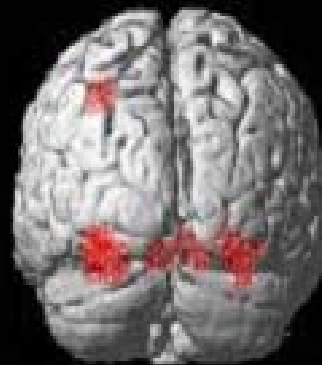


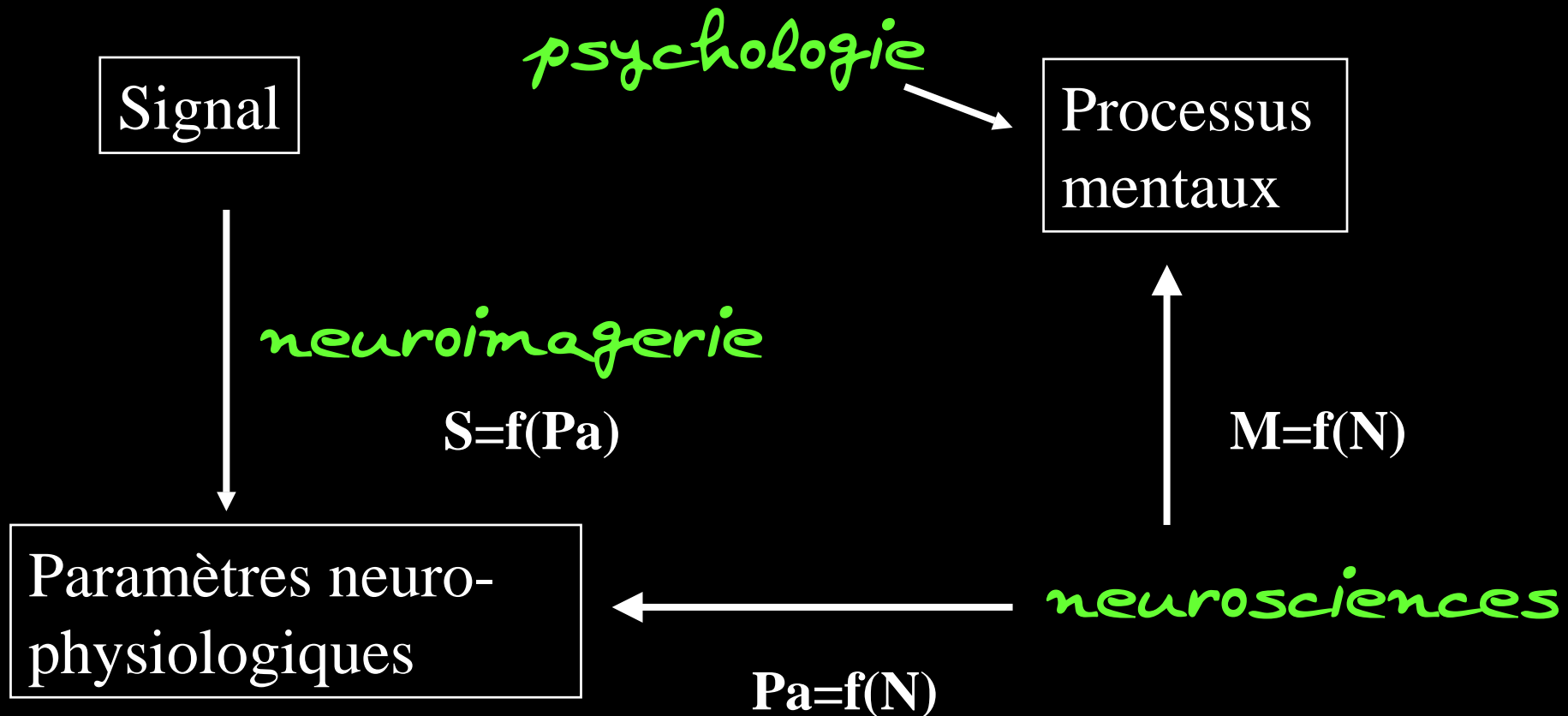
Utilisation de l'IRM fonctionnelle pour l'étude du fonctionnement du cerveau

Michel Dojat

UM INSERM-UJF U594, Grenoble, France



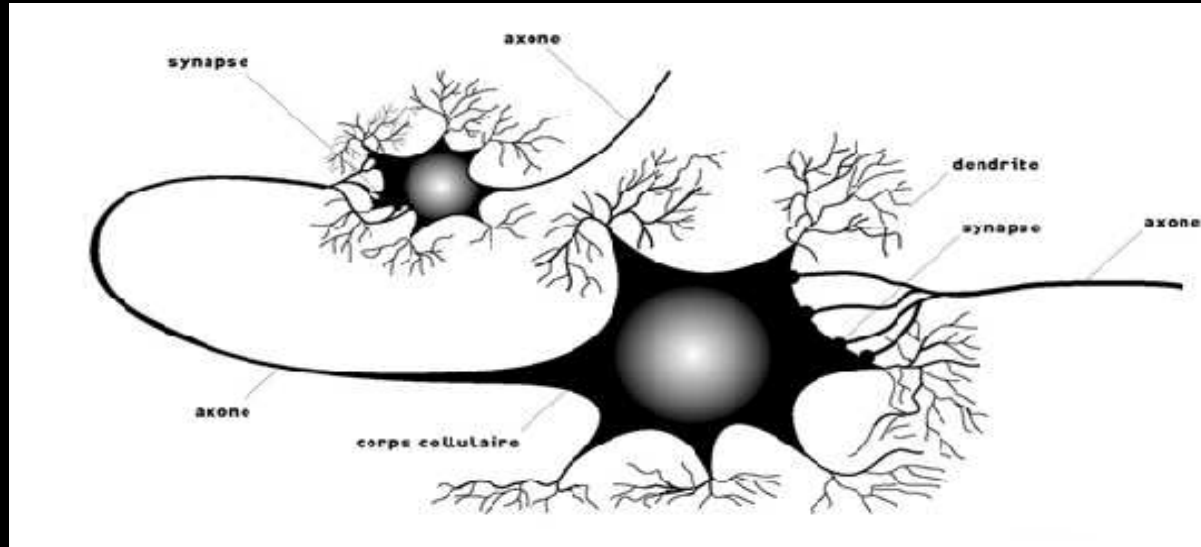
Une technique de Neuroimagerie



$$S = f(Pa) = f(N) = M$$

$$\Delta S = f(\Delta Pa) = f(\Delta N) = M$$

Activité Cérébrale



- ✓ Signaux chimiques (neuromédiateurs)
- ✓ Signaux électriques et magnétiques
- ✓ Variations métaboliques et hémodynamiques



Consommation O₂, Glucose, émission Chaleur, H₂O, CO₂

Cerveau = 2% du poids , 25% de consommation totale de glucose

12-15% du débit cardiaque, 20 % de la consommation totale d'O₂ !!!

Des Techniques de Neuroimagerie

axone

synapse

Potentiel d'action

Neurotransmetteur

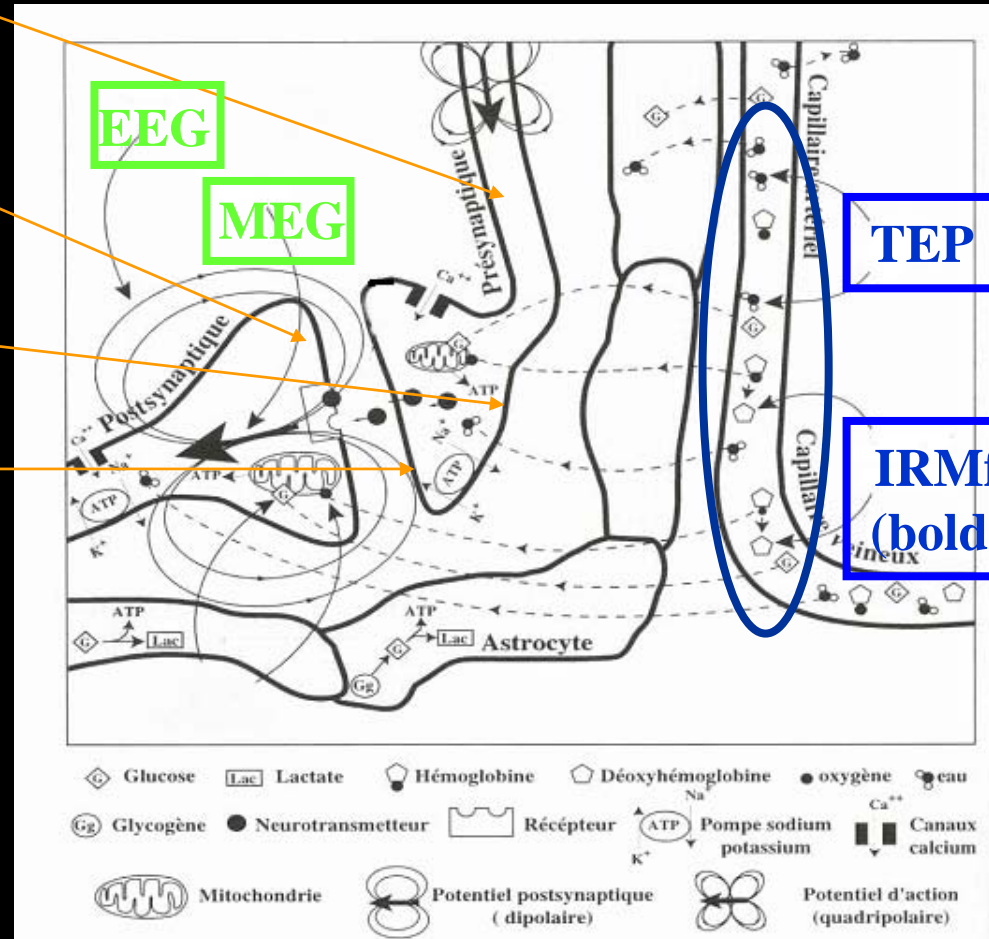


potentiels

Intracellulaires ou
extracellulaires



EEG- MEG



EEG

MEG

TEP

**IRMf
(bold)**

Hémodynamique
Déoxygénation
Augmentation
Du Débit Sanguin

Au service

de Questions spécifiques, ... :

Suite à une stimulation sensorielle ou cognitive, il y a des activations

- ✓ Localisation (où) : IRMf, TEP
- ✓ Décours temporel (Quand) : EEG, MEG
- ✓ Causalité (Pourquoi) : Connectivité effective (liens anatomiques)
- ✓ Identification du réseau (Quel) : Connectivité fonctionnelle (corrélation)
- ✓ Explication (Comment) : Modèle computationnel

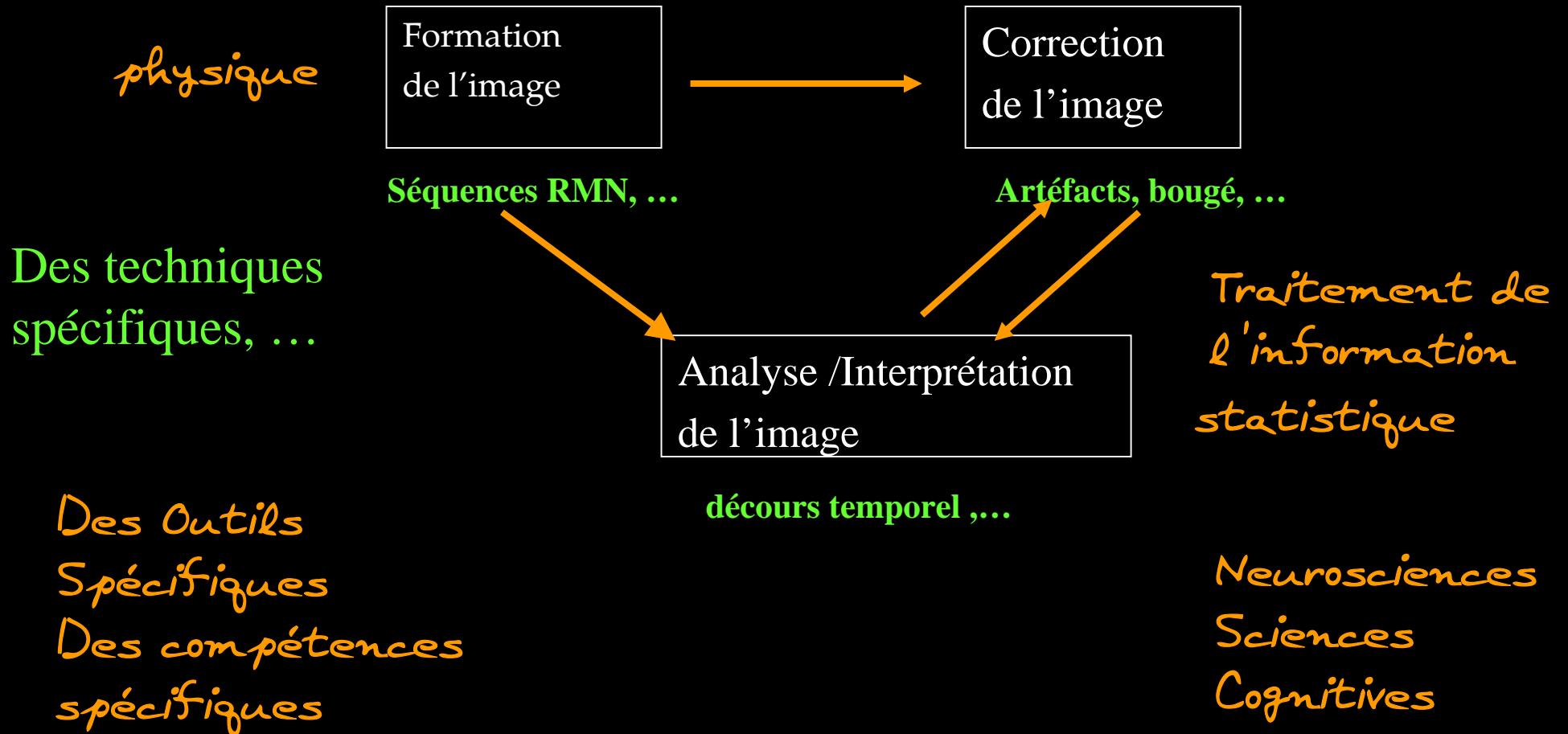
d'Applications spécifiques, ...

Neuroimagerie cognitive : fonctionnement cérébral sain et pathologique

Neuroimagerie clinique : latéralisation, vascularisation, récupération, ...
aide au diagnostic/geste chirurgical

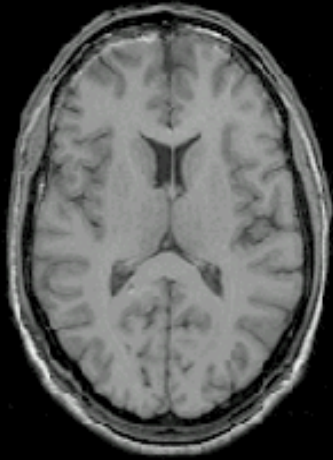
Neuro-computation : modèles cognitifs, vision artificielle, robotique

Une approche pluridisciplinaire

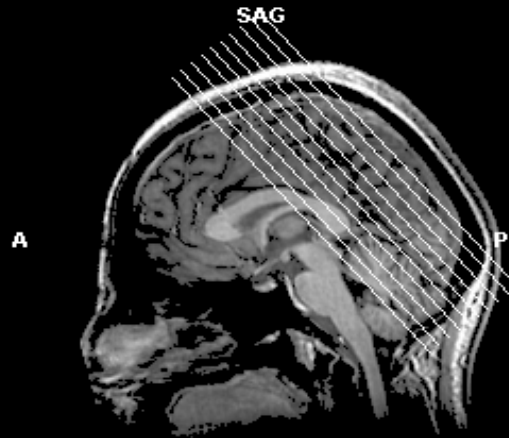


Des Images RMN

Anatomique

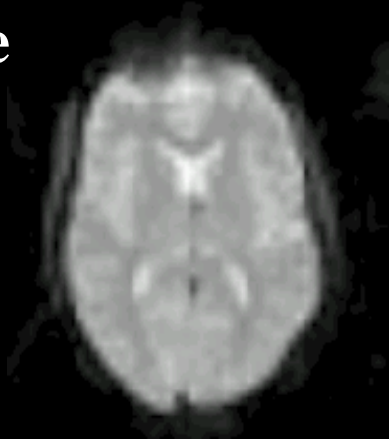


transverse

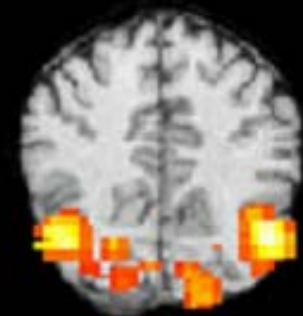


sagittale

Fonctionnelle

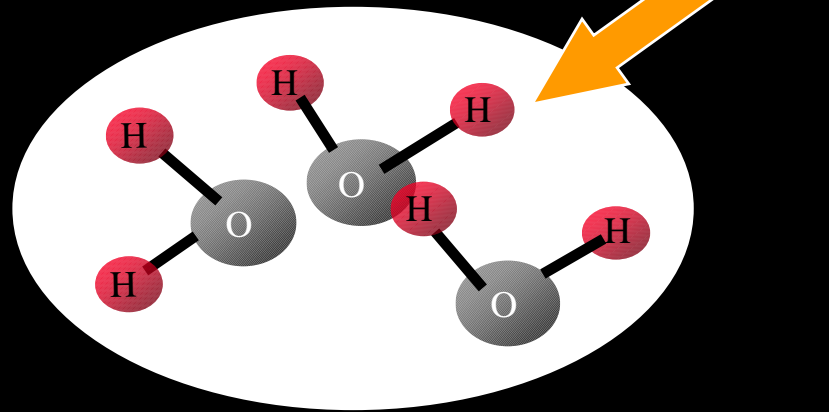


Des Activations



D'où provient le signal en RMN ?

Du proton de l'eau, très présent dans le corps humain

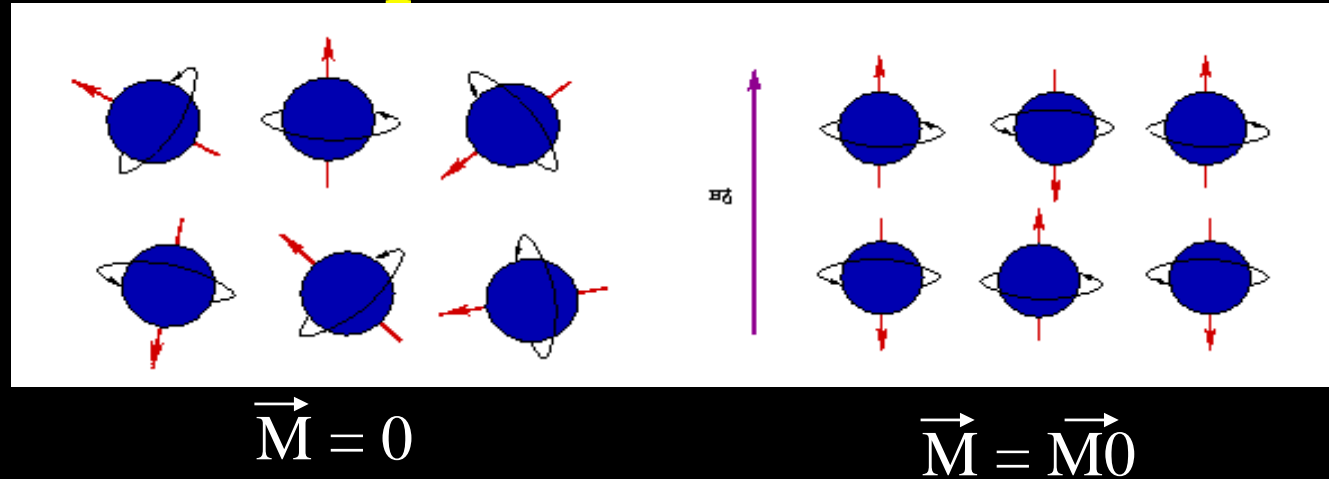


Trois étapes centrales

- 1) Polarisation
- 2) Excitation (résonance)
- 3) Relaxation

RMN : polarisation

$$\vec{M} = \sum_i \vec{\mu}_i$$



- Alignés en présence d'un champ magnétique extérieur
- Noyau d'H2 spin +/- 1/2 , alignés suivant \vec{B}_0 et $-\vec{B}_0$



Magnétisation résultante

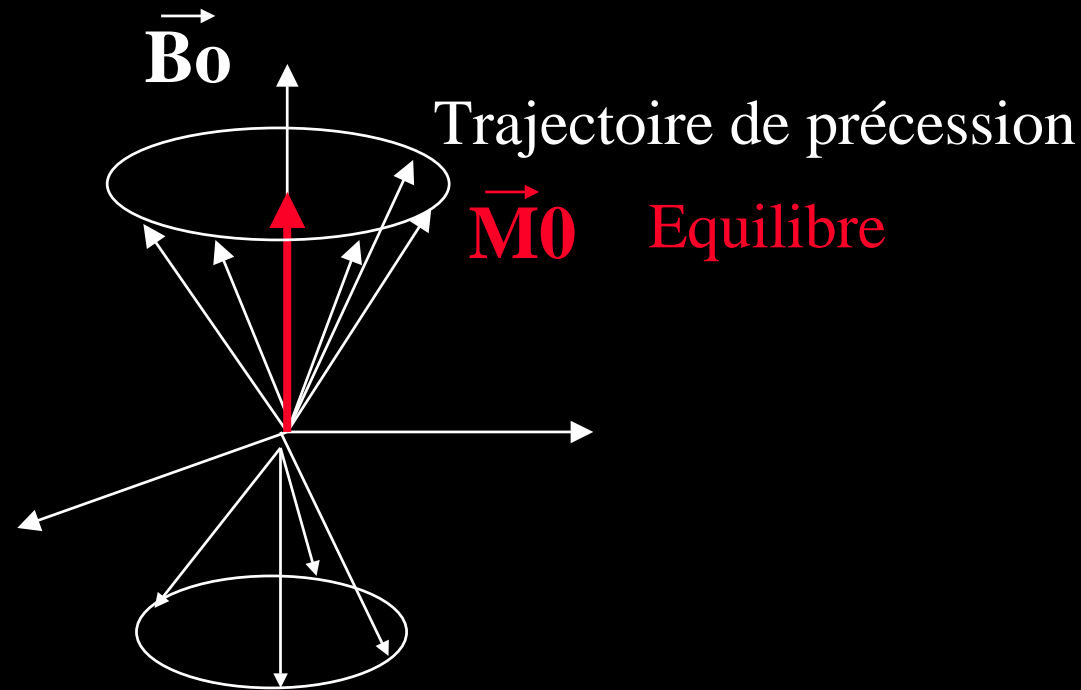
$$\vec{M}_0 = N \gamma^2 \hbar^2 \vec{B}_0 / 4kT$$

RMN: précession

- à l'équilibre \vec{M}_0 s'aligne selon \vec{B}_0

Corps soumis à B_0 (selon Z) -> noyaux avec moment magnétique et cinétique précessent à $f_0 = \gamma B_0 / 2\pi$ autour de Z

F_0 = fréquence de Larmor

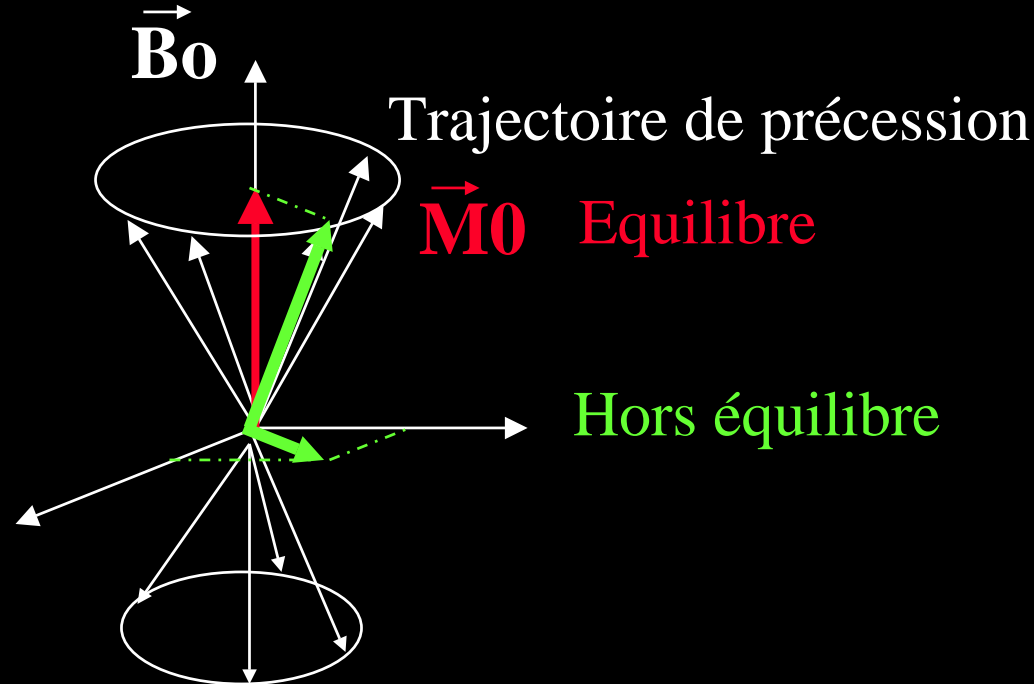


H => $F_0 = 42.6 \text{ MHz à } 1\text{T}, 63.87 \text{ MHz à } 1.5 \text{ T}, 127.7 \text{ MHz à } 3\text{T}$

RMN : excitation

Application d'un champ RF B_1 à la fréquence f_0 perpendiculaire à B_0 :

- résonance
- M_0 est écarté de l'axe Z tourne autour de B_0 à f_0 et à f_1 autour de B_1

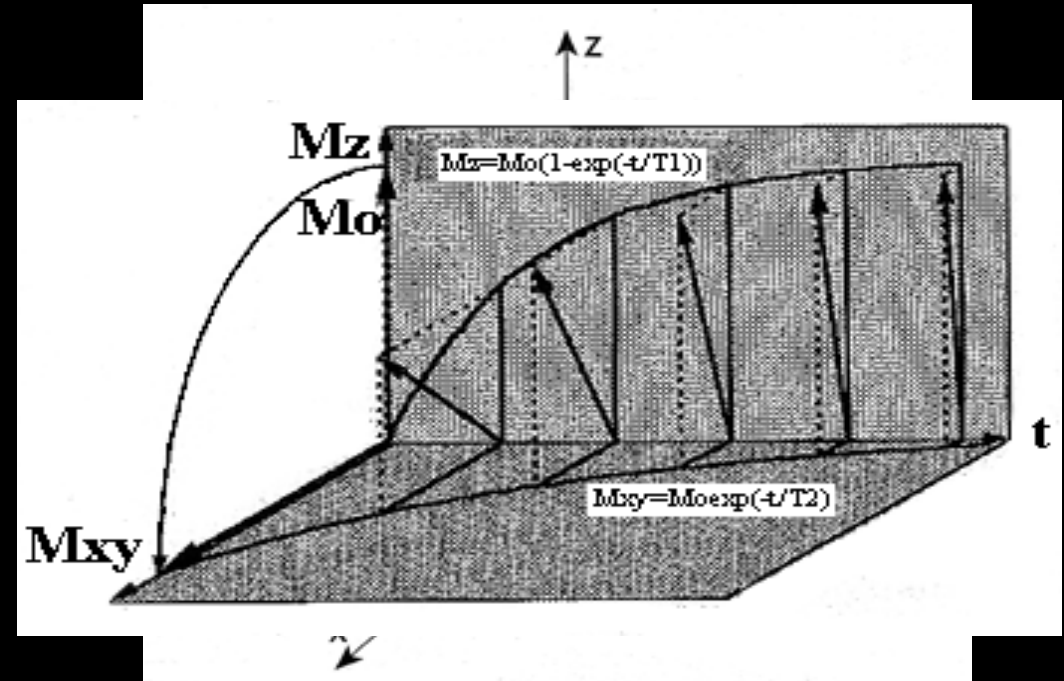


angle de basculement $\phi = \tau \gamma B_1$ (à 1T, 1.17×10^{-4} T, 50ms $\Rightarrow \pi/2$)

RF très faible = 1Gauss

RMN : Relaxation

- Retour à l'équilibre :
 - T1 : temps de relaxation longitudinale
 - T2 : temps de relaxation transversale



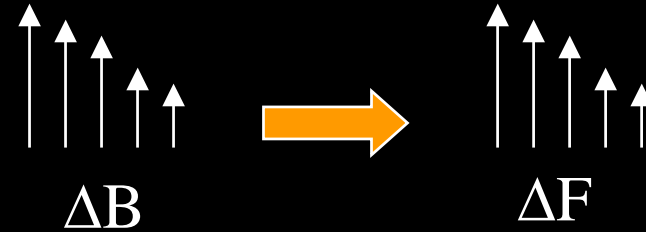
Signal proportionnel à la densité ρ des noyaux excités dans le plan transversal = signal RMN

M_0 très faible (à 1.5 T, Polarisation = $M_0/M = 4\text{ppm}$)
=> RMN très faible sensibilité

Imagerie par RMN

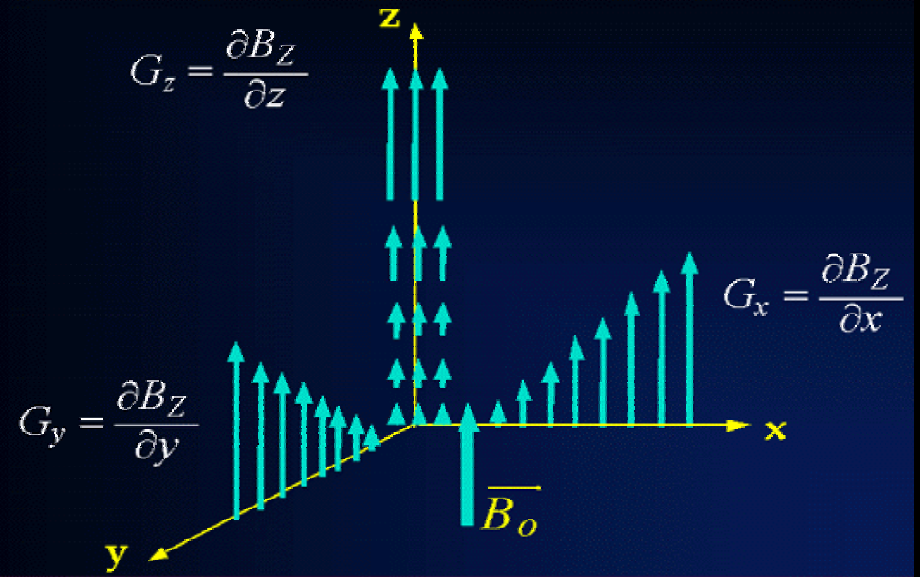
La fréquence de résonance dépend du champ B_0

Si on applique $\text{grad}(B_{x,y,z})$

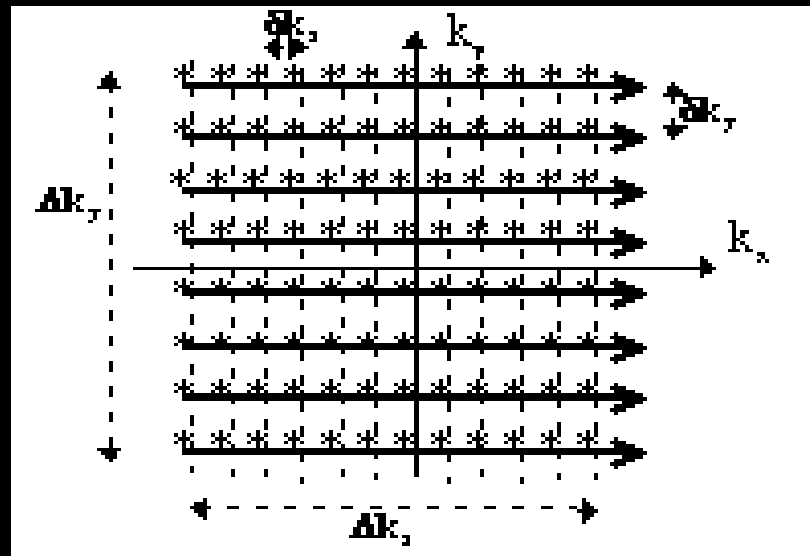
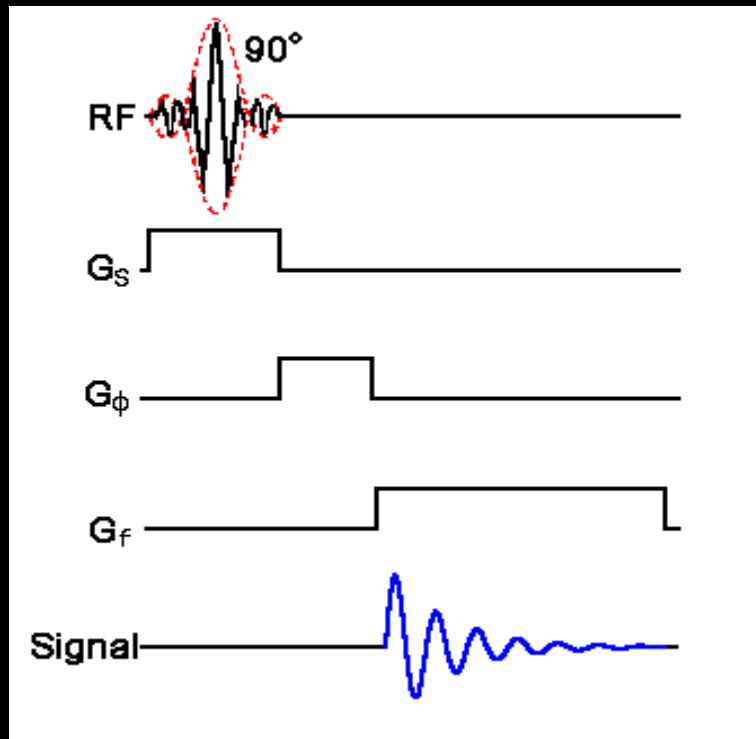
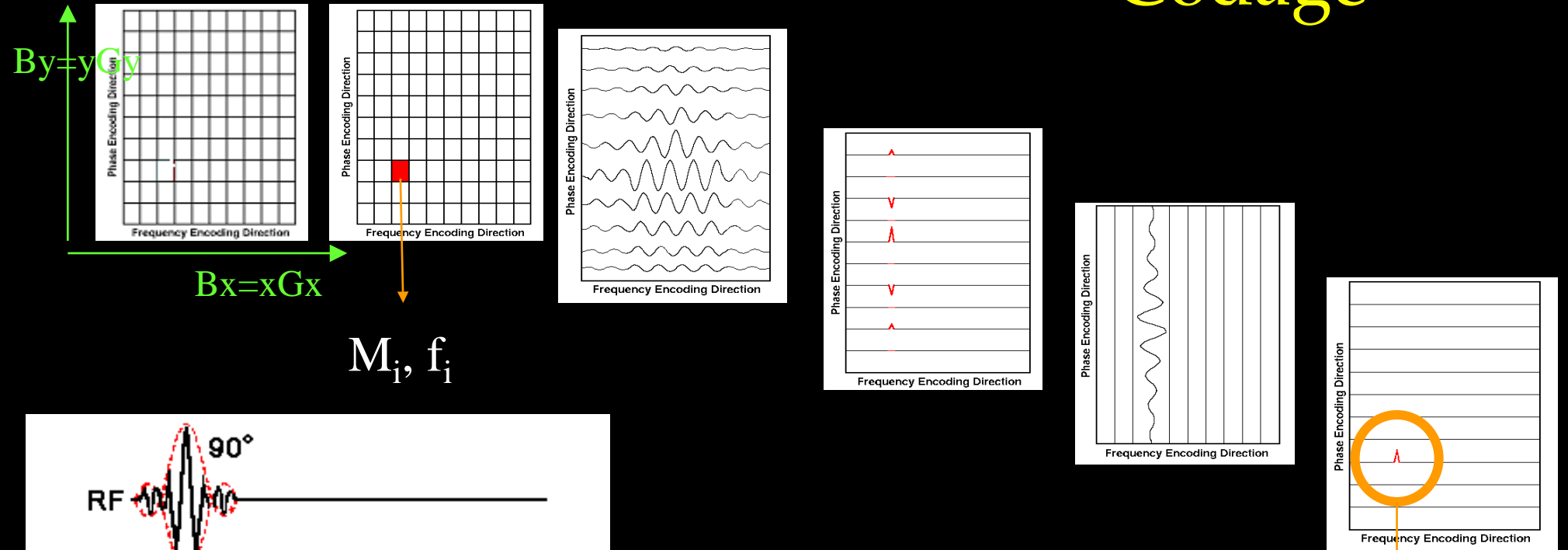


$$\omega(x) = \gamma[B_0 + xG_x]$$

- ◆ application d'un gradient de champ magnétique G_x, G_y, G_z pour encoder la position par la fréquence pour imager un objet



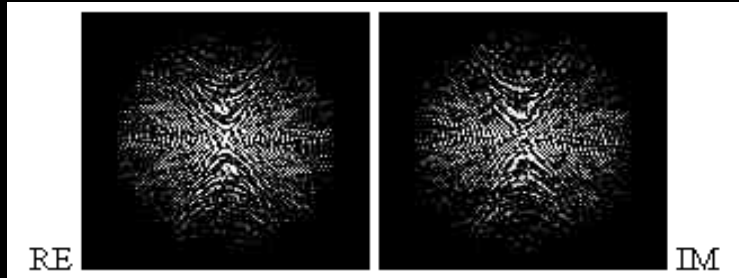
Codage



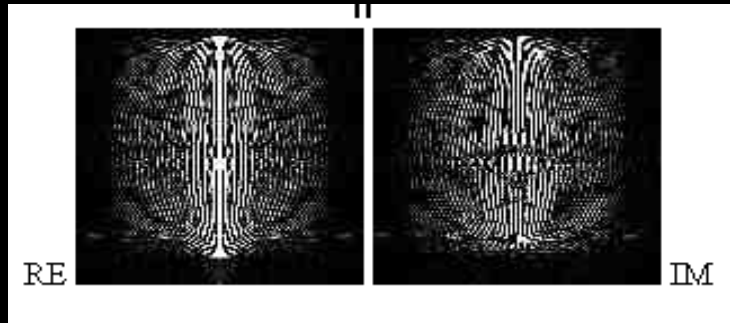
Amplitude $\propto M_i$

[Hornak 1996]

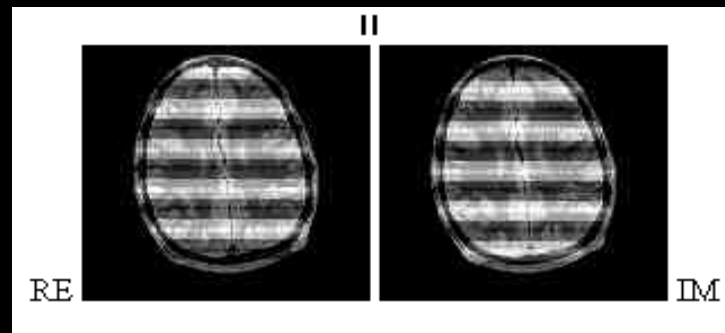
Les étapes



TF en Y



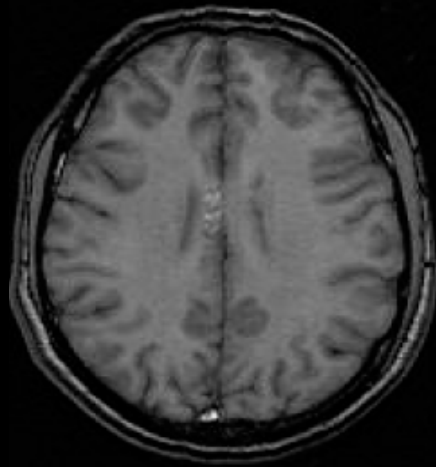
TF en X



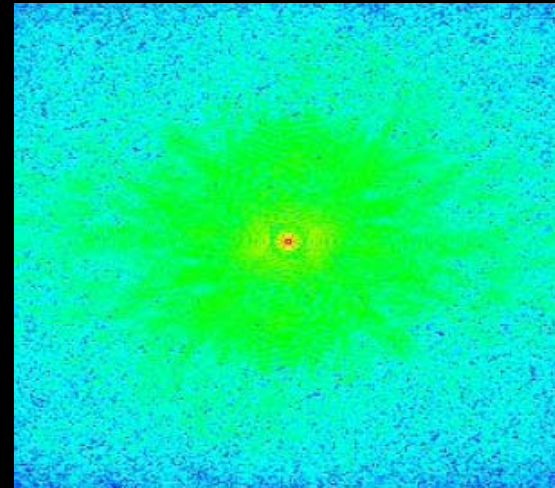
Amplitude



IRM : les images

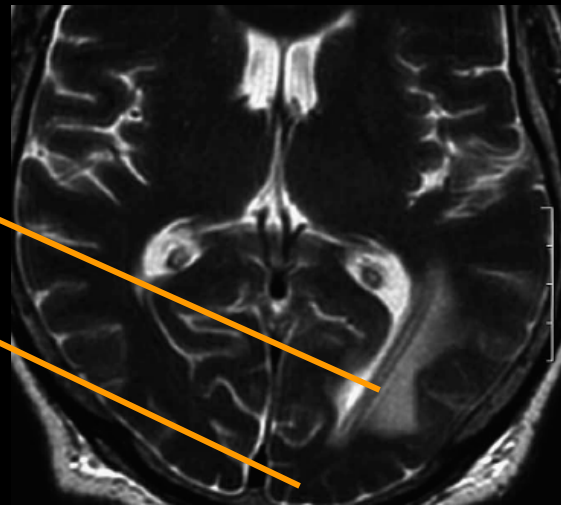
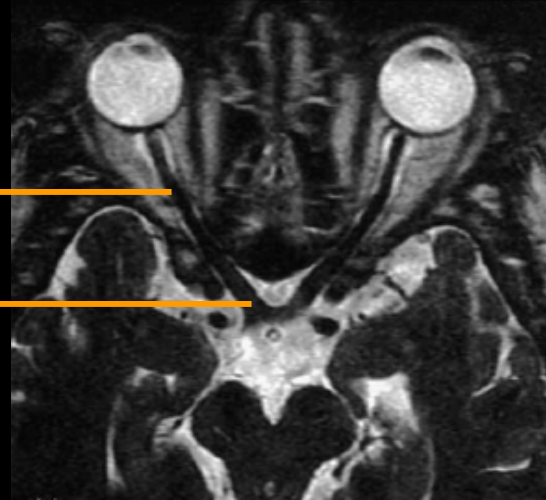
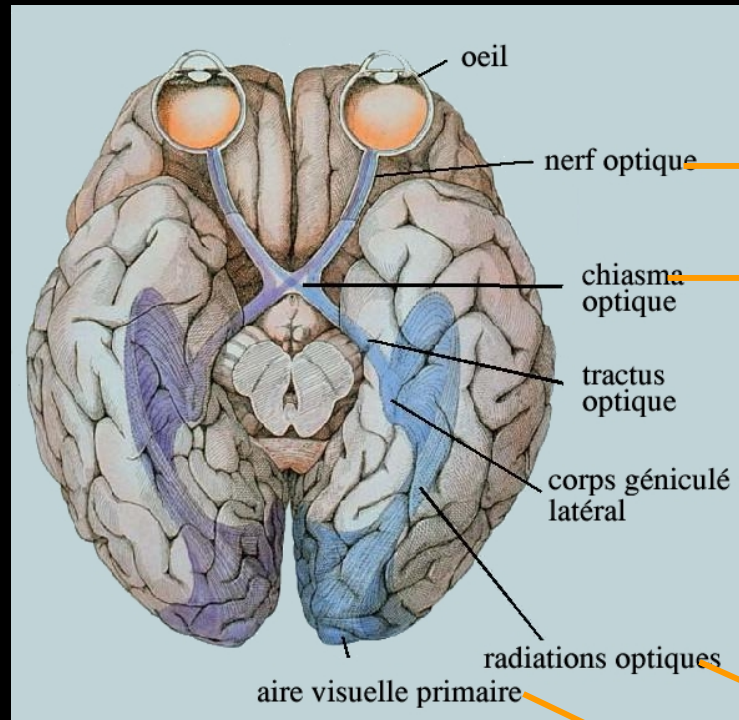


Espace image (spatial)



Espace K (fréquence)

Localisation Anatomique



IRM fonctionnelle



+



**HbO₂ = Oxyhémoglobine
diamagnétique**

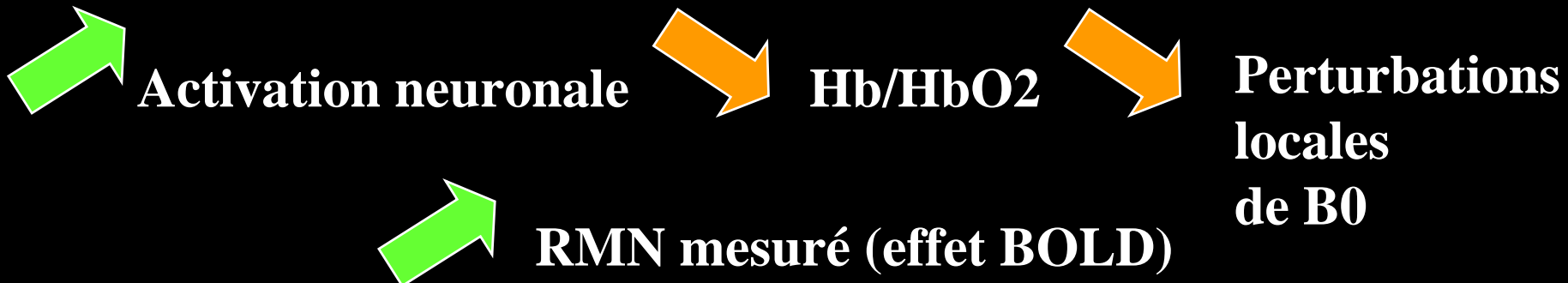
**Hb = Dé-Oxyhémoglobine
paramagnétique**

Un imageur

Hémoglobine

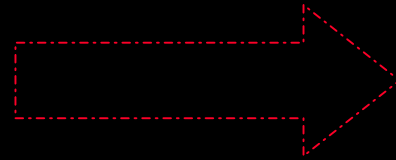
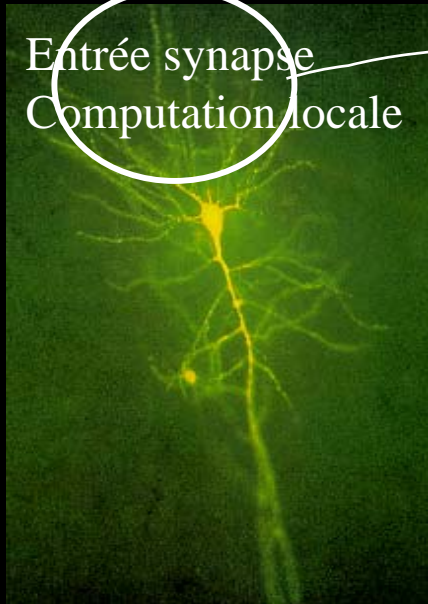
Repos : sang veineux 60% HbO₂-40% Hb

Activation : sang veineux 63% HbO₂-37% Hb !!!!

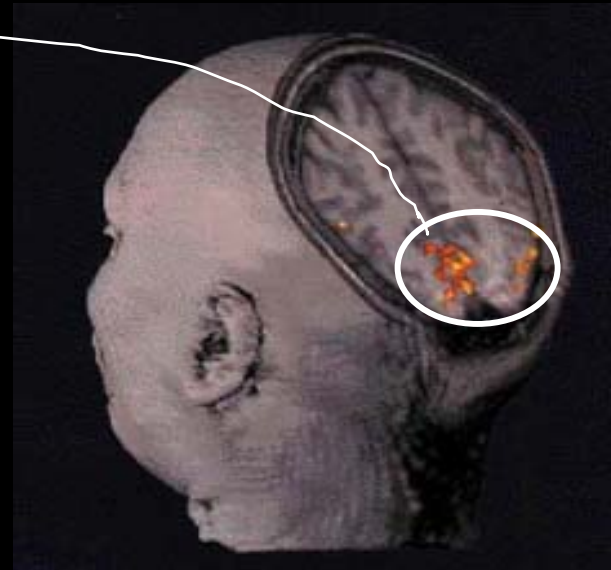


Une technique difficile ...

Technique non invasive et indirecte



Répercussions
-métabolique
-hémodynamique



Activité neuronale

Imagerie par effet BOLD

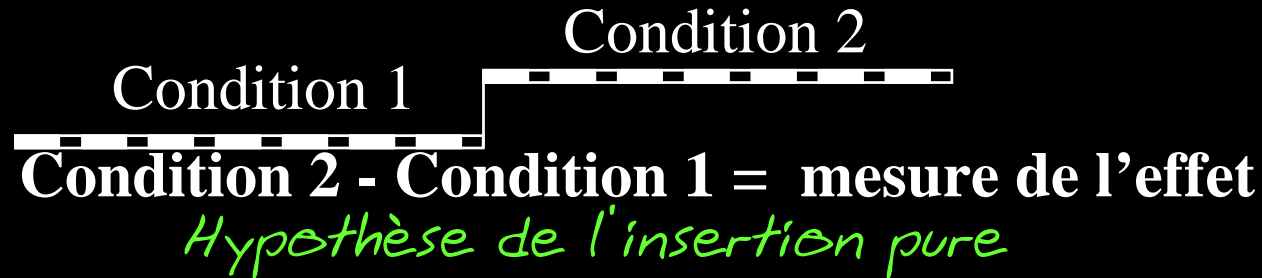
Couplage neuro-vasculaire mal connu 


Le signal est faible et dépend de nombreux facteurs (vascularisation, conditions de mesure, instrumentation ...)



Définir un Stimulus ...

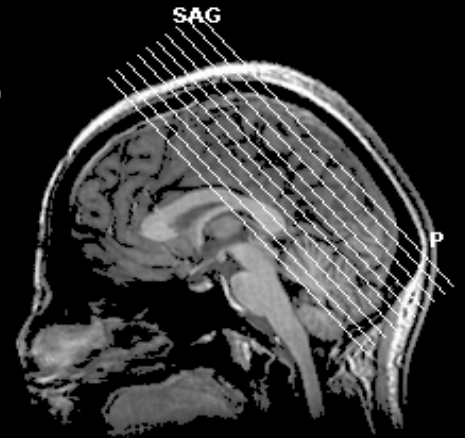
- pas de niveau absolu du signal mesuré
=> travailler par différence entre deux **conditions**



- définir le **paradigme** : un effet fort plutôt que subtil !
- optimiser le paradigme pour les conditions de l'IRMf (contraintes temporelles)
- connaître puis contrôler les différents **paramètres d'influence** (attention, mouvements des yeux, ...) 
- tests des capacités des sujets (psychophysique, experts, novices ...)
- définir le nombre de sujets : **analyse à effet fixe** (6-10), à **effet aléatoire** (>10)

Acquérir des Données Images

- **orientation** des coupes (sagittale, parallèle à CA-CP, ...)
- taille du **volume** d'acquisition
 - taille dans le plan (x,y)
 - nombre de **coupes** **la résolution spatiale**
 - épaisseur des coupes (z)
- **temps d'acquisition** d'un volume
- nombre de volumes acquis (= **session**) **la résolution temporelle**
- temps total d'une **expérience**
 - => Données 4D : (**voxel**,t)
- synchronisation stimuli / acquisition
- type de **séquence RMN** (EPI, anatomique haute résolution ...)



Faire des Compromis

Des compromis



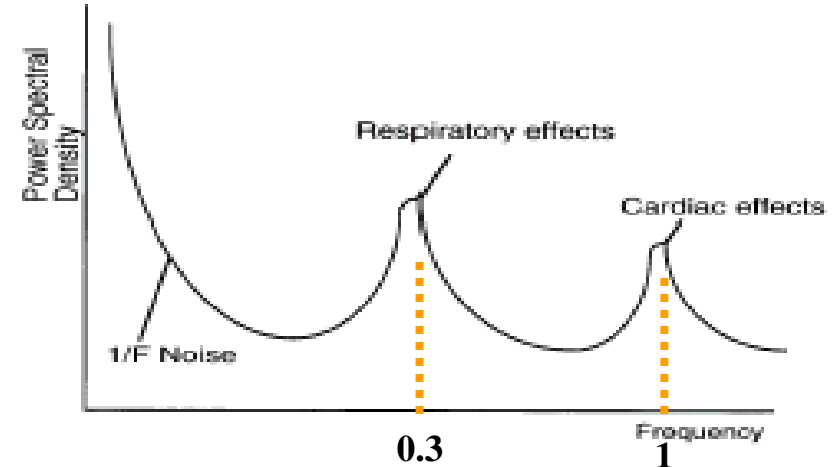
- ↗ Taille du volume => durée d'acquisition ↗
- ↘ Résolution spatiale => signal /bruit ↗ & volume partiel ↗
- ↗ Résolution temporelle => durée d'acquisition ↗

Type séquence, l'orientation ont des effets sur les distorsions ...

Préparer ses Données

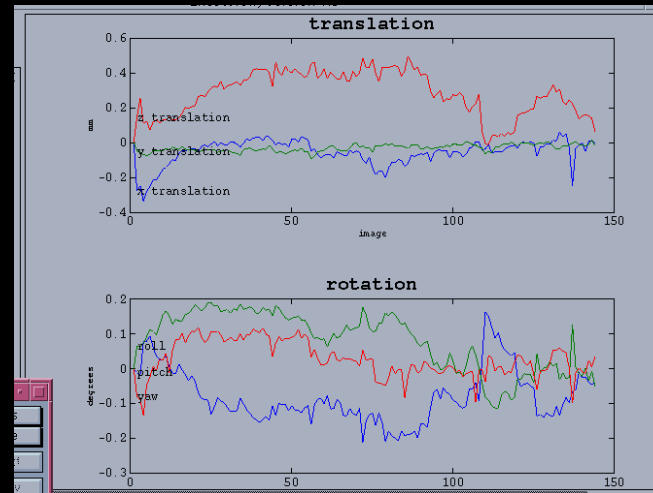
Enlever la variance due aux artefacts

- **bruit physiologique** (filtre passe haut)



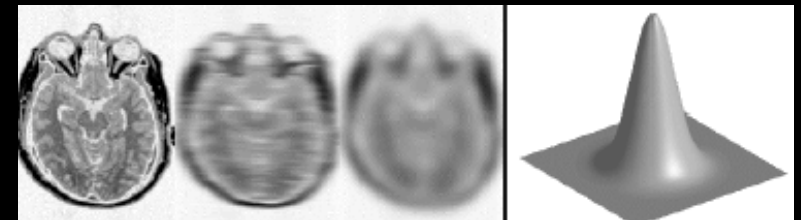
[Turner et al., Exp Brain Res, 1998]

- **mouvement**

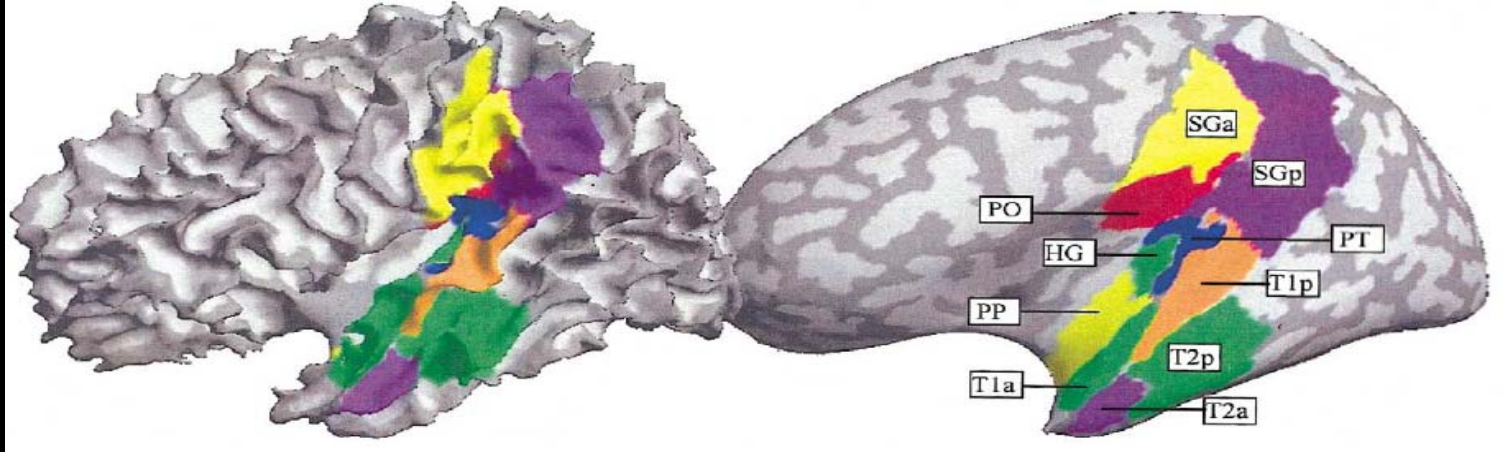


- **lissage spatial**

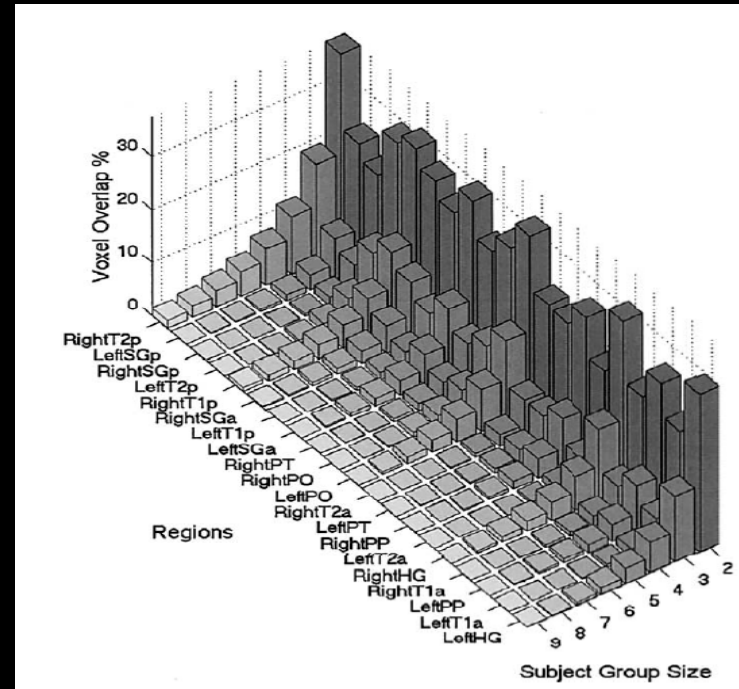
(diminuer les différences entre sujets, augmenter le RSB)



Normalisation : Pourquoi ?

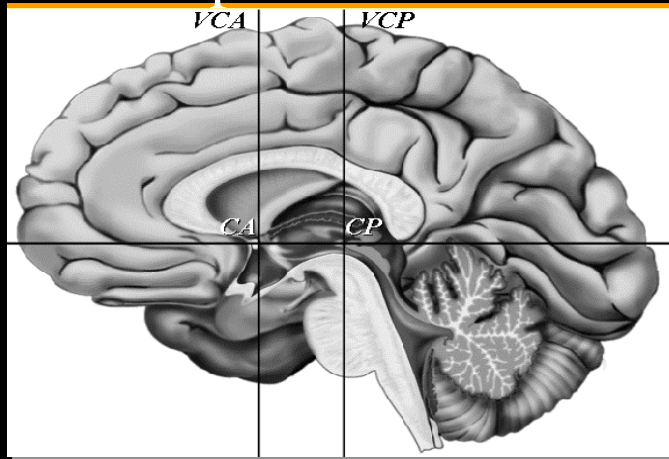


[Nieto-Castanedon NeuroIm 19 03]

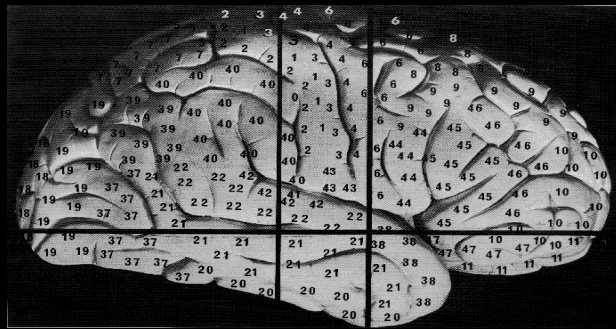
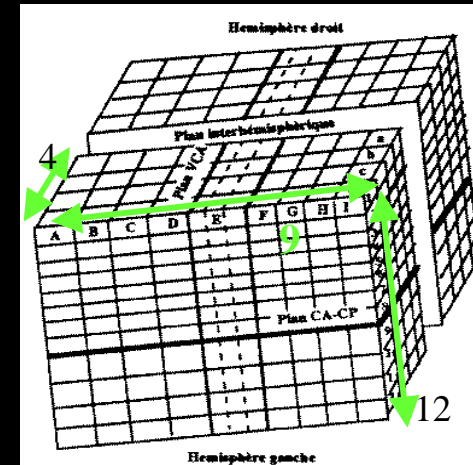


Repère de Talairach & Tournoux

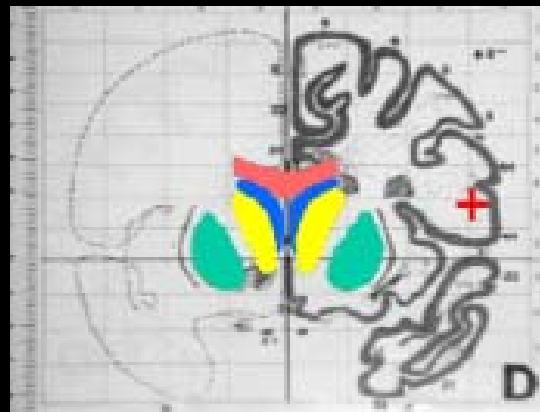
Des repères



Grille proportionnelle

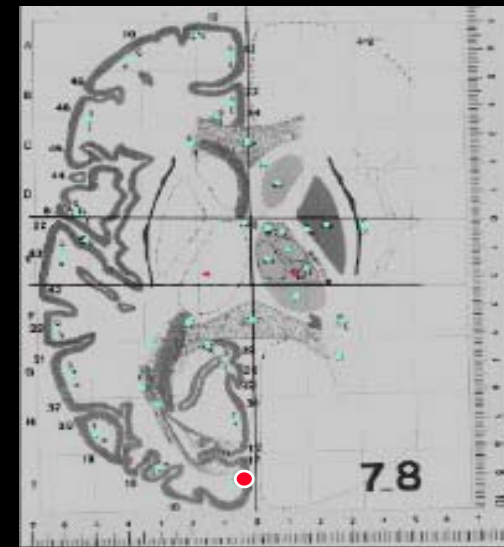


Y = 8mm X,Z=(5,2)



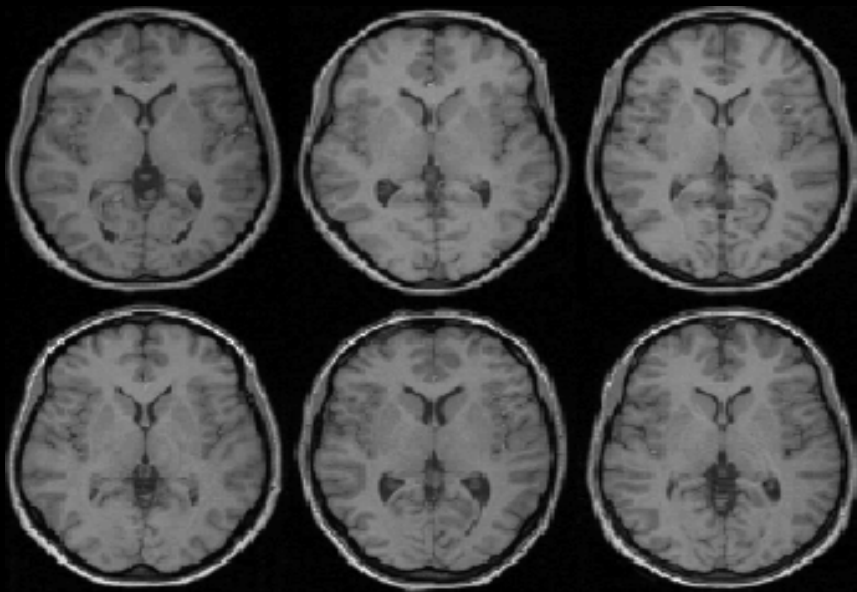
Gyrus Frontalis Inf, 44broad

Z = 8mm X,Y = (-0.3, -9)

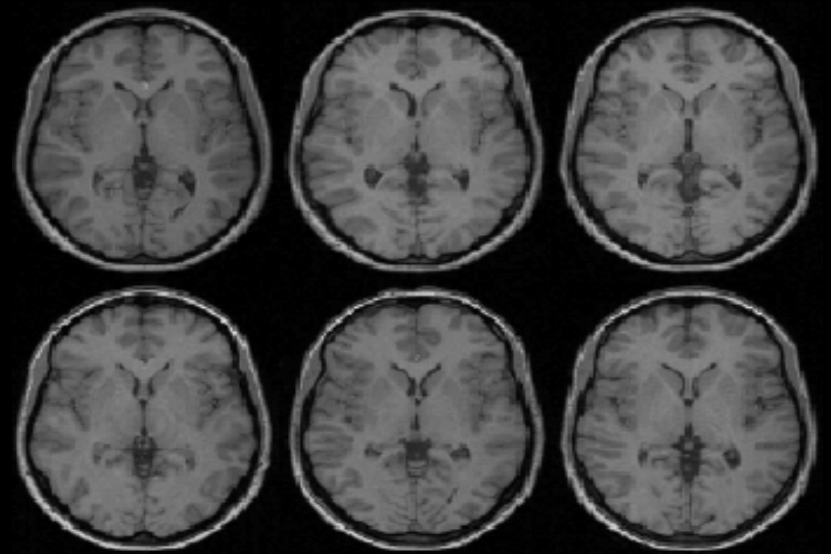


Cuneus, 17broad

Morphing : Exemples



Transformation affine

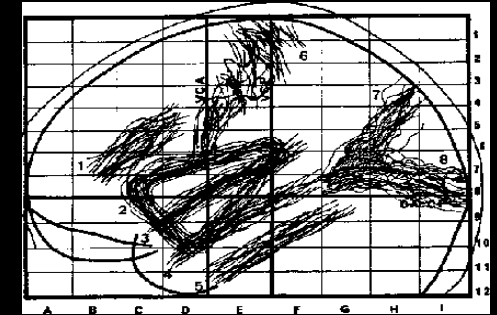


*Transformation affine
+ Non linéaire*

Normalisation : Problèmes conceptuels ?

Hypothèse : Couplage fort Anatomie - Fonction

- Non Préservation des structures fines

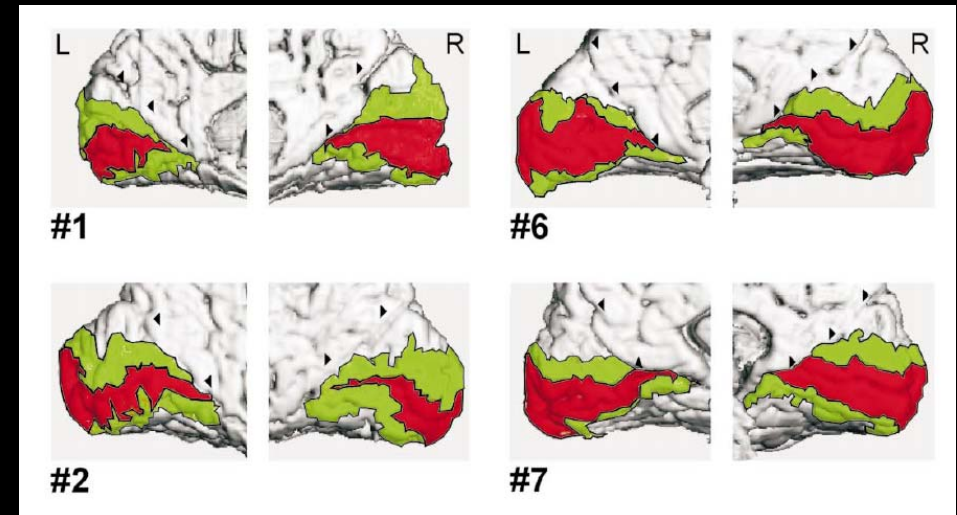


- des différences cytoarchitectoniques

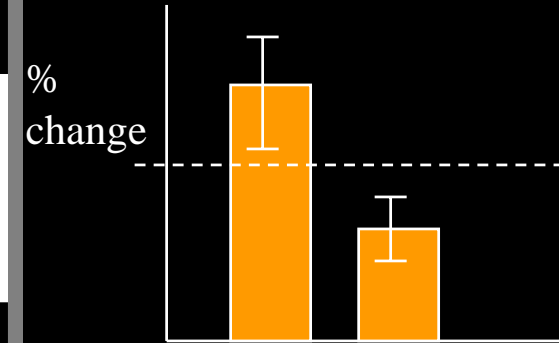
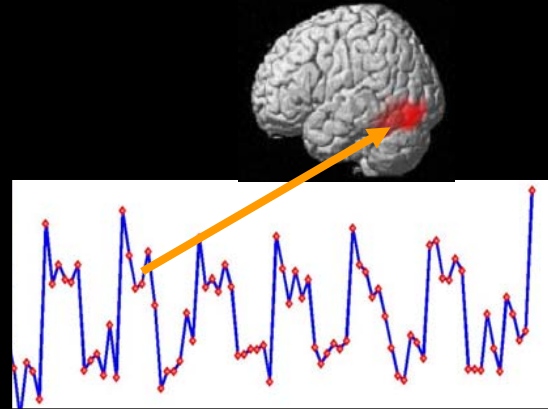
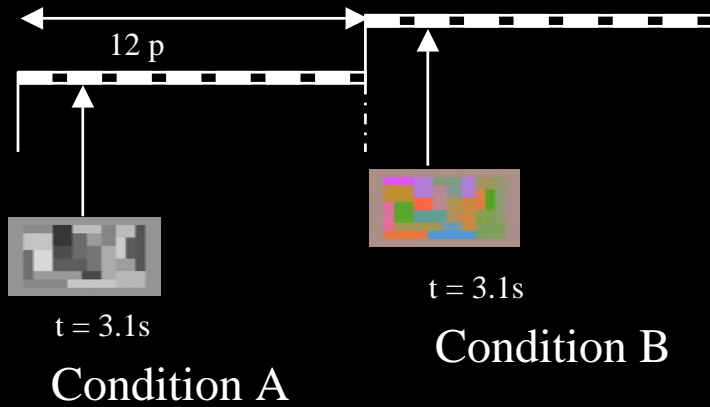
[Amunts et al. 00]

■ V2
■ V1

⇒ Variabilité fonctionnelle



Analyser les Données



Un Modèle linéaire

Notion de « bon » ou « mauvais »
Modèle (overfitting !)

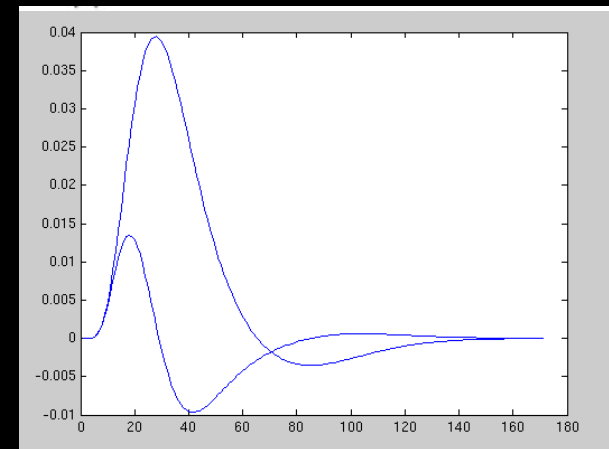
$$Y = K(X_{fi} + X_{fni})\beta + \varepsilon$$

facteurs intérêt

facteurs de non-intérêt

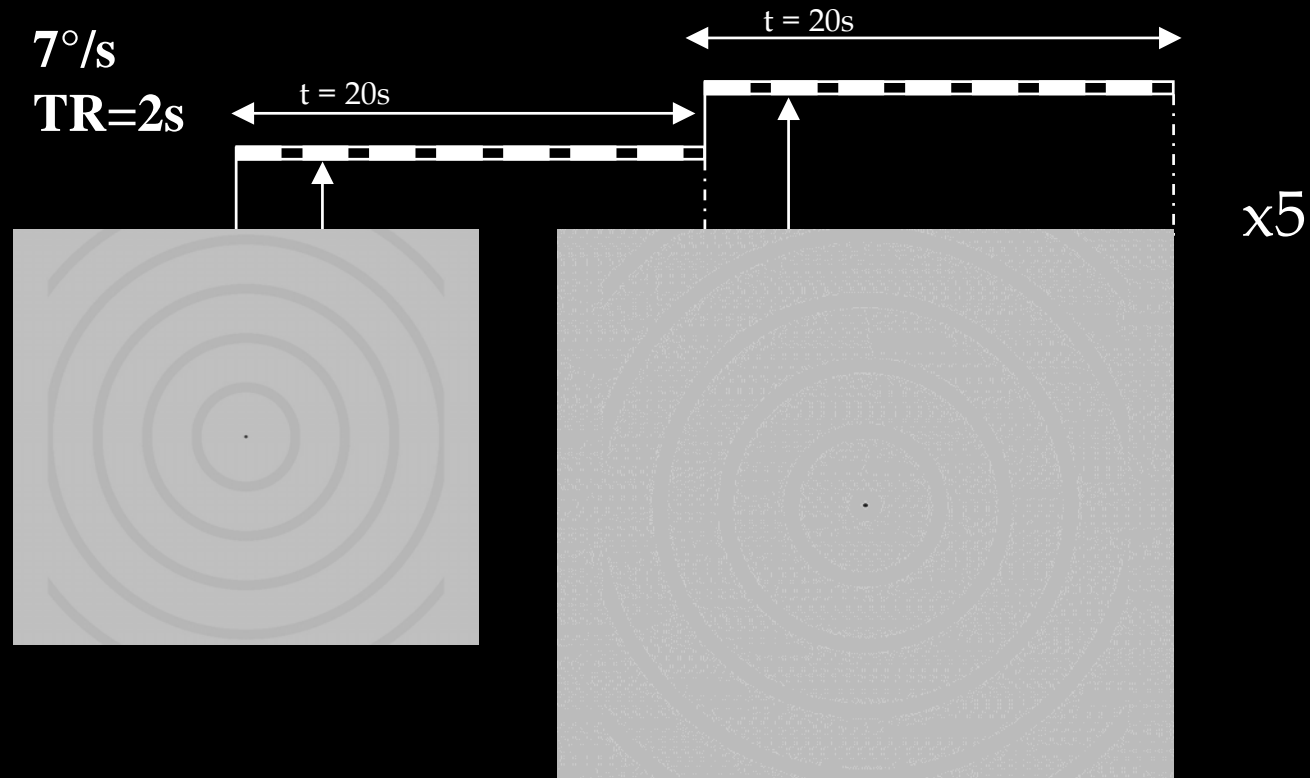
Hypothèse sur le bruit

Un Modèle de la fonction hémodynamique



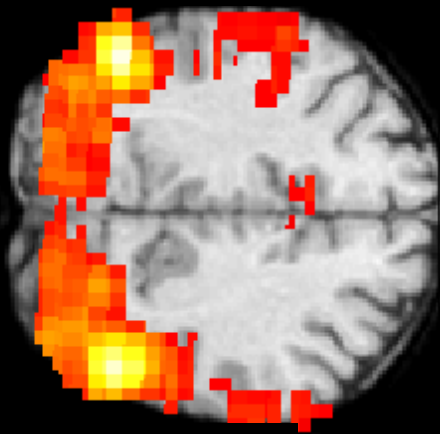
Expérience en Blocs

Représentation Corticale du mouvement : aire V5

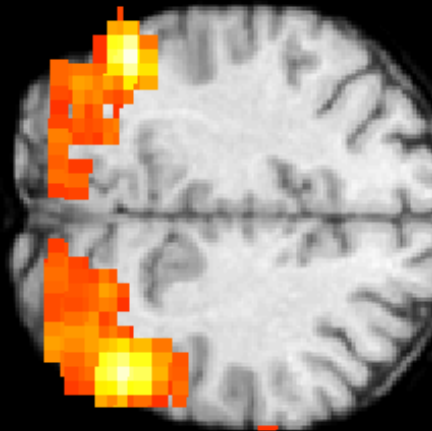


Interpréter & Présenter les Données

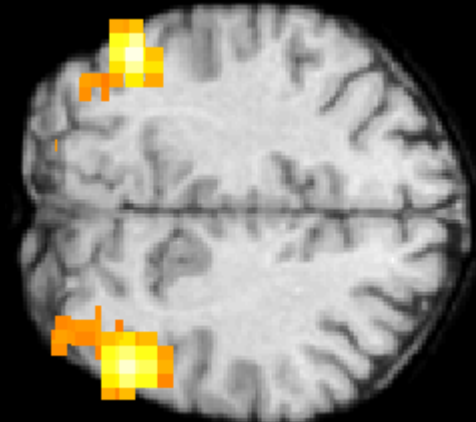
Quelle activation est significative ...



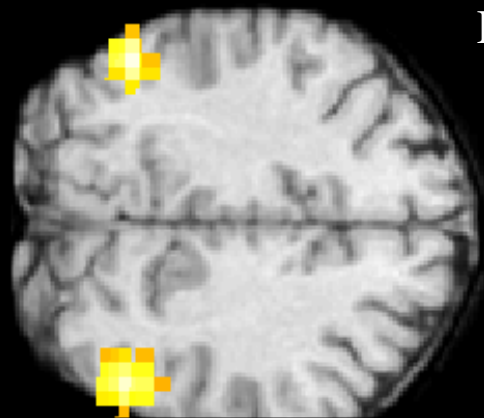
T=4.17



T=6.7

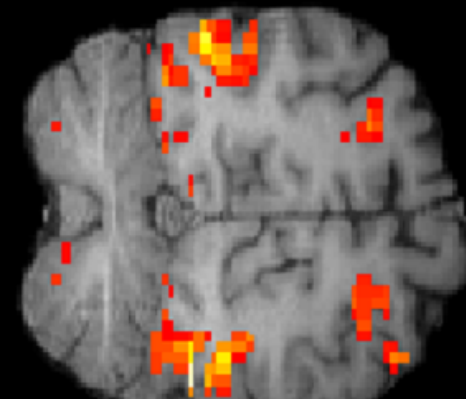


T=10



T=12

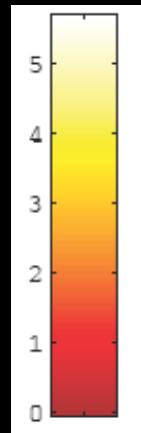
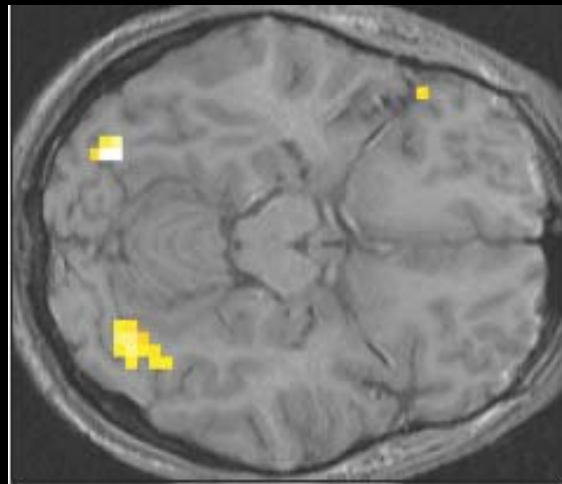
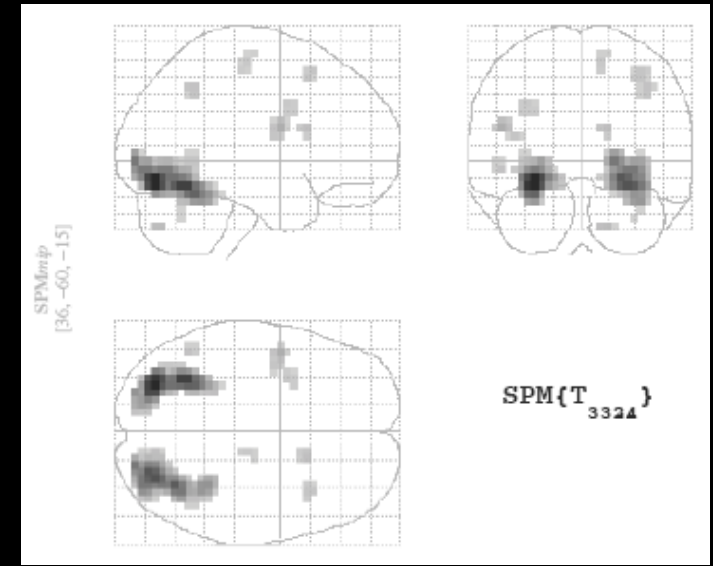
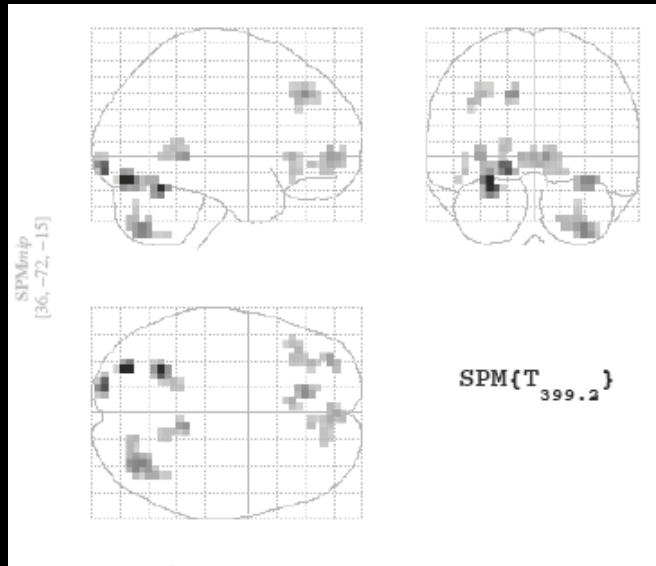
Délimitation V5 1.5T antenne de surface



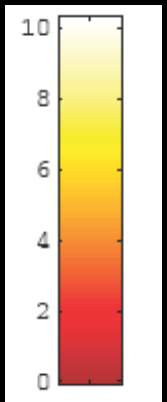
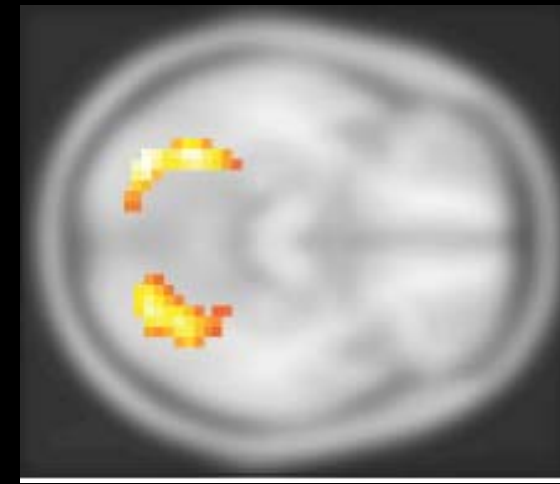
T=4, 3T antenne crâne

Interpréter & Présenter les Données

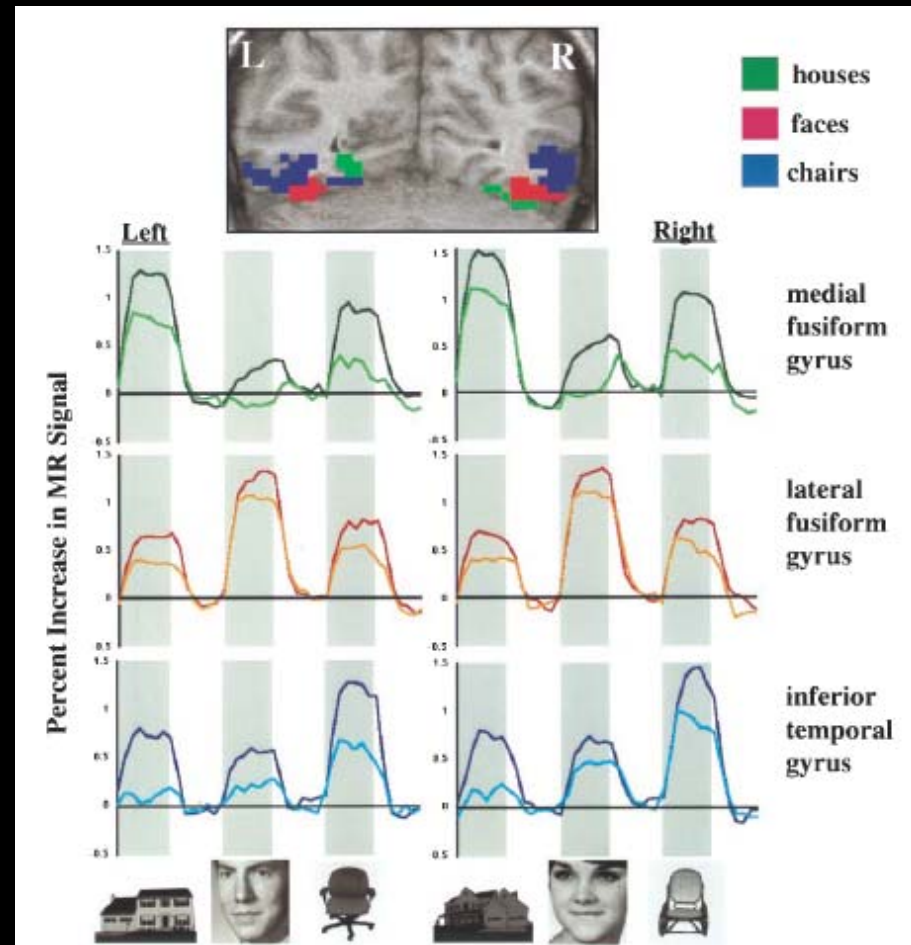
La force du groupe ...



$P=0.001$, $t=3.1$
 $Z=-15$



Interpréter & Présenter les Données

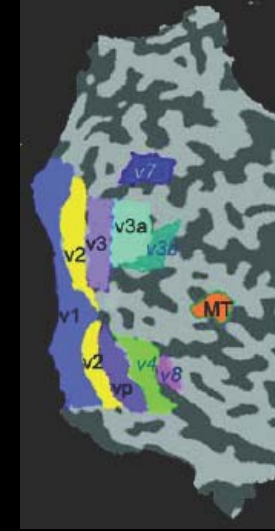
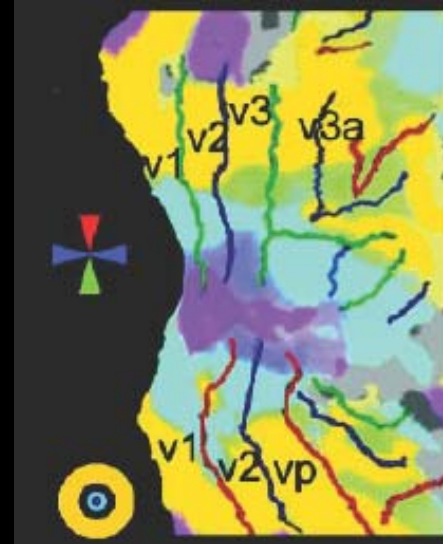
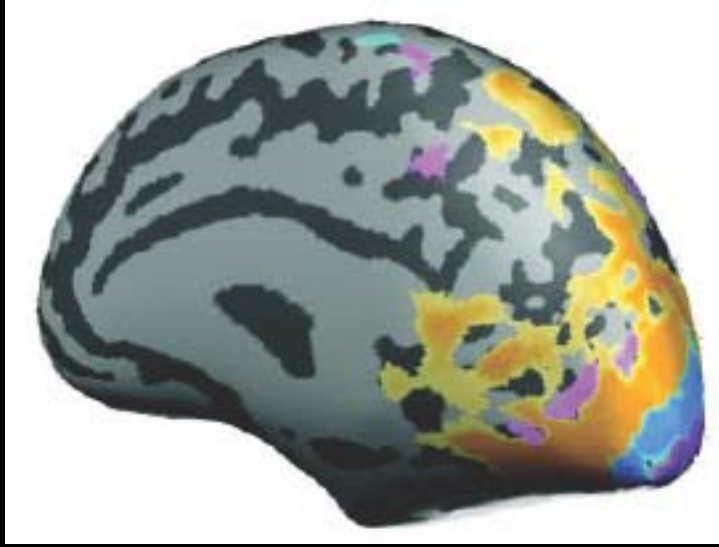


[Ishai et al. PNAS 99]

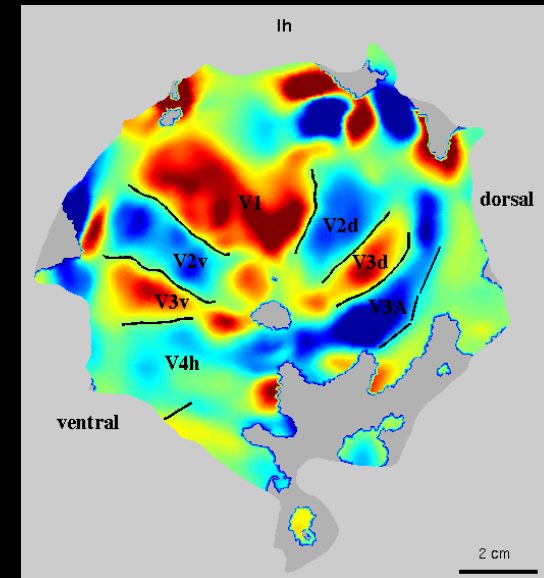
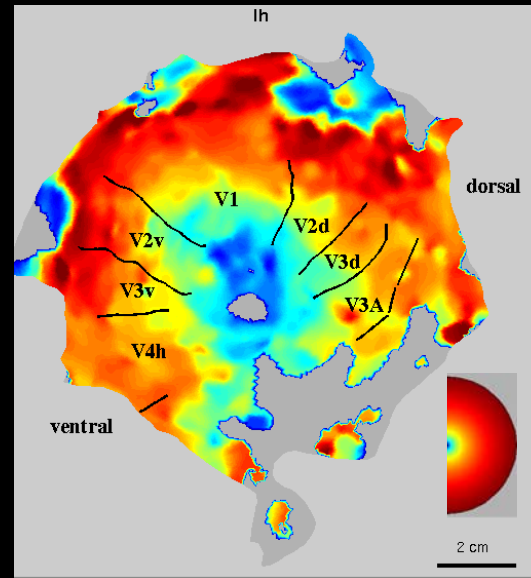
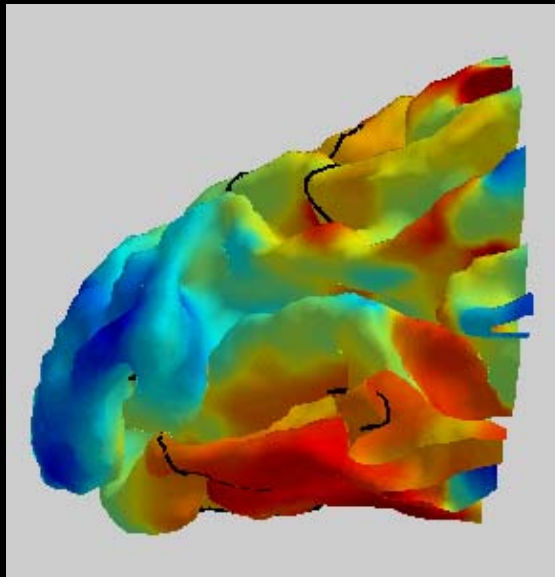
Coupler les données avec des modèles d'organisation cérébrale et des données comportementales

Visualisation surfacique

[Grill-Spector Ann Rev NeuroSci 04]



[Vasseur Master 05]





[S. Polyak The Vertebrate Visual System 1957]

Des progrès ...

