

**PAES**

Date : 18/oct/2012

Professeur :Magné

Nombre de pages :12

**2012-2013**



# *Biophysique*

Intitulé du cours : Les interactions des rayonnements ionisants

**Rédacteur :\*\*\*\* Odélla Zemour\*\*\*\***

**Ronéo n° :**

Corporation des  
Carabins

Niçois

UFR Médecine  
28, av. de Valombrese  
06107 Nice Cedex 2  
[www.carabinsnicois.com](http://www.carabinsnicois.com)

*Partenaires*



**La médicale**  
assure les professionnels de santé

## Chapitre n°2 :

### Les interactions des rayonnements ionisants avec la matière

Nous avons eu un premier cours traitant des particules, ondes et atome (Cf : première ronéo)

Maintenant, nous traiterons des interactions des rayonnements ionisants avec la matière

#### Introduction :

Dans le cadre de la « biophysique » c'est à dire de la « physique appliquée a la médecine » ce qu'il faut comprendre du mot « interaction » :

C'est une **action ENTRE**

- une particule incidente
- et une particule du milieu matériel vivant ou inerte

L'étude de ces interactions est intéressante a double titre :

- 1) c'est **PARCE QU'IL Y A DES INTERACTIONS** entre des rayonnements constituer par des faisceaux de particules et le milieu matériel que l'on peut détecter les rayonnements. C'est important dans le milieu médical puisque c'est de la détection de ces rayonnements que l'on peut créer des images aussi bien en radiologie qu'en médecine nucléaire.

Petit aparté du prof :

*« je parle assez lentement pour que vous puissiez écrire parce que tout ce que je dis est important pour la suite mais surtout pour le concours » ... A bon entendre !*

- 2) c'est dans tout ce qui concerne les applications de la radiobiologie c'est a dire l'utilisation de ces faisceaux de particules pour traiter des tumeurs ce qui est l'objet de la radiothérapie et de la Curiethérapie (Curie comme Marie Curie)

#### Sémantique :

La différence que l'on fait en physique ou en biophysique entre les particules et donc les rayonnements de particules et les rayonnements particuliers :

On utilise le nom de « **Particulaire** » : chaque fois que la particule possède une masse réelle.

A contrario, on réserve le nom de **particule** à la particule qui n'a pas de masse au repos

Autrement dit, dans cette définition, un photon est une **particule** que ce soit le photon X ou gamma peu importe.

Par contre, un faisceau constitué d'électron, de neutron ou de proton est un faisceau **particulaire**.

### I) Interactions élémentaires

Il y aura interaction lorsque une particule du rayonnement incident « *percute* » un élément du milieu matériel. La matière est essentiellement constituée de vide.

L'élément qu'on a le plus de chance de rencontrer dans la matière est un électron

On aura donc des interactions principalement entre la particule incidente et un électron du milieu.

C'est au cours de ces collisions entre la particule incidente et l'électron du milieu que se produiront des transferts d'énergie entre l'énergie cinétique de la particule incidente et le milieu matériel.

On verra que ce transfert à deux grandes conséquences :

- 1) soit une ionisation
- 2) soit une excitation

de l'atome qui est percuté par la particule incidente.

Bien entendu, l'atome ayant reçu un excédent d'énergie cherchera à retrouver sa stabilité en se « débarrassant » de son excédent d'énergie.

### **REMARQUE (TRES IMPORTANTE) ++**

Lorsque l'on considère les interactions des particules (au sens général) avec la matière il est impératif de distinguer deux types de particules :

1) **Les particules chargées** qui possèdent une charge électrique :

( $e^-$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $p^+$ , éventuellement (encore au stade de la recherche)  $\alpha^{++}$ ).

Lorsqu'elles vont pénétrer dans la matière, qui est globalement neutre, mais, dans le détail est une succession d'électrons de charge négative et de noyaux positifs, il y aura donc, si la particule est chargée, une attraction ou une répulsion obligatoire entre la particule chargée et le milieu incident.

Ce caractère des interactions obligatoires a pour conséquence qu'il y a un **transfert direct** de l'énergie de la particule incidente au milieu matériel.

2) **Les particules non chargées** :

Photon X et gamma / le neutron (non chargé par définition)

Quand elles pénètrent la matière puisqu'elles ne sont pas chargées il n'y aura ni attraction ni répulsion.

D'emblée, les interactions avec les atomes du milieu seront tout à fait aléatoires.

On ne pourra les étudier que d'un point de vue statistique et le mot savant pour caractériser ce type d'interaction : **interaction stochastique**

Si on considère ces interactions : l'énergie déposée dans le milieu se fait indirectement soit par le biais des électrons mis en présence (pour les particules légères) soit par le biais de ce qu'on appelle les protons de recul lorsque les neutrons percutent les noyaux.

Pour étudier les interactions on décide que la particule du faisceau incident est un photon.

Plan :

On étudiera l'absorption de ce photon par excitation puis ionisation :

**A) Absorption par excitation**

**B) Absorption par ionisation**

On verra comment se désexcite l'atome excité :


**C) Emission par fluorescence**

**D) Emission Auger**

### **Convention d'écriture :**

Energie de l'électron =  $W_i$

Energie de liaison =  $I$   $W_i$   $I$  = valeur absolue de l'énergie de l'électron

Photon d'énergie  $E = h\nu$  / représentation 

### **A) L'étude de l'absorption par excitation**

Si l'énergie du photon est inférieure à l'énergie de liaison de l'électron sur la couche  $i$ , il ne se passe, a priori, rien.

Mais, si l'énergie apportée correspond exactement à la différence d'énergie de liaison entre la couche  $i$  et  $j$ , il y a excitation et on passe donc de la couche  $i$  à la couche  $j$ .

L'atome se trouve donc avec un excédent d'énergie noté

$$E = |W_i| - |W_j|$$

**B) Absorption par ionisation**

Le photon dont l'énergie est supérieure à l'énergie de liaison de l'électron l'« arrache ». L'électron quitte l'atome et est expulsé avec une énergie cinétique T.

L'énergie  $E = h\nu$  se répartit en énergie consacrée à arracher l'électron (l'énergie de liaison) et l'énergie cinétique T.  
D'où

$$|W_i| + T = E = h\nu \quad \text{et} \quad T = h\nu - |W_i|$$

**C) Emission d'un photon de fluorescence**

Soit par excitation, soit par ionisation l'atome a un excédent d'énergie.

Il n'est plus dans un état fondamental.

Il va donc chercher à y revenir.

Si le retour se fait après une **ionisation**, il y aura émission d'un photon de désexcitation ou de fluorescence.

On retrouve l'énergie  $E = h\nu$  du photon de fluorescence.

Si l'excédent d'énergie résulte d'une **excitation**, le photon aura la valeur de la différence des 2 niveaux

$$\text{d'énergie} \quad E = |W_i| - |W_j|$$

Nous venons d'étudier le cas le plus simple avec un seul électron.

Mais on peut avoir des retours en cascade de réarrangements électroniques.

Ex : Quand on a une ionisation l'excès d'énergie  $E = |W_i|$

$$E_1 + E_2 + E_3 = |W_i| - |W_j| + |W_j| - |W_h| + |W_h|$$

Peut se réécrire  $= |W_i|$  - Dans le cas de

l'excitation où l'électron va de la couche i à h, l'excès d'énergie  $E = |W_i| - |W_h|$ .

$$E_1 + E_2 = |W_i| - |W_j| + |W_j| - |W_h|$$

Peut se réécrire  $= |W_i| - |W_h|$

En fait le retour à l'état fondamental se fait en plusieurs étapes avec à chaque fois une émission d'un photon.

Autrement dit, l'électron ne retourne pas directement à sa place et en simplifiant, nous retrouvons bien la bonne valeur de E.

**D) Emission d'un photon Auger**

**ERRATA COURS EN LIGNE page 10, ce qu'il faut comprendre:**

Un photon de fluorescence peut produire lui-même une expulsion de l'électron de l'atome qui lui a donné naissance.

Après ionisation :  $E = |W_i|$  et  $T = h\nu - |W_x| = |W_i| - |W_x|$

Après excitation :  $E = |W_i| - |W_j|$  et  $T = h\nu - |W_x| = (|W_i| - |W_j|) - |W_x|$

Ce phénomène ne peut être permis que si les énergies de liaison ne sont pas trop importantes.

L'émission du photon Auger est un phénomène qui concerne à la fois les électrons les plus éloignés du noyau = « **électron périphérique** » et, évidemment, les **atomes légers**.

### E) La définition des rayonnements ionisants (RI)

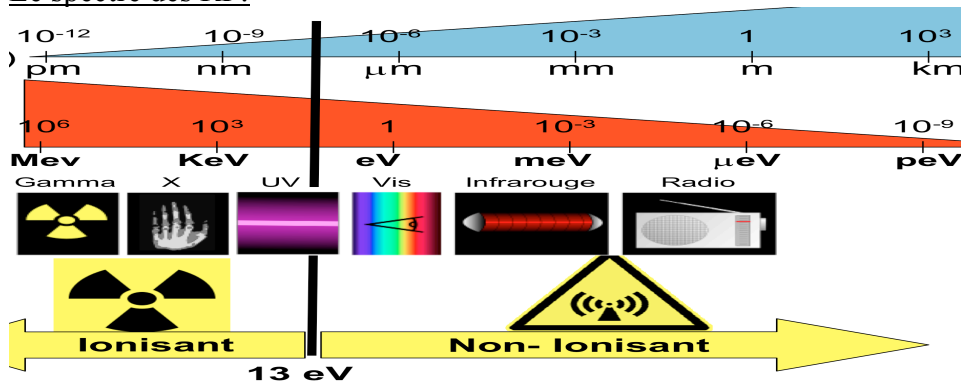
Le RI est un rayonnement de particules chargées ou non chargées, capables d'arracher des électrons à la matière et donc, de créer des ions. D'où la nomination de rayonnement IONISANT (qui crée des ions).

Quelques valeurs des énergies de liaison :

Pour l'eau on a la valeur approximative de **13,6 eV**.

Cette valeur correspond **au seuil à partir duquel un rayonnement ionisant pourra arracher un électron à une particule d'eau.**

Le spectre des RI :



- Le gros trait noir correspond à la valeur seuil arrondie à 13 eV.

- À droite on aura des valeurs inférieures = rayonnement non ionisant (début UV / tout le visible/gamma et X)

Attention ce n'est pas parce qu'ils ne sont pas ionisants qu'ils ne seront pas producteurs de chaleur (N.B : je ne vois pas ce que ça viens faire ici mais comme il a préciser ça, et que tout est important dans le cours d'après le professeur...)

- À gauche on aura des valeurs supérieures au seuil, ce sera donc des rayonnements ionisants.

### REMARQUE (+++++ IMPORTANT +++++)

Ce schéma est caricatural en ce qui concerne les photons X et gamma.

Ici on doit faire la distinction des photons X et gamma en fonction de l'énergie mais cela ne correspond pas à la réalité des choses.

On pourra utiliser des photons X en radio thérapie qui ont une énergie de 20 MeV

Alors qu'on aura des photons gamma utilisés, de 140 keV.

C'est donc par l'origine de ces photons qu'on doit les différencier.

**Les gammas proviennent des noyaux.**

**Les X de l'extérieur des noyaux.**

$$E = \frac{1240}{\lambda}$$

Rappel Loi de Duane et Hunt

Attention lambda est en nm !!

## II) LES INTERACTIONS DES PHOTONS

### A) La loi d'atténuation des photons dans la matière

Le photon n'a pas de charge.

Quand il va pénétrer dans la matière ses interactions dans le milieu sont aléatoires.

Pour résoudre le problème, on va écrire sous forme d'équation différentielle.

Le nombre élémentaire  $dN$  arrêté par l'épaisseur  $dX$  est proportionnelle à  $N$  (nombre de photon susceptibles

d'être arrêté) que multiplie un coefficient  $\mu$  (lire :  $\mu$ /probabilité d'interaction).  
Comme il y a disparition des photons dans l'équation on met un signe « - »

On écrit alors :

$$dN/dX = (-\mu N) \quad (\text{explique mieux le phénomène}) \quad \text{ou} \quad -dN = \mu N dx$$

$$N(x) = N(0)e^{-\mu x}$$

Cette équation différentielle on va l'intégrer et on obtiendra :  
Attention ceci correspond à l'écriture de la forme intégrée !!

On aura une décroissance exponentielle c'est à dire que  $N(x)$  n'atteindra jamais 0.

C'est un axe asymptotique à l'axe des abscisses.

Si on veut être sûr à 100% d'arrêter un faisceau X ou gamma il faudra mettre une épaisseur de plomb infinie.

On ne peut **qu'atténuer** le faisceau.

À l'inverse, on n'aura pas la même courbe pour la particule chargée.

Il existe une épaisseur finie qui arrêtera à 100% le faisceau de particules chargées.

\* Les différentes expressions de  $\mu$  = coefficient linéique d'atténuation  
Le coefficient d'une exponentielle doit être sans unité.

Donc il faut que  $\mu$  soit l'inverse d'une hauteur.

Donc la dimension de  $\mu$  est en  $L^{-1}$

Alors si  $x$  est en cm  $\mu$  est en  $cm^{-1}$ ...

Ce  $\mu$  va dépendre de 2 choses :

- essentiellement du milieu et de l'énergie du photon
- et en plus de l'état comprimé ou non du milieu.

Le problème dans le corps humain c'est que c'est difficile de mesurer  $X$ .

Par contre à la suite d'une opération où on enlève un organe on pourra le faire (mesurer / peser l'organe...)

$$N(x) = N(0)e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$$

On devra alors définir une autre équation notée

Où  $\mu/\rho$  = coefficient **massique** d'atténuation.

L'épaisseur ne sera plus classique mais exprimée en masse surfacique soit le rapport de la masse sur la surface.

On aboutit donc à une autre façon d'exprimer la loi d'atténuation.

Avec une épaisseur exprimée en  $cm^2.kg^{-1}$  puisque l'exponentielle est toujours sans dimension.

**\* La couche de demi atténuation CDA**

Nouvelle notion !

$$N(x) = N(0)e^{-\mu x}$$

Quand on considère la loi d'atténuation

Le  $N(x)$  correspond au nombre de photons qui a traversé l'épaisseur  $x$ .

**C'est ce qui sort de la matière.**

La CDA correspond à l'épaisseur qui diminue le flux sortant d'un facteur 2.

**On remplace donc  $x$  par  $N(0)/2$  qui correspond à la CDA.**

$$\frac{N(0)}{2} = N(0)e^{-\mu \text{CDA}}$$

On aboutira à la fin, après simplification à :

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

(++ Objet de pas mal d'exercice)

Sur un diagramme on aura la décroissance exponentielle  $N$  en fonction de l'épaisseur  $x$  rencontrée.

**On a une loi exponentielle asymptotique des axes des  $x$**

Donc pour  $1\text{CDA} = N(0)/2$  mais on peut faire aussi pour 2, 3 ... CDA

$$N(k\text{CDA}) = N(0)\left(\frac{1}{2}\right)^k = \frac{N(0)}{2^k}$$

La loi s'écrit alors après  $k\text{CDA}$  :

$x$	$N(x)/N(0)$	%
<b>CDA</b>	<b>1/2</b>	<b>50</b>
<b>2CDA</b>	<b>(1/2)<sup>2</sup></b>	<b>25</b>
<b>3CDA</b>	<b>(1/2)<sup>3</sup></b>	<b>12,5</b>
<b>10CDA</b>	<b>1/1024</b>	<b>0,1</b>
<b>nCDA</b>	<b>(1/2)<sup>n</sup></b>	

Au bout de  $n\text{CDA}$  on aura  $(1/2)^n$

Par ce tableau, nous constatons que **l'atténuation sera totale au bout de 10 CDA.**

Donc on devra calculer 10 CDA pour **ATTENUER** les photons gamma.

**B) Mécanismes de l'atténuation****1) Premier : atténuation par effet photo électrique**

La totalité de l'énergie du photon incident est transmise à un électron qui est expulsé avec une énergie cinétique égale à la différence entre l'énergie du photon et l'énergie de liaison sur la couche  $i$ .

Puisqu'il y a ionisation (expulsion d'un électron) il y aura un excédent d'énergie

Et un retour à l'état d'équilibre de l'atome par émission d'un photon de fluorescence ou e- Auger.

L'électron dans la matière aura des interactions avec les électrons du milieu ou les noyaux.

Donc l'électron aura une trajectoire dans le milieu.

Toute l'énergie de l'électron mis en mouvement sera absorbée par la matière

**\* On décompose  $\mu$  le coefficient linéique d'atténuation en 3 coefficients :**

$\tau$  = probabilité d'interaction par effet photo électrique

$\sigma$  : Probabilité d'interaction par effet Compton

$\pi$  : Probabilité d'interaction par effet de création de paire

Ces 3 coefficients correspondent à des probabilité d'interaction.

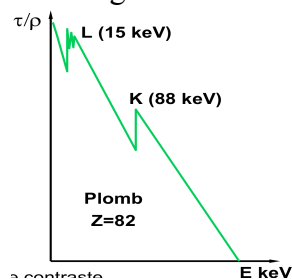
Ainsi, La probabilité pour qu'il y est une interaction par effet photo électrique s'écrit :

$$\frac{\tau}{\rho} = k \frac{Z^3}{(h\nu)^3}$$

Nous remarquons que :

- plus  $Z$  est élevé plus la probabilité d'interaction par effet photo électrique est grande . Donc tous les éléments lourds !!
- plus  $h\nu$  est petit plus  $\frac{\tau}{\rho}$  sera grand.  
Donc maximal pour les photons d'énergie faible !!

Si on étudie le spectre de  $\frac{\tau}{\rho}$  en fonction de l'énergie en keV pour le plomb ,il apparaît des pics qui correspondent le plus souvent aux énergies des électrons des couches K et L.



Si on étudie différents éléments de  $Z$  différent (H/C/Ca...) on peut constater que Jusqu'au Ca= 20 l'effet photo-électrique est peu probable

Pour l' Iode et le baryum au  $Z$  élevé on aura 2 produits de contraste qui sont utilisés en radiologie lorsque les contrastes naturels seront insuffisant

- par injection d'une solution iodée on pourra mettre en évidence par ex tout le système vasculaire d'un patient
- Avec une solution de barrique (sulfate de baryum) on pourra mieux visualiser tout le système gastro-intestinal

## 2) Deuxième mécanisme d'atténuation : Effet Compton

La totalité du photon incident n'est que transférée partiellement à l'électron mis en mouvement .

Une partie de l'énergie est diffusée sous forme d'un autre photon d'énergie inférieure qui fait un angle  $\theta$  avec

$$h\nu_1 = T + h\nu_2 + |W_1|$$

la direction initiale du photon.

Et l'électron emporte l'énergie cinétique  $T$ . On aura donc l'égalité suivante :

$$\frac{E \text{ absorbée}}{E \text{ diffusée}} = \frac{T}{h\nu_2} = \frac{h\nu_1(1 - \cos \theta)}{mc^2}$$

- A savoir qu'on parle souvent de diffusion Compton c'est un synonyme.
- On aura réarrangement électronique.
- L'électron mis en mouvement va perdre toute son énergie dans la matière
- Par contre le photon diffusé peut très bien à son tour sortir de la matière et avoir des interactions.

- Quand l'angle  $\theta$  est faible  $E_a/E_d$  est faible. On parle de choc tangentiel ou  $\theta=0$  et donc  $\cos(\theta)=1$   
 $E_a/E_d$  est presque = 0

- Si  $\theta$  est grand  $E_a/E_d$  est élevé. On parle de choc frontal ou  $\theta=\pi$  et  $\cos(\theta)=-1$   
 $E_a/E_d = 2h\nu_1/mc^2$   $T=\max$

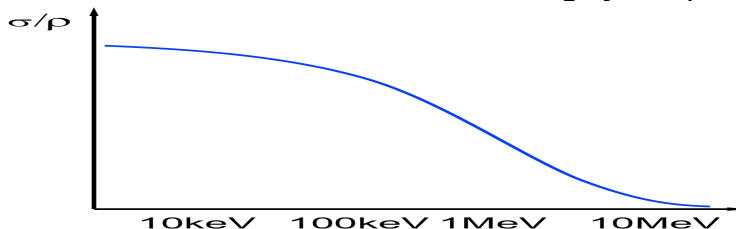
Plus  $h\nu_1$  est élevé plus le rapport est élevée.

La probabilité d'interaction par effet Compton est :

$$\sigma = k \frac{1}{\rho h\nu}$$

C'est donc pratiquement indépendant de la nature de la matière (pas  $Z$  dans l'équation)

On aura donc une courbe selon une échelle logarithmique :



### C) Autres mécanismes « anecdotiques »

#### ... La diffusion de Thomson-Raileigh

Choc tellement tangentiel qu'il y a une légère diffusion sans changement

Important pour les photons peu énergétiques.

Négligeable pour les photons X et gamma.

#### ... Effet de création de paire ou matérialisation

Quand une onde électromagnétique passe au voisinage d'un noyau, il se fait des phénomènes de résonance.

Ces phénomènes font que le paquet d'onde devient tellement compacte, qu'il a une énergie telle, qu'elle correspond à la masse d'électron positif et d'un électron négatif d'où l'effet de création de paire.

L'électron qui est créé aura le destin de tous les électrons du milieu jusqu'à disparaître.

Le  $\beta^+$  va rencontrer un  $e^-$  du milieu il y aura un effet inverse d'annihilation.

On aura la masse du  $\beta^+$  et de l' $e^-$  qui vont se transformer en photon (2 photons) qui auront pour caractéristique de partir à  $180^\circ$  l'un de l'autre et, d'emporter chacun l'équivalent de masse d'un électron.

Ce phénomène d'annihilation à partir de  $\beta^+$  est la base du fonctionnement de l'appareil, relativement récent, utilisé en particulier pour faire des diagnostics de tumeurs : une caméra tomographique par émission positronique (puisque  $\beta^+$  est un positon)

La probabilité de création de paire noté « pi » est une courbe spéciale qui commence à partir de  $1022 \text{ keV} = 2$  fois la masse de l'électron (logique ^^)

#### D) L'importance relative de ces différents effets

En ordonnée  $\mu/\rho$

En abscisse on aura NRJ

Selon un échelle logarithmique

On superpose les différentes courbes

En vert : atténuation effet photoélectrique

Bleu effet Compton

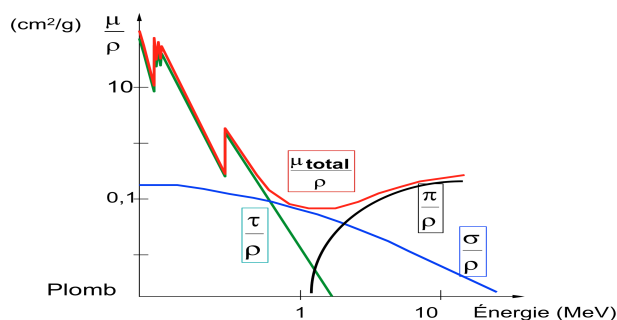
Noir effet de paire

Tous ces effets n'ont pas lieu séparément

Ils peuvent avoir lieu simultanément

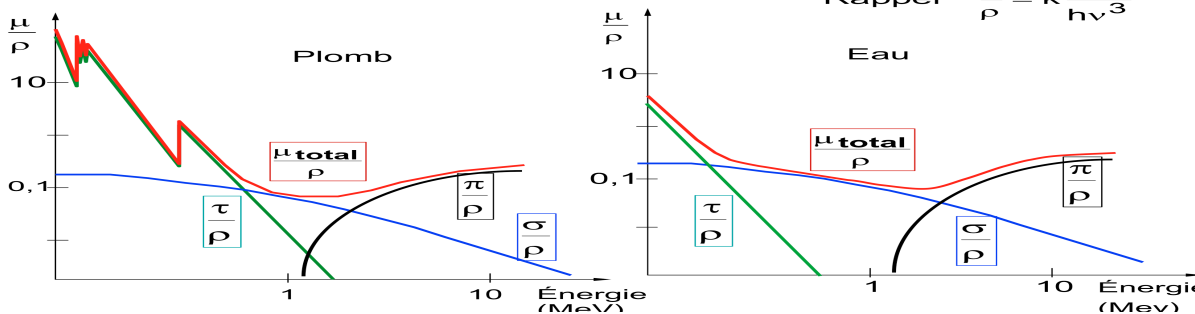
La courbe rouge est la somme de tous.

##### 2.2.3.1- Selon l'énergie



On aura 2 courbes qui montrent l'importance du milieu surtout pour l'effet Photoélectrique alors que pour les 2 autres pas d'importance du milieu

##### 2.2.3.2- Selon le milieu



### III) Interactions des rayonnements particulaires

#### A) Interactions des neutrons avec la matière

Caractère d'interaction stochastique avec la matière.

Il faut distinguer 2 types de neutrons.

1) Les neutrons rapides

Si ils percutent des noyaux lourds ils vont pratiquement « rebondir » sans perdre de l'énergie.

Par contre si il percutent des milieux légers, très dense en hydrogène il y aura un transfert maximum de l'énergie qui sera donner au proton du milieu qui sera expulsé on l'appellera :proton de recul.

Une fois que ces neutrons ont perdu leur NRJ ils deviennent des ...

2) Neutrons lents :

ils peuvent pénétrer dans le noyau . C'est ce qu'on appelle la capture radiative.

C'est l'introduction de ces neutrons dans le noyau qui permet d'une part, de faire fonctionner les réacteurs nucléaires et d'autre part, de fabriquer des radio éléments (isotopes radioactifs) ainsi que des bombes atomiques.

Parenthèse historique pour votre culture générale ;) :

*Au tout début de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale*

*France/Angleterre/Allemagne étudiait la possible fabrication d'une bombe atomique*

*Si on voulait des neutrons lents on devait avoir un ralentisseur de neutron.*

*Le mieux était de D2O (eau lourde) et on pouvait donc amorcer une bombe atomique...*

### **B) Interactions des particules chargées=proton/particule alpha**

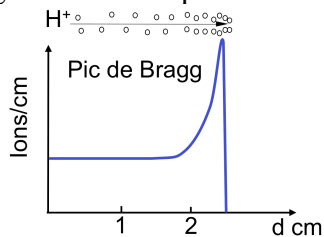
Elles cassent tous sur leur passage !!

Puis ,elles perdent leur énergie en donnant toutes leur NRJ en fin de parcours (*c'est genre une particule en mode P1 !! Elle casse tout et déchire a la fin au concours ☺*)

Ce mode d'atténuation correspond a la courbe de Bragg.

Avec un maximum d'ionisation en fin de parcours qui correspond au pic de Bragg.

Le pourcentage de l'NRJ déposé dans les Tissu en fonction de l'épaisseur des Tissu et du



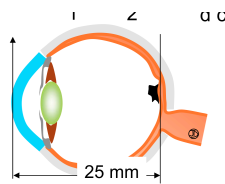
rayonnement.

Nous remarquons que l'électron dépose dès l'entrée puis décroît.

Les particules chargées sont utilisées en radio thérapie (traitement des tumeurs)

Photon x part d'une valeur minimum qui peut être déplacée en fonction de la profondeur de la tumeur.

Grâce à un accélérateur linéaire et circulaire (pour les protons) on peut faire des traitements de pointes !! (Il y en a 2 en France : Paris/Orsée/et .....Nice !! oui oui on est au top)



### **Exemple d'Application : La protonthérapie**

Mélanome de la rétine (tache noire = agressive)

Si vous constatez sur vous ou vos proches sur la peau une tâche un peu dentelée et un peu marron il faut vite aller chez le dermatologue (traitement par la chirurgie) sinon c'est directement des métastases dans le poulmon, le cerveau et puis partout dans le corps → fatal !!

Si on le diagnostique vite ,entre la cornée et la rétine on envoie sur l'œil des protons qui ont le pic de Bragg pile à 25mm donc on aura un max d'NRJ à la rétine et plus rien après (on ne touche pas le nerf optique) .

Si on réussit l'opération (90%) on a un double miracle :

1) On sauve la vue du patient

2) Et on lui sauve la vie !!

**Conclusion**

Lorsqu'ils traversent la matière les RI perdent progressivement leur énergie en y provoquant des ionisations. L'importance de ce transfert dépend du type de RI, de son énergie et des milieux traversés.

**Les particules alpha 2 charges positive**

Interaction obligatoire avec la matière arrêt par un papier.

Si elles tombent sur la peau elle ne rentre même pas dans la peau

Par contre si on l'inhale elles seront au contact des muqueuse et la c'est catastrophique.

**Par contre si bêta – (une seule charge)**

Arrêt par du T et du bois

**Par contre photon gamma**

Traverse papier/main/bois et même le plomb

Il est **atténué** jamais arrêté

Comme les X/GAMMA/NEUTRON

**Programme du prochain cours Lundi :**

Tout un exercice d'entraînement que le Pr Darcourt n'a pas mis en ligne XD

A savoir que l'ensemble des documents pdf se trouvent sur votre JALON !

**ERRATA PREMIERE RONEO DE MAGNE** pour ceux qui ne vont pas sur forum Carabins niçois (grosse erreur ☺):

« C) Le neutron

***Le neutron hors du noyau se désintègre en :  $p^+ + e^- + \text{antineutrino} + 0,78 \text{ MeV}$  »***

*Et voilà ! C'est tout pour ma première ronéo !*

*Un méga MERCI à Ludi et Daphné sans qui cette ronéo n'aurait pas pu voir le jour (oui oui je sais je suis une incompetente XD)*

*Un petit conseil pour finir : dormez, mangez (c'est important, votre cerveau travail beaucoup il vous faut des forces !!) , faites du sport (même si c'est 5 minutes par jour c'est déjà ça !!) et bien sur TRAVAILLEZ (c'est la clef de la réussite avec de la chance aussi) ☺DELIA !*