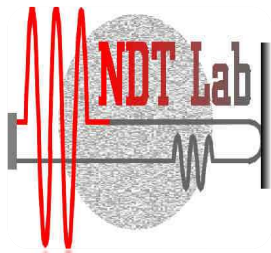


UNIVERSITÉ MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA DE JIJEL

Annexe de médecine



Matière : Biophysique
Partie: Rayonnement
Imagerie Médicale

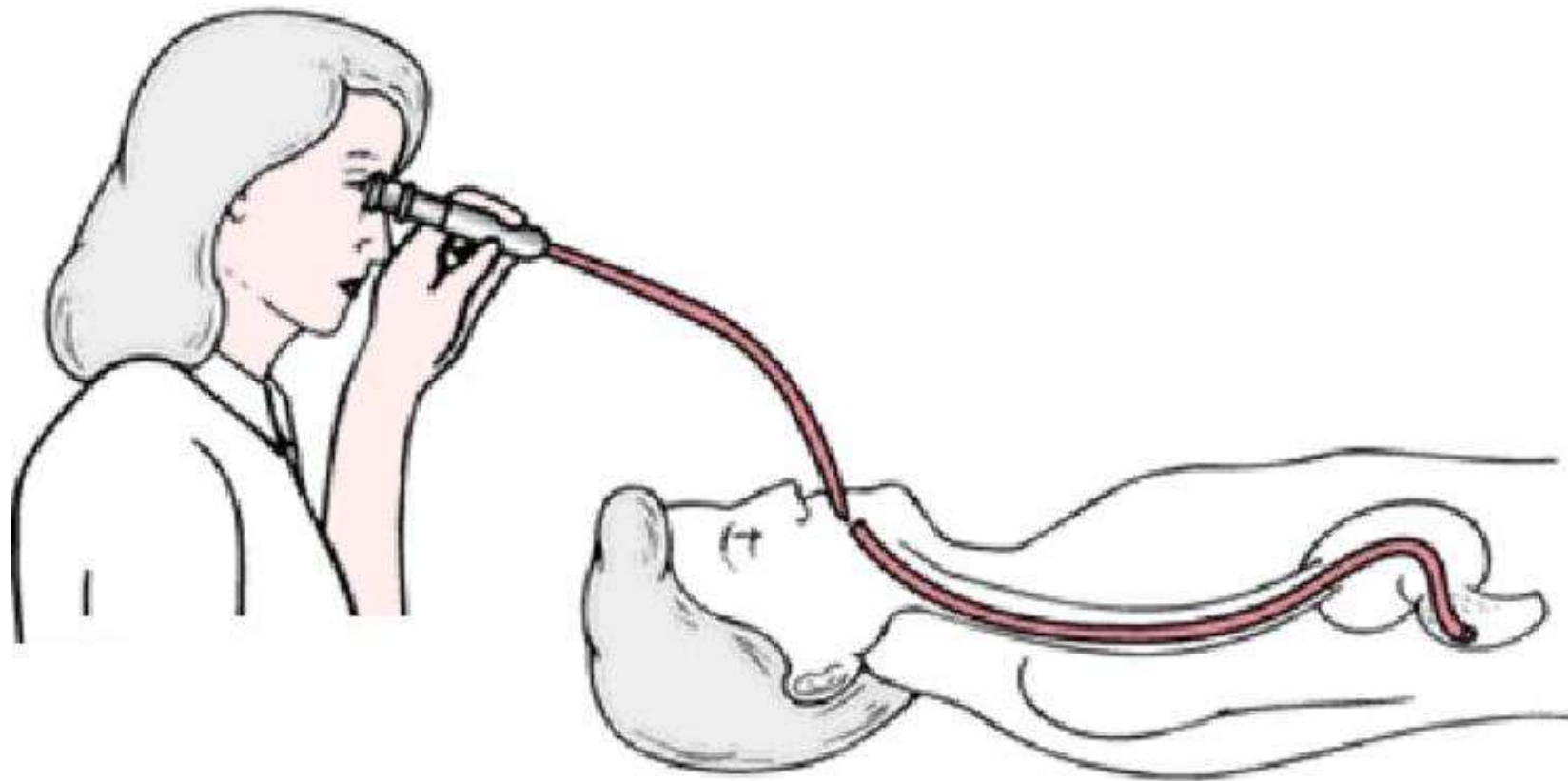


Professeur BOUDEN Toufik, Département d'automatique, FST

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**.

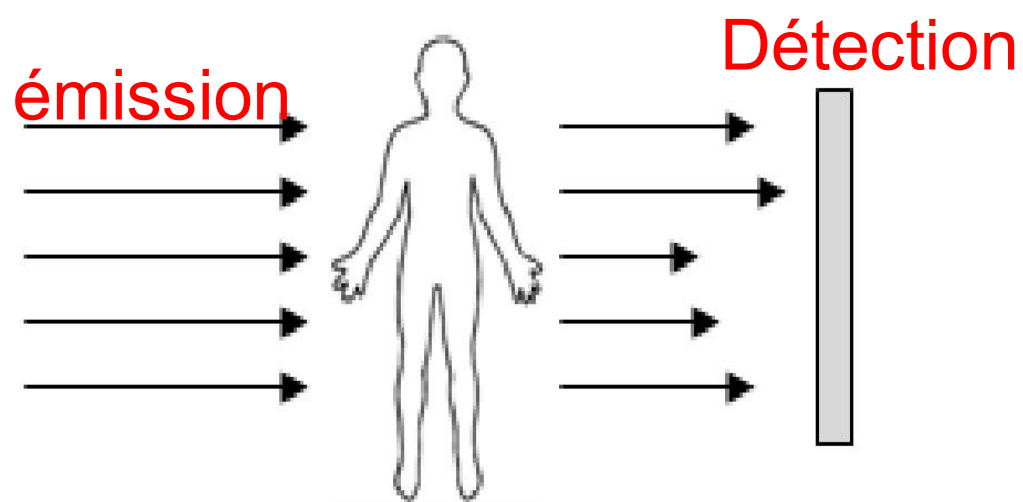
Les techniques de l'imagerie médicale sont considérées surtout comme outil diagnostique, elles sont aussi largement utilisées dans la recherche biomédicale.

On associe parfois à l'imagerie médicale les techniques d'imagerie optique comme l'endoscopie.

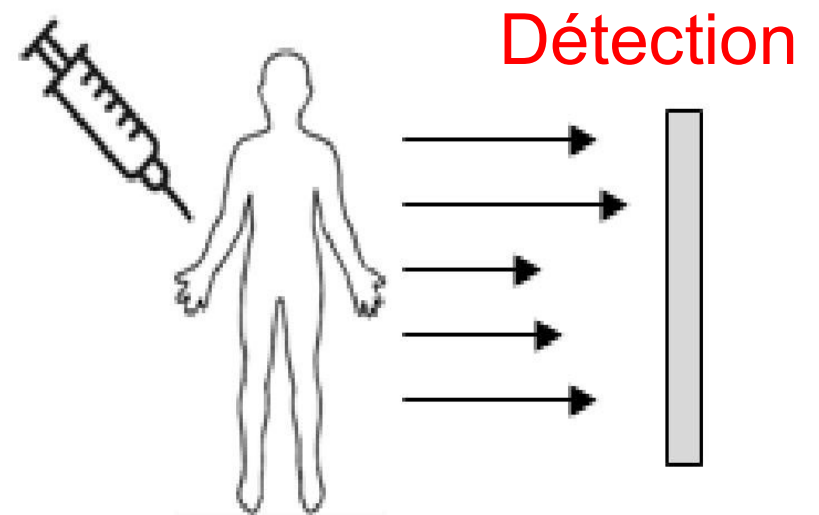


On peut classer ces techniques en deux grandes familles :

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



Imagerie par transmission
(radiologie par R-X, échographie, IRM,)



imagerie par émission
(médecine nucléaire)

Historique



➔ **1895**: Découverte des rayons X par Prof. Wilhelm C. Roentgen



➔ **1901**: Roentgen reçoit le Prix Nobel Pour la découverte des rayons X

1897 : Création du premier Laboratoire hospitalier de radiologie , à Paris.



Tube générateur de rayons X



L'imagerie médicale est une science récente. Parmi les grands repères qui marquent son évolution, on cite :

- 1895 : Découverte des rayons X par **le physicien allemand Wilhelm Röntgen** et première radiographie.
- 1955 : Mise au point de la visualisation du corps humain par des ultrasons (échographie).
- 1972 : visualisation du corps humain en coupes grâce aux rayons X et à l'ordinateur (scanner X) par **Hounsfield**.
- 1973 : Mise au point de la visualisation du corps humain par l'IRM, grâce aux champs magnétiques, aux ondes radios et à l'ordinateur, par **Lauterbur et Damadian**.
- 1990 : développement de la médecine nucléaire.

Contenu de cette partie

Imagerie Médicale

I) RAPPELS (Rayonnement et Radioactivité)

II) PRINCIPE DE FORMATION DE L'IMAGE RADIOLOGIQUE

III) MOTALITES DE L'IMAGE MEDICALE

VI) RADIOTHERAPIE EXTERNE ET APPLICATIONS MEDICALES

Rappels

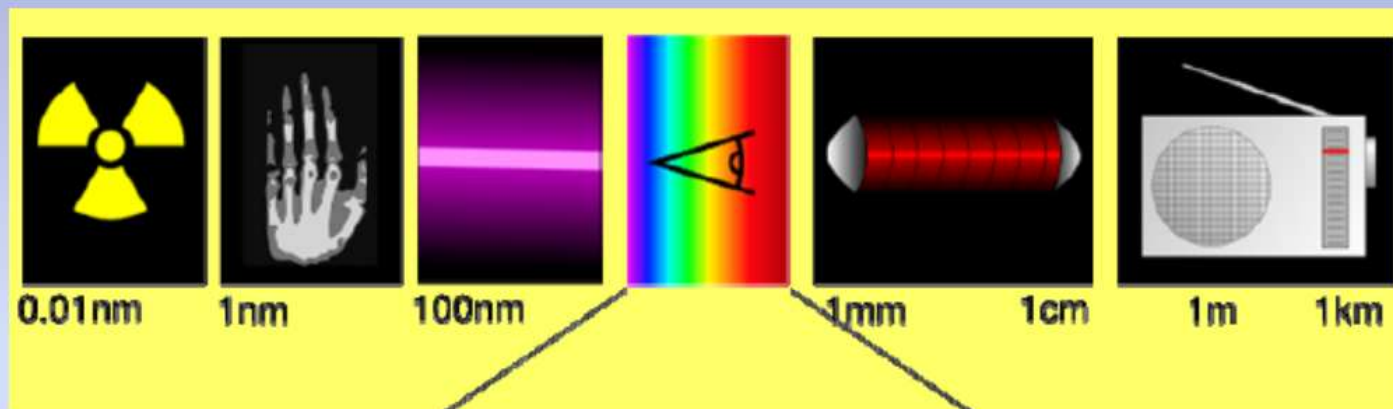
Rayonnement:

Au début du XX^e siècle, la découverte des rayonnements X par le physicien allemand Wilhem Röntgen et celle de la radioactivité par le Français Henri Becquerel ont donné naissance à deux grandes familles d'imagerie médicale : **la radiologie et la médecine nucléaire.**

Nature des rayonnements X

✓ Les rayons X sont des **rayonnements électromagnétiques** de très courte longueur d'onde (**0,03 nm à 10 nm**)

← **Limites pas bien précises!!!**



✓ Les rayons X sont des photons **produits par l'interaction des électrons avec la matière.**

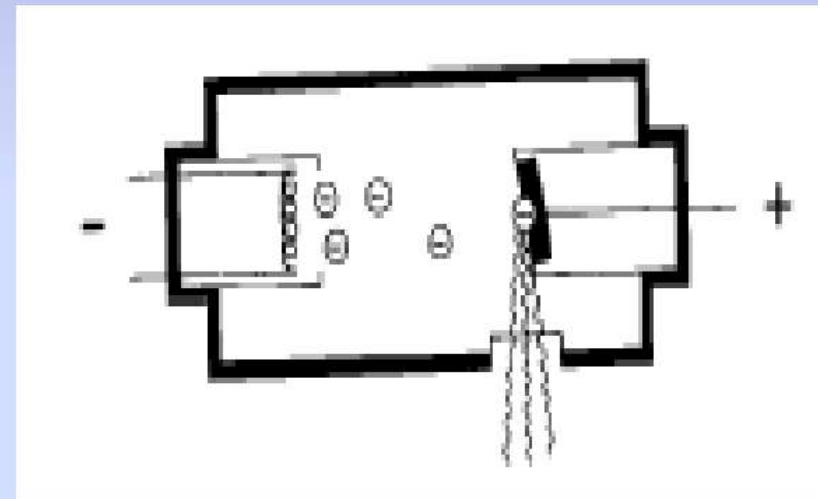
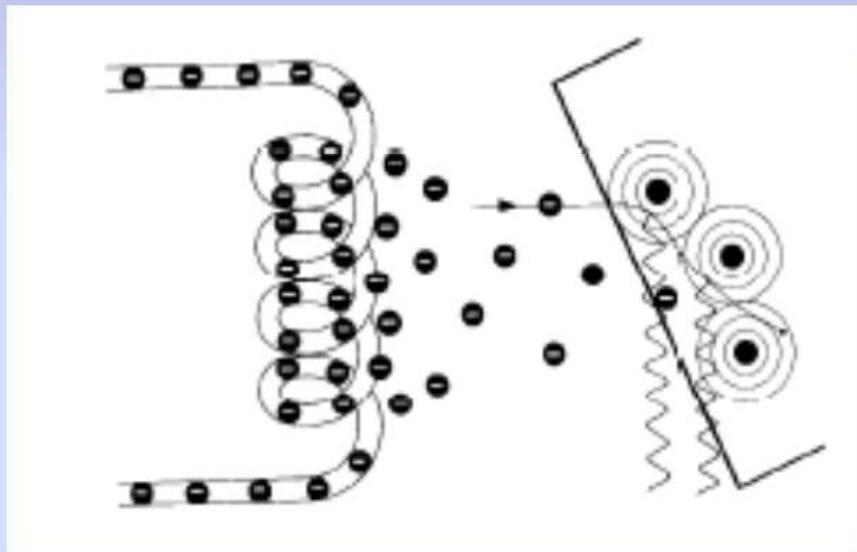
✓ Ils sont émis par le **bombardement** de la surface d'un solide par des rayons cathodiques qui sont des **faisceaux d'électrons** accélérés par des **tensions variant entre 10^3 et 10^6 V**

Production des Rayons X



Nous avons besoin :

- Une source d'électrons
- Un haut voltage pour accélérer les électrons
- Une cible pour absorber les électrons et produire les RX



Production

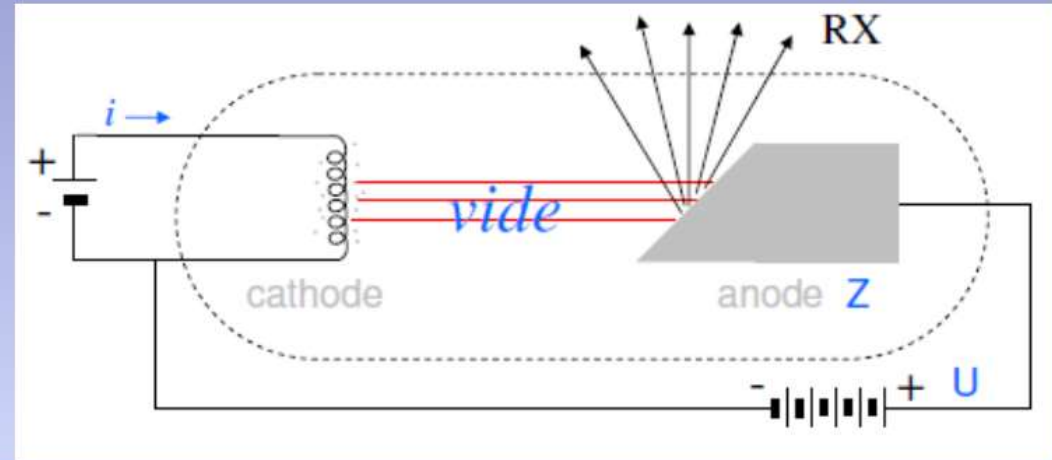
Les tubes à rayons X utilisent le bombardement électronique.

Les éléments radioactifs utilisent le rayonnement gamma émis par les noyaux de ces éléments.

Tube de Coolidge (1940) (Application médicale)



Tube à vide contenant un filament chauffé par une basse tension (BT) et une anode (masse métallique) portée à une forte tension positive (haute tension HT) par rapport au filament



1. Production d'électrons par un filament conducteur chauffé à rouge (effet thermoïonique)
2. Attraction des électrons vers une cible métallique portée à une très forte tension positive (anode = anticathode) par rapport au filament (cathode)
3. Décélération brutale des électrons lors de leur arrivée sur l'anode. L'énergie cinétique se transforme en **chaleur** (beaucoup) et **rayons X** (un peu)

Quelques tubes à rayons X



Anode

Anode tournante pour mieux évacuer la chaleur



Que peut on régler sur un tube à rayons X ?

1. La **tension** (U) entre l'anode et la cathode *de façon directe en **modifiant la tension d'alimentation***
2. L'**intensité** (i) qui traverse le tube entre anode et cathode *de façon indirecte en modifiant le chauffage du filament (**plus la température du filament est élevée, plus l'intensité qui traverse le tube est élevée**)*

Domaine de médecine

Tubes de radiodiagnostic



30 – 150 kV

Tubes de radiothérapie



Qlqs kV

Introduction

✚ L'effet des rayonnements sur la matière vivante est souvent perçu comme un effet nuisible conduisant à la **radiopathologie**.

✚ L'étude scientifique de **l'interaction matière – rayonnement** donne une possibilité de comprendre correctement de nombreux et complexes faits expérimentaux, c'est la **radiobiologie**.

✚ Les scientifiques ou médecins spécialisés retirent de ces études un ensemble de connaissances orienté vers la **radioprotection**. La pathologie induite par les applications médicales a imposé la mise en place de **normes de radioprotection** dès 1928

✚ Tout rayonnement présente des **effets biologiques**, **utiles ou nuisibles** à la vie



les **risques** éventuels d'un **traitement** par rayonnements sont **très difficiles** à mettre en évidence



Seulement **la connaissance raisonnée** des phénomènes doit aider le médecin et le patient à **accepter ou à refuser ce risque.**

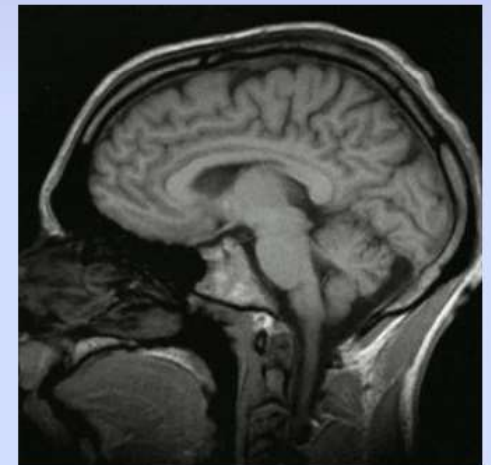
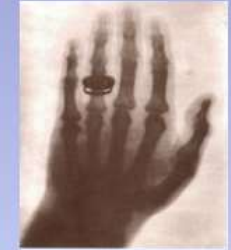
- ▶ **Auparavant**, les **préoccupations aller vers le rayonnement ionisant** ou encore la radioactivité, lesquels évoquaient la guerre nucléaire.
- ▶ **Depuis quelques années**, on commence à se soucier des **effets du rayonnement non-ionisant** et notamment la surexposition aux rayons UV, aux dommages que les lasers peuvent causer aux yeux et des éventuels effets cancérigènes que peuvent avoir les radiofréquences et les micro-ondes.

Utilisation des rayonnements en médecine

- Traitement du cancer au moyen de **rayonnements ionisants**
- Imagerie diagnostique au moyen des **rayons X**
- Imagerie par **ultrasons**
- Imagerie par **résonance magnétique nucléaire**
- Imagerie diagnostique au moyen de **radio-isotopes**
- (médecine nucléaire)
- Etude des risques que présentent les rayonnements
moyens de protection contre les rayonnements
(**radioprotection**).



Dosimétrie = respecter une certaine dose



Classification des rayonnements

Selon la nature du rayonnement:



Rayonnements **électromagnétiques**/Rayonnements **particulaires**

Selon les effets du rayonnement sur la matière:

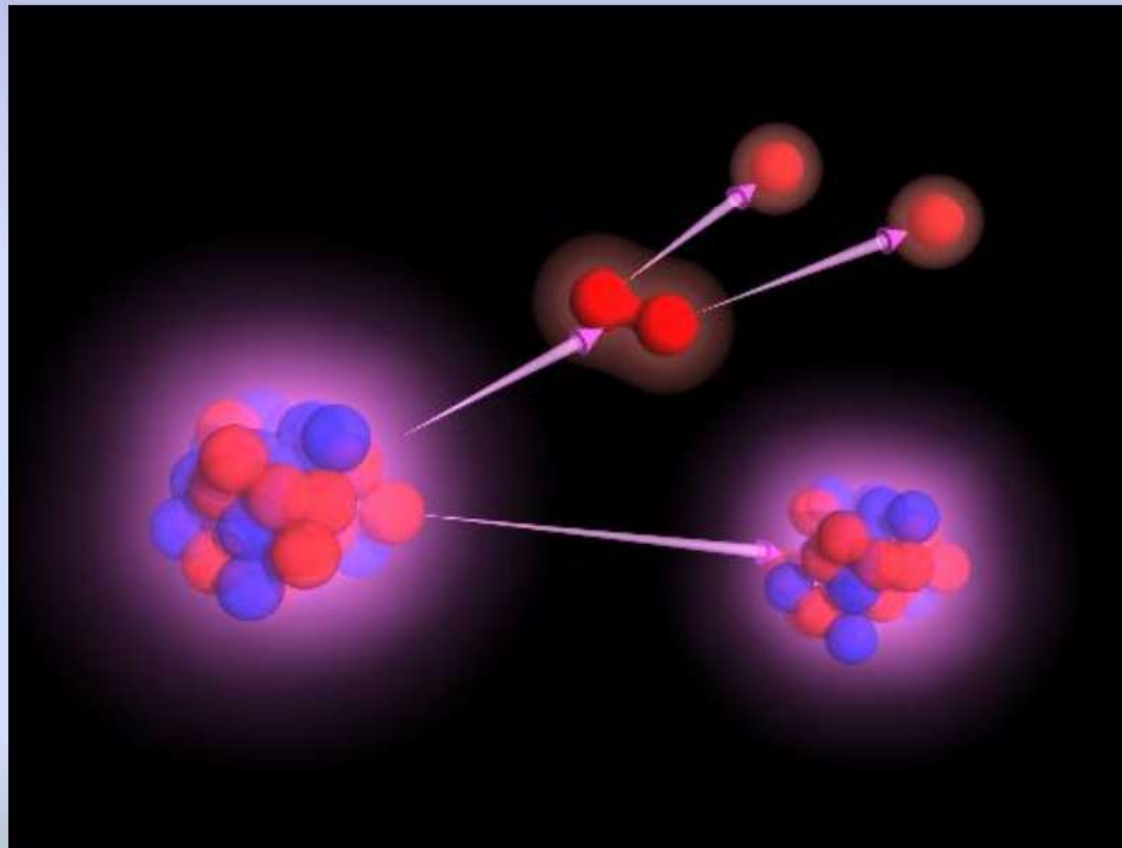


Rayonnements **ionisants**/Rayonnements **non-ionisants**

3. La radioactivité




La radioactivité n'a pas été inventée par l'homme. C'est un **phénomène naturel** qui existe depuis l'origine de l'Univers et qui imprègne notre environnement quotidien



Historique

- **1896:** Henri Becquerel met en évidence la radioactivité :
Il constate qu'une plaque photographique, mise en contact avec les sels d'uranium était impressionnée sans avoir été exposée à la lumière.
Il en conclut que l'uranium émet son propre rayonnement.

- **En 1898** Marie Curie confirme ce phénomène en l'appelant «**Radioactivité**» Avec son mari Pierre Curie, elle s'est ensuite consacrée à trouver d'autres matériaux radioactifs: le  polonium, le radium.

- **1903:** les trois chercheurs reçoivent le Prix Nobel de physique pour leurs recherches sur les radiations.

- **1935:** Irène Curie avec son mari Frédéric Joliot, reçoivent le Prix Nobel de chimie pour la découverte de **la radioactivité artificielle.**

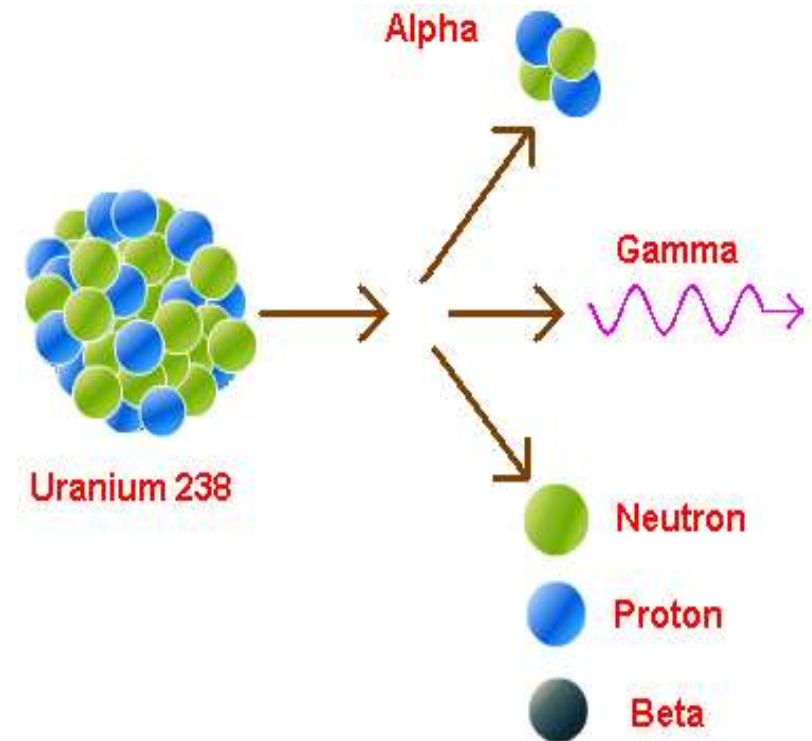


Mr & Mme Curie

Radioactivité:

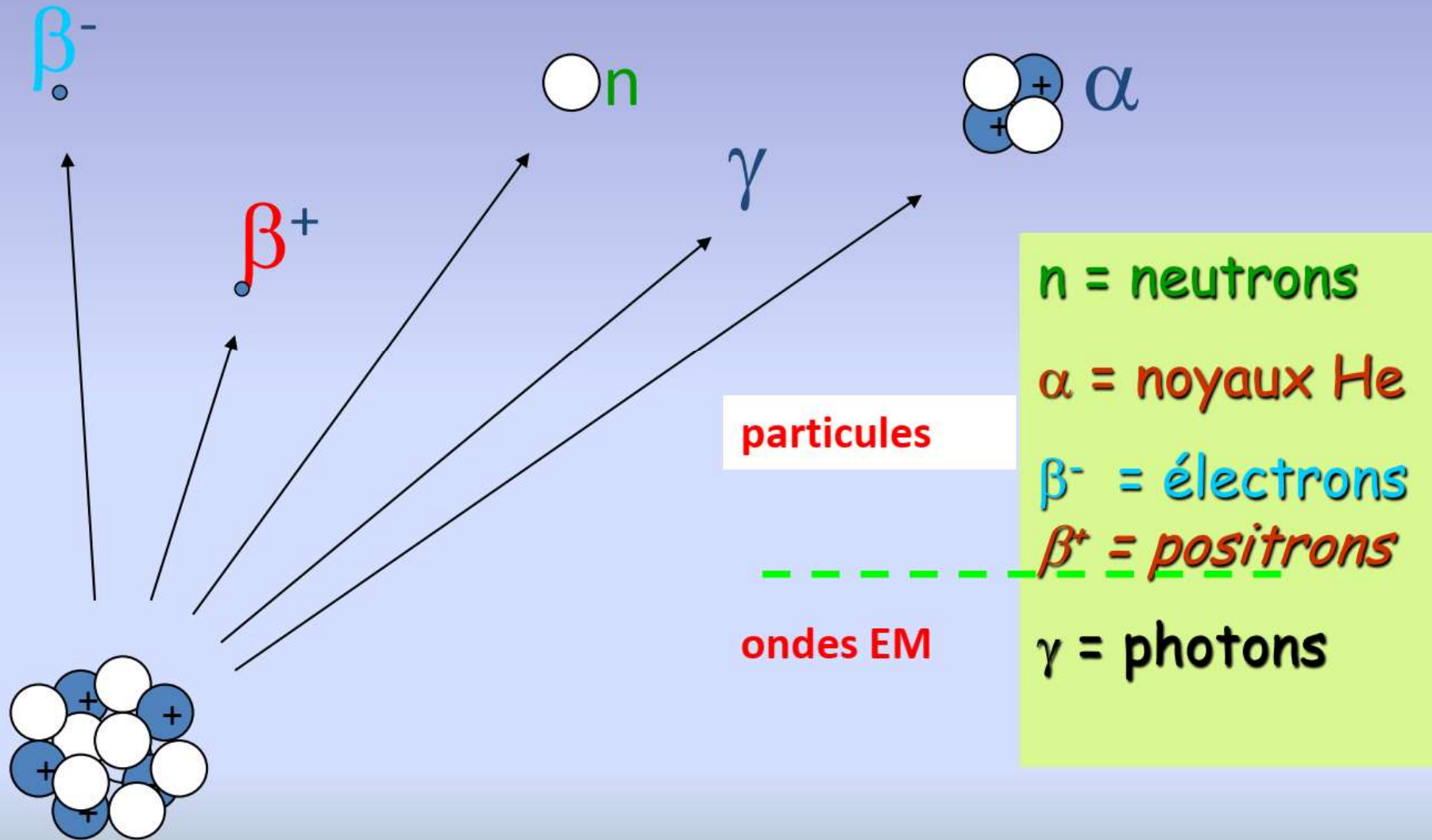
Propriété qu'ont certains noyaux d'**atomes** de se désintégrer de manière **naturelle** et **spontanée**, pour donner un **autre élément**, en émettant des **particules** ou des **rayonnements électromagnétiques**. Dans ce cas la radioactivité est **naturelle**.

Elle peut être **artificielle** lorsque l'on bombarde les noyaux des atomes des éléments stables (aluminium, iode) avec des faisceaux de particules (**neutron, proton, particule α**).



En médecine, la radioactivité est utilisée à des fins **diagnostiques**, in vivo et in vitro, ainsi que **thérapeutiques** (exp: utilisation de **traceurs radioactifs pour les diagnostics, traitement des cancers**).

Les rayonnements émis



Unités d'activité

- Unité d'activité actuelle et légale : **BECQUEREL : Bq**
- **1Bq = 1 désintégration / seconde** (→ MBq utilisé)
- Unité ancienne et classique : **CURIE : Ci**
- **1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq**: → C'est l'activité de 1g de $^{226}_{88}\text{Ra}$
- **1 m Ci = $3,7 \cdot 10^7$ Bq = 37 MBq**

Désintégration radioactive

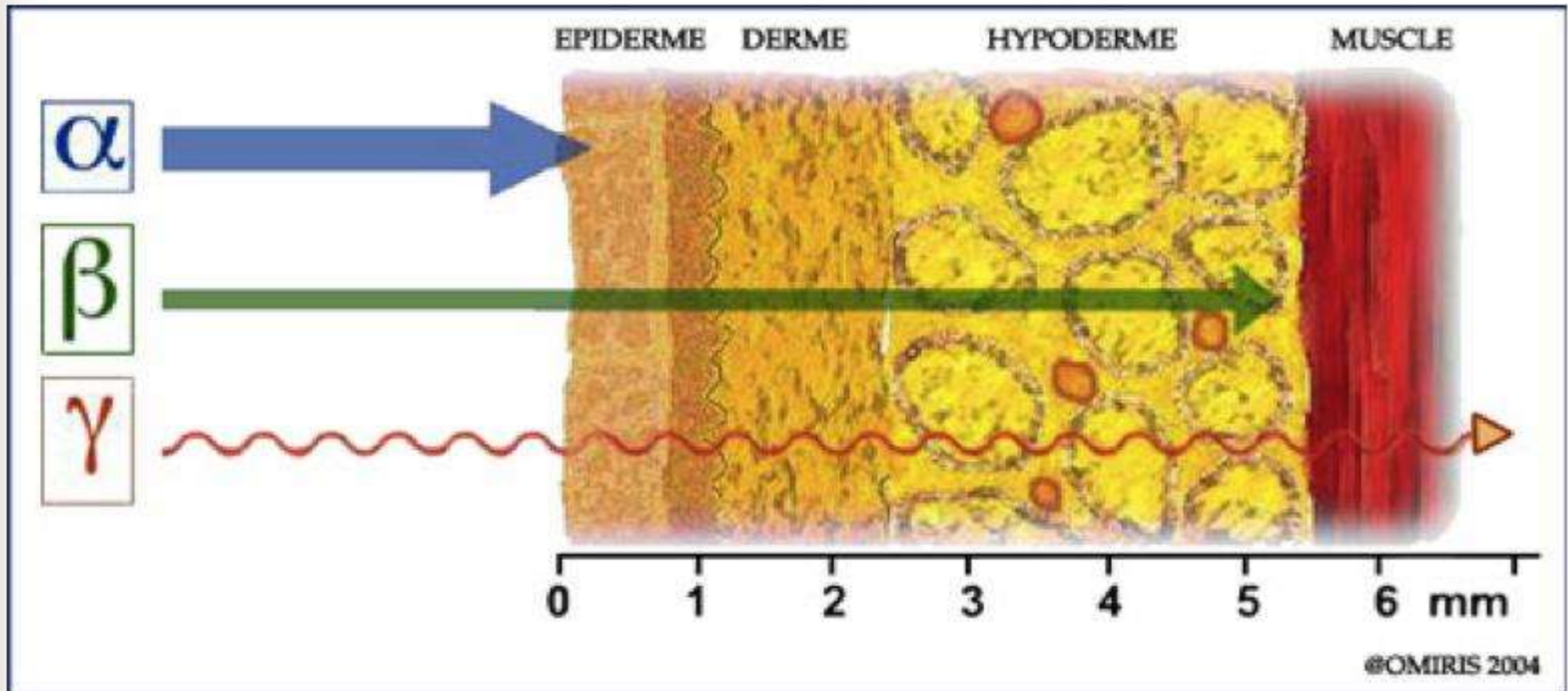
Lois de
conservations
vérifiées



Type de radioactivité	particule émise	Équation de réaction du type
alpha α	noyau d'hélium (particule alpha α)	${}^A_Z X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y^* + {}^4_2 \text{He}$
bêta + β^+	positon (ou positron) ${}^0_1 e^+$	${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z-1} Y^* + {}^0_1 e^+$
bêta - β^-	électron ${}^0_{-1} e^-$	${}^A_Z X \longrightarrow {}^A_{Z+1} Y^* + {}^0_{-1} e^-$

gamma γ	rayon gamma γ	${}^A_Z Y^* \longrightarrow {}^A_Z Y + \gamma$
----------------	----------------------	--

- Type de rayonnement radioactif et le pouvoir de pénétration dans la peau:



Le pouvoir de pénétration des rayonnements

α

Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour l'arrêter.

alpha

Pénétration faible. Parcourt quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut l'arrêter.

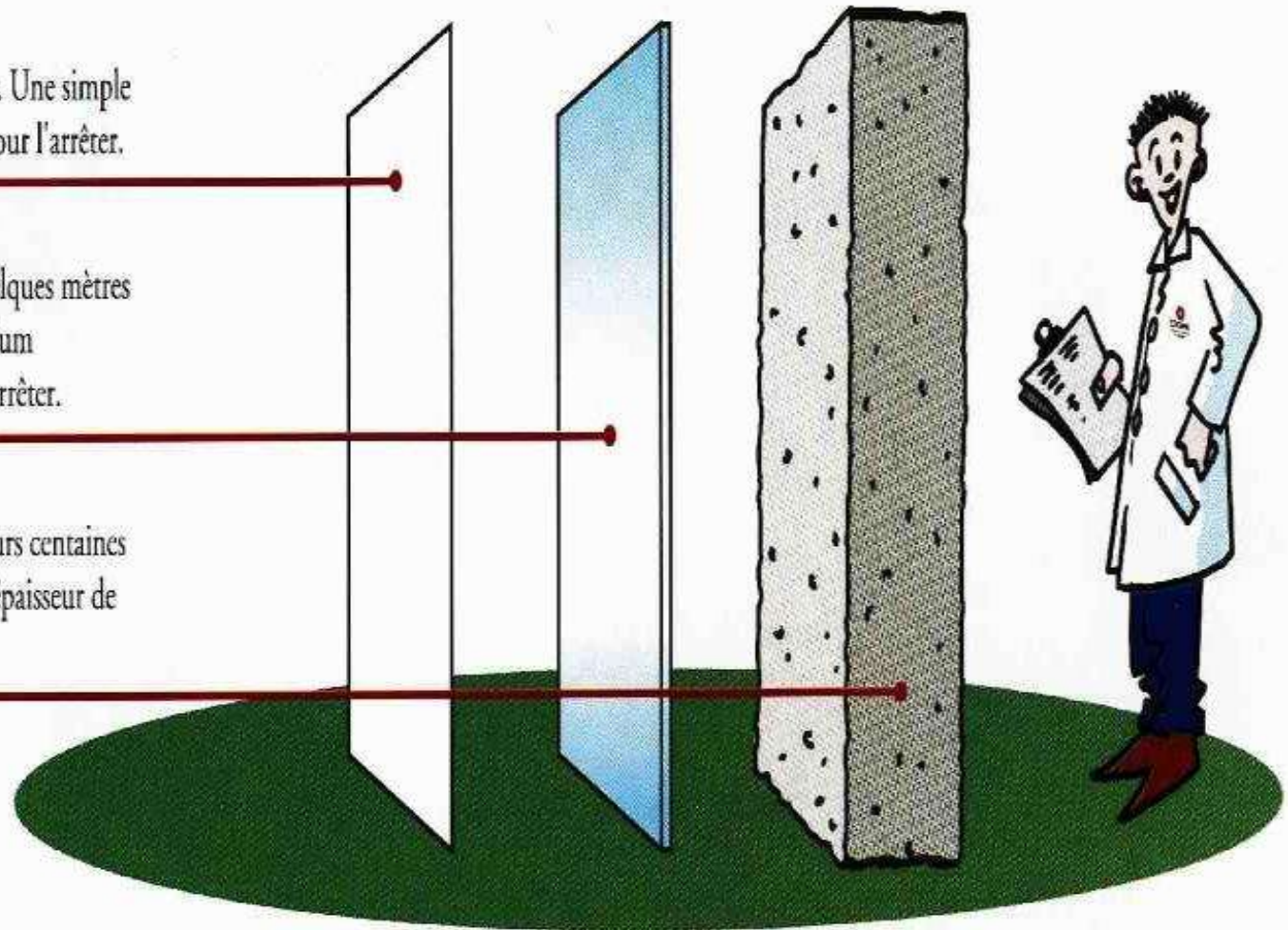
β

bêta

Pénétration très grande : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb l'arrête.

γ

gamma



Les trois types de rayonnements radioactifs

Rayons peu pénétrants
Rayons alpha

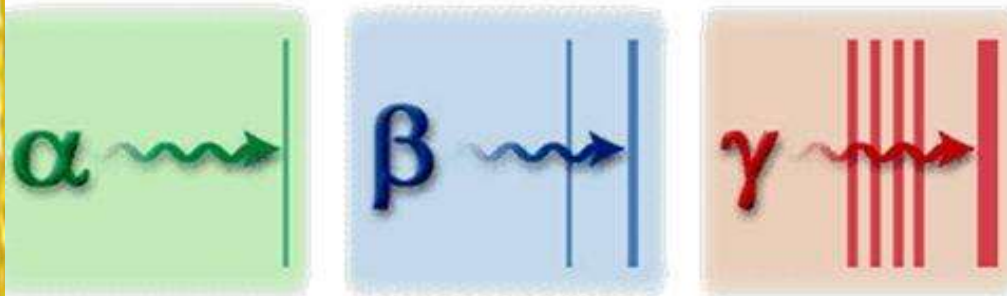
Emission d'un noyau d'He
Portée dans l'air = 2,5 à 8,5 cm
Arrêtés par une feuille de papier
Ou la surface externe de la peau

Rayons un peu plus pénétrants
Rayons beta

Emission d'un électron
Portée dans l'air = quelques m
Traverse la couche supérieure
De la peau
Arrêtés par une feuille de Al ou
une vitre

Rayons très pénétrants
Rayons gamma

Nature électromagnétique
Arrêtés seulement par de
Grandes épaisseurs de matériaux
(béton, plomb...)



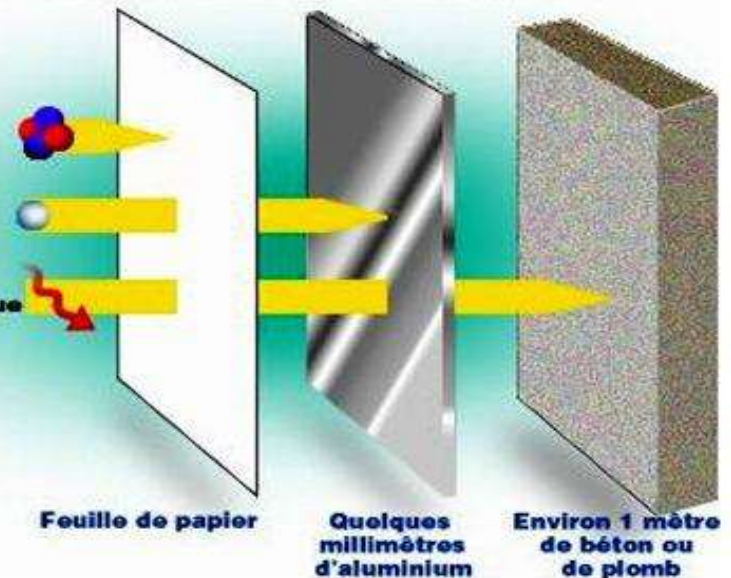
Les rayonnements alpha et beta sont déviés
par des courants électriques ou magnétiques,
Contrairement aux rayons gamma

Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements

Noyau d'Hélium
= émission α

Electron
= émission β

Rayonnement
électromagnétique
= émission γ



IMAGERIE MEDICALE

C'est quoi une image médicale?

Une image médicale est une **représentation visuelle** d'une partie du corps humain obtenue à l'aide de techniques physiques «les principes fondamentaux de l'interaction matières vivantes et rayonnements ou autres» (rayons X, ultrasons, champs magnétiques, etc.).

Elle permet de **visualiser les structures internes**, de **détecter des anomalies**, de **suivre l'évolution** d'une pathologie ou encore de **guider un geste médical**.

Principes fondamentaux des interactions rayonnements–matière vivante

Rayonnements non ionisants :

- Effet thermique : élévation locale de la température.
- Pas d'ionisation : effets réversibles.
- **Applications** : IRM, échographie, laser.

Rayonnements ionisants :

- Ionisation directe ou indirecte des cellules.
- Effets : altération de l'ADN, apoptose, mutations.
- **Applications** : radiographie, scanner, radiothérapie.

Applications Cliniques des Rayonnements en Imagerie Médicale

1) Rayonnements non ionisants (effets réversibles, sans ionisation)

Modalité	Application clinique	Exemple
IRM	Imagerie des tissus mous	Détection de lésions cérébrales, hernies discales
Échographie	Imagerie temps réel	Suivi de grossesse, diagnostic cardiaque (échocardiographie)
Laser médical	Chirurgie non invasive	Traitement des varices, chirurgie ophtalmologique

Rayonnements ionisants (effets potentiellement biologiques)

Modalité	Application clinique	Exemple
Radiographie	Exploration osseuse, pulmonaire	Fractures, infections pulmonaires
Scanner (CT)	Imagerie en coupe, bilan traumatologique	Hémorragie intracrânienne, tumeurs abdominales
Scintigraphie	Exploration fonctionnelle (isotopes)	Étude de perfusion myocardique, détection de métastases
TEP (PET Scan)	Métabolisme cellulaire (cancer)	Localisation de tumeurs, récives cancéreuses
Radiothérapie	Traitement ciblé de cancers	Prostate, sein, cerveau, etc.

Caractéristiques principales d'une image médicale

Une **image médicale** est une représentation visuelle de l'intérieur du corps humain obtenue grâce à une technique d'imagerie. Elle permet d'analyser la morphologie ou le fonctionnement d'organes, de tissus ou de structures internes à des fins **diagnostiques, thérapeutiques** ou **de suivi**.

Numérisation : pixels & voxels

- **Pixels** : éléments de base d'une image 2D, avec une valeur de gris (ou couleur).
- **Voxels** : extension des pixels à la dimension 3D, utilisés notamment en CT ou IRM.

Caractéristique

Définition

Résolution spatiale	Capacité à distinguer deux points proches — plus elle est élevée, plus l'image est précise.
Contraste	Différence de luminosité entre différentes structures — essentiel pour visualiser les tissus.
Résolution temporelle	Capacité à suivre les variations rapides dans le temps (utile en échographie ou IRM fonctionnelle).
Rapport signal/bruit	Qualité de l'image en présence de bruit (artéfacts, interférences, etc.).
Mode d'acquisition	Statique (ex : radiographie) ou dynamique (ex : échographie temps réel).
Type de rayonnement	Ionisant (rayons X, gamma) ou non ionisant (ultrasons, radiofréquences).

Comment obtient-on une image médicale numérique ?

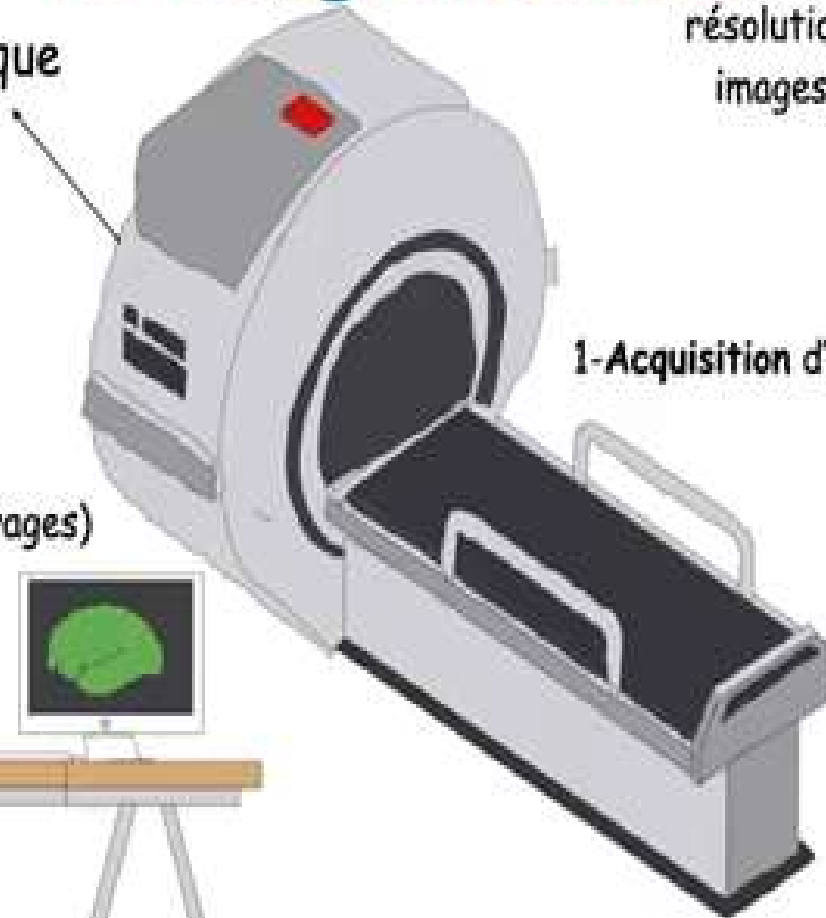
Une **image médicale numérique** est produite en plusieurs étapes :

- 1. Acquisition du signal physique** (ondes, rayons, champs).
- 2. Conversion en signal électrique** (capteurs, bobines, transducteurs).
- 3. Numérisation** (ADC = convertisseur analogique-numérique).
- 4. Traitement informatique** pour reconstruction et affichage.

Introduction à l'imagerie médicale et caractéristiques de l'image médicale

Numérisation, pixels, voxels, résolution spatiale, bruit, contraste, images en coupe et en projection

Signal physique



1-Acquisition d'un signal physique

2- optimisation de ce signal(filtrages)



3.Sa mise en forme pour faciliter son utilisation médicale(Reconstruction)

4. Et enfin son analyse(extraction d'éléments diagnostiques).

Imagerie médicale=

Signal physique:

IRM: Se base sur les propriétés magnétiques d'un atome



Scanner: Rayons X



Signal physique

Pénétration dans les tissus

Echo: Ultrasons



Moyens

Radiographie: Rayons X



Diagnostic

Image



Reconstruction et amélioration de la qualité de l'image

Concepts:



Image=la mesure localisée d'un signal physique d'un objet dans l'espace généralement en 2 dimensions ou en 3 dimensions.

Champ de vue(field of view)= Partie de l'espace explorée

Concepts: Représentation de l'information

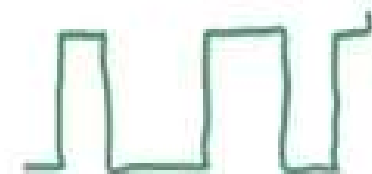
Stockage, analyse et reproduction de l'information



Numérique

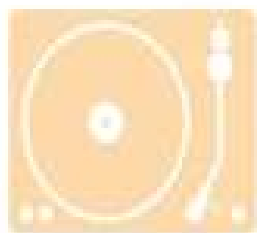
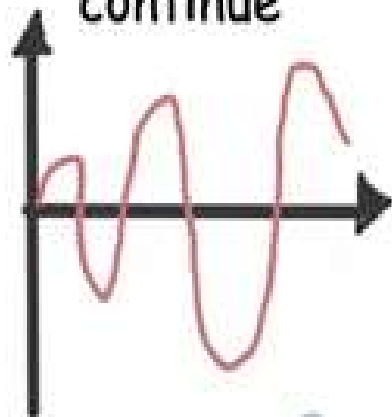
Prend des valeurs précises (0,1)

01001101



Analogique

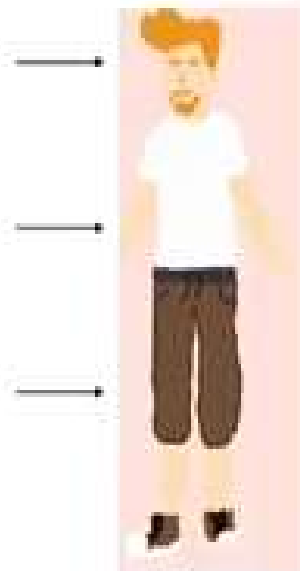
Quantité physique continue



Avant: Depuis formation jusqu'à l'affichage => Analogique

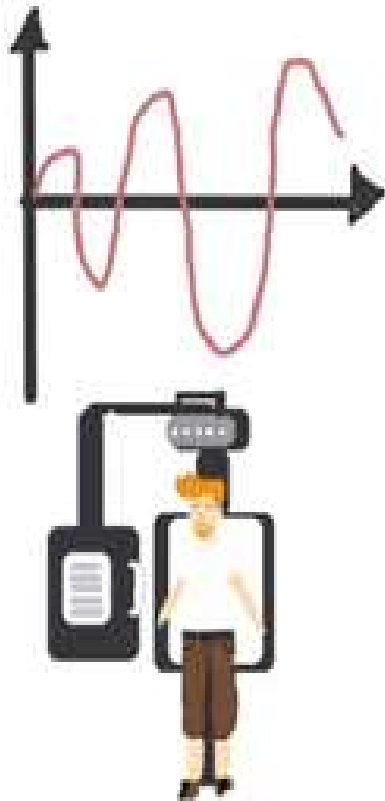
Atténuation

Rayons X

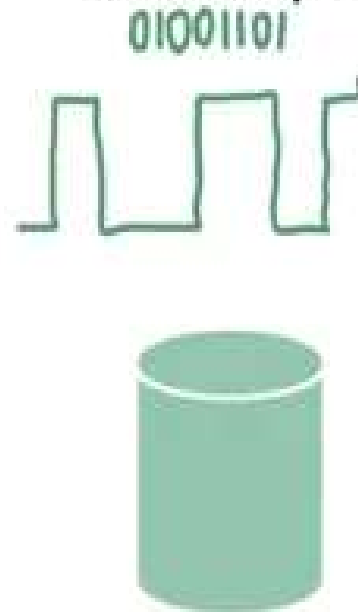


Concepts: Représentation de l'information

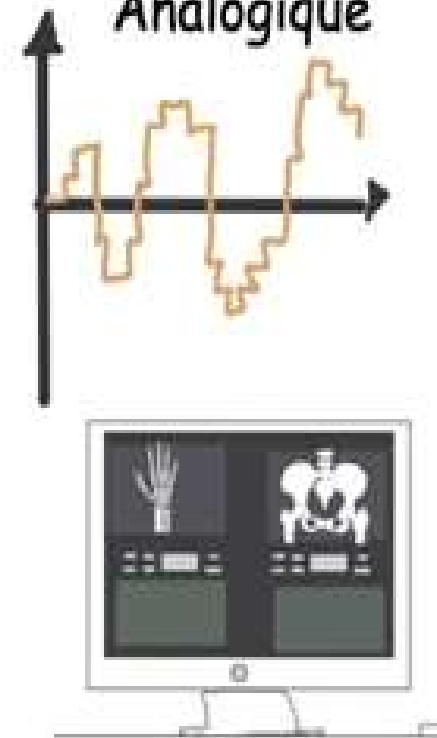
Détection:
Analogique



Traitement et
stockage=>
Numérique



Affichage de
l'image=>
Analogique



Concepts: Pixels et voxels



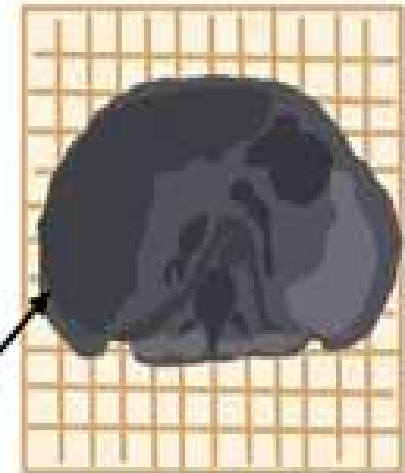
Coupe anatomique



Voxels



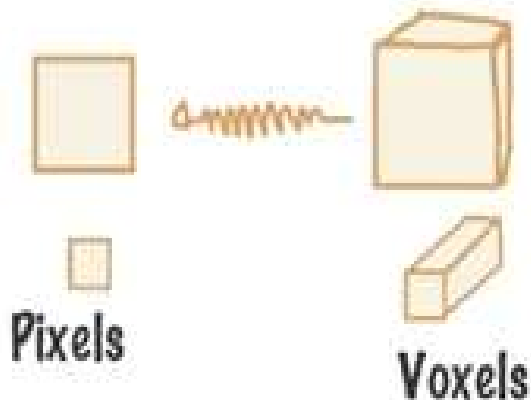
Visualisation (display)



30

Matrice faite de : Pixels

matrice grande -> pixel petit ->
meilleure visualisation des détails



Sur l'image numérique
en 2D: Voxel est
représenté par le
pixel

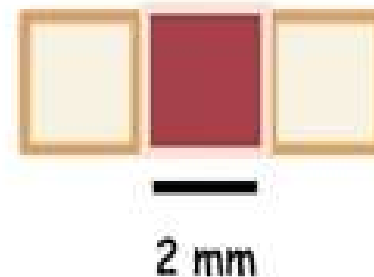
Numérisation & formats

- La plupart des images médicales sont au **format DICOM** (Digital Imaging and Communications in Medicine) :
 - Intègre image + données patient + paramètres d'acquisition.
 - Compatible avec les systèmes PACS (stockage hospitalier).
- Images exportables en JPEG, PNG, etc. pour usage pédagogique.

Caractéristiques d'une image médicale:

1-Résolution spatiale: capacité à distinguer des structures fines et les détails de l'image

On ne peut distinguer les 2 pixel que s'il sont séparés par le pixel rouge



Résolution spatiale: 0,5mm-1

Dépend de : la taille des pixels, et la qualité de l'appareil d'imagerie

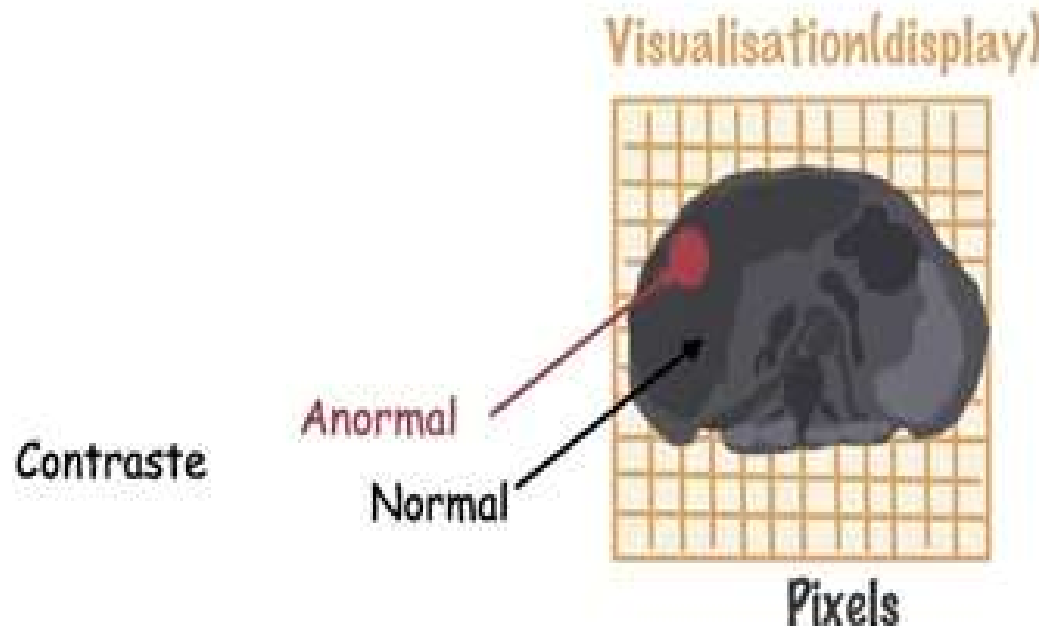
2-Bruit:Phénomène aléatoire qui se surajoute à l'image idéale et qui pourra induire une détérioration de la résolution spatiale

$$\text{Rapport signal-sur-bruit(RSB)} = \frac{S}{\sigma}$$

intensité du signal
Écart type du
phénomène aléatoire

Caractéristiques d'une image médicale:

3-**Contraste**: Qualité qui permet de faire la différence entre le signal anormal d'une lésion au sein d'un organe normal permettant alors de poser un diagnostic



$$C = \frac{|S1 - S2|}{S1 + S2}$$

$$RCB = C = \frac{|S1 - S2|}{\sigma}$$

S1 le signal de la lésion et
S2 le signal de fond(de
l'organe normal)

Dimensions, présentation et orientation de l'image :

1-Dimensions: image en projection 2D (radiographie...)ou en coupe 2
D(échographie)

En 3D (ex TDM ou scanner, IRM....)

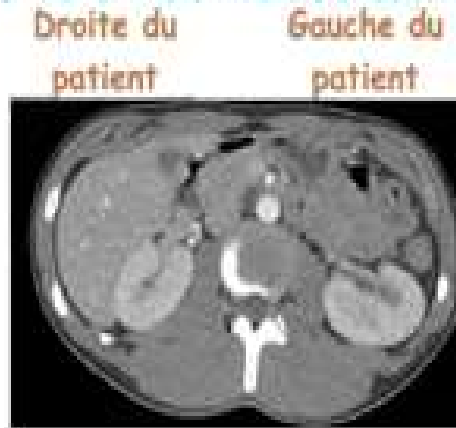
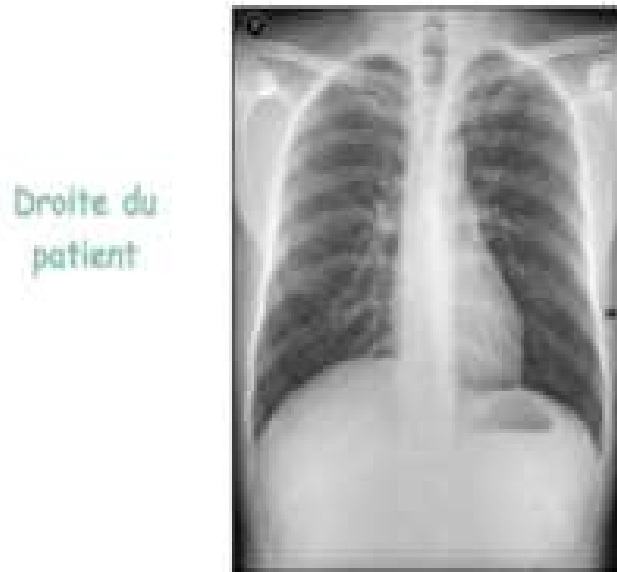
En 2 D



En 3 D

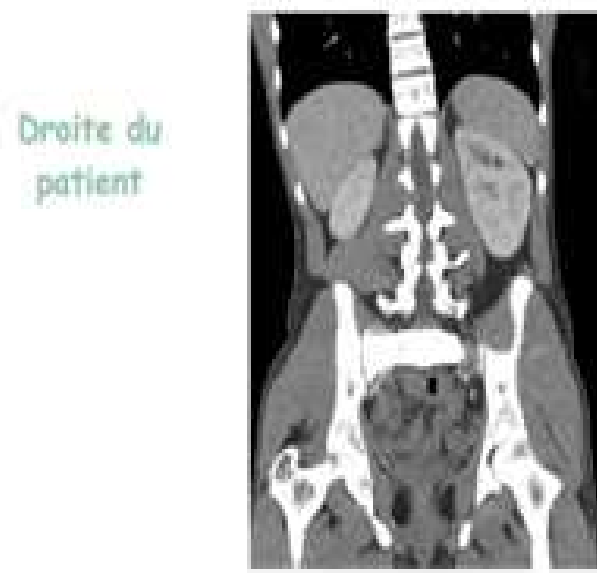


Dimensions, présentation et orientation de l'image :



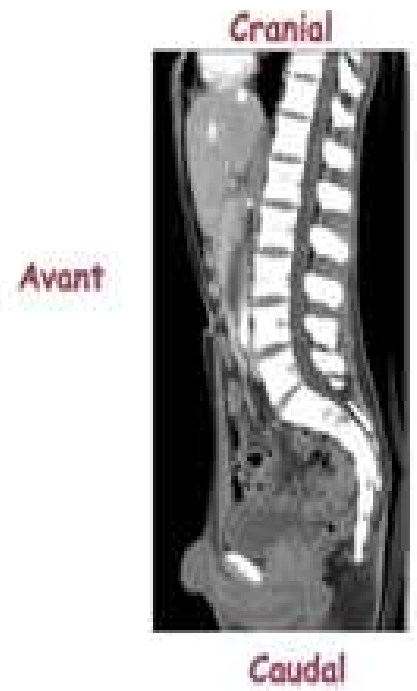
Droite du patient

Gauche du patient



Droite du patient

Gauche du patient



Par modalité :

Radiographie / Scanner (CT)

- **Source** : Rayons X (ionisants).
- **Principe** : Atténuation des rayons selon la densité traversée.
- **Capteur** : Détecteur plan (matrice de pixels).
- **Résultat** : Image 2D ou coupe (CT), numérique (DICOM).
- **Reconstruction** : Par rétroprojection filtrée (scanner).

□ 1. Radiographie (Rayons X)

📷 **Image type** : Image en **niveaux de gris**

🦴 **Exemple** : Radiographie du thorax → côtes, poumons, cœur

✅ **Avantage** : Rapide, peu coûteuse, très utilisée en urgence.

🧠 2. Scanner (CT)

📷 **Image type** : **Coupes axiales** en niveaux de gris haute résolution.

🧠 **Exemple** : Scanner cérébral → détection d'hémorragie, AVC.

✅ **Avantage** : Très bon contraste pour les structures osseuses, les organes internes.


Échographie

- **Source** : Ultrasons (ondes acoustiques non ionisantes).
- **Principe** : Réflexion des ondes sur les tissus.
- **Capteur** : Sonde à cristaux piézoélectriques.
- **Résultat** : Image temps réel (en niveaux de gris), numérique.
- **Spécificité** : Doppler (flux sanguin), 3D/4D.

3. Échographie

 **Image type** : Image temps réel en niveaux de gris (B-mode).

 **Exemple** : Échographie obstétrique → visualisation du fœtus.

 **Avantage** : Non ionisant, portable, bon pour les tissus mous superficiels.

IRM (Imagerie par Résonance Magnétique)

- **Source** : Champs magnétiques et ondes radio.
- **Principe** : Résonance des protons H⁺ soumis à un champ magnétique.
- **Capteur** : Antennes (bobines de réception).
- **Résultat** : Image multiplanaire (T1, T2, etc.), numérique.
- **Reconstruction** : FFT (transformée de Fourier rapide).

4. IRM (Imagerie par Résonance Magnétique)

 **Image type** : Image multiplanaire (axiale, sagittale, coronale).

 **Exemple** : IRM cérébrale T2 → tumeur, œdème.

 **Avantage** : Excellente résolution des tissus mous, pas de rayons X.

Médecine nucléaire (scintigraphie, TEP)

- **Source** : Émissions gamma d'un traceur radioactif injecté.
- **Principe** : Capture des photons gamma par gamma-caméra.
- **Résultat** : Image fonctionnelle (activité biologique), numérique.
- **Formats** : DICOM, fusion avec scanner (TEP/CT).



5. Scintigraphie / TEP-Scan



Image type : Image fonctionnelle (activité métabolique).



Exemple : Scintigraphie osseuse → métastases osseuses.

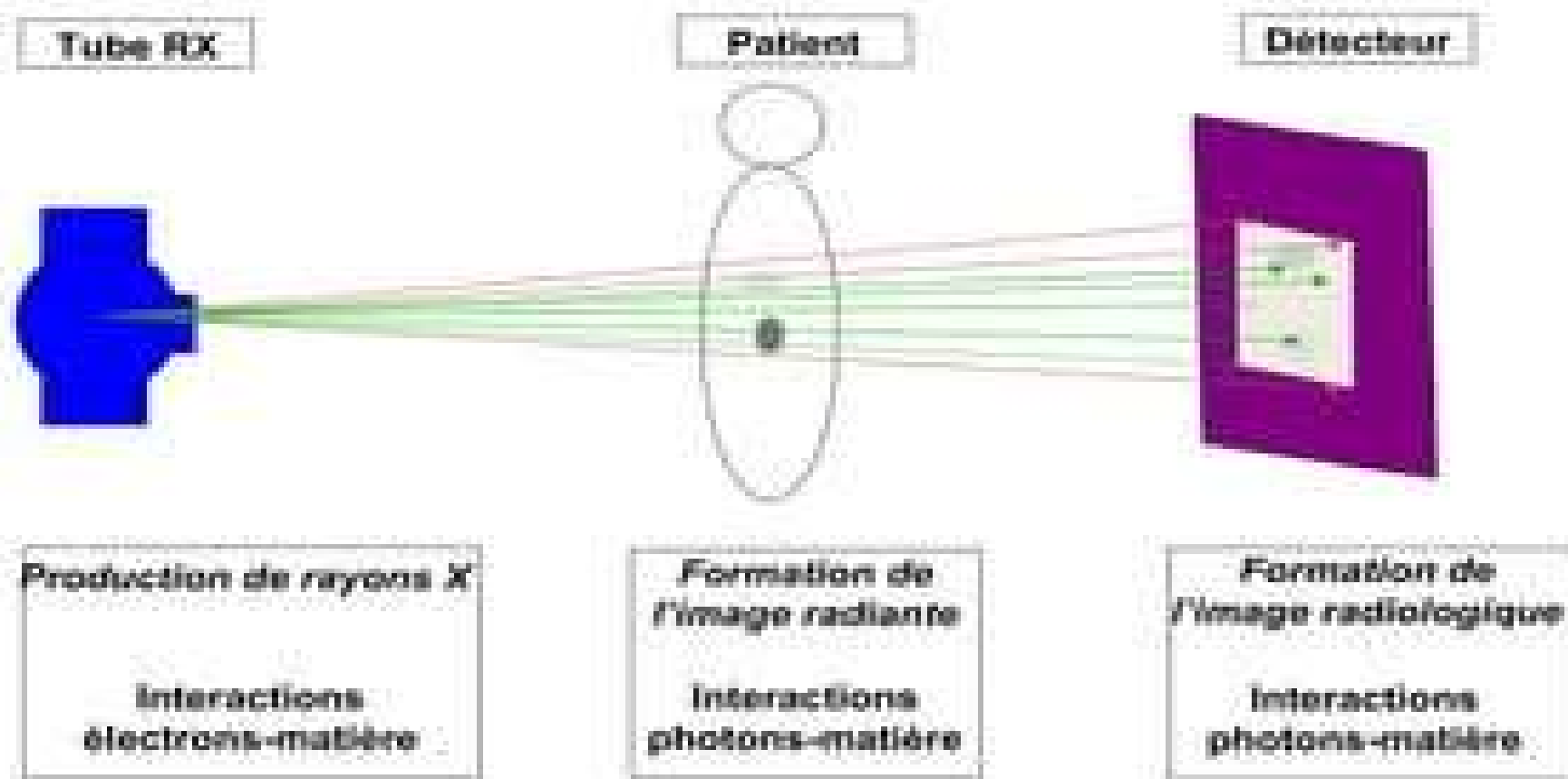


Exemple TEP : TEP au 18-FDG → foyers de cancers métaboliquement actifs.



Avantage : Permet de visualiser l'activité biologique plutôt que l'anatomie seule.

Phénomènes physique de base



II. CONTRASTE RADIOLOGIQUE :

1. Définition :

- Biophysique : Variation relative de l'intensité de la lumière d'un point à l'autre de l'image.

$$C = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

- Radiologique : Différence d'opacité entre deux points voisins sur l'image.

4 densités radiologiques

BLANC : absorption importante

OSSEUSE

Très opaque

HYDRIQUE

Opaque

GRAISSEUSE

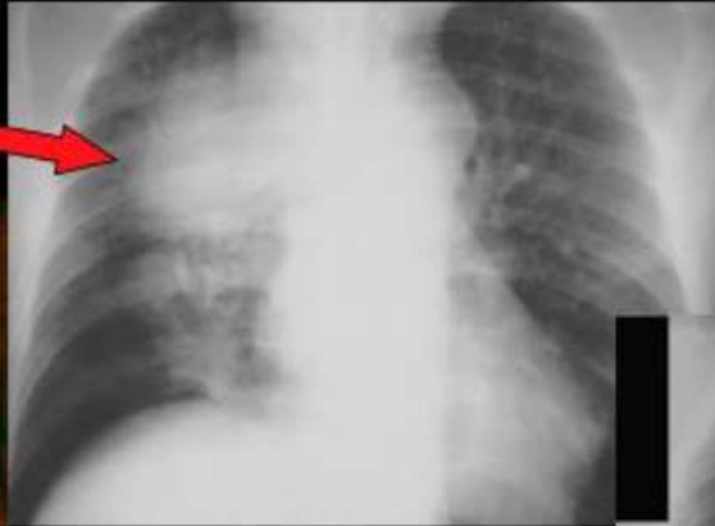
Peu opaque

AERIQUE

Clair

Noir : absorption quasi nulle

opacité



hyperclarté

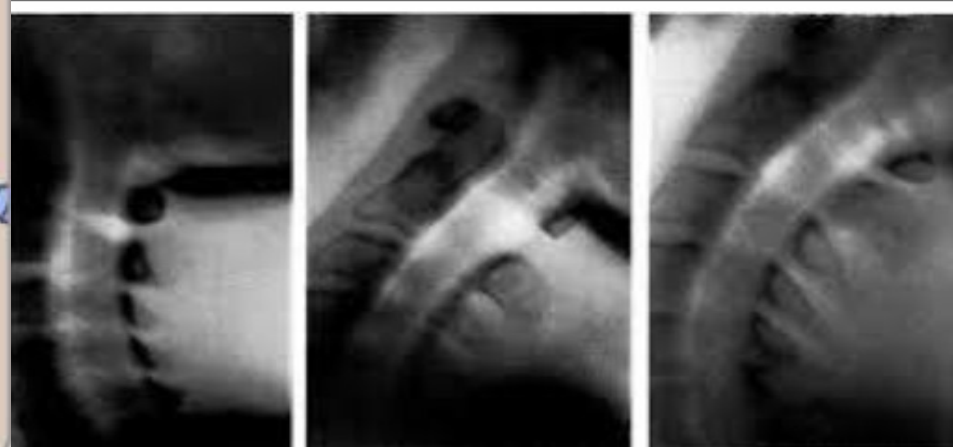
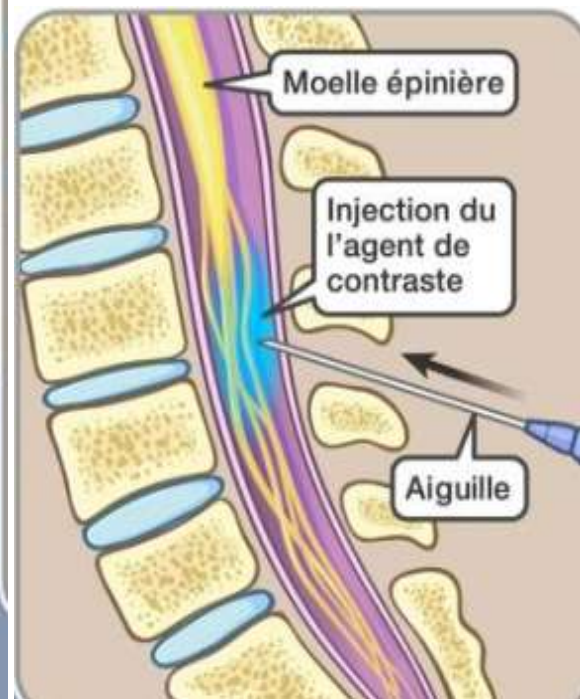


opacités et hyperclartés parenchymateuses
pulmonaires

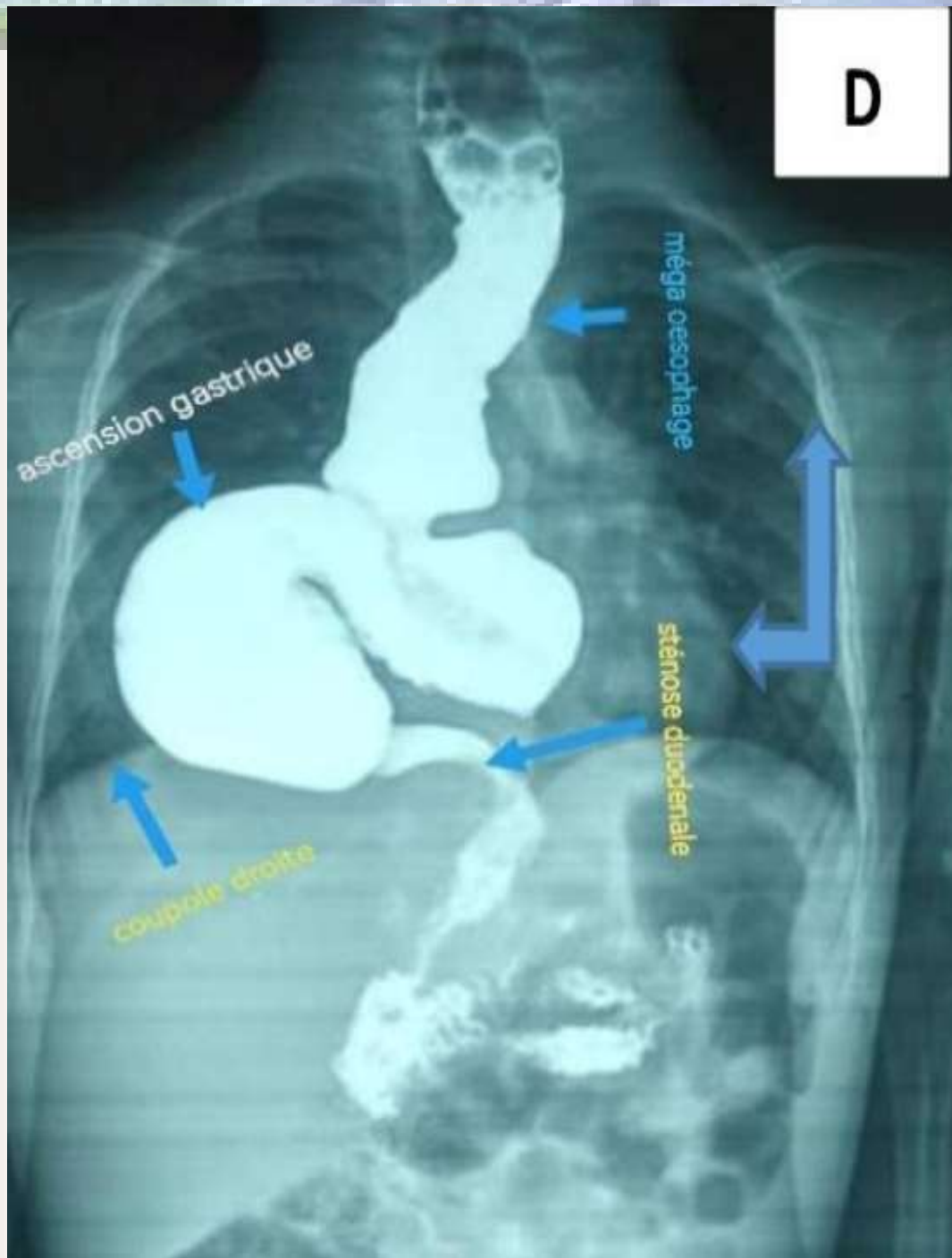
- A l'exception de l'os constitué de calcium de $Z = 20$, la plupart des constituants anatomiques de l'organisme sont faits d'éléments de numéros atomiques voisins : $H = 1$; $C = 6$; $N = 7$; $O = 8$
- Le **contraste** obtenu dépendra donc essentiellement de la **différence de densité et d'épaisseur** des différents tissus et organes traversés.

- Les principales masses volumiques en g/cm³ sont en moyenne :
 - ✓ Tissus mous et eau 1
 - ✓ Tissus graisseux 0,8
 - ✓ Tissus musculaires 1,3
 - ✓ Tissus osseux 1,8
 - ✓ Tissus pulmonaires 0,3
- Lorsque les différences de masses volumiques sont trop faibles, on est amené à utiliser des **produits de contraste** qui seront :
 - ✓ Soit des substances très peu absorbantes comme **l'air** ou le **CO₂**.

Exemple de la **myélographie** où l'on injecte de l'air dans **le canal rachidien**.



- ✓ Soit surtout des substances très absorbantes de numéro atomique élevé :
- **Le baryum ($Z = 56$)** sous forme de baryte BaSO_4 , sel insoluble utilisé pour mettre en évidence ***l'appareil digestif***.
 - **L'iode ($Z = 53$)** sous forme organique permet de mettre en évidence ***l'appareil circulatoire et les reins***.



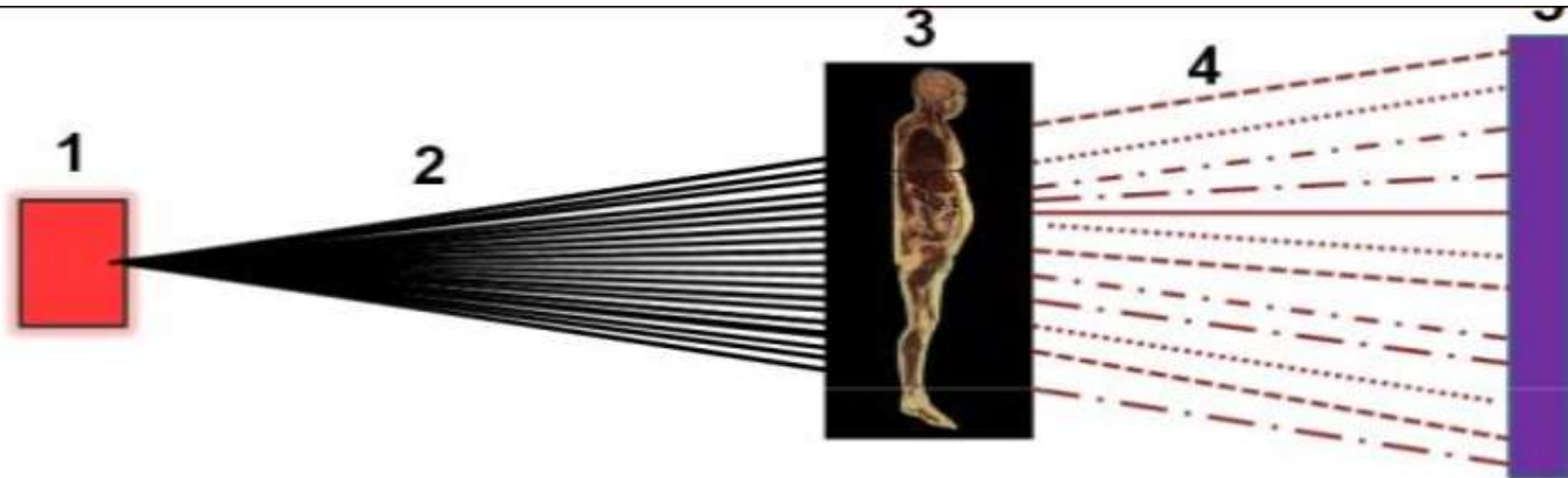
Artériographie Des Membres Inférieurs

Radiologie Interventionnelle



2. Caractéristiques de l'image radiante :

- **Définition de l'image radiante** : image potentielle, portée par le rayonnement transmis par le patient ; elle présente plusieurs caractéristiques
C'est **une image invisible** puisqu'elle est constituée de R.X de la **longueur d'onde** inférieure à la **sensibilité de l'œil (400 à 800 nm)**.

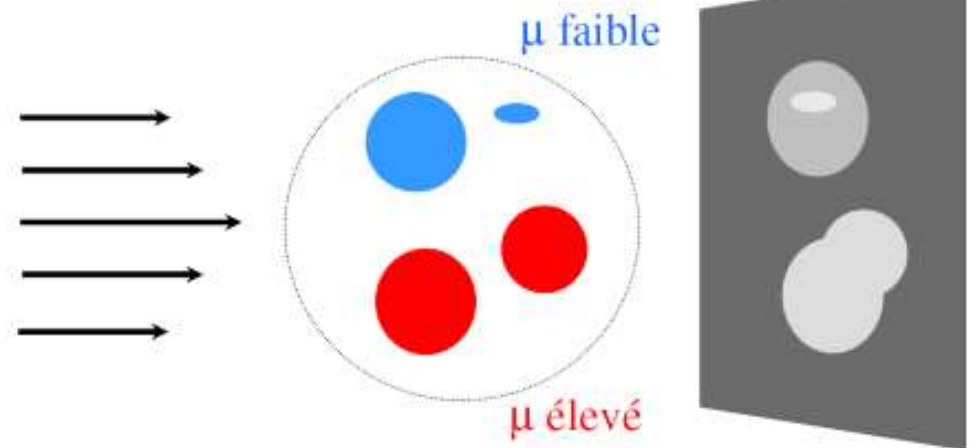


- 1- Tube de Coolidge produit un faisceau de RX
- 2- Faisceau incident et homogène de RX
- 3- Patient atténuant le faisceau de RX
- 4- Faisceau sortant (transmis) de RX hétérogène: image radiante
- 5- Appareil de détection reçoit le faisceau transmis

- **Caractéristiques de l'image radiante :**

- ***L'image radiante est une sommation d'ombres portées :***

- ✓ Les structures anatomiques donnent des images qui se superposent les unes aux autres [**Représentation plane (2D)** d'un objet qui est un **volume (3D)**].



- ✓ Pour pallier cet inconvénient, on a deux solutions :

- ✦ Multiplier les incidences.
- ✦ Réaliser des tomographies.



MODALITES DE L'IMAGERIE MEDICALE

La radiographie

A) Le principe

La radiographie est un examen basé sur l'**absorption différentielle des rayons X** selon la nature des tissus traversés.

Le patient est placé entre une source émettrice de rayons X et un film photographique. Après émission de rayons X vers la région à explorer, le flux résiduel sortant (non absorbé) de rayons X impressionne un film photographique (récepteur). L'image obtenue est appelée **cliché** ou négatif.

Dans le cas de la radiographie numérique, l'image est enregistrée sur un **support informatique puis convertie en image numérique.**

Les **tissus radio-opaques absorbent les rayons X** (tissus de forte densité, comme les os ou les dents). Le flux résiduel sortant est donc nul, le film n'est pas impressionné par les rayons X et les zones apparaissent **blanches**.

Ce sont des zones d'**opacité**.

Les **tissus radiotransparents se laissent traverser par les rayons X** (tissus de faible densité, comme les poumons, la vessie, les muscles). Le flux sortant de rayons X est donc égal au flux entrant, le film est impressionné et les zones apparaissent **noires ou sombres**.

Ce sont des zones de **clarté**.

À savoir

L'atténuation du faisceau de rayons X par un organe est d'autant plus importante que le tissu est épais et dense. On obtient donc un cliché du corps avec des zones présentant différents niveaux de gris selon la proportion de rayons X arrêtés.

Remarque

Afin de pouvoir examiner **les organes remplis de liquide ou d'air**, on administre au patient un **produit de contraste** (***iode, baryum***) qui se dépose sur les parois de l'organe à observer et le rend opaque aux rayons X.

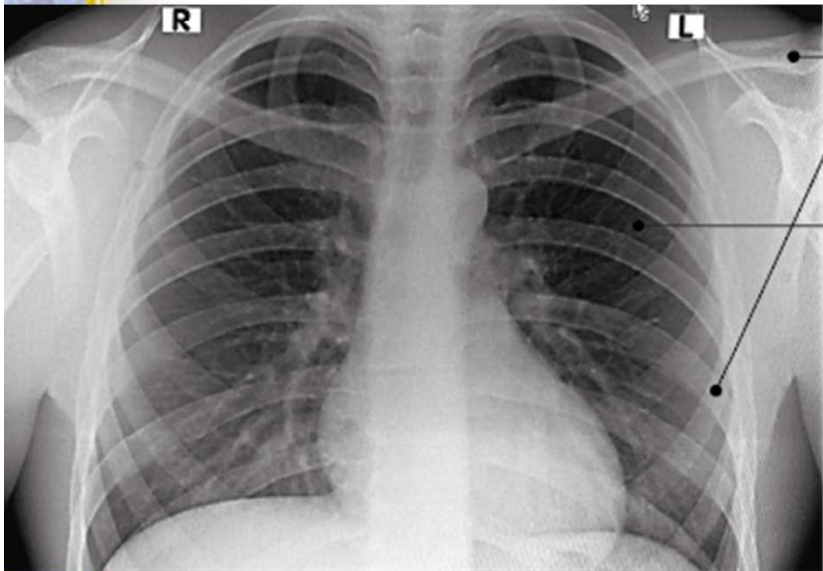
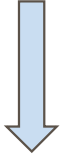
Tableau récapitulatif du principe de la radiographie

	Tissus denses	Tissus mous
Absorption des rayons X	Oui	Non
Impression de la plaque photo	Non	Oui
Coloration de la zone	Blanche	Noire
Nom de la zone	Opacité	Clarté

Le principe de la radiologie



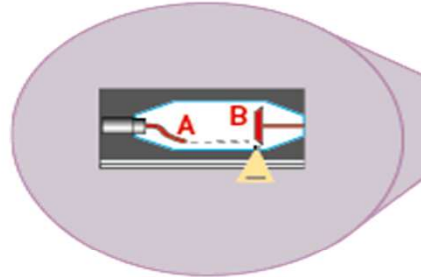
Radiographie de la cage thoracique



Opacité (clavicule, côte)

Clarté (poumon)

Tube émetteur de rayons X



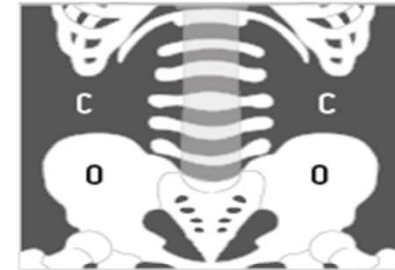
Absorption différentielle par les organes. Faible ou forte

Source de rayons X

Faisceau de rayons X

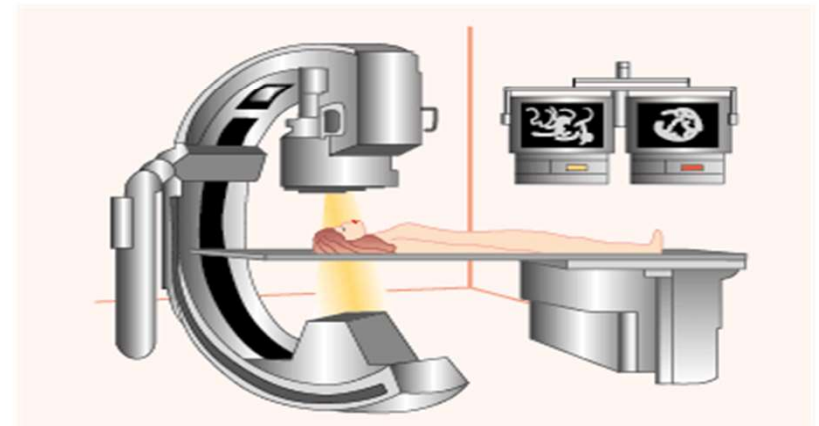


Cassette contenant le film radiographique



Lecture de la radiographie

C : Clarté due à une forte intensité de rayons X sortants
O : Opacité due à une faible intensité de rayons X sortants



B) Les intérêts diagnostiques

La radiographie est un examen **simple, rapide, indolore** et relativement **peu coûteux**. Cet examen est utilisé pour observer et **détecter des anomalies au niveau de nombreux organes** (tumeur pulmonaire, kyste du sein, sténose d'un vaisseau sanguin...).

Dans le cadre de l'exploration du squelette, la radiographie permet de **rechercher des anomalies osseuses** (fractures, déviation du rachis...) ou **articulaires** (arthrose, luxation...), **d'assurer un suivi** des réparations osseuses ou le **contrôle d'une chirurgie orthopédique** (en cas de pose de prothèse articulaire, par exemple).

C) Les inconvénients

De fortes doses de rayons X sont **néfastes** pour l'organisme et peuvent provoquer des **altérations de l'ADN**.

Ces examens ne peuvent donc pas être répétés trop souvent, et les organes radiosensibles (ovaires, testicules) doivent être protégés.

Le personnel médical est également protégé par une vitre plombée qui bloque le passage des rayons X.

Ils sont **contre-indiqués** chez la femme enceinte en raison du risque de malformations chez l'enfant à naître.

L'examen est **invasif** en cas d'utilisation de produits de contraste.

Enfin, certains produits de contraste, comme l'iode, peuvent provoquer des **allergies**.

La tomodensitométrie (TDM)

A) Le principe

Cette technique est basée, comme la radiologie conventionnelle, sur l'**absorption différentielle des rayons X** selon la nature des tissus traversés. La différence réside dans l'exploration de l'organisme en **différentes coupes** grâce à un appareillage particulier et un traitement **informatique** des données recueillies.

Le patient est placé sur une table, dans un appareil mobile en forme d'anneau appelé **tomodensitomètre ou scanner**.

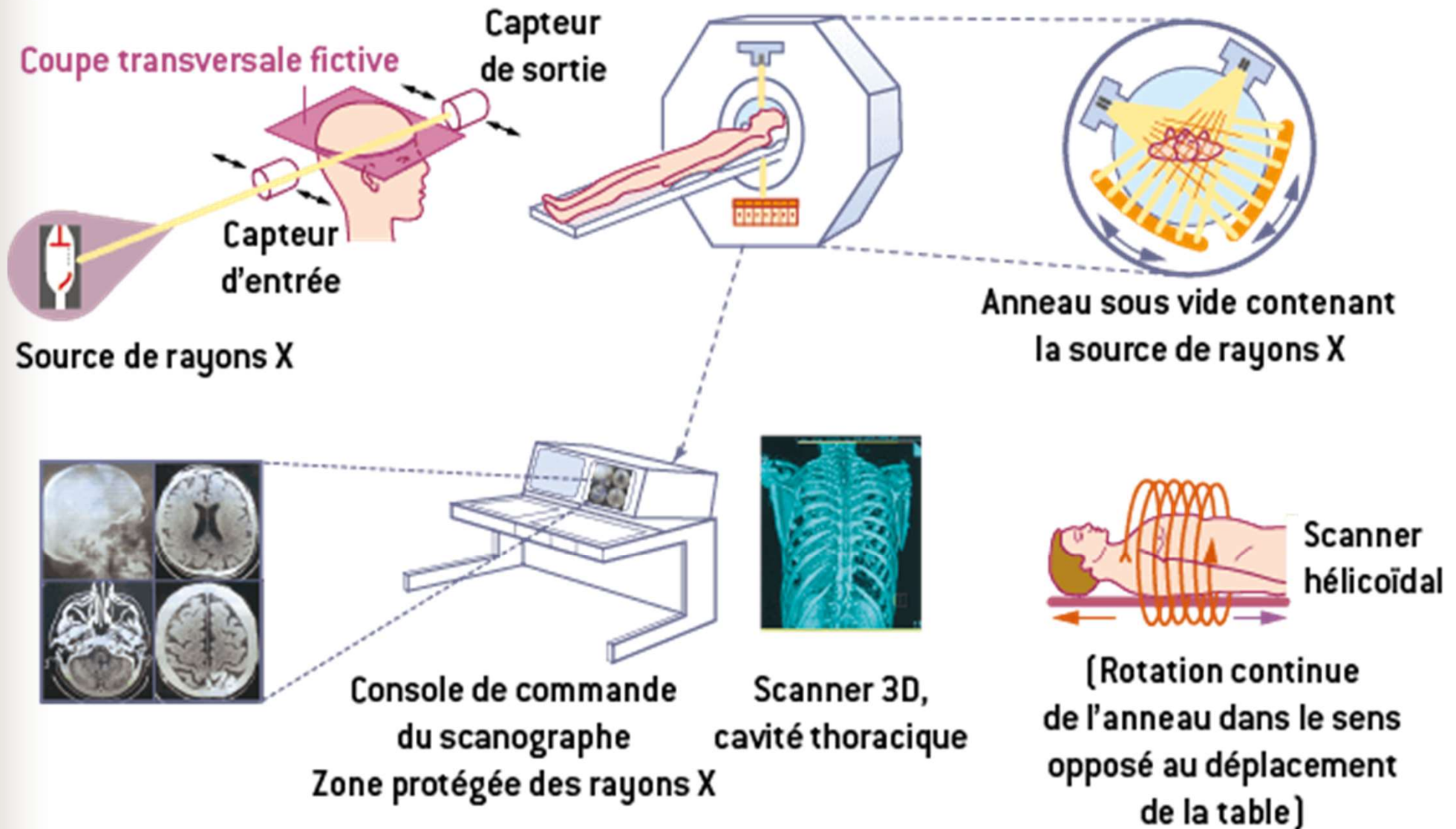
L'émetteur de rayons X placé dans le scanner se déplace le long du patient en tournant autour de lui. Le flux résiduel de rayons X non absorbés est recueilli au fur et à mesure du déplacement par le détecteur, diamétralement opposé dans l'anneau, puis converti en image par l'ordinateur auquel il est relié.

Comme pour la radiographie classique, les différences d'absorption des rayons X par les tissus sont traduites en niveaux de gris (du noir au blanc).

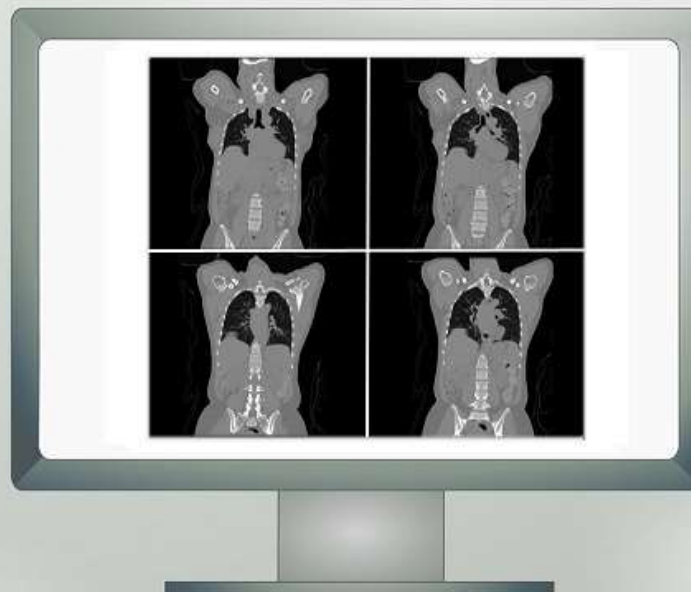
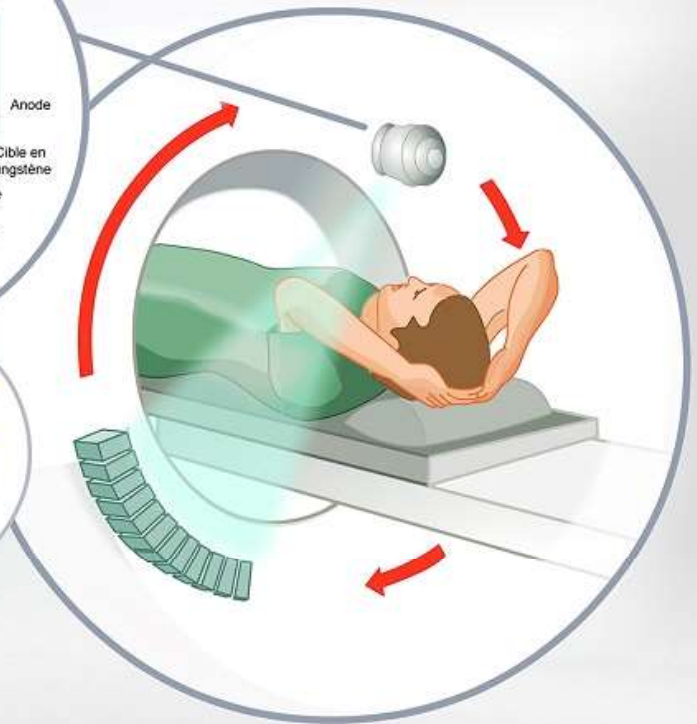
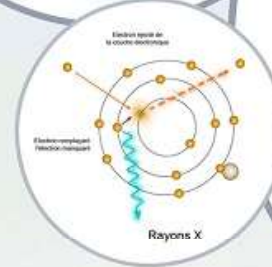
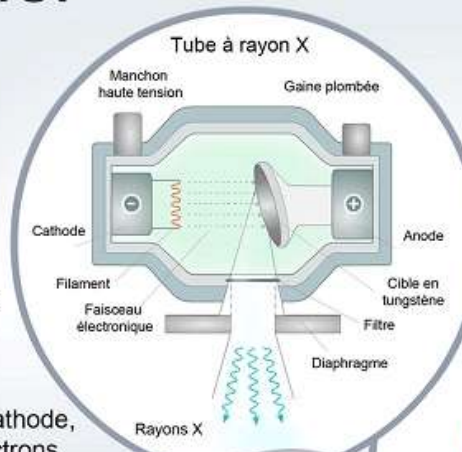
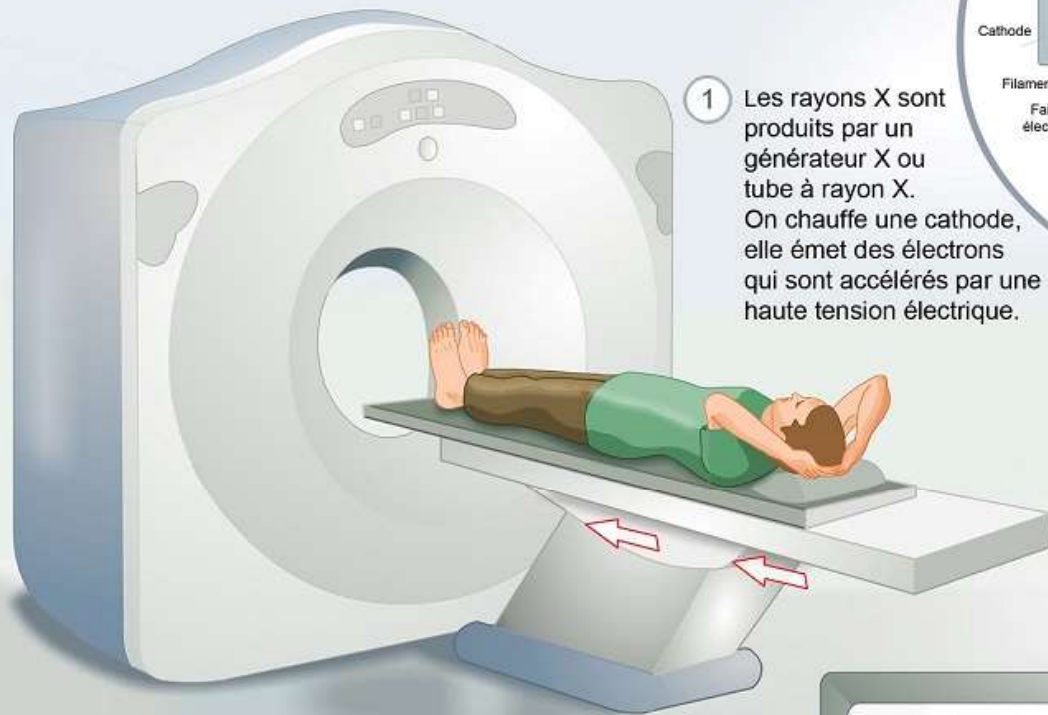
Remarque

Pour améliorer la qualité des images, des produits de contraste (iodés) sont administrés dans la plupart des cas.

Le principe de fonctionnement du scanographe



Le scanner



B) Les intérêts diagnostiques

Cet examen permet d'explorer l'anatomie de la plupart des organes et de repérer d'éventuelles anomalies telles que les kystes, les tumeurs, les infections, les hémorragies...

Il est très utilisé pour le diagnostic et la localisation des atteintes du système nerveux : traumatisme crânien, tumeur cérébrale, accident vasculaire cérébral, lésions de la moelle épinière.

C) Les avantages par rapport à la radiographie classique

L'obtention d'images en coupe permet une reconstitution de l'organe en 3 dimensions : on peut donc distinguer des structures qui seraient superposées sur un cliché classique. La qualité de l'image, d'une grande précision, permet de repérer des anomalies non visibles en radiographie conventionnelle.

Remarque

On retrouve toutefois les inconvénients liés à la nocivité des rayons X (bien que la dose de rayons X soit plus faible) et au caractère invasif et allergisant des produits de contraste s'ils sont utilisés.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

A) Le principe

Cette technique repose sur les propriétés magnétiques des **atomes d'hydrogène**, abondants dans le corps humain. L'appareil, en forme de tunnel dans lequel est allongé le patient, est composé d'un aimant qui émet un **champ magnétique** intense. Les protons H^+ contenus dans l'organisme entrent en résonance et émettent des signaux analysés et convertis en image par un ordinateur.

À savoir

Cet examen, sans danger et indolore, est toutefois contre-indiqué pour les porteurs d'éléments métalliques sensibles aux champs magnétiques, tels que les stimulateurs cardiaques et certaines prothèses métalliques et implants auditifs.

B) Les intérêts diagnostiques

L'IRM fournit des **images anatomiques et fonctionnelles** dans les **3 plans de coupe** ; cette exploration renseigne donc sur d'éventuelles anomalies de fonctionnement d'un organe.

Tous les organes contenant des atomes d'hydrogène peuvent être explorés, et plus particulièrement les organes mous, riches en eau et donc en protons (muscles, cœur, reins, foie...).

Il est très utilisé pour le diagnostic de pathologies en neurologie (tumeurs, accidents vasculaires cérébraux, pathologies neurodégénératives, atteintes médullaires...) et la précision de ses images permet d'éviter des biopsies, par exemple dans le cas des tumeurs cérébrales.

Remarque

Il est possible d'injecter un produit de contraste appelé gadolinium pour améliorer la qualité des images ; celui-ci présente toutefois le risque d'entraîner une réaction allergique.

RADIOTHERAPIE EXTERNE

Le cancer est l'une des principales causes de mortalité dans le monde. En 2020, il a été à l'origine de près de 10 millions de décès, dont plus de 700 000 en Afrique.

Lors de la radiothérapie, les spécialistes tuent les cellules cancéreuses de l'organisme en les exposant à des rayonnements ionisants, tels que les rayons X, les rayons gamma, les électrons de haute énergie ou les particules lourdes.

C'est l'un des traitements anticancéreux les plus utilisés : près de la moitié des patients doivent suivre une radiothérapie à un moment ou à un autre de l'évolution de la maladie.

Comment la radiothérapie agit-elle sur les cellules cancéreuses ?

Le cancer est une maladie qui se caractérise par la croissance et la reproduction incontrôlée de cellules dans une partie du corps, formant des tumeurs qui touchent les tissus et organes environnants et qui se propagent parfois à d'autres parties du corps par voie sanguine ou lymphatique.

Formation des cellules saines et des cellules tumorales



Cellule

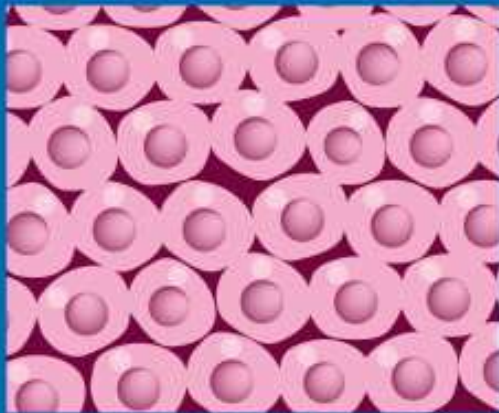


Division cellulaire

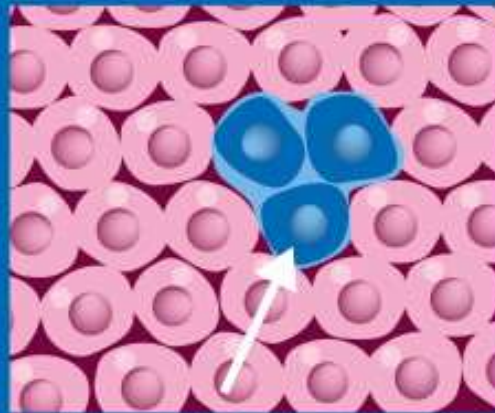


Tissu sain

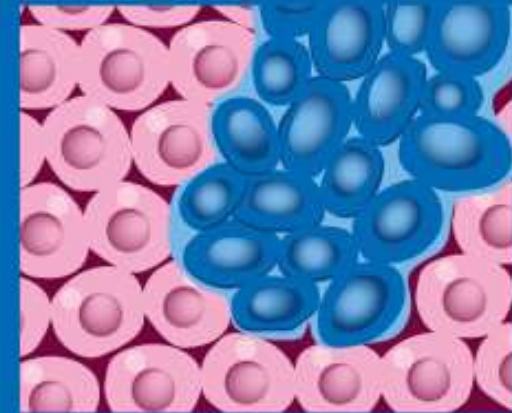
Croissance tumorale



Cellules saines



Division des cellules
cancéreuses



Formation de tumeurs

La radiothérapie consiste à utiliser **des doses de rayonnements ionisants** avec précision pour **endommager l'ADN des cellules cancéreuses**.

C'est l'ADN qui est à la base du processus de division cellulaire.

Les rayonnements réduisent la tumeur et dans certains cas l'éliminent.

Les spécialistes ont recours à la radiothérapie depuis les années 1890 pour traiter presque tous les types de cancer. Elle est utilisée seule ou en combinaison avec d'autres traitements, tels que la chimiothérapie ou la chirurgie, pour guérir les patients ou atténuer les symptômes.

Types de radiothérapie

Selon le type et l'emplacement du cancer, les radio-oncologues utilisent deux types de radiothérapie, qu'ils peuvent combiner : **la radiothérapie externe**, également appelée **téléthérapie**, et **la radiothérapie interne** ou **curiethérapie**.

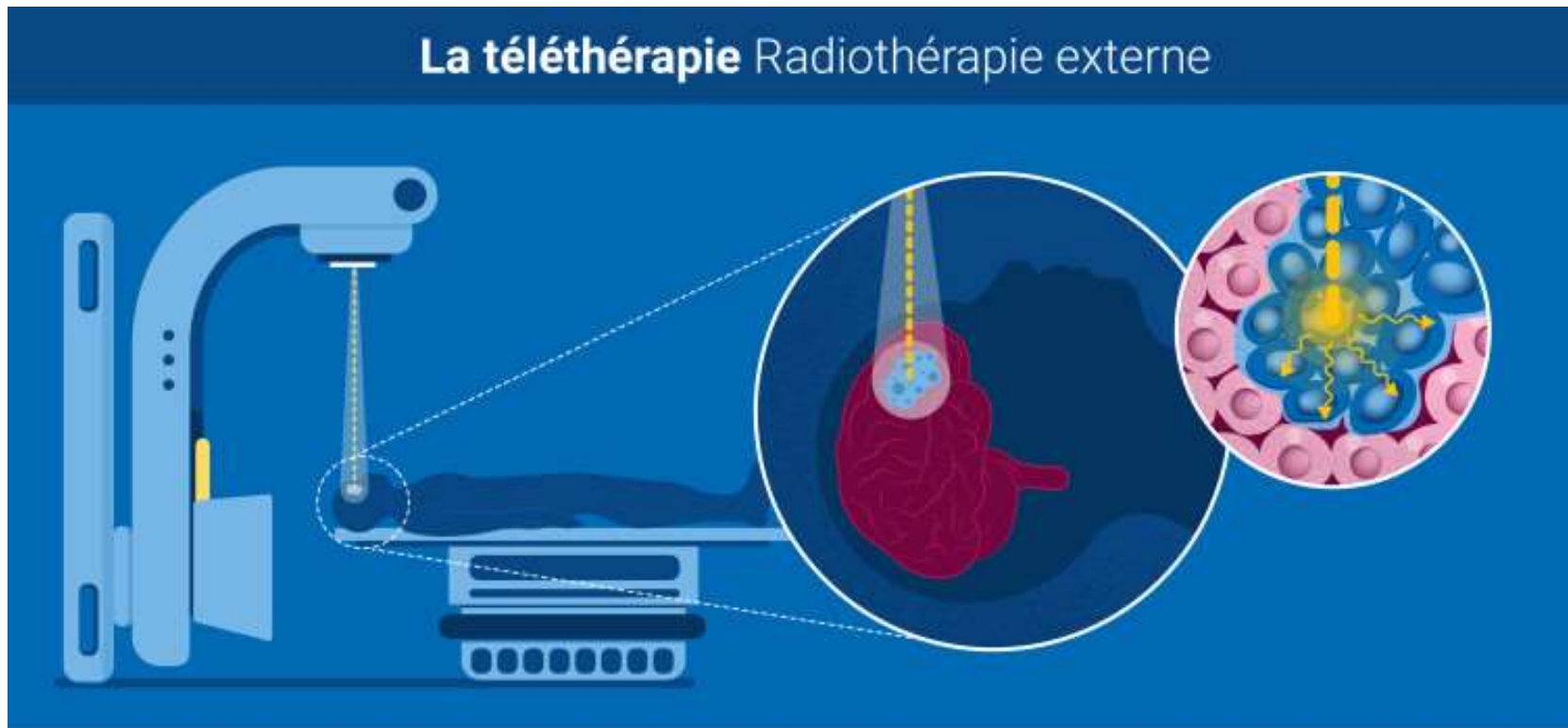
Chaque traitement nécessite une équipe d'experts qualifiés, composée d'un radio-oncologue, d'un physicien médical et d'un manipulateur en radiothérapie, qui utilisent les rayonnements pour endommager la tumeur tout en veillant à endommager le moins possible les cellules saines.

La téléthérapie

La téléthérapie est le type de radiothérapie le plus largement utilisé. Elle consiste à administrer des rayonnements à la zone de la tumeur au moyen d'un faisceau à haute énergie produit par un appareil de télécobalt ou un accélérateur linéaire.

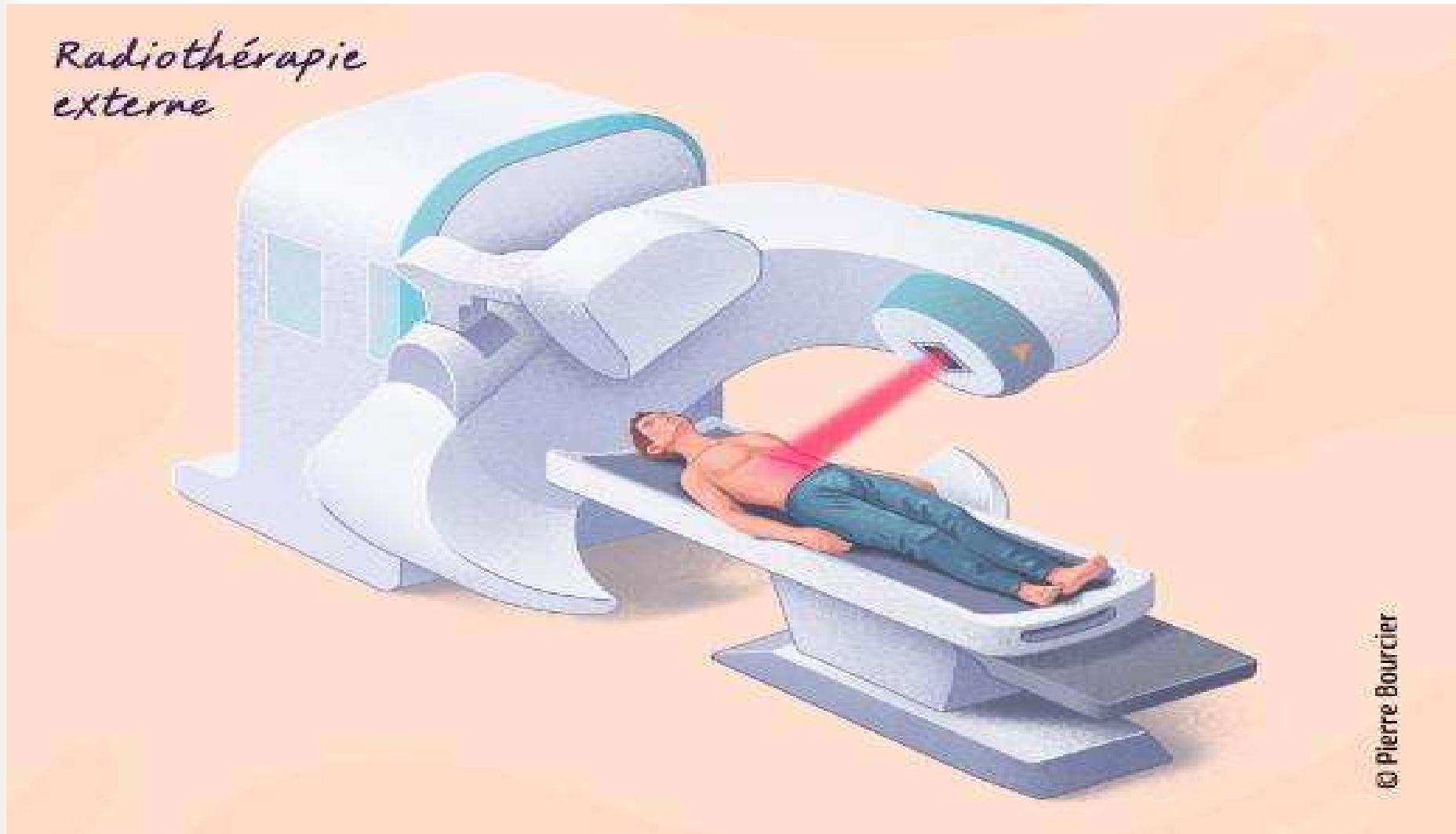
Pendant le traitement, le patient est allongé et immobile sur une table, et la machine se déplace autour de lui en administrant des doses précises de rayonnements à la tumeur sous plusieurs angles.

La taille et la forme du faisceau sont ajustées avec précision pour viser la tumeur et épargner les tissus sains.



La radiothérapie externe aide à traiter plusieurs types de tumeurs, notamment celles de la tête, du cou, du sein, du poumon ou du côlon

1. Radiothérapie externe :



La curiethérapie

La curiethérapie consiste à placer une petite source radioactive encapsulée à un endroit précis de l'organisme, pour envoyer de fortes doses de rayonnements directement sur la tumeur en réduisant l'exposition des tissus environnants. Cette source est placée de manière temporaire ou permanente. Dans le cas d'une application temporaire, une capsule contenant des sources de césium, d'iridium ou de cobalt est insérée à l'aide d'une aiguille ou d'un outil spécial. Selon la dose libérée par la source, la capsule peut demeurer dans l'organisme de quelques minutes à plusieurs jours. Dans le cas d'une application permanente, un implant — contenant par exemple de l'iode 125 et ayant généralement la taille d'un grain de riz — est inséré à un endroit spécifique de l'organisme et irradie la tumeur, avant de perdre sa radioactivité au fil du temps.

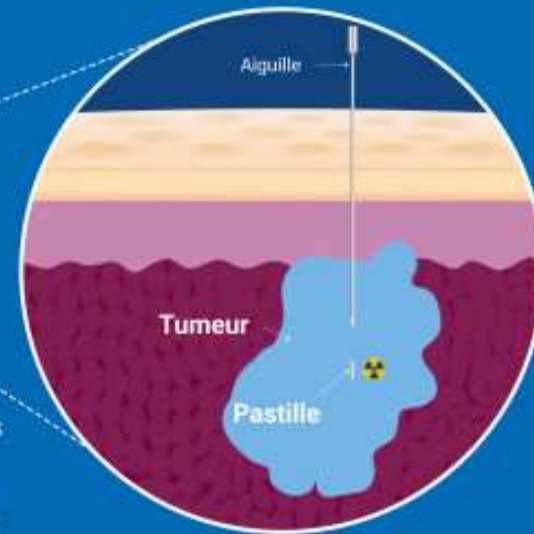
La curiethérapie Radiothérapie interne



De minuscules pastilles radioactives (de la taille d'un grain de riz) sont placées dans la tumeur.



La pastille placée dans la tumeur ou près d'elle émet des rayonnements qui endommagent et éliminent les cellules cancéreuses, empêchant leur division et la croissance de la tumeur.

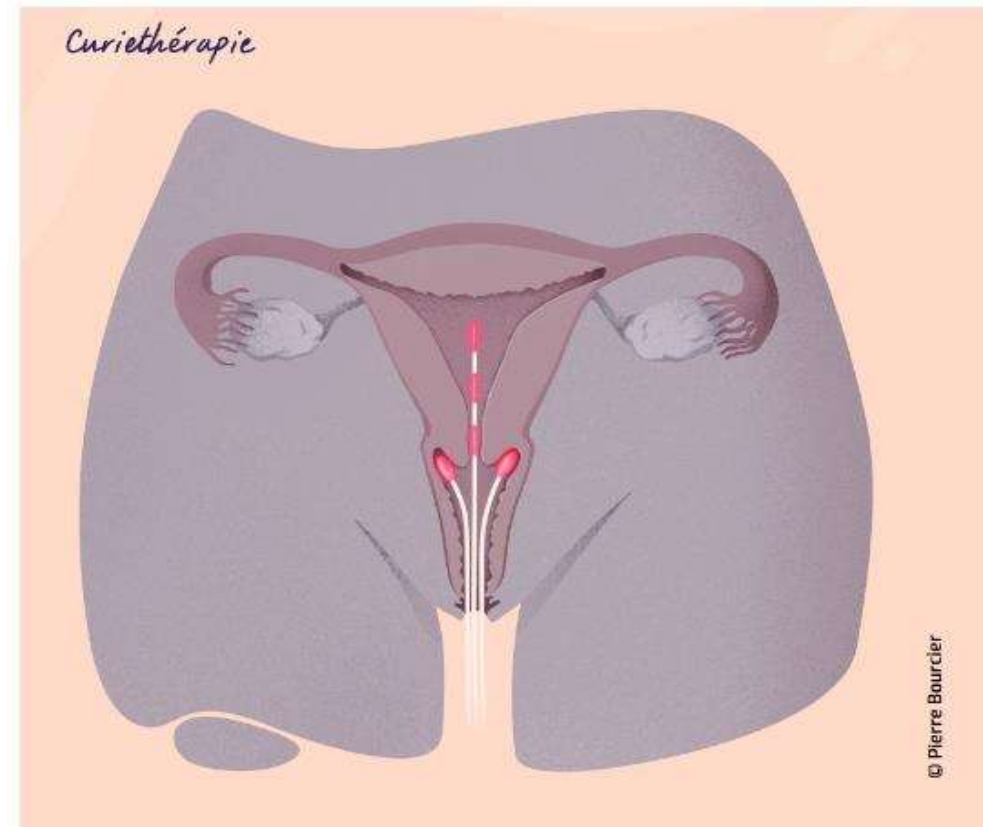
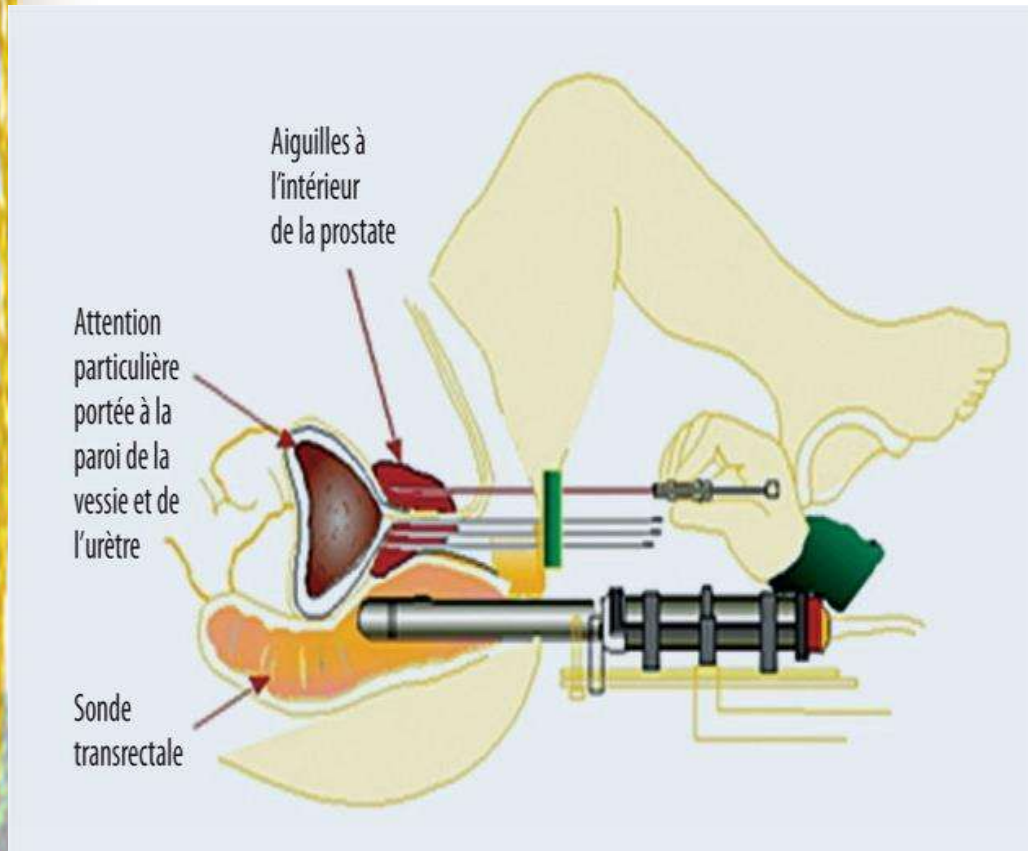


La curiethérapie est généralement utilisée dans le traitement des cancers de la prostate, du sein, de la peau et certains cancers de la tête et du cou

2. Radiothérapie interne :

Appelée brachythérapie ou curiethérapie.

La source radiogène est mise au contact ou à l'intérieur du volume à irradier.



Quel rôle joue l'imagerie médicale dans la radiothérapie ?

L'imagerie médicale joue un rôle important dans la prise en charge des patients atteints de cancer et est indispensable à la planification, à l'administration et à l'évaluation des traitements de radiothérapie.

L'intégration de techniques d'imagerie de pointe dans la radiothérapie a révolutionné les soins du cancer et a contribué à l'amélioration des résultats pour les patients. L'imagerie médicale sert notamment aux fins suivantes :

Évaluation de la localisation et de la propagation de la maladie

L'imagerie médicale aide à déterminer si le cancer est à un stade précoce ou s'il s'est propagé à d'autres parties du corps. Les procédures guidées par l'image, telles que les biopsies, sont peu invasives et sont nécessaires pour un diagnostic précis des tissus.

Les techniques d'imagerie médicale, telles que la tomодensitométrie, l'échographie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomographie à émission de positons (PET), sont essentielles pour établir un diagnostic précis du cancer et en déterminer le stade.

Elles aident à localiser la tumeur, à déterminer sa taille et son stade d'évolution, ainsi que son lien avec les organes adjacents et la présence de métastases.

Planification du traitement

L'imagerie médicale aide également à planifier différentes étapes du traitement : prise de médicaments, radiothérapie, chirurgie ou, dans certains cas, soins palliatifs. Lors de la planification de la radiothérapie, l'imagerie médicale génère des images 3D de la tumeur, permettant de mieux cibler la tumeur par radiothérapie tout en limitant les dommages aux tissus sains.

La radiothérapie guidée par l'image (**IGRT**) fait appel à l'imagerie médicale en temps réel dans le processus de radiothérapie pour veiller à la précision et à la régularité de l'administration des doses de rayonnements.



Les images médicales détaillées aident les professionnels de la santé à faire la distinction entre les tumeurs, les tissus sains et les organes pour s'assurer que les cellules cancéreuses sont ciblées avec précision.

QCM

1. Quelle est la modalité d'imagerie médicale qui utilise des rayons X pour produire une image en coupe du corps humain ?

- A. IRM
- B. Échographie
- C. Scanner (CT)
- D. TEP (PET-scan)

2. Parmi les modalités suivantes, laquelle ne repose pas sur les radiations ionisantes ?

- A. Radiographie
- B. Échographie
- C. Scanner
- D. TEP

3. Quel est le principe physique utilisé par l'IRM ?

- A. Réflexion des ultrasons
- B. Absorption des rayons X
- C. Résonance magnétique des protons
- D. Emission de positons

4. Quelle substance est souvent utilisée comme produit de contraste en radiologie conventionnelle ?

- A. Glucose radioactif
- B. Iode
- C. Gadolinium
- D. Éthanol

QCM

5. Quelle modalité est la plus adaptée pour visualiser un fœtus en temps réel ?

- A. IRM
- B. Scanner
- C. Échographie
- D. Radiographie

6. Quelle est la source des rayons X dans un appareil de radiographie ?

- A. Un aimant supraconducteur
- B. Une anode frappée par des électrons
- C. Une sonde ultrasonore
- D. Un détecteur gamma

7. L'échographie est contre-indiquée dans le cas de :

- A. Femme enceinte
- B. Exploration abdominale
- C. Exploration osseuse
- D. Surveillance fœtale

8. Quelle est l'unité du champ magnétique dans une IRM ?

- A. Becquerel
- B. Tesla
- C. Gray
- D. Curie

QCM

9. Quel est l'effet biologique principal des rayonnements ionisants ?

- A. Échauffement localisé
- B. Ionisation des atomes cellulaires
- C. Résonance magnétique des tissus
- D. Réflexion acoustique

10. Quelle technique d'imagerie utilise un champ magnétique puissant ?

- A. Échographie
- B. Scanner
- C. Radiographie
- D. IRM

11. L'échographie fonctionne par :

- A. Détection des rayons gamma
- B. Enregistrement de la lumière réfléchie
- C. Réflexion des ondes ultrasonores
- D. Mesure du champ magnétique

12. La radiothérapie externe consiste à :

- A. Placer une source radioactive à l'intérieur du corps
- B. Injecter un isotope radioactif dans le sang
- C. Irradier la tumeur depuis une source externe
- D. Appliquer une source radioactive sur la peau