

UNIVERSITE D'ALGER
BENYOUCEF BENKHEDDA
FACULTE DE MEDECINE

Initiation à l'imagerie en coupe TDM et IRM

Cours de radiologie S1 clinique
Service d'imagerie médicale Hôpital du jour HDJ
Hôpital central de l'armée
Dr Mohamed Seghir Nekkache
Dr. A.DERRICHE 2020-2021

1-Introduction :

L'imagerie médicale regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques tels que l'absorption des rayons X, et la résonance magnétique nucléaire.

Apparues, pour les plus anciennes, au tournant du 20^{ème} siècle, ces techniques ont révolutionné la médecine grâce au progrès de l'informatique en permettant de visualiser indirectement l'anatomie, la physiologie ou le métabolisme du corps humain. Développées comme outil diagnostique, elles sont aussi largement utilisées dans la recherche biomédicale pour mieux comprendre le fonctionnement de l'organisme.

2-Principes de l'imagerie en coupe :

Le but de l'imagerie médicale est de créer une représentation visuelle intelligible d'une information à caractère médical. Cette problématique s'inscrit plus globalement dans le cadre de l'image scientifique et technique : l'objectif est en effet de pouvoir représenter sous un format relativement simple une grande quantité d'informations issues d'une multitude de mesures acquises selon un mode bien défini.

L'image obtenue peut être traitée informatiquement pour obtenir par exemple :

- une reconstruction tridimensionnelle d'un organe ou d'un tissu ;
- un film ou une animation montrant l'évolution ou les mouvements d'un organe au cours du temps ;
- une imagerie quantitative qui représente les valeurs mesurées pour certains paramètres biologiques dans un volume donné.

Dans un sens plus large, le domaine de l'imagerie médicale englobe toutes les techniques permettant de stocker et de manipuler ces informations. Ainsi, il existe une norme pour la gestion informatique des données issues de l'imagerie médicale : la norme DICOM.

Suivant les techniques utilisées, les examens d'imagerie médicale permettent d'obtenir des informations sur l'anatomie des organes (leur taille, leur volume, leur localisation, la forme d'une éventuelle lésion, etc.) ou sur leur fonctionnement (leur physiologie, leur métabolisme, etc.). Dans le premier cas on parle d'imagerie structurelle et dans le second d'imagerie fonctionnelle.

Parmi les méthodes d'imagerie les plus couramment employées en médecine, on peut citer d'une part les méthodes basées soit sur les rayons X (radiologie conventionnelle, radiologie digitale, tomodensitomètre ou CT-scan, angiographie, etc.), soit sur la résonance magnétique nucléaire (IRM).

4- tomodensitométrie TDM :

A- Définition :

Le tomodensitométrie (TDM), dite aussi scanographie, tomographie axiale calculée par ordinateur (TACO), CT-scan (CT : computerized tomography), CAT-scan (CAT : computer-assisted tomography), ou simplement scanner ou scanneur pour l'appareil, est une technique d'imagerie médicale qui consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus puis, par traitement informatique, à numériser et enfin reconstruire des images 2D ou 3D des structures anatomiques. Pour acquérir les données, on emploie la technique d'analyse tomographique ou « par coupes », en soumettant le patient au balayage d'un faisceau de rayons X.

B- Historique:

Le premier scanner à rayons X a été mis au point au début des années 1970 par un ingénieur britannique travaillant dans un laboratoire financé par EMI, Godfrey Newbold Hounsfield¹, d'après les travaux publiés quelques années auparavant par un physicien américain, Allan MacLeod Cormack. Ces deux savants ont ainsi obtenu le Prix Nobel de physiologie ou médecine en 1979 pour le « développement de la tomographie axiale calculée ».

Les premiers prototypes de tomodensitomètre ne permettaient d'« imager » que le cerveau au moyen d'une série de capteurs ou détecteurs disposés en arc de cercle autour de la tête. Pour réaliser une seule image sur ces appareils, il fallait acquérir le signal pendant plusieurs minutes. L'ordinateur auquel ils étaient couplés, nécessitait deux heures et demie pour traiter chaque coupe ou tomographie. Ces images tomodensitométriques du cerveau permirent de visualiser, pour la première fois en imagerie, le tissu cérébral et les ventricules remplis de liquide cébrospinal. Les appareils suivants permirent ensuite de produire des images de toutes les parties du corps humain. D'une matrice grossière de 80×80, on est passé rapidement à des pixels plus petits, jusqu'à une résolution d'images de 512×512.

C- Déroulement de l'examen:

L'examen standard peut être fait dans toute circonstance, à condition que le patient puisse être immobile sur la table une dizaine de secondes. Il n'y a pas de nécessité d'être à jeun sauf rares explorations particulières. En cas de grossesse, la justification (indication) de l'examen et son rapport bénéfice sur risque doivent être soigneusement évalués, du fait de la sensibilité particulière du fœtus à l'irradiation, particulièrement en tout début de grossesse.

L'examen peut nécessiter une injection intraveineuse d'un produit de contraste iodé. On s'assure que le patient a une fonction rénale correcte (taux sanguin de créatinine, et débit de filtration glomérulaire ou clairance de la créatinine, normaux) et qu'il n'existe pas d'antécédent personnel d'allergie à un produit de contraste iodé. Dans le cas contraire, soit

l'examen est réalisé sans produit de contraste, soit l'examen est remplacé par une autre technique, soit il est reporté le temps que le patient se soit soumis aux tests d'allergologie, soit un traitement à visée préventive antiallergique est administré au préalable par voie intraveineuse en cas d'examen urgent et sous haute surveillance.

Durant l'acquisition, les images sont visualisées sur une console informatique par le manipulateur en électroradiologie médicale et par le médecin radiologue.

Simultanément, le radiologue reçoit sur sa console de visualisation et de traitement l'ensemble des données acquises.

Celles-ci se présentent sous la forme de « coupes » ou tranches d'épaisseur millimétrique (de 0,4 mm à 10 mm) que le radiologue peut étudier dans tous les plans de l'espace (sagittal, axial, coronal et obliques), et qu'il s'agit de post-traiter (augmentation de l'épaisseur des coupes visualisées, mise en valeur de certaines densités, reconstructions volumiques en 3D, extraction des vaisseaux ou des structures osseuses, navigation virtuelle endoscopique, etc.).



Images obtenues après traitement des données.

Les images sont transmises au correspondant soit sous forme de films radiologiques ou imprimées sur papier (dans ce cas il s'agit d'une sélection d'images dites pertinentes), soit sous format numérique, c'est-à-dire sous forme de fichiers informatiques gravés sur un support CD-ROM ; le format d'image couramment utilisé est le format « médical » DICOM nécessitant un logiciel de visualisation simple gravé avec le CD, mais parfois les images sont converties au format JPEG pour permettre la visualisation sommaire sur tout ordinateur.

NB :

L'utilisation de rayons X est d'usage courant. Ces rayonnements, comme les rayons gamma sont ionisants et donc dangereux. En particulier, l'irradiation d'une cellule en phase de mitose peut

provoquer une mutation de l'ADN et qui peut provoquer l'apparition d'un cancer à terme. Toutefois, grâce aux mesures de radioprotection, le risque inhérent aux examens X est limité autant que possible.

5- IRM :

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie médicale permettant d'obtenir des vues en deux ou en trois dimensions de l'intérieur du corps de façon non invasive avec une résolution en contraste relativement élevée.

L'IRM repose sur le principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN), qui utilise les propriétés quantiques des noyaux atomiques pour la spectroscopie en analyse chimique.

L'IRM nécessite un champ magnétique puissant et stable produit par un aimant supraconducteur qui crée une magnétisation des tissus par alignement des moments magnétiques de spin. Des champs magnétiques oscillants plus faibles, dits « radiofréquence », sont alors appliqués de façon à légèrement modifier cet alignement et produire un phénomène de précession qui donne lieu à un signal électromagnétique mesurable.

La spécificité de l'IRM consiste à localiser précisément dans l'espace l'origine de ce signal RMN en appliquant des champs magnétiques non uniformes, des « gradients », qui vont induire des fréquences de précession légèrement différentes en fonction de la position des atomes dans ces gradients. Sur ce principe qui a valu à ses inventeurs, Paul Lauterbur et Peter Mansfield le prix Nobel de physiologie ou médecine en 2003, il est alors possible de reconstruire une image en deux dimensions puis en trois dimensions de la composition chimique et donc de la nature des tissus biologiques explorés.

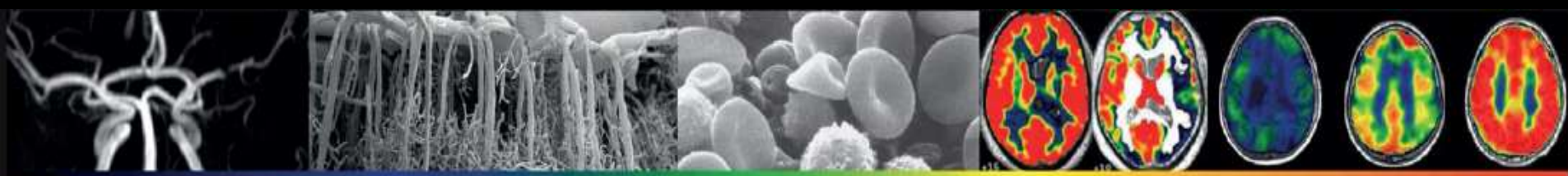
En imagerie médicale, l'IRM est principalement dédiée à l'imagerie du système nerveux central (cerveau et moelle épinière), des muscles, du cœur et des tumeurs. Grâce aux différentes séquences, on peut observer les tissus mous avec des contrastes plus élevés qu'avec la tomodensitométrie ; en revanche, l'IRM ne permet pas l'étude des corticales osseuses (tissus « durs ») trop pauvres en hydrogène, ni donc la recherche fine de fractures où seul l'œdème péri-lésionnel pourra être observé.

6- Références :

1. *Hounsfield GN, « Computerized transverse axial scanning (tomography).*
2. *Description of system », Br J Radiol, vol. 46, no 552, 1973, p. 1016-22. (PMID 4757352, lire en ligne [archive] [PDF]) .*
3. *« Scanner ou IRM, est-ce la même chose ? ».*
4. *« Les origines de l'IRM : la résonance magnétique nucléaire » [archive], un article CultureSciences-Chimie de l'École normale supérieure-DGESCO.*
5. *Otto Glasser, « Traduction anglaise de la publication de Wilhelm Röntgen « Über eine neue Art von Strahlen » » [archive du 5 novembre 2010], sur mindfully.org/, 1945 (consulté le 1er janvier 2011)*

HOPITAL CENTRAL DE L'ARMEE

Service d'Imagerie Médicale hôpital du jour Pr OURRAD



INITIATION A L'IMAGERIE EN COUPE: TDM ET IRM

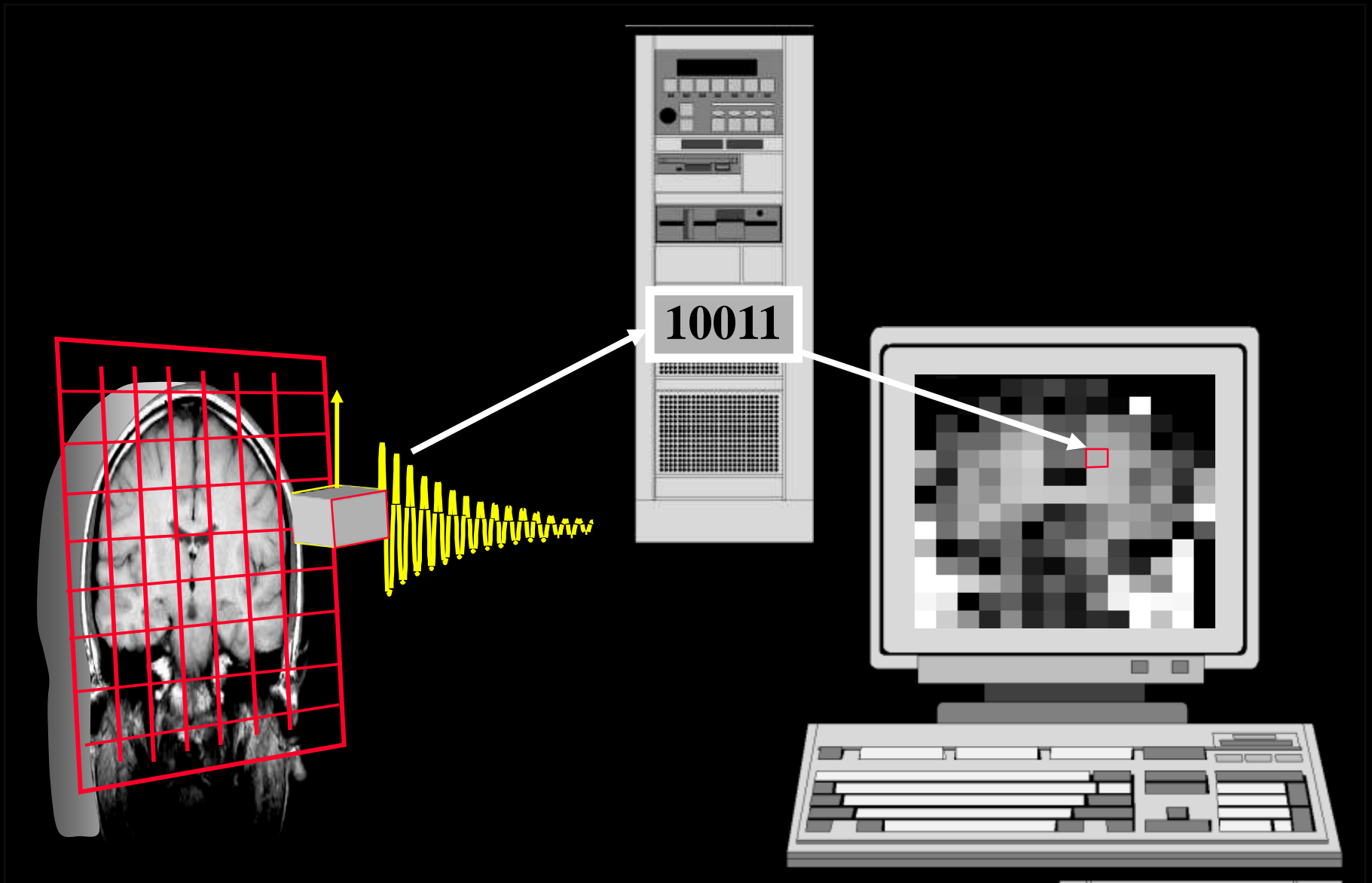
Dr A.DERRICHE
BIOPHYSIQUE MEDICALE
NEURO-RADIOLOGIE FONCTIONNELLE

Objectifs

- Initiation à l'imagerie en coupe.
- Connaitre les bases physiques de la TDM et l'IRM
- Natures des images radiologiques.
- Ce qui se fait maintenant.

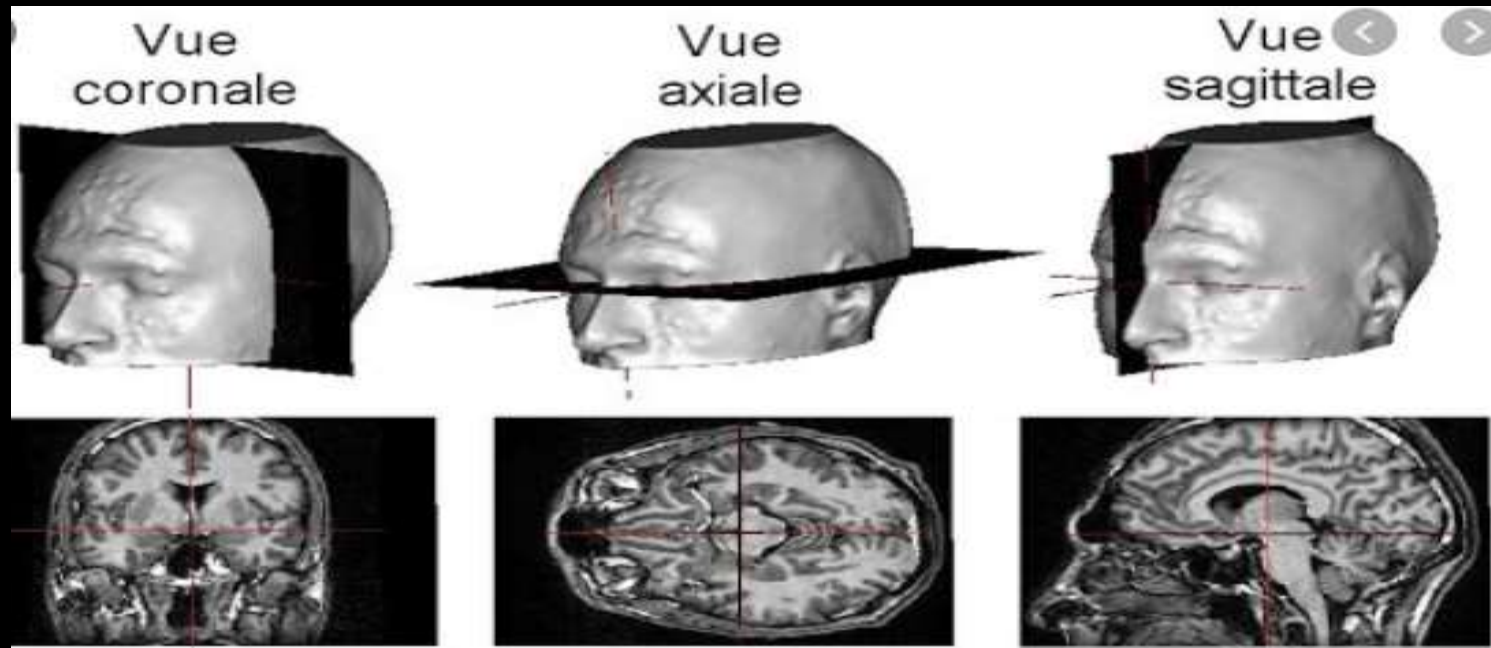


Le numérique dans l'imagerie



Les points communs entre L'IRM et la TDM

- Obtenir des images en coupes.
- Tunnel (celui de l'IRM est plus long).
- Analyse morphologique et fonctionnelle.
- Reconstruction 3D.



Les principales différences entre L'IRM et la TDM

- On détecte pas les mêmes choses.
- Principe physique différent !!
- Durée de l'examen.

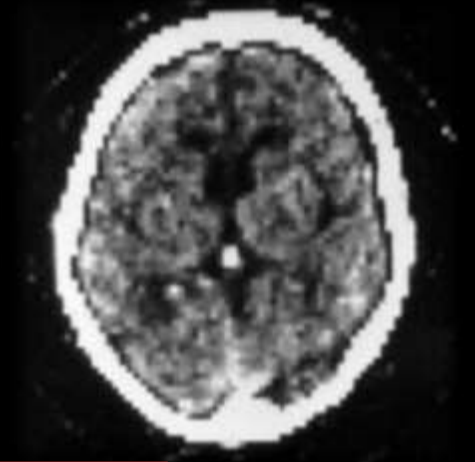


La TDM

Tomodensitométrie



1eres images de TDM cérébrale en 1972
(Sir Hounsfield)

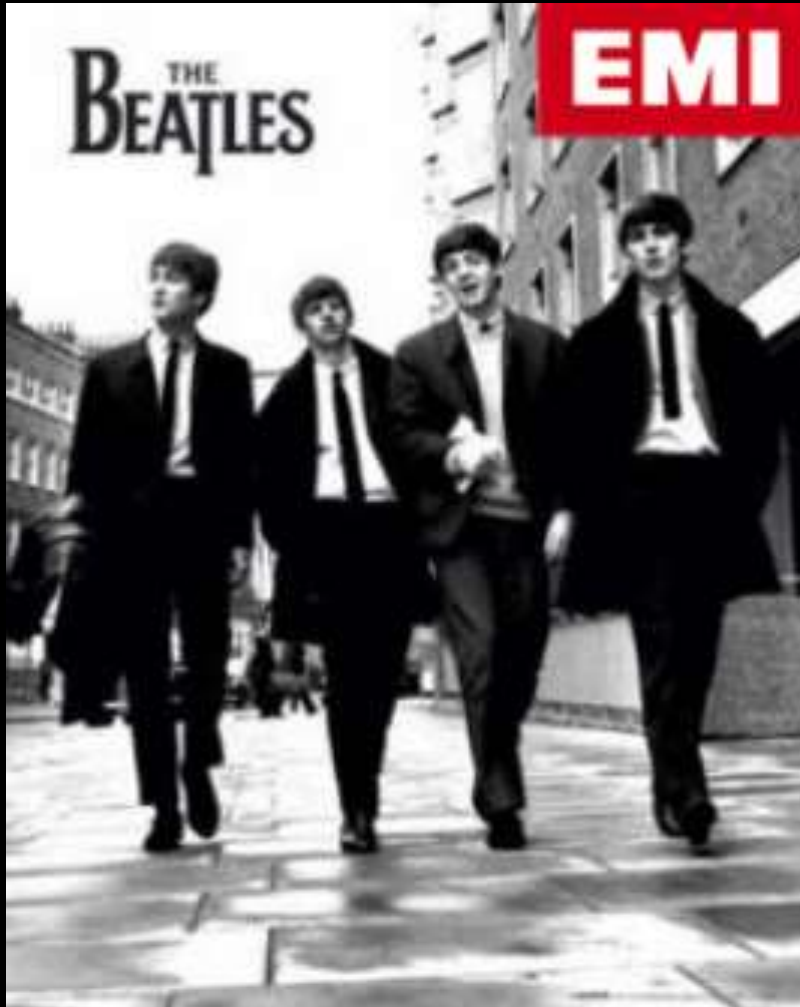


Exploration d'une coupe
en 5minute

Maintenant 320coupes en
0.35ms





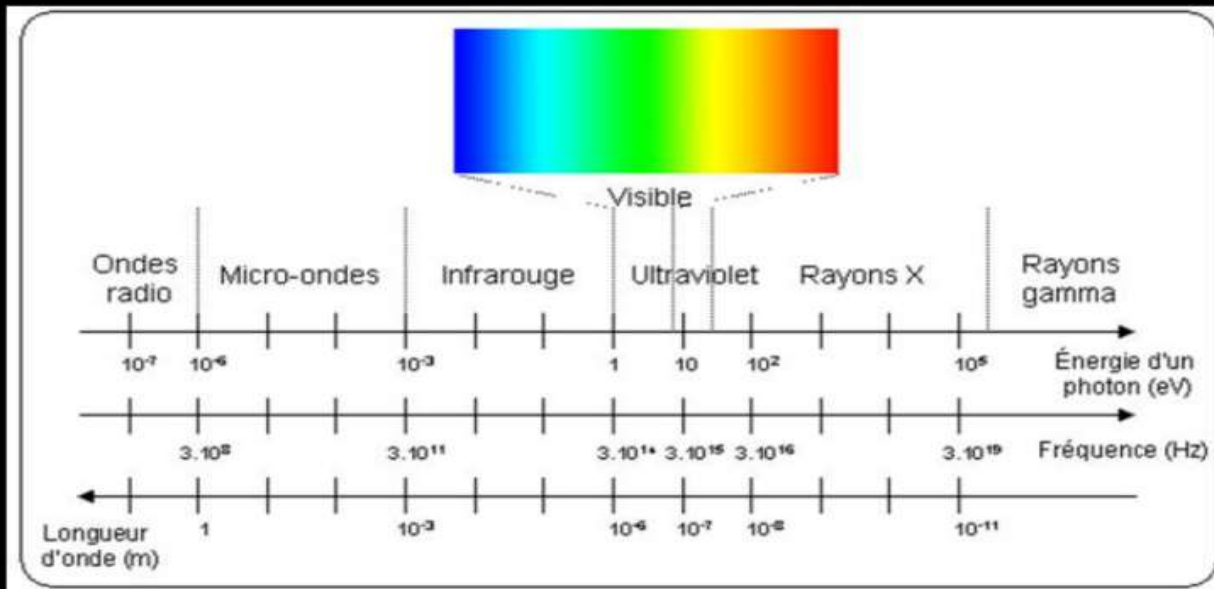


Sir Godfrey
Hounsfield
Société EMI

Prix NOBEL en 1979
Avec Allan Cormack

Principes physiques de la TDM

La TDM utilise l'absorption des rayons X par les différents tissus. Les images obtenues via un scanner ont une excellente résolution spatiale et permettent de visualiser des structures infra millimétriques. Dans le cas d'un scanner cérébral, on pourra visualiser des modifications de volume ou des anomalies de structure (embolie, anévrisme, tumeur...).



Main de Mme
Roentgen 1895

source

I_0



u1

u2

u3

u4

u5

$$I = I_0 \cdot \exp[-(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)]$$

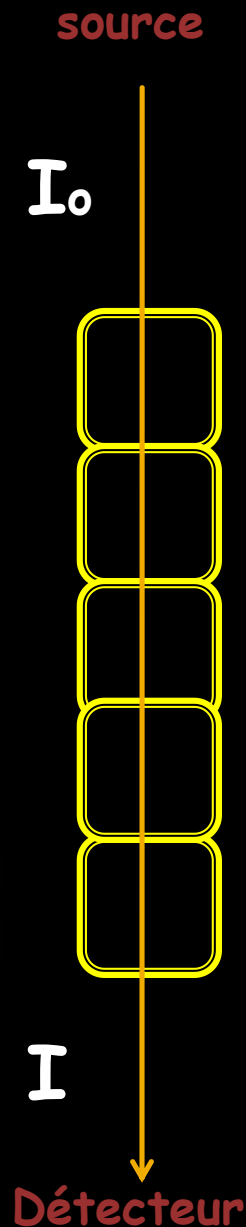
I

Détecteur

Tube à rayon X
Anode tournante



$$I = I_0 \cdot \exp[-(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)]$$



u1

u2

u3

u4

u5



Détecteur
numérique:
conversion des
rayons X en
signal électrique.

Remarque

Les unités Hounsfield

$$\text{Atténuation en UH} = 1000 \cdot (\mu - \mu_{\text{eau}}) / \mu_{\text{eau}}$$

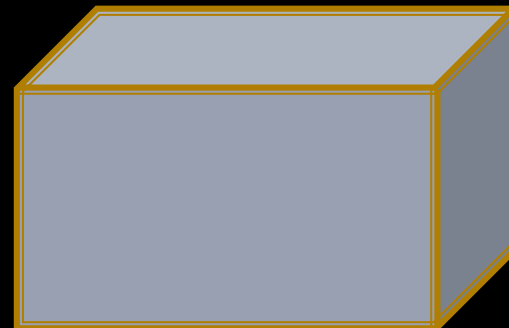
- Atténuation de l'eau : référence.
- Nécessité d'une bonne calibration de scanner.
- Densité = atténuation : tomодensitométrie.

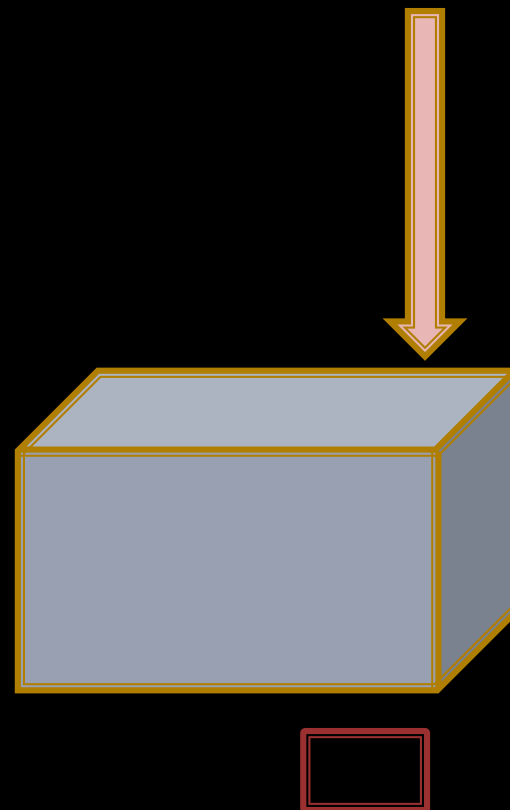
Remarque

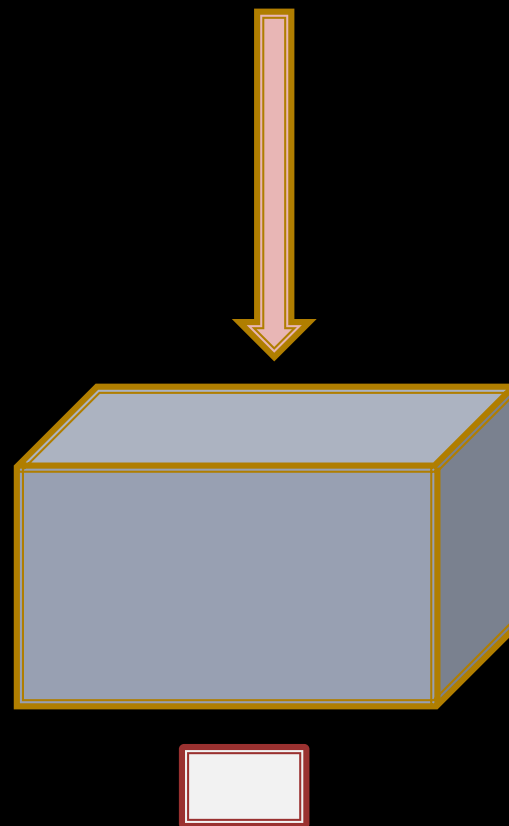
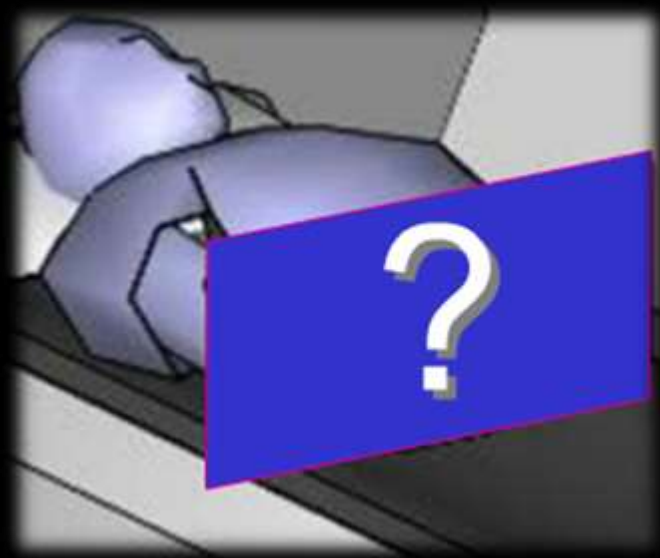
Les unités Hounsfield

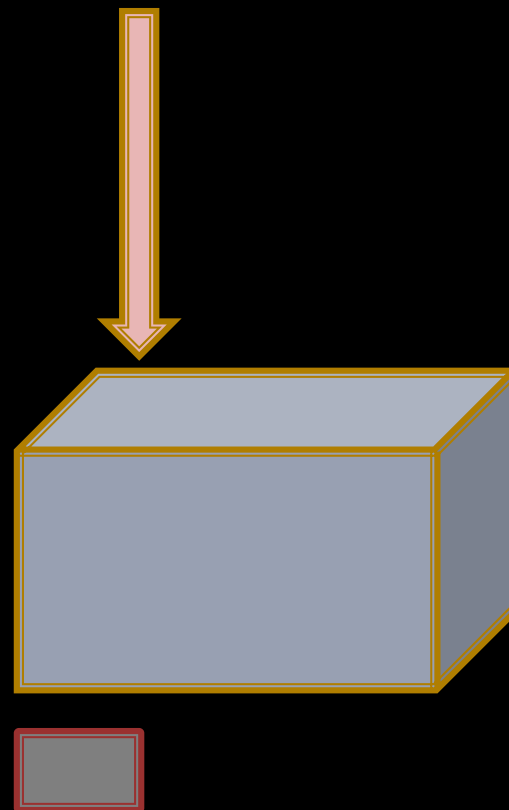
$$\text{Atténuation en UH} = 1000 \cdot (\mu - \mu_{\text{eau}}) / \mu_{\text{eau}}$$

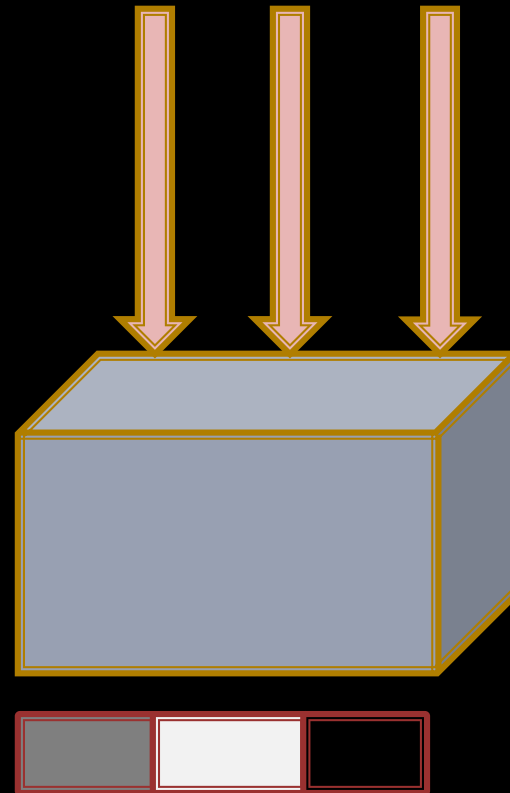
- Eau : 0 UH
- Air : -1000 UH
- Graisse : -80 à 120 UH
- Os : plusieurs centaines d'UH



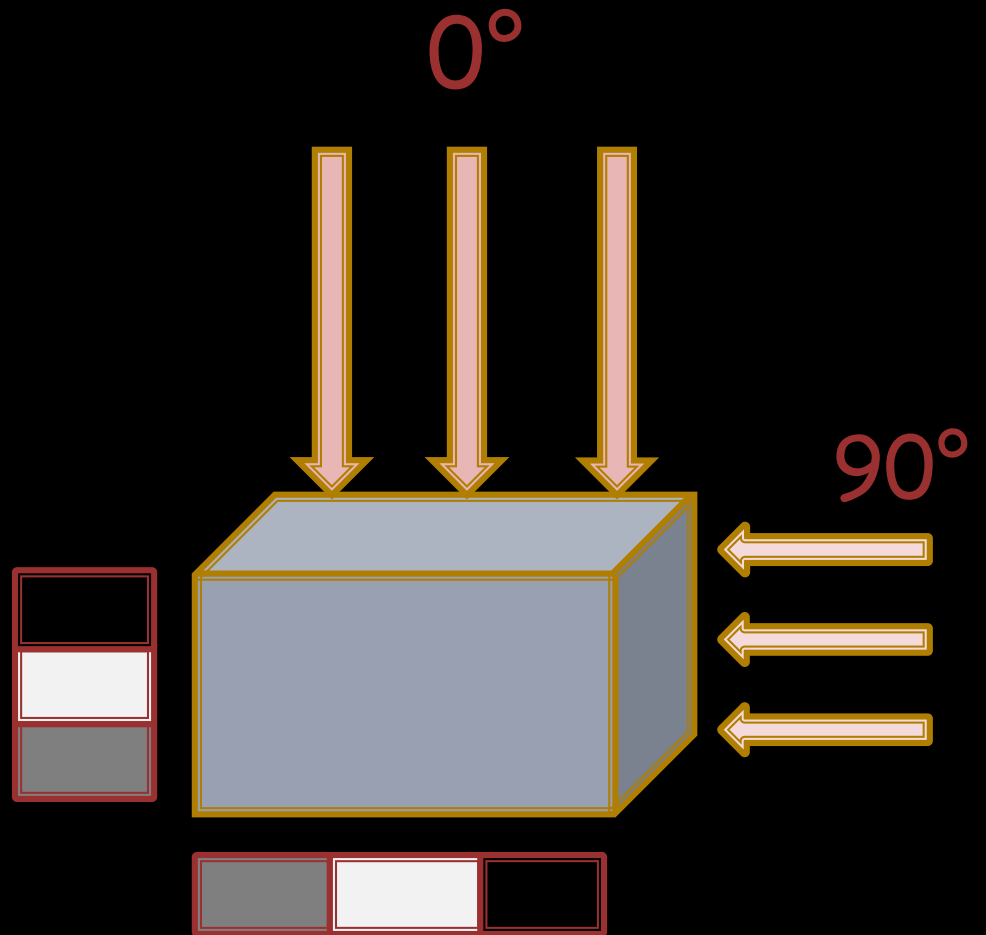


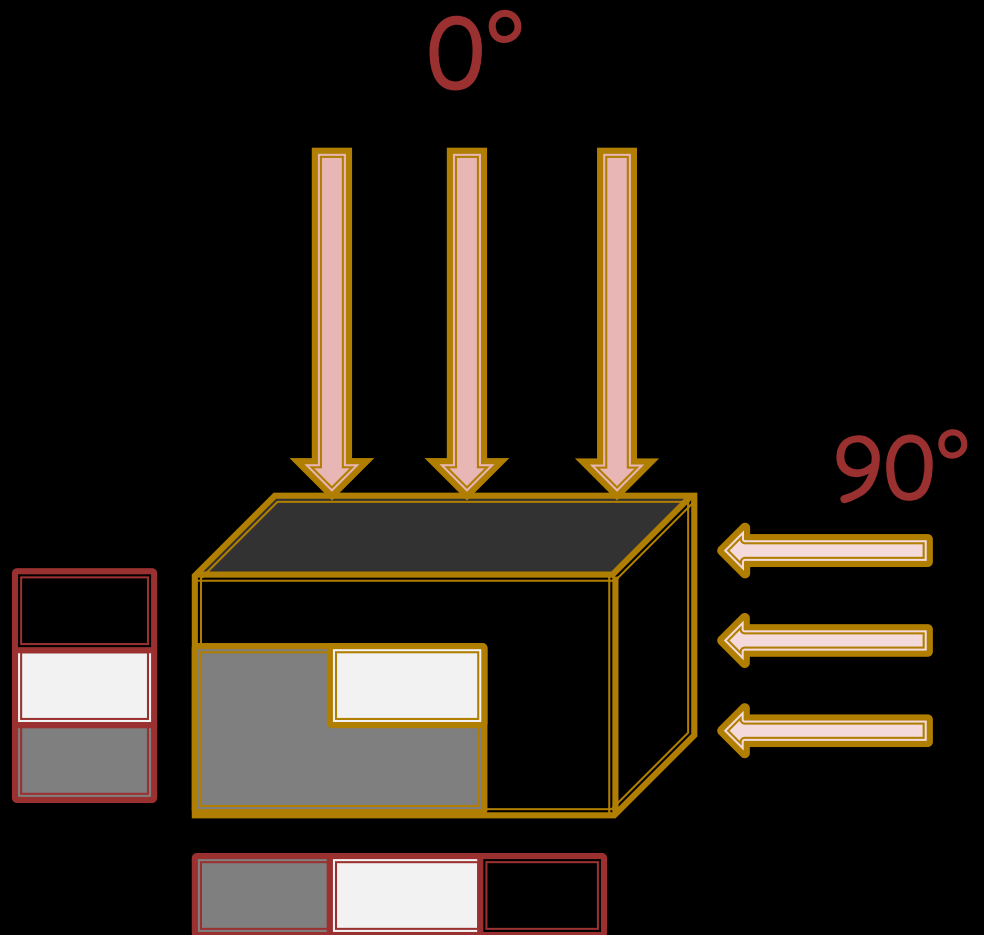
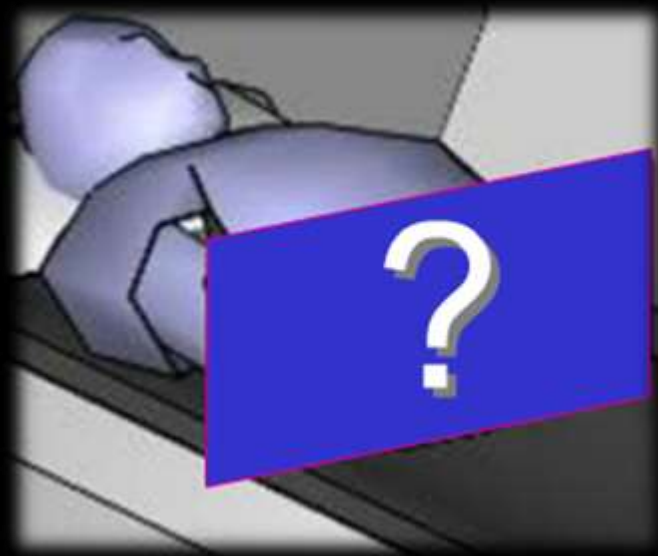


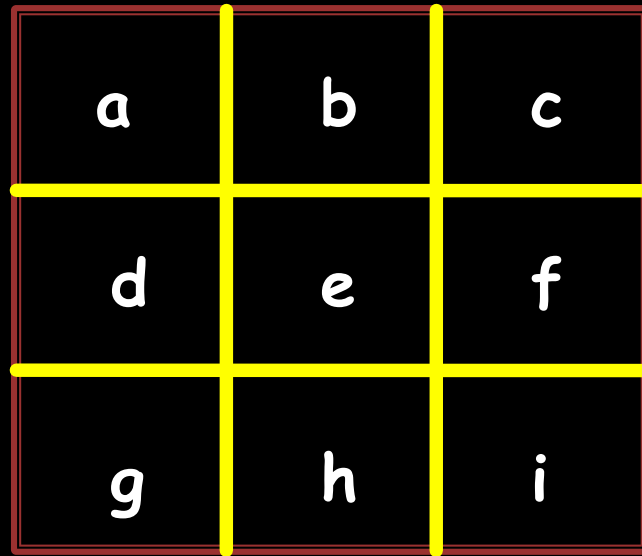




Profil d'atténuation de face







a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$a+b+c=0$$
$$d+e+f=15$$
$$g+h+i=6$$

0

15

6

a	b	c
d	e	f
g	h	i

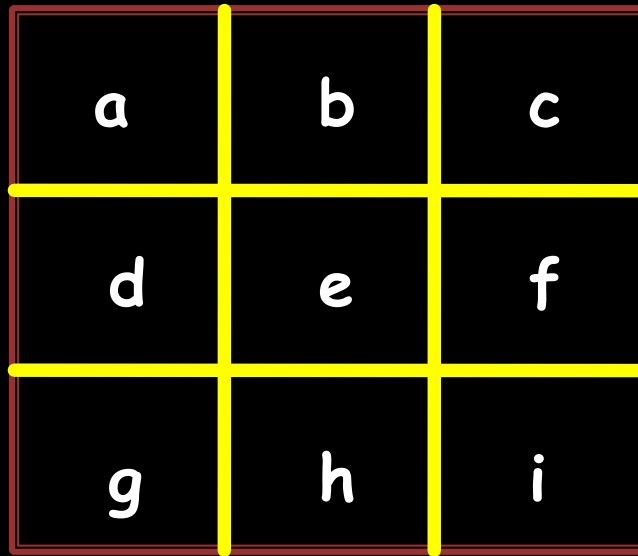


$$\begin{aligned} a+b+c &= 0 \\ d+e+f &= 15 \\ g+h+i &= 6 \end{aligned}$$

0

15

6



A 3x3 grid with yellow lines separating the cells. Three yellow arrows point down from the top, and three yellow arrows point left from the right side, indicating the sums of the rows and columns respectively.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

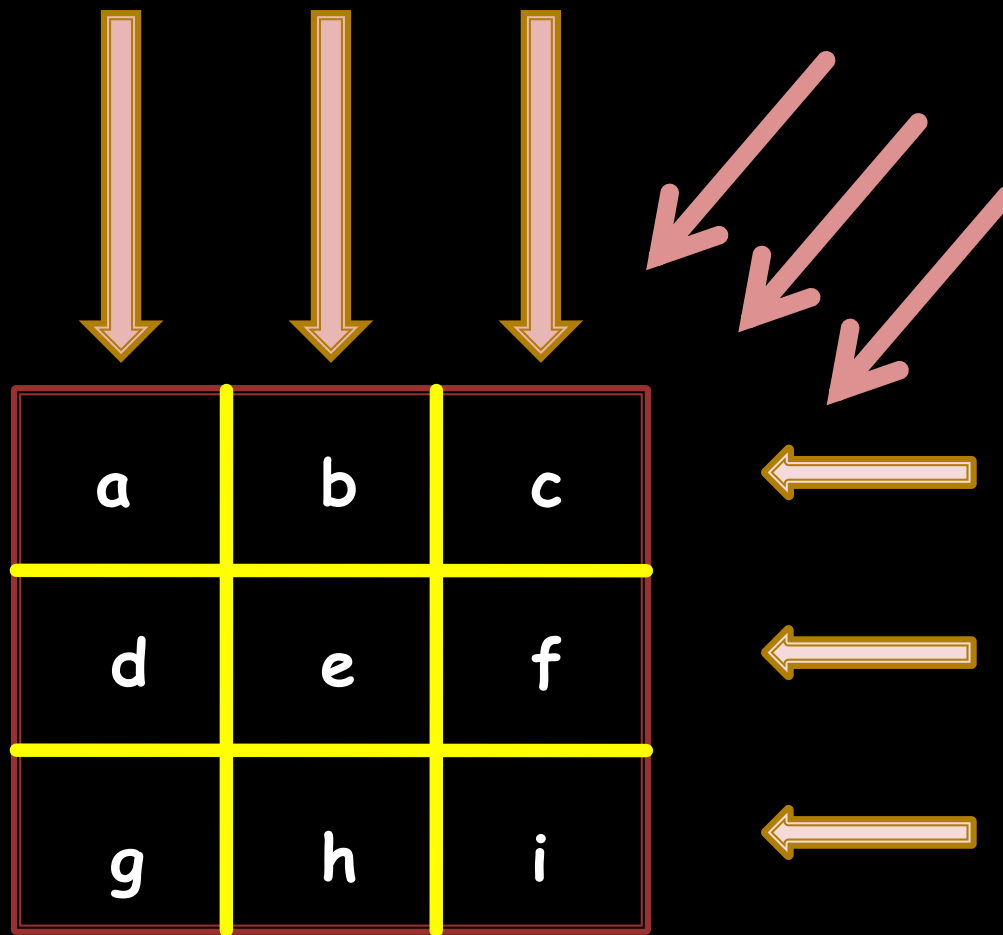
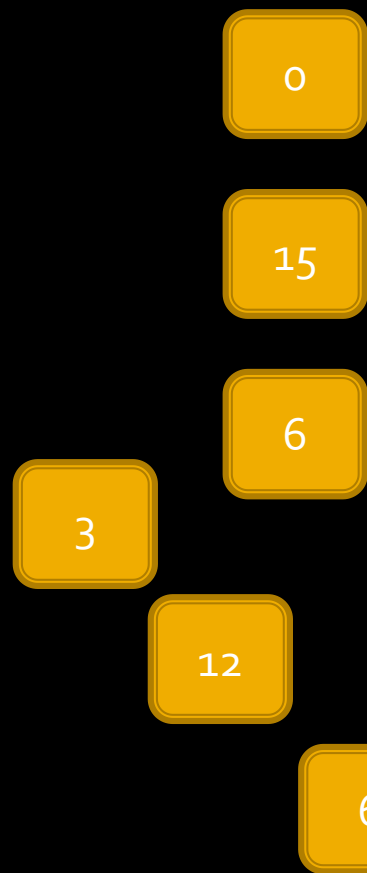
3

18

0

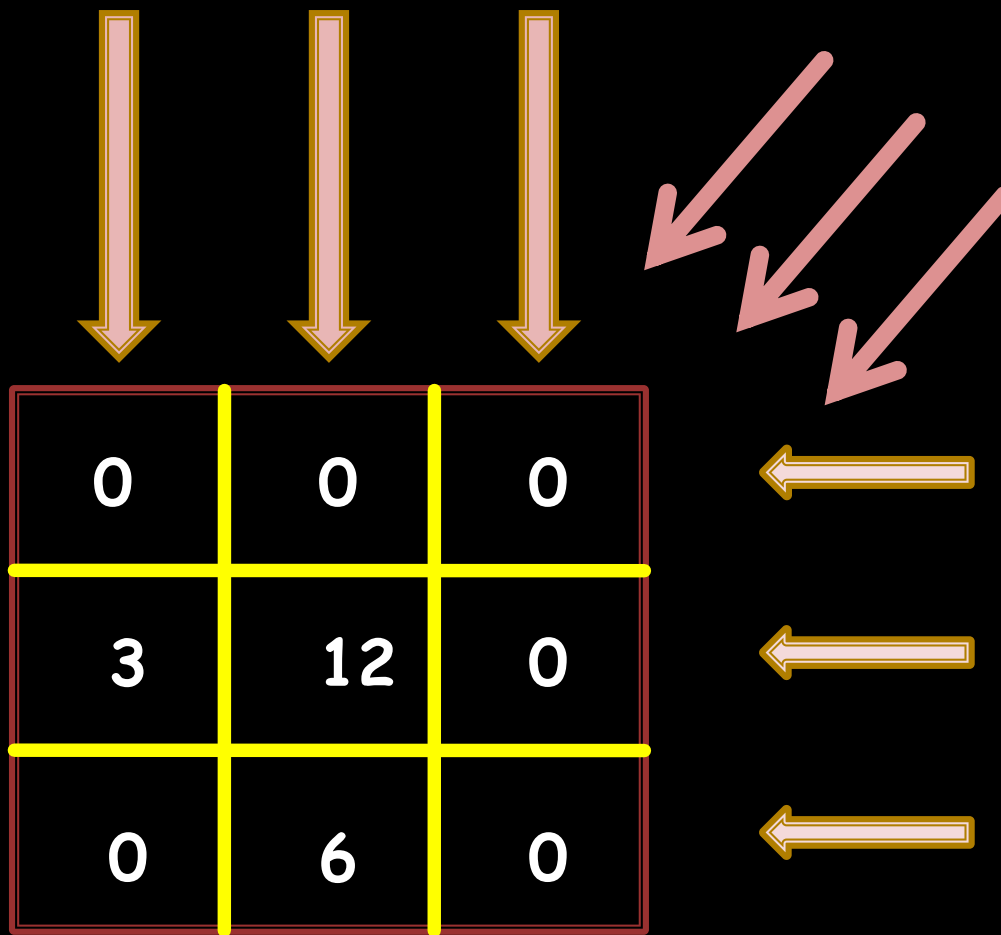
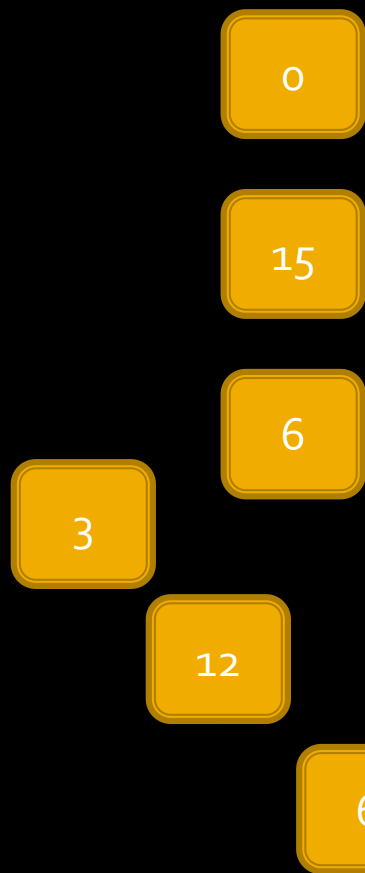
$$\begin{aligned} a+d+g &= 3 \\ b+e+h &= 18 \\ c+f+i &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a+b+c &= 0 \\ d+e+f &= 15 \\ g+h+i &= 6 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} a+d+g &= 3 \\ b+e+h &= 18 \\ c+f+i &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a+b+c &= 0 \\ d+e+f &= 15 \\ g+h+i &= 6 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} a+d+g &= 3 \\ b+e+h &= 18 \\ c+f+i &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a+b+c &= 0 \\ d+e+f &= 15 \\ g+h+i &= 6 \end{aligned}$$

0

15

6

3

12

6

0	0	0
3	12	0
0	6	0

3

18

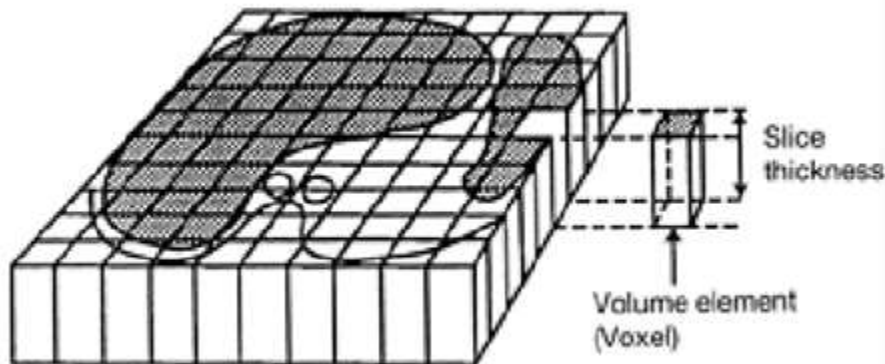
0

$$\begin{aligned} a+d+g &= 3 \\ b+e+h &= 18 \\ c+f+i &= 0 \end{aligned}$$

Taille usuelle de la matrice en TDM

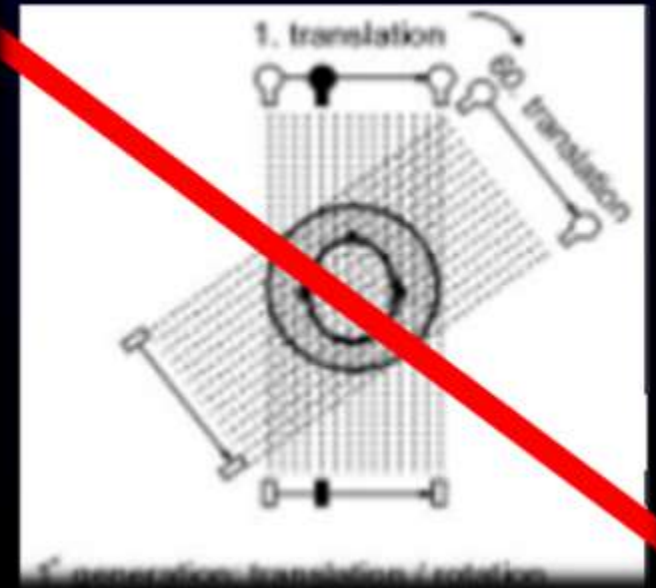
512 X 512 : 262 144 pixels

Taille du voxel : résolution spatiale
En x, y: taille du FOV/ nb pixel.
En z: épaisseur de coupes



Calcul d'une coupe TDM complète

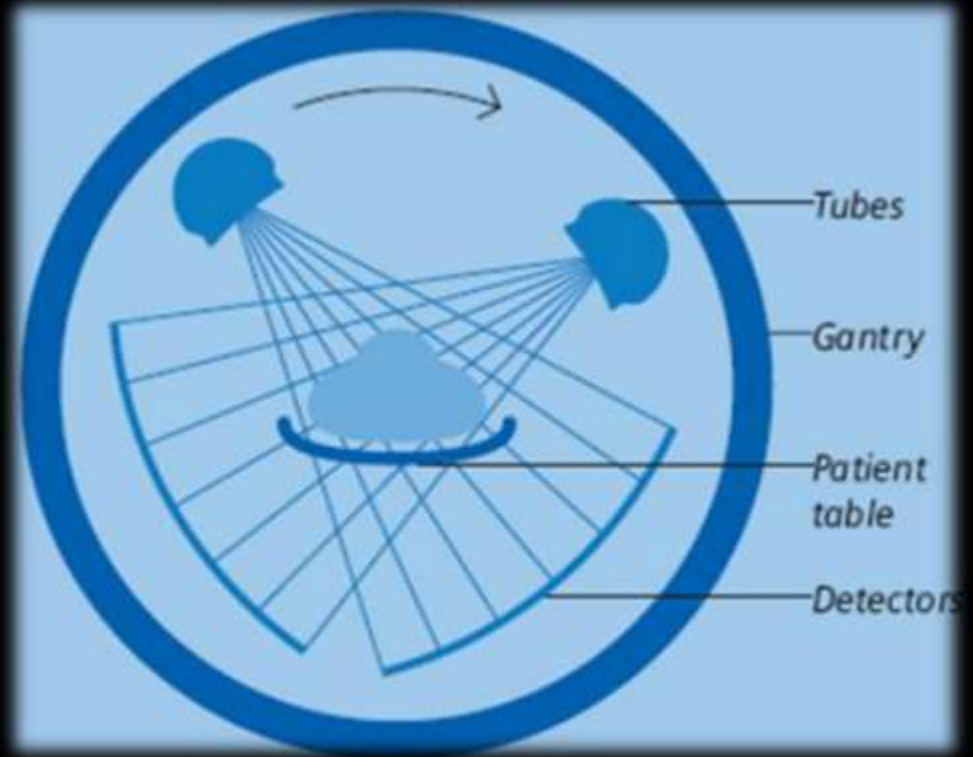
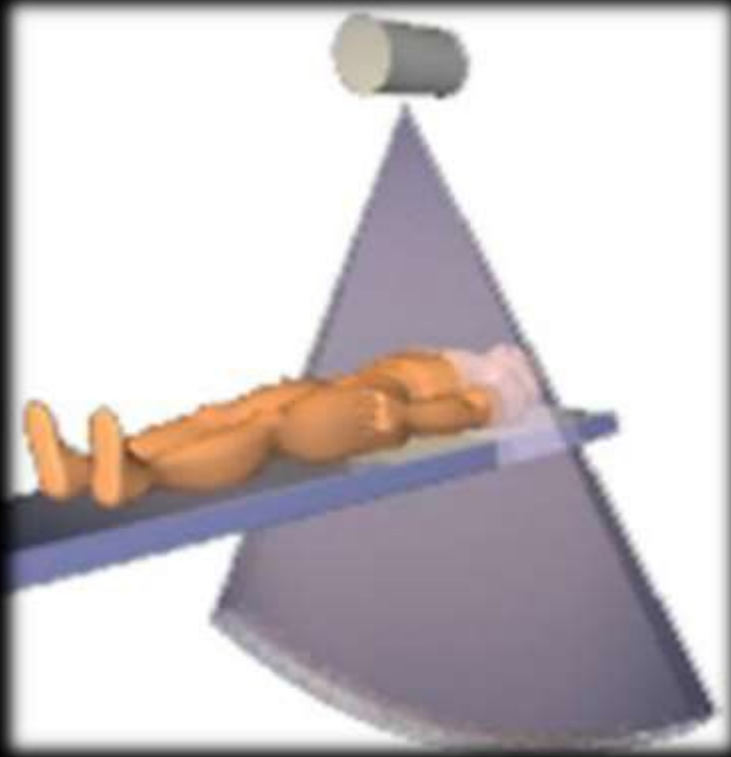
Nécessite le recueil d'une multitude de mesure d'atténuation



Il fallait trouver autre chose!!!!!!!!!!

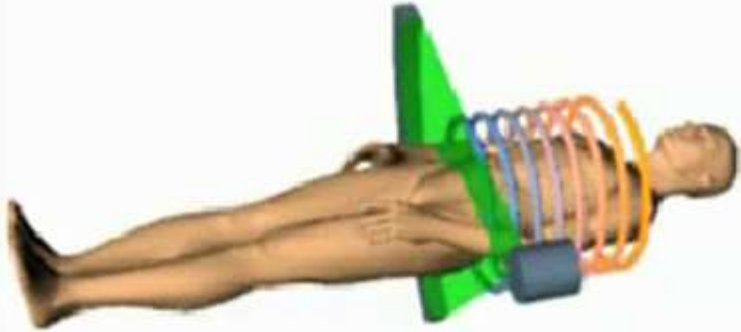
Scanner corps entier

- Couronne de détecteur contenant jusqu'à 1000 détecteurs.
- Largeur total du faisceau de rayon X supé celle du patient.



La rotation autour du patient permet le recueil d'une multitude de mesures: jusqu'à 2320 pas angulaire /tour

L'acquisition hélicoïdale (spiralée)

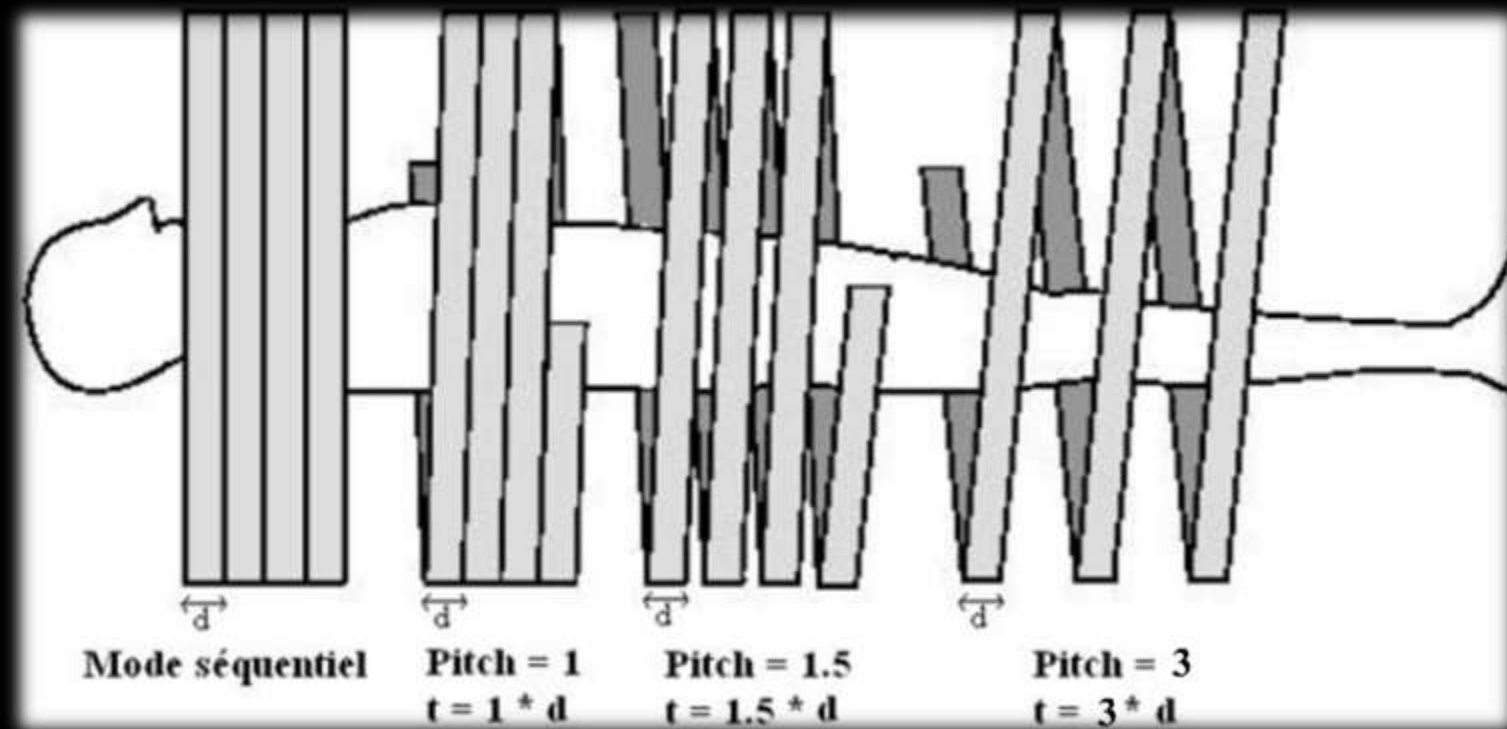


L'ensemble tube-détecteurs décrit un mouvement en hélice par rapport au patient.

- Acquisition en une seule apnée.
- Balayage continu de l'ensemble d'un volume.

Rotation continu du tube + translation continu de la table.

L'acquisition hélicoïdale (spiralée)



Nouveau paramètre lié à l'acquisition hélicoïdale : **LE PITCH**

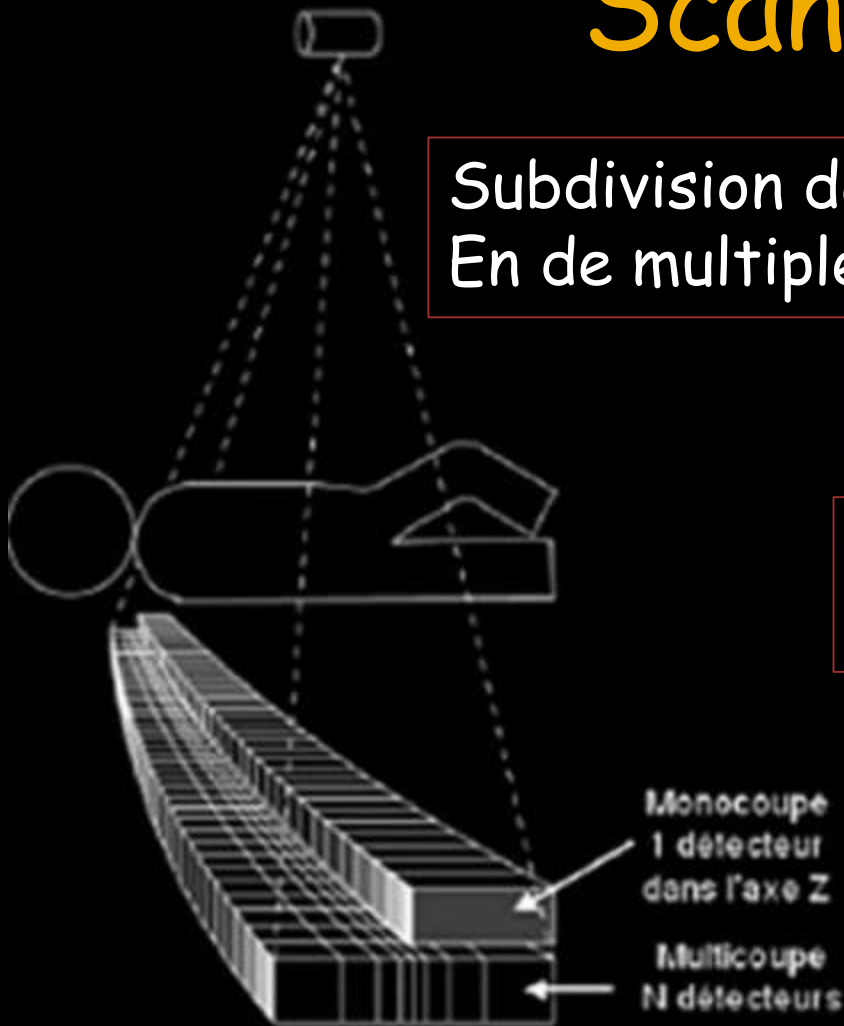
LE PITCH : rapport entre l'avance de la table t et la collimation d

$$\text{Pitch} = t/d$$

Scanners multi coupes

Subdivision de la couronne de détecteurs
En de multiples barrettes selon l'axe Z.

Acquisition simultanée de
4,16,64,320 coupes...



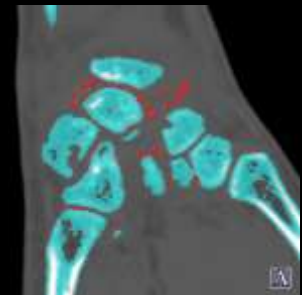
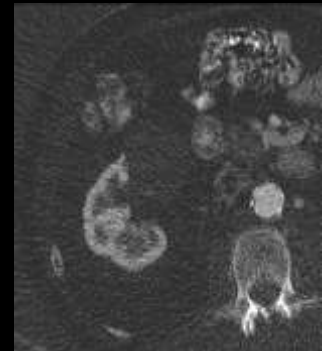
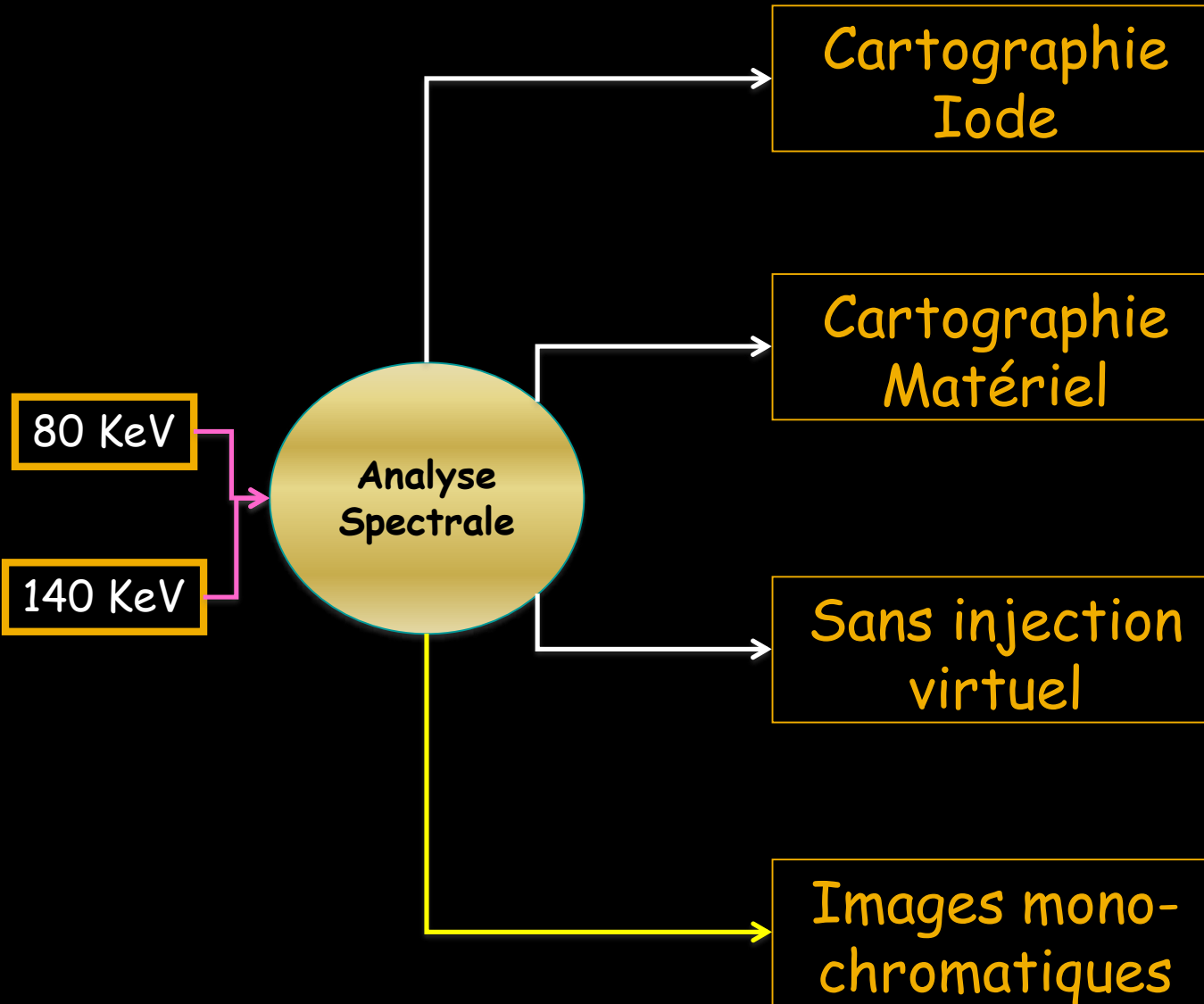
Double Energies

Une vieille technique:

- EMI CT 1010 (1976)
- Double énergie (deux passages successifs par coupe)



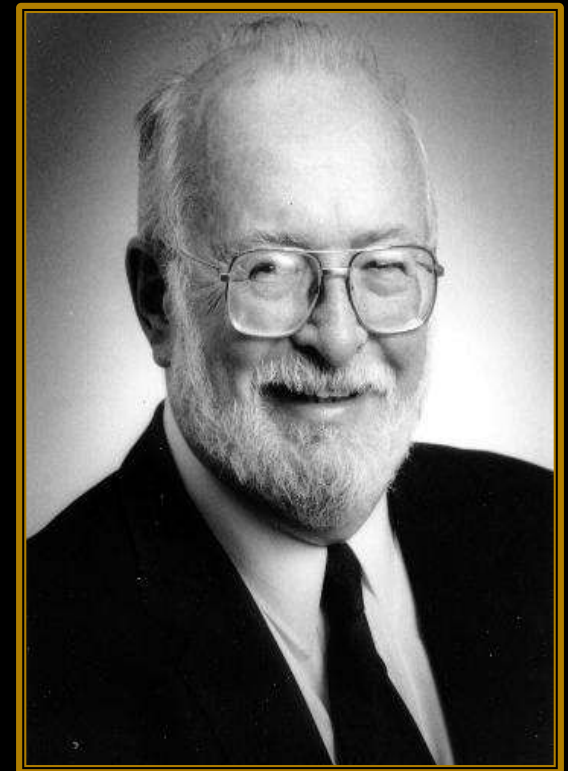
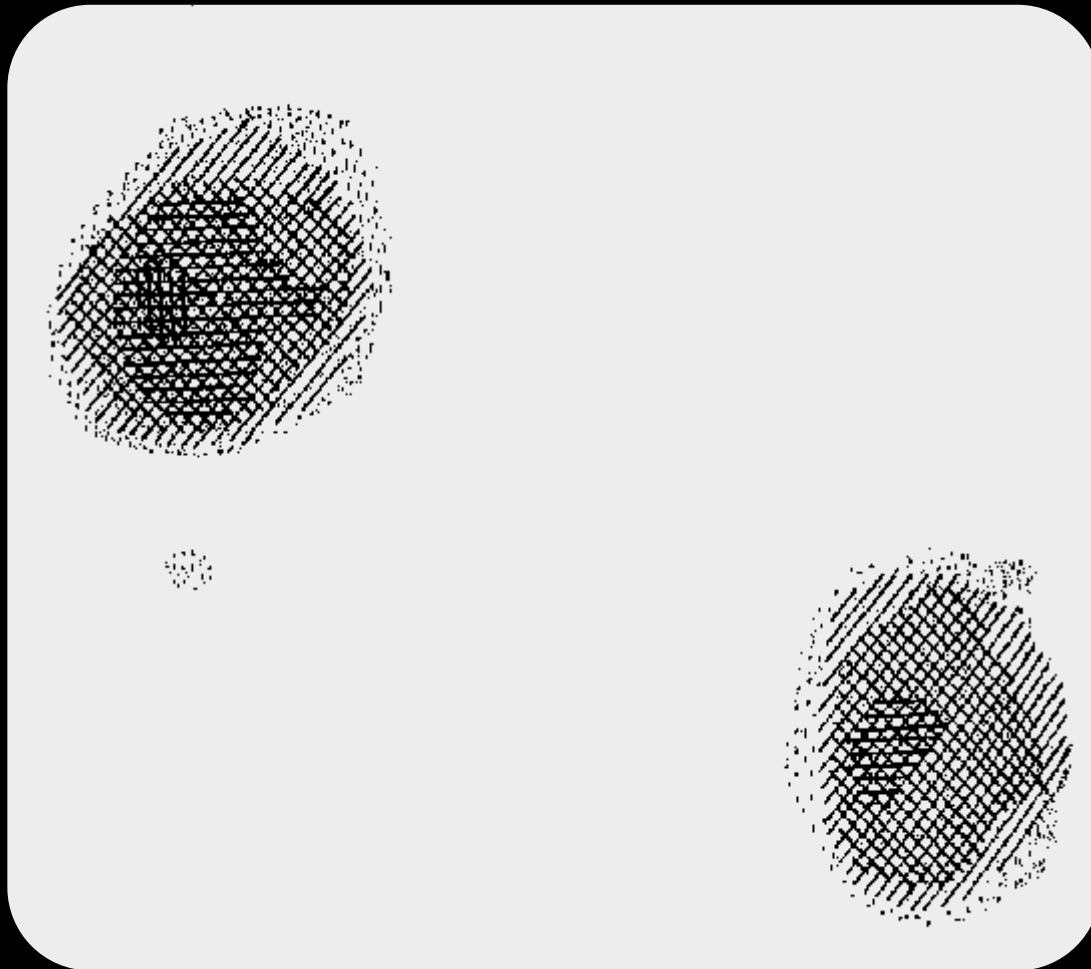
qu'est ce que c'est?



L'IRM

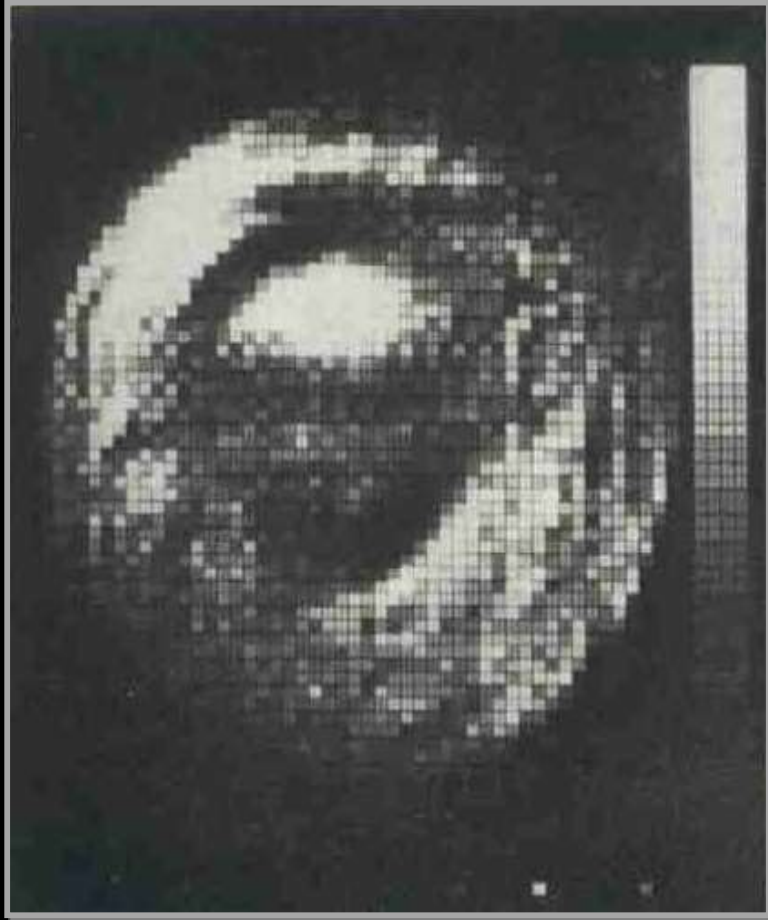


1973 : Première image (P.C. Lauterbur Nature)
Prix Nobel de Médecine 2003

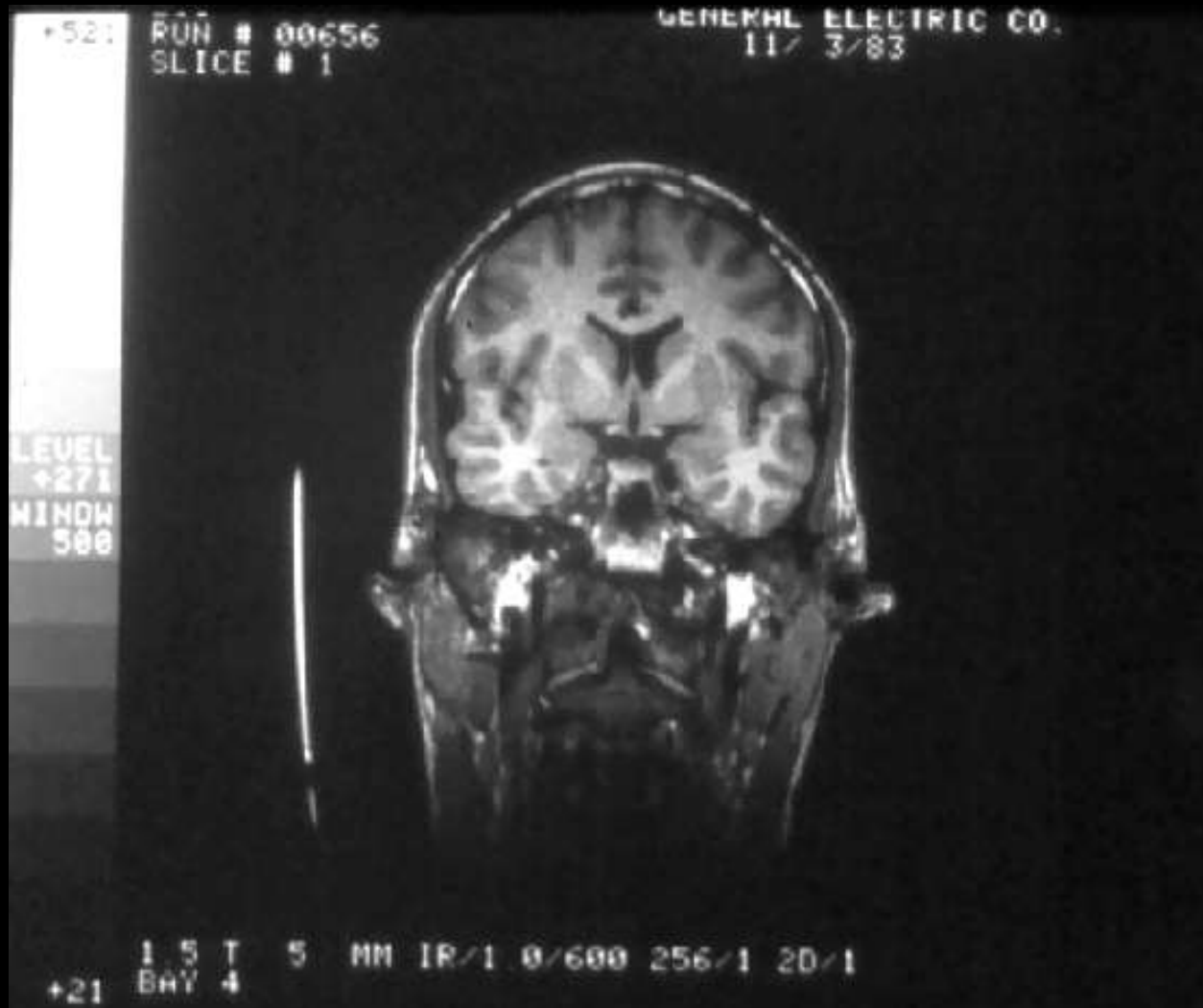


1977 : Premières images humaines : doigt

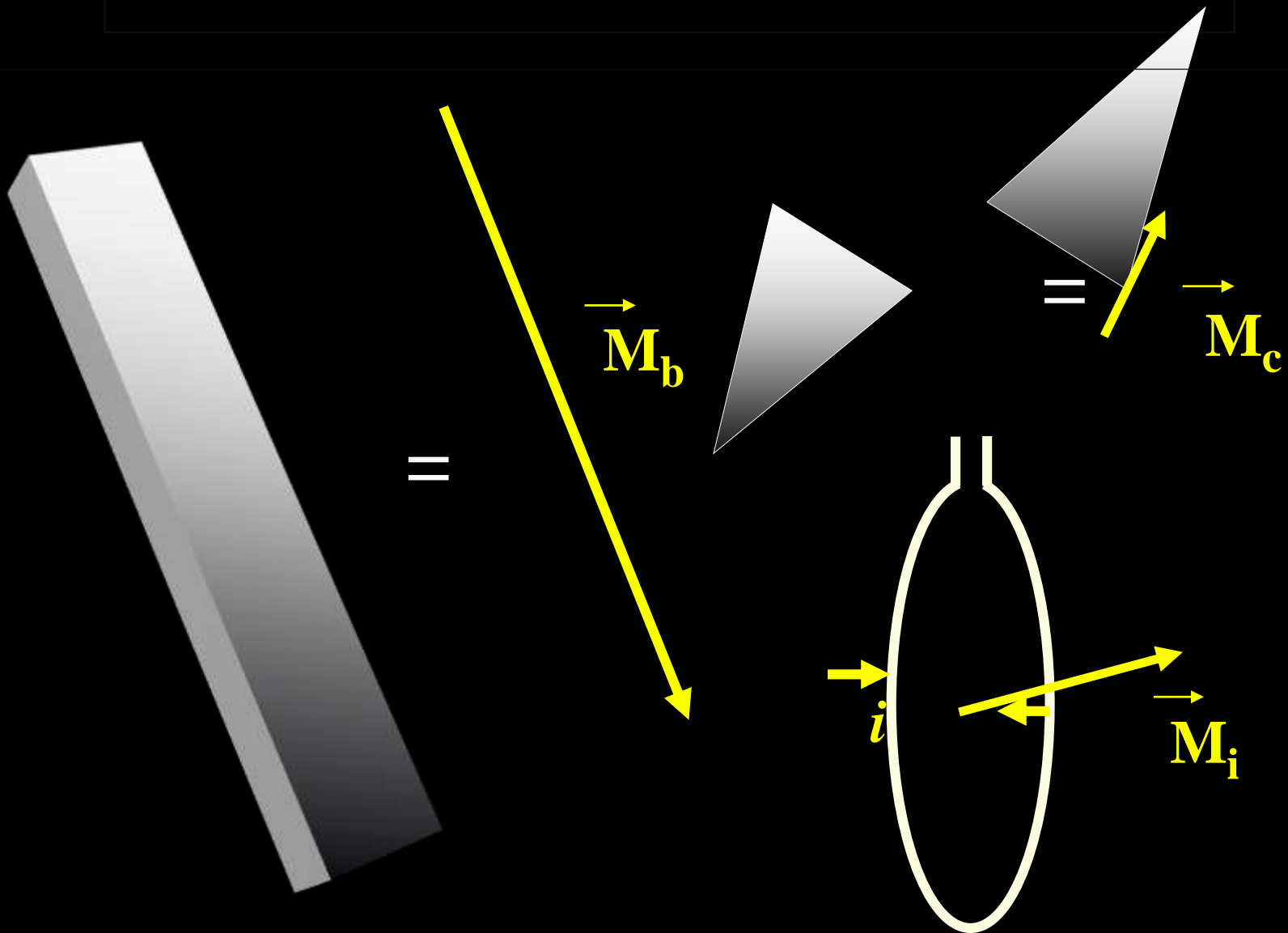
Mansfield et al. Br. J. Radio., 1977, Prix Nobel de Médecine 2003



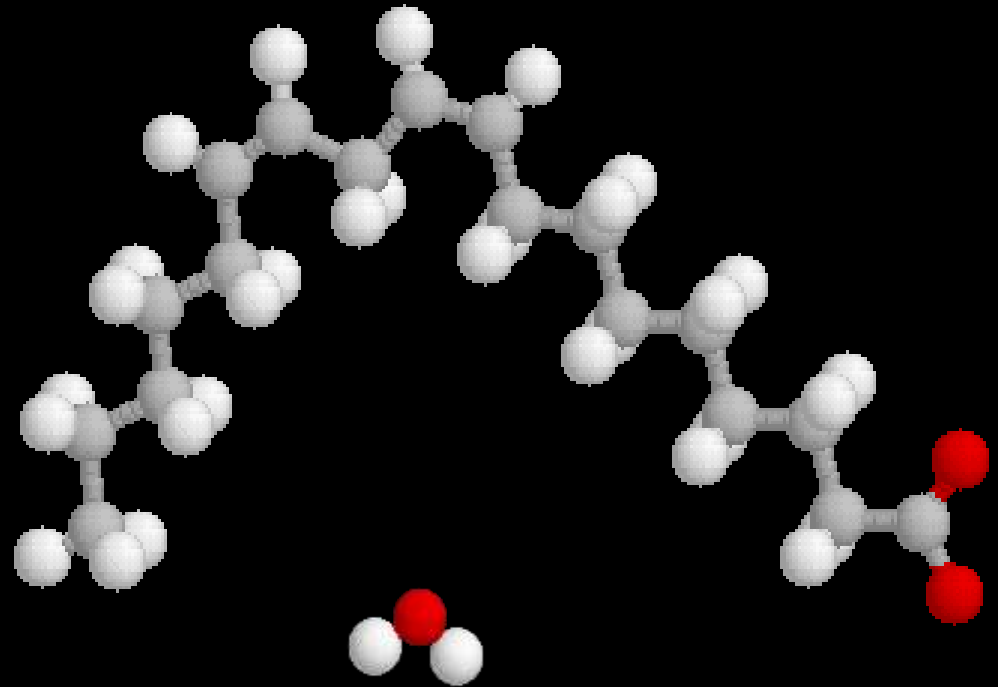
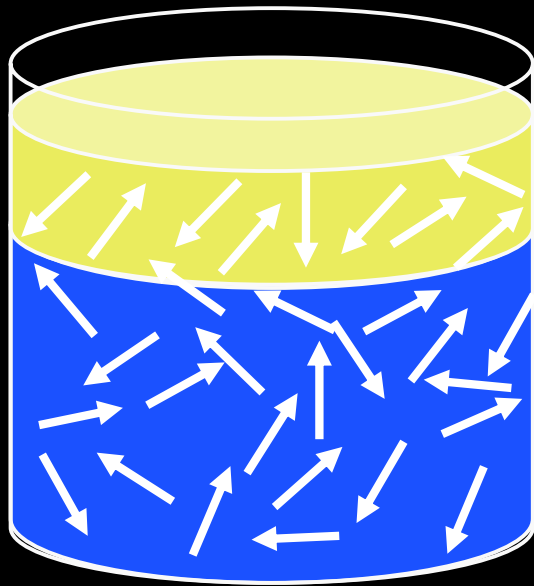
1983 : Premières Images à 1,5 teslas (General Electric)



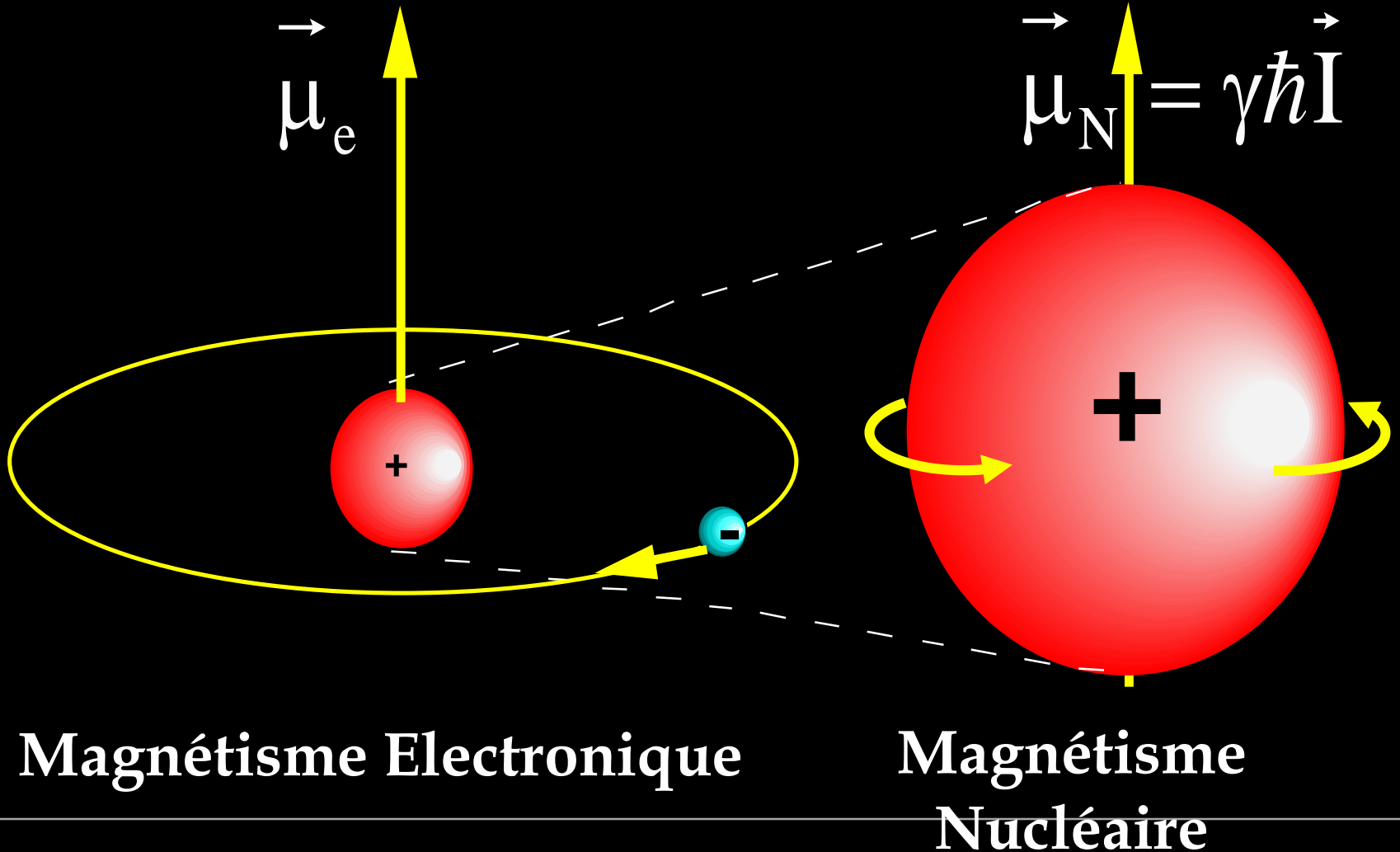
Résonance Magnétique Nucléaire



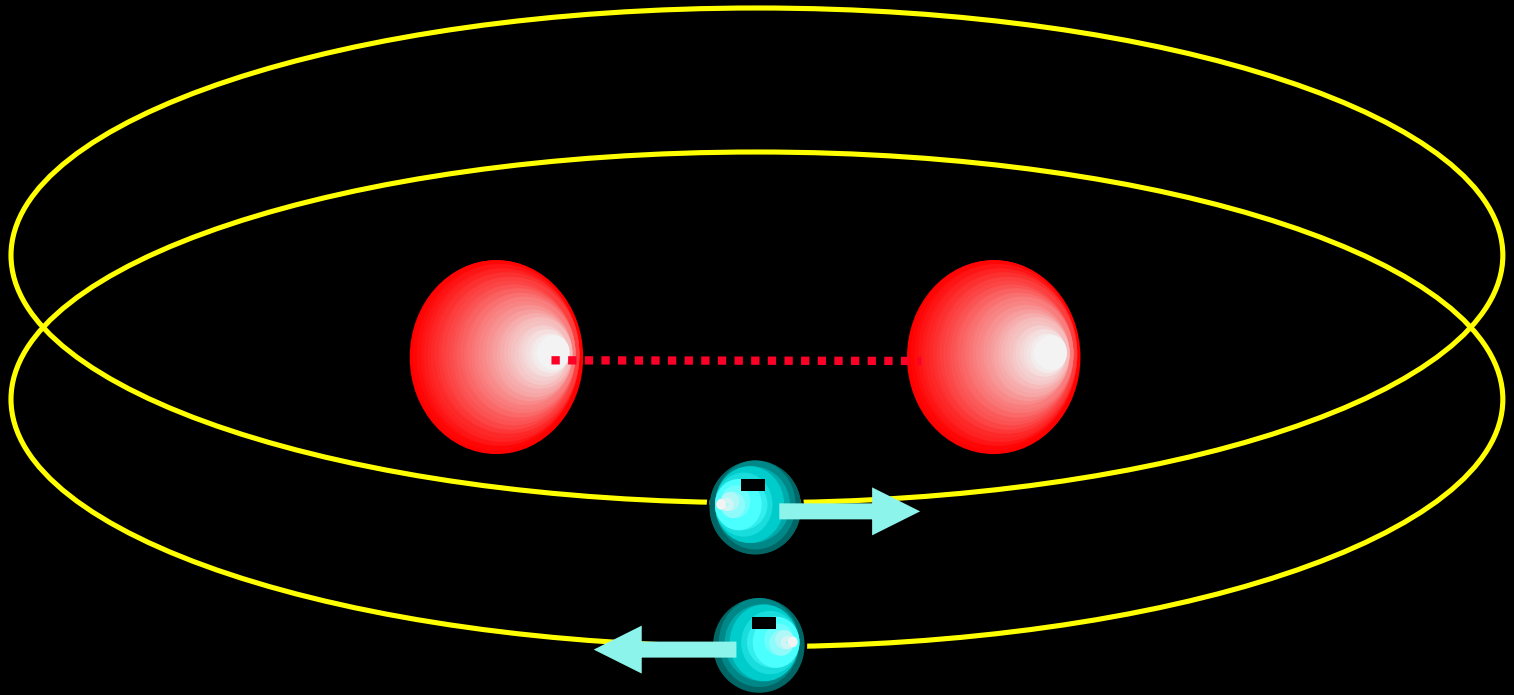
Aimantation macroscopique des tissus biologiques



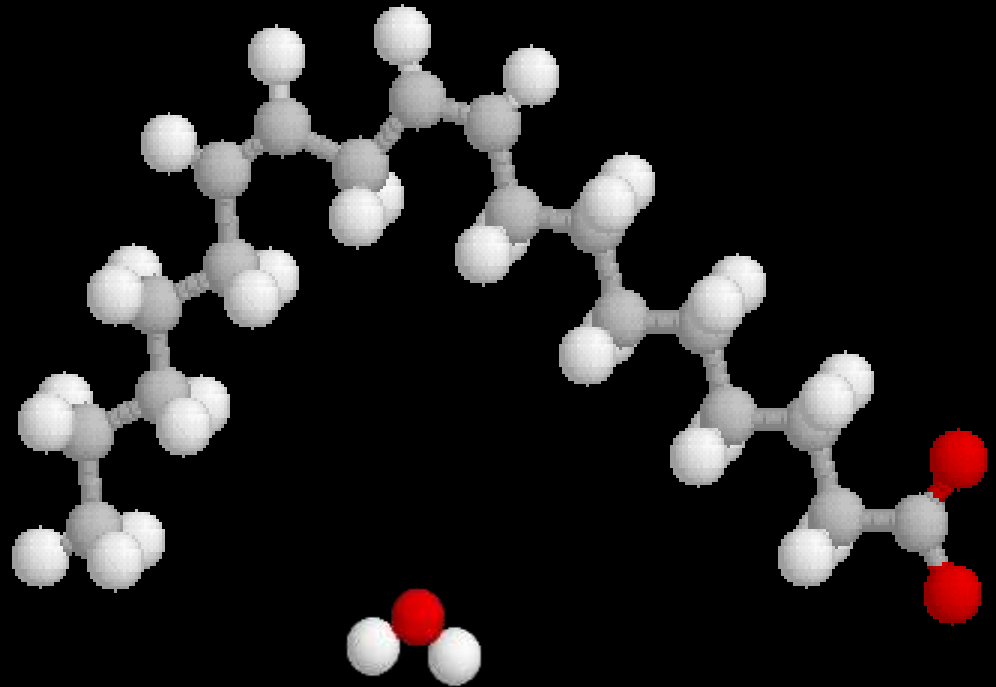
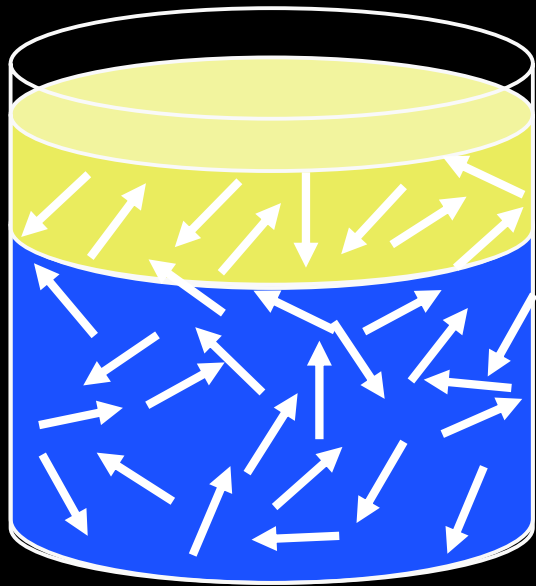
Origines Atomiques du Magnétisme dans la matière



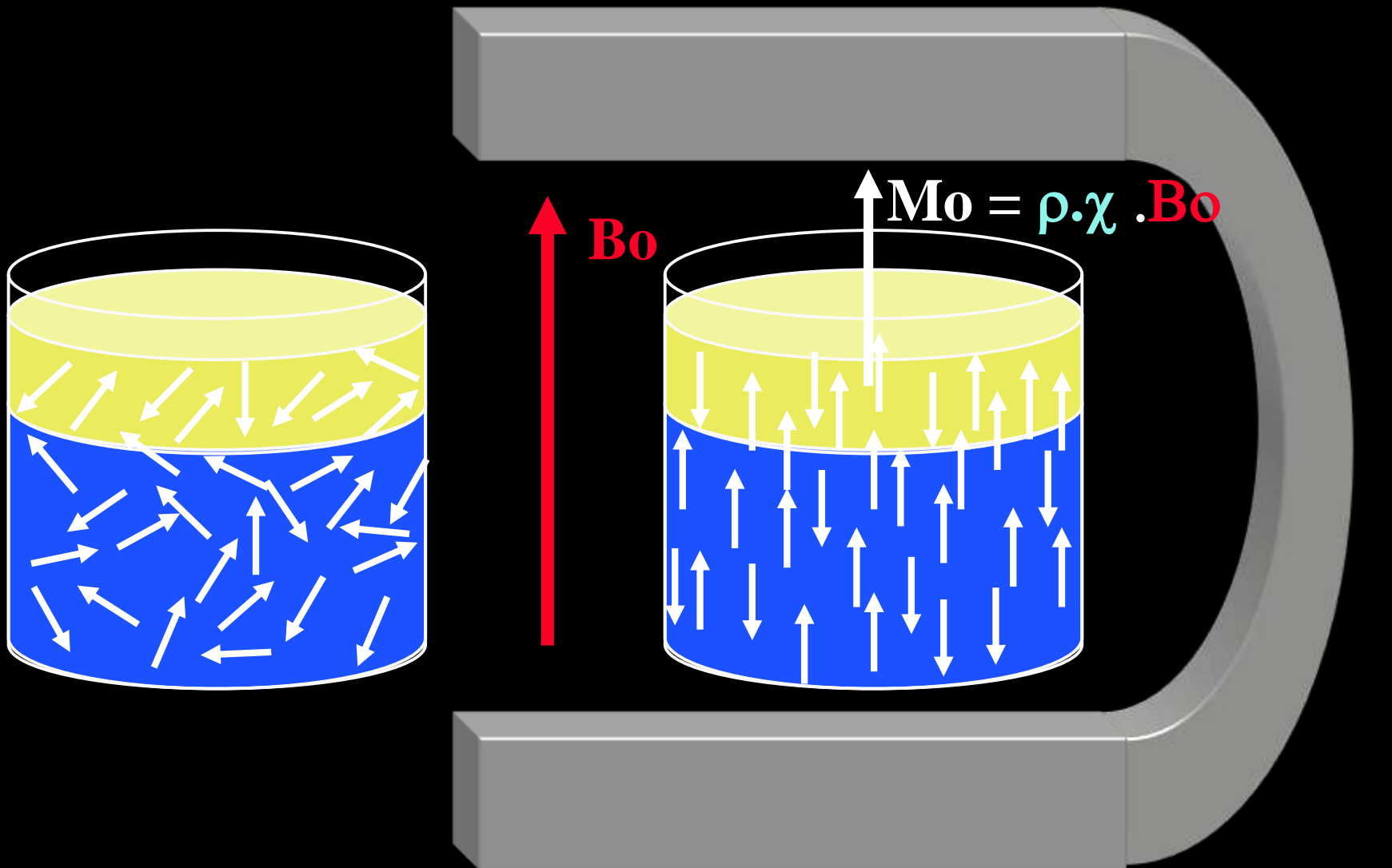
Orbitales moléculaires : diamagnétisme de l'Hydrogène H_2



Aimantation macroscopique des tissus biologiques



Aimantation macroscopique des tissus biologiques



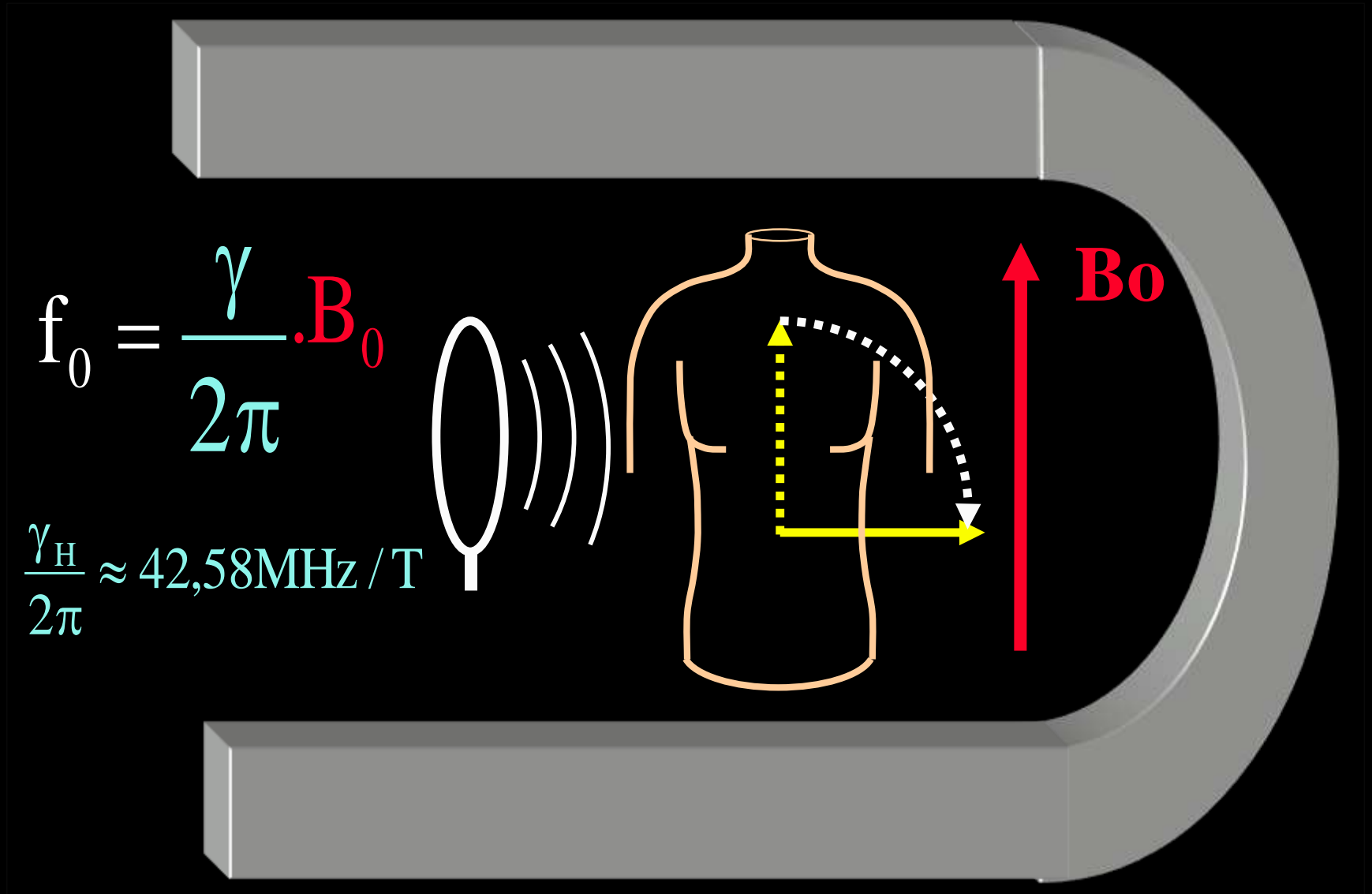
Champ Magnétique : Unités

**1 tesla (T) = 10 000 gauss
(G)**

**Champ magnétique terrestre
:**

**$B_T \approx 0.5 \text{ G}$
1 tesla $\approx 20\,000 B_T$**

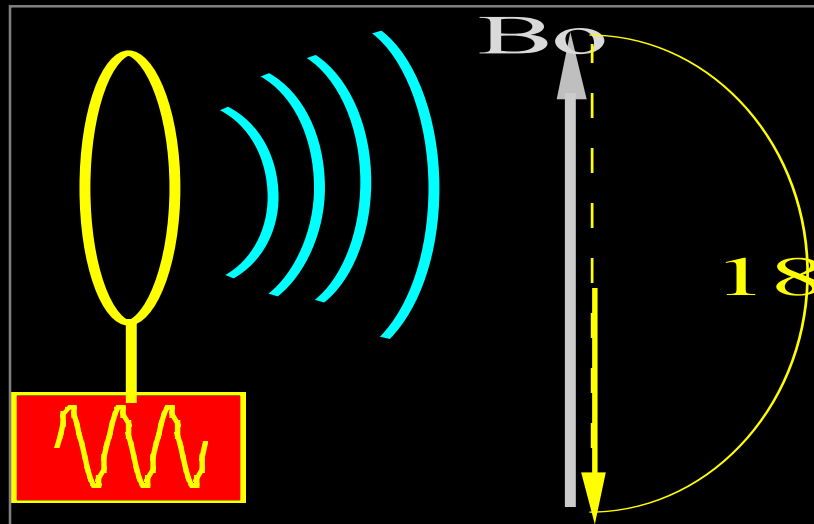
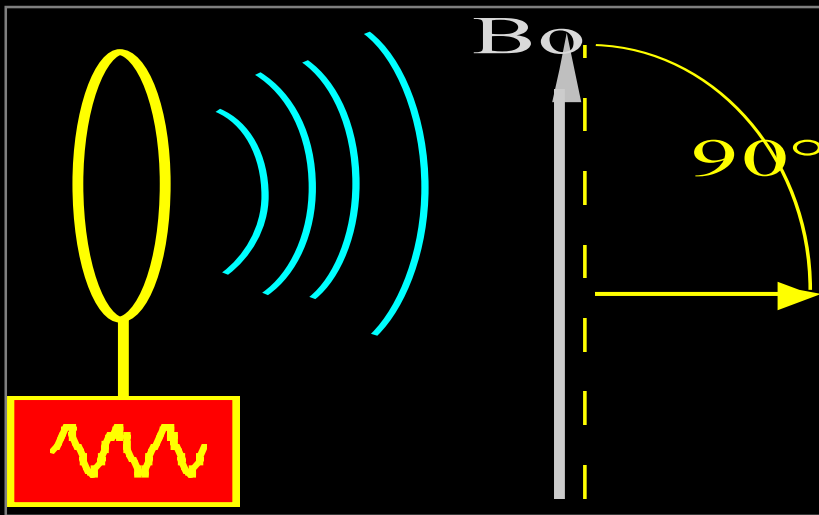
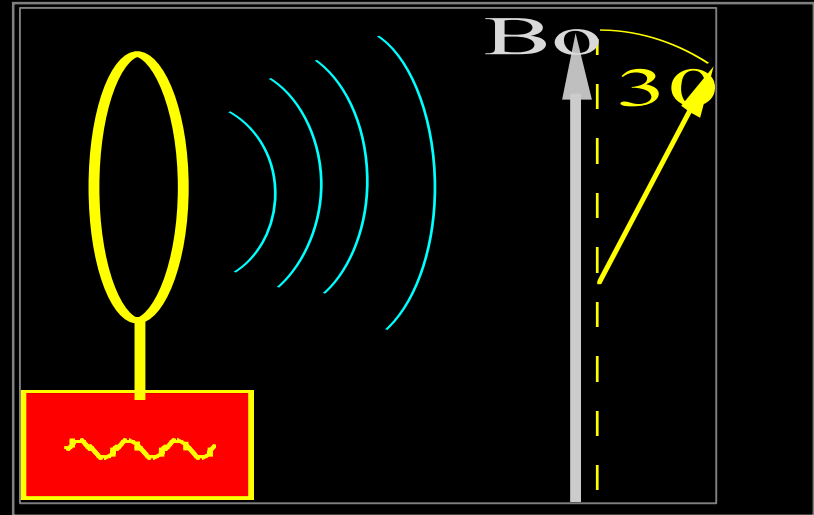
Résonance Magnétique Nucléaire



L'Angle de Basculement

$$f_0 = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0$$

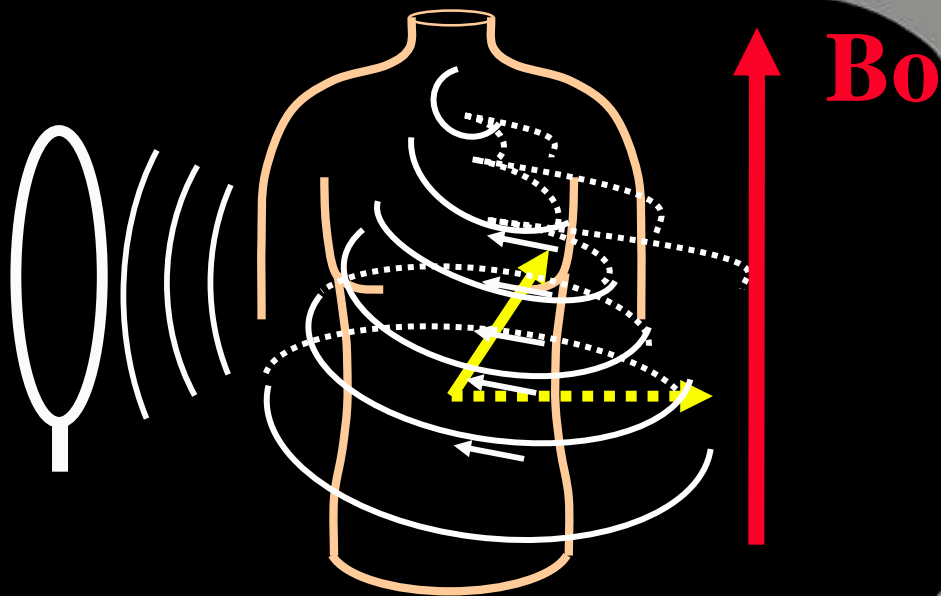
$$\frac{\gamma_H}{2\pi} = 42,58 \text{ MHz/T}$$



Précession Libre et Relaxation

$$f_0 = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0$$

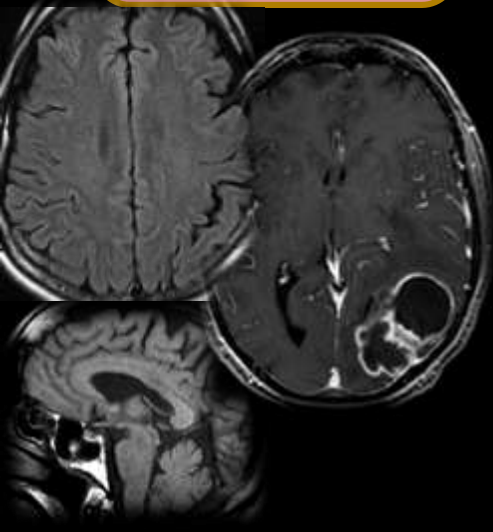
$$\frac{\gamma_H}{2\pi} \approx 42,58 \text{ MHz / T}$$



IRM: outil multimodal

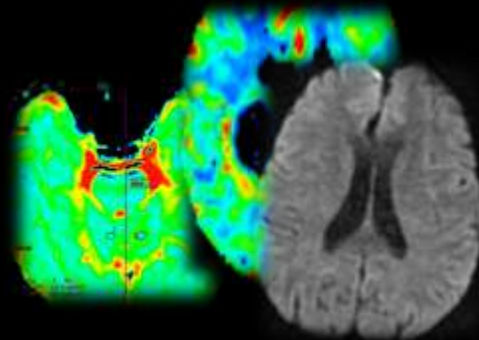
**Imagerie
morphologique**

**T1
T2
FLAIR ...**



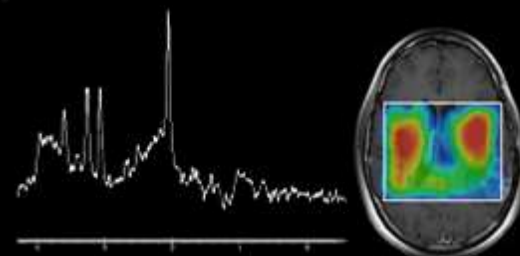
**Imagerie
fonctionnelle**

**Perfusion
Diffusion
BOLD**

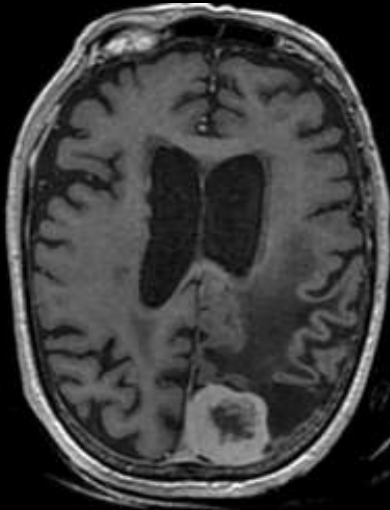


**Imagerie
métabolique**

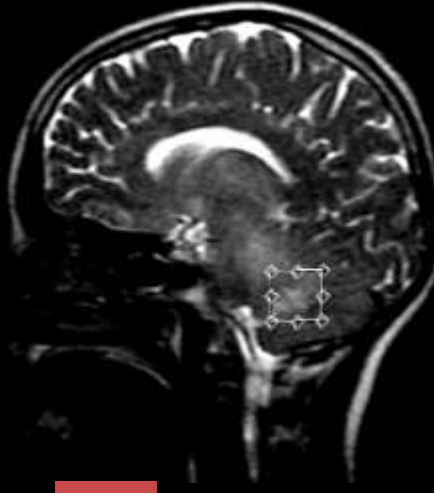
**Monovoxel
CSI**



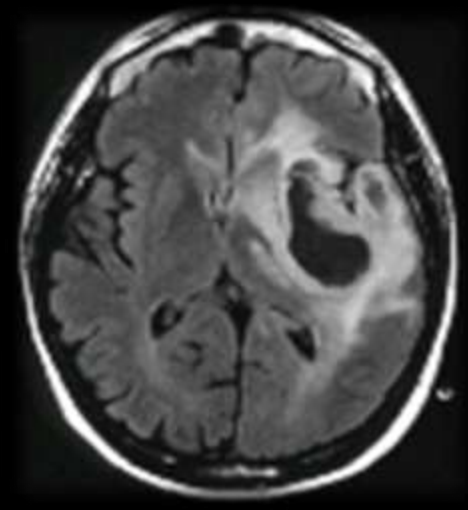
Images morphologiques



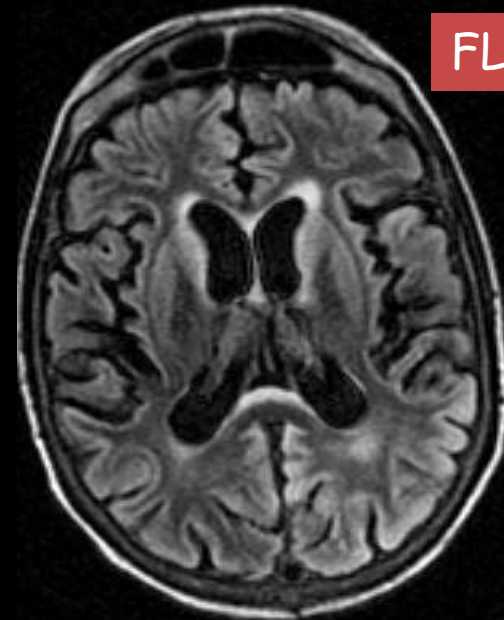
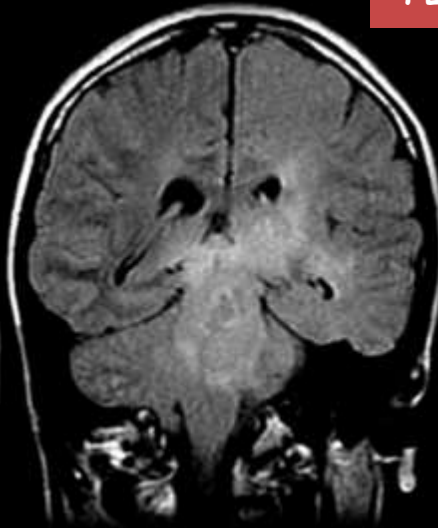
T1 + G



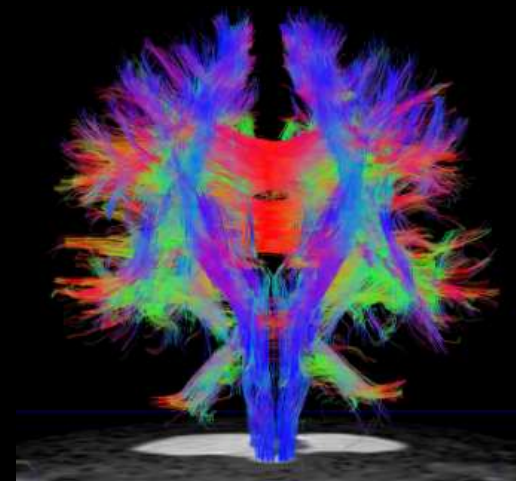
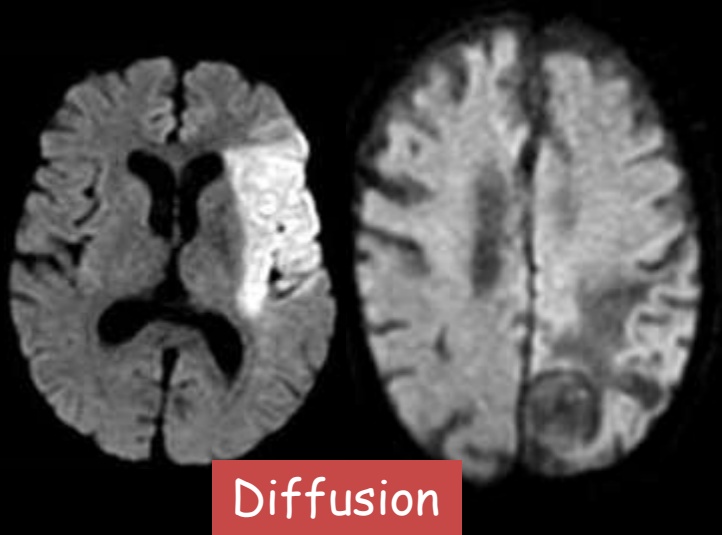
T2



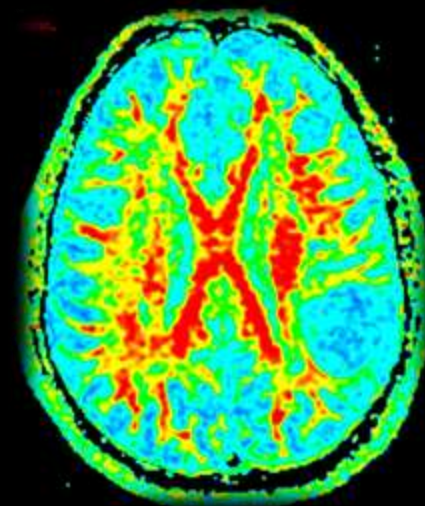
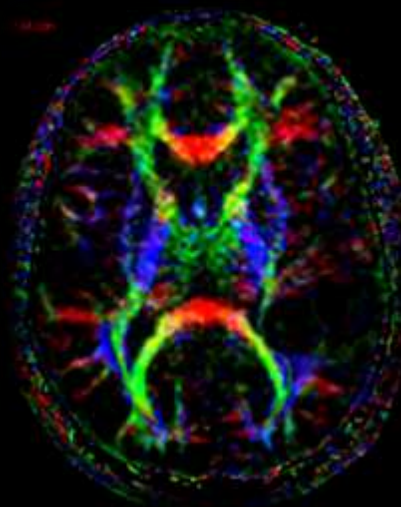
FLAIR



Images fonctionnelles

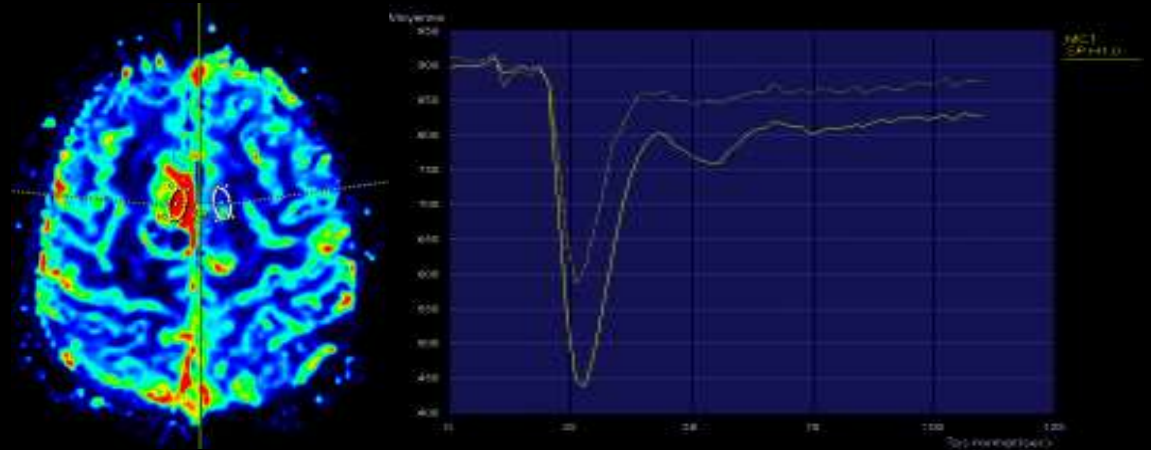


Tractographie
Tenseur de diffusion

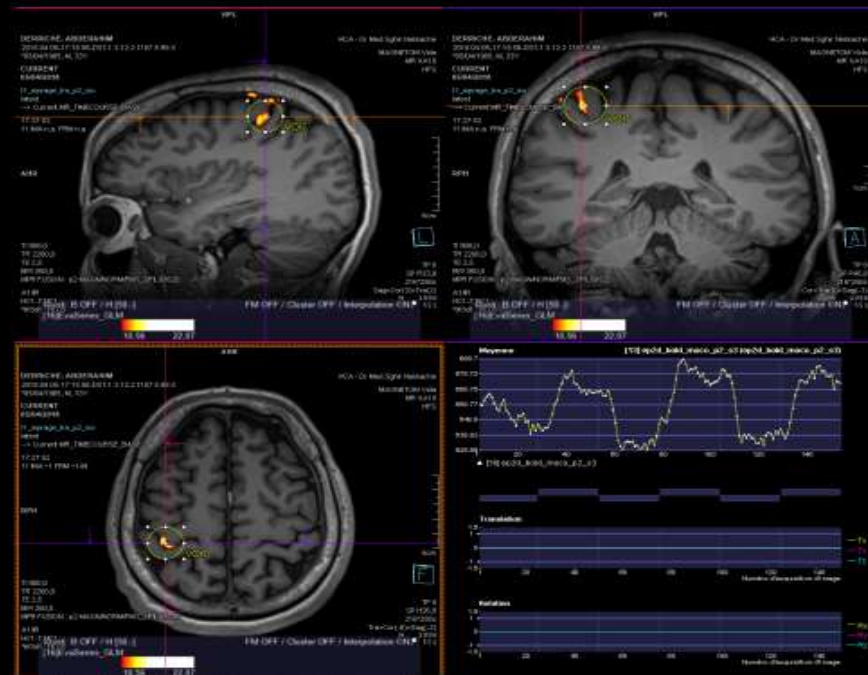


Images fonctionnelles

Perfusion

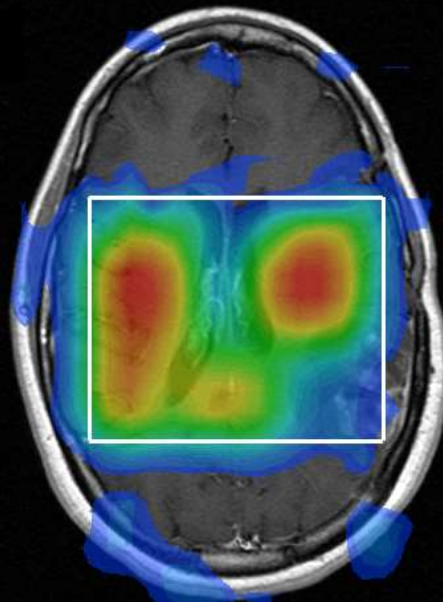
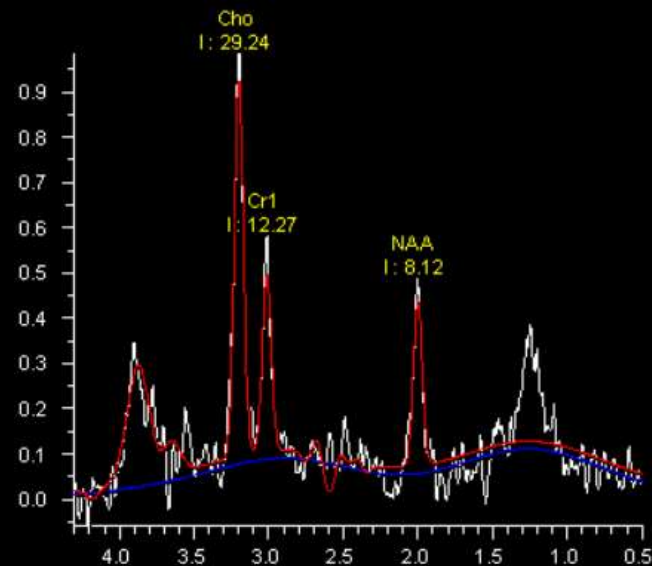
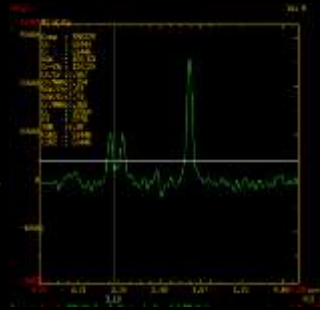
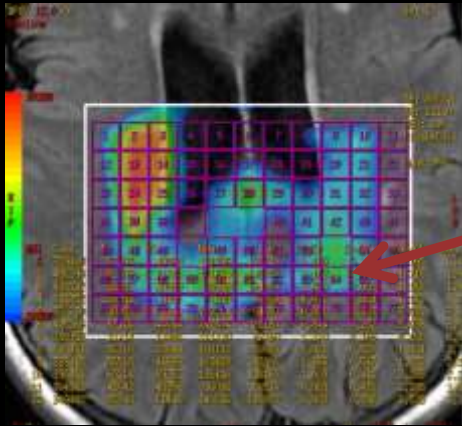


Perfusion BOLD



Service d'imagerie médicale Hôpital du jour HCA 2018

Images métaboliques



Spectroscopie MR

Merci!

