

# Biophysique des Radiations

Cours 15 /03/2020

## Objectifs du cours

- Connaître la nature du rayonnement
- Connaître les effets biologiques de ces rayonnements

## I-Classification des rayonnements

Les rayonnements sont classés de deux façons différentes :

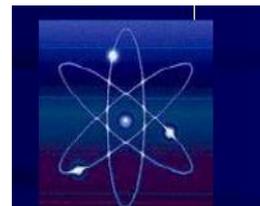
- Selon leurs natures et on a les rayonnements électromagnétiques (REM) et les rayonnements particuliers (RP).
- Selon leurs interactions avec la matière et on a les rayonnements ionisants et les rayonnements non ionisants.

## A-Rayonnements particuliers

Ces Rayonnements sont formés de particules dotées d'une masse au repos non nulle animées d'une énergie cinétique.

Ces particules forment un faisceau de particules caractérisées par :

- une charge
- une masse au repos  $m_0$
- une vitesse  $V$
- Une masse cinétique  $m = m_0 / \sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$
- une impulsion (ou quantité de mouvement)  $\vec{P} = m \vec{V}$
- Une énergie totale  $E = m c^2$



## B-Rayonnements électromagnétiques

Les radiations électromagnétiques correspondent essentiellement à la propagation d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{H}$  perpendiculaires entre eux. Dans le rayonnement électromagnétique, la masse est nulle. Dans le vide, la propagation de l'onde électromagnétique se fait à vitesse constante :  $c$  (Vitesse de la lumière).

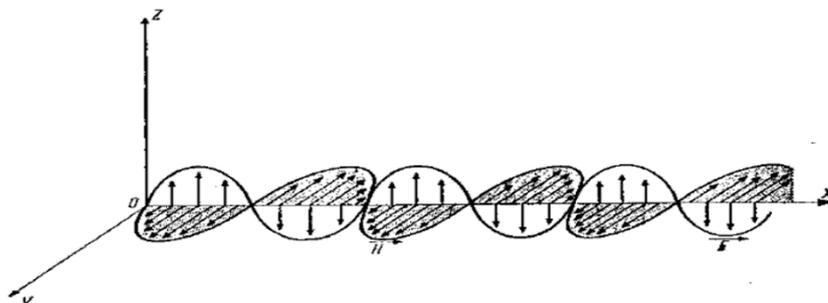


Figure 1. Rayon déterminant la direction de la propagation

Ainsi un rayonnement électromagnétique comme la lumière peut être considéré comme un flux de photons ou comme la propagation d'une onde électromagnétique. La lumière est une forme particulière d'énergie. Elle se manifeste tantôt par une onde (aspect ondulatoire), tantôt sous la forme d'un flux de particules élémentaires appelé quanta ou encore photons (aspect corpusculaire). On parle du principe de dualité onde-corpuscule.

Ces rayonnements sont caractérisés par leur vitesse dans le vide,  $C = 3.10^8$  m/s ainsi que leur fréquence  $\nu = 1/T$  où T est la période. La longueur d'onde  $\lambda = CT = C/\nu$ .

Les rayonnements sont classifiés par leurs fréquences :

Nom	Intervalle de $\lambda$ (en m)	Intervalle de fréquence $\nu$ (en Hertz)
Onde de puissance	$\infty$ à $3.10^5$	0 à $10^3$
Grandes ondes	$3.10^5$ à $3.10^3$	$10^3$ à $10^5$
Bande commune	$3.10^3$ à 30	$10^5$ à $10^7$
Ondes courtes	30 à 0.3	$10^7$ à $10^9$
Microondes	0.3 à $3.10^{-3}$	$10^9$ à $10^{11}$
Infrarouge (IR)	$3.10^{-3}$ à $3.10^{-6}$	$10^{11}$ à $10^{14}$
Visible	$7.10^{-5}$ à $4.10^{-5}$	$4.10^{14}$ à $7.10^{14}$
Ultraviolet (UV)	$3.10^{-5}$ à $3.10^{-7}$	$10^{15}$ à $10^{17}$
Rayons X et $\gamma$	$3.10^{-7}$ à $3.10^{-9}$ et moins	$10^{17}$ à $10^{20}$ et plus

**Tableau I .** Classification des rayonnements électromagnétiques

En **1905**, Einstein considérait les quanta de Planck pour énoncer la relation d'énergie du photon  $E = h \cdot \nu$

où E : Energie en Joule

h : constante de Planck égale à  $6.6 \cdot 10^{-34}$  J.S

$\nu$  : fréquence

Pour qu'un électron s'arrache de la plaque de Zinc (photo-électrique), il faut que l'énergie portée par le photon ( $h \cdot \nu$ ) soit supérieure à la barrière de potentiel qui le maintient (W).

L'électron sera porté par une énergie cinétique :  $E_c = h \cdot \nu - w$

D'où l'équation de l'effet photo-électrique d'Einstein :  $h \cdot \nu = E_c + w$

En **1922**, Louis de Broglie a résolu en partie le problème de la dualité ondulatoire et corpusculaire des ondes électromagnétiques de matière à les associer en attribuant une masse de photons. Cela a permis d'appliquer la relation d'Einstein :  $E = m C^2$ .

Broglie pose une relation pour toute particule matérielle :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda = m c^2$$

$$\text{Soit } \lambda = h / m \cdot c = h / T$$

L'énergie du photon est donnée comme suit :

$$h \cdot \nu \text{ (J)} = 3.10^8 \cdot 6.6 \cdot 10^{-34} / \lambda \text{ (m)} = 1.98 \cdot 10^{-25} / \lambda \text{ (m)}$$

L'énergie est exprimée en électron-volt (ev) qui représente l'énergie acquise par l'électron lorsqu'il est accéléré par une différence de potentiel de 1 Volt =  $1.6 \cdot 10^{-19}$ (ev).

La longueur d'onde exprimée en (Å°)

$$h.v \text{ (eV)} = 12400 / \lambda \text{ (Å°)}$$

## C-Rayonnements ionisants

Un rayonnement particulaire ou électromagnétique est ionisant lorsqu'il est susceptible d'arracher des électrons de la matière. Pour cela, il est nécessaire que l'énergie individuelle des particules ou des photons soit supérieure à l'énergie de liaison minimale des électrons du milieu considéré. Le tableau suivant résume la valeur minimale d'énergie à apporter pour arracher les électrons liés des principaux atomes constitutifs de la matière biologique.

Elément	Energie de première ionisation (eV)
hydrogène	13.54
oxygène	13.57
carbone	11.24
azote	14.24

**Tableau II .** Valeur d'énergie minimale pour arracher les électrons des principaux atomes

### 1.Types de rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants sont deux types :

#### 1.1.Rayonnements corpusculaires

Constitués de particules élémentaires : les Particules  $\alpha$ ,  $\beta$ , électron et neutron

#### 1.2.Rayonnements électromagnétiques (photons)

Ils sont de même type que la lumière mais d'Energie plus importante : les Rayons X, les Rayons  $\gamma$

Rayonnements directement ionisants	Rayonnements indirectement ionisants	
<b>Particules chargées</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrons</li> <li>• Protons</li> <li>• Deutrons (<math>^2_1\text{H}</math>)</li> <li>• Particules alpha (<math>^4_2\text{He}</math>)</li> </ul>	<b>Particules non chargées</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photons</li> <li>• Neutrons</li> <li>• Ultra-violet</li> <li>• Rayons X</li> <li>• Rayons <math>\gamma</math></li> </ul>	Ces particules ionisent indirectement le milieu par l'intermédiaire des particules ionisantes qu'elles mettent en mouvement : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photons <math>\Rightarrow</math></li> <li>• Neutrons <math>\Rightarrow</math> protons et noyaux atomique</li> </ul>

**Tableau III .** Caractéristiques des rayonnements ionisants

Les rayonnements électromagnétiques X et  $\gamma$  (photons) interagissent de trois manières avec la matière.

### 1.2.1-L'effet photoélectrique

L'effet photo-électrique est une interaction photon-électron. Il résulte du transfert de la totalité de l'énergie du photon incident sur un électron de l'un des atomes de la cible. Cet effet ne se produit que si l'énergie  $E$  du photon est supérieure à l'énergie de liaison  $W_L$  de l'électron. L'électron est alors éjecté du cortège électronique de l'atome avec une énergie cinétique  $W_C = E - W_L$ . L'électron expulsé, appelé Photo-électron, épuise son énergie cinétique en ionisations et excitations.

#### -Cas des particules légères

L'énergie  $W_C$  est donc totalement absorbée, l'électron expulsé laisse une place vacante qui va être comblée par les électrons des couches plus externes ou un électron supérieur à l'atome. Ce remplacement s'accompagne d'une libération d'énergie  $W_R$ .

Si par exemple, l'électron expulsé est remplacé par un électron dont l'énergie de liaison est  $W_Z$ , on a  $W_R = W_L - W_Z$ , L'énergie  $W_R$  peut être :

\*Soit diffusée sous la forme d'un photon dit **photon de fluorescence**.

\*soit communiquée à un électron périphérique d'énergie de liaison  $W_p < W_R$ . Cet électron appelé électron **Auger**

### 1.2.2- L'effet Compton

Le photon ne disparaît pas après le choc, mais son énergie et sa direction sont modifiées. L'électron dit « Compton » emporte un certain quantum d'énergie. Il peut arriver que le photon retourne en arrière à  $180^\circ$  (phénomène de rétrodiffusion). Son énergie est alors limitée à 0,255 MeV, quelle que soit celle du photon incident. Dans ces deux cas, l'atome reste ionisé. Les électrons arrachés provoquent des lacunes dans les couches profondes. La réorganisation électronique qui s'ensuit est à l'origine de l'émission de raies X discrètes, caractéristiques de l'élément.

### 1.2.3-L 'effet de matérialisation

La matérialisation se produit pour des photons très énergétiques passant à proximité du noyau. Le photon est totalement absorbé en se transformant en une paire de particule-antiparticule ( $e^+$  et  $e^-$ ). Donc au voisinage du noyau, le photon disparaît et donne naissance à une paire d'électrons  $e^+$  et  $e^-$ . Cette création de matière nécessite un équivalent énergétique de deux fois 0,511 MeV. Pour provoquer ce phénomène, il faut donc que le photon incident possède au minimum une énergie de 1,02 MeV. L'énergie excédentaire sert à communiquer de la vitesse aux électrons ainsi créés. Dès qu'il sera suffisamment ralenti, l'électron positif va se recombiner avec un électron du milieu. Cette annihilation donnera naissance à deux  $\gamma$  de 0,511 MeV, émis à  $180^\circ$ .

## D- Rayonnements non ionisants

Les rayonnements non ionisants incluent un large spectre de radiations électromagnétiques. Ces rayonnements sont incapables de provoquer l'ionisation d'atomes de molécules d'intérêt biologique, riches en azote, oxygène et hydrogène. L'énergie  $E=h\nu$  ( $< 13,6$  eV) est inférieure à l'énergie d'ionisation  $E_i$  du matériau. Parmi ces rayonnements nous avons : les Ondes radioélectriques, le rayonnement ultraviolet UV, le visible et l'infrarouge IR.

Fréquence	Longueur d'onde	Description	Bande (terme anglais)	Sources
0 Hz	$\infty$	Statique		Champ magnétique terrestre, ligne de transport électrique en courant direct
		Sub-extrêmes basses fréquences	SEBF	
30 Hz	10 000 km	Extrêmement basses fréquences	EEF (ELF)	Lignes et appareils électriques
300 Hz	1 000 km	Fréquences vocales	FV	Chauffage par induction
3 kHz	100 km	Très basses fréquences	TBF (VLF)	TV, terminaux à écran de visualisation
30 kHz	10 km	Basses fréquences	BF (LF)	Radio AM
300 kHz	1 km	Moyennes fréquences	MF	Chauffage par induction
3 MHz	100 m	Hautes fréquences	HF	Scellement par chauffage aux RF
30 MHz	10 m	Très hautes fréquences	THF (VHF)	Radio FM
300 MHz	1 m	Ultra-hautes fréquences	UHF	Téléphones cellulaires, télédiffusion, fours à micro-ondes
3 GHz	10 cm	Super-hautes fréquences	SHF	Radar, liaisons satellites, micro-ondes, communications
30 GHz	1 cm	Extrêmement hautes fréquences	EHF	Communications
300 GHz	1 mm	Infrarouge	IR	Soleil, lumière incandescente
385 THz	780 nm	Radiation visible	RV	Lumière
750 THz	400 nm	Ultraviolet*	UV	Soleil, lampe incandescente, laser
3000 THz	100 nm			

Note: 1000 Hz = 1 kHz ; 1000 kHz = 1 MHz ; 1000 MHz = 1 GHz ; 1000 GHz = 1 THz

**Tableau IV** . Rayonnements électromagnétiques non ionisants et leurs sources