

# Interactions de rayonnement et matière.

## ① Généralités :

On appelle interaction entre rayonnement et matière tout phénomène se produisant lorsqu'un rayonnement traverse un milieu quel qu'il soit - Cette interaction se traduit par un transfert d'énergie

Une interaction est nécessaire pour détecter un rayonnement.

Le transfert d'énergie est la 1<sup>ère</sup> étape de l'action biologique des rayonnements.

## ② Interaction des particules chargées avec la matière :

Une particule chargée qui passe au voisinage d'un atome peut interagir en lui conférant une partie de son énergie cinétique. L'interaction peut avoir lieu soit avec le cortège électronique soit avec le noyau.

### A/ Interaction avec le cortège électronique : collision.

Il convient de comparer l'énergie cinétique de l'électron incident à l'énergie de liaison de l'électron lié à l'atome.

Si  $\Delta Q > W$  → l'électron va être éjecté de son orbite avec une énergie cinétique :  $E_c = \Delta Q - W$ . Il se produit une ionisation de l'atome cible. l'électron éjecté est appelé électron secondaire et peut à son tour créer d'autres ionisations si son énergie cinétique est suffisante.

Si  $\Delta Q < W$  → le transfert d'énergie  $\Delta Q$  ne peut produire aucune ionisation mais peut porter l'électron cible d'un niveau énergétique supérieur avec excitation de l'atome cible. L'énergie transférée est secondairement dissipée sous forme thermique ou sous forme d'émissions électromagnétiques de faible énergie. Le phénomène d'ionisation a une importance fondamentale pour les

effets biologiques des rayonnements. En général, il se produit 3 excitations pour une ionisation avec un nombre important de transferts thermiques.

En biologie, le milieu essentiel est l'eau. Une ionisation nécessite le transfert de 16 eV et les phénomènes thermiques qui accompagnent cette ionisation consomment également 16 eV en moyenne. (32 eV consommés au total au cours d'une ionisation)

Dans l'air, cette énergie moyenne est de 34 eV.

Ce qui vient d'être décrit au niveau d'une seule ionisation se reproduit un grand nombre de fois sur le parcours de la particule. Cette dernière transfère donc une certaine quantité d'énergie par unité de longueur. On appelle transfert linéique d'énergie (TEL) la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente par unité de longueur de trajectoire. Le TEL s'exprime en KeV/ $\mu$ m.

$$TEL = K \cdot \frac{Z^2}{v^2} \cdot n \cdot Z$$

$Z$ : charge ;  $v$ : vitesse

$Z$ : numéro atomique de l'atome du milieu traversé (cible)

$n$ : nombre d'atomes de la cible.

$Z$ : charge de l'atome incident.

$n \cdot Z$  est le nombre d'électrons de la cible par unité de volume.

À chaque interaction de la particule incidente transfère au milieu cible une quantité de son énergie cinétique (Si la particule augmente de vitesse, la quantité d'énergie diminue et l'inverse est vrai) jusqu'à ce qu'elle soit complètement arrêtée.

On appelle densité linéique d'ionisation (DLI) le nombre de paires d'ions créés par la particule incidente par unité de longueur (de la trajectoire).

$$TEL = E \cdot DLI$$

Énergie moyenne transférée pour chaque ionisation.

## B/ Interaction avec le noyau de l'atome cible:

Une particule chargée passant à proximité du noyau est attirée ou repoussée selon que sa charge soit négative ou positive.

### 1) Cas de particules légères: (électrons ou positrons)

Les particules légères partagent les caractéristiques:

- Dans l'eau, le TEL est faible.
- Pour des énergies cinétiques supérieures à un MeV, on a le  $TEL = 0,25 \text{ KeV}/\mu\text{m}$  et la  $DLI = 8 \text{ paires d'ions}/\mu\text{m}$ .
- Les trajectoires de particules est une ligne brisée.
- Pour des particules de même énergie cinétique, la longueur des trajectoires est la même.
- Dans l'eau, la somme des longueurs est donnée par la formule suivante

$$\text{longueur (cm)} = \frac{\text{Energie initiale de la particule (MeV)}}{2}$$

- La distance qui sépare le point d'entrée de la particule dans le milieu cible du point terminal de sa trajectoire est appelée profondeur de pénétration moyenne.

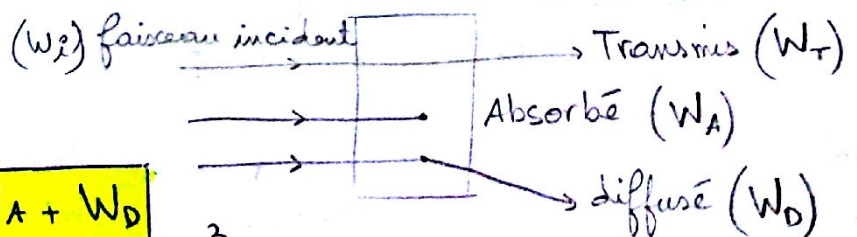
\* La profondeur est plus courte que la longueur de la trajectoire (particules légères)

### 2) Cas des particules lourdes: (Helium( $\alpha$ )) - protons)

- À énergie cinétique égale, la vitesse des particules lourdes est plus faible que celle d'un électron. Ce qui lui confère un TEL beaucoup plus élevé.
- Dans l'eau, le TEL est environ égal à  $150 \text{ KeV}/\mu\text{m}$  et le  $DLI \approx 4500 \text{ paires d'ions par } \mu\text{m}$ .

## ③ Interaction des photons avec la matière (X ou $\gamma$ )

Dans le diffusé, une partie est absorbée et l'autre transmise



$$W_i = W_T + W_A + W_D$$

L'énergie perdue par le faisceau lorsqu'il traverse l'écran :  
énergie absorbée + énergie diffusée. ( $W_A + W_D$ )

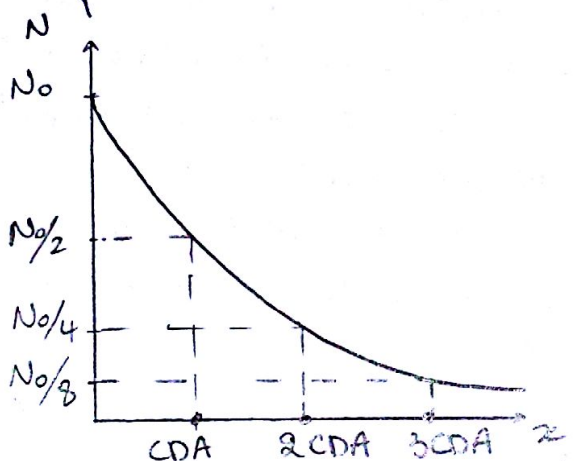
### A/ Coefficient d'atténuation ( $N_0$ )

Soit  $N_0$  le nombre total de photons monoénergétiques (de même énergie) arrivant sur l'écran et  $N_x$  le nombre de photons transmis qui ont traversé une épaisseur  $x$  du matériau de l'écran.  $N_x = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$

$\mu$  : coefficient d'atténuation exprimé en ( $\text{cm}^{-1}$ )  
linéaire

On utilise souvent le rapport  $\frac{\mu}{\rho}$  appelé coefficient massique d'atténuation.  
 $\rho$  : masse volumique

Le nombre de photons transmis décroît de manière exponentielle.



CDA : couche de demi atténuation

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$$N_{\text{CDA}} = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot \text{CDA}}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot \text{CDA}}$$

$$\Rightarrow \text{CDA} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

### B/ Couche de demi atténuation :

On appelle CDA l'épaisseur que doit avoir l'écran pour que le nombre de photons transmis soit la moitié des photons incidents.

### C/ Les 5 interactions élémentaires :

Parmi les 5, deux ont un intérêt médical important : l'effet photoélectrique, et l'effet Compton.

1- Effet photoélectrique : il résulte du transfert de la totalité de l'énergie du photon incident sur un électron de l'un des atomes de la cible. L'électron expulsé de l'atome avec une énergie cinétique  $E_c = ?$  est appelé photoélectron. Il épuise son énergie en ionisation et excitation. Cette énergie est totalement absorbée dans la cible.

La place laissée vacante va être comblée par les électrons de couches plus externes ou par un électron extérieur à l'atome. Ce remplacement s'accompagne d'une libération d'énergie. Cette énergie peut être soit diffusée sous forme de photons de fluorescence soit communiquée à un électron périphérique : l'électron Auger. Cet effet Auger entre en compétition avec l'émission d'un photon de fluorescence (c'est l'effet Auger qui prédomine)

On peut définir un coefficient d'atténuation linéaire lié à l'effet photoélectrique  $\tau$  de photon d'énergie  $E$ .

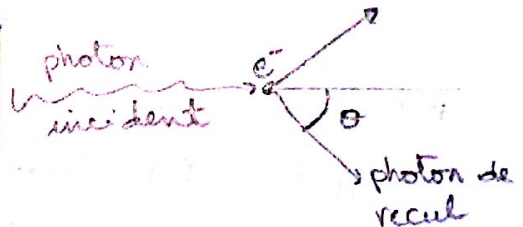
$$\tau = K \cdot \frac{Z^3}{E^3} \quad \text{: Loi de Bragg et Pièce.}$$

masse volumique

**2. Effet Compton:** Il résulte de l'interaction entre un photon incident d'énergie  $E$  et un électron libre ou faiblement lié à la cible dont l'énergie de liaison et l'énergie cinétique sont négligeables devant  $E$ . Au cours de cette interaction dite collision, l'électron Compton requiert une énergie cinétique  $W_e$  et un photon diffusé dit photon de recul est émis avec une énergie  $E_r$  dans une direction faisant un angle  $\theta$  avec la direction du photon incident.

Les formules compt

$$W_e = E \left( 1 - \left( 1 + \frac{E}{mc^2} \right)^{-1} (1 - \cos \theta) \right)^2$$



$$E_r = E - W_e$$

L'électron Compton est toujours projeté vers l'avant par rapport à la direction mais les photons de recul peuvent être émis vers l'arrière.

### 3. Autres types d'interactions:

\* **Diffusion de Thomson Rayleigh:** dans ce cas le photon incident est absorbé par la cible et réémis dans une direction différente sans changement de longueur d'onde. Se voit pour les photons peu énergétiques.

\* **Création de paires ou matérialisation:** se produit pour des photons très énergétiques qui passent à proximité du

noyau. Le photon incident se matérialise sous la forme d'un électron et d'un positon de même masse et de même énergie cinétique. L'électron et le positon épuisent leurs énergies cinétiques en ionisations et excitations.

Énergie du photon incident →  $E = 2mc^2 + 2E_c$

Le positon se combine à un électron en une réaction d'annihilation: Le positon et l'électron donnent deux photons d'énergie 511 KeV qui diffusent dans deux directions opposées.

\* Réactions photonucléaires: pour des énergies très élevées supérieures à 10 MeV