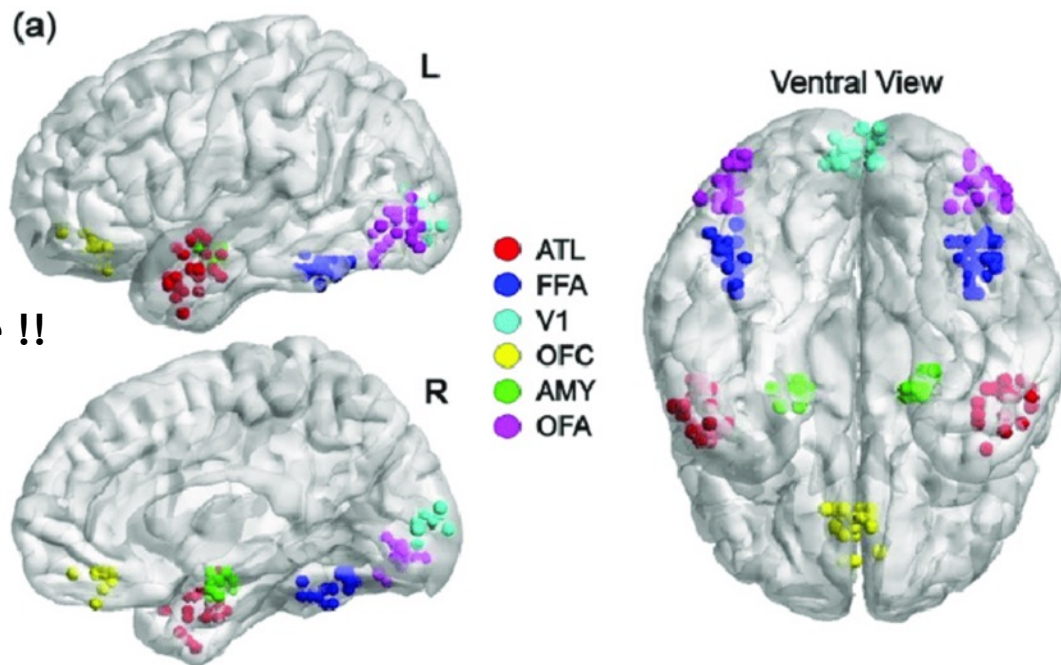


IRMf : quelques découvertes ...

- Cartographie fonctionnelle (tâche) : encore et encore !

- M1 : différents segments corporels
- S1 : différents segments corporels
- FFA (Fusiform Face Area)
- PPA (Parahippocampal Place Area)
- VWFA (Visual Word Form Area)
- TVA (Temporal Voice Area)
- ...

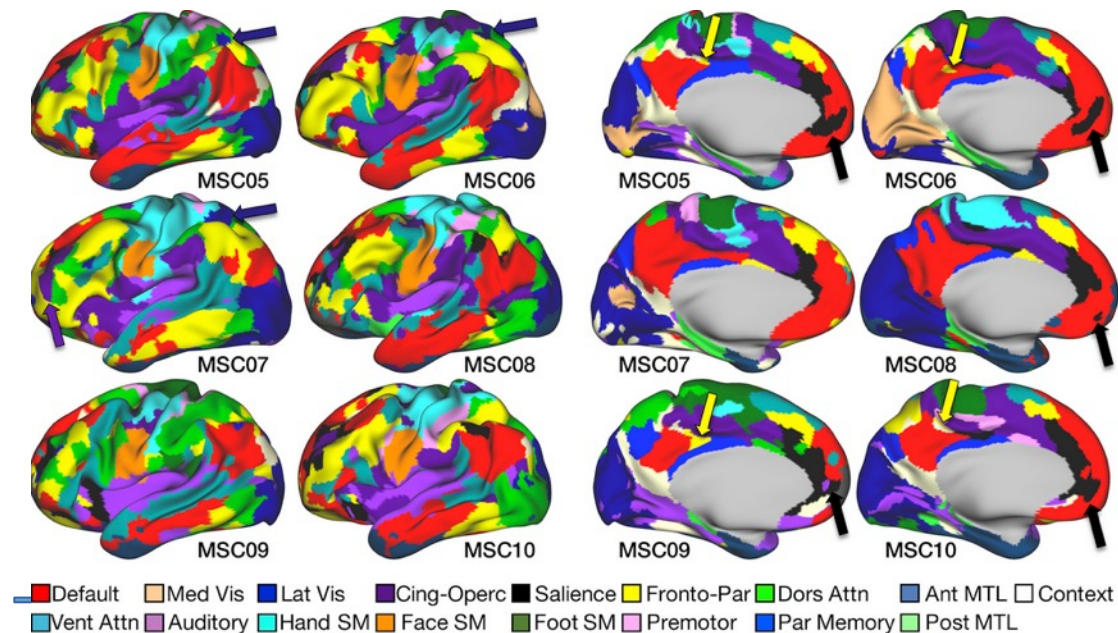
de plus en plus fine & individualisée !!



IRMf : quelques découvertes ...

- Cartographie fonctionnelle (repos) : encore et encore !
 - Réseaux : mode par défaut, visuels (latéral, médial), cingulo-operculaire, fronto-parietal, attentionnels (ventral, dorsal), somatomoteur (main, visage, jambe), auditif, premoteur, mémoire pariétal, association contextuelle, médial-temporal (antérieur et postérieur) ...

de plus en plus fine & individualisée !!

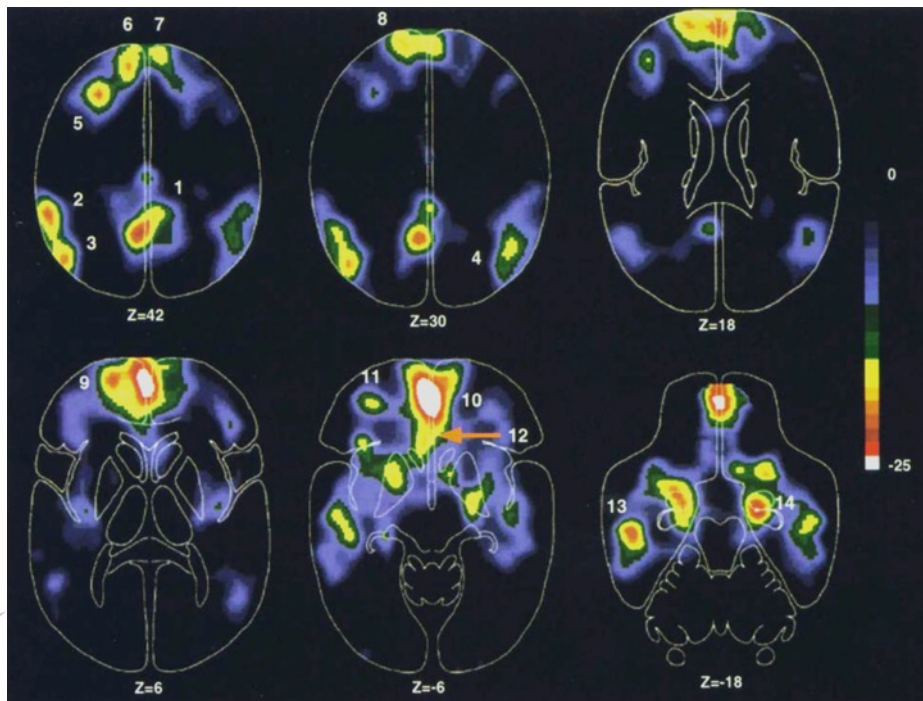


Gordon & al, 2017

/ 01 / 2026

IRMf : quelques découvertes ...

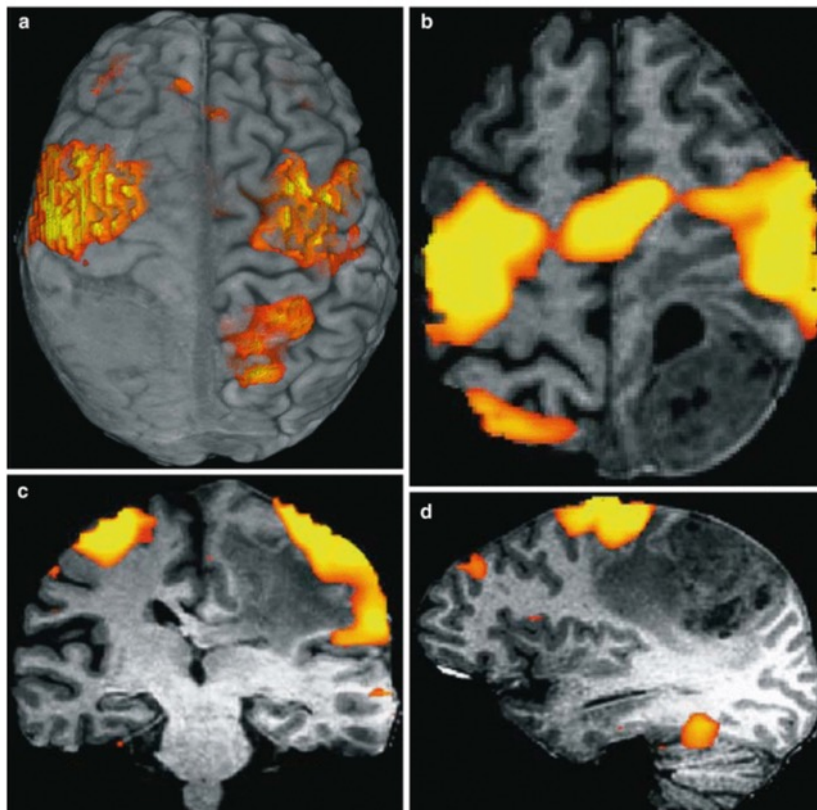
- Cartographie fonctionnelle :
Activation du contraste "inverse" ("repos" VS n'importe quelle tâche "active")
↔
- Réseau du mode par défaut révélé par IRMf de repos



Découverte pas attendue :
sérendipité !

IRMf : applications cliniques ...

- Cartographie : précise et individuelle !
→ Préparation à la chirurgie



IRMf : quelques découvertes ...

- Lien avec les modèles (IA, DL & co)

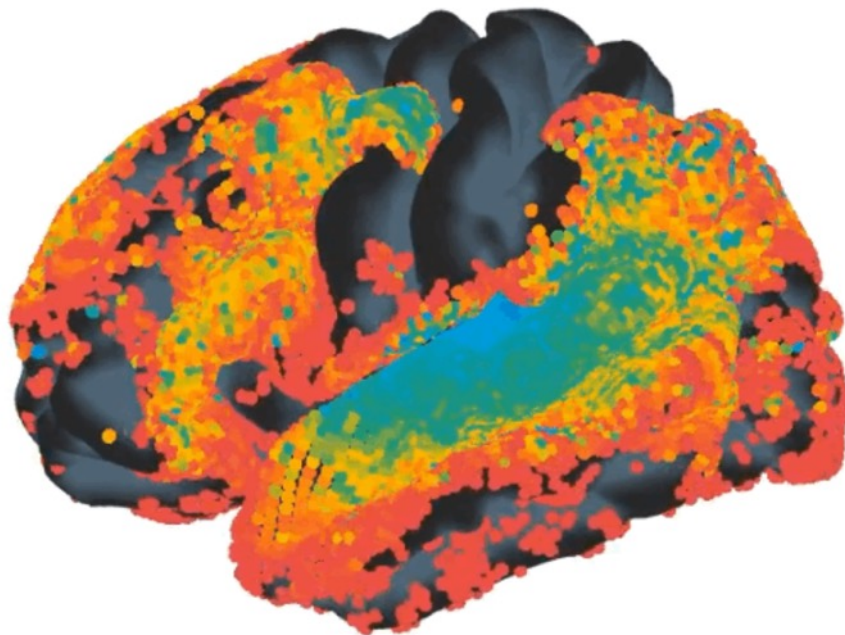
wav2vec 2.0

deep net trained on
600h of speech with
self-supervised learning



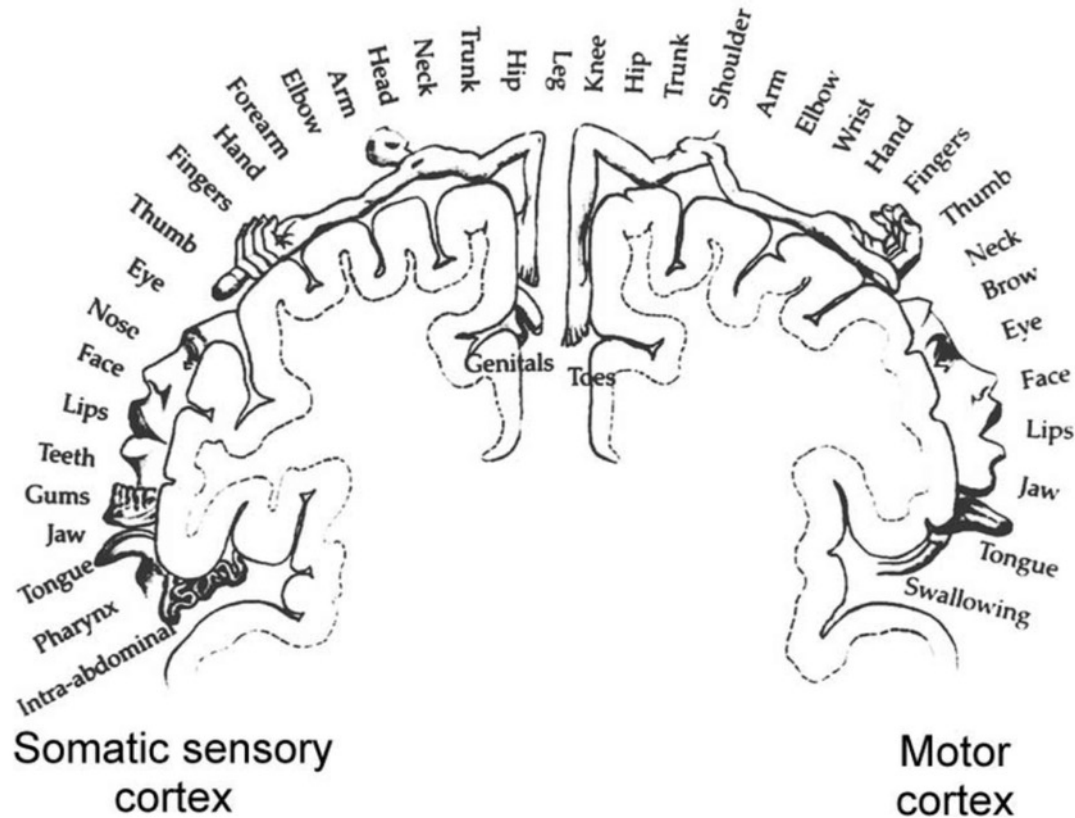
human brain

417 volunteers
recorded with fMRI



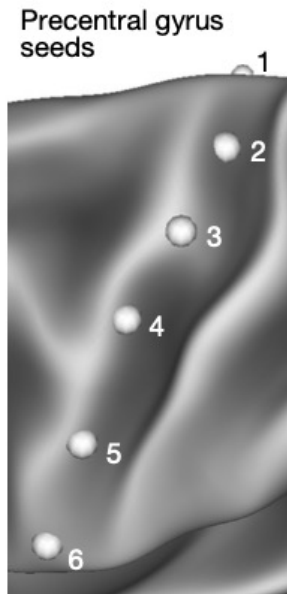
IRMf : quelques découvertes ...

- Somatotopie établie depuis Penfield (1948)



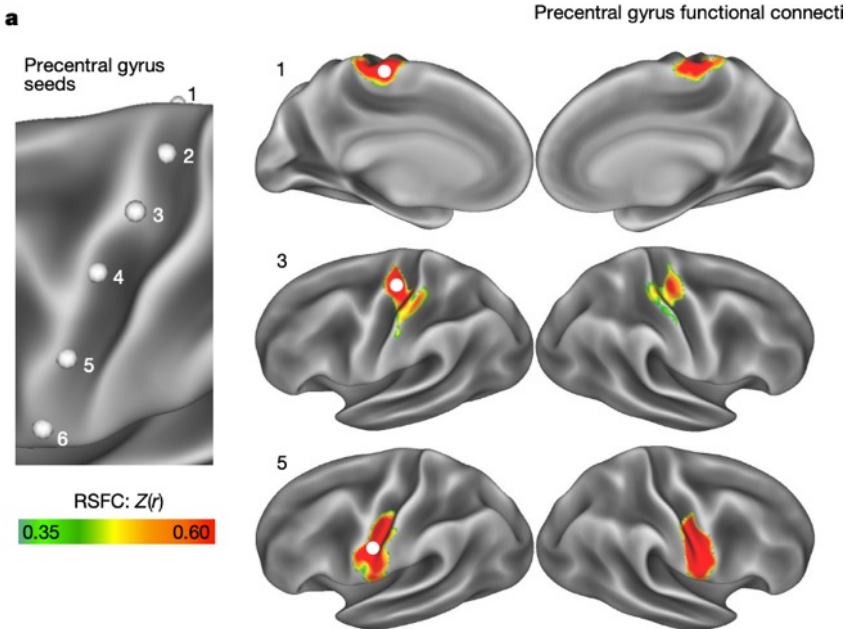
IRMf : quelques découvertes ...

- Somatotopie revisitée dans M1 / S1 !! Connectivité via IRMf de repos (cohorte de sujets)



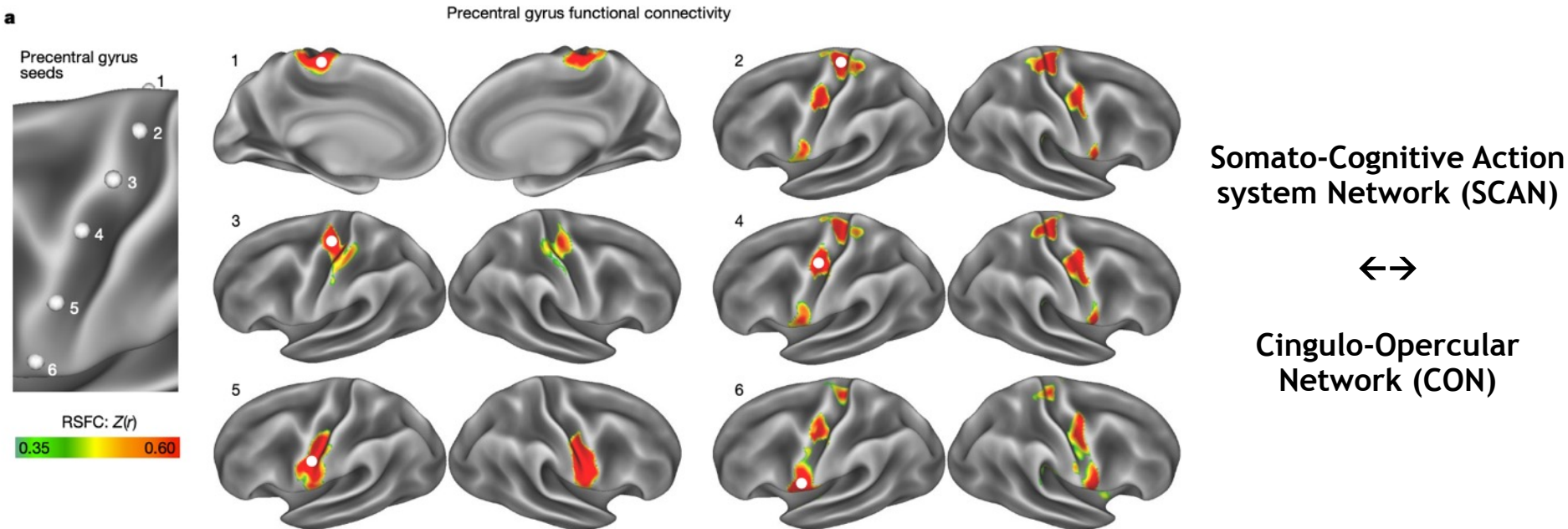
IRMf : quelques découvertes ...

- Somatotopie revisitée dans M1 / S1 !! Connectivité via IRMf de repos (cohorte de sujets)



IRMf : quelques découvertes ...

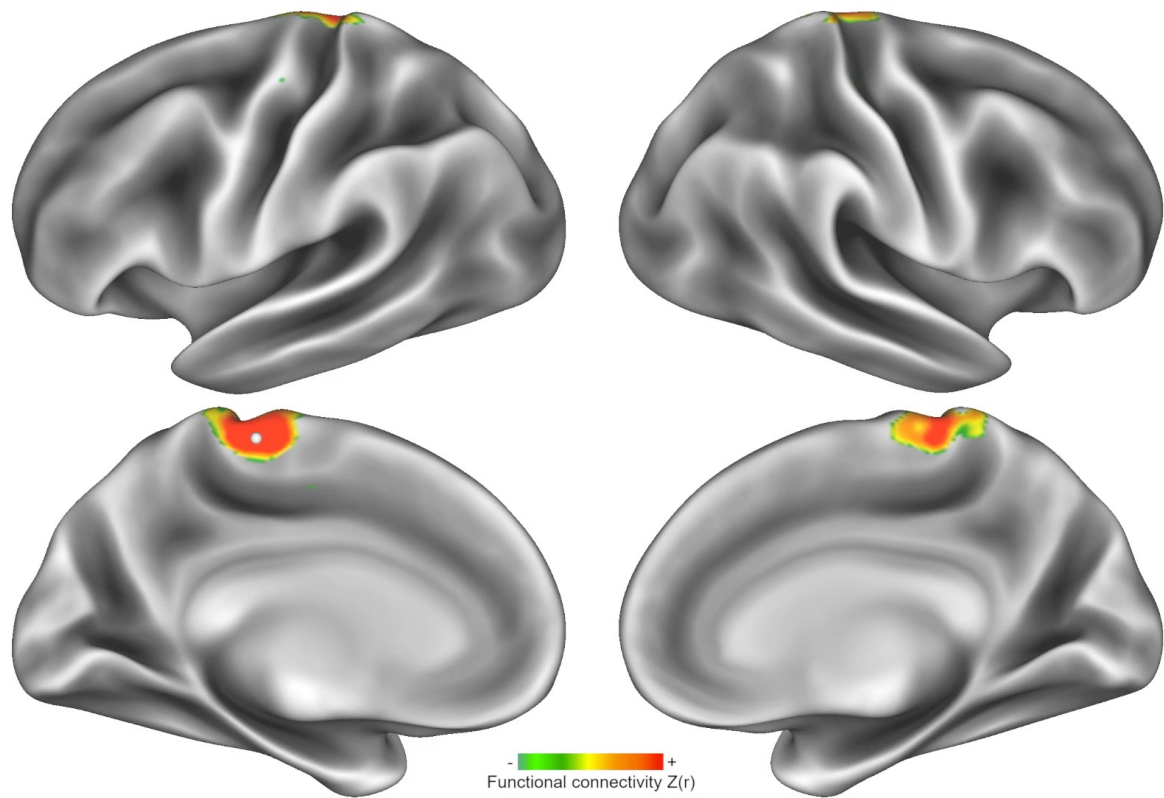
- Somatotopie revisitée dans M1 / S1 !! Connectivité via IRMf de repos (cohorte de sujets)



Gordon & al, 2023

IRMf : quelques découvertes ...

- Somatotopie revisitée dans M1 / S1 !! Connectivité via IRMf de repos (cohorte de sujets)



Somato-Cognitive Action
system Network (SCAN)

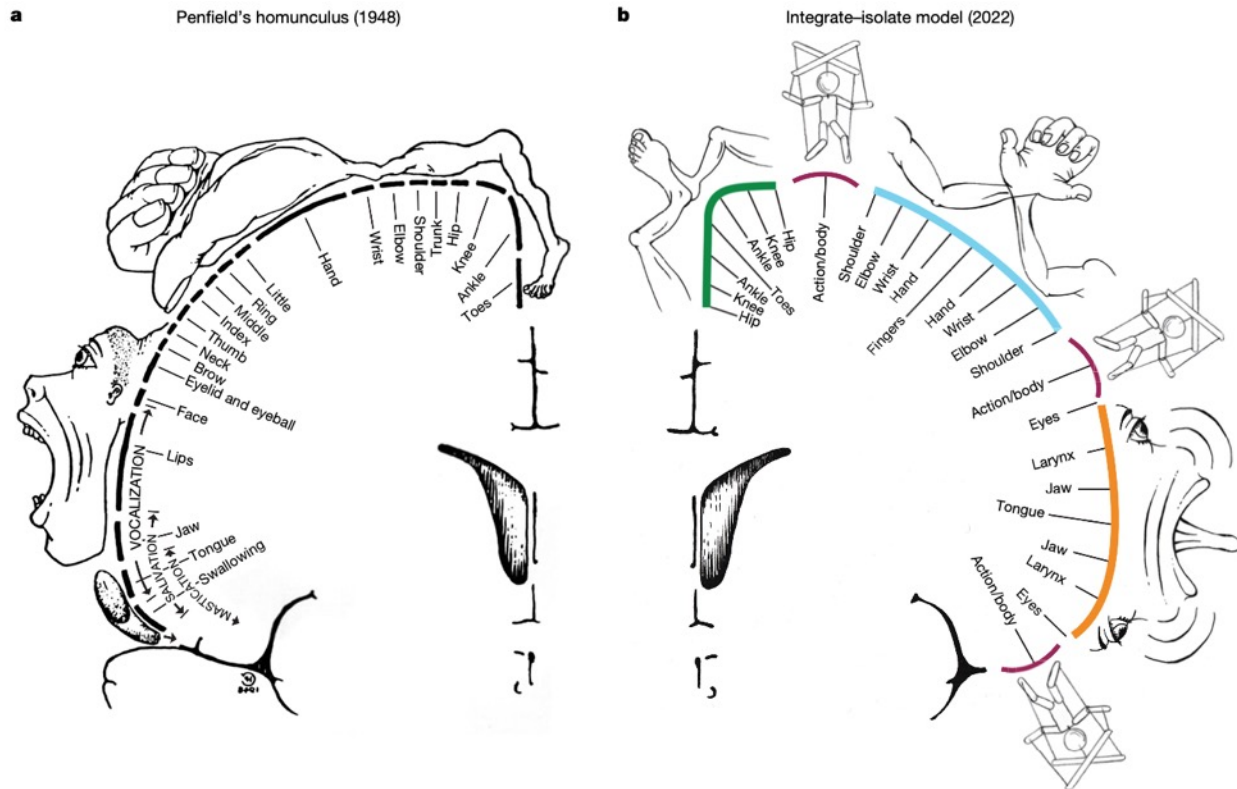


Cingulo-Opercular
Network (CON)

Gordon & al, 2023

IRMf : quelques découvertes ...

- Somatotopie revisitée dans M1 / S1 !!



Somato-Cognitive Action system Network (SCAN)



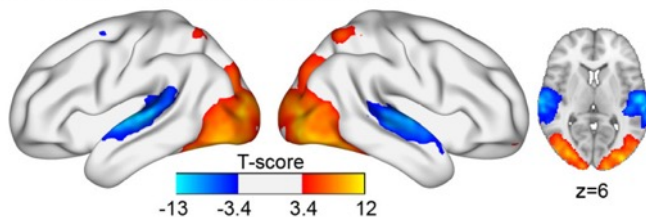
Cingulo-Opercular Network (CON)

Gordon & al, 2023

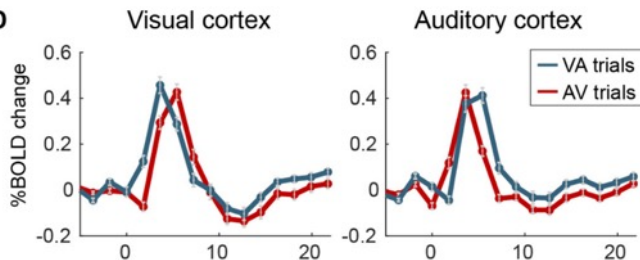
IRMf : la suite ...

- Relation avec les modèles de fonctionnement cérébral
- Biomarqueurs individuels
- Bio-feedback (activité locale ou connectivité) pour la thérapie
- IRMf de la substance blanche ?
- IRMf chez l'animal (par ex : Primate Non Humain (PNH))

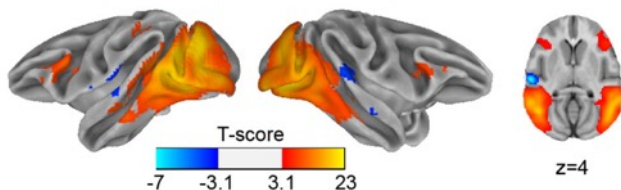
B Humans: sensory evoked activity



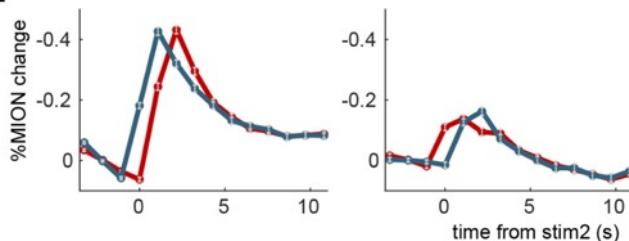
D



C Monkeys: sensory evoked activity

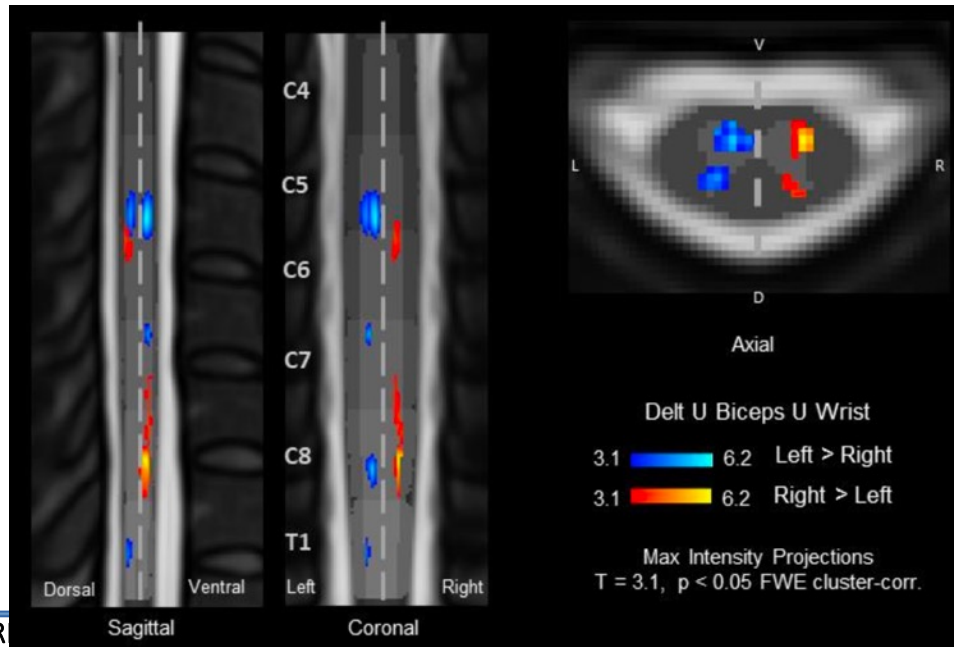


E



IRMf : la suite ...

- Relation avec les modèles de fonctionnement cérébral
- Biomarqueurs individuels
- Bio-feedback (activité locale ou connectivité) pour la thérapie
- IRMf de la substance blanche ?
- IRMf chez l'animal (par ex : Primate Non Humain (PNH))
- IRMf de la moelle

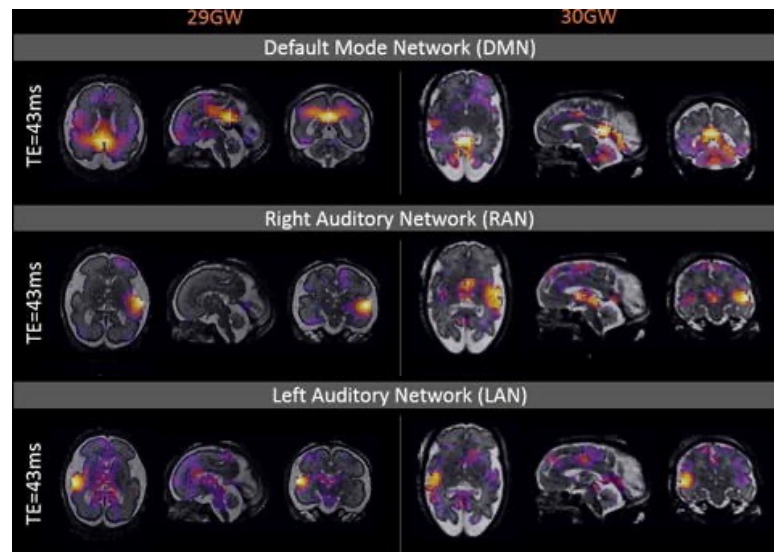
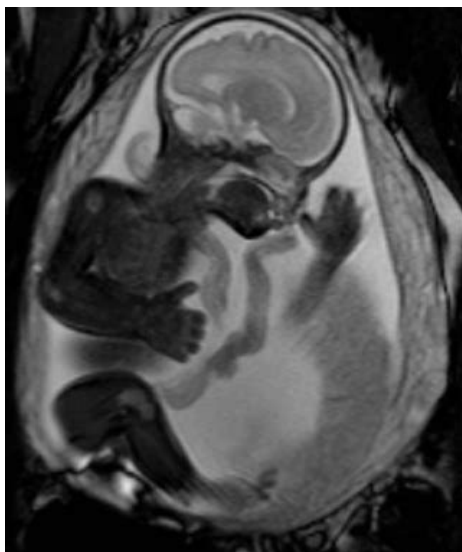


Schlienger & al, 2025

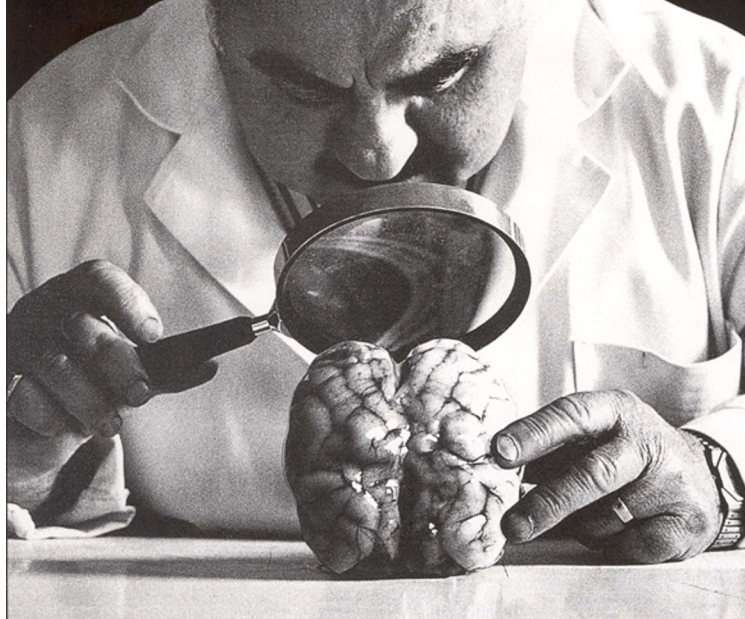
IRMf : la suite ...

- Relation avec les modèles de fonctionnement cérébral
- Biomarqueurs individuels
- Bio-feedback (activité locale ou connectivité) pour la thérapie
- IRMf de la substance blanche ?
- IRMf chez l'animal (par ex : Primate Non Humain (PNH))
- IRMf de la moelle
- IRMf foétale
- ...

Blazejewska, 2017



Work still in Progress



C. Baillargeon

Work still in Progress : keep on thinking . . .

