

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale



*La Neuroimagerie : une fenêtre
ouverte sur le fonctionnement
du cerveau*

Michel Dojat

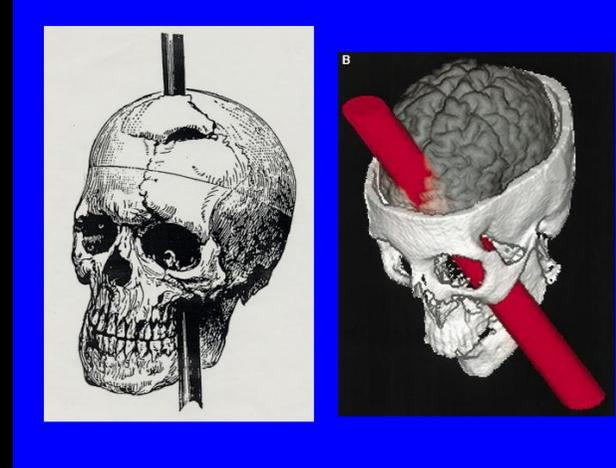
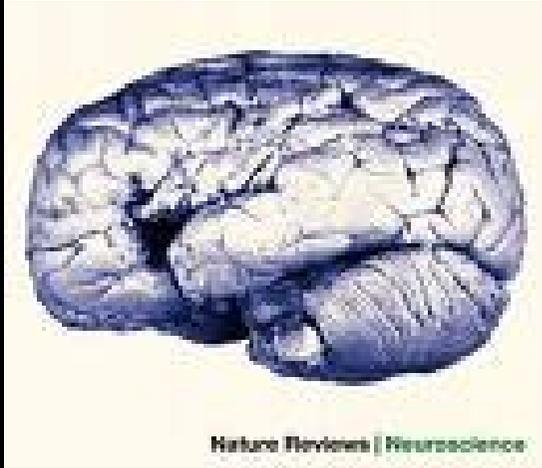
INSERM U836, Grenoble Institut des Neurosciences, Fr



[S. Polyak The Vertebrate Visual System 1957]

Etude du fonctionnement cérébral : Historique

1850 : Etude des lésions



1929 : Premier EEG (Hans Berger)

1968 : Premières mesures en MEG chez l'homme

1972 : Tomographie par Emission de Positons TEP

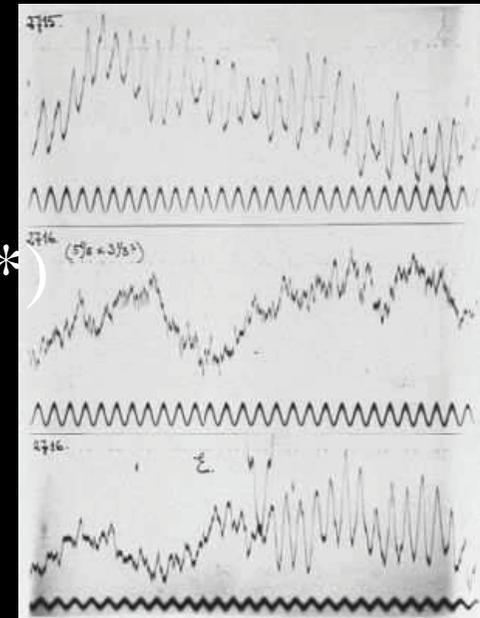
1973 : IRM (Lauterbur*) 1975: Fourier Imaging (Ernst*)

1977 : Apparition de l'EPI (Mansfield*)

1990 : Apparition de l'IRM fonctionnelle

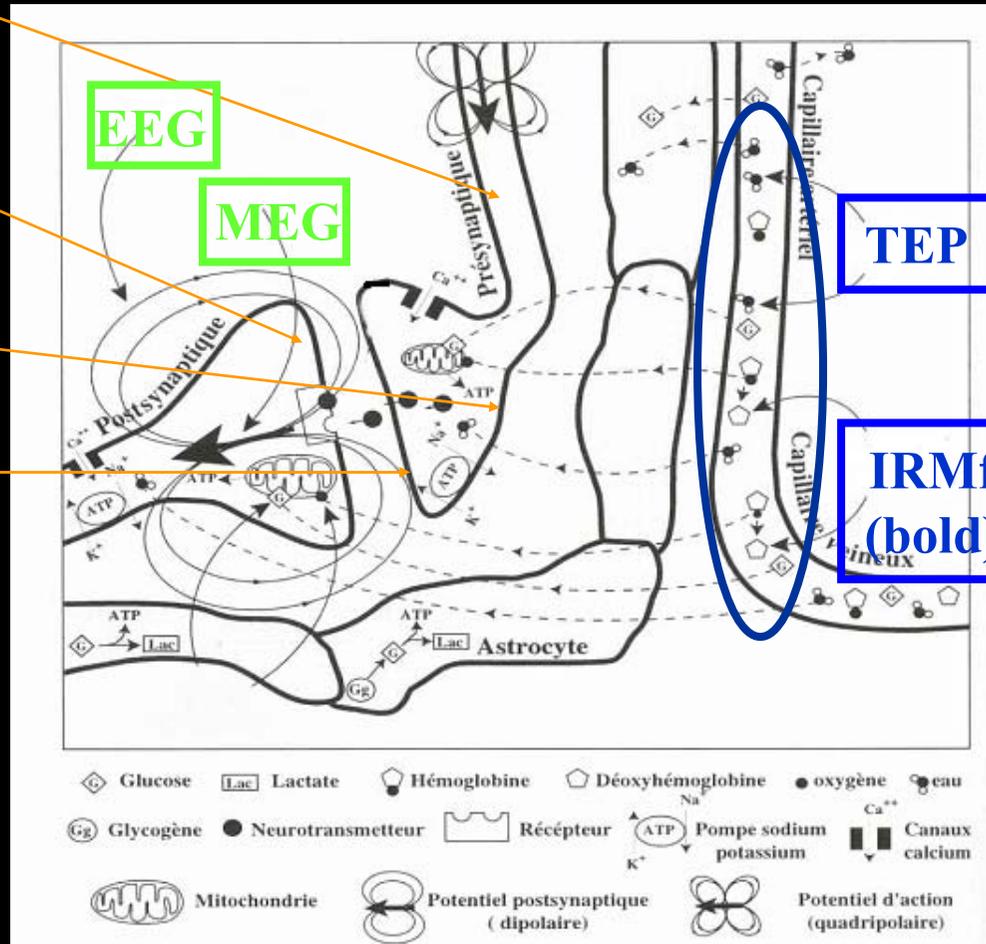
1990 : Commercialisation de systèmes MEG

1993 – 95 : Premiers enregistrements EEG/IRM



Des Techniques de Neuroimagerie

axone
 synapse
 Potentiel d'action
 Neurotransmetteur



EEG

MEG

TEP

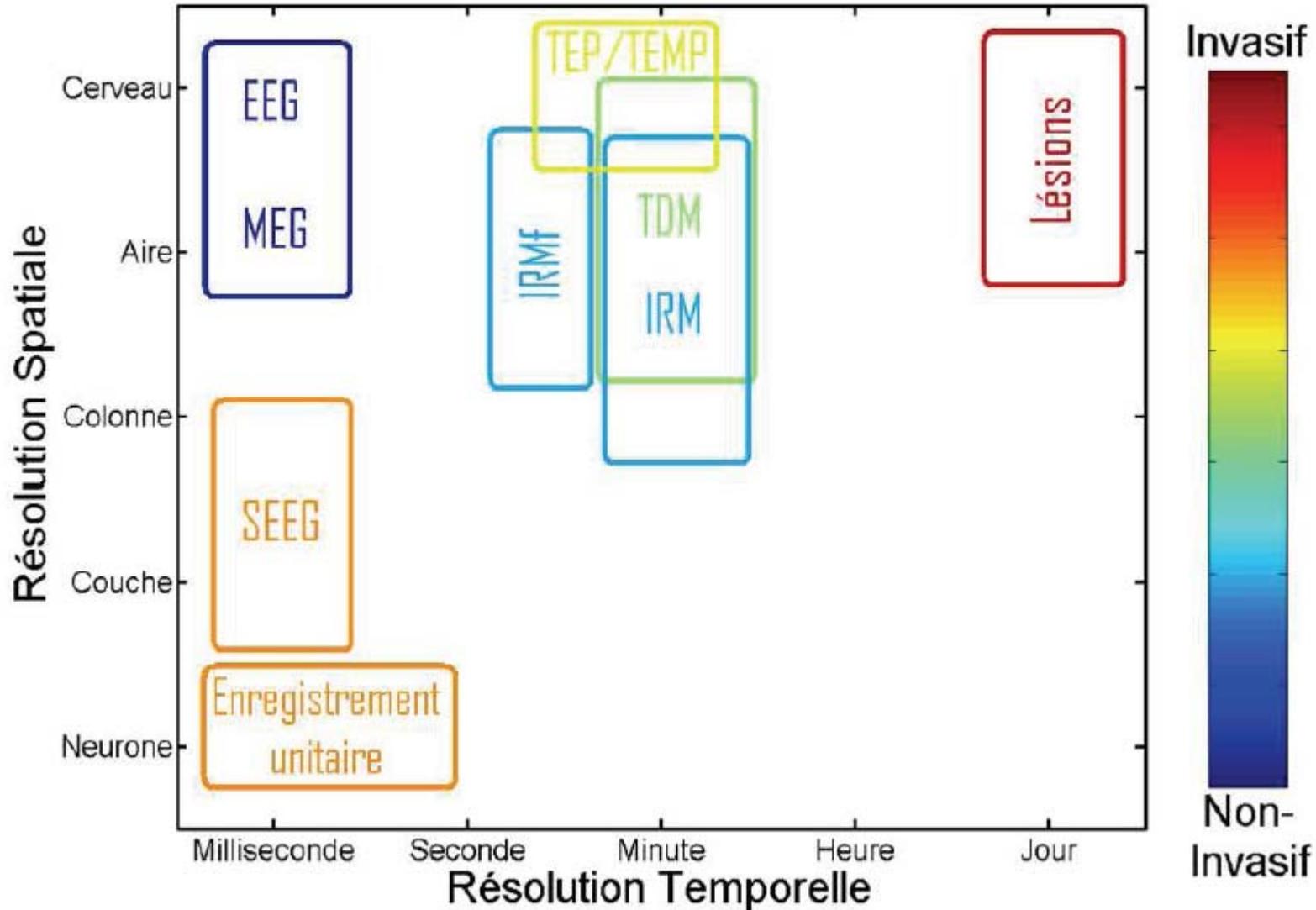
IRMf
(bold)

Hémodynamique
 Déoxygénation
 Augmentation
 Du Débit Sanguin

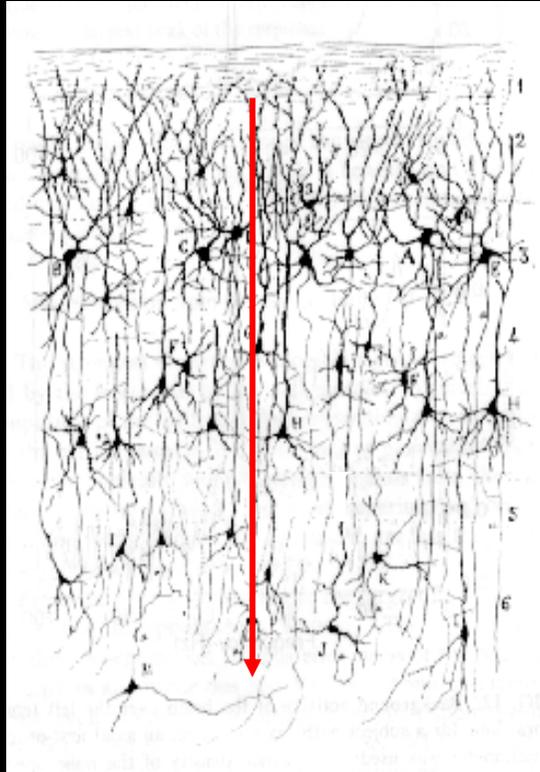
↓
 potentiels
 Intracellulaires ou
 extracellulaires

EEG- MEG

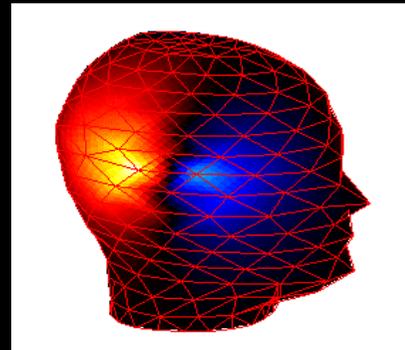
Des Propriétés Spécifiques



Courants corticaux macroscopiques



Dipôle de courant
Macrocolonne corticale
 10^5 à 10^6 neurones
 $Q = I \times d \sim 10$ à 100 nAm



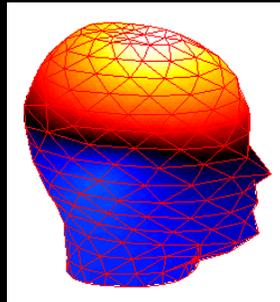
MEG

Dipôle radial (gyrus)



Dipôle tangentiel (sillon)

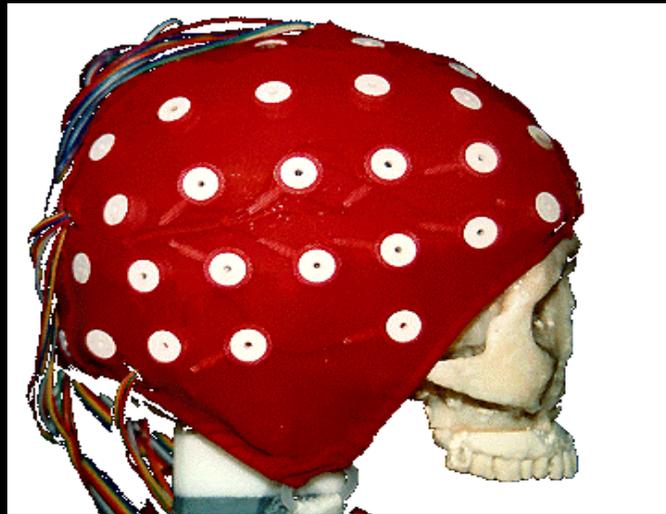
Dipôles sur la surface corticale



EEG

Electroencéphalographie (EEG) et Magnétoencéphalographie (MEG)

Mesurent l'activité électrique neuronale
Imagerie non invasive
Résolution temporelle $\sim 1\text{ms}$



EEG : mesure du Potentiel électrique.
Ordre de grandeur : quelques microvolts
Capteurs : électrodes
Appareillage très répandu

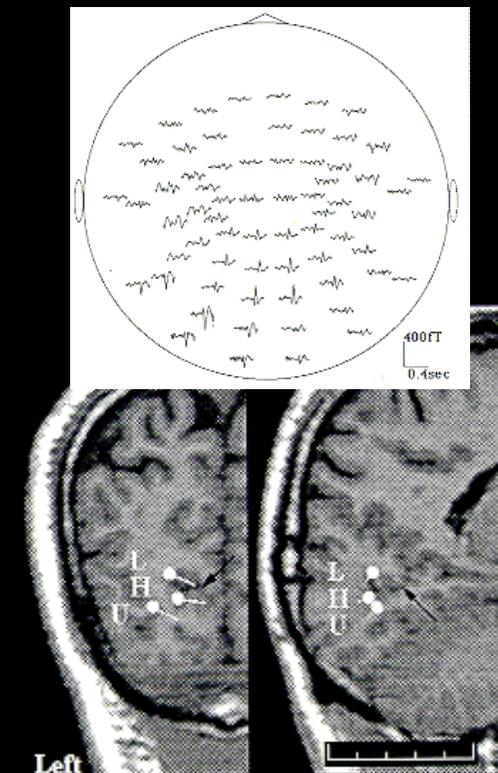
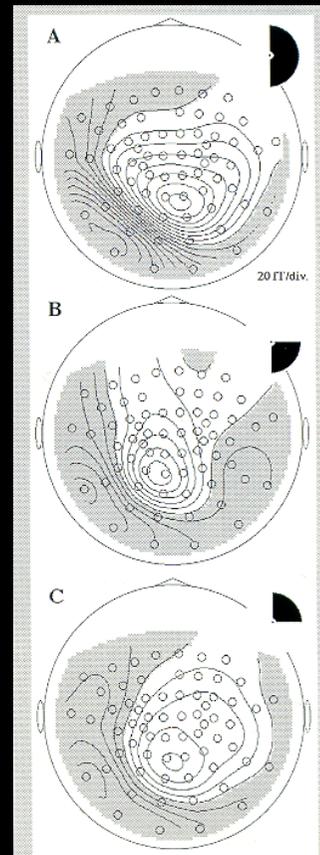
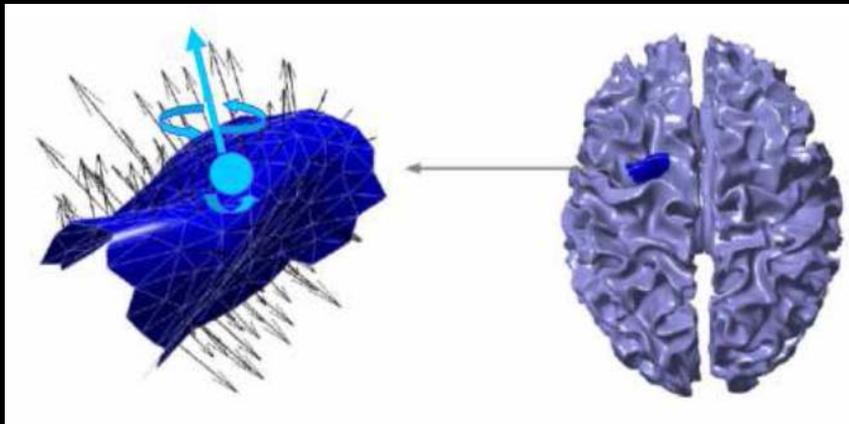


MEG : mesure du champ magnétique.
Ordre de grandeur : 10^{-13} tesla
Peu de distorsion par les couches du crâne \Rightarrow meilleure résolution spatiale que EEG
Capteurs : SQUID couplés à des bobines
Appareillage très coûteux

MEG-EEG

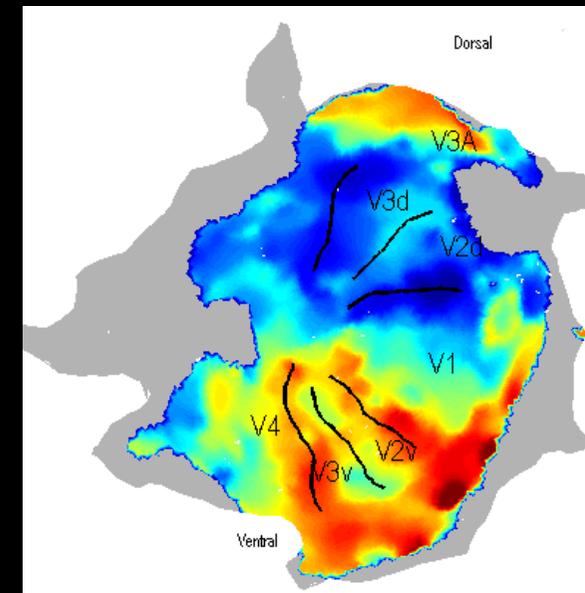
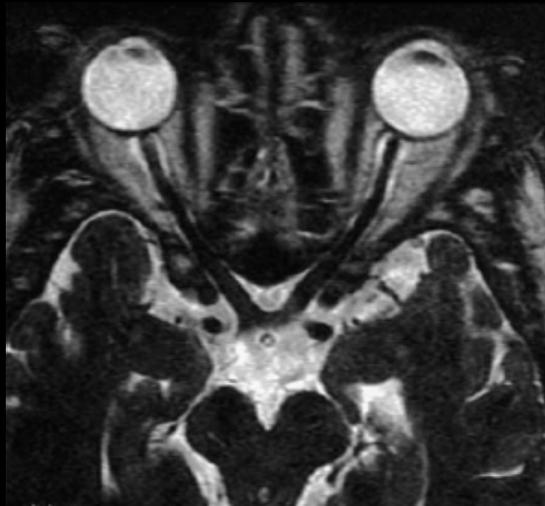
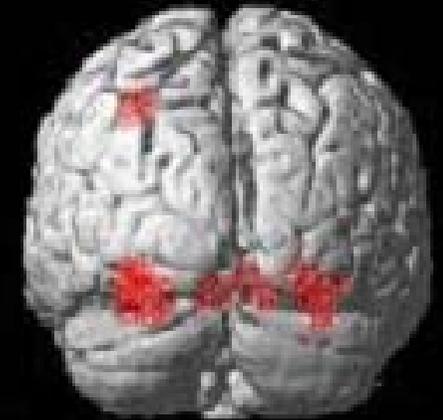
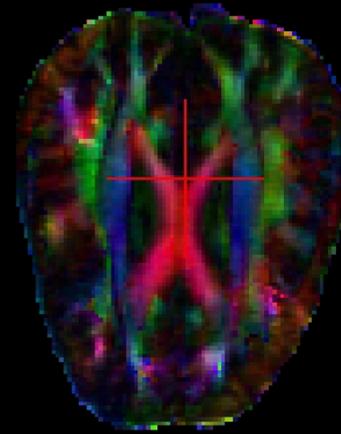
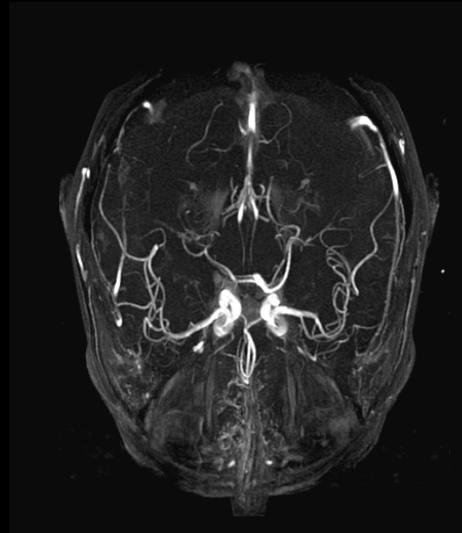
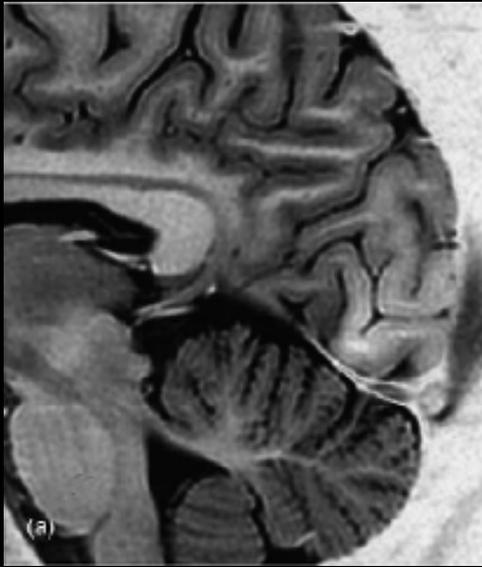
Reconstruire dans le temps et l'espace les sources neuronales à l'origine des signaux MEG et EEG mesurés en surface

**Pas de solution unique
à la recherche de sources
=> Imprécision spatiale**

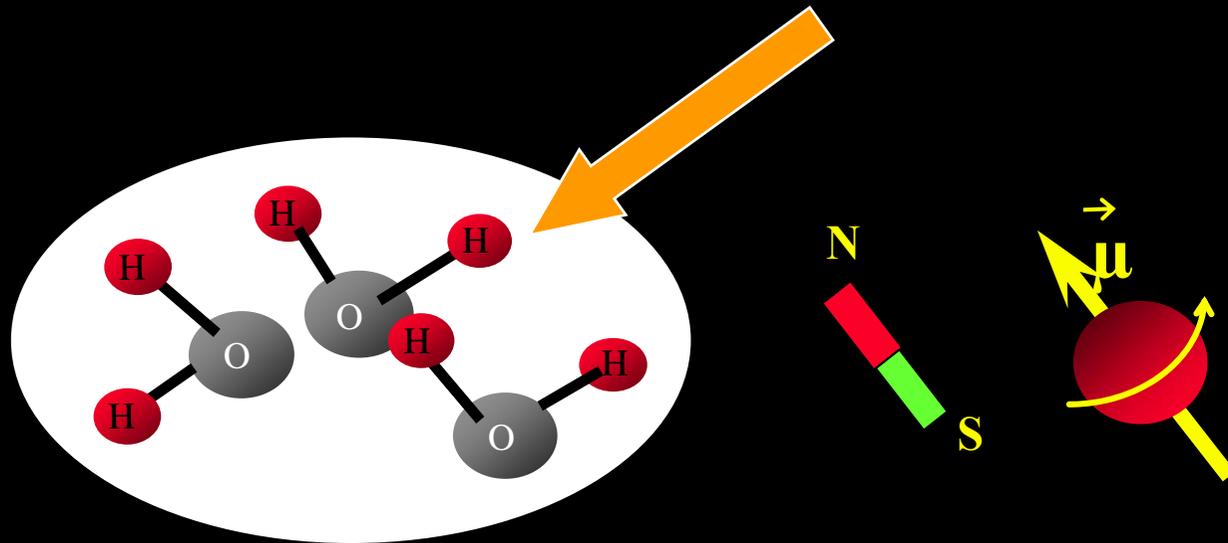


**Localisation du dipôle dépend de la position du stimulus dans le champ visuel
(From L. Garnero)**

L'Imagerie par Résonance Magnétique



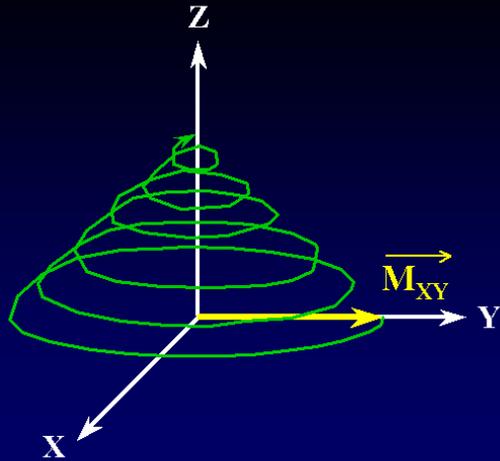
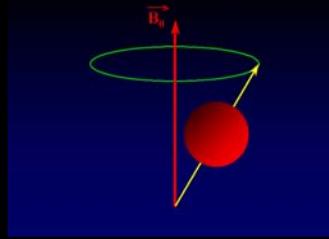
Le signal en RMN provient ...



Trois étapes centrales

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

Le principe ...



B0
↑
qq mT

B0

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \gamma B_0$$

Polarisation

Protons H2O s'alignent avec B0

Impulsion RF

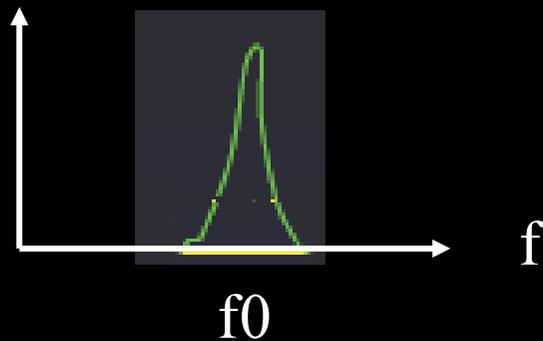
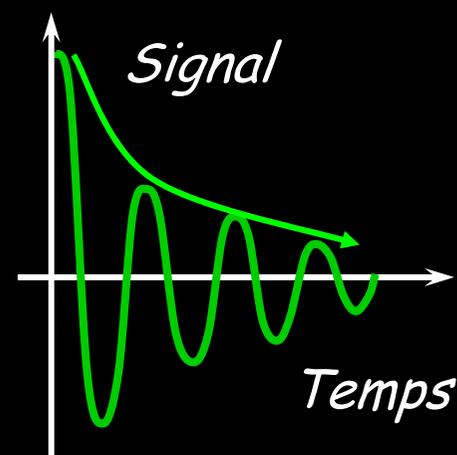
Excitation

Protons absorbent l'énergie

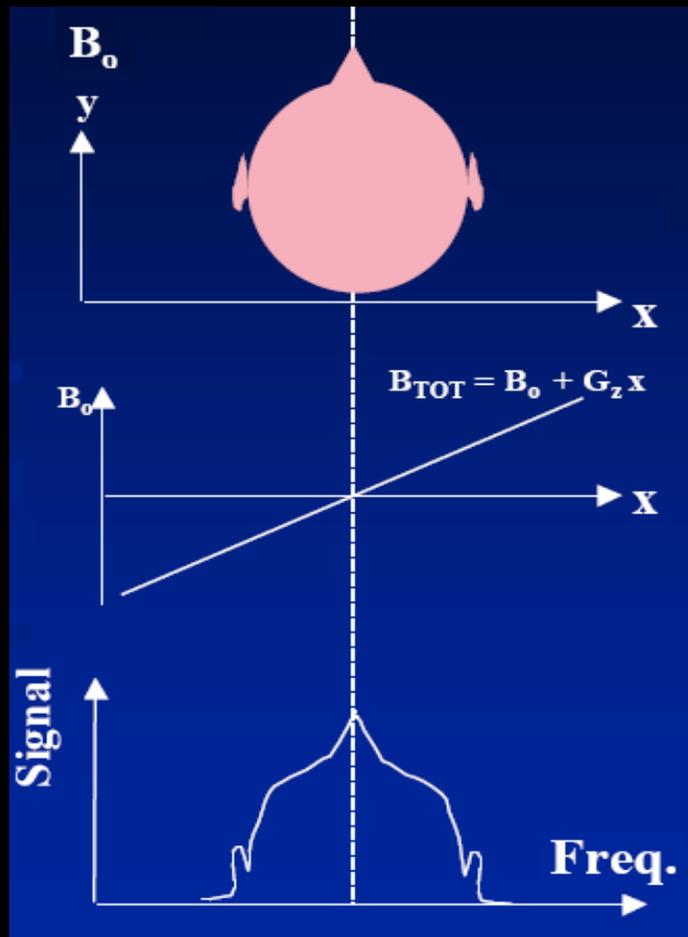
Relaxation

Protons émettent de l'énergie

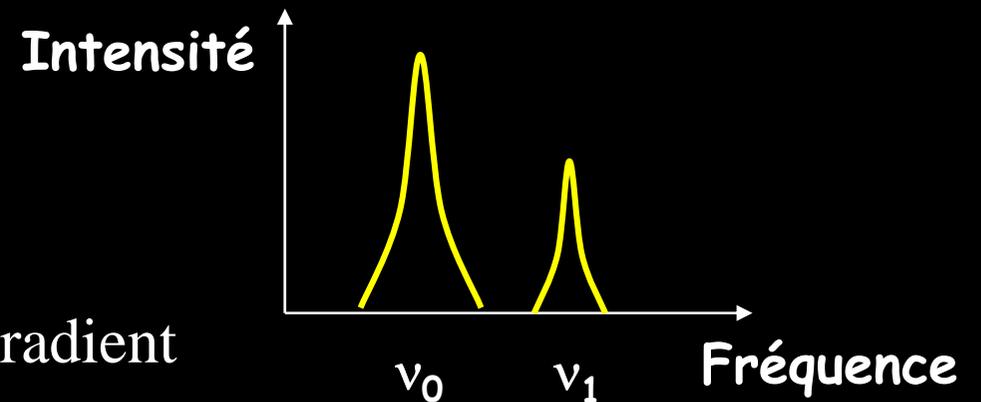
Signal de précession libre



Encodage par la fréquence : position α fréquence de précession

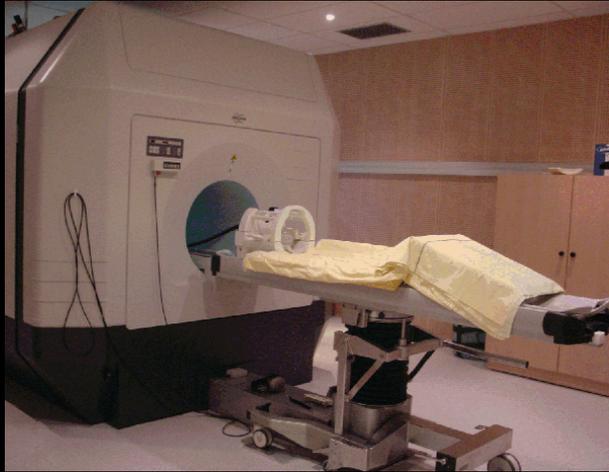


avec gradient



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

Des Images RMN : Anatomie



Imageur 3T



Anatomique

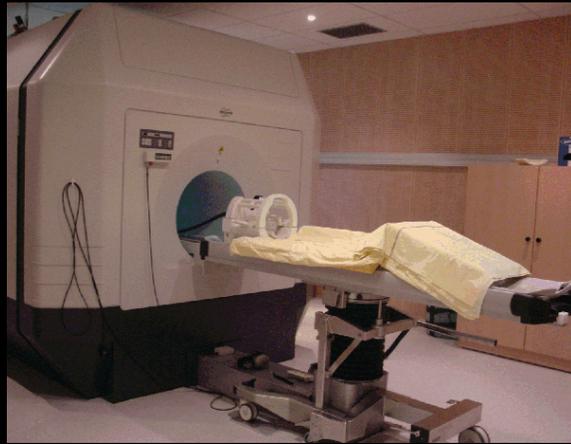


transverse

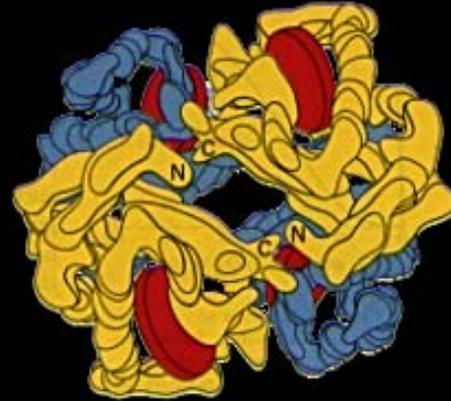


sagittale

IRM fonctionnelle



+

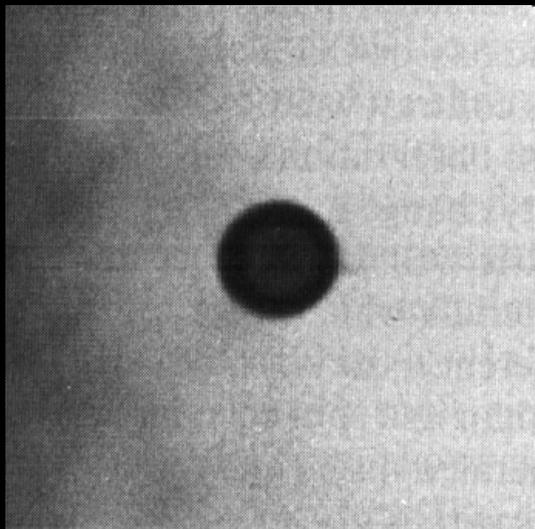


HbO_2 = Oxyhémoglobine
diamagnétique

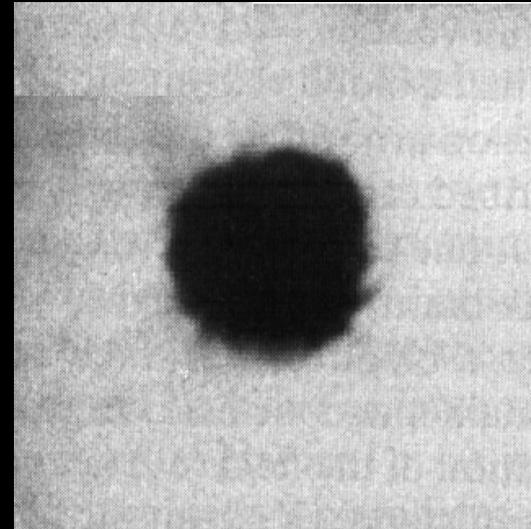
Hb = DésOxyhémoglobine
paramagnétique

Un imageur

Hémoglobine



oxy Hb

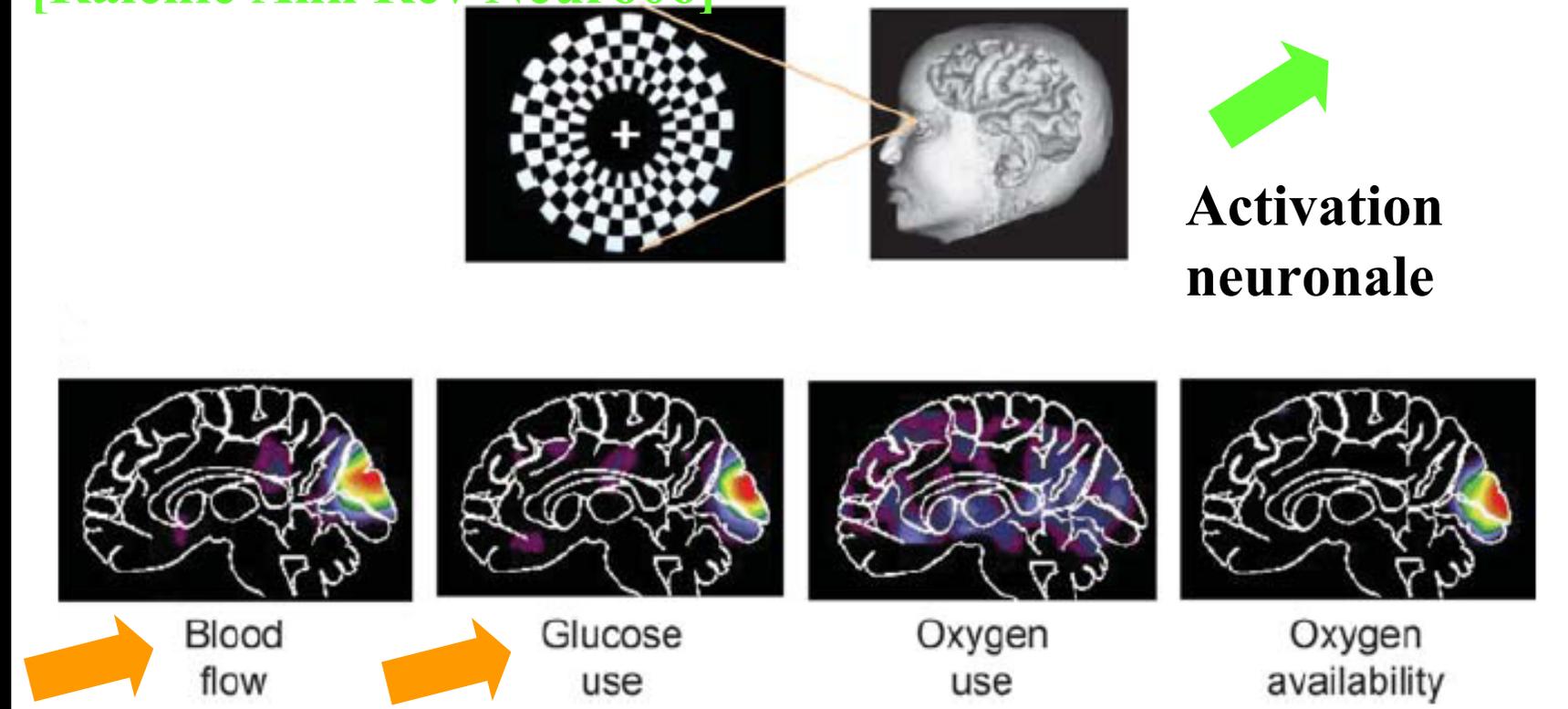


déoxy Hb

[Ogawa et al, MRM
14: 68-78 90]

IRM fonctionnelle

[Raichle Ann Rev Neuro06]



Repos : sang veineux 60% HbO₂-40% Hb

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

Hb/HbO₂

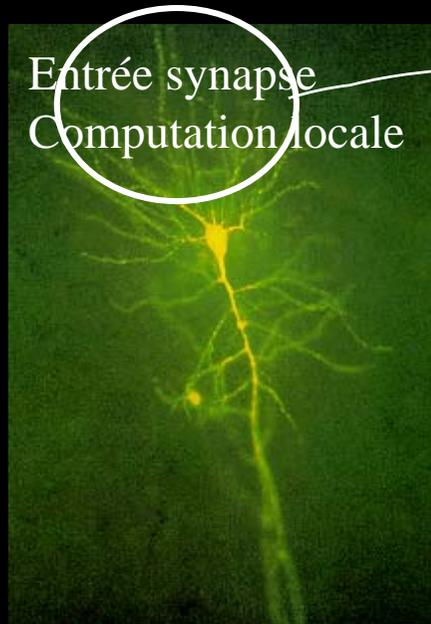
Perturbations
locales
de B₀



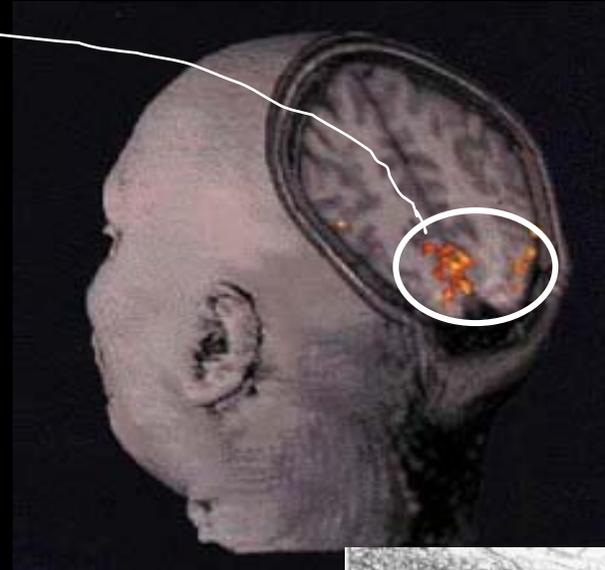
RMN mesuré (effet BOLD)

IRMf ...

Technique non invasive et indirecte



Répercussions
-métabolique
-hémodynamique



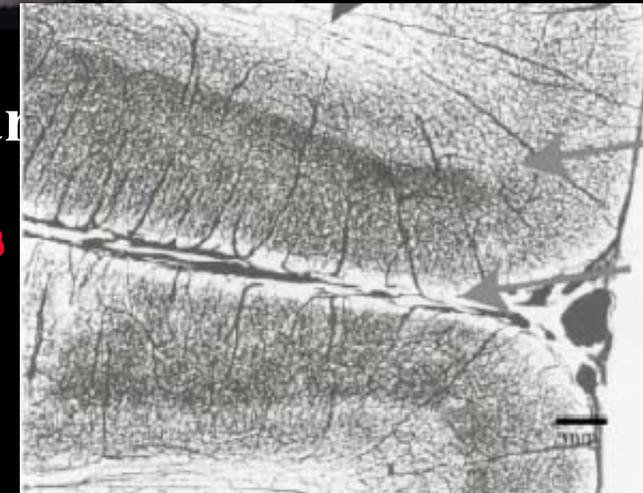
Activité neuronale

Imagerie par

Couplage neuro-vasculaire mal connu

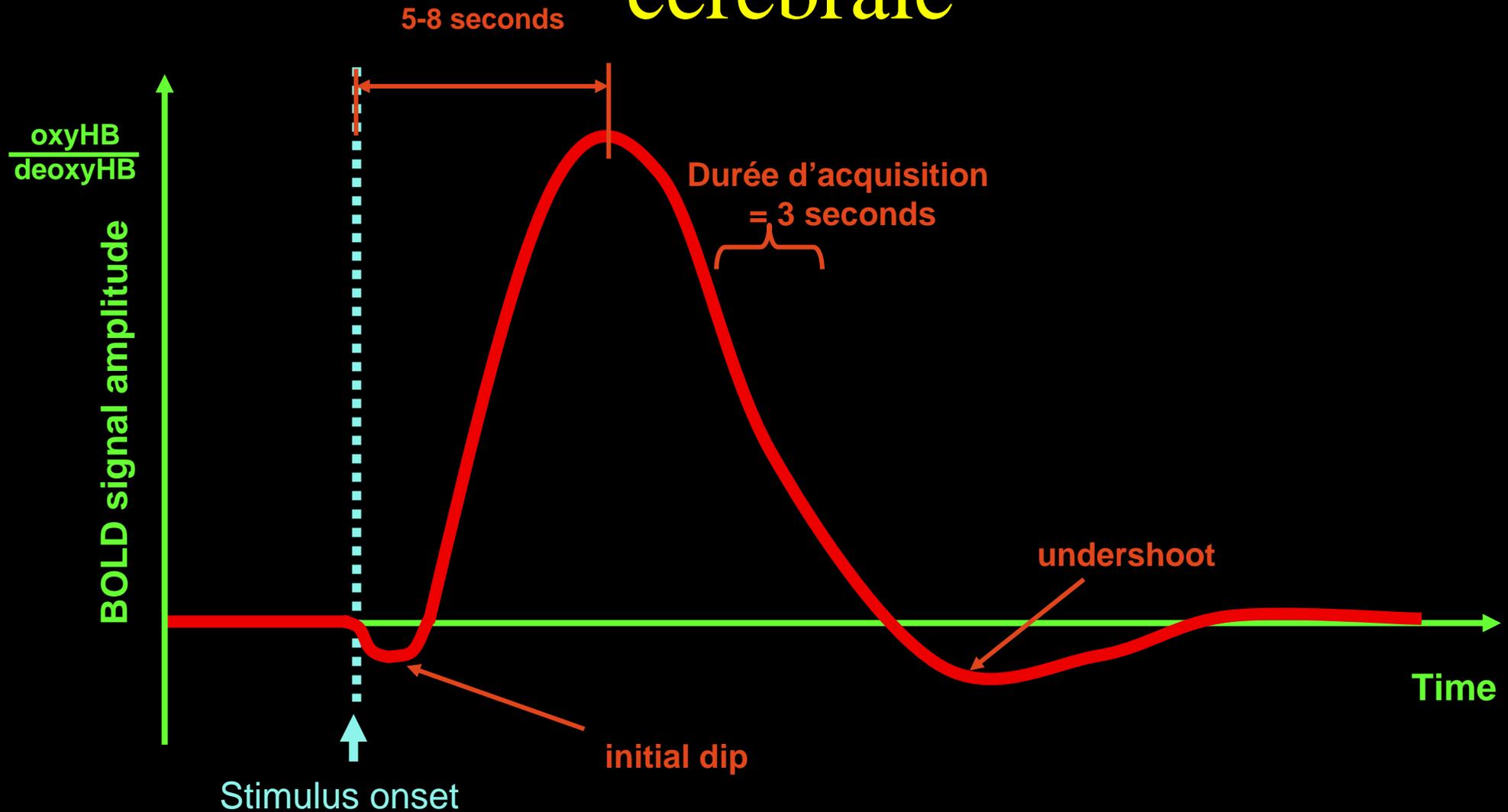


La meilleure technique actuelle
pour localiser l'activité neuronale

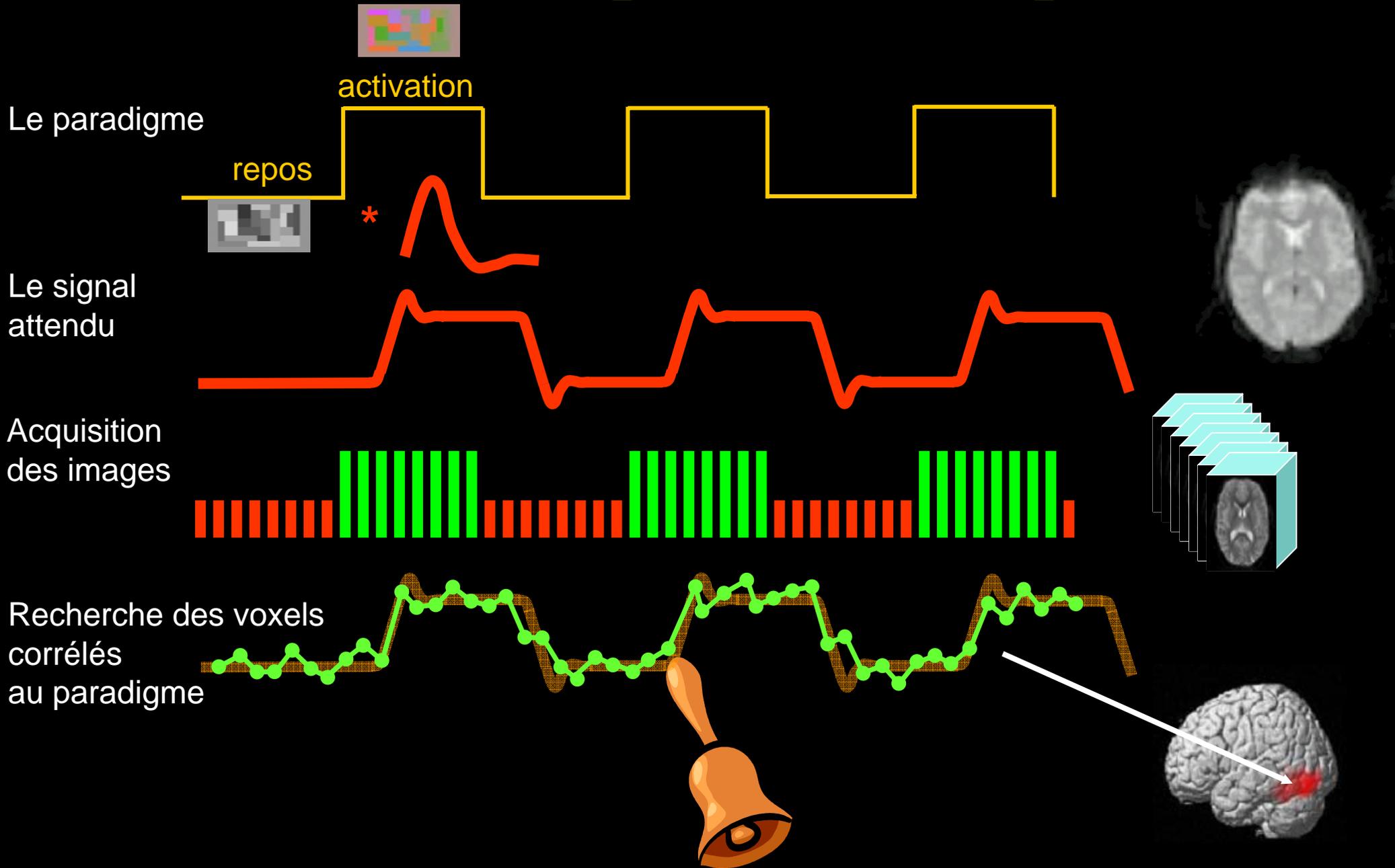


[Duvernoy 99]

La réponse hémodynamique cérébrale



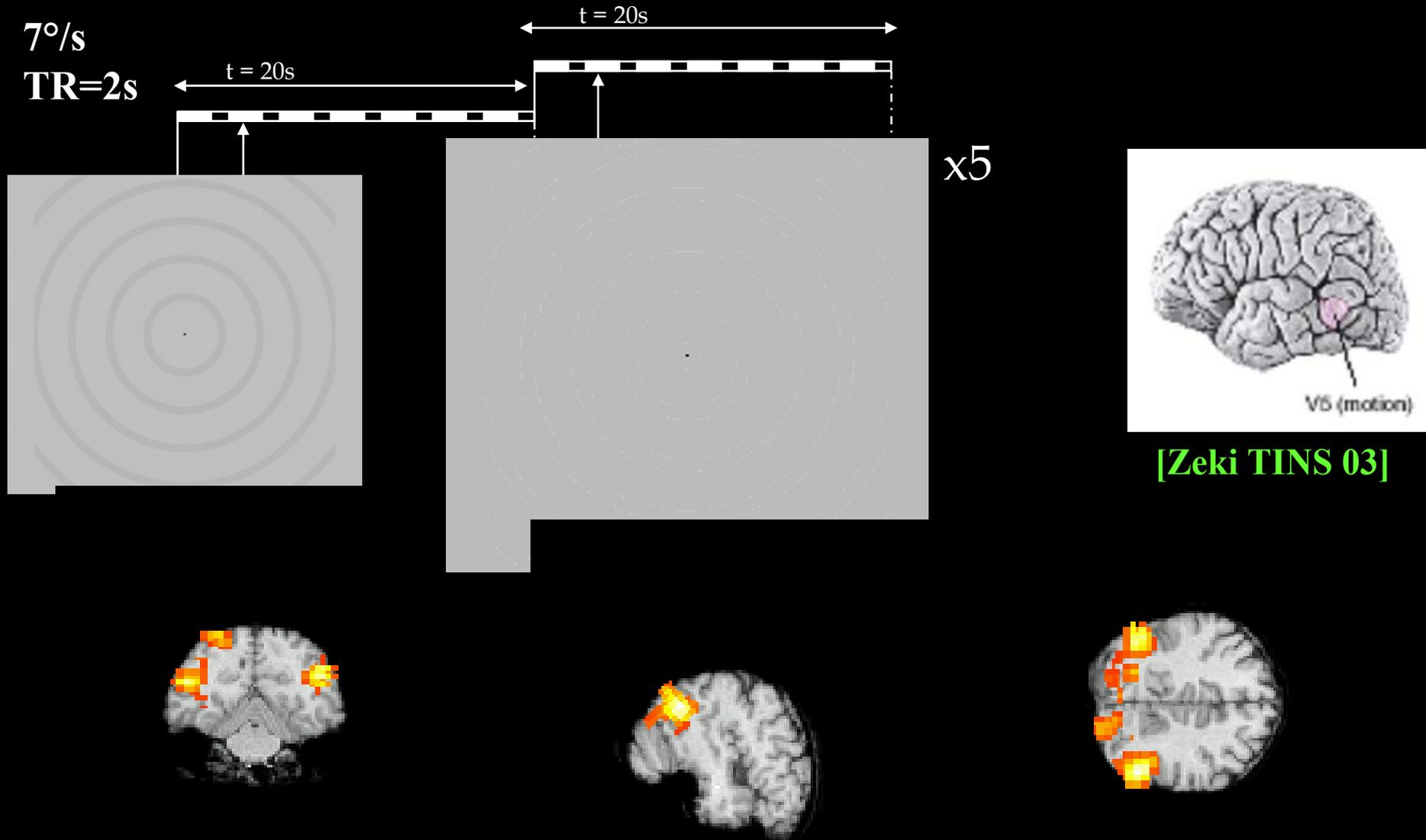
Une expérience complète

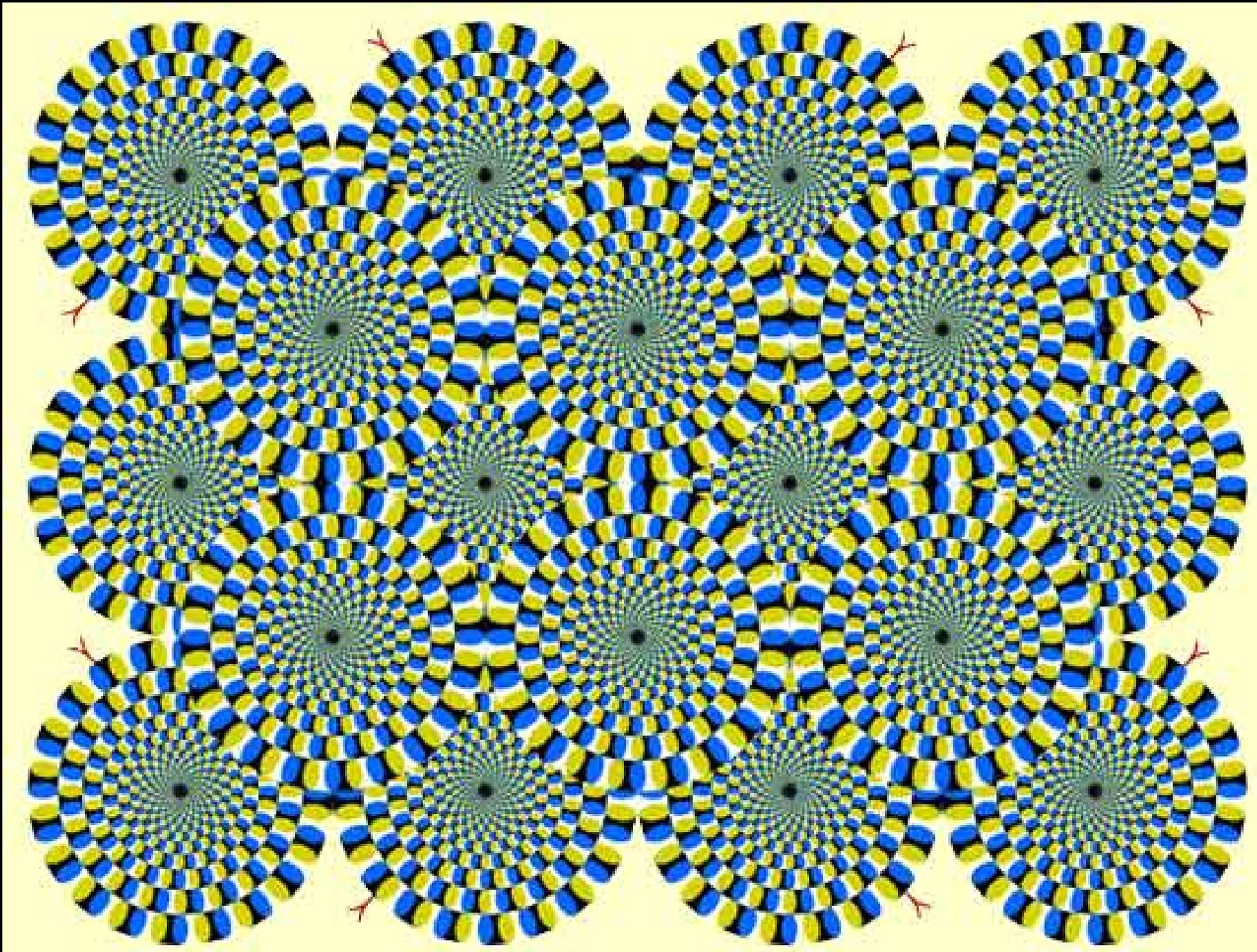


Investigation
du Système
Visuel ...

Expérience en Blocs

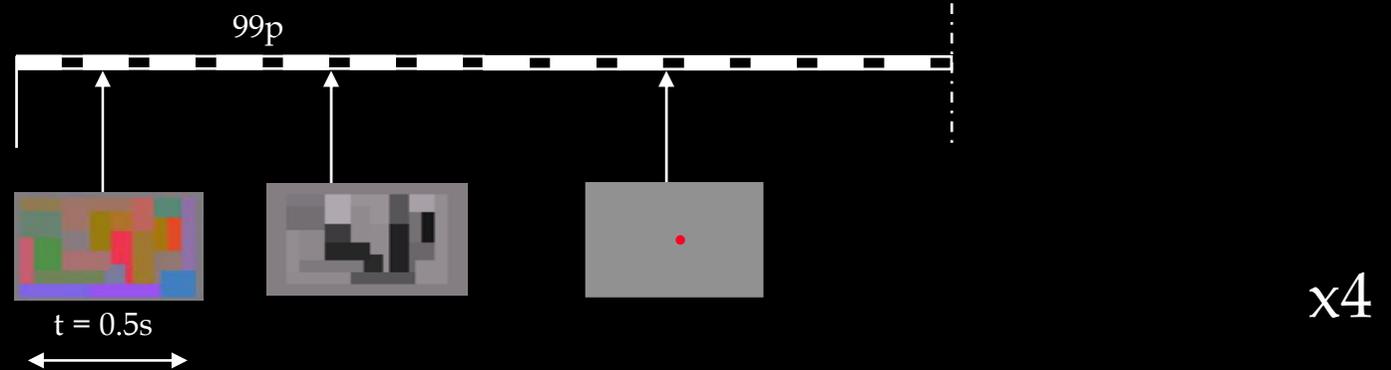
Représentation Corticale du mouvement : aire V5





Expériences événementielles

Evénements



Voxel = 4 x 4 x 5 28 coupes de 5 mm 99 dynamiques TR = 3.01

12 sujets

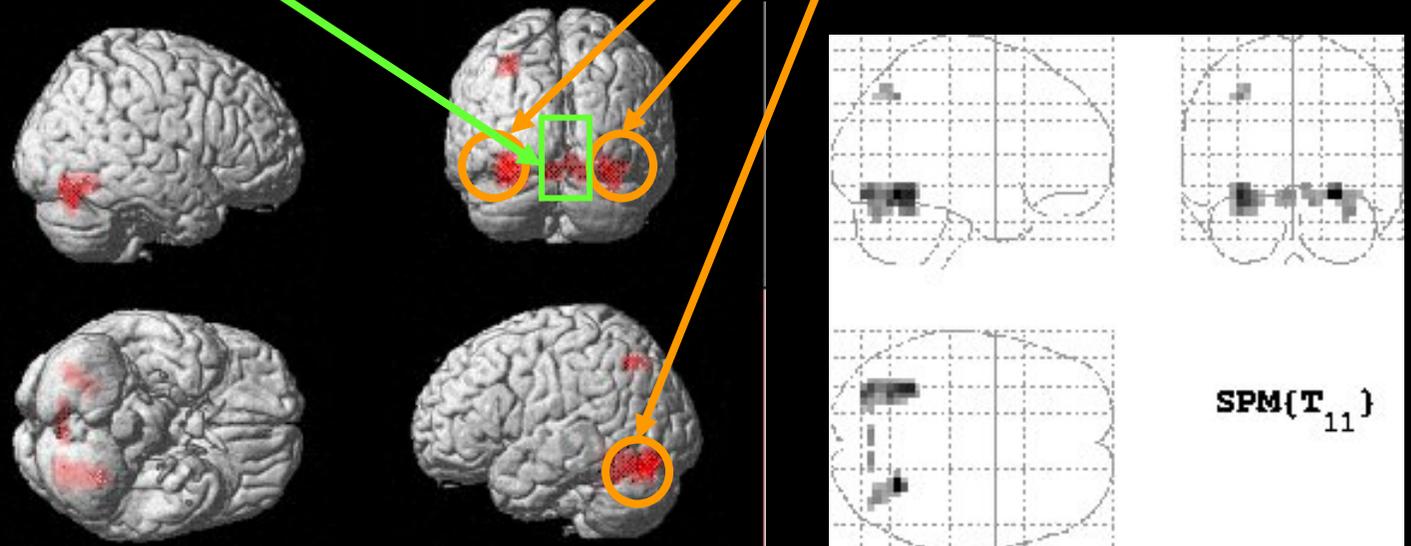
[±26,-67,-11]

Zmax=4.4

p=0.001 uncorrected

Pas exclusivement

Aire sensible à la couleur



Synesthésie : Perception de couleur sans couleur

Synesthésie ou union des sens

« lorsque j'entends de la musique ou même lis de la musique, je vois des couleurs » **O. Messiaen** *Musique et couleurs*. Belfond, Paris 1986

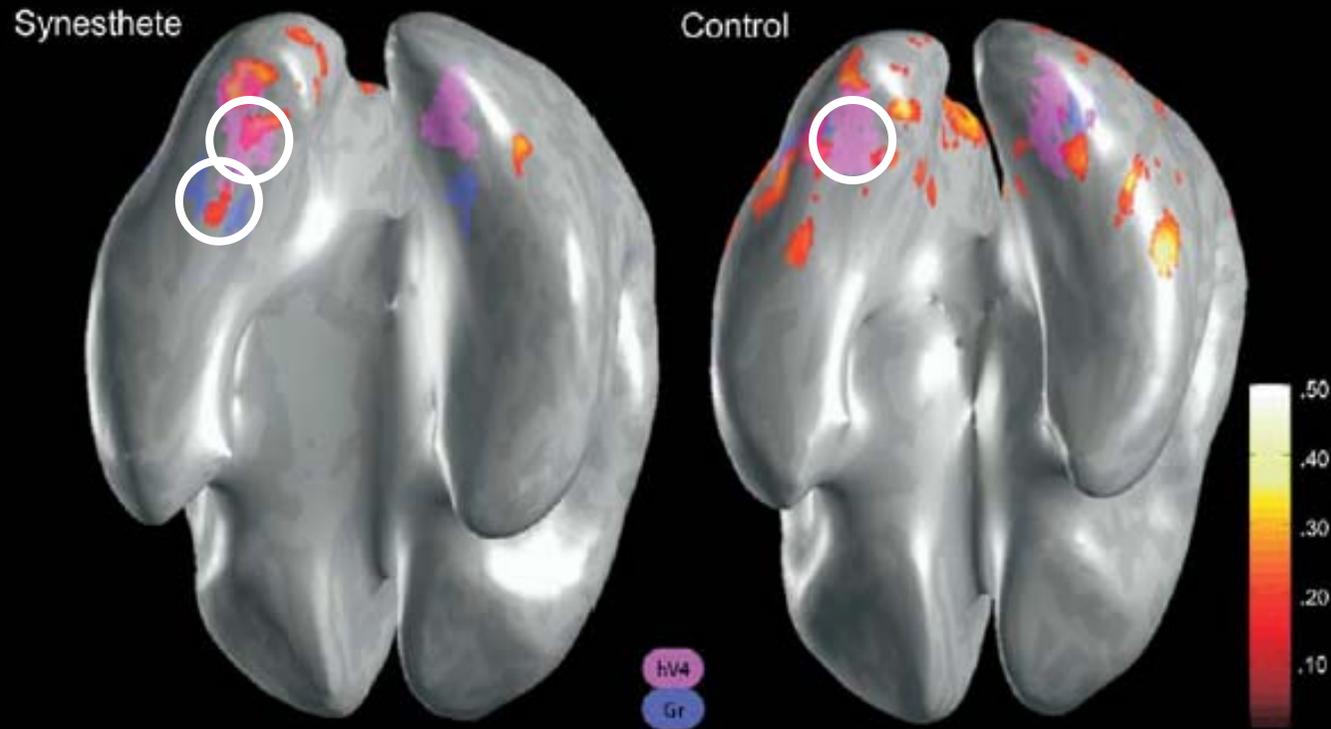
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 etc

Lundi Mardi Mercredi Jeudi Vendredi Samedi Dimanche

A D E G J L N P Q Y Z

ظ ط ض ص ش س ژ ز ر ذ د خ ح چ ج ث ت پ ب آ ا

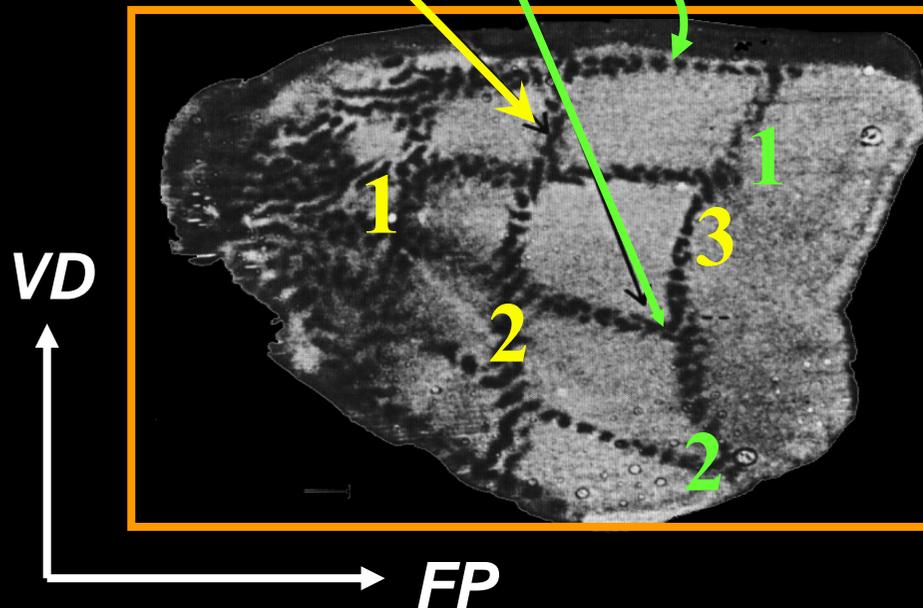
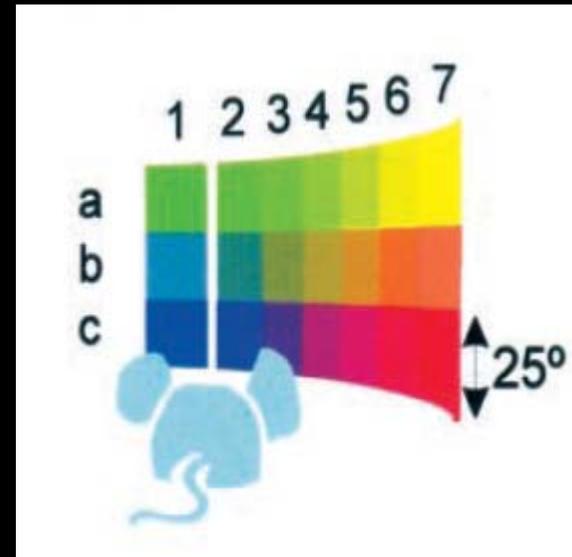
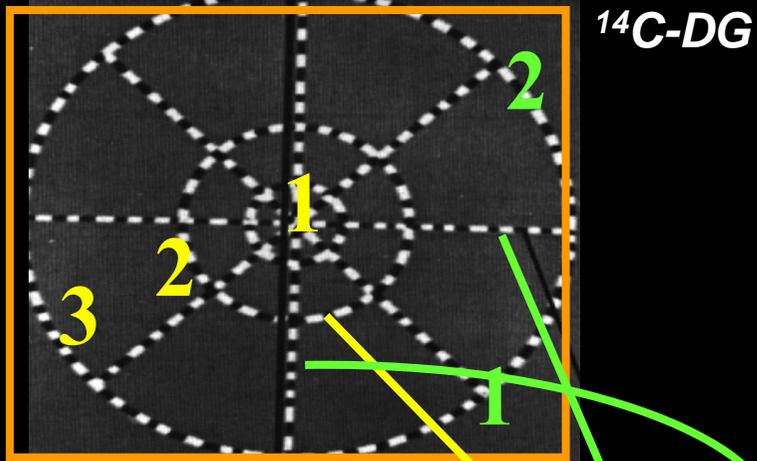
Synesthésie : un modèle naturel d'étude



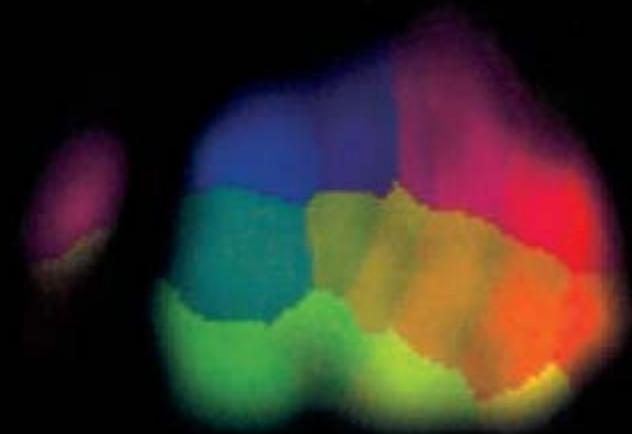
1 sujet

[Hubbard et al. Neuron 05]

Organisation rétinotopique

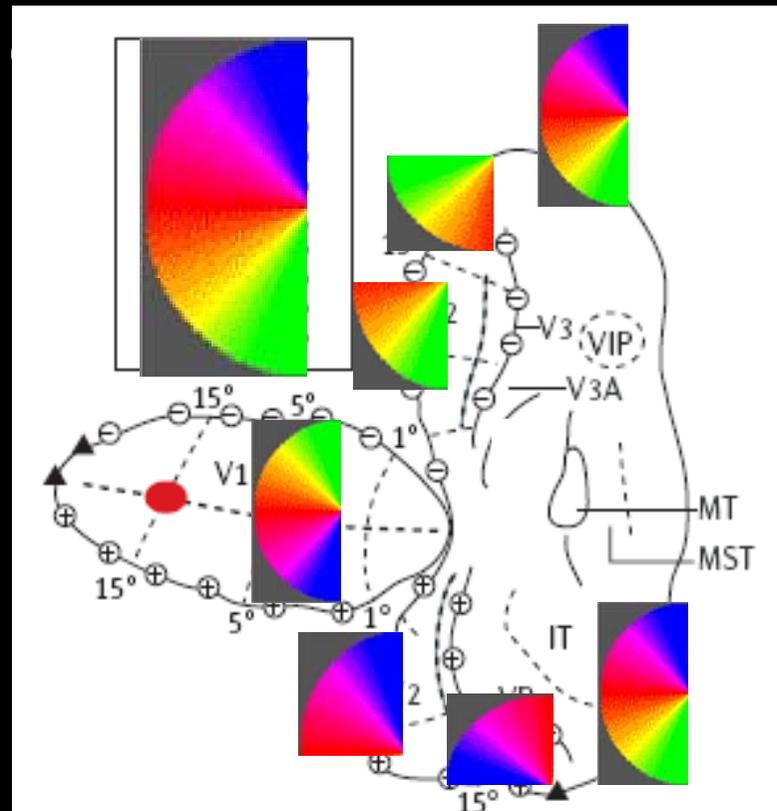


[Tootell et al, J Neurosci 8:1531 1988]



[Schuett J Neurosci 22:6549 2002]

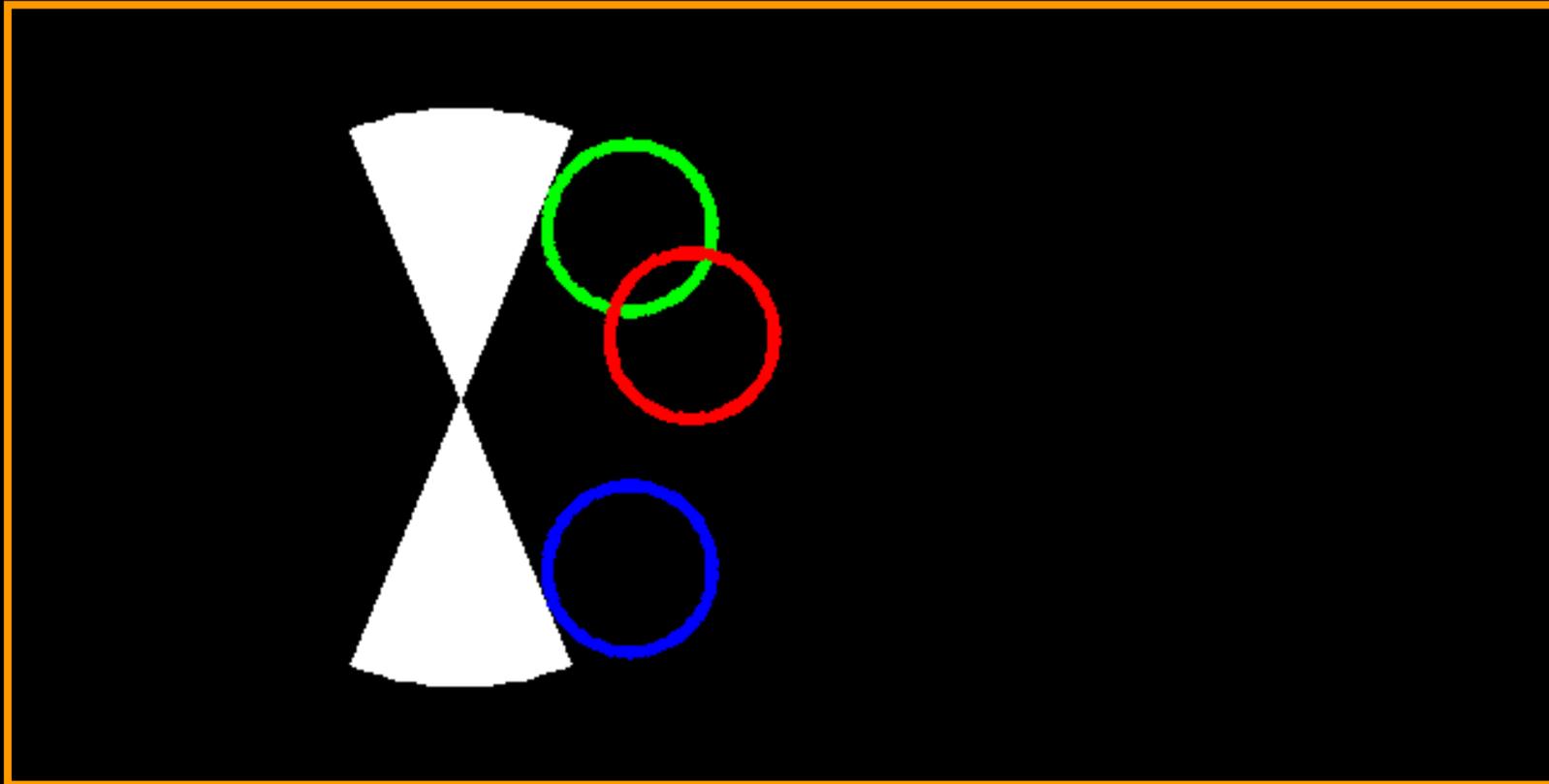
Organisation rétinotopique



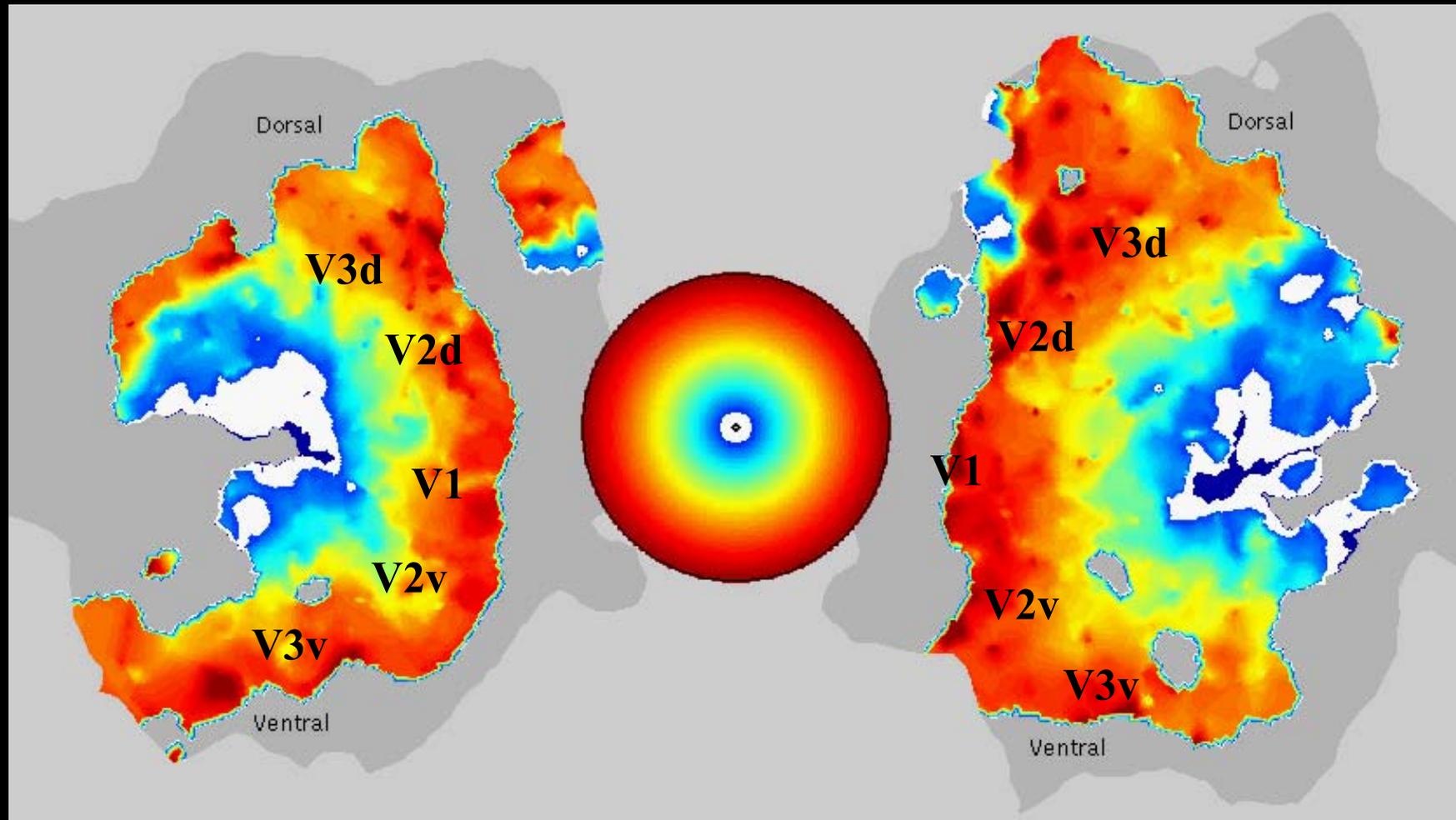
[Komatsu, 2006 NatNeuro]

Encodage en phase : réponses vasculaires

Correspondance entre angle polaire dans le champ visuel et phase de la réponse neuronale



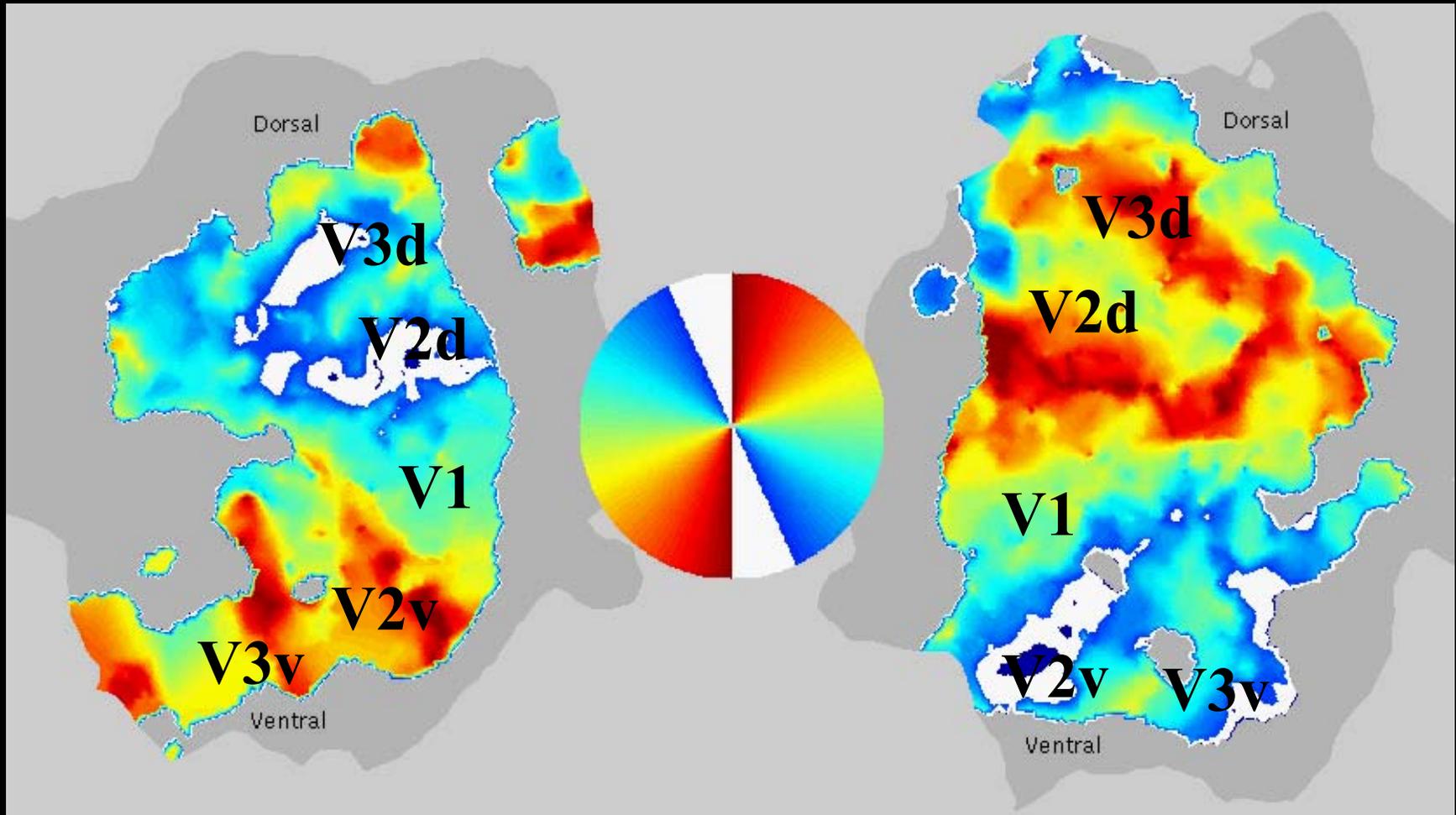
Rétinotopie de l'excentricité en 2D



Gauche

Droit

Rétinotopie de l'angle polaire en 2D



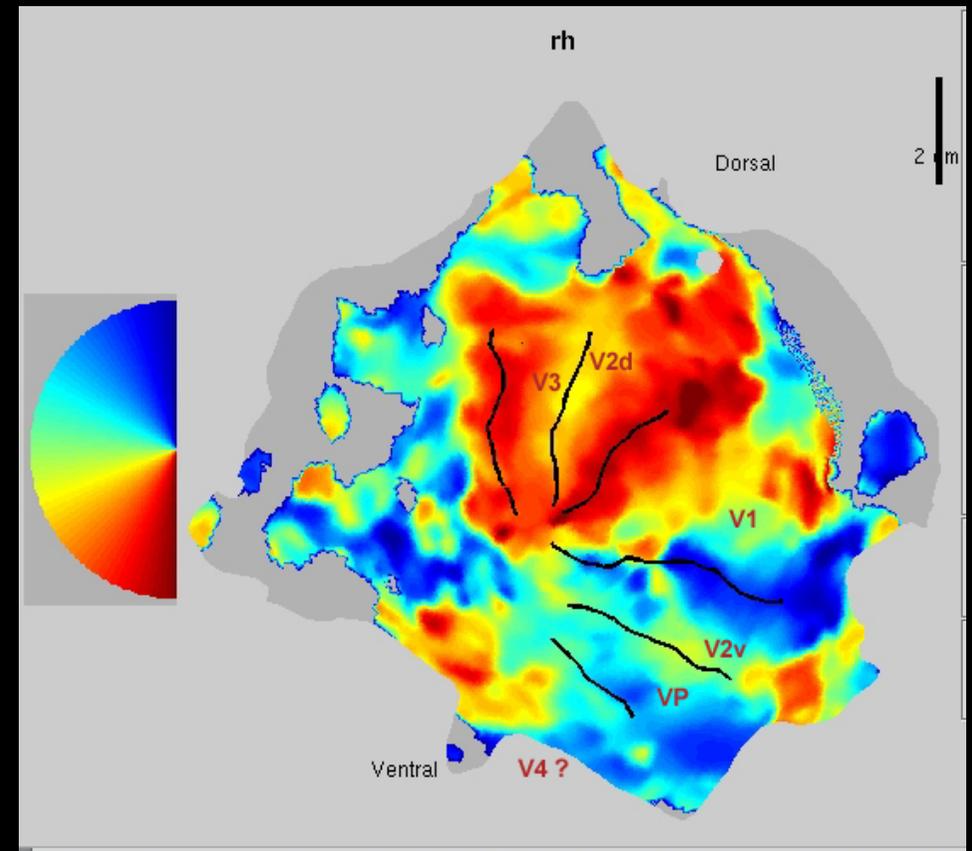
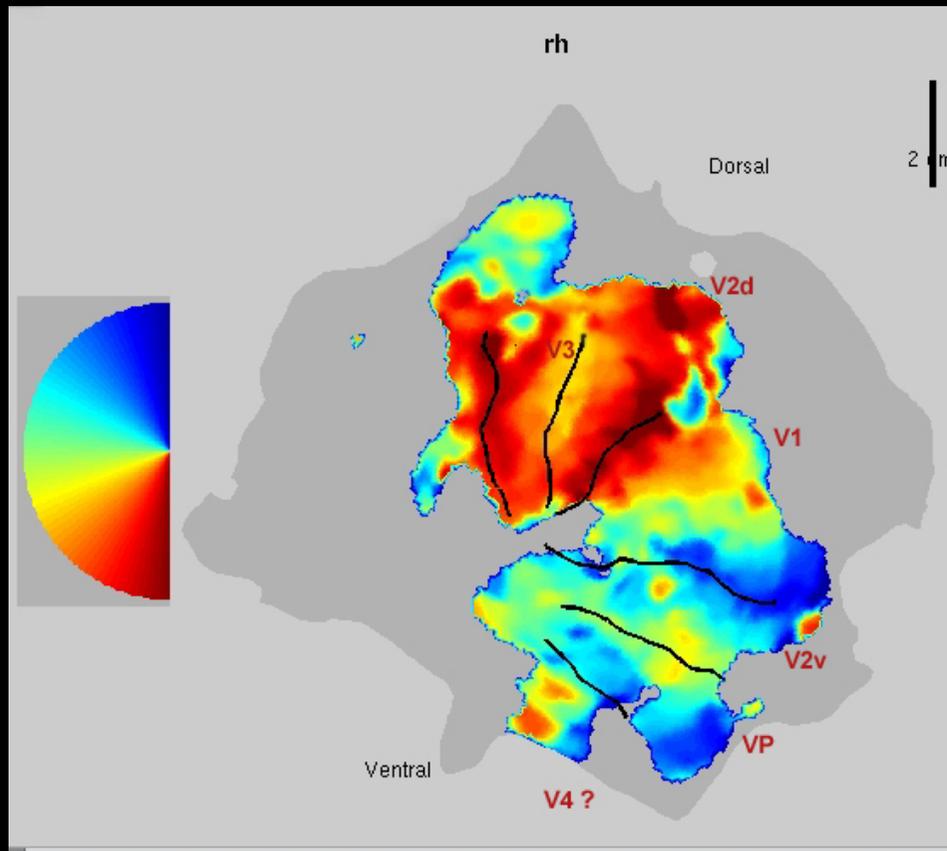
Hémisphère gauche

Hémisphère droit

Délimitation des aires visuelles

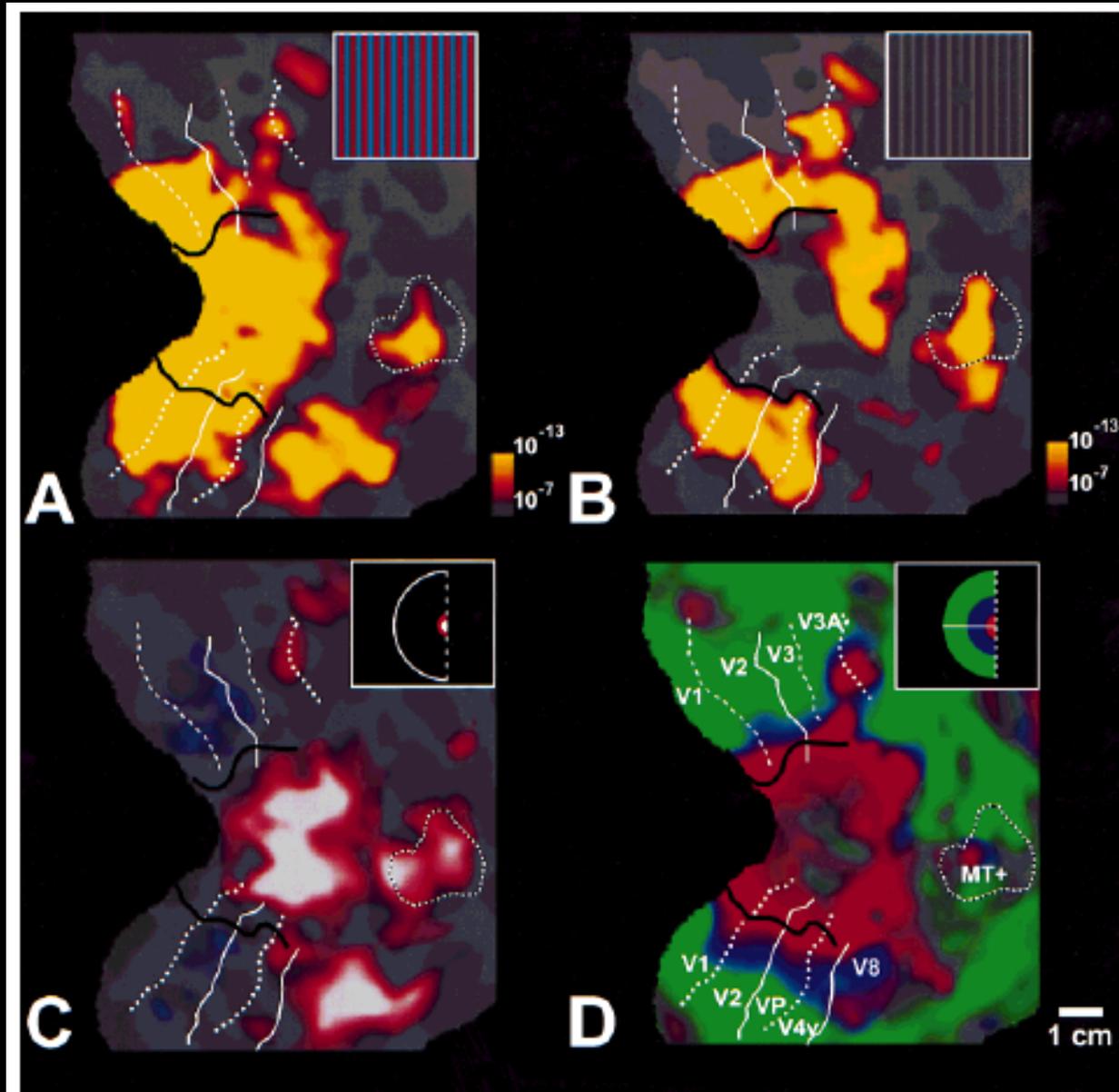
à 1,5T

à 3T



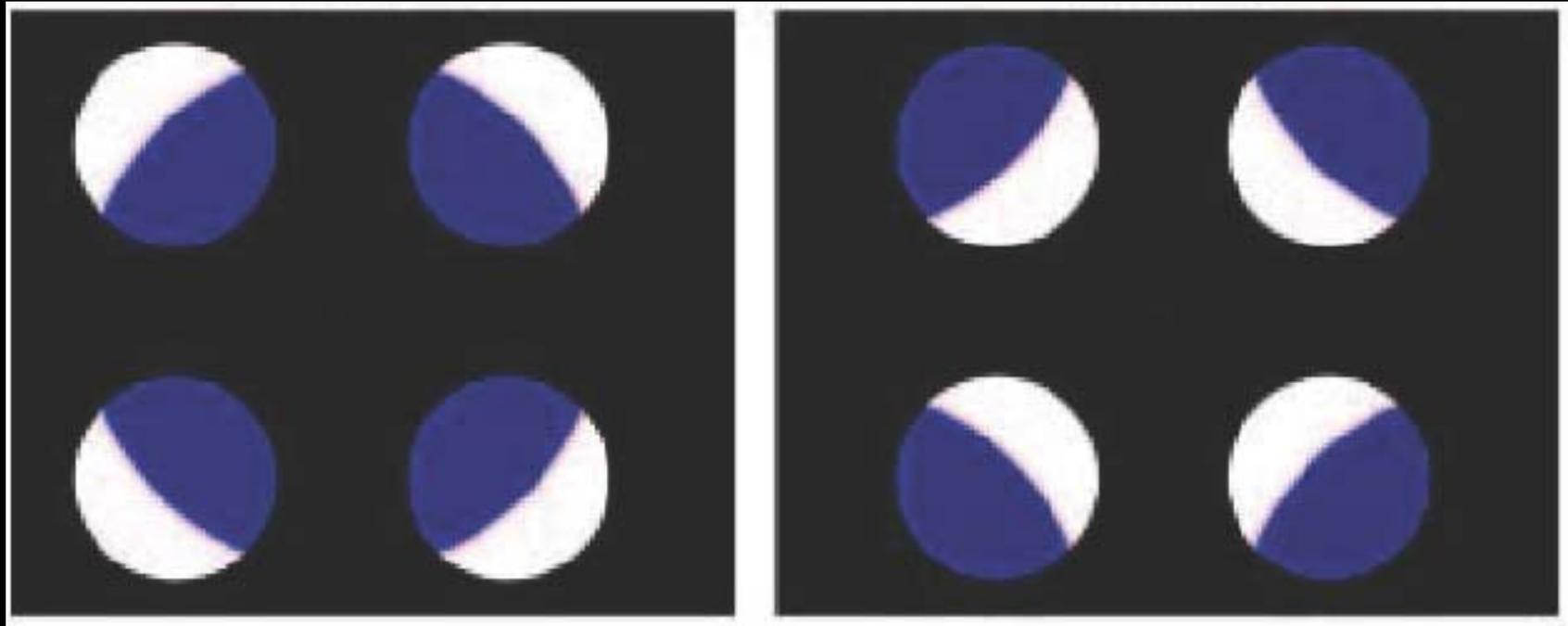
Cônes et Bâtonnets : étude par fMRI

[Hadjikhani et Tootell HBM 98]



Neon Color-Spreading

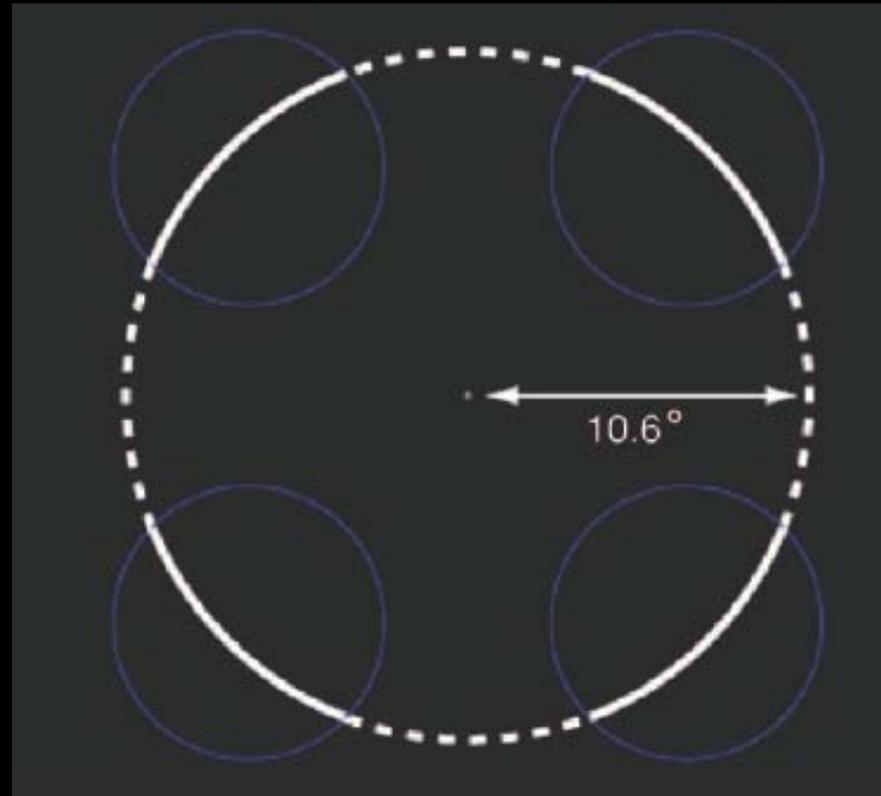
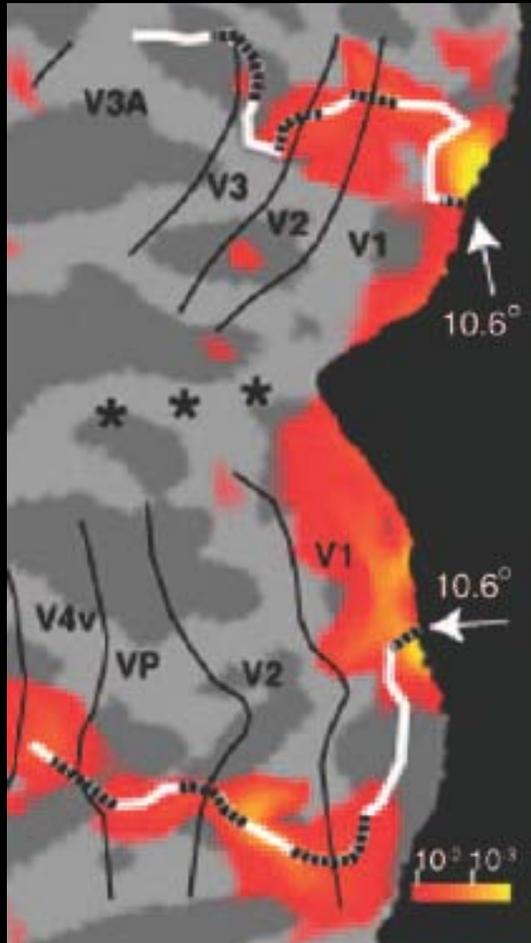
Ou se fait le remplissage coloré ?



[Sasaki et Watanabe PNAS 2004]

Expérience en blocs (3T, surface coil)
Contrôle rigoureux de l'attention

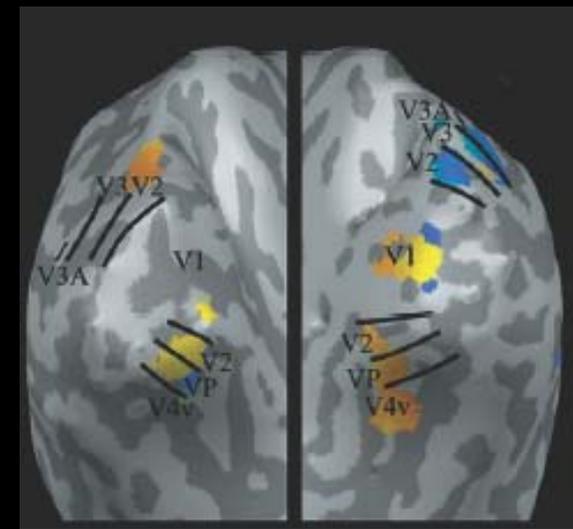
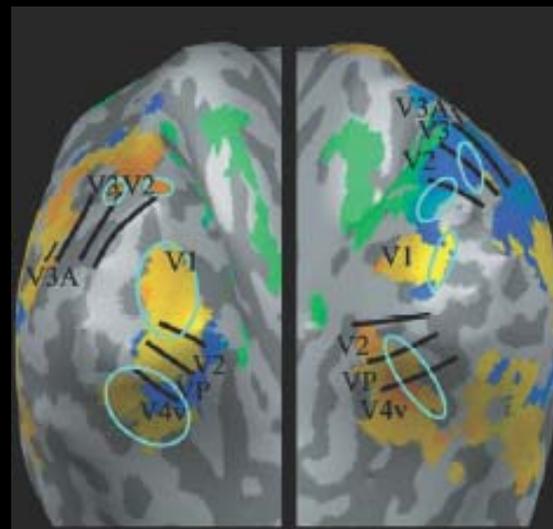
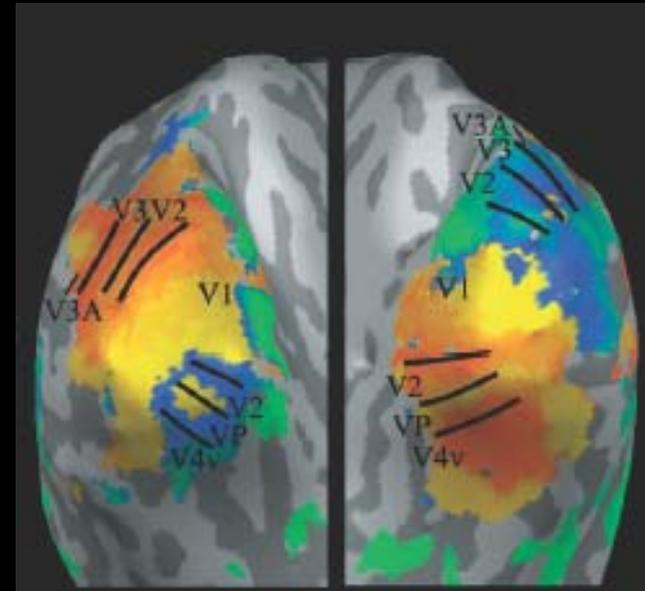
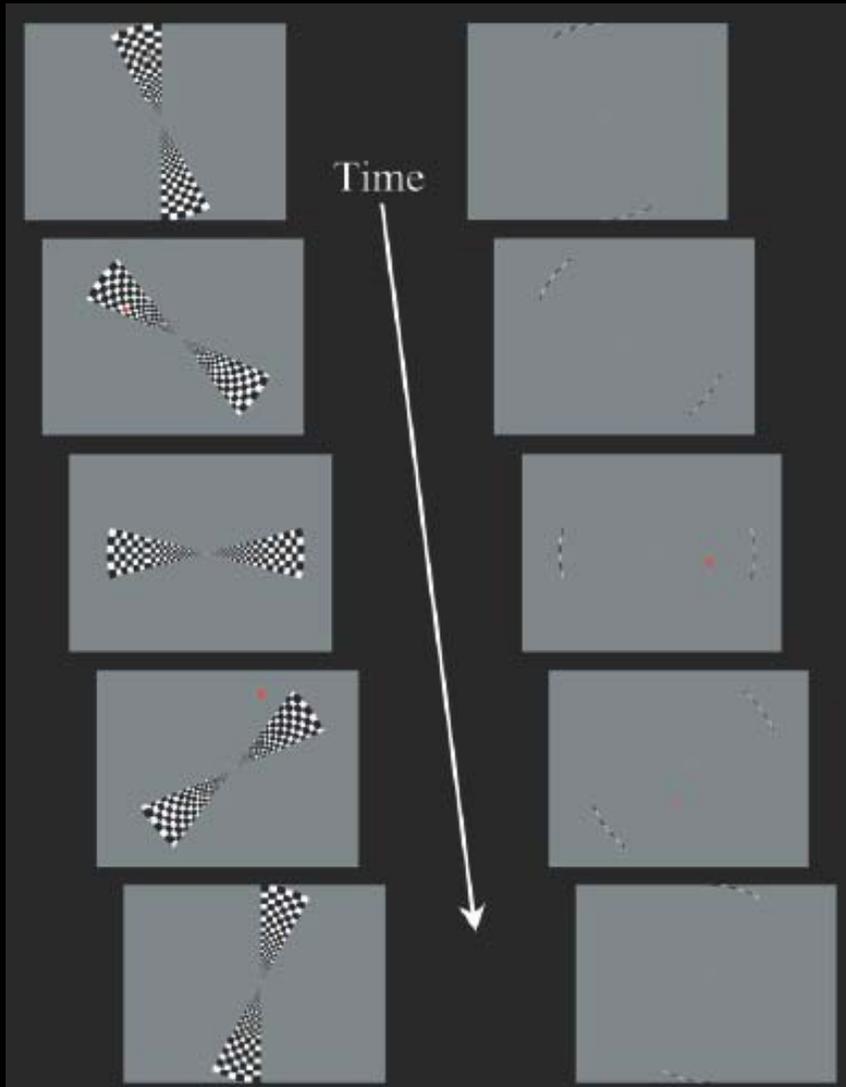
Représentation de la surface colorée en V1



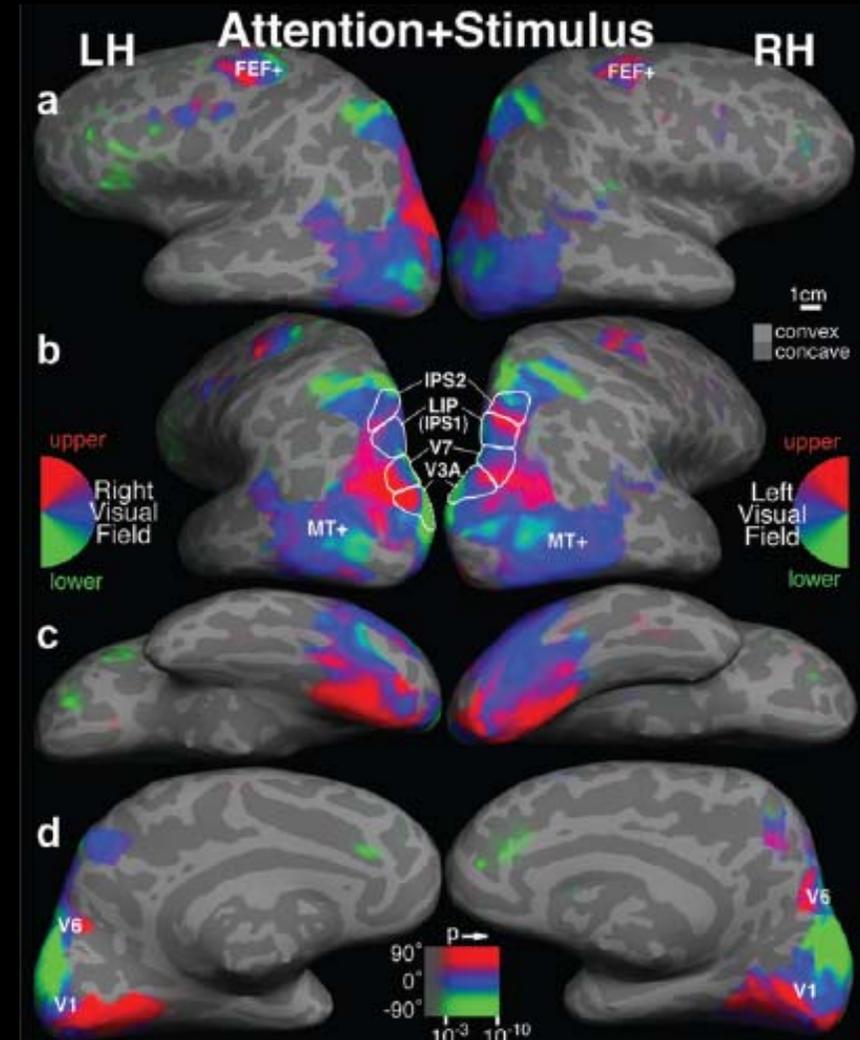
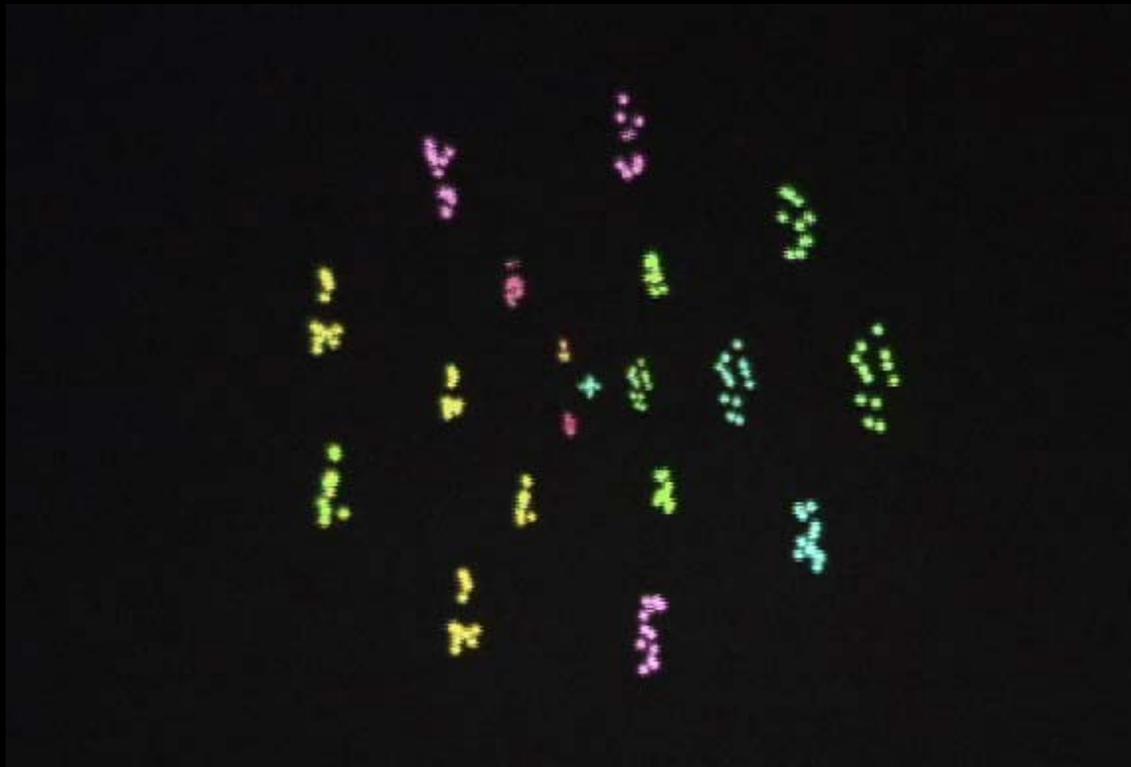
Rôle de l'attention ?

Activations Rétinotopiques

Imagerie mentale induit-elle une activation dans les aires primaires ? [Slotnick et al. CC 05]



Retinotopie : Au-delà du lobe occipital



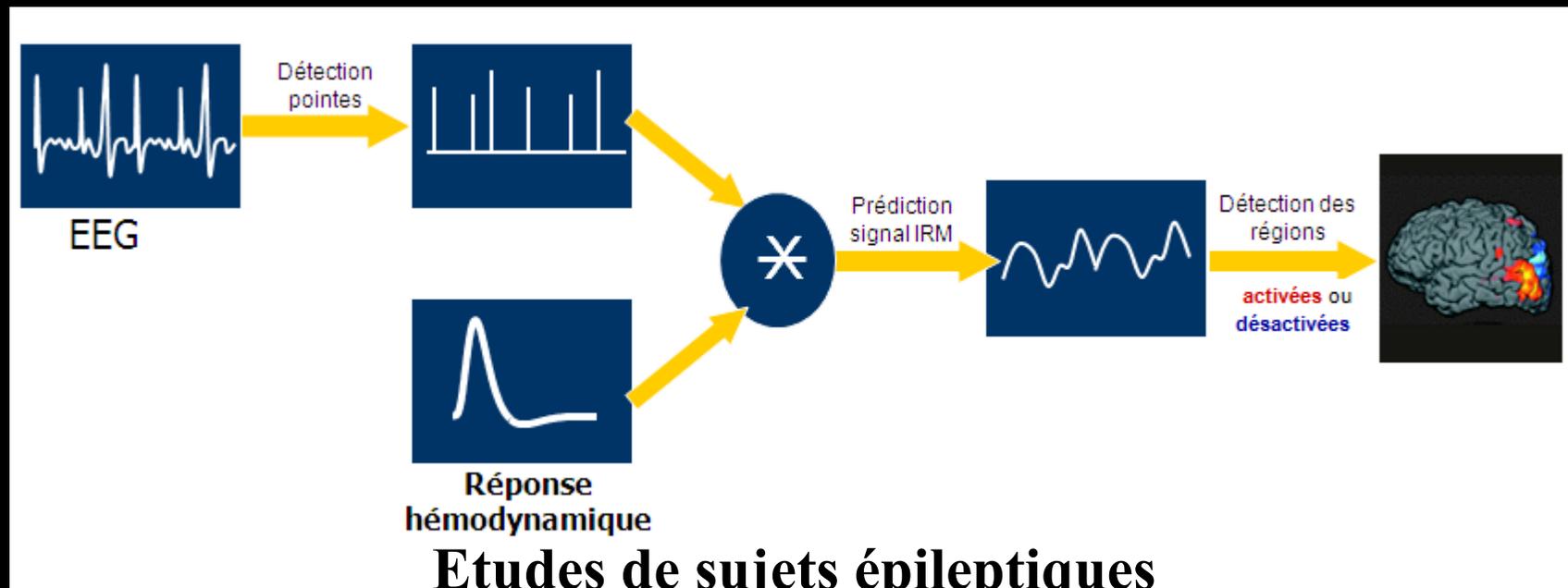
[Saygin and Sereno CC 08]

Couplage des Techniques

- ◆ Allier Résolution Temporelle (EEG/MEG) & Résolution Spatiale (IRMf)

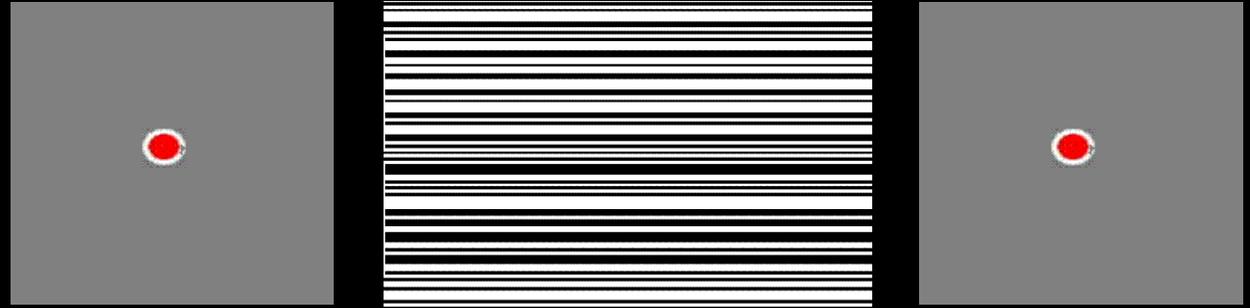
EEG & IRMf simultanés :

Résoudre les problèmes d'artéfacts (mouvements, signaux cardiaques, gradients, ...)



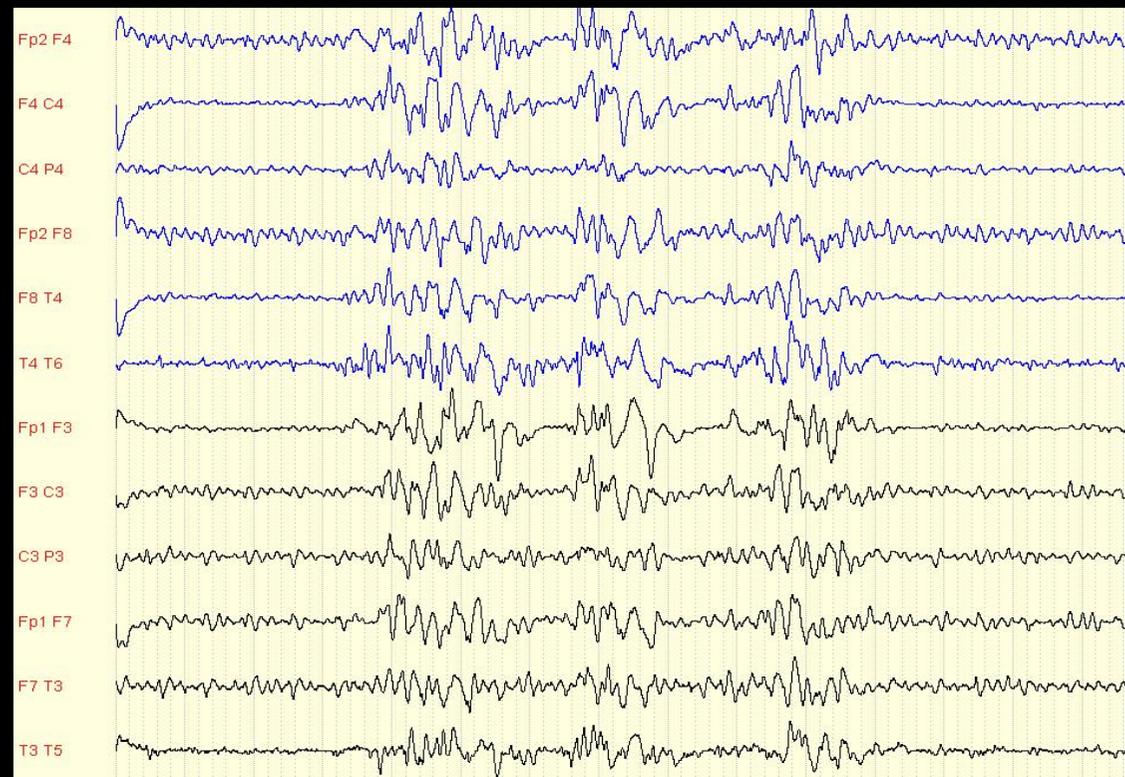
Épilepsie focale :

**Patiente 23 ans avec
photosensibilité aux
rayures :**



✓ **Cartographie des
aires visuelles**

✓ **Cartographie des
aires épileptiques**

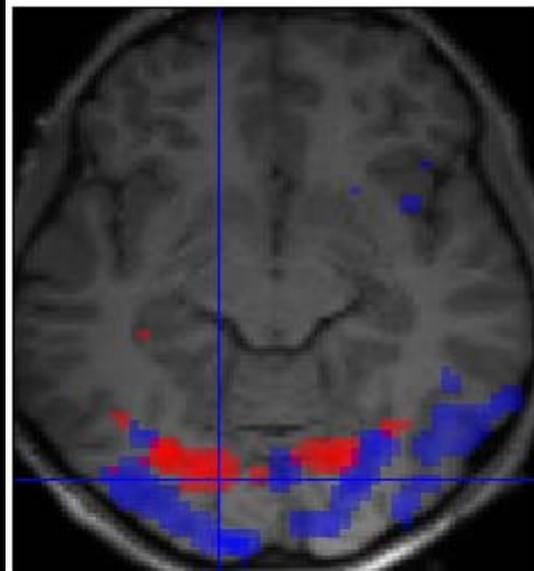
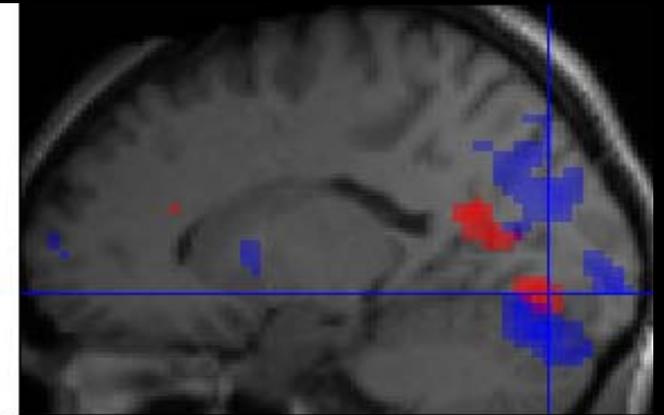
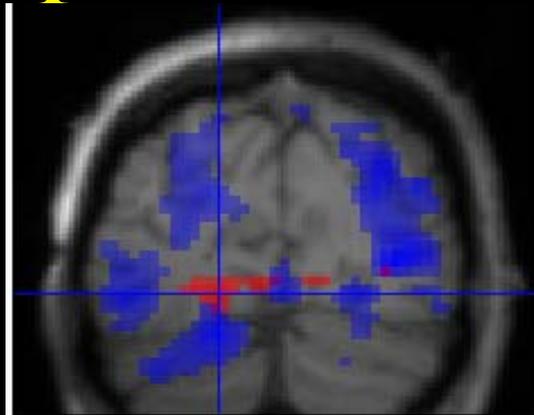
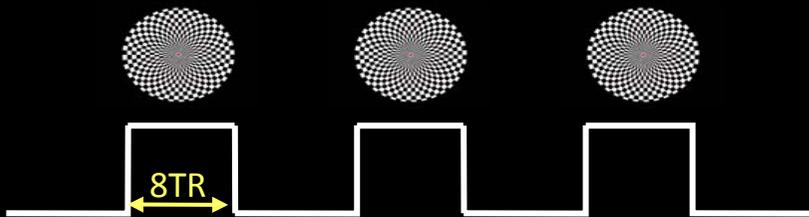


[Thèse Grouiller F. 08]

Épilepsie focale :

✓ Activité épileptique localisée à proximité du cortex visuel primaire

✓ Activation atypique des aires visuelles

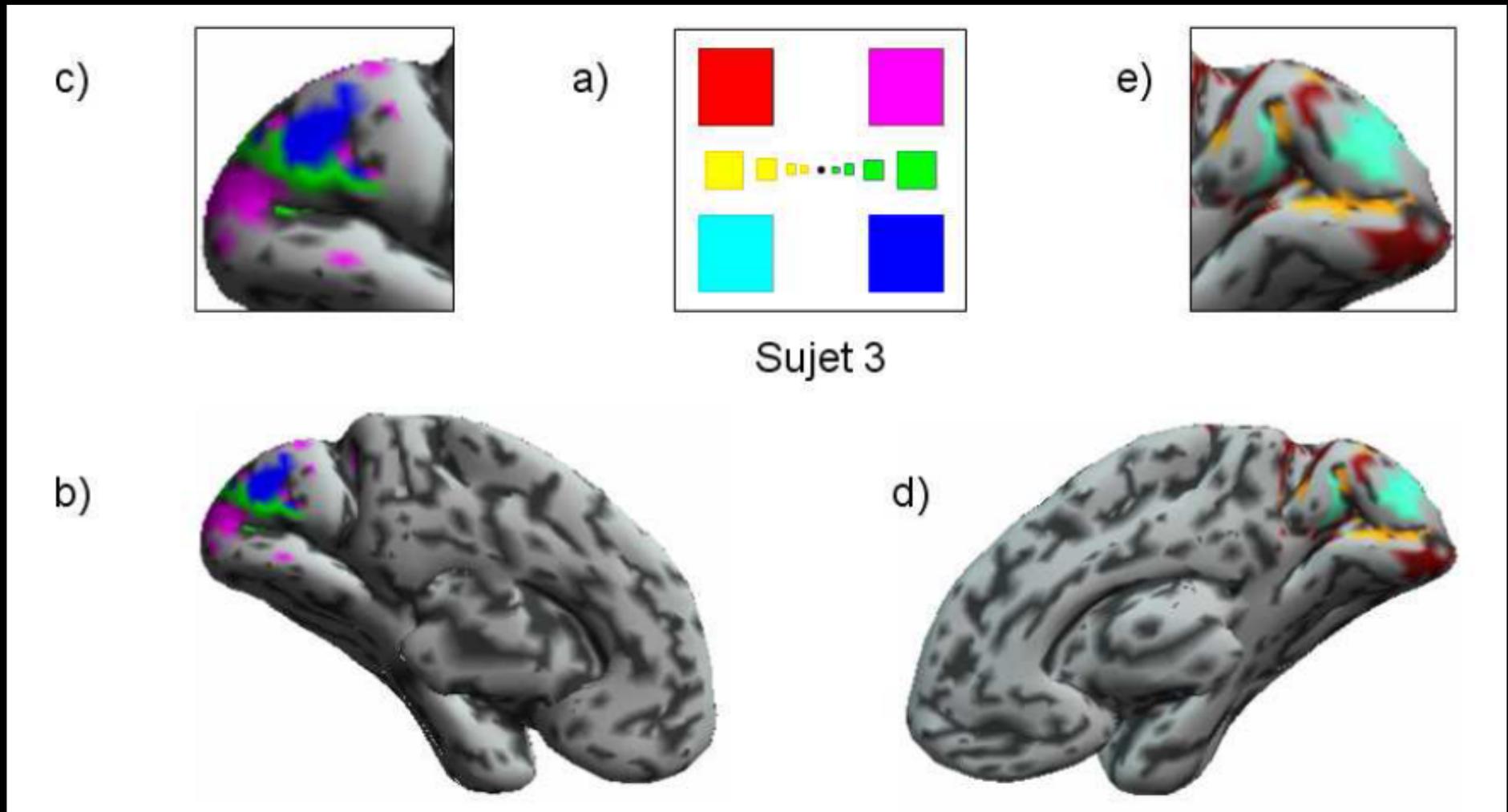


Activité épileptique :
 $t_0 = -1s, \tau = 0,3$

Aires visuelles :
 $t_0 = 0s, \tau = 1$

MEG/IRM

- ◆ Recherche de sources : Parcellisation sur un modèle réaliste de tête utilisation des a priori anatomiques et fonctionnels à l'aide de IRM



MEG-EEG/fMRI

[Sharon et al. NeuroIm 07]

