



I. Généralités sur les rayonnements

1. Introduction aux rayonnements

1.1. Qu'est-ce qu'un rayonnement ?

- Définition :** Le rayonnement est de l'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules transmises à travers l'espace ou d'autres milieux.
- Exemples de rayonnement :**

Il existe plusieurs types d'énergie de rayonnement que l'on peut décrire comme des ondes (lumière, microondes, rayons X et rayons gamma) et des particules (particules alpha et particules bêta).



Figure 1 : Rayonnements

1.2. Classification des rayonnements

Il existe deux types de rayonnement : le rayonnement ionisant et le rayonnement non ionisant

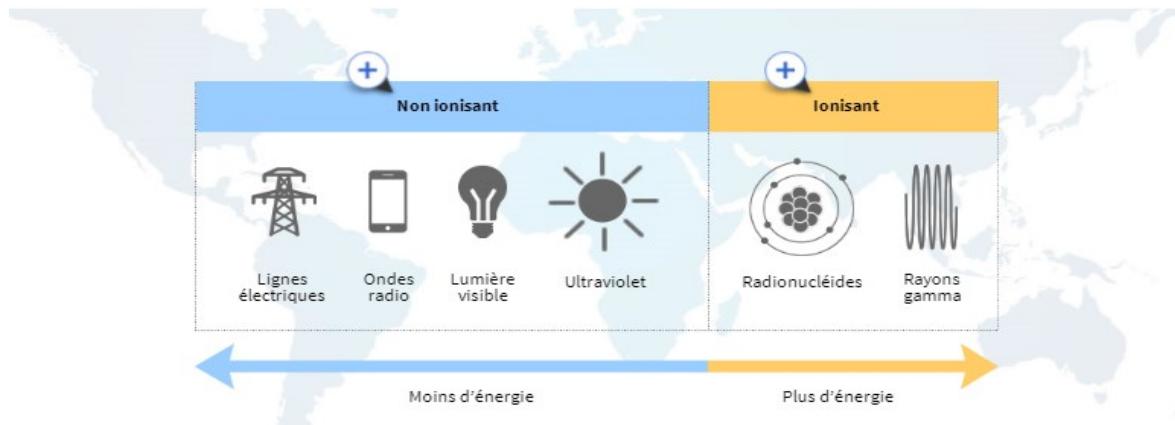


Figure 2 : Classification des rayonnements

- **Rayonnements ionisants** : Il s'agit d'un rayonnement haute fréquence qui possède suffisamment d'énergie pour libérer des électrons des atomes avec lesquels il interagit, créant ainsi des ions. Il existe plusieurs types de rayonnement ionisant, notamment les particules alpha, les particules bêta, les positrons, les rayons gamma, les rayons x et le rayonnement neutronique.



Figure 3 : Rayonnements ionisants

- **Rayonnements non ionisants** : Le rayonnement non ionisant est formé d'ondes électromagnétique de plus basse énergie, comme la lumière, les ondes radio et de télévision, ainsi que les microondes. Lorsque ces ondes interagissent avec la matière, elles ne transmettent pas suffisamment d'énergie pour arracher les électrons des orbites des atomes.

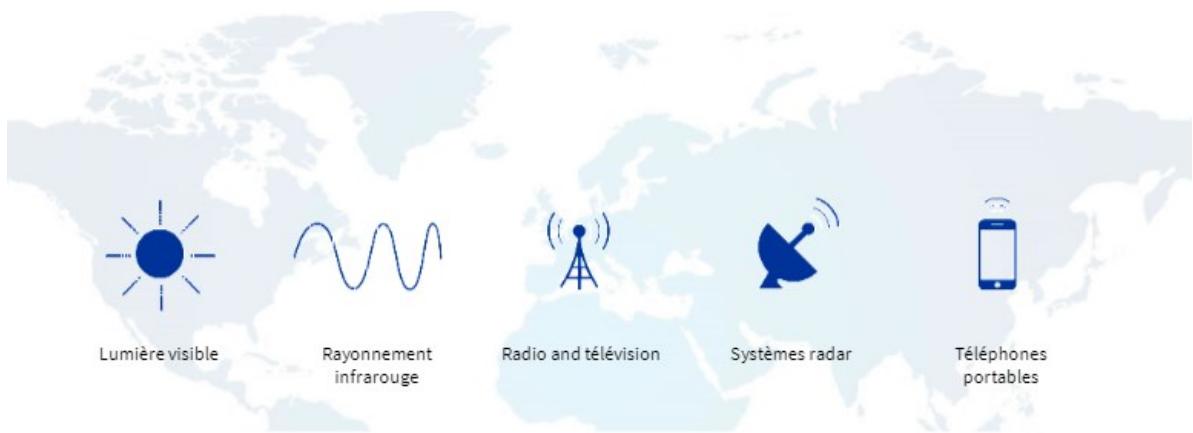


Figure 4 : Rayonnements non ionisants

1.3. Utilisation en imagerie médicale

- **Rayons X** : Radiographie, scanographie (CT), mammographie.
- **Ultrasons** : Échographie pour les tissus mous et les flux sanguins (Doppler).
- **Résonance magnétique (IRM)** : Utilisée pour obtenir des images de haute résolution des tissus mous.

2. Propriétés physiques des rayonnements

2.1. Caractéristiques des rayonnements ionisants

- **Énergie** : Plus un rayonnement a une haute énergie, plus il est capable de pénétrer profondément dans les tissus et de produire des ions.
- **Fréquence et longueur d'onde** : Les rayonnements ionisants, tels que les rayons X et gamma, possèdent une fréquence élevée et une courte longueur d'onde.
- **Exemples :**
 - Les **rayons X** ont une longueur d'onde de l'ordre de 0,01 à 10 nm.
 - Les **rayons gamma**, produits dans les réactions nucléaires ou les désintégrations radioactives, ont une énergie encore plus élevée que les rayons X.

2.2. Caractéristiques des rayonnements non ionisants

- Moins énergétiques, les rayonnements non ionisants n'ont pas la capacité de casser les liaisons chimiques dans les tissus. Cependant, ils interagissent principalement par absorption ou réflexion.
- **Ondes ultrasonores** : Les ultrasons, utilisés en échographie, ont une fréquence au-dessus de 20 kHz, au-delà de la portée de l'ouïe humaine.

2.3. Grandeur physiques des rayonnements

- **Énergie (eV)** : Mesure de l'énergie transportée par chaque photon dans le rayonnement.
- **Fréquence (Hz) et longueur d'onde (m)** : Dépendent du type de rayonnement. En général, plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est courte et plus l'énergie est grande.
- **Exemple comparatif :**
 - **Rayons X** : Fréquence d'environ 10^{16} à 10^{19} Hz.
 - **Ultrasons** : Fréquence de 2 à 18 MHz (en échographie médicale).

3. Interaction des rayonnements avec la matière

L'imagerie médicale repose sur l'utilisation de différentes formes de rayonnement pour visualiser les structures internes du corps humain. La qualité des images obtenues, ainsi que la sécurité des patients, dépend fortement de la compréhension des interactions entre le rayonnement et la matière. Ces interactions influencent non seulement le contraste et la résolution des images, mais aussi la dose de rayonnement absorbée par les tissus.

3.1 Effet Photoélectrique

- **Principe :**
 - L'effet photoélectrique survient lorsqu'un photon incident de faible énergie (généralement < 100 keV) transfère toute son énergie à un électron lié à un atome (en général les électrons de la couche interne, comme la couche K). Cet électron est alors éjecté de l'atome, créant une vacance qui est comblée par un électron d'une couche supérieure.

- Lors de cette transition, de l'énergie sous forme de rayonnement de fluorescence (rayons X caractéristiques) ou d'électron Auger est émise.

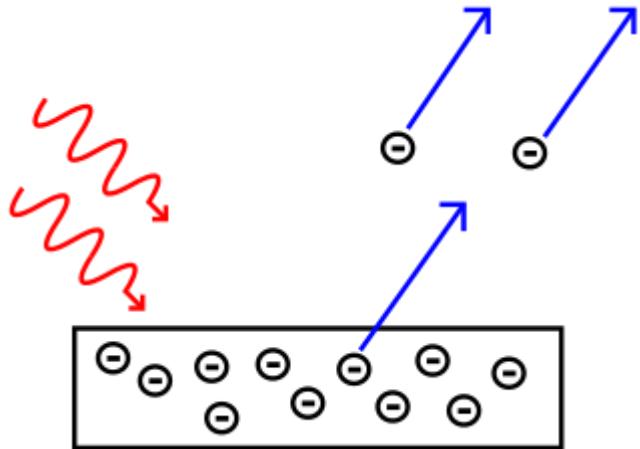


Figure 5 : Effet photoélectrique

- **Conséquences :**

- Ce phénomène conduit à l'absorption totale du photon par la matière, ce qui est essentiel pour le contraste des images radiographiques.
- L'effet photoélectrique est plus probable dans les éléments à numéro atomique élevé (comme le calcium dans les os), ce qui permet une bonne distinction entre les tissus osseux et mous en radiographie et en tomodensitométrie (scanner).

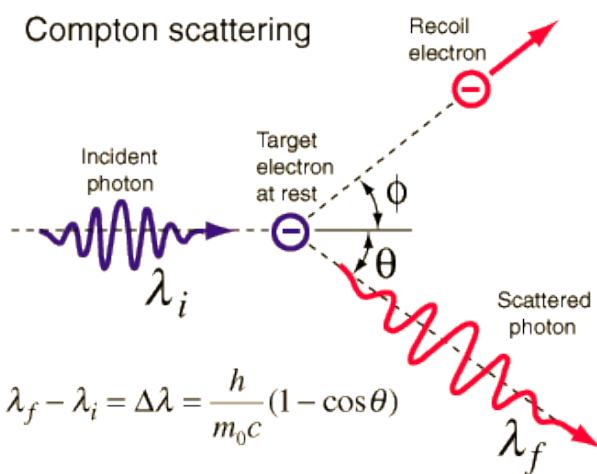
- **Application en imagerie :**

- Utilisé principalement pour l'imagerie des os et des structures denses en radiographie conventionnelle et tomodensitométrie (scanner), car il génère un contraste élevé.

3.2 Effet Compton

- **Principe :**

- Lors de l'effet Compton, un photon incident de plus haute énergie (généralement > 100 keV) transfère une partie de son énergie à un électron faiblement lié



(souvent un électron des couches externes) ou libre. Le photon est alors diffusé dans une nouvelle direction avec une énergie plus faible.

Figure 6 : Effet Compton

- La quantité d'énergie transférée dépend de l'angle de diffusion du photon et de l'énergie initiale du photon.
- **Conséquences :**
 - L'effet Compton entraîne une perte d'énergie du photon et une diffusion du rayonnement dans différentes directions, ce qui peut créer des artefacts et réduire le contraste de l'image.
 - Plus dominant dans les tissus mous (composés d'éléments à faible numéro atomique) et à des énergies de rayonnement plus élevées.
- **Application en imagerie :**
 - L'effet Compton est un défi dans l'imagerie radiographique car il peut réduire le contraste. Cependant, il est utilisé pour mesurer la densité électronique des tissus en tomographie par diffusion Compton, qui est explorée dans certaines applications de recherche.

3.3 Production de Paires

- **Principe :**
 - La production de paires se produit lorsque l'énergie du photon incident est supérieure à 1,022 MeV (seuil énergétique nécessaire pour créer une paire électron-positon). Le photon interagit avec le champ nucléaire d'un atome et se transforme en une paire d'électron et de positon.
- **Conséquences :**
 - Cette interaction ne se produit qu'à très haute énergie (typiquement en radiothérapie ou imagerie de haute énergie).
 - Le positon formé s'annihile rapidement avec un électron, produisant deux photons gamma de 511 keV chacun, émis à 180° l'un de l'autre. Ces photons sont détectés en coïncidence en tomographie par émission de positons (TEP).
- **Application en imagerie :**
 - La production de paires est la base de la TEP, utilisée pour visualiser l'activité métabolique des tissus (comme dans le diagnostic du cancer).

3.4 Diffusion Rayleigh (ou Diffusion Cohérente)

- **Principe :**
 - La diffusion Rayleigh est une interaction élastique où le photon incident est diffusé sans perte d'énergie, mais avec un changement de direction.

- Ce phénomène implique l'interaction avec l'ensemble de l'atome, plutôt qu'avec un seul électron, et survient principalement à basse énergie.

- **Conséquences :**

- La diffusion Rayleigh n'entraîne pas de transfert d'énergie, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'absorption, mais seulement une déviation du photon.
- Cette diffusion est faible dans les tissus biologiques, mais peut créer du bruit et des artefacts dans les images.

- **Application en imagerie :**

- Bien que moins courante en imagerie médicale, la diffusion Rayleigh est prise en compte dans certaines modalités où l'interaction de photons de basse énergie est importante.

3.5 Absorption et Atténuation

- **Principe :**

- L'absorption fait référence à la perte d'énergie des photons dans le milieu traversé. L'atténuation, quant à elle, désigne la diminution de l'intensité du faisceau de rayonnement en traversant un matériau, due à l'absorption et à la diffusion.
- Le coefficient d'atténuation linéaire (μ) décrit la probabilité qu'un photon soit absorbé ou diffusé par unité de longueur dans le matériau.

- **Conséquences :**

- L'absorption et l'atténuation déterminent le contraste de l'image, car les tissus absorbent le rayonnement de manière différentielle en fonction de leur densité et composition.
- Le degré d'atténuation varie avec l'énergie des photons et le type de tissu.

- **Application en imagerie :**

- L'atténuation est utilisée pour créer le contraste en radiographie et en tomodensitométrie (scanner).
- Les coefficients d'atténuation sont différents pour chaque type de tissu, ce qui permet la différenciation des structures dans les images.