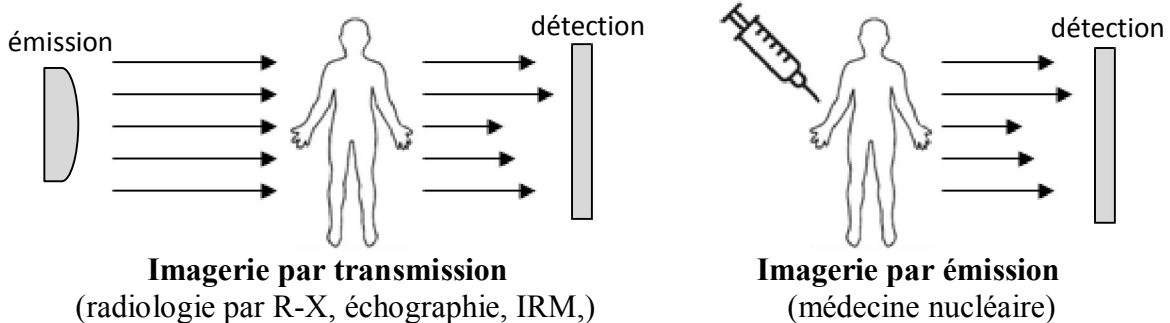


Introduction à l'imagerie médicale :

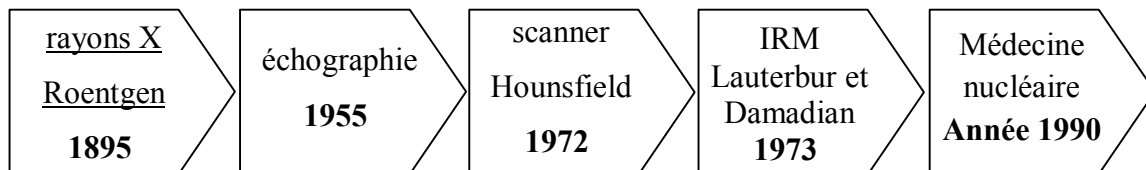
L'imagerie médicale regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques tels que : l'absorption des rayons X, la résonance magnétique nucléaire, la réflexion d'ondes ultrasons ou la radioactivité.

On peut classer ces techniques en deux grandes familles :

- Imagerie de transmission : le rayonnement ou faisceau externe traverse le patient. Par exemple : radiologie par X, scanner, échographie, IRM,...
- Imagerie d'émission : le rayonnement vient du patient après l'injection du traceur (isotope). Exemple : les techniques de la médecine nucléaire.



Parmi les grands repères qui marquent l'évolution de l'imagerie médicale on cite :



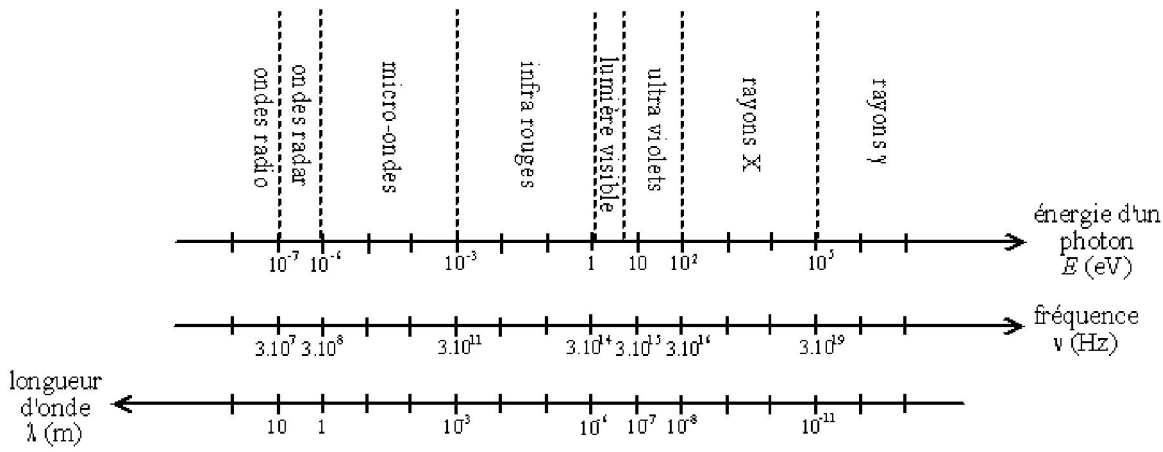
Chapitre 1 :

Imagerie par les Rayons X

1.1. Principes d'imagerie par les rayons X :

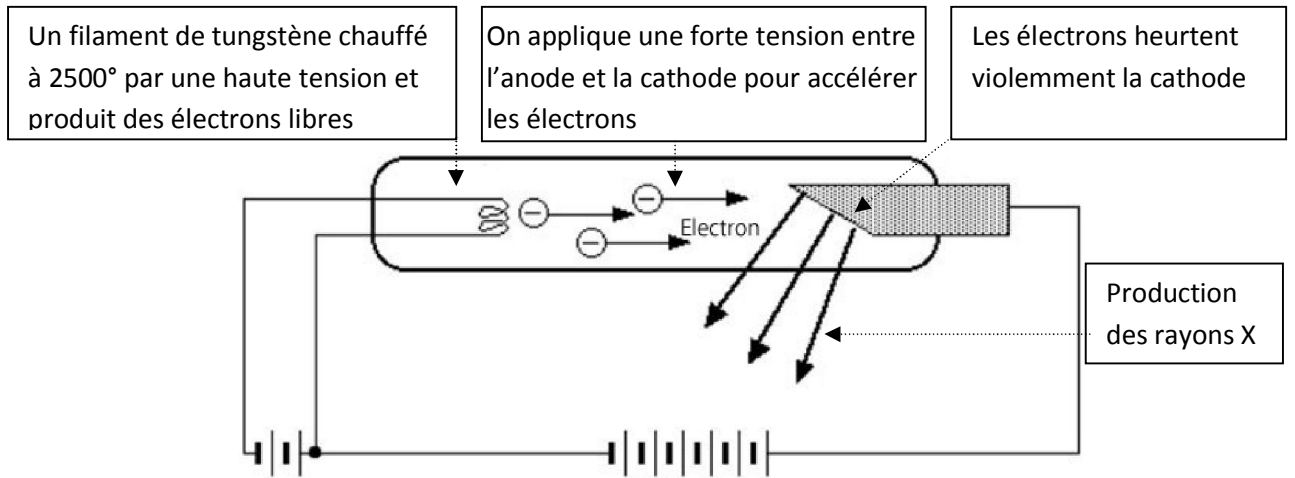
Les rayons X ont été découverts en 1895 par Wilhelm Röntgen. Ce rayonnement était alors inconnu, Röntgen leur donna ainsi le nom de rayons X. Les rayons X sont, comme la lumière, une forme de rayonnement électromagnétique. Ils se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière $c=300.000 \text{ km/s}$. Ils sont de haute énergie, très pénétrants et ionisant (ils sont nocifs pour la santé)

On note que les ondes électromagnétiques peuvent se propager dans le vide. Contrairement aux ondes sonores, qui ont besoin d'un milieu matériel pour se propager.



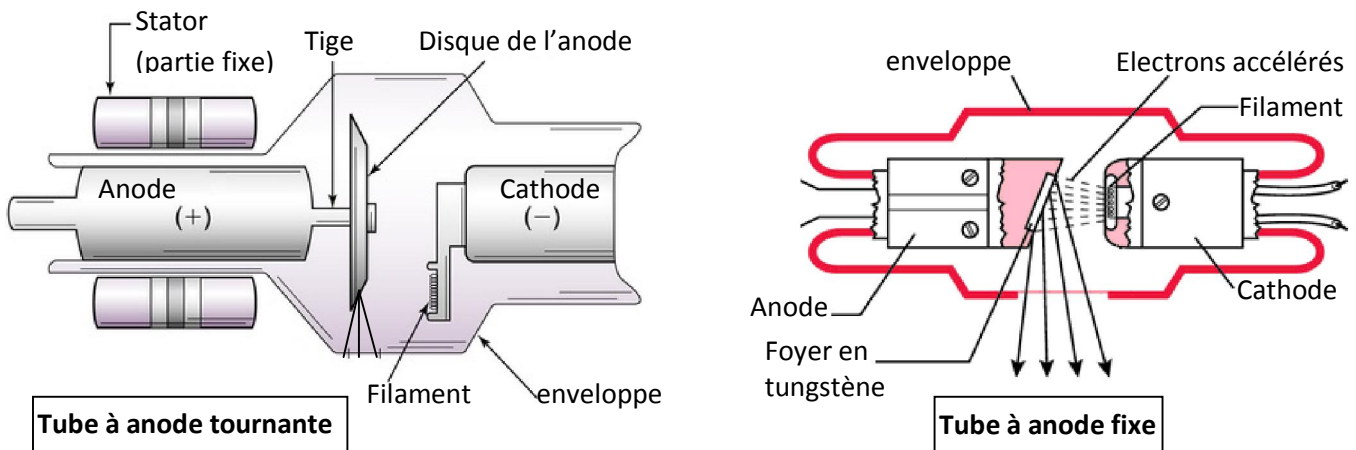
1.1.1. Bases physique des rayons X :

La production des rayons X fait suite à une interaction violente entre un électron à une vitesse très élevée, et une cible métallique très dense.



1.1.2. Tube à rayons X :

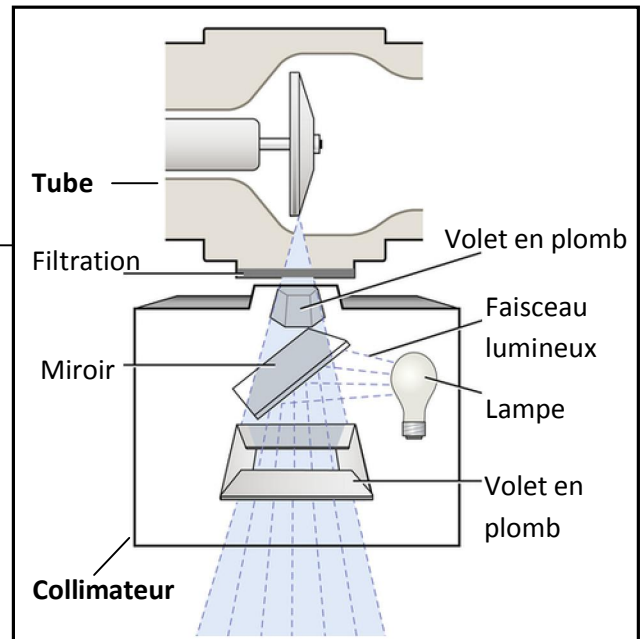
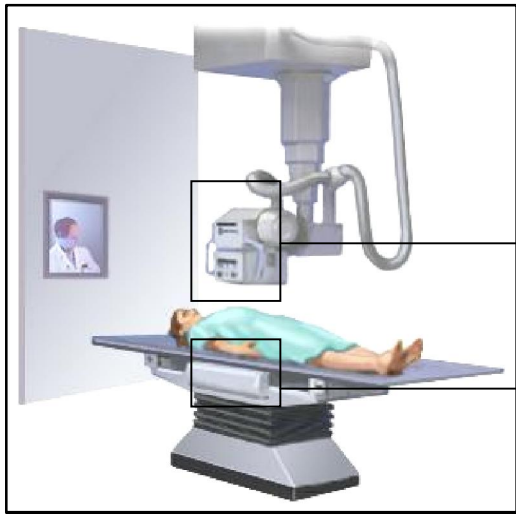
La production des rayons X se fait par le tube à rayons X. Il se compose de : enveloppe externe, cathode (en tungstène), L'anode (en tungstène), Un système de refroidissement.



1.2. Radiologie conventionnelle :

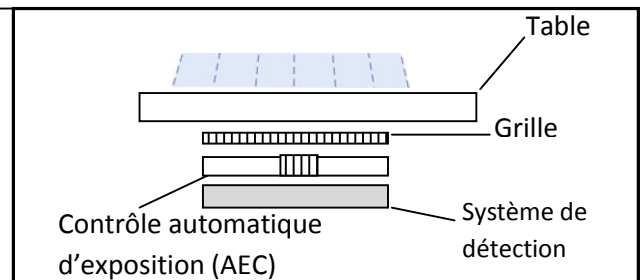
1.2.1. Principe et matériel :

Son principe est simple : le patient est placé entre la source (tube à rayons X) et le système de détection permettant d'obtenir des clichés (images) de certaines parties du corps.



Collimateur : Délimite la zone irradiée - Simule le faisceau X avec une lampe dont la lumière qui permet de contrôler la taille et la localisation du faisceau X. Il est doté parfois de filtration.

La grille : constituée de fines lamelles de plomb et de papier son rôle est d'atténuer le rayonnement diffusé par le patient (par effet de Compton).



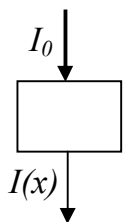
La quantité de rayonnement absorbé par le corps exposé, est mesurée en **gray** (Gy, où 1 Gy = 1 joule/kg).

1.2.2. Formation de l'image radiologique :

Le rayonnement X émis traverse les différents tissus du corps. Lors de cette traversée, certains tissus absorbent les rayons (os) et d'autre les laissent passer (muscles) à différents degrés. Les rayons ainsi subissent un phénomène d'atténuation. Elle est exprimée par la relation :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu \cdot x} \quad \text{où :}$$

$I(x)$: l'intensité du faisceau après avoir traversé une épaisseur x de matière ; I_0 : l'intensité du faisceau incident ; μ : la densité de la matière ;

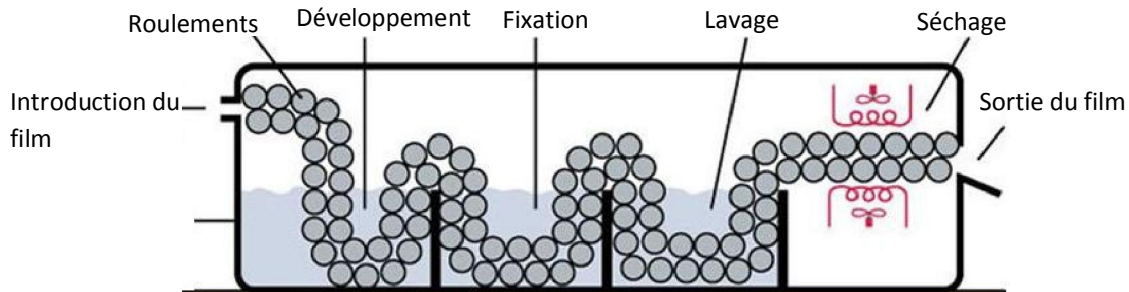
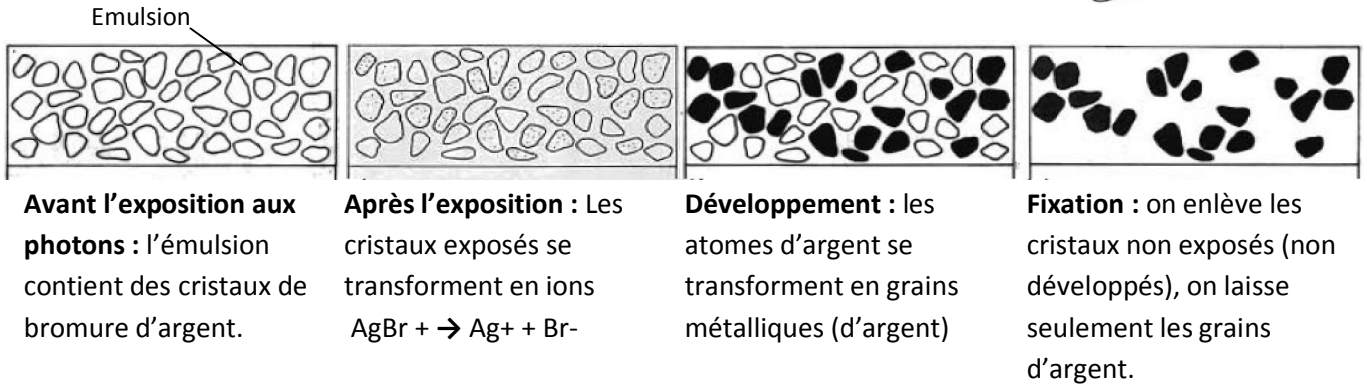
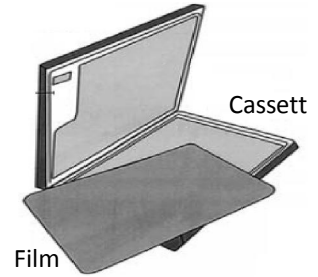


Finalement, les rayons sortants seront détectés par un système de détection. On utilise :

a. Détection par le film argentique :

Le film est une méthode traditionnelle de radiologie. Il est constitué d'un support transparent en polyester recouvert d'une émulsion de cristaux de bromure d'argent AgBr. Des écrans renforçateurs placés de part et d'autre du film accroissent son efficacité.

Le couple film-écran est contenu dans une cassette. La cassette protège le film de la lumière du jour mais permet le passage des rayons X jusqu'au film.

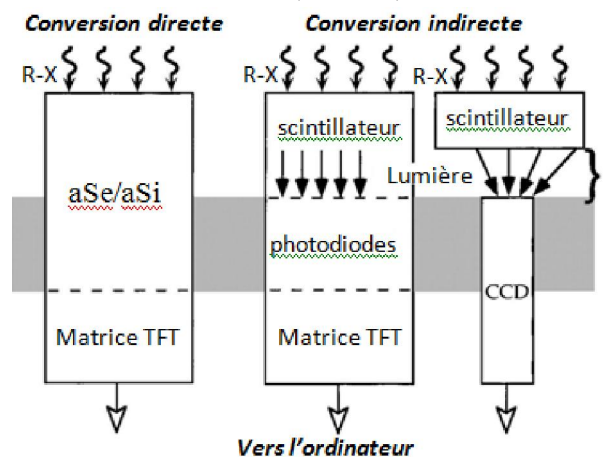


Machine de traitement des films

b. Détection dans la radiologie numérique :

Dans la radiologie numérique, le film-écran est remplacé par un système de détection permettant l'obtention des images numériques. Plusieurs techniques sont utilisées :

- **Radiographie computerisée :** Utilise l'écran radioluminescent à mémoire (ERLM).
- **Radiographie numérique à conversion indirecte**
Utilise un scintillateur émissant de la lumière capté par des caméras à CCD (Charge Coupled Device), ou des matrices de transistors (thin-film transistors : TFT).
- **Radiographie numérique à conversion directe :**
Utilise un détecteur à capteur plan.

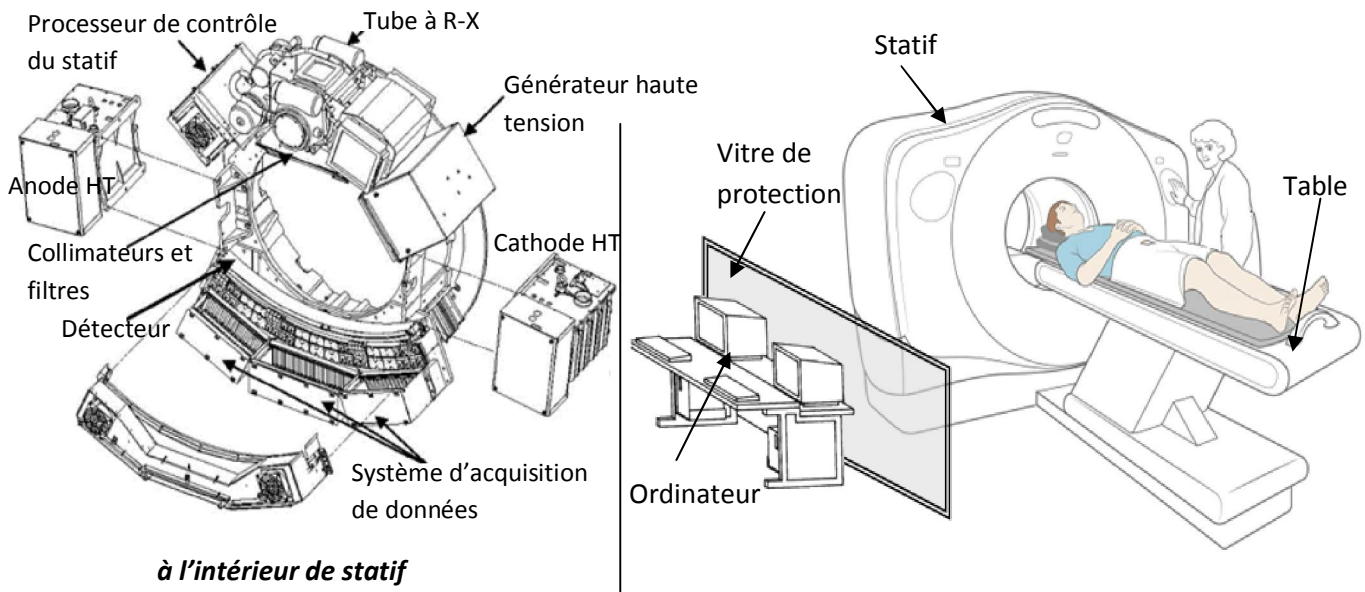


1.3. La tomodensitométrie TDM (Scanner) :

La tomodensitométrie (TDM) ou Scanographie (Scanner) est une méthode d'imagerie utilisant des rayons X et permet d'obtenir des images de coupes transversales du corps.

1.3.1. Matériel :

Le scanner se compose de : un statif, une table, un ordinateur, des armoires annexes contiennent une partie de la climatisation et de la distribution électrique.

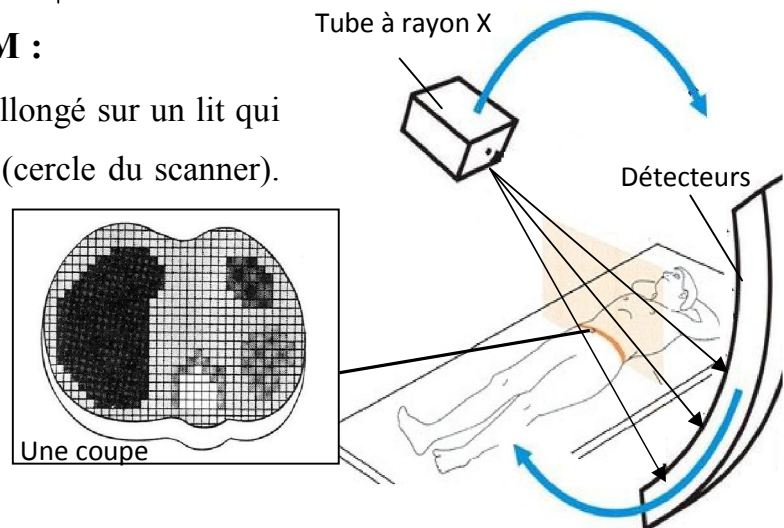


1.3.2. Principe d'imagerie par TDM :

Dans la salle d'examen, le patient est allongé sur un lit qui va lentement se déplacer dans le statif (cercle du scanner).

Il doit rester immobile.

Parfois, l'examen nécessite l'injection préalable d'un produit de contraste.



La TDM permet l'obtention d'une série de coupes

transversales d'une partie du corps. Une coupe est une image bidimensionnelle représentée comme une matrice de pixels. L'obtention d'une coupe (matrice) se fait en deux étapes :

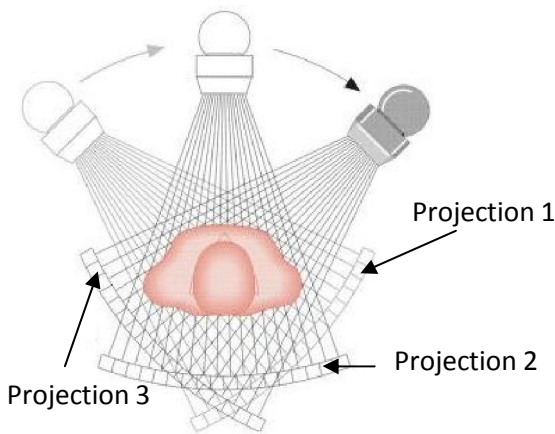
- **Etape 1 : réalisation de plusieurs projections :**

Contrairement à une radiographie classique, dans le TDM la source de rayons-X n'est pas fixe. Elle tourne autour de l'organe à explorer. Suite à cette rotation, on va obtenir plusieurs projections suivant des degrés différents. Une projection représente une superposition des densités de tous les

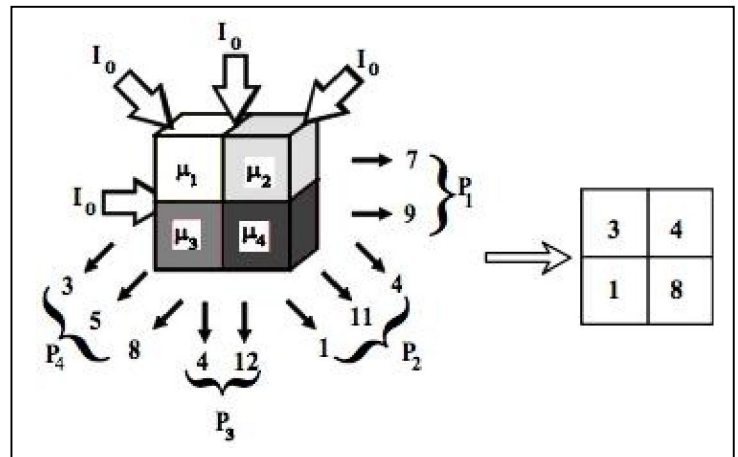
tissus traversés par les rayons.

Etape 2 : Reconstruction de l'image de la coupe :

A partir de n projections obtenues, l'ordinateur calcule la densité de chaque pixel de la matrice (coupe). Ces calculs complexes reposent sur un principe simple : connaissant la somme des chiffres d'une matrice selon tous ses axes (rangées, colonnes et diagonales), on peut en déduire les chiffres contenus dans la matrice.

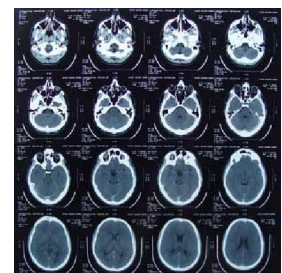
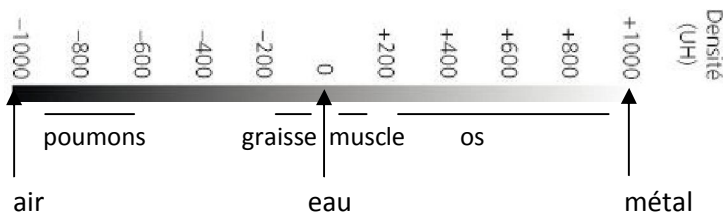


1 Avec la rotation autour du corps, on obtient plusieurs projections



2 Exemple simple de calcul des valeurs des pixels à partir de leurs sommes en 4 projections

Les coefficients de densité des différents tissus sont exprimés en unités Hounsfield (UH). Avec -1000 (métal), +1000 (air), 0000 (eau).



TDM de la tête (16 coupes)

1.4. Autres examens utilisant les rayons X :



Densitométrie osseuse : sert à étudier la masse de calcium contenue dans l'os, (exprimée en t score et z score).



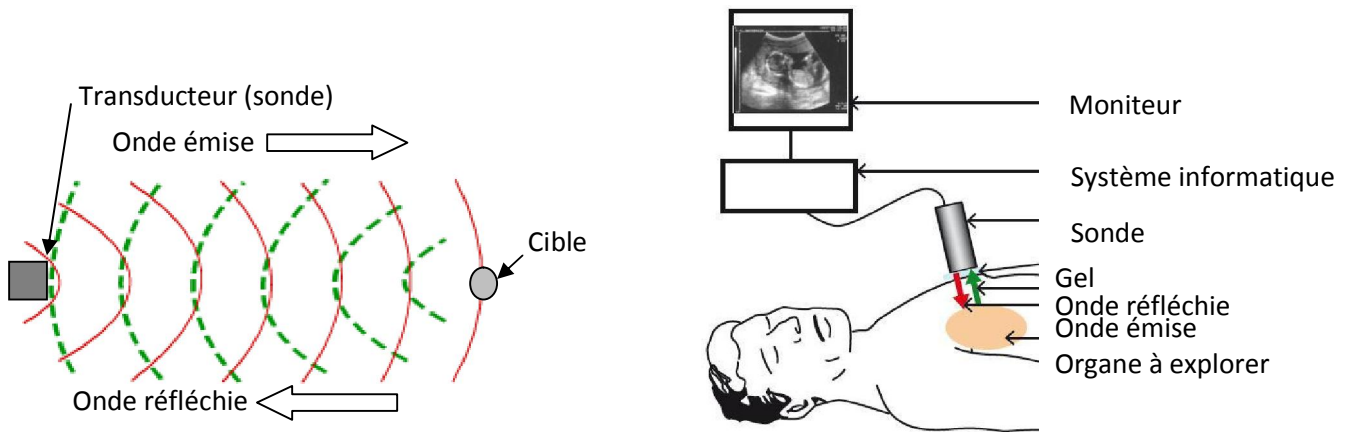
Mammographie : permet de dépister des anomalies, notamment une tumeur du sein



Radiographie dentaire : comme le panoramique

Chapitre 2 : L'imagerie par l'ultrason (échographie)

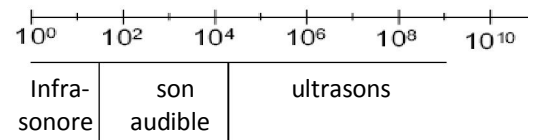
L'échographie est une technique d'imagerie basée sur l'émission des ondes ultrasonores et la réception des échos réfléchis par les différents tissus et organes, elle est sans danger pour la santé.



2.1. Bases physiques :

Les ultrasons sont des ondes mécaniques longitudinales de même nature que le son audible, mais de fréquence supérieure. L'oreille humaine est sensible à une fréquences entre 15 et 20000 Hz.

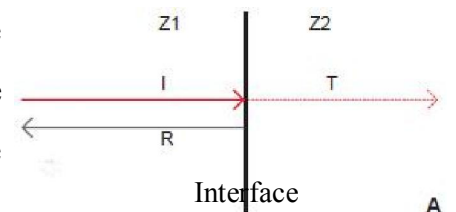
Dans l'imagerie échographique les fréquences utilisées sont de l'ordre de 1 à 15 MHz environ.



- La vitesse de propagation (Célérité) d'une onde dépend du milieu traversé (plus élevée dans l'os).
- Les différents milieux opposent une certaine résistance à la propagation des ondes. Cette résistance est l'impédance acoustique Z (kg/m²/s).

Milieu	Célérité (m/s)	Imp. Acoust. (kg/m ² /s)
Air	340	440
Graisse	1470	1.4 × 10 ⁶
Eau	1500	1.5 × 10 ⁶
Muscle	1540	1.75 × 10 ⁶
Os	3000	7.8 × 10 ⁶

Interface : c'est la limite entre deux milieux d'impédance différente. Lorsque l'onde (I) parvient à une interface, une fraction poursuit son trajet en profondeur (transmission T), une autre fraction est réfléchi vers la source d'émission (réflexion R)

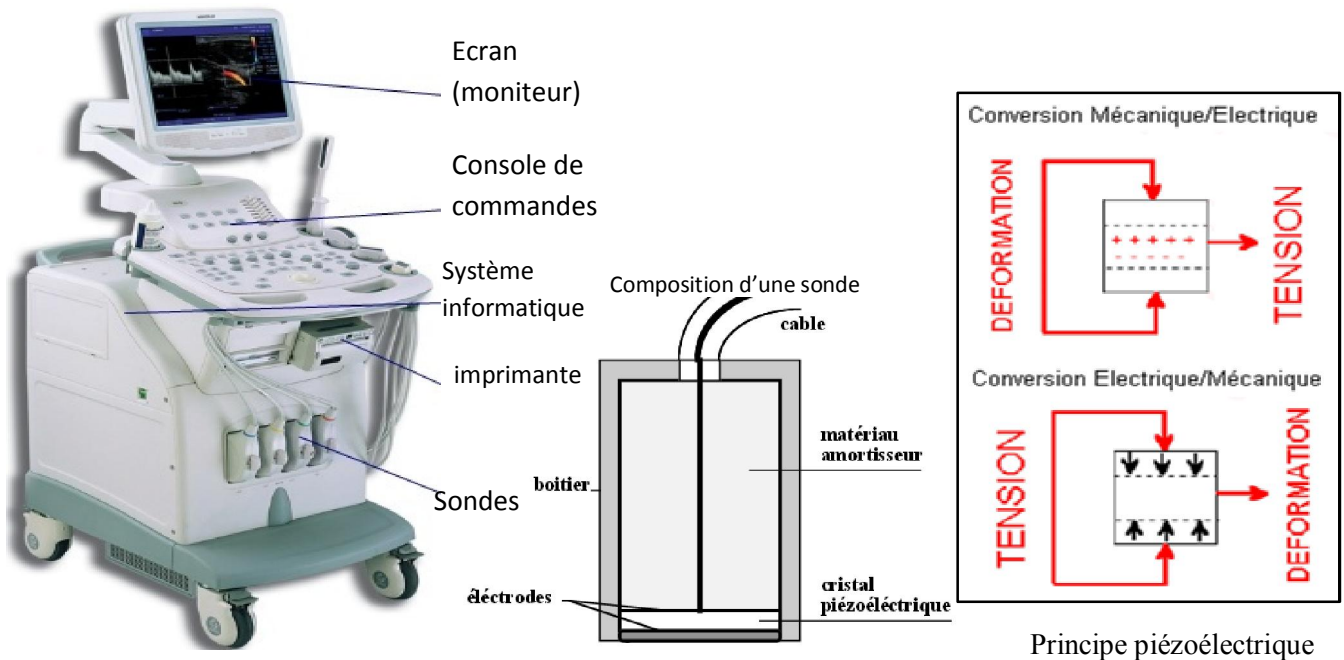


Absorption – Atténuation : Du fait des réflexions successives, de la diffusion et de l'absorption, l'onde ultrasonore s'atténue progressivement en profondeur.

2.2. Matériel :

La sonde (le transducteur) est l'élément principal de l'échographe. Elle est constituée principalement de l'élément piézoélectrique. En appliquant un courant alternatif sur un cristal piézoélectrique, il se comprime et se décomprime alternativement et émet un ultrason. Le même

élément est utilisé pour transformer les ultrasons réfléchis en courant électrique.



2.3. Formation de l’image échographique :

Dans l’échographie, le même appareil (sonde) émet et reçoit les ondes, et le système informatique a le rôle de traitement du signal reçu pour afficher l’image sur un écran.

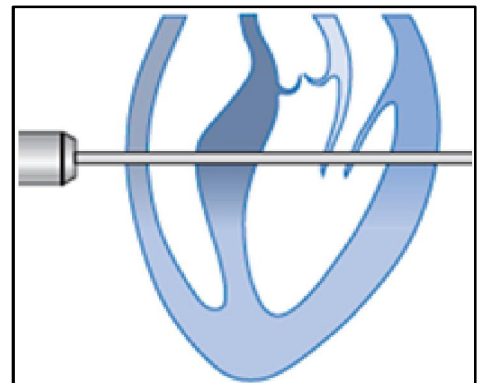
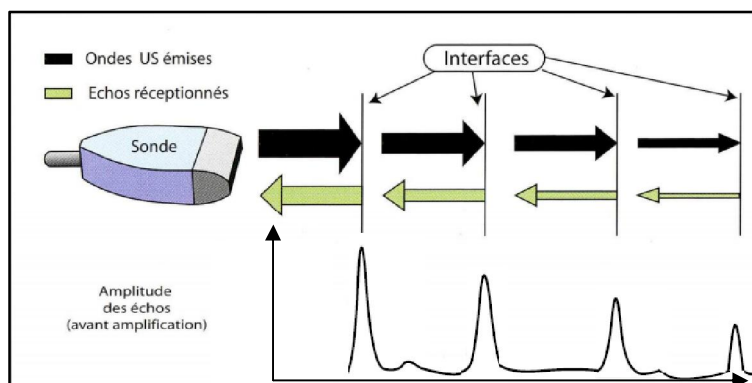
a. Emission d’ondes : la sonde émet des ondes par impulsions de quelques *microsecondes*.

b. Réception d’ondes : Lors de la réception de l’écho, l’onde qui vient heurter la sonde induit l’apparition de charges électriques. Ce signal électrique est ensuite traité dans les circuits électroniques de l’appareil et sert à l’élaboration de l’image échographique.

La durée de la période d'attente de l’écho est plus longue, de *l'ordre de la milliseconde*.

L'image formée représente les propriétés mécaniques (sonores) des différents points traversés.

- Le temps de retour de l’écho détermine la profondeur ou l’épaisseur des organes rencontrés.
- L’image des contours des organes est obtenue grâce à la réflexion sur les interfaces.
- La structure interne des organes est obtenue grâce à la diffusion.



Chapitre 3 : Imagerie par Résonance Magnétique IRM

3.1. Composition d'un IRM :

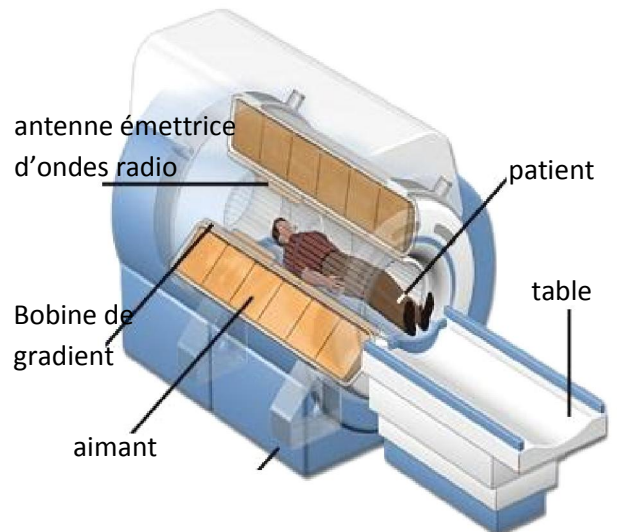
Un système IRM comprend 4 composantes principales :

L'aimant : L'élément de base de l'appareil. Il produit le champ magnétique B_0 qui est fort (de 0.5 à 3 Tesla).

Les bobines de gradient : Les bobines de gradient produisent des champs magnétiques qui s'additionnent à B_0 . Il existe trois paires de bobines, une pour chaque orientation dans l'espace.

Les antennes : elles permettent l'émission des impulsions radiofréquences (ondes électromagnétiques) et la réception du signal.

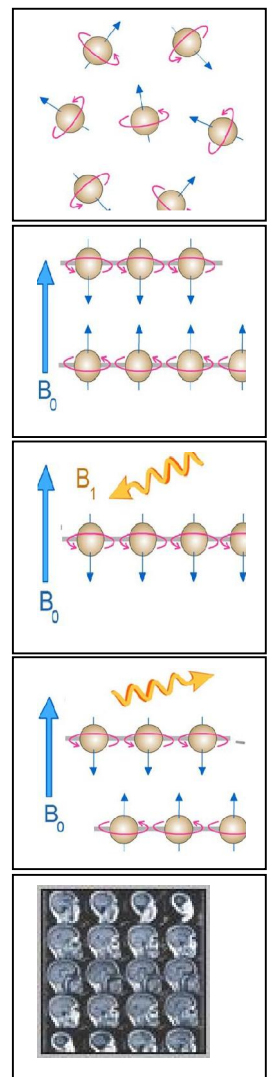
L'ordinateur : Permet l'acquisition de données, reconstruction des images, la gestion des périphériques.



3.2. Principe de fonctionnement :

Le principe est basé sur la résonance magnétique nucléaire (RMN) des protons contenus dans l'organisme (protons d'hydrogène). Le corps est constitué de plus de 75% d'eau (H_2O), ainsi les atomes d'hydrogène (noyaux) sont présents en abondance. Le fonctionnement peut se résumer en points suivants :

- Le proton d'hydrogène tourne sur lui-même (spin). Cela fait du proton comme un dipôle magnétique. Naturellement, les spins sont aléatoires : c-à-d. les protons sont orientés aléatoirement.
- Quand le patient est placé dans un champ magnétique B_0 , tous les atomes d'hydrogène s'orientent parallèlement à ce champ (organisation des spins).
- L'antenne émettrice transmet des ondes radio B_1 dont la fréquence est égale à la fréquence de rotation des protons. Cette fréquence (dite de résonance) excite les protons qui vont entrer en résonance et les spins s'orientent tous dans la même direction.
- Une fois la stimulation arrêtée (phase de relaxation), les spins reprennent leur place en libérant de l'énergie sous forme d'ondes (signaux) qui seront captées par l'antenne réceptrice.
- Ce signal est enregistré et traduit sous forme d'images de différentes coupes par un système informatique.



L'image est obtenue suivant le temps de relaxation. Chaque tissu a un temps de relaxation qui lui est propre (Graisse : 84 ms, Muscle : 47 ms).

Chapitre 4 : La médecine nucléaire

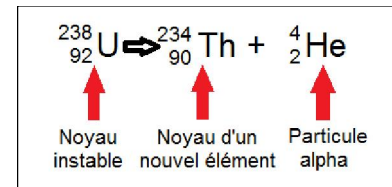
4.1. Physique de la radioactivité :

Un atome est constitué d'un noyau et d'électrons qui tournent autour le noyau. Le noyau est composé de Z protons, et N neutrons.

Les isotopes sont des atomes possédant le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent. Par exemple le carbone a 3 isotopes C12, C13, C14. Certains isotopes sont instables et radioactifs alors que d'autres sont stables.



Les isotopes instables cherchent à acquérir une meilleure stabilité, d'où ils se transforment spontanément en d'autres atomes (désintégration) en émettant un rayonnement (α , β , γ). (α : proton de hélium, β^- : électron, β^+ : positon, γ : photon très pénétrant).



Chaque isotope a une demi-vie T : période fixe pendant laquelle il perd la moitié de son rayonnement.

4.2. Usage en médecine :

La radioactivité est utilisée pour des fins diagnostiques ou thérapeutiques.

4.2.1. Thérapeutique (traitement) :

Administration d'un élément radioactif → captation par un organe cible → la radioactivité détruit les cellules malignes (exemple : *traiter le cancer de la thyroïde par l'iode 131*)

4.2.2. Diagnostique :

Plusieurs organes ont un métabolisme (utilisation) spécifique de certains éléments (thyroïde : iode, os : calcium...). Pour étudier un organe, on va introduire dans le corps (par injection, ingestion, inhalation...) un produit radio-pharmaceutique, et on va suivre comment l'organe cible utilise ce produit en détectant les rayons qu'il émet. Deux modalités sont utilisées :

- Soit on lie un atome radioactif (marqueur) à une molécule non radioactif (vecteur) qu'utilise l'organe.
- Soit l'organe cible est capable de métaboliser directement un produit radioactif : on suit directement ce produit qui envoie des rayons détectables.

Isotopes utilisés en imagerie nucléaire		
Isotope	Energie	Période
Emetteurs de photons γ		
Technétium 99m	140keV	6 heures
Iode 123	159keV	13 heures
Thallium 201	71 keV	73 heures
Indium 111	171keV	67 heures
Emetteurs de positons β^+		
Oxygène 15	511 keV	2 minutes
Azote 13	511 keV	10 minutes
Carbone 11	511 keV	20 minutes
Fluor 18	511 keV	110 minutes
Brome 76	511 keV	978 minutes

4.3. Imagerie en médecine nucléaire :

C'est une imagerie d'émission : on obtient l'image en détectant les rayons venant de l'intérieur du corps. (Par contre la radio-X est une imagerie de transmission).

C'est une imagerie fonctionnelle : on suit comment un organe utilise une substance radioactive, donc on obtient l'image du fonctionnement de l'organe (la radio-X généralement donne une image anatomique).

Deux modalités sont connues selon la technique de détection des rayons :

4.3.1. La tomographie par émission monophotonique (TEMP) :

Une fois fixé sur la partie ciblée, le radiopharmaceutique émet les rayons gamma qui sont détectés par une caméra à scintillation appelé gamma caméra. Ces informations sont ensuite traitées par ordinateur à l'aide d'un algorithme de reconstruction afin d'obtenir l'image 2D ou 3D de la partie du corps ciblée.

On distingue notamment : La scintigraphie myocardique, La scintigraphie pulmonaire, La scintigraphie osseuse, La scintigraphie rénale, La scintigraphie cérébrale, La scintigraphie thyroïdienne.



4.3.2. La tomographie par émission de positrons (TEP) :

Consiste à administrer au patient une substance marquée par un radioactif émetteur de positons (béta+). Une fois émis et après un court parcours de l'ordre du millimètre, le positron va s'annihiler avec un électron du milieu donnant lieu à l'émission de deux photons gamma de 511 keV dans des directions opposées (à 180°). La détection de ces photons se fait par coïncidence à l'aide d'une caméra TEP.

Cette technique est utilisée surtout pour le dépistage des tumeurs. Le traceur le plus utilisé est 18FDG (Le fluor 18 est l'émetteur de positrons + désoxyglucose très capté par les tumeurs).

