

I.1. Définition

D'une manière générale, un rayonnement est défini comme un mode de propagation dans l'espace, au cours du temps, d'une certaine quantité d'énergie, sous forme d'onde électromagnétiques ou de particules. Le rayonnement est donc toujours le support d'une énergie qui sera plus ou moins transférée au milieu traversé lors d'une éventuelle interaction.

On définit également l'interaction d'un rayonnement avec la matière comme tout processus par lequel l'énergie ou la direction des particules est modifiée, à la suite d'actions réciproques les une sur les autres.

I.2. Les différents types de rayonnements et leurs origines

Les rayonnements qui sont d'origine atomique ou nucléaire peuvent être de natures particulières formés d'un flux de particules matérielles chargés ou non, doués de masse au repos, ou électromagnétiques constitués par un flux de photons non chargés et de masse nulle. En effet, le mode d'interaction est fondamentalement différent selon que le rayonnement est chargé ou non, et également selon son énergie.

I.2.1. Les particules chargées

Elles se subdivisent en deux familles: les particules chargées lourdes et les particules chargées légères.

I.2.1.1. Les particules chargées lourdes

On retrouve sous cette denomination tous les noyaux subatomiques de forte énergie cinétique. Les noyaux sont susceptibles dans certaines réactions nucléaires ou dans des accélérateurs d'acquies des énergies cinétique élevées.

Les particules chargées lourdes sont principalement les ions lourds et les noyaux lourds tels les produits de fission et les produits de réactions nucléaires, les particules alpha (α): ${}^4\text{He}^{2+}$, les deutons (d): ${}^2\text{H}^+$, et les protons (p): ${}^1\text{H}^+$. Ces particules sont caractérisées par leur nombre de masse A et leur charge Z . Les particules chargées lourdes usuelles sont:

- Proton: $A = 1$ et $Z = 1$. Utilisé dans certaines accélérateurs ou apparaissant dans certaines réactions nucléaires;
- Particule alpha: $A = 4$ et $Z = 2$. Produit essentiellement par désintégration alpha des noyaux lourds de masse atomique supérieure à 200. Les émetteurs alpha les plus courants sont les actinides: uranium, thorium, plutonium, etc. ;
- Produits de fission (PF): $A_{moyen} \approx 120$ et $Z_{moyen} \approx 46$. Ions lourds (carbone, oxygène, fluor, néon, etc.) produits dans les réacteurs de fission provoqués ou spontanées des noyaux lourds (thorium, uranium et plutonium).

Les ions lourds comme ils sont produits artificiellement (accélérateur de particules ou réacteurs nucléaire), ils ont une origine naturelle, c'est le rayonnement cosmique.

I.2.1.2. Les particules chargées légères

Ce sont exclusivement les électrons et leurs antiparticules, positrons. Les particules. Les particules légères proviennent des émissions β^+ , β^- de conversion interne, de certains noyaux radioactifs, des électrons mis en mouvement soit directement par un accélérateur de particules, soit secondairement à la suite d'interactions de photons X ou γ dans un matériau, de la désexcitation électronique par effet Auger après ionisation ou excitation d'un milieu. Les électrons peuvent avoir donc une origine atomique ou nucléaire.

I.2.2. Les particules non chargées

Comme leur nom l'indique, il s'agit de particules électriquement neutres représentées ici par les photons et les neutrons.

I.2.2.1. Les photons

Appelés aussi rayonnements (ou ondes) électromagnétiques, les photons ont une masse nulle, une énergie E proportionnelle à leur fréquence. Elle s'exprime donc par $E = h\nu$ où h est appelée constante de Planck et égale à $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$. ν est la fréquence d'apparition du photon exprimée en s^{-1} . Celle-ci est directement reliée à la longueur d'onde du photon notée λ par $\nu = c/\lambda$ où c est la vitesse des photons dans le vide appelée aussi célérité de la lumière dans le vide égale à $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ (Figure I.1).

On définit aussi pour le photon une quantité de mouvement ou impulsion et ce malgré l'absence de masse. Elle est notée P et s'exprime par: $P=E/c$

Selon leur origine, leur mode de production ou encor leur énergie, on distingue plusieurs types de photons.

Ce sont essentiellement les photons issus de réactions ou interactions atomiques ou nucléaires; à savoir les photons X , les photons gamma γ et moins fréquemment les photons de freinage:

- Les photons gamma γ proviennent de la désexcitation spontanée (désintégration) ou provoquée du noyau de l'atome lors de réactions nucléaires.
- Les photons X sont émis suite à la désexcitation de l'atome et au réarrangement de son cortège électronique. En général, les photons X sont produits par des transitions électroniques provoquées, par la collision d'un atome avec un électron à haute vitesse.

De par leurs processus de production et les forces et interactions mises en jeu, les énergies des photons γ sont en général deux à trois ordres de grandeurs supérieures à celle des photons X . Les énergies des photons γ sont l'ordre de quelques millions d'électron-volt (MeV) et celles des photons X sont comprises entre quelque dizaines d'électron-volt (eV) à quelque dizaines de kiloélectron-volt (keV).

- On désigne ainsi des photons de freinage appelés aussi photons de bremsstrahlung, ils sont émis suite au ralentissement d'une particule chargée généralement légère (électron ou positron) et énergétique au voisinage du champ électromagnétique du noyau du milieu traversé. Le spectre des photons de freinage est un spectre continu allant de l'énergie zéro à l'énergie de la particule chargée incidente.

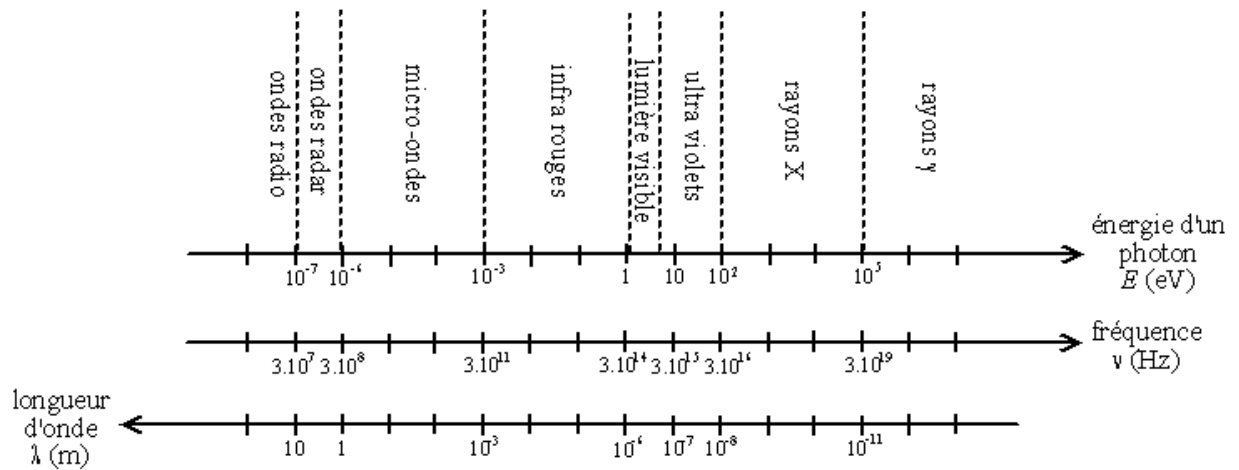


Figure (I.1): Classement des photons selon leur fréquence, leur longueur d'onde et leur énergie.

I.2.2.2. Les neutrons

Avec le proton, le neutron est l'un des deux constituants du noyau. Le neutron se comporte donc comme un nucléon de charge électriquement nulle et de masse égale à 1838 fois la masse de l'électron, mais il est de masse voisine de celle du proton. Toutefois, malgré l'absence de sa charge, le neutron n'est pas totalement insensible à l'interaction électromagnétique de par sa distribution de densité de charge interne. Le neutron n'est pas assujéti aux interactions coulombiennes lorsqu'il rencontre des particules chargées.

Enfin son interaction avec la matière dépend étroitement de son énergie. Celle-ci varie de quelques fractions d'électron-volts notamment pour les neutrons dits thermiques à quelques MeV voire quelques dizaines de MeV pour les neutrons rapides.

Les faisceaux de neutrons ont essentiellement une origine artificielle: réacteur nucléaire, source radioactive (Californium 252, les sources alpha-Béryllium, gamma-Béryllium et Americium-241/Béryllium).

Le tableau (I.1) résume les principales caractéristiques des différents rayonnements ionisants dans un domaine d'énergie vari des énergies les plus basses (énergie du neutron thermique) jusqu'à les hautes énergies (énergie de produits de fission par exemple).

Rayonnement	Nature	Masse	Charge	Domaine d'énergie
α	Noyau ${}^4\text{He}^{2+}$	$7340. m_e$	$+2 q_e$	3 à 10 MeV
β	β^+ : positron β^- : électron	m_e ou m_0 m_e ou m_0	$+q_e$ $-q_e$	0 à qq MeV 0 à qq MeV
Ions lourds	Protons Produits de reaction produits de fission	$m_p = 1836. m_e$ $\approx 4.10^4 - 2.10^5. m_e$	$+q_e$ Jusqu'à $+ 110 q_e$	0,1 à qq MeV qq MeV à 100 MeV
$\gamma - X$	Photon	Nulle	Neutre	qq keV à qq MeV
${}_0^1n$	Neutron	$m_n = 1838 m_e$	Neutre	De la fraction d'eV (0.025 eV) à qq MeV

Tableau (1): Principales caractéristique des différents types de rayonnements concernés:
 $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$, $m_p = 938,3 \text{ MeV}/c^2$, $m_n = 939,6 \text{ MeV}/c^2$.

I.3. Classification des différents types de rayonnements

Il existe plusieurs façons de classifier les rayonnements. Chaque classification peut répondre à des domaines d'intérêt particuliers. La classification en physique des particules ou en physique nucléaire ne correspond pas à la classification utilisée dans le domaine de la dose absorbée. On s'intéressera plus particulièrement dans ce qui suit à cette dernière classification qui est fondée sur les effets des interactions des rayonnements sur la matière (figure I.2).

I.3.1. Les rayonnements ionisants et non ionisants

On dit qu'un rayonnement particulaire ou électromagnétique est ionisant lorsqu'il est susceptible d'arracher des électrons à la matière. Pour cela il est nécessaire que l'énergie individuelle d'un photon ou cinétique des particules, soit supérieure à l'énergie de liaison minimale des électrons du milieu rencontré et le transformer donc en ions positifs.

Ainsi, un rayonnement apparaît ionisant ou non selon le milieu considéré. En biologie, les principaux atomes constitutifs de la matière sont : le carbone, l'oxygène, l'azote et l'hydrogène dont les valeurs de l'énergie de première ionisation (valeur minimale de l'énergie à apporter pour arracher les électrons les moins liés) sont les suivants :

C : 11,24 eV

H : 13,6 eV

O : 13,37 eV

N : 14,20 eV

En fait, l'énergie minimale nécessaire pour arracher un électron du milieu biologique peut être inférieure à ces valeurs, les énergies de liaison des électrons dans une molécule peuvent être plus faibles, inférieures à 10 eV. Les rayonnements U.V. les plus énergétiques ont ainsi une énergie égale à 12,4 eV suffisante pour ioniser les milieux biologiques.

Parmi les rayonnements électromagnétiques, les U.V. les plus énergétiques les X, les γ sont donc ionisants. Egalement les rayonnements particulaires, tous ceux constitués de particules d'énergie cinétique à 10 eV sont ionisants, c'est le cas le plus général.

I.3.2. Les rayonnements directement et indirectement ionisants

Les particules électriquement chargées sont entourées d'un champ électrique qui permet, lors des chocs, l'ionisation directe. Ces particules sont directement ionisantes. Les rayonnements indirectement ionisants correspondent aux particules électriquement neutres, elles ne produisent pas d'ionisation directe des atomes, par contre, elles interagissent pour donner des particules secondaires chargées, directement ionisantes : électrons dans le cas des photons, noyau atomique, surtout protons, dans le cas des neutrons.

Cette classification binaire correspond aux mécanismes physiques essentiels d'interaction rayonnement-matière qui permet de modéliser les dépôts d'énergie dans la matière.

Les rayonnements ne peuvent être caractérisés que grâce à leurs interactions avec la matière dans laquelle ils se propagent. Lors de ces interactions, la matière subit des modifications dues au passage des rayonnements. S'il convient d'étudier les effets de la matière sur les rayonnements, il faut également connaître les effets concomitants, des rayonnements sur la matière. L'étude de l'interaction des rayonnements avec la matière est une sonde d'examiner à la fois la matière et le rayonnement qu'il la rencontre.

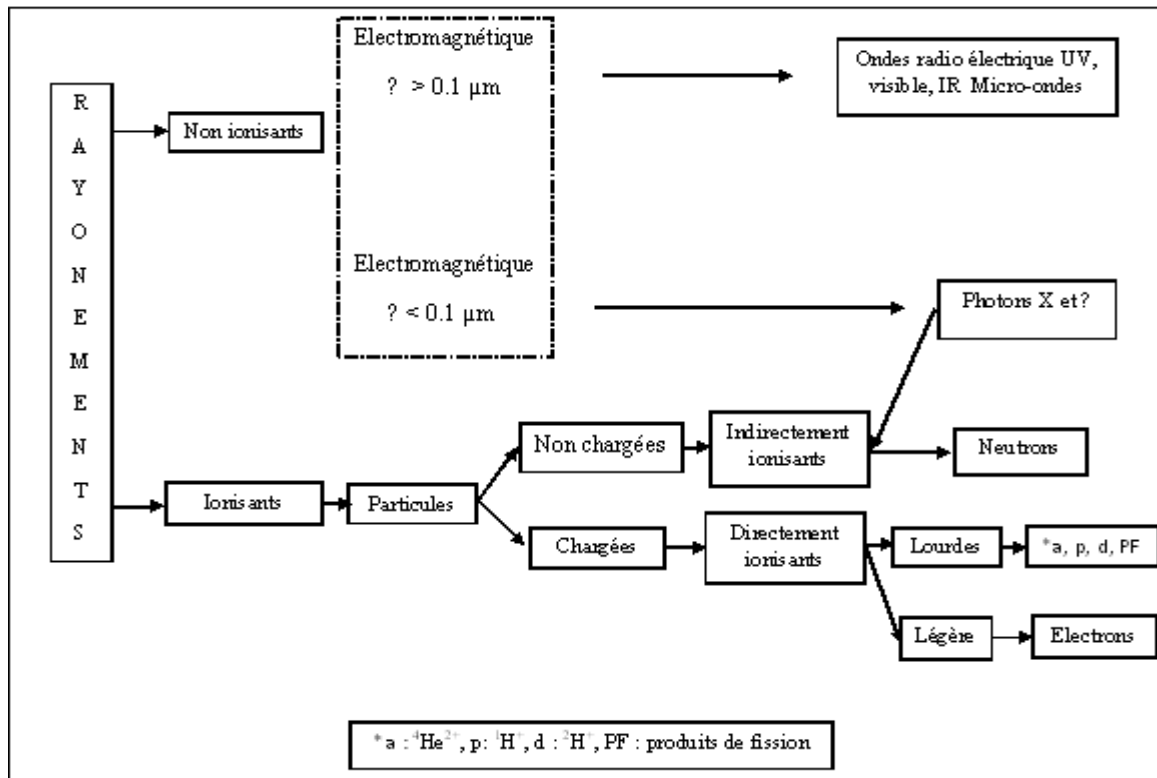


Figure (I.2) : Classification des rayonnements.