

ATTENUATION DES PHOTONS

I. Loi d'atténuation

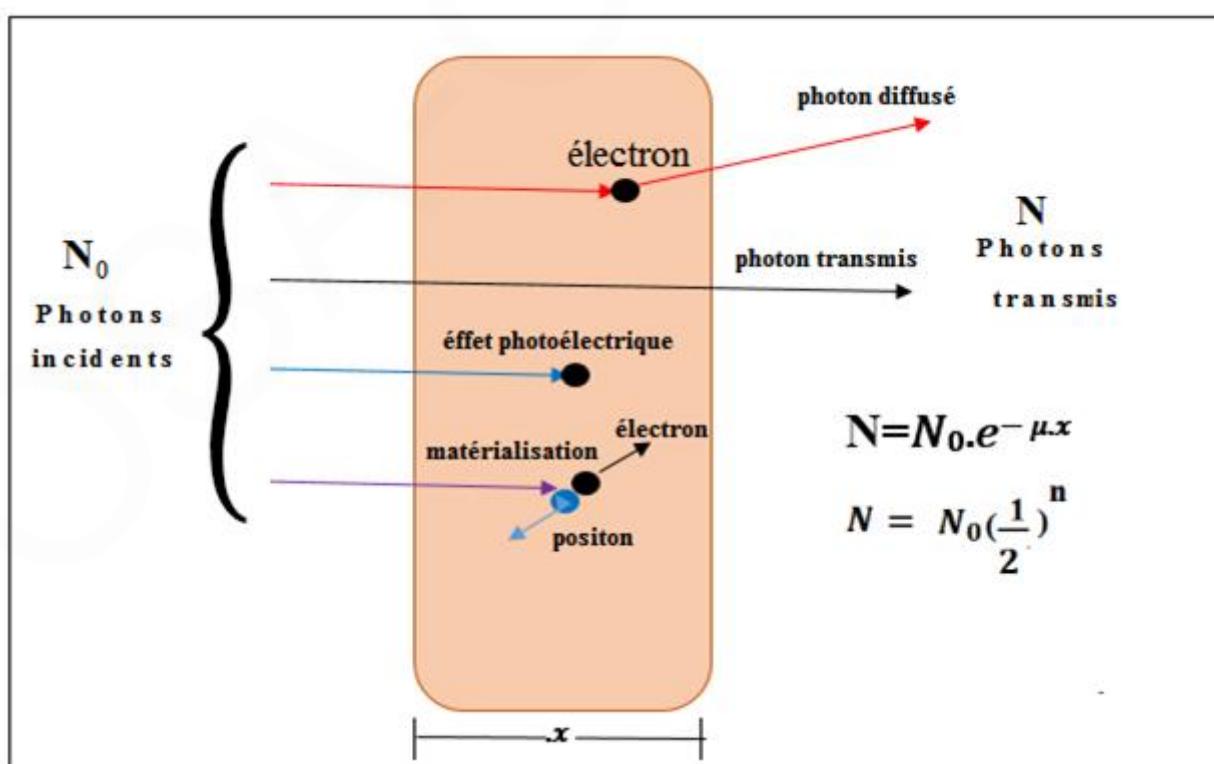
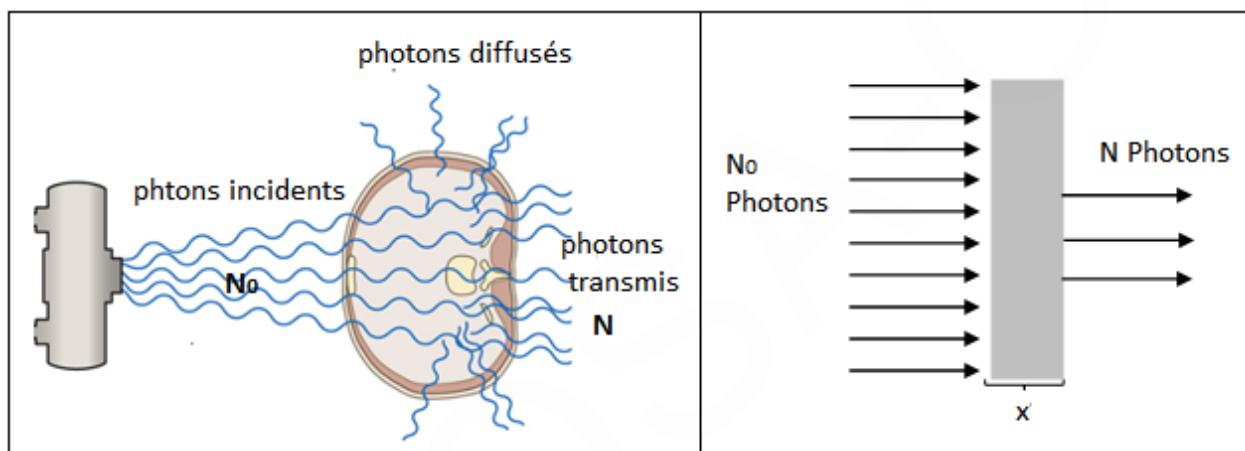
A l'œil nu, la matière semble "pleine", mais plutôt c'est beaucoup de vide ; En fait, à l'échelle atomique, la distance noyau-électron est égale à 100 000 fois le diamètre du noyau.

Cette caractéristique de la matière permet aux photons composants les rayonnements, de les traverser sans interaction et émerger en conservant toutes leurs caractéristiques. Les rayons qui ne cheminent pas dans ces "espaces libres" interagissent avec la matière dans laquelle ils sont totalement ou partiellement absorbés.

Un faisceau de photons traversant un milieu matériel, en ressort atténué suite aux différentes interactions des photons avec les atomes du milieu traversé ; Un certain nombre de photons est arrêté (photons absorbés), un autre nombre est dévié (photons diffusés), le restant (photons transmis) émerge du milieu dans la même direction de propagation. On parle d'atténuation du faisceau.

Le caractère aléatoire des interactions des photons avec la matière, conduit à une loi exponentielle donnée par :

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



N_0 = nombre de photons incidents.

N = nombre de photons transmis.

x = épaisseur du milieu traversé.

μ = coefficient linéaire d'atténuation (cm^{-1}) ou d'affaiblissement; Il représente la probabilité d'interaction d'un photon par unité d'épaisseur traversée, et dépend de l'énergie des photons incidents et de la nature du matériau.

Cette loi peut être donnée sous différentes formes :

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\Phi_0 e^{-\mu x}$$

I = intensité de la radiation.

Φ = puissance de la radiation.

Le nombre de photons atténués est donné par : $\Delta N = N_0 - N \quad \Delta N = N_0 (1 - e^{-\mu x})$

Remarque : les photons transmis sont identiques aux photons incidents, c'est-à-dire qu'ils ont les mêmes caractéristiques (énergie ...).

Remarque : Au contraire des particules chargées, qui cèdent progressivement leur énergie à la matière au cours d'interactions successives, les rayonnements électromagnétiques disparaissent brutalement à la suite d'une interaction. On ne peut plus parler de ralentissement, il faut la substituer par la notion d'atténuation en nombre de photons.

Autre forme de la Loi d'atténuation :

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad \text{on a } CDA = \ln 2 / \mu \Rightarrow \mu = \ln 2 / CDA$$

$$\Rightarrow N = N_0 e^{-\ln 2 \cdot x / CDA} \Rightarrow N = N_0 (e^{\ln 2})^{-x / CDA}$$

$$N = \frac{N_0}{(e^{\ln 2})^{x / CDA}} \Rightarrow N = \frac{N_0}{2^{x / CDA}}$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{x / CDA}$$

$$\text{on pose } n = \frac{x}{CDA} \Rightarrow N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

n = nombre de CDA

	30 keV	100 keV	500 keV
air	25 m	35 m	60 m
eau (liquide)	2 cm	4 cm	7 cm
béton	3 mm	2 cm	4 cm
plomb	0,02 mm	0,1 mm	4 mm

Ordre de grandeur de la CDA

Cas de plusieurs milieux :

Si le faisceau traverse plusieurs milieux de coefficients d'atténuation différents : $(\mu_1, x_1 ; \mu_2, x_2 ; \mu_3, x_3 \dots)$, le nombre de rayons émergeants est donné par :

$$N = N_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3 + \dots)}$$

II. Absorption différentielle :

Les rayons X traversent assez facilement les tissus biologiques, mais sont absorbés différemment par les os, les muscles, les poumons, les dents... qui apparaissent avec un contraste différent sur les radiographies.

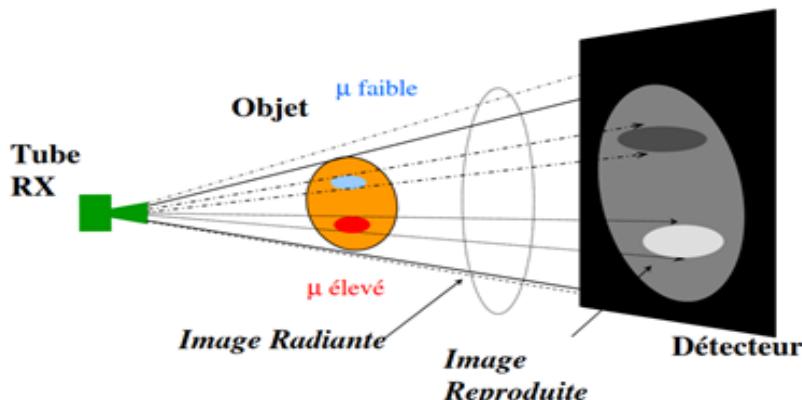
La formation de l'image est le résultat de l'absorption différentielle du faisceau de rayons X, lorsqu'il interagit avec le tissu anatomique.

L'image radiologique n'est pas l'image de l'objet lui-même mais la projection sur un plan des valeurs μ des coefficients d'atténuation de chaque structure atteinte par les rayons X.

Seuls les photons transmis constituent le rayonnement utile (l'image), les photons diffusés diminuent la qualité de l'image (flou).

L'image radiologique

Image de l'atténuation d'un faisceau de rayons X par le tissu traversé



III. Coefficient massique d'atténuation

le coefficient linéaire d'atténuation ne peut traduire exactement le phénomène d'atténuation puisque le nombre de photons qui interagissent et qui émergent dépend non seulement de la nature du milieu traversé mais aussi de son état physique (gaz, liquide ou solide), Ainsi le coefficient d'atténuation que présente à une radiation l'eau à l'état solide est plus grand que celui de l'état liquide qui est lui aussi plus grand que celui de l'état gazeux ; pour en tenir compte on introduit donc le coefficient massique d'atténuation.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$$[\mu_m] = \text{cm}^2/\text{g}$$

μ_m = coefficient massique d'atténuation.

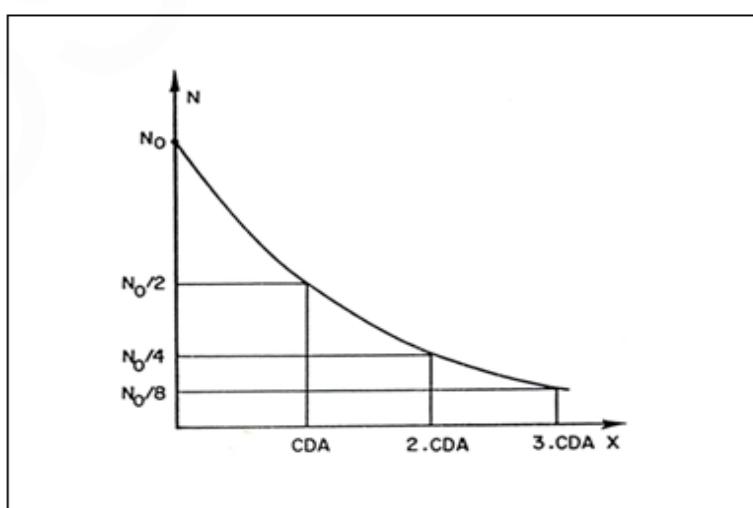
ρ = masse volumique.

IV. Couche de demi-atténuation (CDA):

On appelle couche de demi-atténuation (CDA) ou épaisseur moitié ($X_{1/2}$), l'épaisseur de matériau atténuant le faisceau incident d'un facteur 2 (de moitié).

$$x = CDA \rightarrow N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\mu \cdot CDA} \rightarrow N = N_0 e^{-\mu \cdot CDA} \rightarrow CDA = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Si on trace la variation du nombre de photons ; on obtient la courbe ci-dessous.



Remarque : selon la courbe ci-dessus, un faisceau de photons n'est jamais totalement arrêté, il est seulement atténué.

V. Libre parcours moyen

Le libre parcours moyen est la distance moyenne, traversée par les photons avant d'interagir, il est égal à l'inverse du coefficient linéique d'atténuation et correspond à une épaisseur qui transmis 37% des photons incidents ($\frac{N}{N_0} = \frac{1}{e} = 0,37$) $x_l = \frac{1}{\mu}$

VI. Atténuation

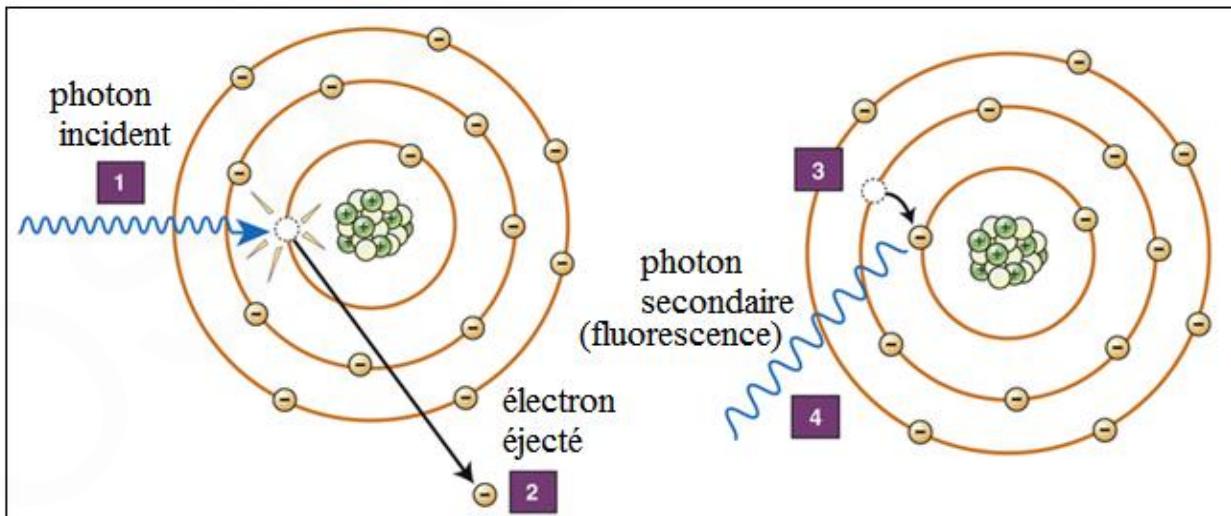
On appelle atténuation le rapport du nombre de photons atténués par le nombre initial de photons incidents, elle représente le pourcentage des photons atténués, elle est donnée par :

$$A = \frac{\Delta N}{N_0} \quad A = \frac{N_0 - N}{N_0} \quad A = 1 - e^{-\mu \cdot x} \quad A = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

VII. Interactions rayonnement-matière

L'interaction des photons avec les atomes se fait selon trois effets principaux:

1- Effet photoélectrique (interaction inélastique): le photon incident est totalement absorbé, son énergie E est transférée à un électron d'une couche interne (photoélectron). L'électron est alors éjecté du cortège électronique de l'atome avec une énergie cinétique $E_c = E - W_L$. L'électron expulsé, appelé Photoélectron, épuise son énergie cinétique en ionisations et excitations. La vacance créée dans la couche interne est comblée par un électron issu d'une couche plus externe. Le passage d'un électron d'une couche supérieure à une couche inférieure donne naissance à un photon dit de fluorescence d'énergie égale à la différence des énergies des deux niveaux, ce photon de fluorescence peut à son tour arracher un électron d'une autre couche : l'électron arraché est dit électron Auger.



2- Effet Compton (interaction élastique): une partie de l'énergie du photon incident est transférée à un électron d'une couche périphérique. L'énergie incidente se trouve donc répartie entre l'électron Compton et le photon diffusé