

# Imagerie par Résonance Magnétique & Tomographie par Émission de Positons: **Applications en neuroscience**

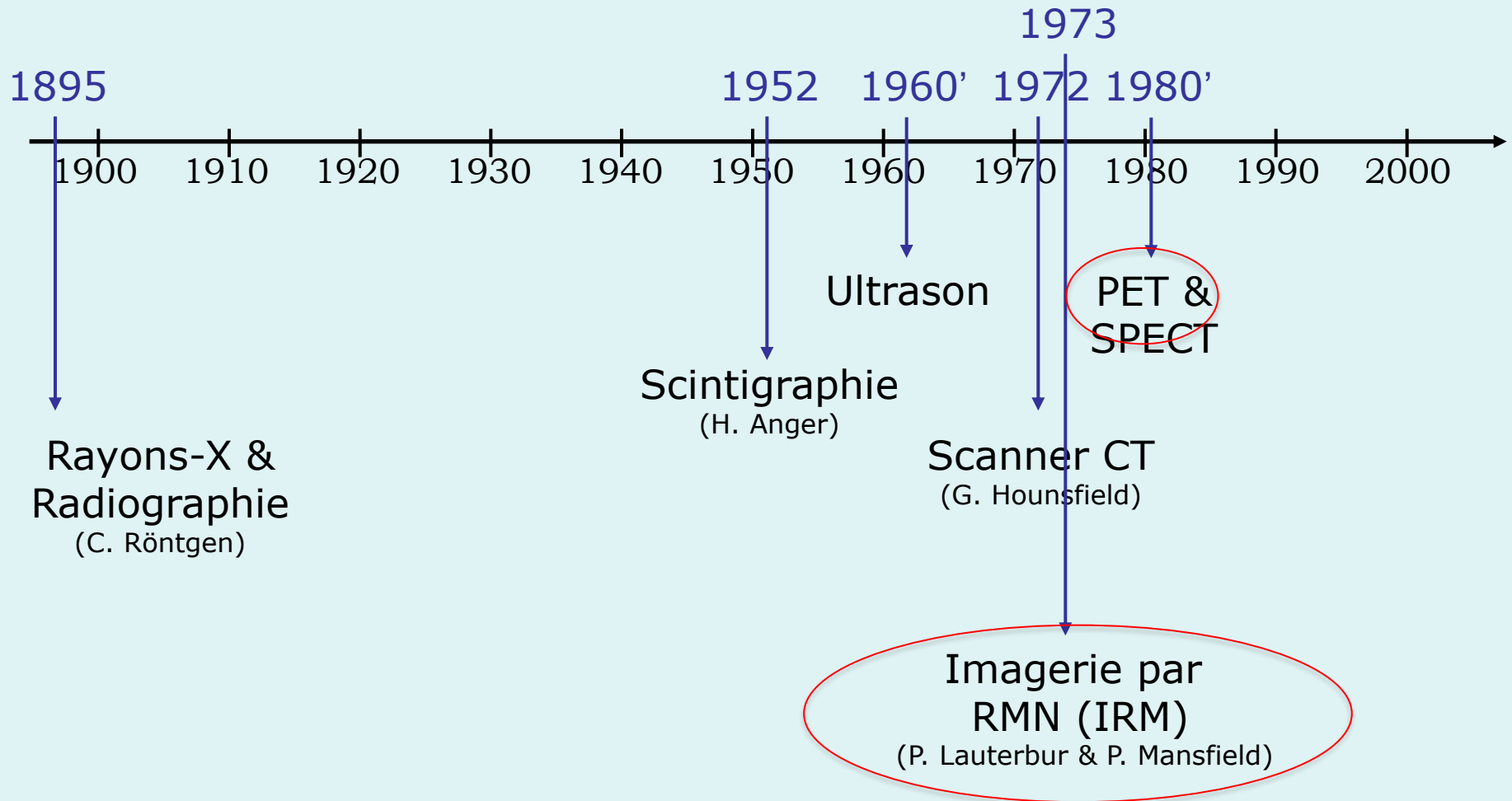
C. Phillips, Ir. Ph.D.  
[c.phillips@uliege.be](mailto:c.phillips@uliege.be)  
<https://giganidata.uliege.be/>

# Imagerie médicale

Que peut-on voir **à l'intérieur** du corps humain?  
**Cela dépend de comment vous le regarder!**



# Historique



# Index

---

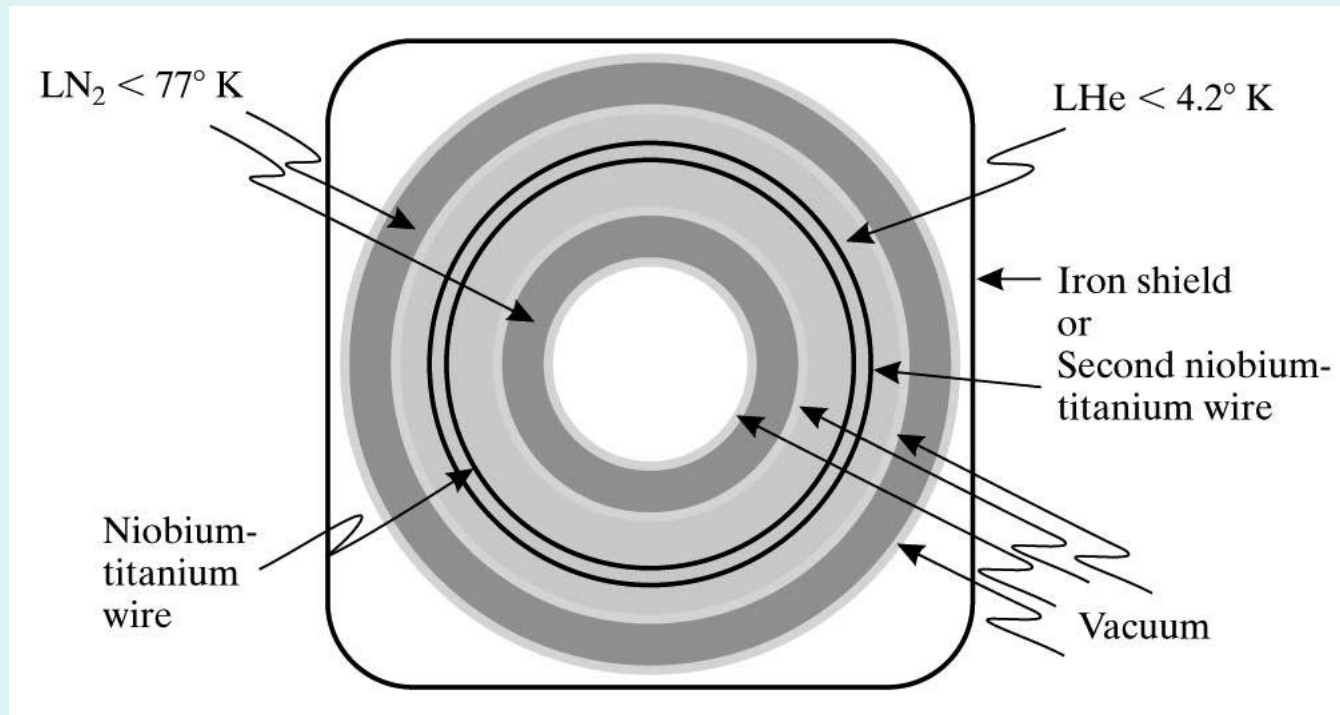
## **IRM et la TEP en neuroscience**

- *Principes de l'IRM et la TEP*
- Application en TEP
- Application en IRM
- Conclusions

# Instrumentation

Aimant principal, dans He liquide ( $<4.2^{\circ}\text{K}$ ):

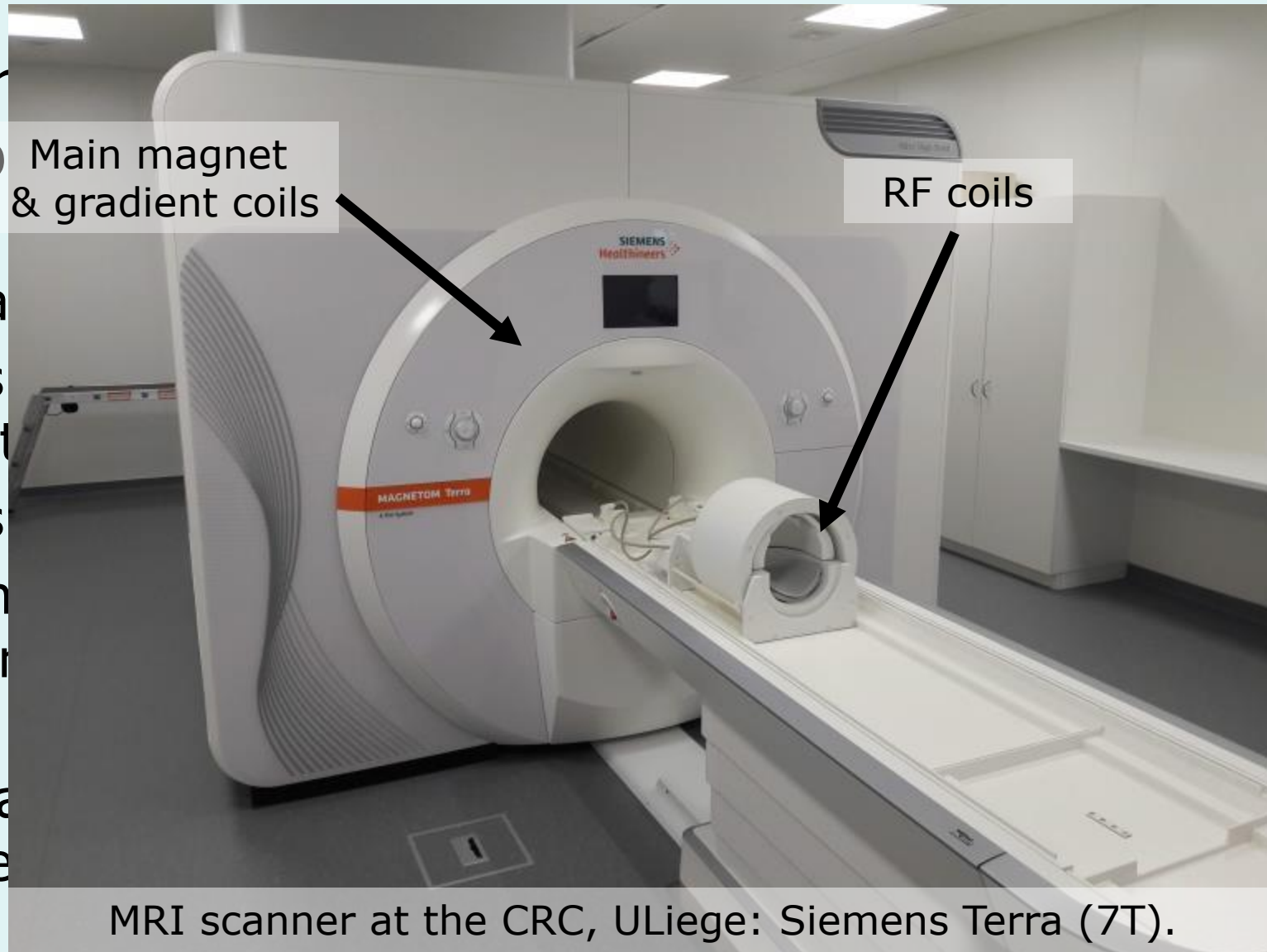
- bobine supraconductrice
- champ magnétique (1.5T, 3T ou 7T)
- **“JAMAIS” éteint !**



# Instrumentation

## 5 éléments principaux

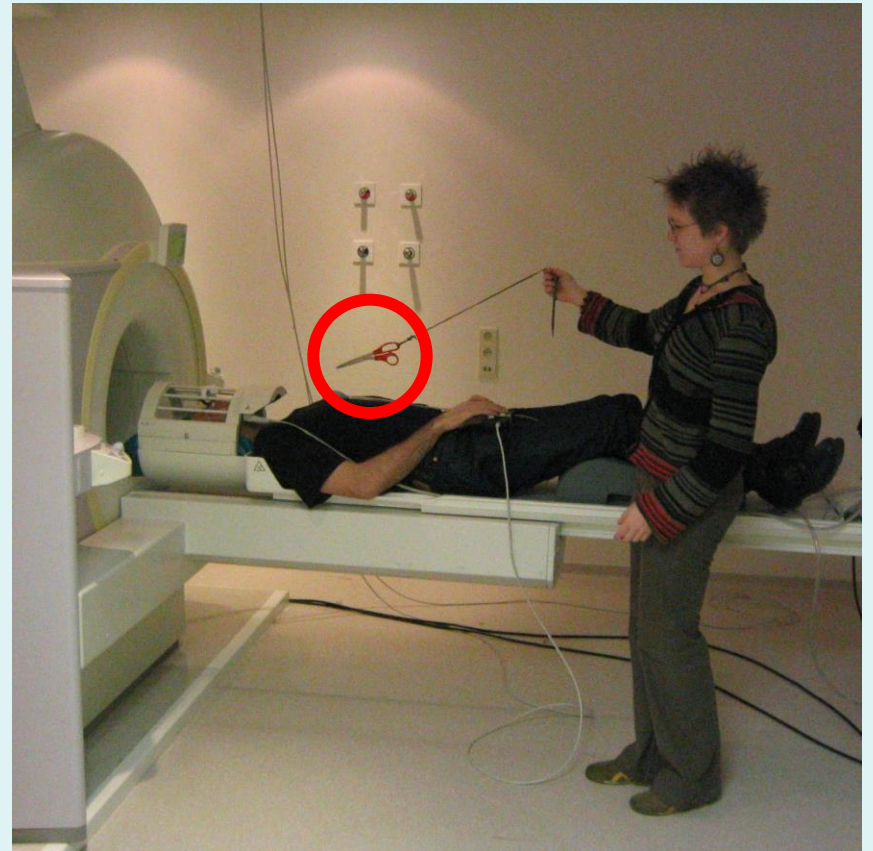
- aimant principal
- bobines de gradient
- bobines RF
- électronique de contrôle
- console de visualisation et de contrôle



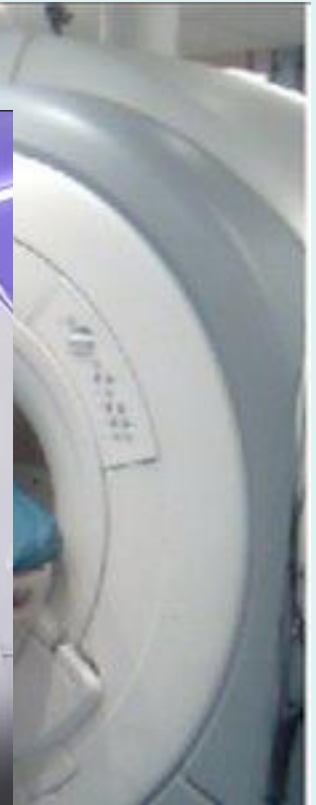


# Instrumentation

Danger dû au champ magnétique !!!



# Danger!





# Phénomène de relaxation

## Effet macroscopique :

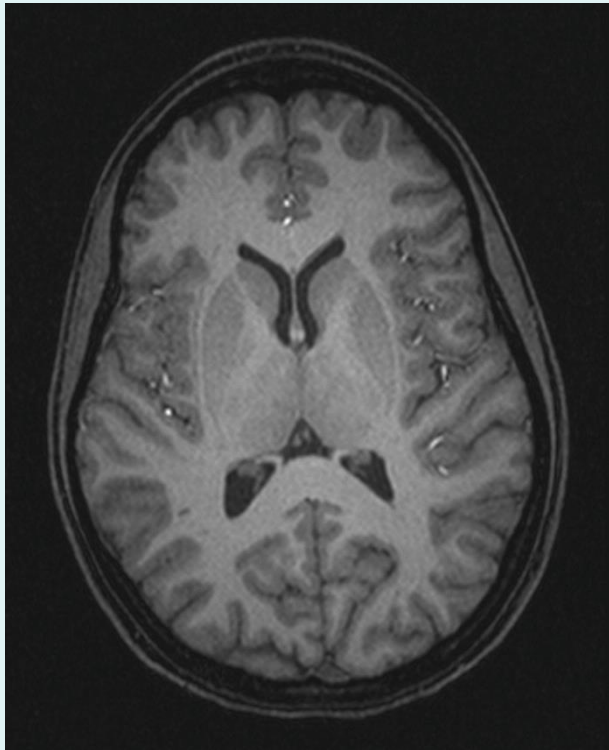
Valeurs typiques de  $T_1$  et  $T_2$  à 1.5 T

Tissus	$T_1$ (ms)	$T_2$ (ms)	$\rho$ (%)
LCR	3000	200	100
Graisse	200	90	
MG	750	90	83
MB	500	75	70

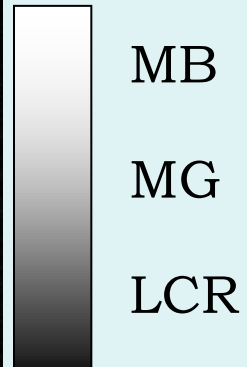
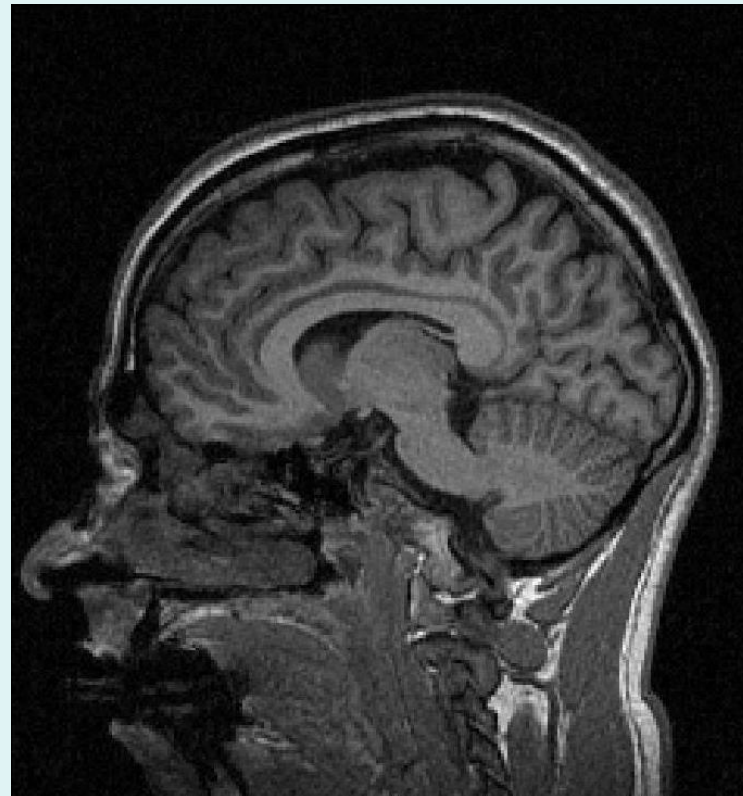
# Structurelle classique

## Image pondérée en T1

Tissus	$T_1$ (ms)
LCR	3000
Graisse	200
MG	750
MB	500



TR ~ 500 ms, TE ~ 10 ms



# Structurelle classique

Images pondérée en  $\rho$  ou  $T_2$

Tissus	$T_2$ (ms)	$\rho$ (%)
LCR	200	100
Graisse	90	
MG	90	83
MB	75	70

LCR

MG

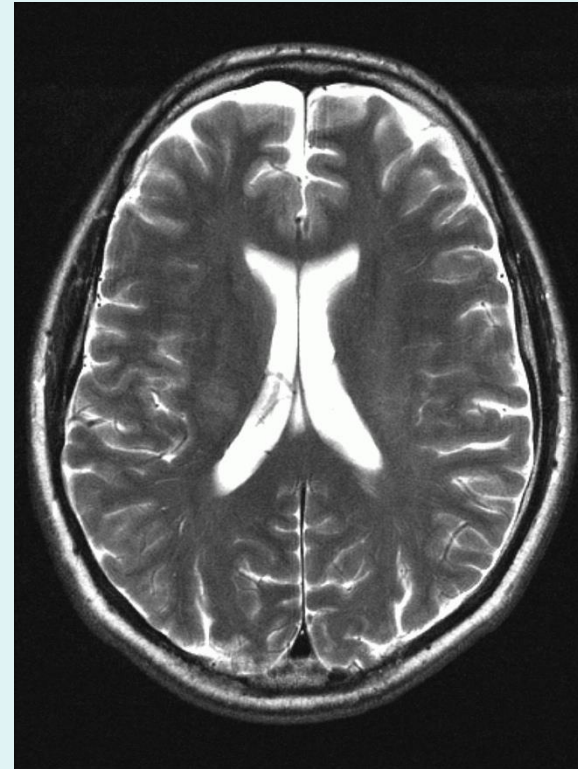
MB



LCR

MG

MB



# Médecine nucléaire → TEP

---

- Modalité d'imagerie utilisant l'*émission* de photons de l'intérieur du corps.
- Radiation ionisante produite par *décroissance radioactive* dans le corps
- *Biodistribution* du *radiotraceur* déterminée par les fonction *physiologiques* et *biochimiques* du corps  
⇒ modalité d'imagerie **fonctionnelle**



# Instrumentation, cyclotron

---



→ Production d'isotopes radioactifs

# Radionucléides: émetteurs de positons

TABLE 7.1

## Common Radionuclides in Nuclear Medicine

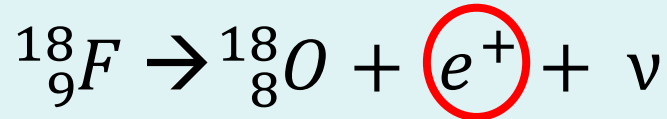
### Positron Emitters

Z	Nuclide	Half-life	Positron Energy (keV)
6	Carbon-11	20.3 min	326
7	Nitrogen-13	10.0 min	432
8	Oxygen-15	2.1 min	696
9	Fluorine-18	110 min	202
29	Copper-64	12.7 h	656
31	Gallium-68	68 min	1,900
33	Arsenic-72	26 h	3,340
35	Bromine-76	16.1 h	3,600
37	Rubidium-82	1.3 min	3,150
53	Iodine-122	3.5 min	3,100

Source: Wolbarst, 1993.

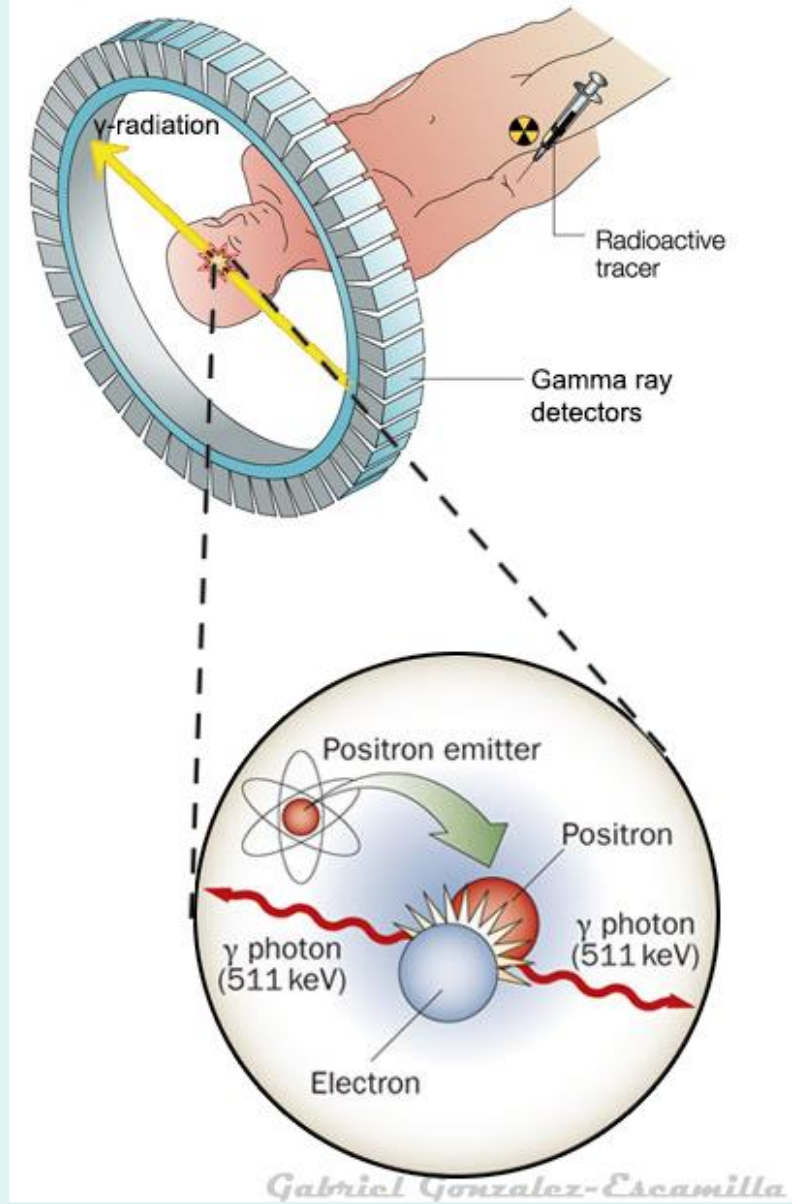
# Principe du TEP

## Décroissance par positon



- positon émis voyage de quelques *mm*
- rencontre un électron
- annihilation mutuelle
- émission 'back-to-back' de *deux* photons avec énergie 511 keV

511 keV = énergie équivalente à la masse au repos d'un electron/positron par  $E = m_0 c^2$



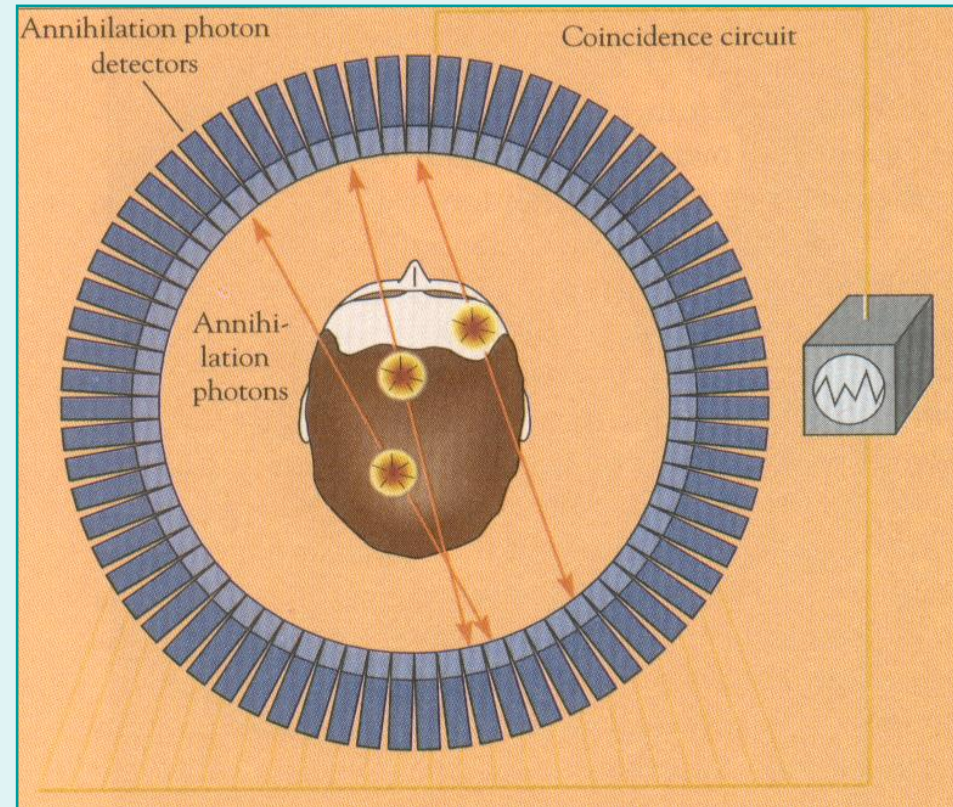
# Instrumentation TEP

- Détection simultanée (dans une fenêtre temporelle de  $\sim 2-20\text{ns}$ ) des 2 photons  
⇒ Considéré comme un évènement unique
- Autres détections rejetées
- Pas de collimateur

## Un évènement

= annihilation le long de la *ligne de coïncidence* joignant 2 détecteurs.

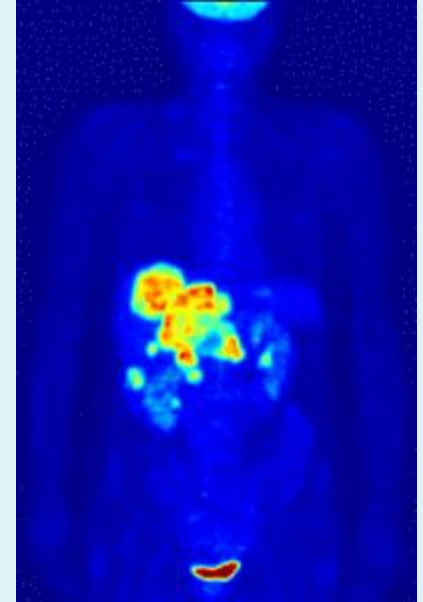
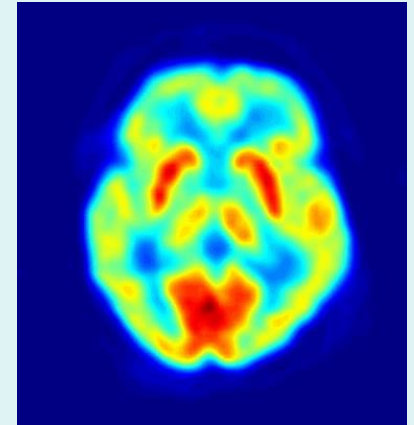
→ Reconstruction de la distribution spatiale dans le corp du patient



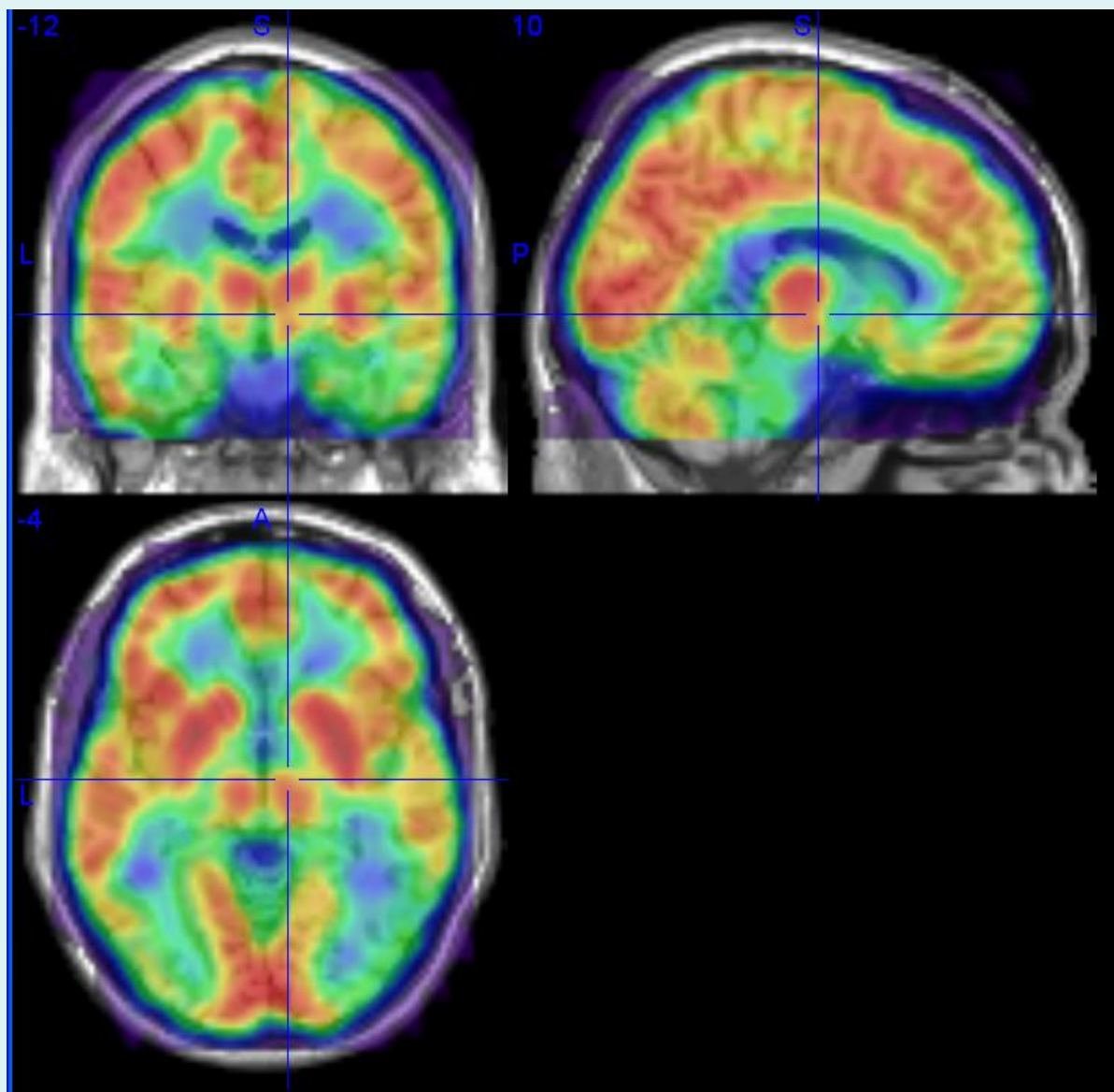


# Tomographie par Émission de Positons

- Scanner TEP typique,
- Fluorodésoxyglucose (FDG) = analogue radiopharmaceutique du glucose, marqué au  $^{18}\text{F}$



# Combinaison de TEP & IRM structurelle



# Index

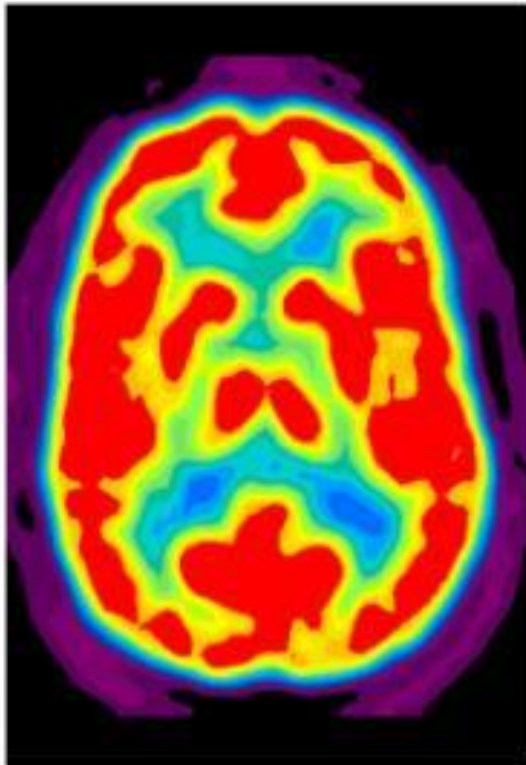
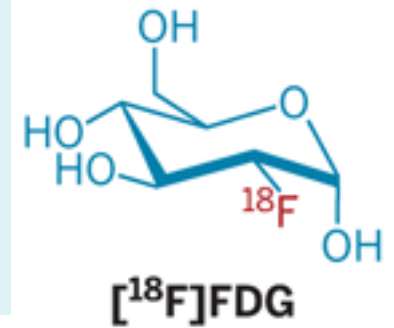
---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

- Principes de l'IRM et la TEP
- *Application en TEP*
- Application en IRM
- Conclusions

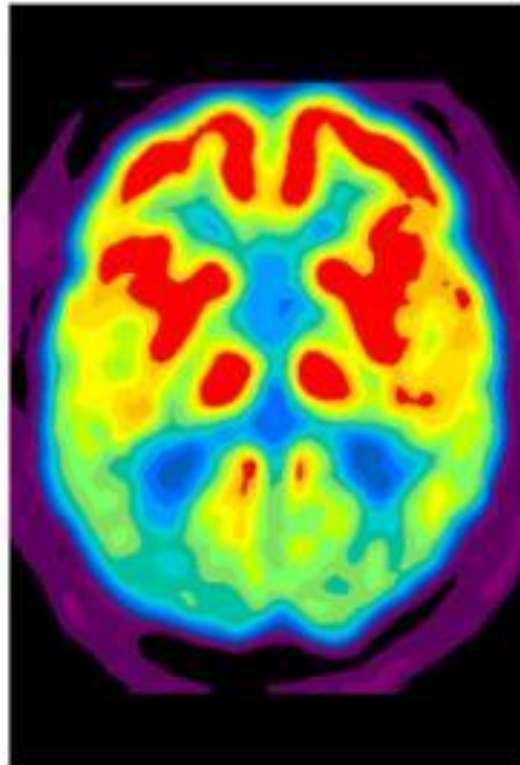
# Application de la TEP

## Fluorodeoxyglucose (FDG)



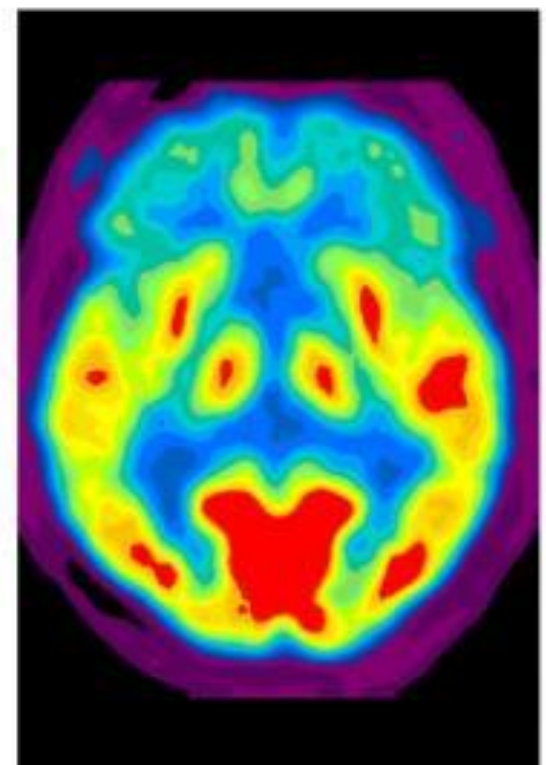
Normal

Consistent metabolic activity throughout the cerebral cortex



Alzheimer's Dementia

Reduced metabolic activity in the temporal and parietal lobes



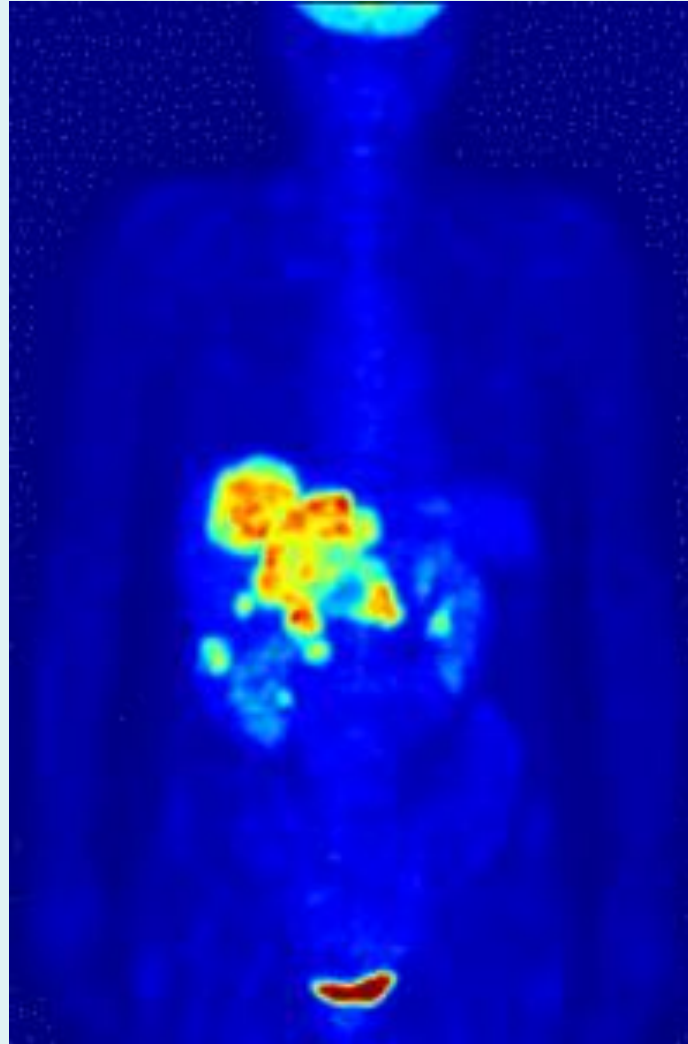
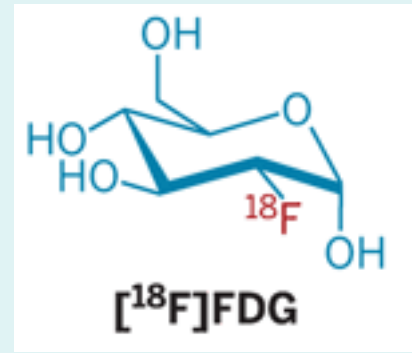
Frontal Lobe Dementia (Pick's Disease)

Reduced metabolic activity in the frontal lobe



# Application de la TEP

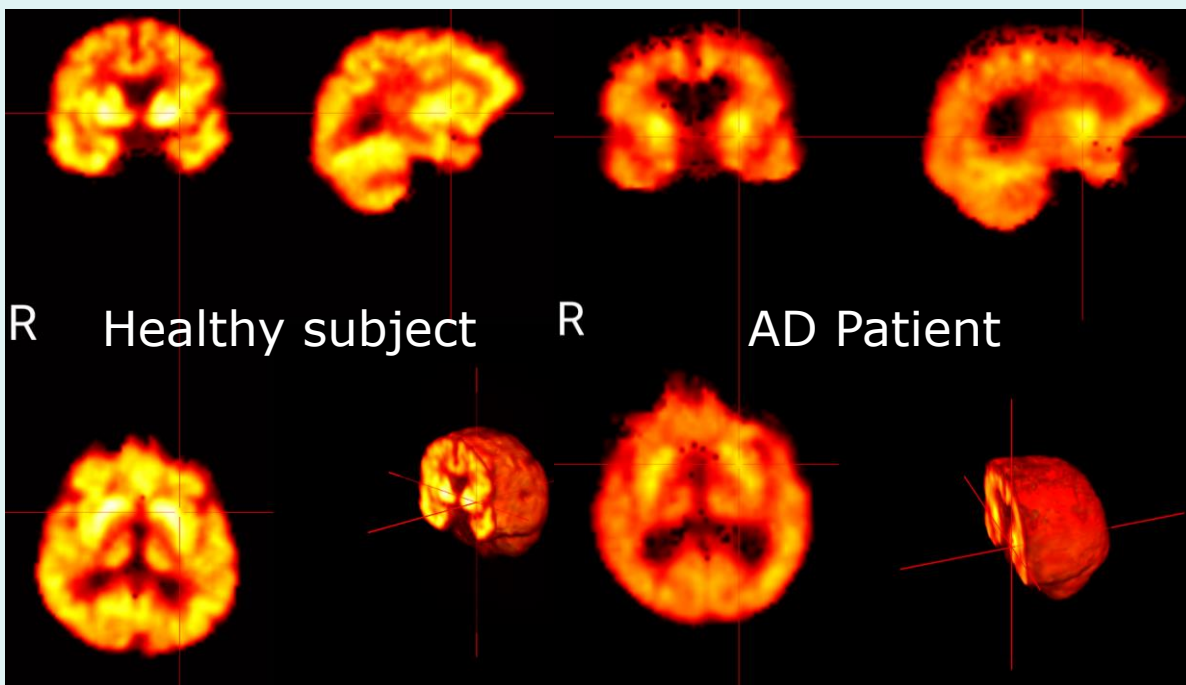
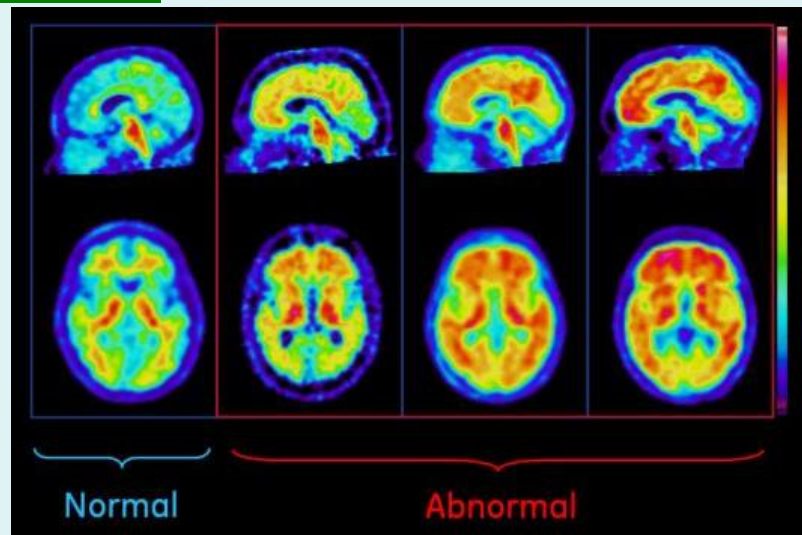
Fluorodeoxyglucose (FDG)  
→ oncologie



# Radiotraceurs au $^{18}\text{F}$ et applications

## Maladie d'Alzheimer

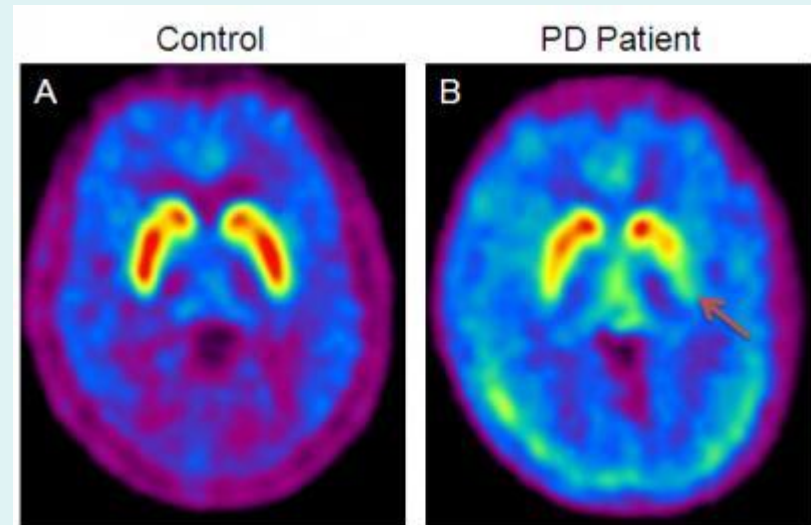
- Flutemetamol
  - se lie à la plaque de beta-amiloïde
- $[^{18}\text{F}]\text{UCB-H}$ 
  - se lie à la "Synaptic Vesicle Glycoprotein 2A" (SV2A)
  - marqueur de la densité synaptique



# Radiotraceurs au $^{18}\text{F}$ et applications

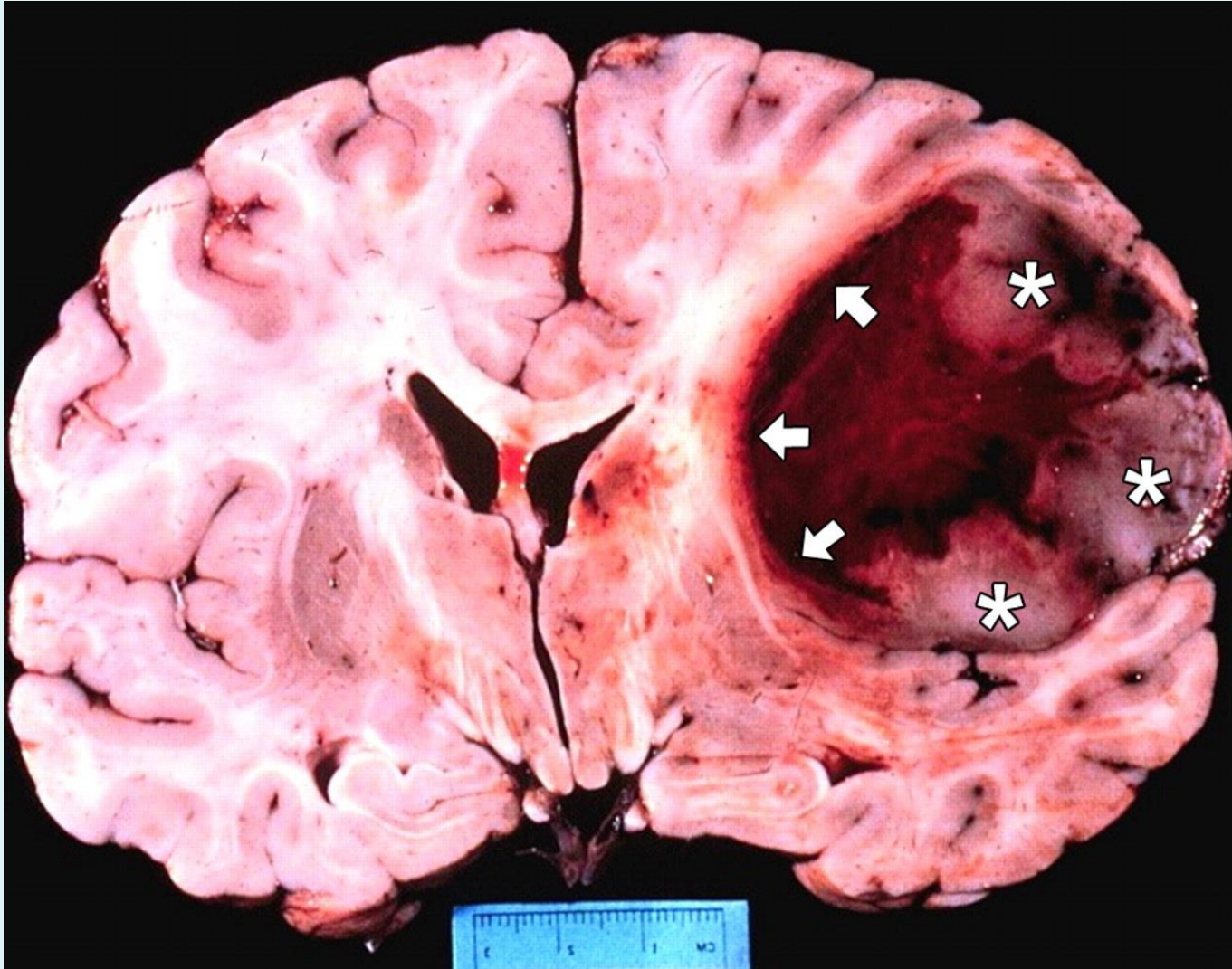
## Maladie de Parkinson

- “Fallypride”
  - antagoniste des récepteurs de dopamine D2/D3 dans le striatum



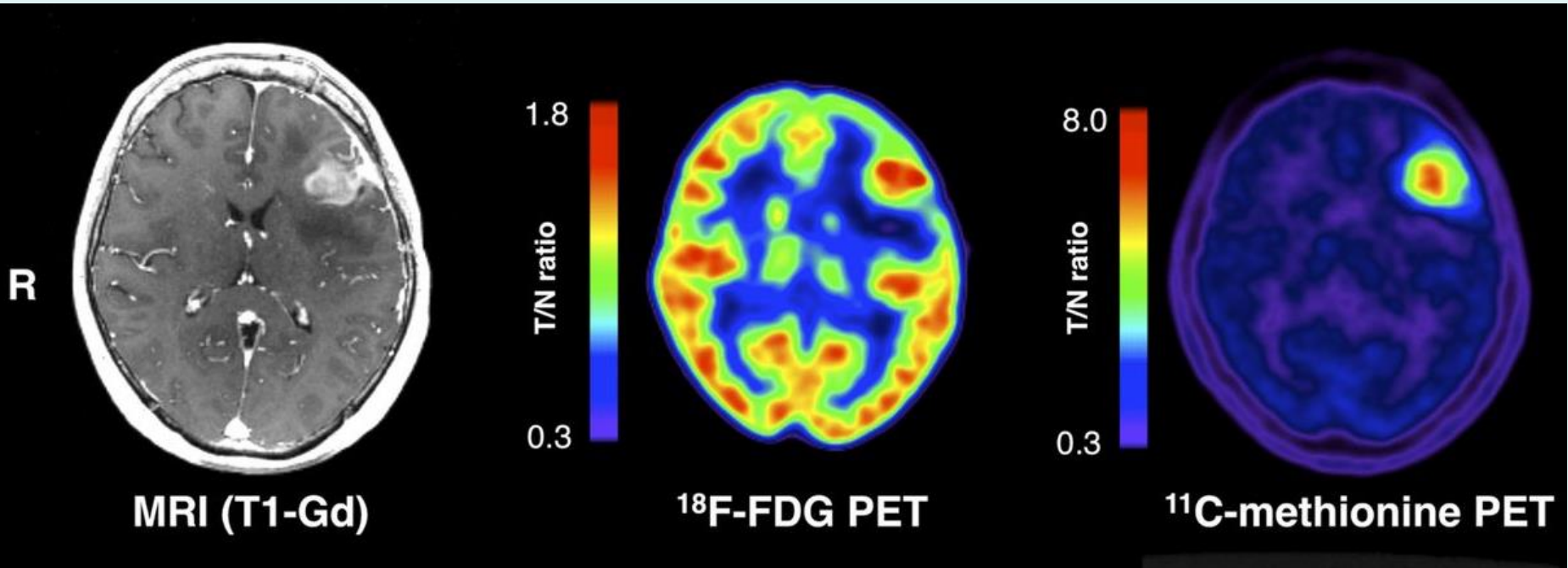
# Glioblastome

---





# PET oncologie



FDG → consommation de glucose

Methionine → production cellulaire (synthèse de protéines)



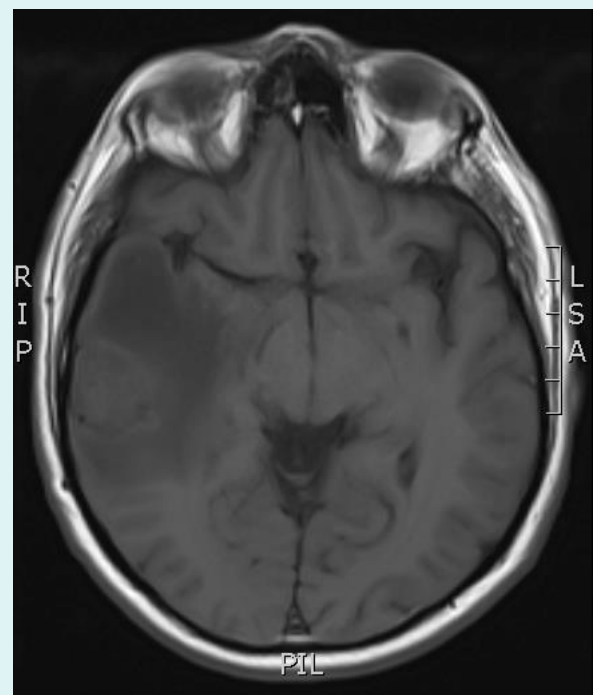
# Index

---

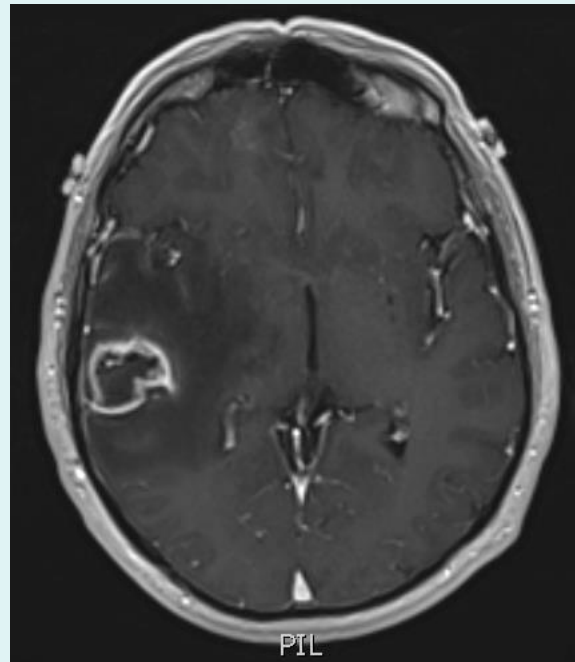
## **IRM et la TEP en neuroscience**

- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- *Application en IRM*
  - *Imagerie structurelle*
    - *Oncologie*
    - Morphologie
  - Imagerie par diffusion
  - Imagerie fonctionnelle
  - Imagerie quantitative
- Conclusions

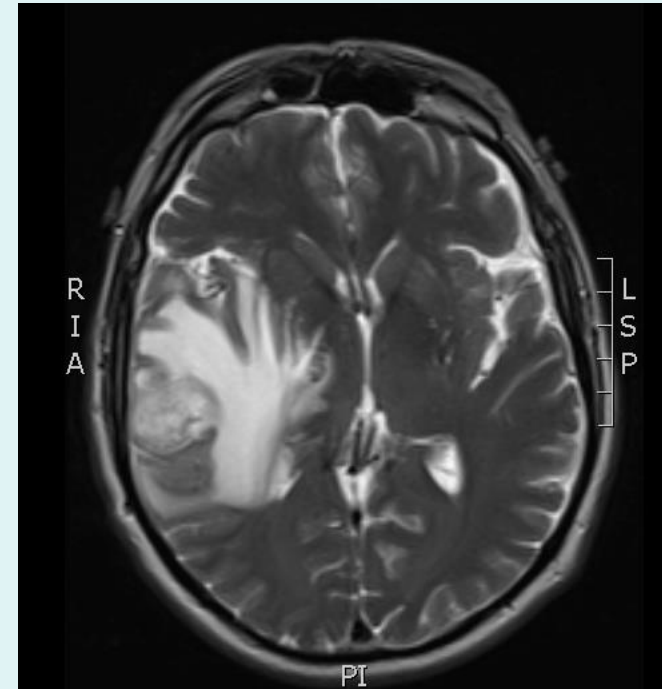
# Glioblastome



T1



T1 + Gadolinium



T2

1 seule machine

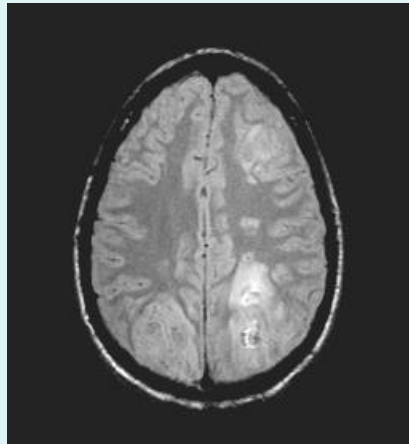
→ différentes séquences d'acquisition

→ différents type d'image, *avec/sans injection*

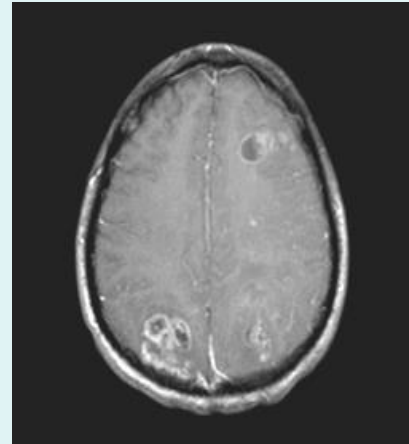
# Planning chirurgical

Tumeur : image pondérée en  $\rho$ ,  $T_1$  ou  $T_2$   
+ agent de contraste 'Gadolinium'

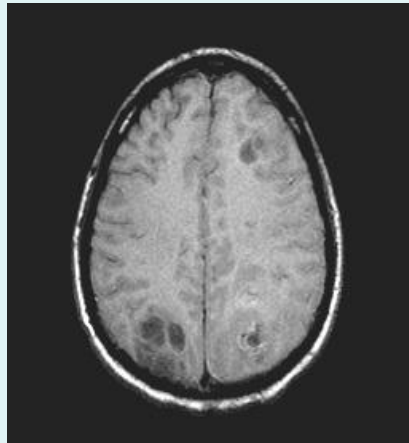
$\rho$



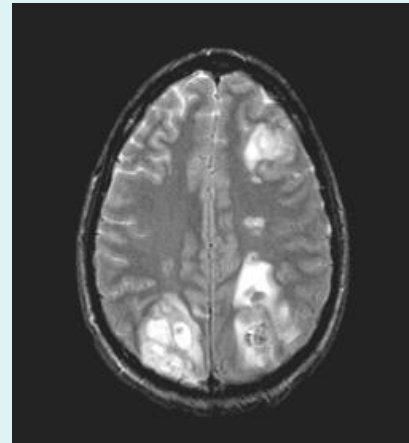
$T_1 + \text{Gd}$



$T_1$

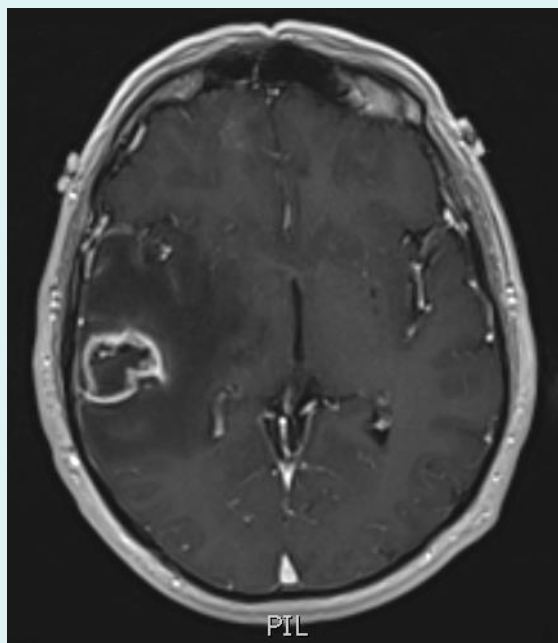


$T_2$

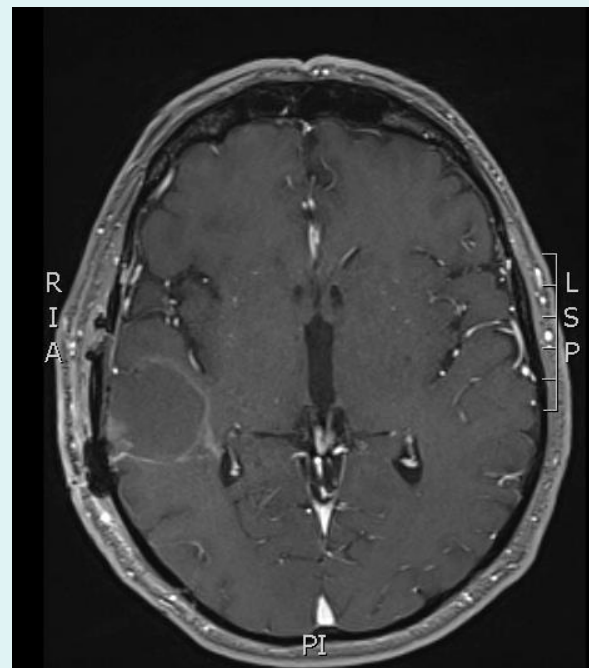
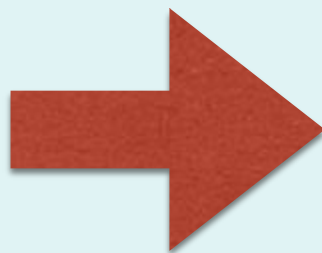


# Chirurgie du glioblastome

---



Preop



Postop

# Index

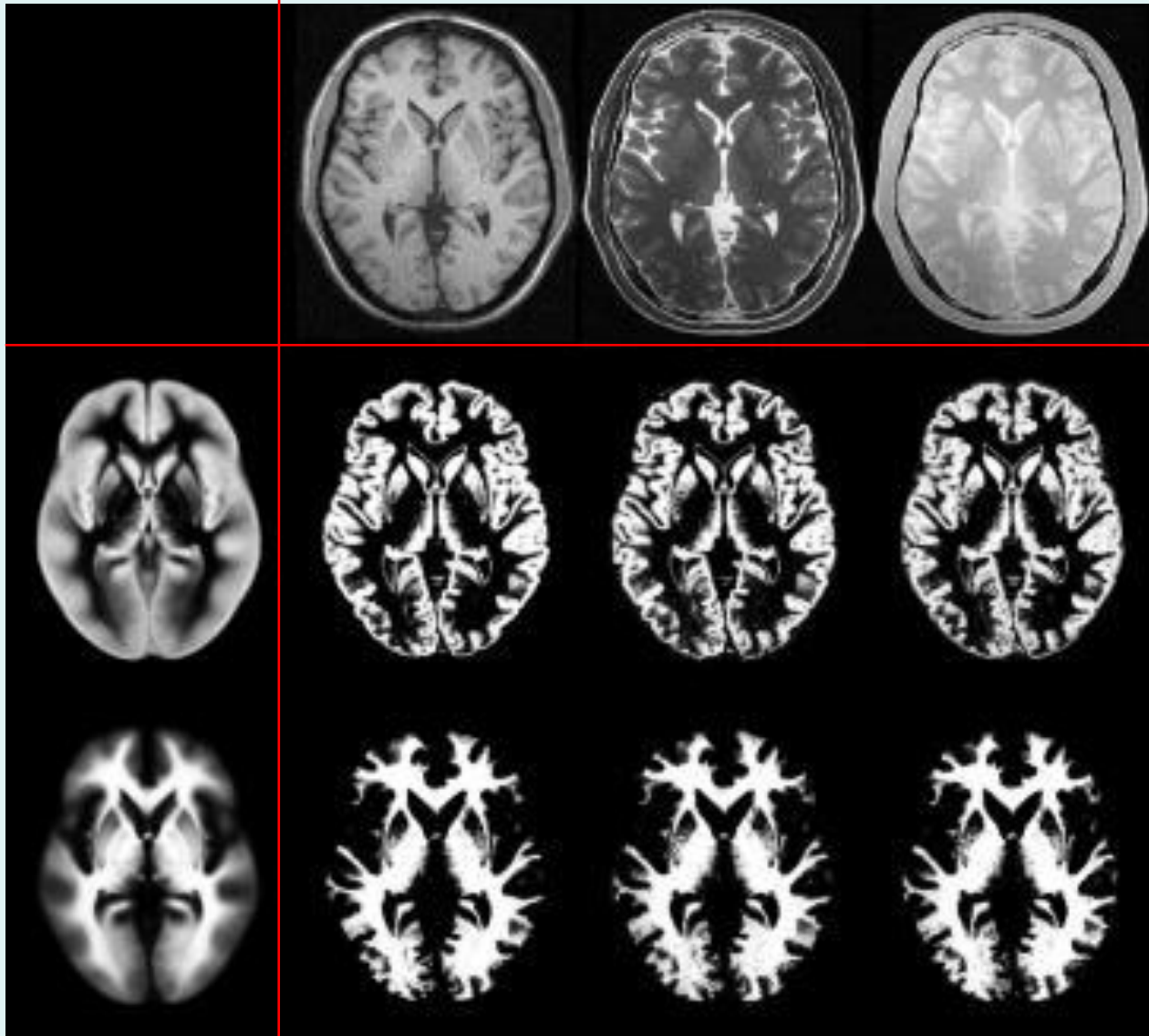
---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- *Application en IRM*
  - *Imagerie structurelle*
    - Oncologie
    - *Morphologie*
  - Imagerie par diffusion
  - Imagerie fonctionnelle
  - Imagerie quantitative
- Conclusions



# Segmentation automatique

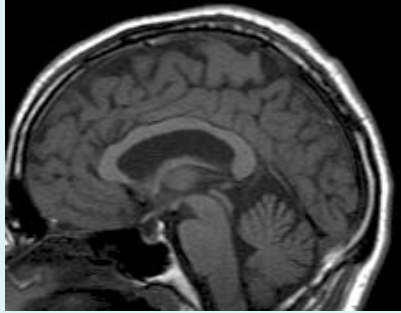


Images  
← en T1,  
T2 & PD

Carte *a priori* de  
densité  
de tissus

# Analyse morphologique

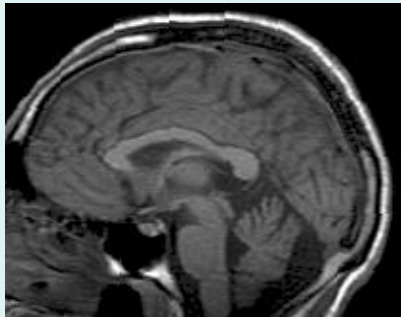
Sujet 1



Pre-processing

Image normalisée de  
la matière grise  
ou de déformation

Sujet 2



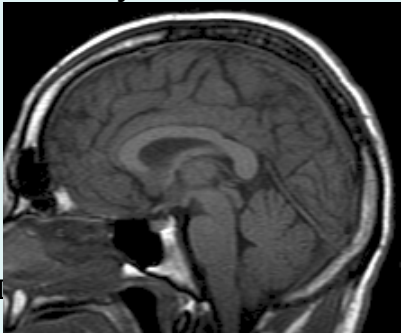
Pre-processing

Image normalisée de  
la matière grise  
ou de déformation

⋮

⋮

Sujet N



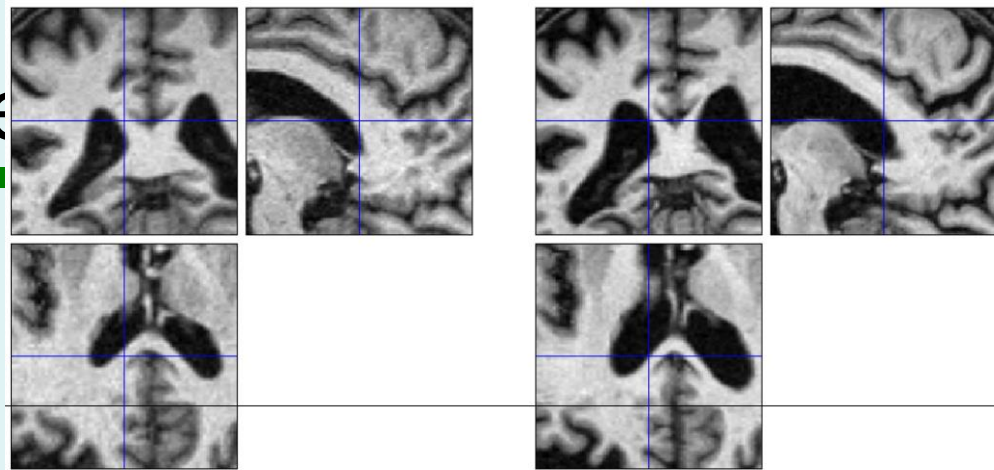
Pre-processing

Image normalisée de  
la matière grise  
ou de déformation

**Analyse  
statistique**

# Etude longitudinale

2 scans à 6 ans d'écart  
(après recalage linéaire)



Moyenne et différence  
des images

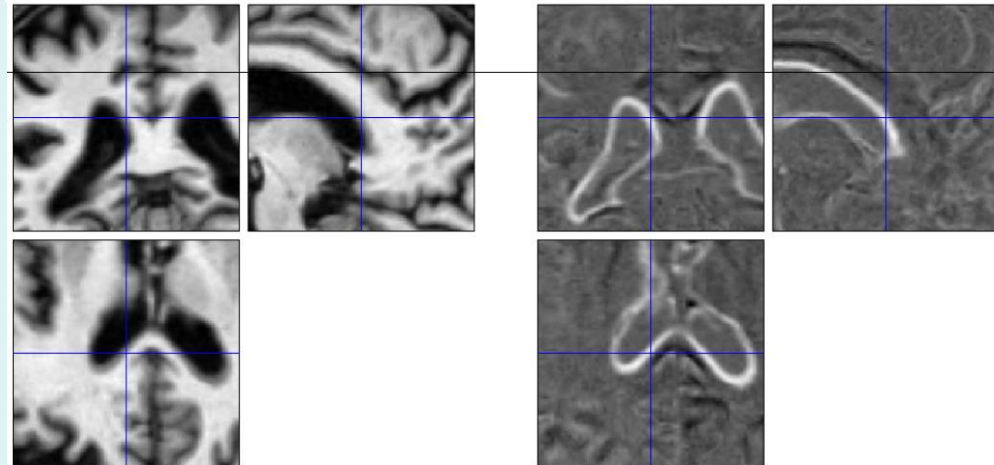
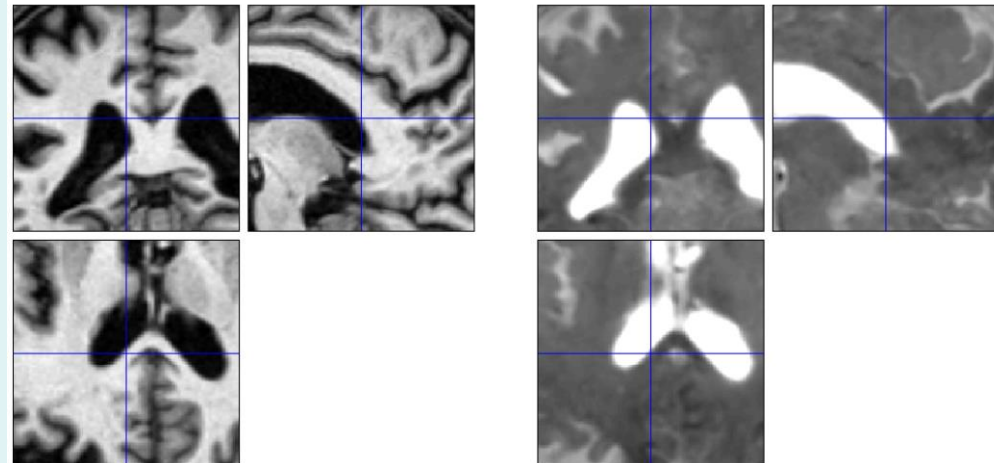


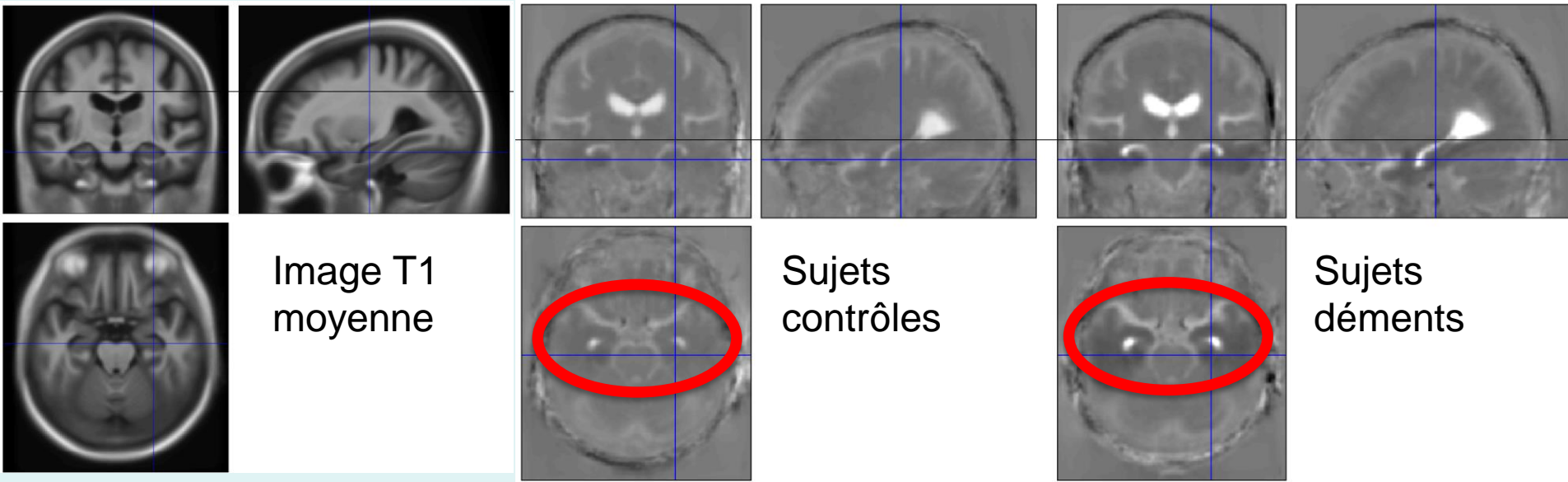
Image moyenne et  
carte d'expansion/contraction  
(après recalage 'élastique')



# Etude longitudinale

- Données de 82 sujets: groupes 'contrôle' et 'dément'
  - Recalage élastique de toutes les données dans un espace anatomique commun
  - Calcul de la moyenne du **taux annuel de déformation** pour chaque sujet
- Comparaison **statistique** des 2 groupes

*Plus foncé = réduction plus rapide de la MG!*



# Index

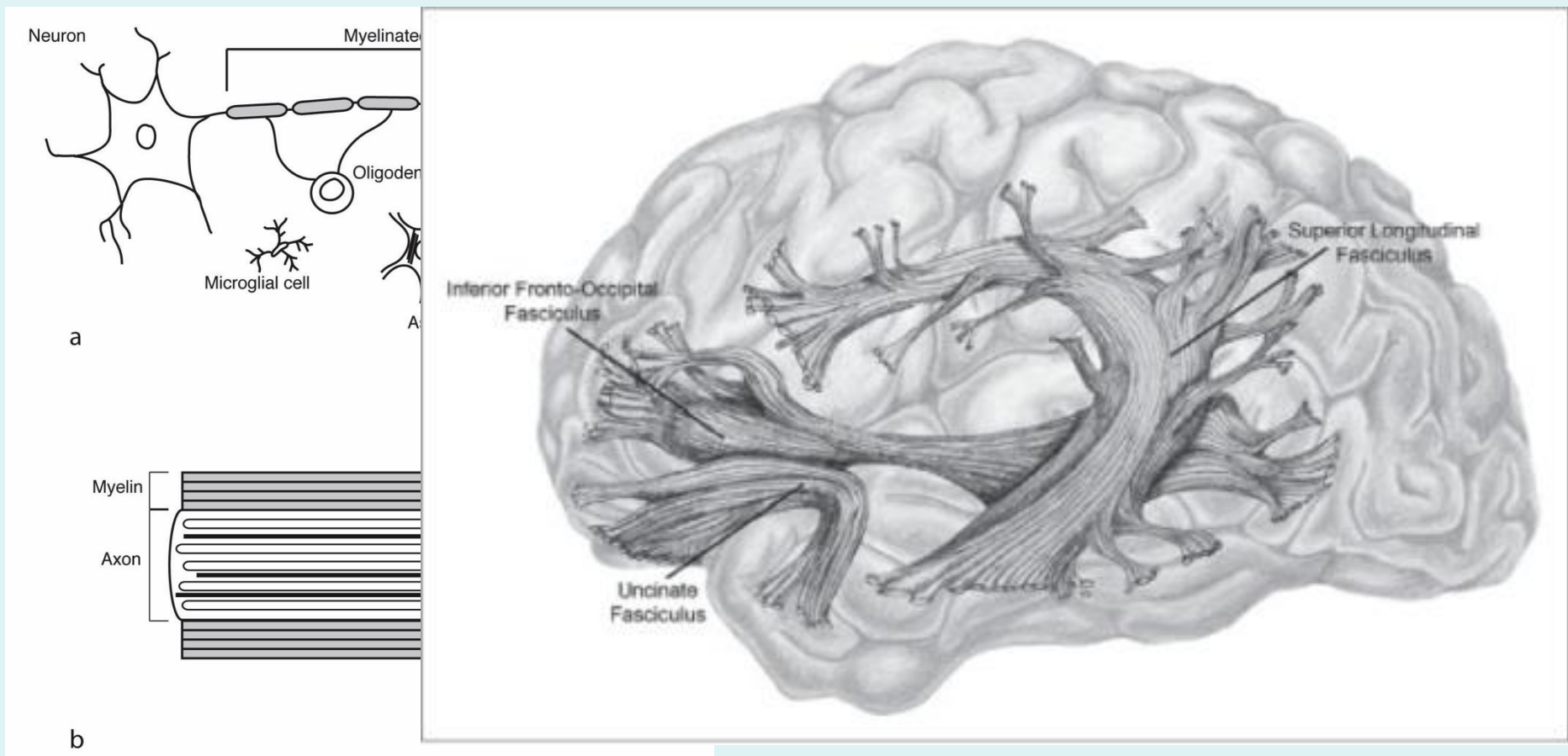
---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

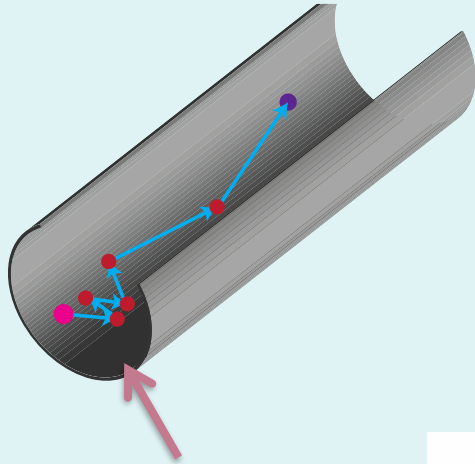
- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- *Application en IRM*
  - Imagerie structurelle
  - *Imagerie par diffusion*
  - Imagerie fonctionnelle
  - Imagerie quantitative
- Conclusions



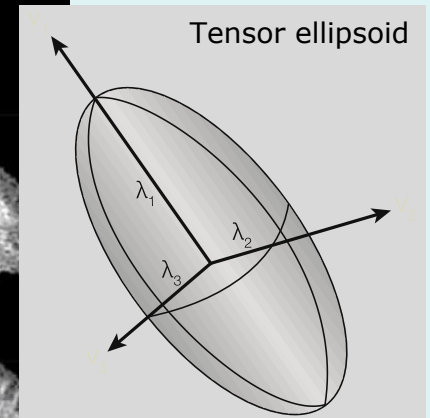
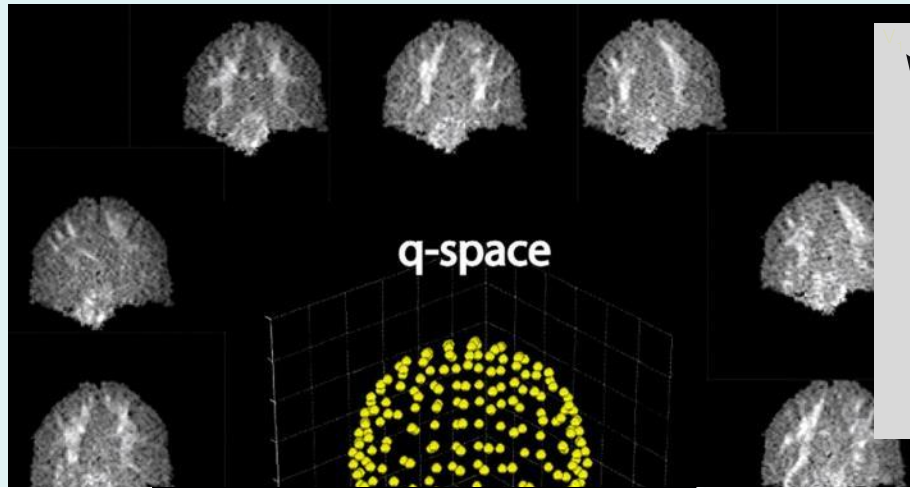
# Structure de la matière blanche



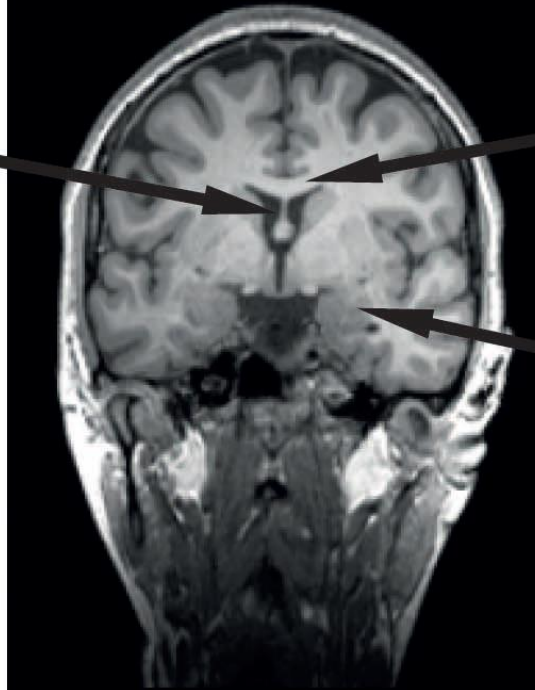
# Diffusion de l'eau et IRM de diffusion



Diffusion  
contrainte de l'eau  
dans une direction  
préférentielle



**FA=0**

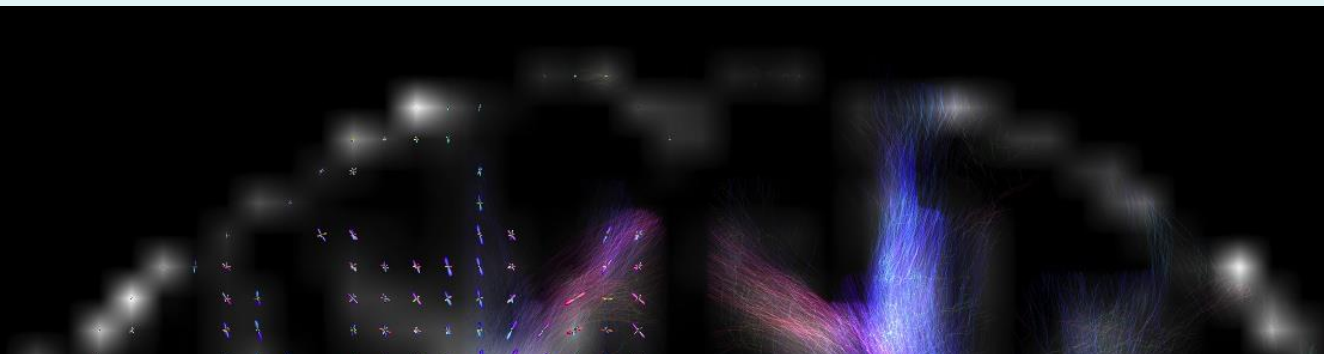


**FA=0.8**



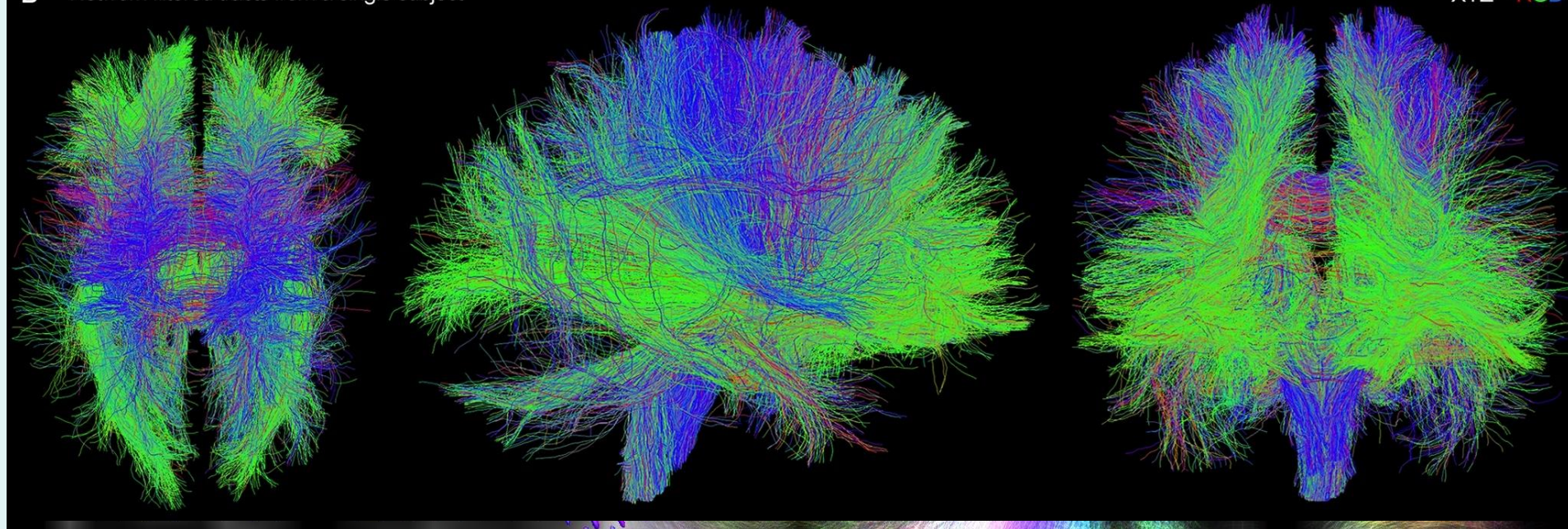
**FA=0.1**

# Tractographie



**B** Network-filtered tracts from a single subject

XYZ = RGB

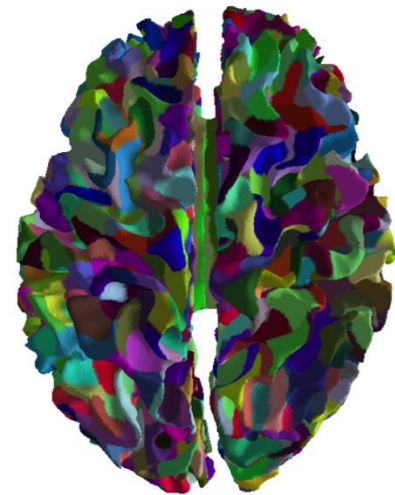




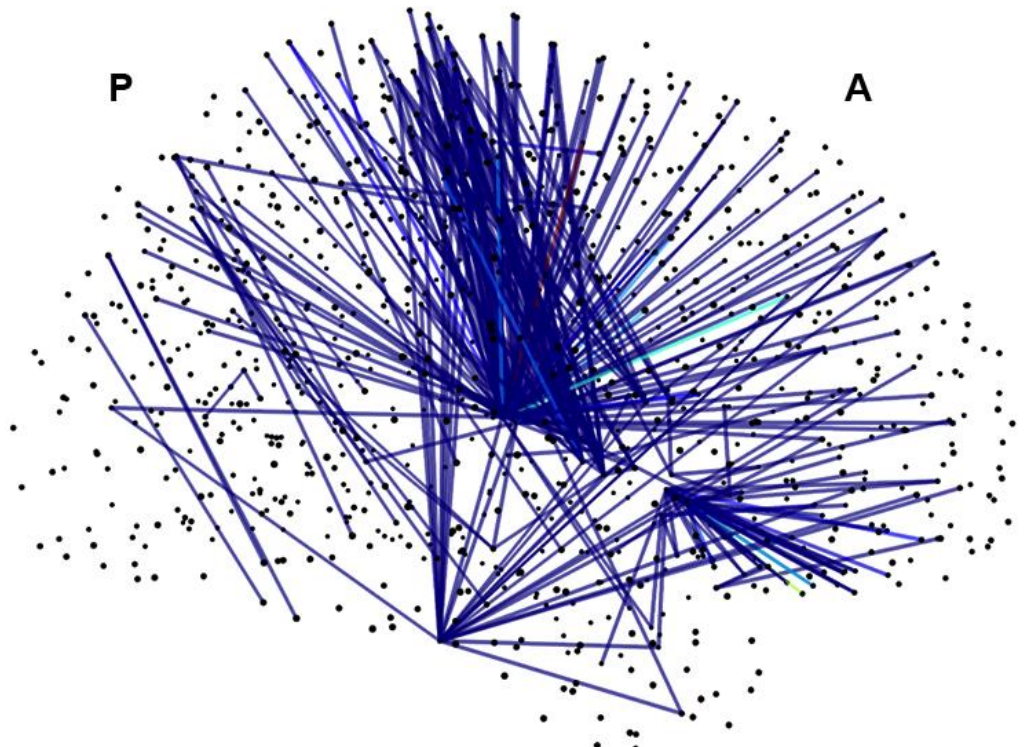
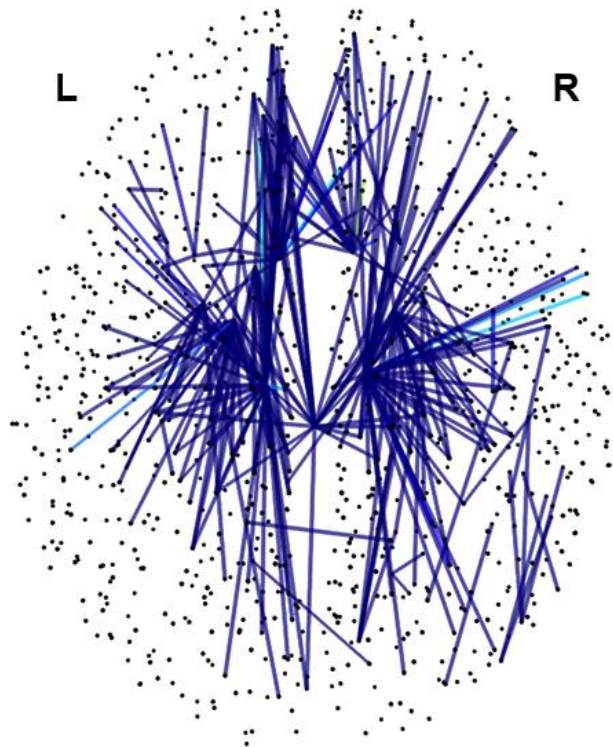
# Tractographie & connectomique

Groupes génétiquement différents (BDNF)

→ Différence de connectivité structurelle  
entre aires cérébrales !



1015 ROI



# Index

---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

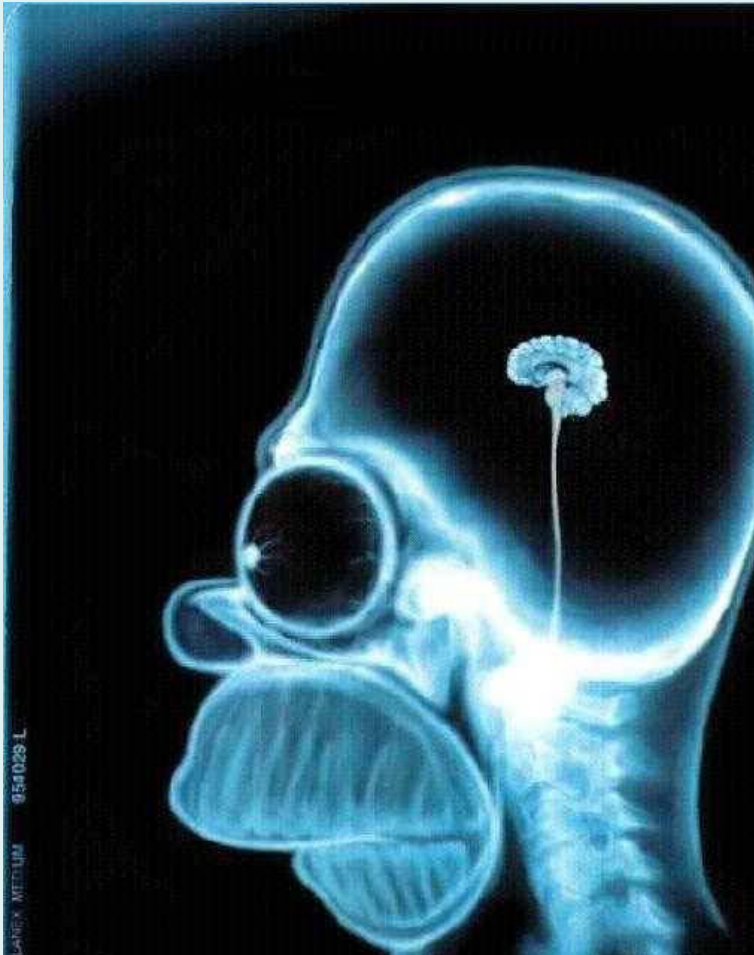
- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- *Application en IRM*
  - Imagerie structurelle
  - Imagerie par diffusion
  - *Imagerie fonctionnelle*
  - Imagerie quantitative
- Conclusions



# IRM fonctionnelle

IRM structurelle

→ anatomie du cerveau

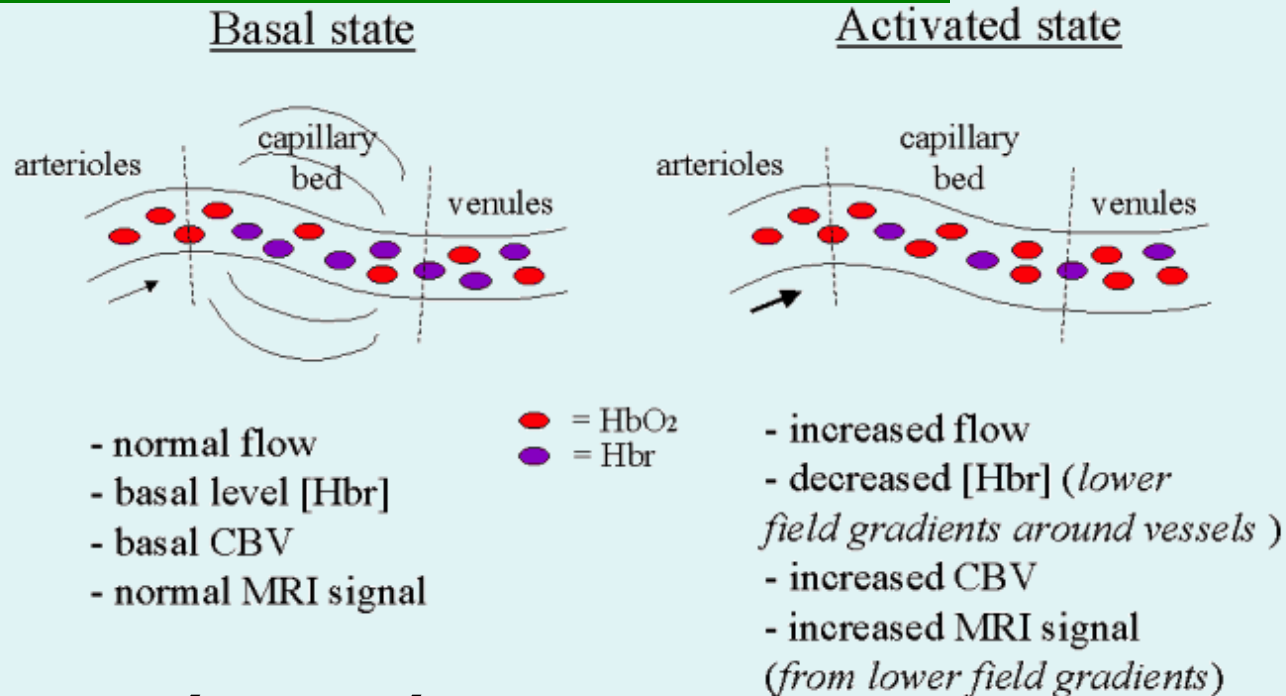


IRM fonctionnelle

→ fonctions du cerveau



# Réponse BOLD



## Susceptibilité magnétique

→ champs magnétique effectivement perçu dans le tissus :

$$\mathbf{B}_{\text{eff}} = (1+\chi) \mathbf{B}_0$$

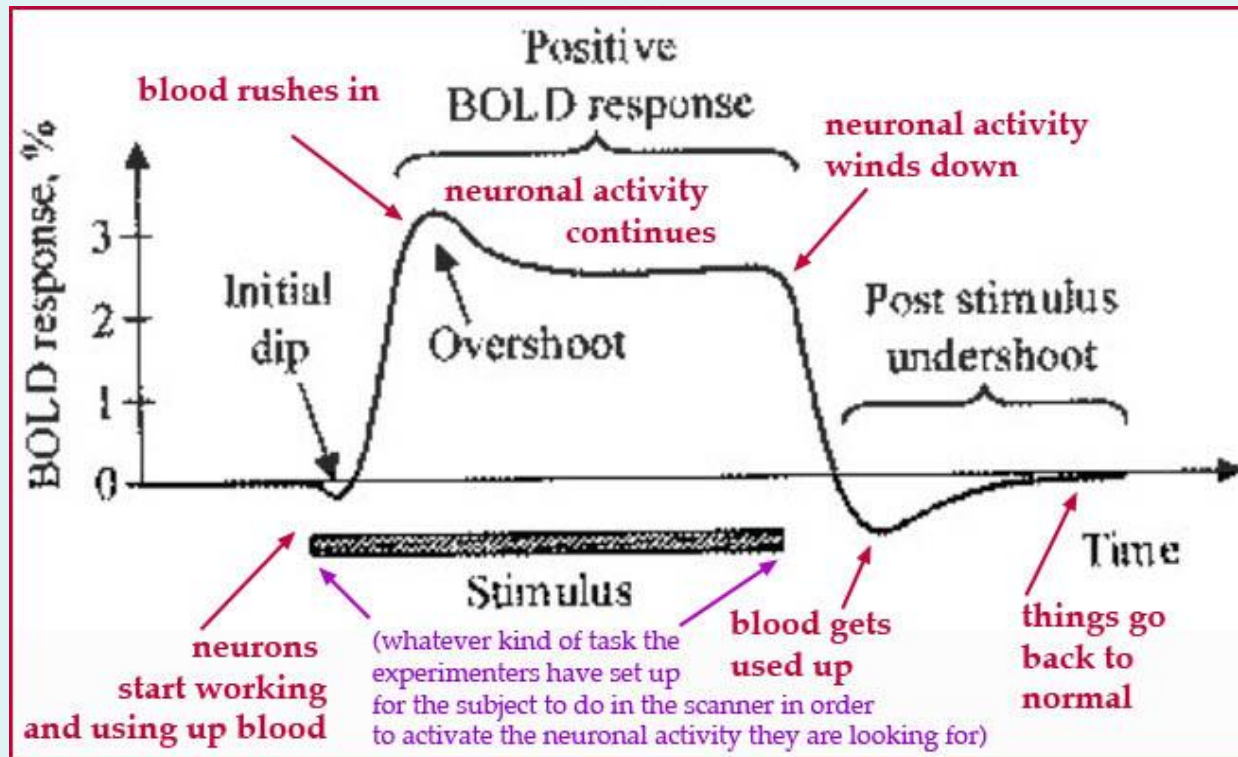
## Et propriétés magnétique de l'haemoglobine

- deoxyhaemoglobine : paramagnetique ( $\chi > 0$ )
- oxyhaemoglobin : légèrement diamagnetic ( $\chi < 0$ )

# Réponse BOLD

## Régions **activées** :

- augmentation du flux de sang oxygéné [oxyHb] ↑
- [déoxyHb] ↓
- réduction de la perte de signal = augmentation du signal

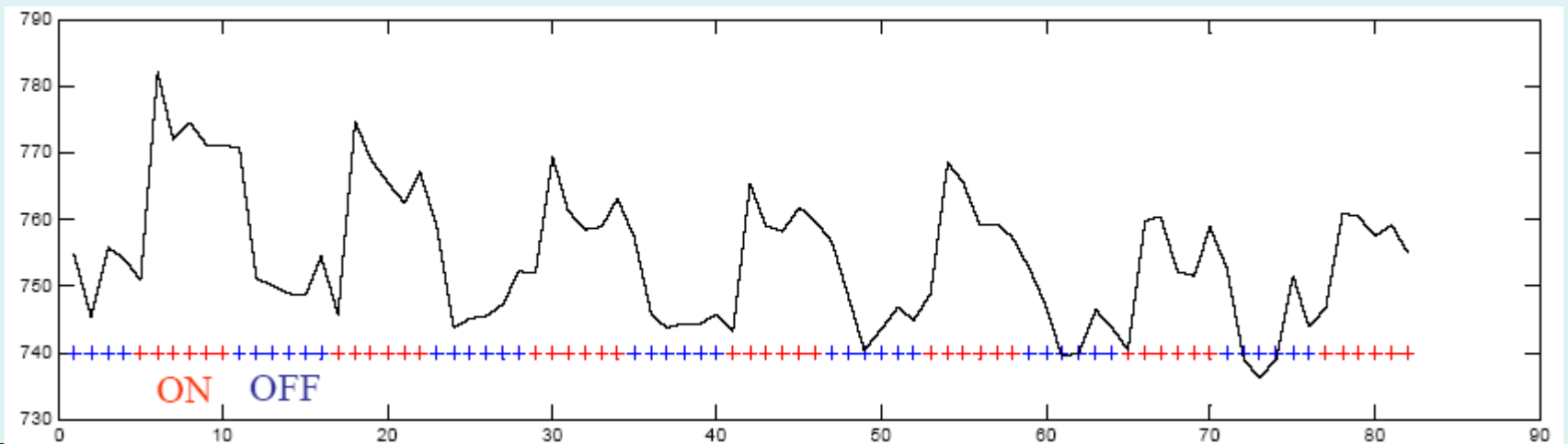


# Exemple d'expérience

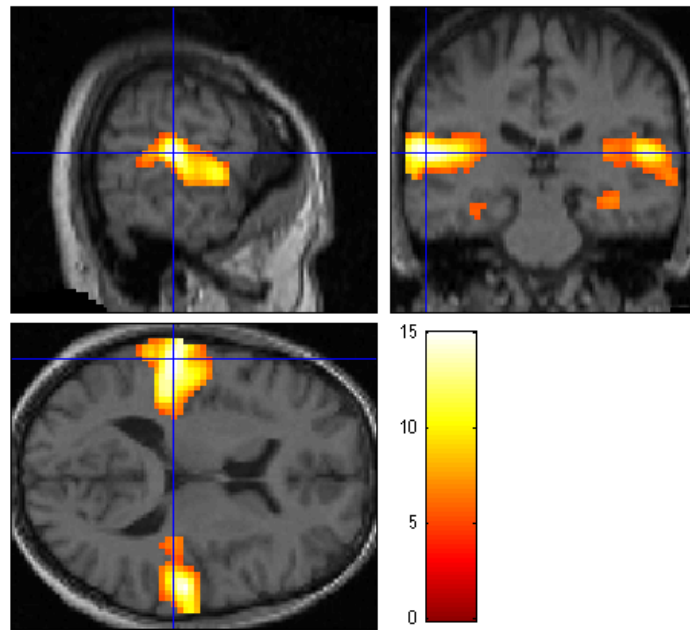
**Stimuli:** 'écoute passive de mots' vs. 'repos'



**Réponse BOLD** dans le cortex auditif:



# Cartographie Paramétrique Statistique



Statistics: *p*-values adjusted for search volume

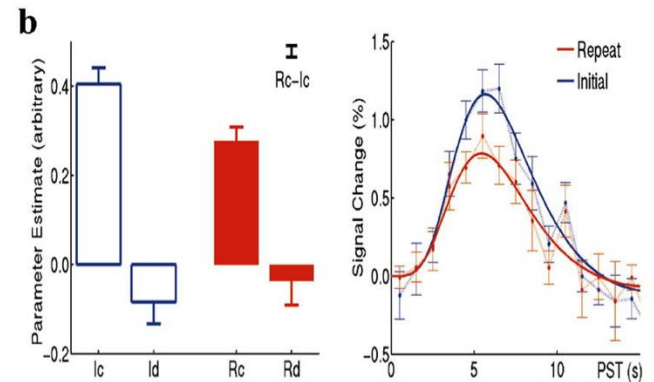
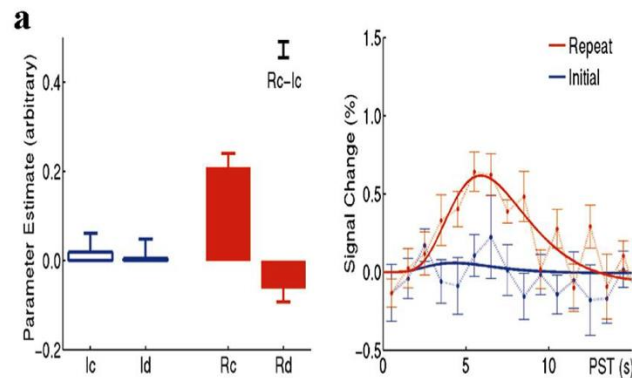
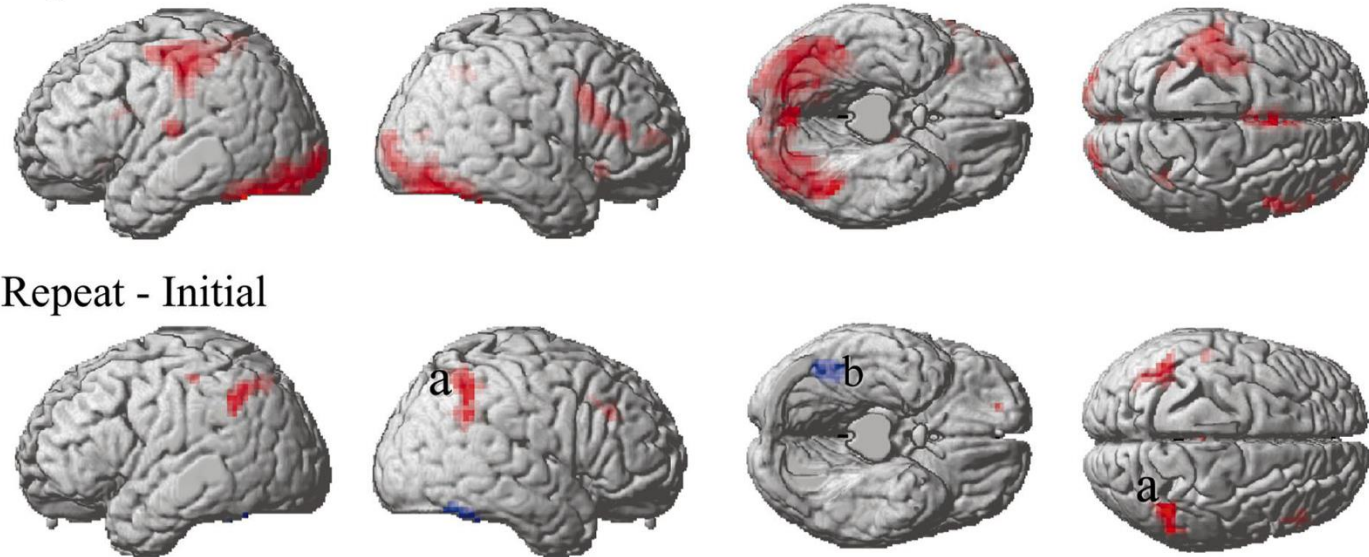
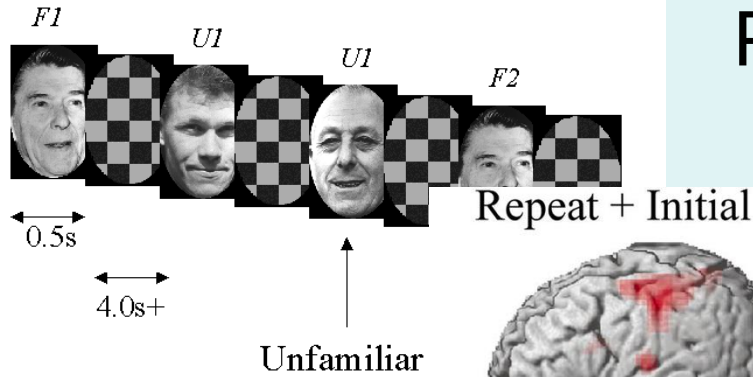
set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>C</i>	<i>p</i> <sub>FWE-corr</sub>	<i>q</i> <sub>FDR-corr</sub>	<i>k</i> <sub>C</sub>	<i>p</i> <sub>uncorr</sub>	<i>p</i> <sub>FWE-corr</sub>	<i>q</i> <sub>FDR-corr</sub>	<i>T</i>	( <i>Z</i> <sub>E</sub> )	<i>p</i> <sub>uncorr</sub>			
0.000	10	0.000	0.000	791	0.000	0.000	0.000	15.04	Inf	0.000	-60	-28	11
						0.000	0.000	14.15	Inf	0.000	-48	-34	14
						0.000	0.000	12.60	Inf	0.000	-66	-10	2
		0.000	0.000	598	0.000	0.000	0.000	14.77	Inf	0.000	57	-22	11
						0.000	0.000	13.31	Inf	0.000	63	-10	-1
						0.000	0.000	8.39	7.00	0.000	57	-40	5
		0.000	0.000	38	0.000	0.000	0.003	6.84	5.99	0.000	36	-28	-13
		0.000	0.020	15	0.008	0.000	0.013	6.41	5.69	0.000	54	-1	44
		0.001	0.025	13	0.012	0.003	0.089	5.87	5.30	0.000	-33	-31	-19
		0.007	0.225	4	0.135	0.013	0.311	5.50	5.02	0.000	-45	41	5
		0.010	0.239	3	0.192	0.016	0.359	5.44	4.97	0.000	-63	-55	-7
		0.010	0.239	3	0.192	0.036	0.788	5.20	4.78	0.000	-54	-4	47
		0.023	0.452	1	0.452	0.045	0.952	5.13	4.72	0.000	45	-43	35
		0.023	0.452	1	0.452	0.049	0.985	5.10	4.70	0.000	48	26	20



# Autre expérience

## Reconnaissance de visages

A



(Henson et al, NI, 2002)

# Index

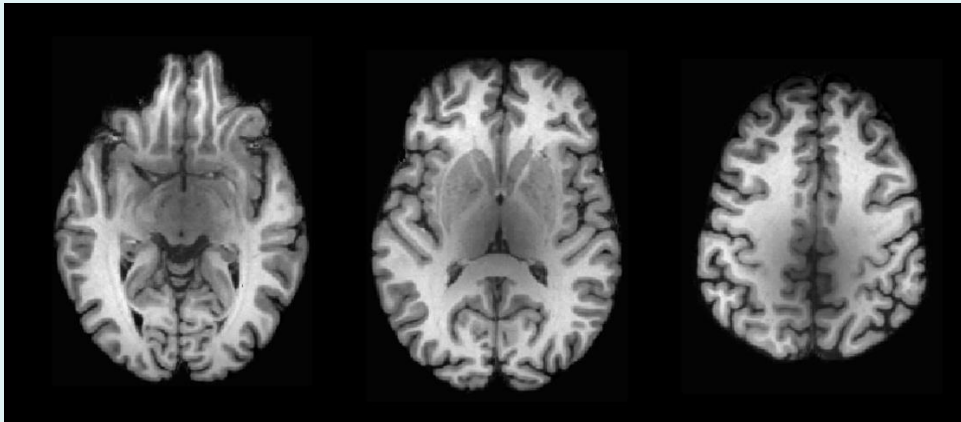
---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

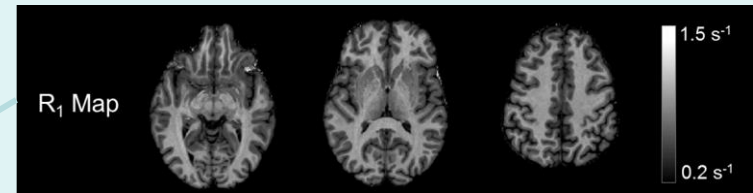
- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- *Application en IRM*
  - Imagerie structurelle
  - Imagerie par diffusion
  - Imagerie fonctionnelle
  - *Imagerie quantitative*
- Conclusions

# IRM quantitative

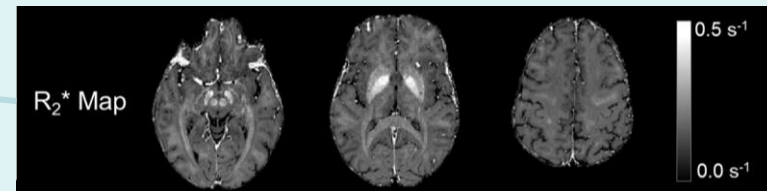
$SI_{MPRAGE} = \text{fonction}(\text{paramètre de la séquence}, \text{scanner/hardware}, \text{paramètre IRM physique})$



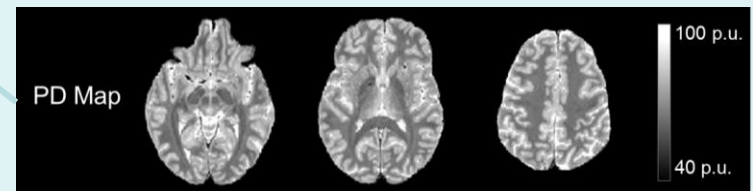
Taux de Relaxation Longitudinale



Taux Effectif de Relaxation Transverse



Densité de Proton

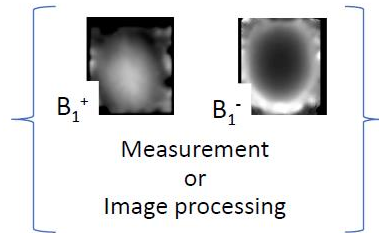


⇒ IRM Quantitative & “Voxel-Based Quantification”

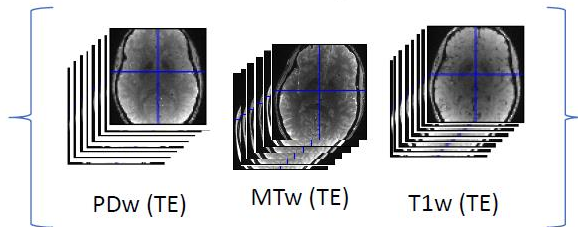
# IRM quantitative

## Map Creation

Bias field correction

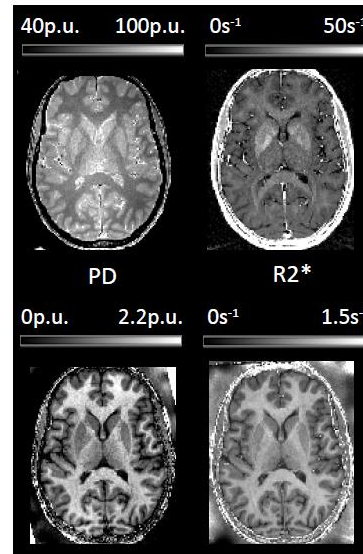


Raw images

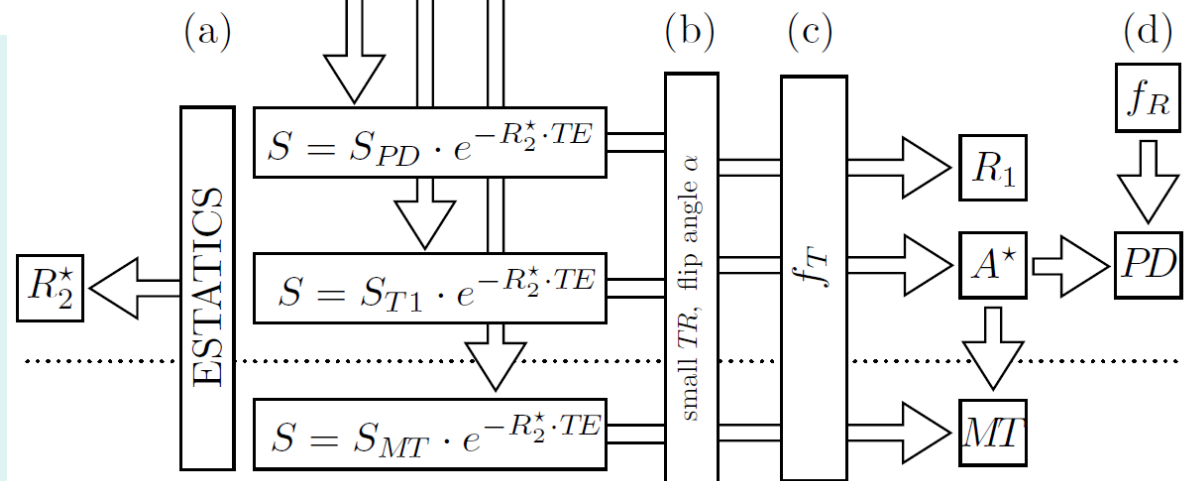


NIfTI images and JSON metadata (acquisition parameters: flip angle, TE, TR, MT on/off, ...)

MPM model



Ernst equation



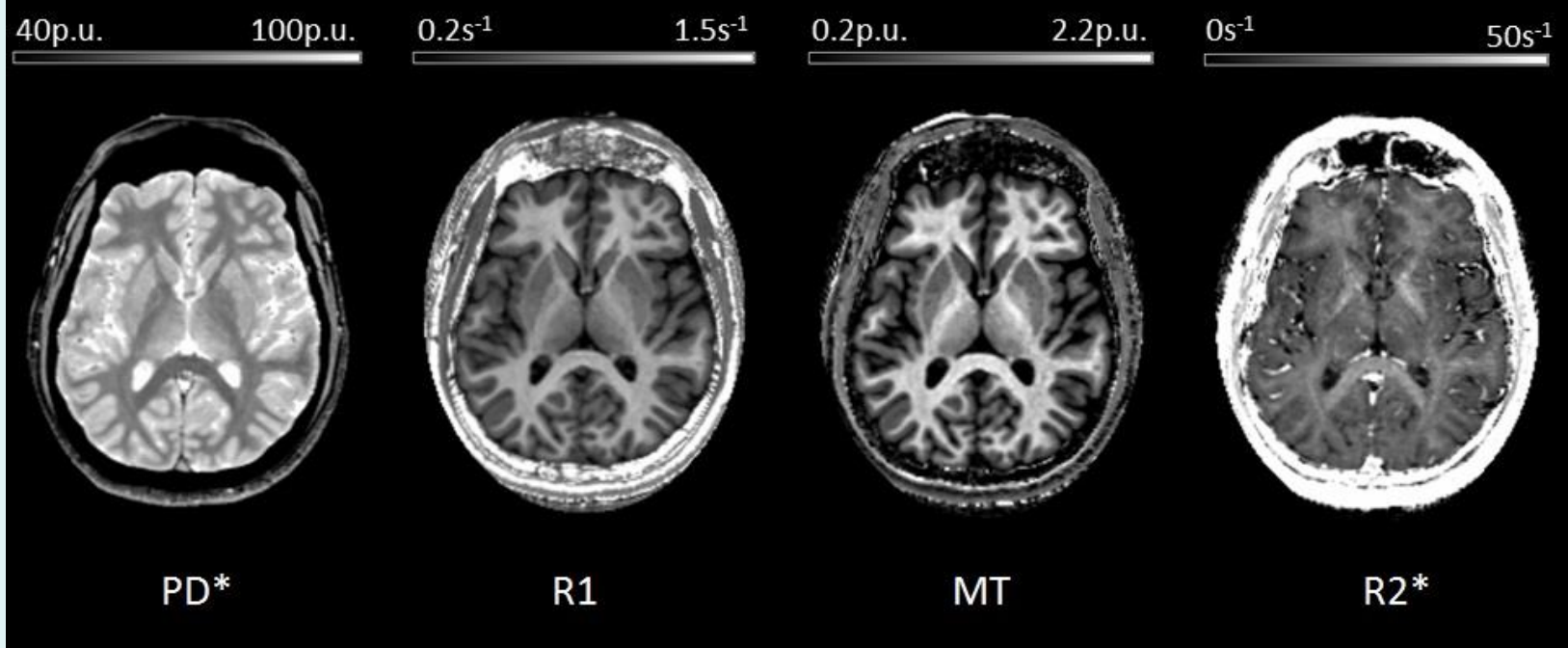
# Interprétation de l'IRM quantitative

Contenu en  
eau

Contenu en  
eau;  
Macromolécule,  
e.g. myéline;  
dépot de fer

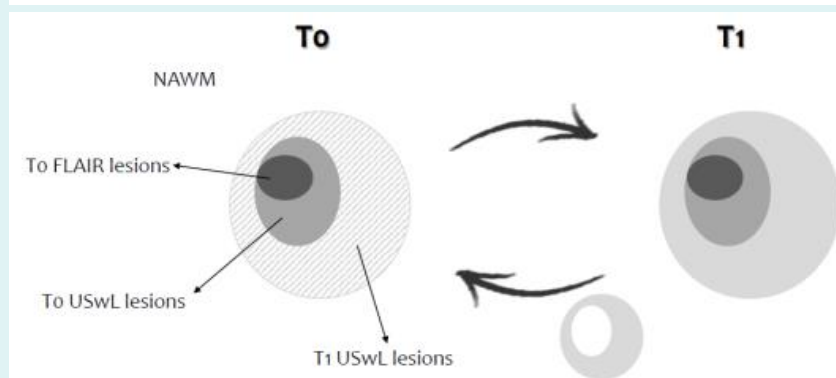
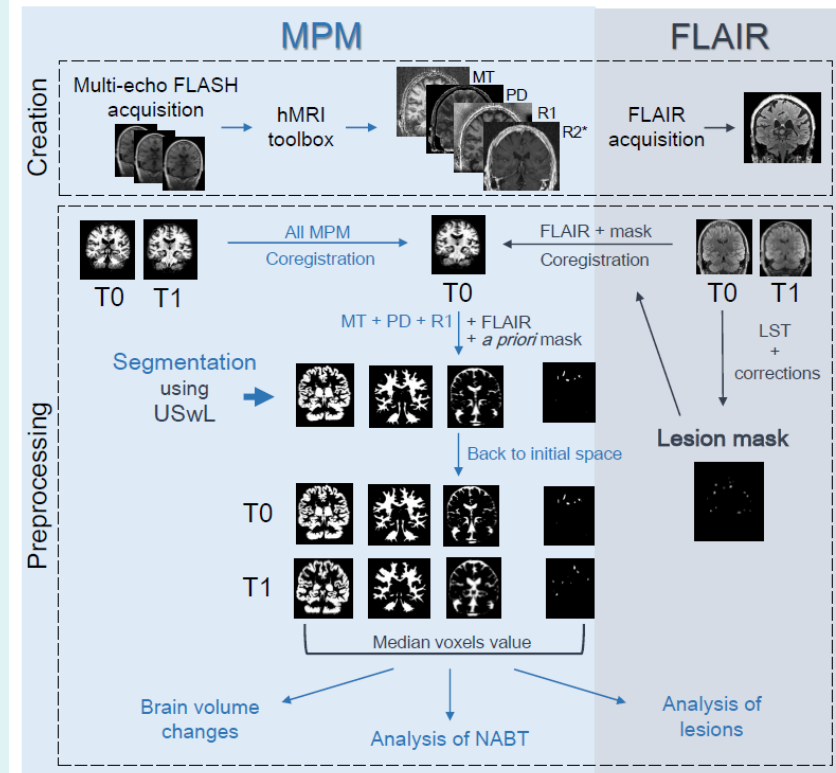
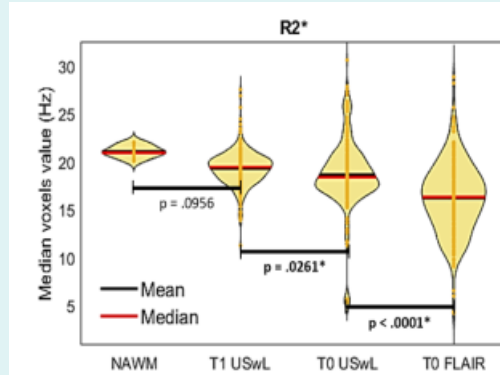
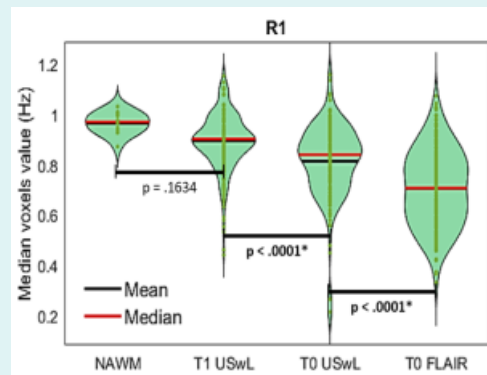
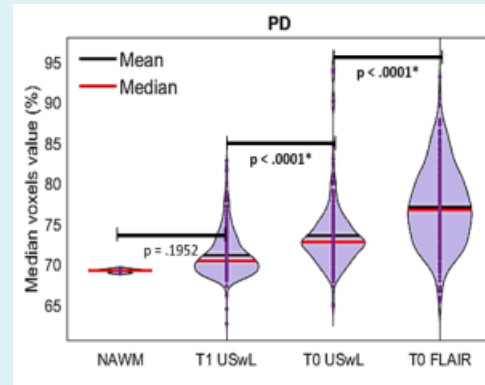
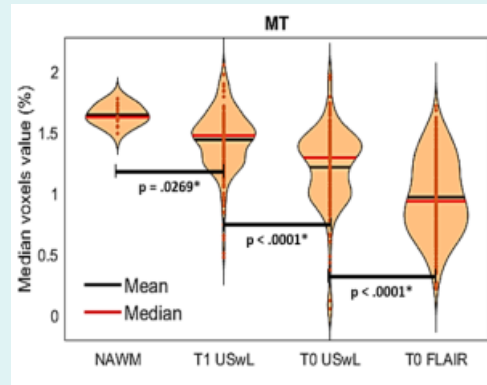
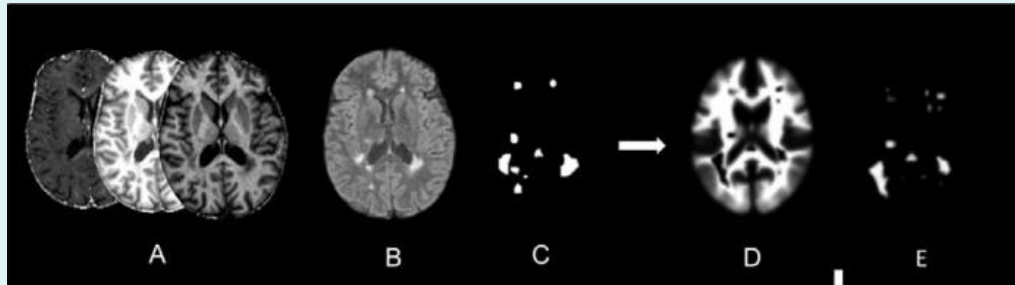
Macromolécule,  
e.g. myéline

dépot de  
fer





# IRM quantitative & sclérose en plaque



# Index

---

## **IRM et la TEP en neuroscience**

- Principes de l'IRM et la TEP
- Application en TEP
- Application en IRM
- *Conclusions*

# PET & IRM

---

- Domaine pluridisciplinaire: technologie et neuroscience
- Grands nombres d'applications possibles en recherche *fondamentale* et *clinique*
- Développements techniques et méthodologiques toujours en cours!
  - ➔ validation pour applications en « routine clinique » (dans le futur)
- Besoin de personnel compétent pour « piloter » les machines

---

# Questions ?