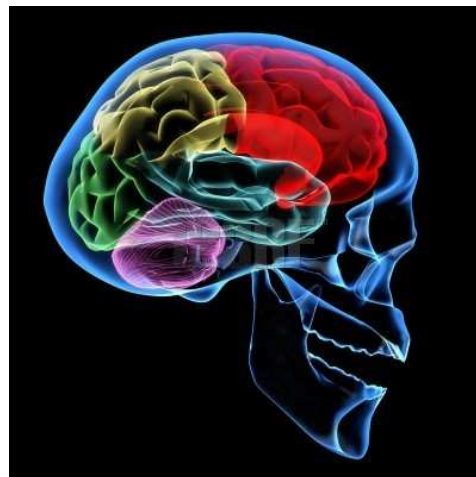




# *Imagerie cérébrale*



*I/ Bases moléculaires et cellulaires des activités cognitives*

*II/ L'activité électrique cérébrale*

*A/ L'électroencéphalographie (EEG)*

*B/ Les potentiels évoqués*

*III/ L'imagerie cérébrale*

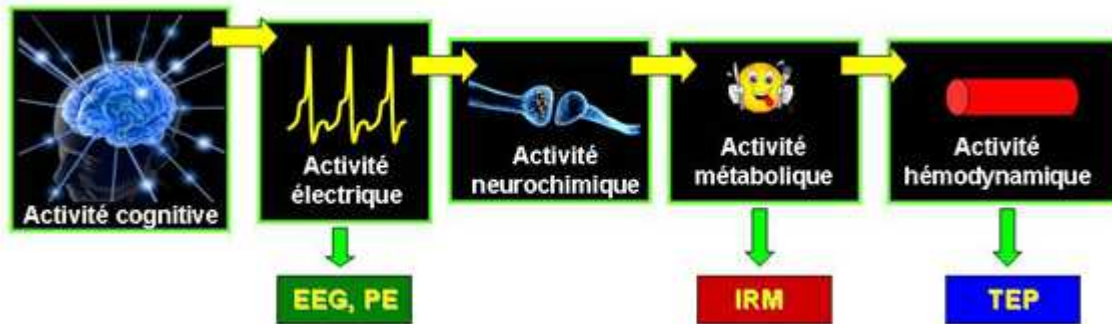
*A/ Le scanner à rayons X (CT-scan)*

*B/ La tomographie par émission de positons (TEP)*

*C/ L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)*

**I/ Bases moléculaires et cellulaires des activités cognitives**

*Mieux connaître le cerveau humain, son développement, son fonctionnement, constitue l'un des défis majeurs du XXIème siècle. Dans cette quête du cerveau humain, l'imagerie neurofonctionnelle occupe une place prépondérante en permettant l'obtention d'informations in vivo et in situ sur le fonctionnement des organes, et ce, de manière non invasive.*



**Fig.1 :** Séquence temporelle des activités électrique, neurochimique, vasculaire et métabolique au cours d'une activité cognitive. Chacune de ces étapes fournit des signaux qui peuvent être utilisés pour « fabriquer » une image du cerveau.

Il existe deux types de méthode pour explorer le cerveau vivant, les méthodes à haute résolution temporelle comme l'électroencéphalographie et les potentiels évoqués et les méthodes à haute résolution spatiale comme par exemple l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf).

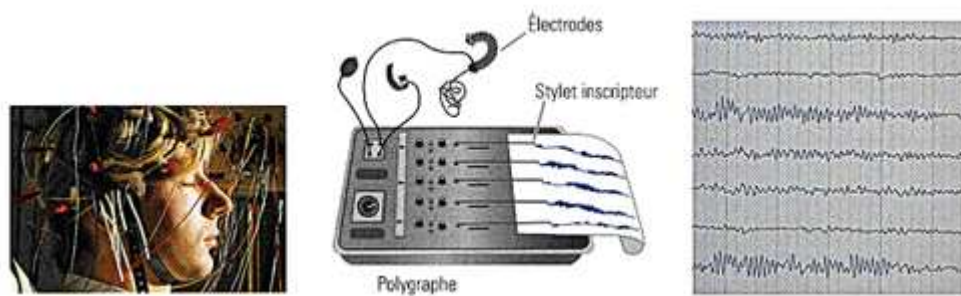
Signal	EEG	TEP	IRM
Origine	Potentiels postsynaptiques	Débit sanguin	Oxygénation Débit sanguin
Localisation	Synapses	Capillaires Tissu cérébral	Capillaires Veinules
Type	Champ électrique	Photons $\gamma$	Ondes radio
Résolution spatiale	> 6 mm	6 mm	< 3 mm
Résolution temporelle	1 ms	8 min	1 à 6 s
Mode d'observation	Direct	Indirect : traceurs radioactifs	Indirect : traceurs magnétiques
Durée d'examen	20 à 30 min	120 min	5 à 20 min

**Tableau 1 :** Comparaison des caractéristiques des principales techniques d'imageries cérébrales

**III/ L'activité électrique cérébrale**

**A/ L'électroencéphalographie (EEG)**

**Electroencéphalogramme :** Enregistrement de l'électricité générée par l'activité cérébrale. Elle peut être enregistrée à travers le crâne ou directement sur le cerveau



**Fig.2 :** Principe d'un enregistrement de l'activité électroencéphalographique (EEG) chez l'homme.

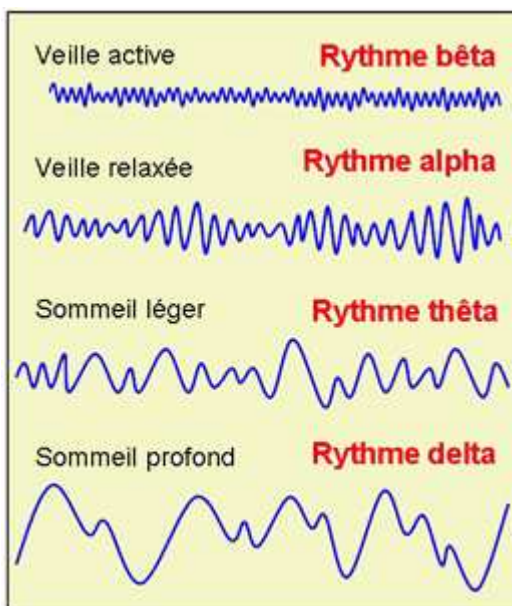
*La morphologie des tracés va dépendre de l'état d'activation des neurones enregistrés et cet état d'activation va se traduire par des variations de la fréquence et de l'amplitude des ondes enregistrées.*

### 1/ EEG normal

L'enregistrement de l'EEG peut être corrélé avec divers états comportementaux tels que le niveau d'attention, le sommeil ou des états pathologiques.

Classification	Fréquence en hertz	Niveau de vigilance
Rythme bêta	13 – 30 hz	Vigilant, yeux ouverts
Rythme alpha	8 – 12 hz	Eveillé, calme, yeux fermés
Rythme thêta	5 – 7 hz	Somnolent, sommeil stades 1 et 2
Rythme delta	< 4 hz	Sommeil profond stades 3 et 4

**Tableau 2 :** Classification des rythmes EEG



**Fig. 3 :** Tracés EEG obtenus au cours de différents états de vigilance. L'amplitude du tracé et sa fréquence varient en fonction du niveau de vigilance. Plus le niveau de vigilance diminue, plus l'amplitude augmente et la fréquence diminue.

### 2/ EEG et pathologies cérébrales

Un tracé EEG est anormal:

- soit parce qu'il comporte des figures anormales (ondes lentes paroxystiques, pointes-ondes)
- soit il comporte des figures qui n'existent pas normalement sur le tracé compte tenu de l'âge et de l'état de vigilance.

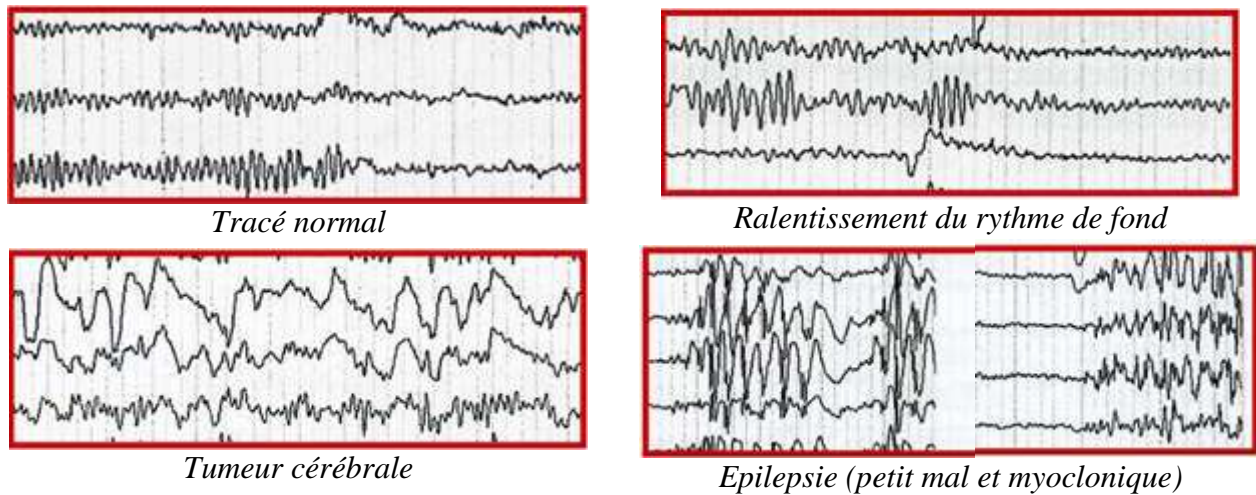


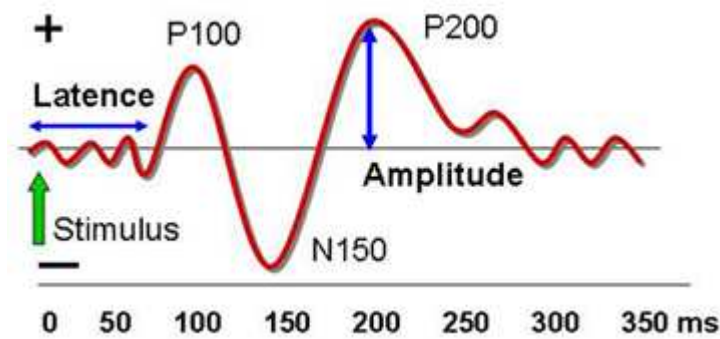
Fig.4: Exemples de tracés pathologiques.

*Une activité EEG normale n'est pas synonyme d'absence de pathologie cérébrale.  
 Une activité EEG anormale ne signifie pas l'existence d'une pathologie cérébrale.*

**B/ Les potentiels évoqués**

**Potentiel évoqué (PE) ou potentiel lié à l'événement (ERP): Modification de l'activité à ondes lentes du cerveau en réponse à un stimulus sensoriel ou une activité cognitive.**

Leur mise en évidence nécessite la moyenne d'une série de potentiels évoqués pour obtenir une estimation fiable de l'activité cérébrale provoquée par le stimulus.



**Fig. 5 : Potentiel évoqué**

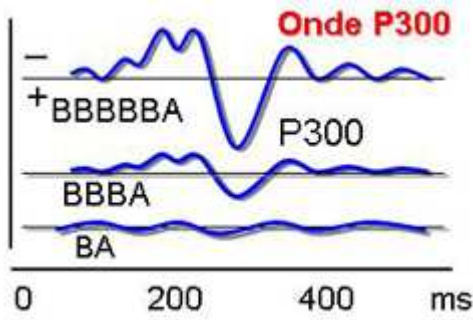
Les potentiels évoqués sont constitués de plusieurs déflexions positives (P) et négatives (N) suivies d'un chiffre correspondant à leur latence en ms. La latence correspond au temps requis par le cerveau pour analyser les informations véhiculées par le stimulus. L'amplitude représente la dépense énergétique allouée à la tâche.

<b>Potentils évoqués exogènes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traduisent les premières étapes du traitement de l'information</li> <li>- Dépendent de la modalité sensorielle</li> <li>- Ne varient pas en fonction de l'état mental</li> <li>- Evaluent l'intégrité des voies sensorielles</li> </ul>
<b>Potentils évoqués endogènes ou cognitifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne dépendent pas de la modalité sensorielle</li> <li>- Sont en relation directe avec les activités cognitives</li> <li>- Constituent d'excellents marqueurs de l'activité cérébrale</li> </ul>

Tableau 3 : Les deux types de potentiels évoqués

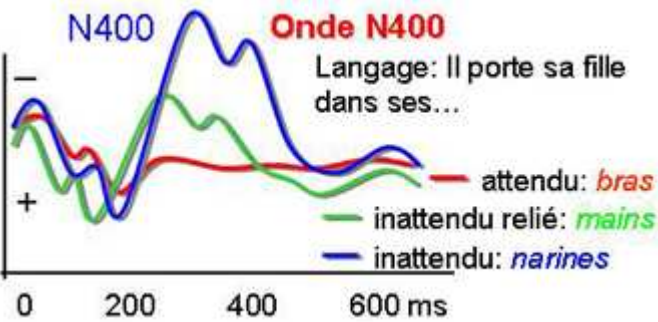
**Les potentiels évoqués cognitifs**

Les potentiels cognitifs sont à l'heure actuelle les outils neurophysiologiques les plus sûrs en psychopathologie.



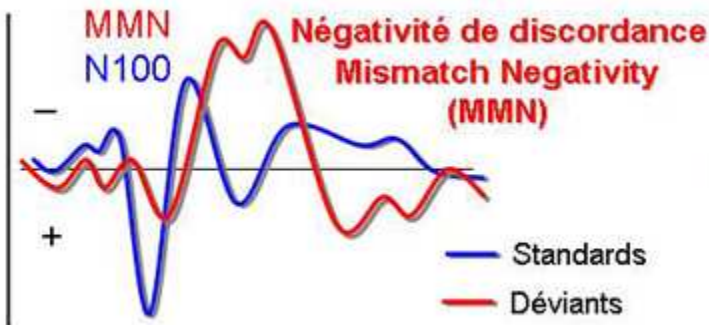
**Onde P300**

Composante qui apparaît lorsqu'un individu a détecté une information pertinente dans l'environnement.



**Onde N400**

Elle est liée au traitement linguistique, au contenu ou représentation sémantique.



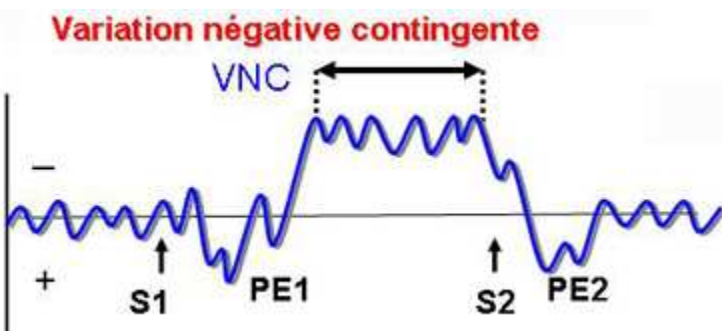
**Onde MMN (mismatch negativity)**

Elle est évoquée par des stimuli déviants dans une suite de stimuli fréquents.



**Négativité d'erreur**

Apparaît lorsque le sujet réalise qu'il a commis une erreur.



**Variation négative contingente (VNC)**

Observée en anticipation d'un évènement.

Fig.6 : Les principaux PE utilisés en psychiatrie.

Les PE cognitifs constituent des marqueurs biologiques qui permettent d'évaluer les fonctions cognitives dans les pathologies mentales.

### III/ L'imagerie cérébrale

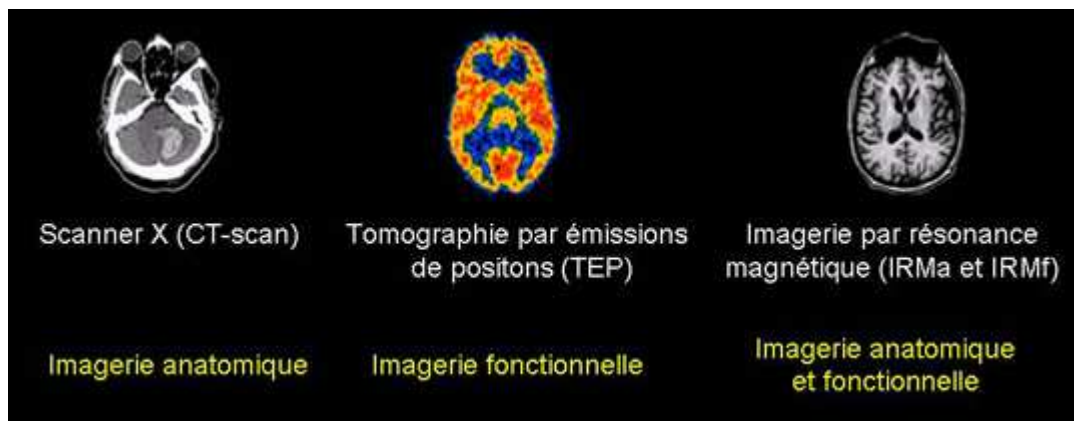


Fig.7 : les différentes méthodes d'imagerie cérébrale.

#### A/ Le scanner à rayons X (CT-scan)

**Scanner à rayons X ou tomodensitomètre : appareil à rayons X qui permet d'obtenir des clichés par plan d'un organe et de déterminer ainsi avec précision l'emplacement d'une lésion.**

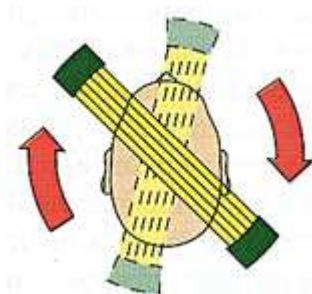
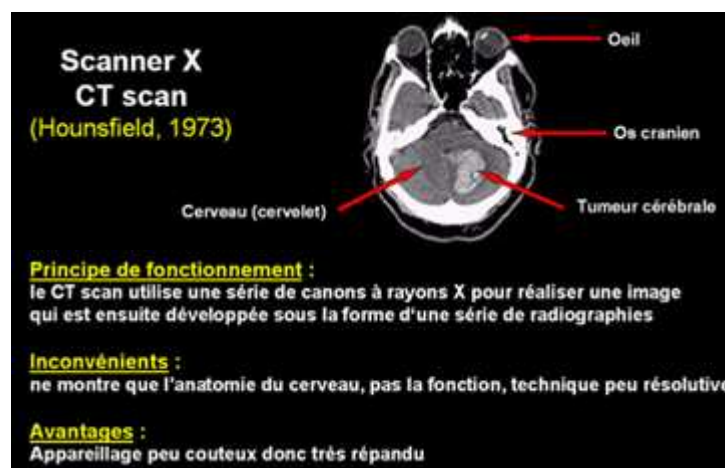
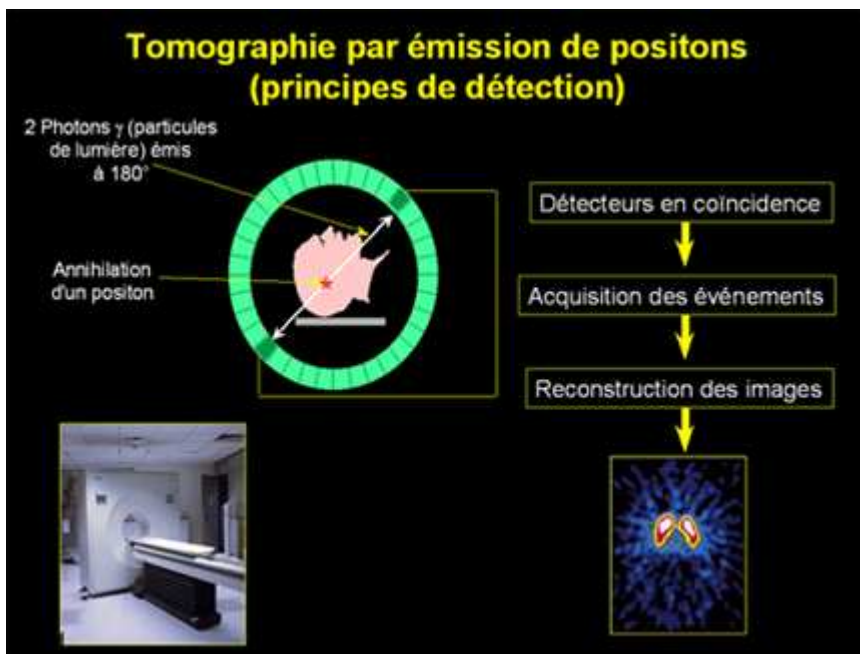
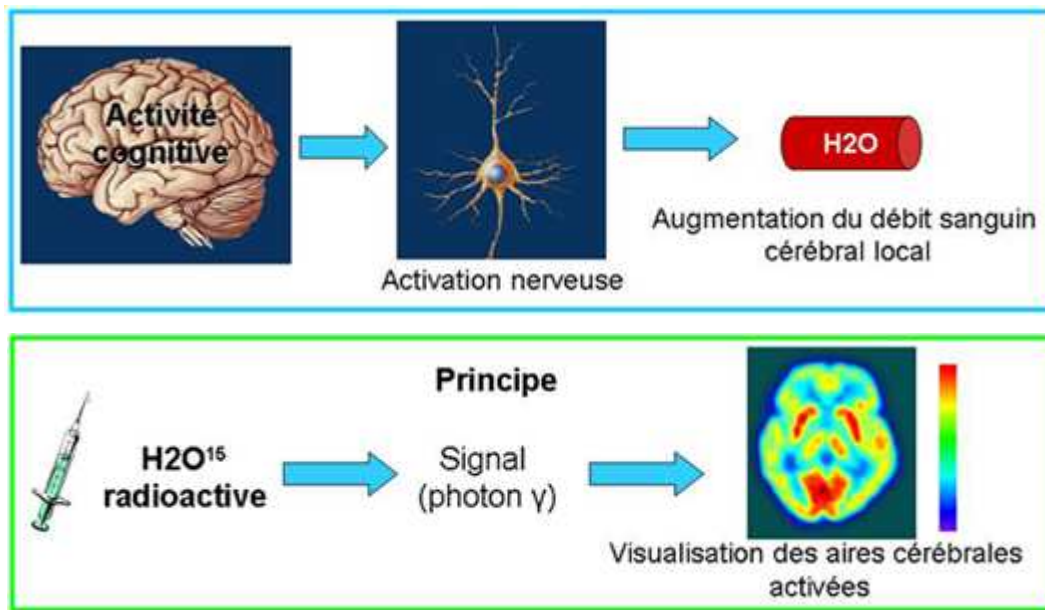


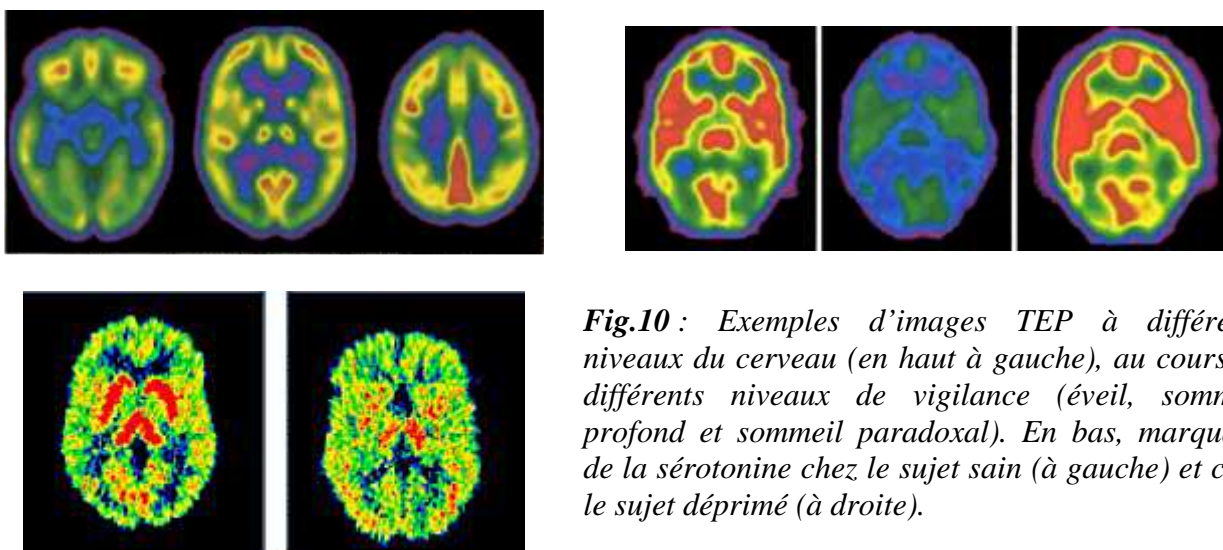
Fig. 8 : En tomographie assistée par ordinateur, la source de rayons X et les détecteurs tournent autour de la tête du sujet. On crée ainsi une matrice de points d'intersections obtenus à partir de diverses directions.

#### B/ La tomographie par émission de positons (TEP)

**Tomographie par émission de positons (TEP): Technique appliquée à la recherche fondamentale sur le cerveau par visualisation très précise des zones d'activation cérébrale. Les cellules vivantes qui passent d'un état de repos à un état activé utilisent d'avantage de glucose et d'oxygène ce qui est à l'origine d'une augmentation du débit sanguin cérébral local; ce changement est décelé à l'aide de marqueurs radioactifs, en l'occurrence des positons produits par un accélérateur de particules.**



*Fig.9: principe de détection du signal en TEP*



*Fig.10 : Exemples d'images TEP à différents niveaux du cerveau (en haut à gauche), au cours de différents niveaux de vigilance (éveil, sommeil profond et sommeil paradoxal). En bas, marquage de la sérotonine chez le sujet sain (à gauche) et chez le sujet déprimé (à droite).*

**Avantages:**

- fournit des images quantifiées de l'activité du cerveau.
- elle permet d'étudier dans le cerveau le devenir d'un grand nombre de molécules organiques (enzymes, ADN, ARN, protéines, neurotransmetteurs etc...) ou de médicaments.

**Inconvénients:**

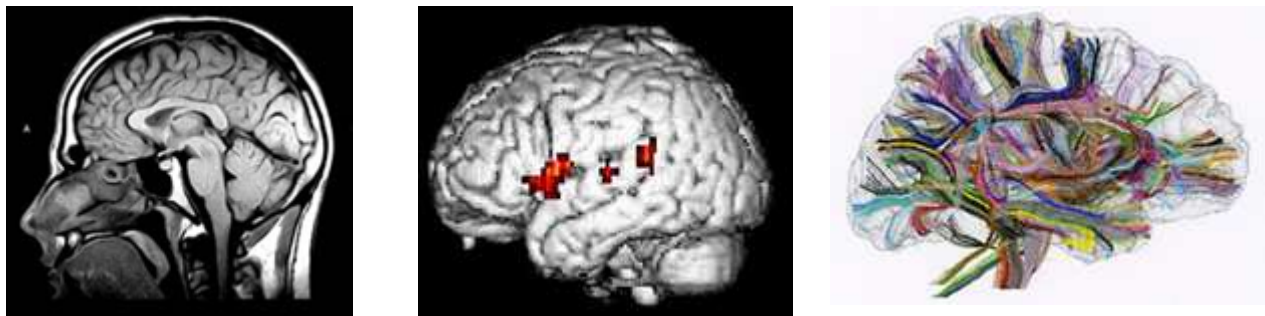
- nécessite l'injection de produit radioactif.
- technique lourde et couteuse.
- elle impose d'utiliser des atomes radioactifs de très courte période (cyclotron et labo de chimie sur site).
- ne montre pas l'anatomie du cerveau.

### C/ L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)

*Son principe consiste à réaliser des images du corps humain grâce aux nombreux atomes d'hydrogène qu'il contient. Placés dans un puissant champ magnétique, tous les atomes d'hydrogène s'orientent dans la même direction : ils sont alors excités par des ondes radio durant une très courte période (ils sont mis en résonance). A l'arrêt de cette stimulation, les atomes restituent l'énergie accumulée en produisant un signal qui est enregistré et traité sous forme d'image par un système informatique.*

*Avec une résolution spatiale et temporelle exceptionnelle, l'IRM est un outil puissant de diagnostic et de recherche neurobiologique.*

*L'IRM peut être utilisée pour fournir des images à haute résolution des structures du cerveau (IRM anatomique), mais aussi des images des fonctions cérébrales (IRM fonctionnelle). Plus récemment, l'IRM de diffusion (IRMd) permet d'étudier les réseaux de fibres de la substance blanche.*



**Fig.11 :** *IRM anatomique (à gauche), IRM fonctionnelle (au centre). L'imagerie de diffusion (à droite) permet d'obtenir des images détaillées des faisceaux de fibres de la matière blanche qui connectent les différentes régions du cerveau.*

#### 1/ L'IRM anatomique



**Fig.12 :** *L'image obtenue en IRM est une carte en densité des molécules d'eau.*



**Principe :** L'IRM utilise Les propriétés magnétiques des noyaux d'hydrogène, présents dans les molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) qui constituent 80% du corps. Soumis à un champ magnétique et à des ondes radio, ces noyaux émettent des signaux. Le traitement numérique fournit une carte de la répartition de l'eau dans l'organisme pour visualiser les organes et suivre leur activité.



**1 :** Les noyaux d'H<sub>2</sub> sont dotés d'un moment magnétique appelé « spin ».

**2 :** Dans un champ magnétique, le spin se comporte comme une aiguille aimantée qui s'oriente dans la direction du champ.

**3 :** Si on lui applique alors une série d'ondes radio, son orientation bascule.

**4 :** A la fin de chacune de ces impulsions, le spin retourne à sa position initiale en émettant une onde de la même fréquence que celle qui l'a désorienté. On dit que le noyau entre en résonance.

Fig. 13 : Principe de l'IRM.

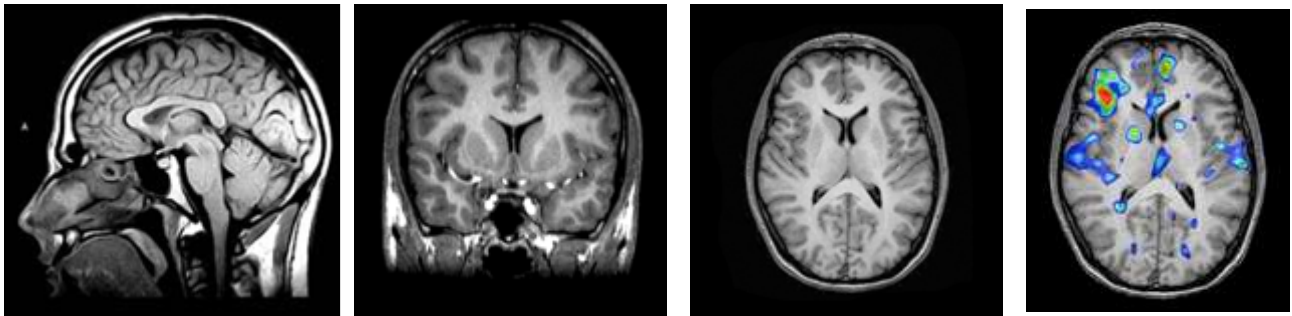


Fig.14 : IRM de cerveau en coupe sagittale, frontale et transversale. La résolution spatiale est proche de celle d'une coupe anatomique.

En raison de leurs caractéristiques spécifiques, les techniques d'imageries sont complémentaires. Il est donc possible de combiner des images obtenues en IRM et TEP (imagerie dite « multimodale »), ce qui permet d'associer l'excellente résolution spatiale de l'IRM avec l'aspect fonctionnel de la TEP (à droite).

## 2/ L'IRM fonctionnelle

**L'IRM fonctionnelle est fondée sur l'observation en temps réel des variations de l'oxygénation du sang et utilise un traceur endogène : l'hémoglobine.**

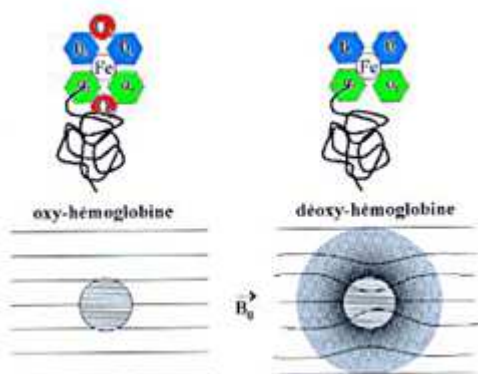
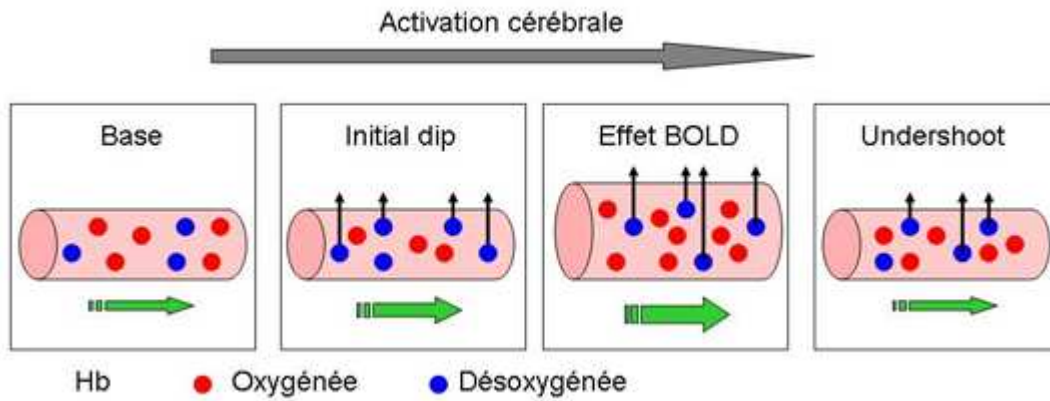


Fig. 15 : L'oxygène libéré au niveau des capillaires cérébraux, entraîne la réduction du fer qui se retrouve à l'état d'ion ferreux (Fe<sup>++</sup>), laissant deux électrons libres au sein de la molécule de déoxy-hémoglobine. Ces électrons sont à l'origine du magnétisme de cette molécule et génèrent une modification du champ magnétique local.



**Fig. 16:** L'activation cérébrale génère différents signaux hémodynamiques parmi lesquels la concentration en désoxy-hémoglobine qui varie en fonction de l'activité.

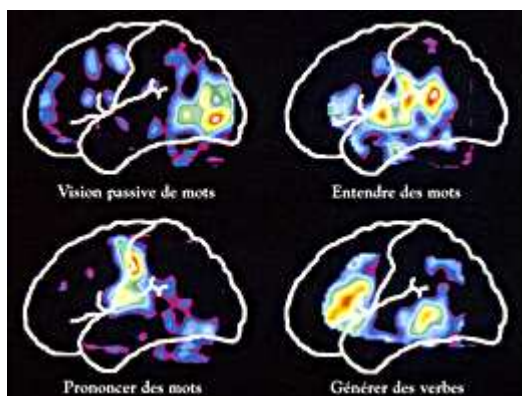
Le terme **signal BOLD** (de l'anglais *Blood-oxygen-level dependent*, « dépendant du niveau d'oxygène sanguin ») désigne le signal qui reflète les variations locales et transitoires de la quantité d'oxygène transporté par l'hémoglobine en fonction de l'activité neuronale du cerveau.

**Les apports de la neuroimagerie sont multiples :**

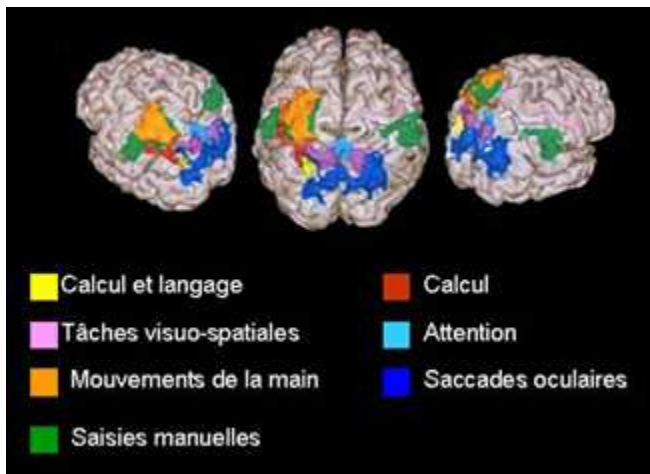
- comprendre le cheminement et le mode de traitement de l'information dans le cerveau en visualisant l'ordre d'activation des régions cérébrales activées dans le traitement d'une information.
- comprendre les pathologies cérébrales psychiatriques (schizophrénie), neurologiques (sclérose en plaques), neurodégénératives (maladie d'Alzheimer) ou du développement (dyslexie), pour mieux les reconnaître, les prévenir et les traiter.
- cartographier les aires cérébrales sous-tendant les fonctions cognitives. Elle permet de distinguer les assemblés de neurones et les processus mentaux mis en jeu dans le langage, la mémoire, le calcul, l'apprentissage de la lecture voire même la conscience.



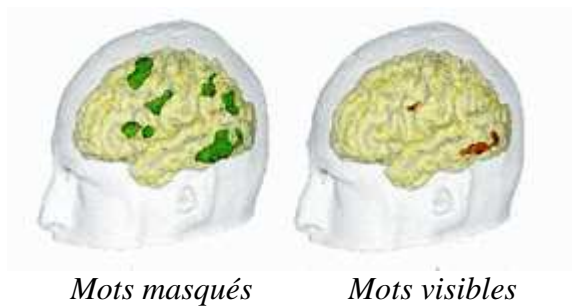
**Fig.17 :** L'utilisation de l'IRM a permis de montrer que des anomalies cérébrales sont associées à certaines formes de l'autisme. Chez les enfants autistes, des anomalies prédominent au niveau de la substance blanche. Elles sont particulièrement marquées au niveau du lobe temporal



**Fig. 18 :** Chacune des tâches dans l'expérience hiérarchique active un ensemble distinct d'aires cérébrales.



**Fig.19:** Cartographie des aires cérébrales qui sous-tendent les fonctions cognitives.



**Fig.20 :** Lecture consciente et inconsciente. Un sous ensemble de régions cérébrales impliquées lors du processus de lecture, sont activées de manière inconsciente lors de la présentation subliminale de mots.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- L'esprit en images*, Posner et Raichle, DeBoeck Université, 1998  
*Neurosciences cognitives*, Gazzaniga, Ivry et Magoun ; DeBoeck Université, 2001  
*Cerveau et psychologie. Introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle*. O. Houdé, B. Mazoyer et N. Tourio-Mazoyer. Presses Universitaires de France, 2001  
*Brave new brain*, Andreasen, DeBoeck Université, 2004  
*Manuel d'EEG de l'adulte*, C. Hausser-Hauw, Masson, 2007  
*Psychopathologie et neurosciences*, S. Campanella et E. Streel, DeBoeck Université, 2008  
*La Recherche*, N° 289, 1996  
*Médecine Sciences*, N°4, Vol.15, 1999