

INTERACTIONS RAYONNEMENT MATIERE

Dr. CHAKOURI M.

A decorative graphic consisting of several horizontal lines of varying lengths and colors (light blue and white) extending from the right side of the slide towards the center.

DEFINITION

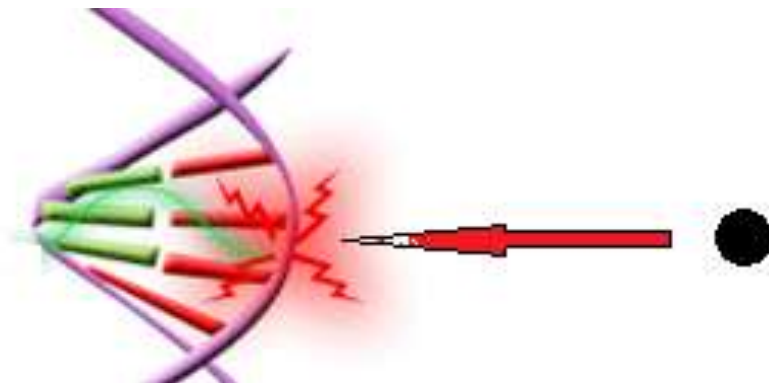
- Tout phénomène se produisant lorsqu'un rayonnement traverse un milieu quel qu'il soit.
- Se manifeste par des échanges d'énergies.
- La présence d'un tel ou tel phénomène est en fonction:
 - ✓ *nature du rayonnement (REM ou particule)*
 - ✓ *propriétés du rayonnement (chargé ou non)*
 - ✓ *caractéristiques de la matière traversée.*
- Lorsque la matière est un élément biologique (cellule, ADN...) on parle d'effet radiobiologique

PRINCIPES GENERAUX

- Lorsqu'un rayonnement pénètre dans la matière, il se produit des interactions caractérisées par des échanges d'énergies entre le rayonnement et les atomes du milieu.
- Le rayonnement dépose de l'énergie dans matière irradiés ce qui contribue a changer les propriétés de la matière (chaleur, ionisation)
- Cette énergie est prélevée de l'énergie du rayonnement
- L'interaction RM se fait soit directement ou indirectement

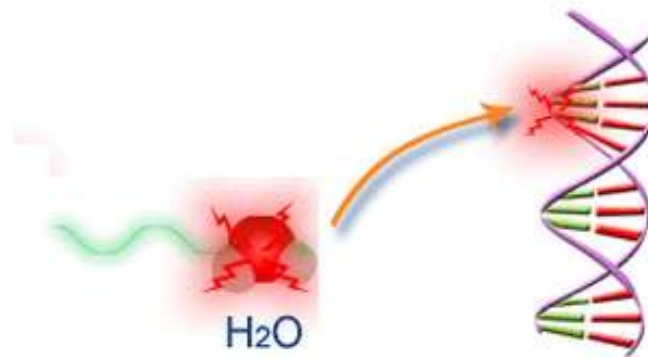
PRINCIPES GENERAUX

- Les particules α , β^+ , β^- (ions lourds chargés) seront électrostatiquement attirés ou repoussés par le milieu (e^- , proton) donc : l'interaction est obligatoire et on dit que la particule sont « directement ionisante ».



PRINCIPES GENERAUX

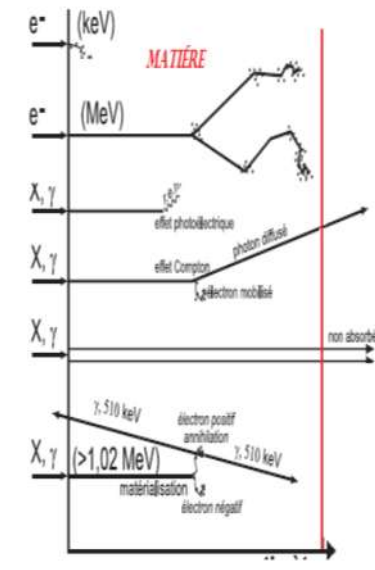
- Pour les particules non chargés comme le neutron et le photon (rayonnement électromagnétique ou REM) elles sont dites « indirectement ionisantes », l'interaction n'est plus obligatoire, elle est déterminée par le hasard de rencontre entre les particules et la matière.
- L'effet se fera par l'intermédiaire d'autres molécules



INTERACTION PHOTON MATIÈRE

Pour les photons soit:

- Il dépose toute son énergie « absorption totale »
- Il dépose une partie de son énergie et donne un « rayonnement diffusé »
- Il est transmis sans interaction et constitue alors un « rayonnement primaire »

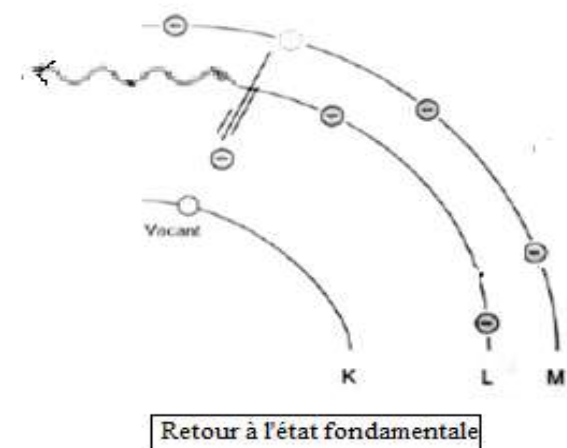
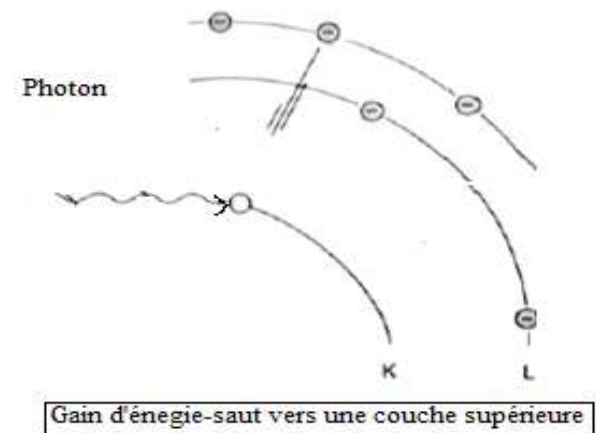


MÉCANISMES D'INTERACTION DES PHOTONS AVEC LA MATIERE

- EXCITATION
- EFFET PHOTO ELECTRIQUE
- EFFET COMPTON
- CRÉATION DE PAIRE

SIMPLE EXCITATION DE L'ATOME

- Le REM fournit de l'énergie à l'atome,
- Les électrons sont alors portés sur des orbites plus éloignées que leurs niveau fondamental
- L'atome se trouve donc dans un état excité.
- Le retour à la normale se fera par émission de fluorescence

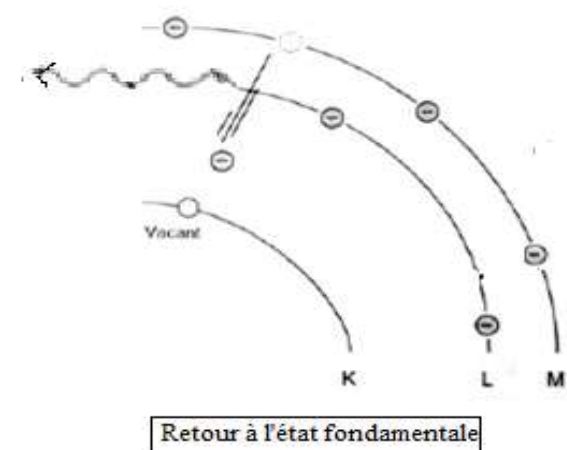
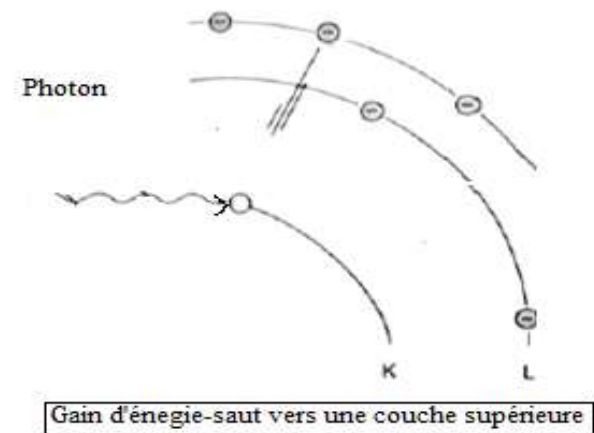


SIMPLE EXCITATION DE L'ATOME

- Se produit lorsque

$$E_{h\nu} < E_L$$

- L'électron absorbe le photon et il est élevé à un niveau énergétique supérieur
- l'énergie absorbée par l'électron ne permet pas de l'éloigner de l'atome.
- L'électron retournant à son niveau d'énergie inférieur restitue la même énergie du photon absorbé $E_{h\nu}$.



L'EFFET PHOTO ELECTRIQUE

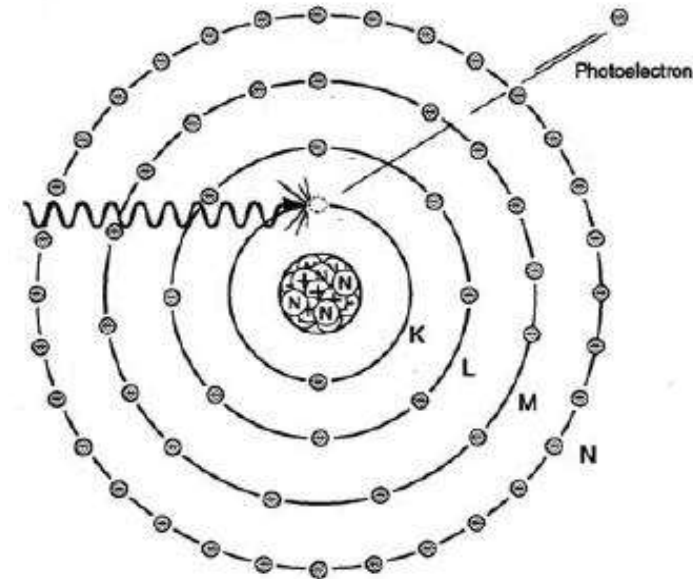
- Le photon interagit avec l'électron lié à l'atome avec

$$E_{hv} \geq E_L$$

- Le photon incident disparaît après avoir donné toute son énergie à l'électron.
- L'électron éjecté emporte une énergie cinétique

$$E_c = E_{hv} - E_L$$

- Ce mécanisme est prépondérant pour des photons d'énergies relativement faibles lorsqu'ils interagissent avec les électrons des couches profondes.



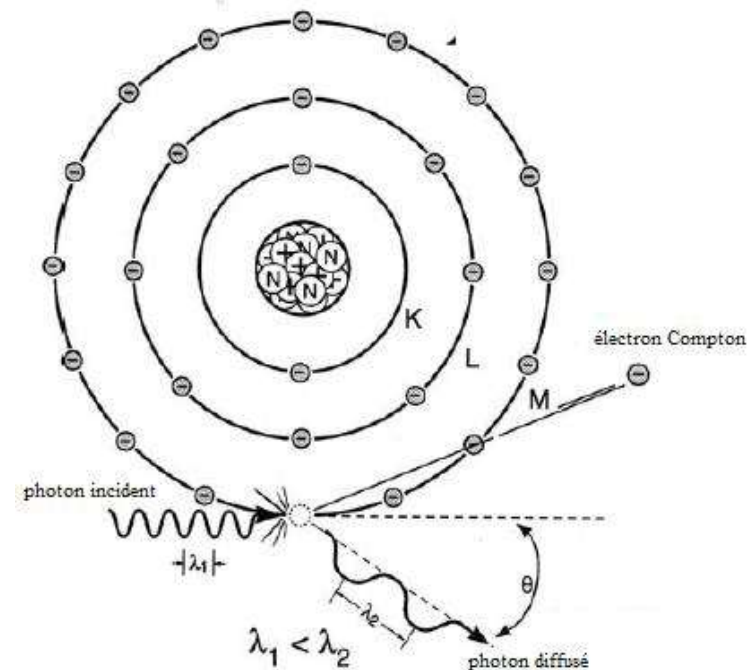
L'EFFET COMPTON

- Le photon incident tombe sur un électron avec une énergie

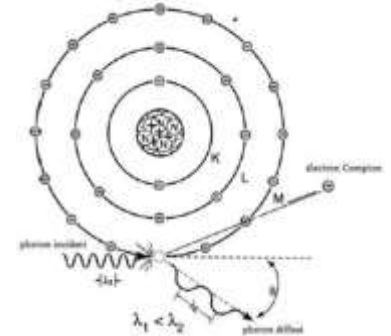
$$E_{h\nu} \gg E_L$$

- L'électron est arraché à son orbite et part dans une direction donnée avec une énergie cinétique E_c

- Le photon incident est dévié sous un certain angle en emportant le reste de l'énergie qu'il n'a pas cédé à l'électron.



L'EFFET COMPTON



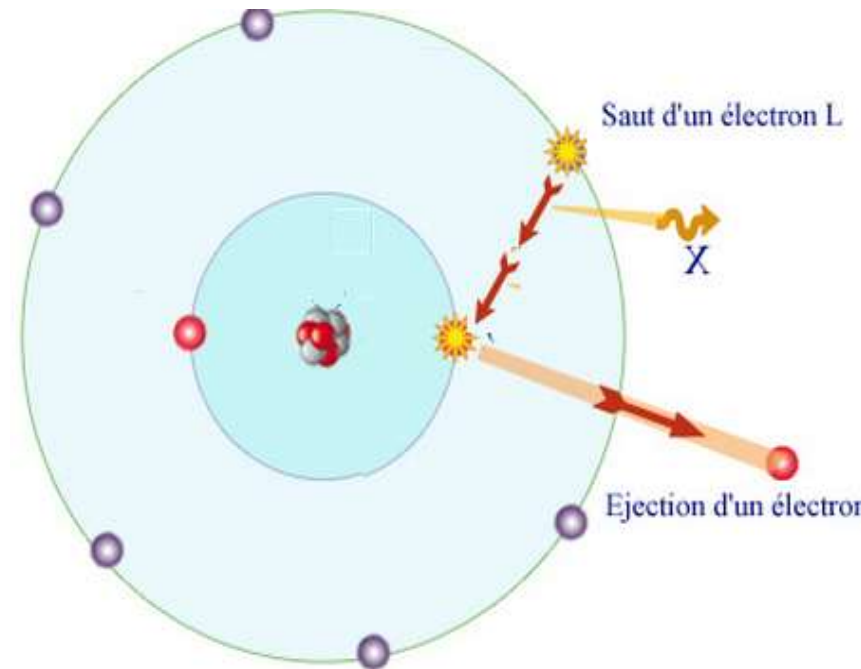
- Plus l'énergie du photon incident est élevée, plus les photons diffusés et les électrons éjectés sont émis vers l'avant, on dit antédifusés.
- L'augmentation en angström de la longueur d'onde $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ a pour expression

$$\Delta\lambda = 0,024(1 - \cos\theta)$$

- Ce mécanisme est prépondérant pour des photons de grandes énergies interagissant avec les électrons périphériques.

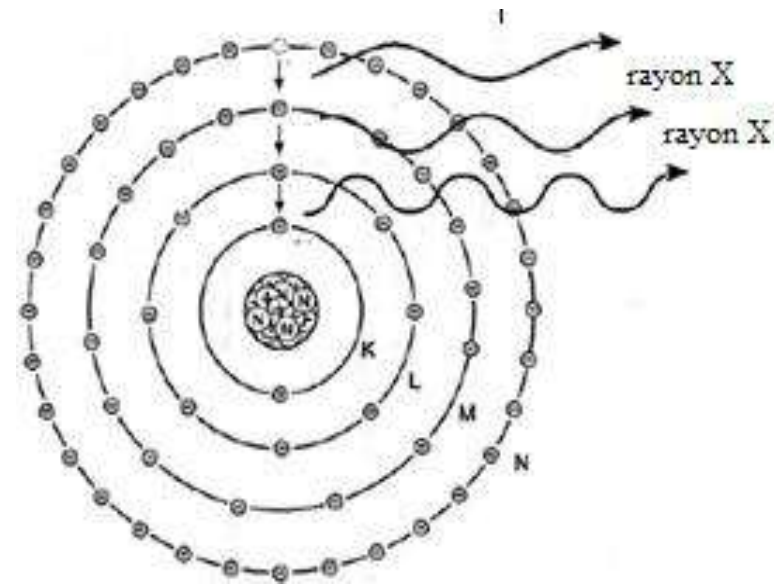
CONSEQUENCES

- Après l'expulsion de l'électron loin du cortège électronique, un électron de la couche externe vient occuper cette place vide et lui-même laissant sa place vacante qui sera inéluctablement occupé par un autre électron plus externe.



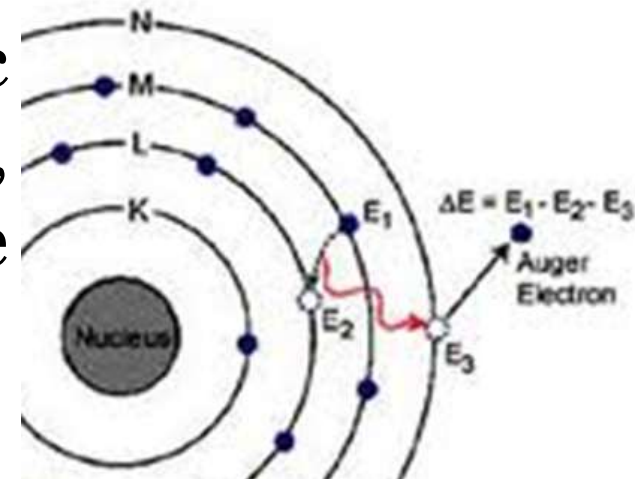
CONSEQUENCES

- Cascade de saut d'électrons des couches externes vers les couches profondes suivi d'une émission de rayonnement c'est « **le rayonnement caractéristique** »
- L'atome subit un « réarrangement électronique »
- La règle est que les électrons occupent les niveaux d'énergie les plus bas.
- Ce phénomène est le principe de base de formation des rayons X.



Effet Auger

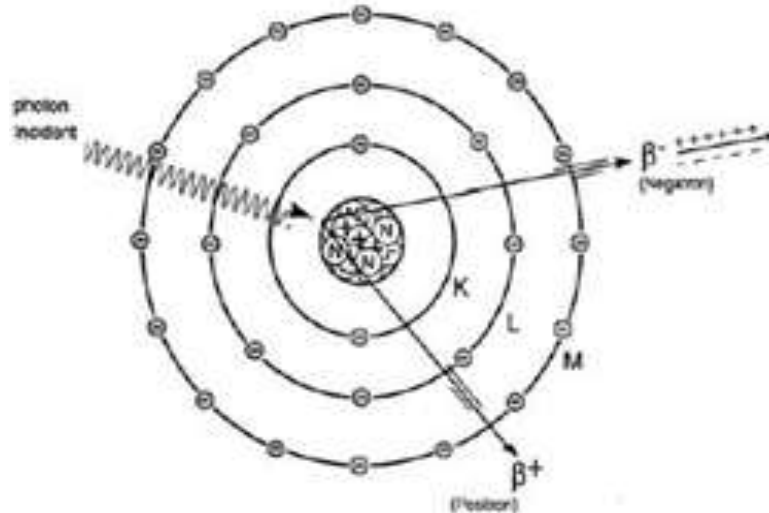
- C'est l'interaction d'un photon de fluorescence issu d'un réarrangement électronique avec un électron du même atome, lorsque ce photon a une énergie supérieure à E_L



- Il s'en suit l'ejection d'un électron Auger

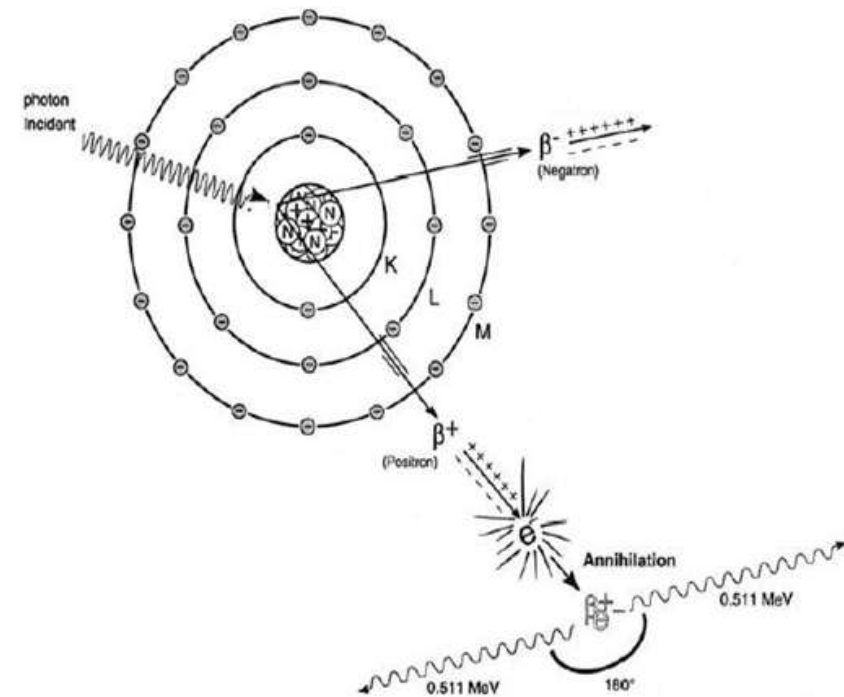
LA CREATION DE PAIRE

- Photon incident **d'énergie supérieure à 1,022 MeV** passe au voisinage du noyau d'un atome, il peut se créer une paire d'ions : un positon et un négaton.



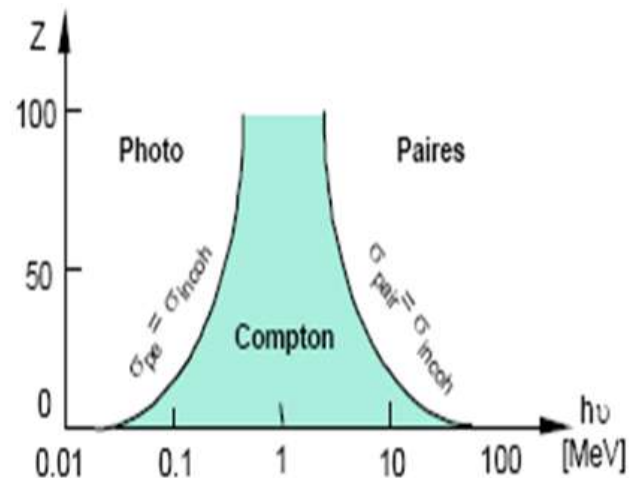
LA CREATION DE PAIRE

- Le positon sera rapidement attiré par un électron du milieu pour donner une réaction d'annihilation, qui est caractérisé par l'émission de deux photons de 0,511 MeV chacun, émis à 180° l'un de l'autre.
- On dit que le positon subit une « dématérialisation »
- Principe de base de la TEP (tomographie par émission de positon).



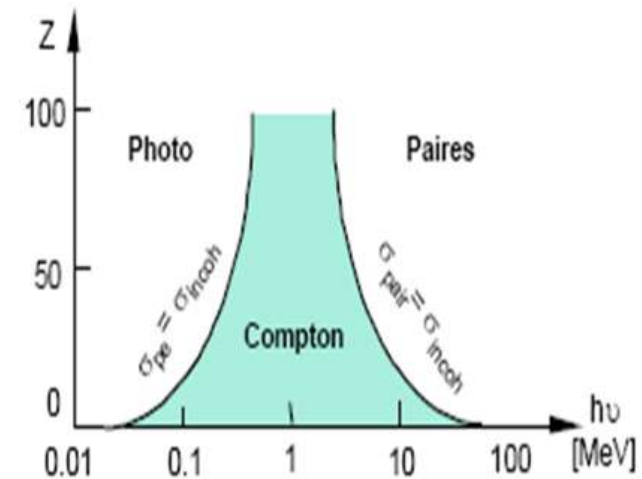
DOMAINE D'INTERACTION

- On peut en fonction du numéro atomique et de l'énergie du rayonnement électromagnétique, définir trois zones de prépondérance pour chacune des trois interactions fondamentales.



DOMAINE D'INTERACTION

- Faible énergie < 100 KeV des photons et haut Z : **prédominance de l'effet photoélectrique.**
- Énergie moyenne (100 -1 MeV) et Z moyen : **prédominance de l'effet Compton**
- Énergie élevée >1.02 MeV et Z élevé : **prédominance de la production de paires**



RAYONNEMENT PARTICULAIRE- MATIERE

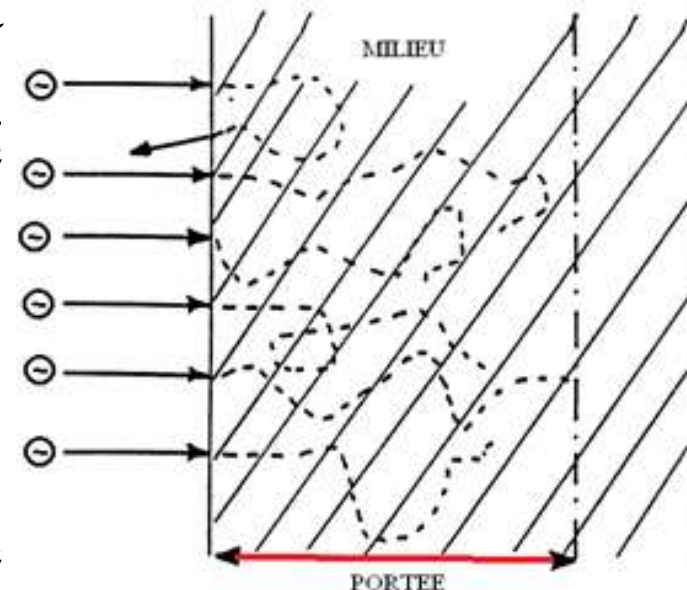
- L'interaction d'une particule matérielle ionisante avec la matière est caractérisée par un transfert d'énergie dû à des chocs directs ou à distance (collision) entraînant le ralentissement de la particule d'un côté et des effets physiques (ionisation) de l'autre et ceci jusqu'à l'arrêt.
- Leurs effets radiobiologique sont plus importants par rapport aux REM

TRANSFERT LINEAIRE D'ENERGIE (TEL)

- C'est la quantité d'énergie transférée au milieu par la particule, le long de sa portée. Elle est mesurée par la densité linéaire d'ionisation (DLI).

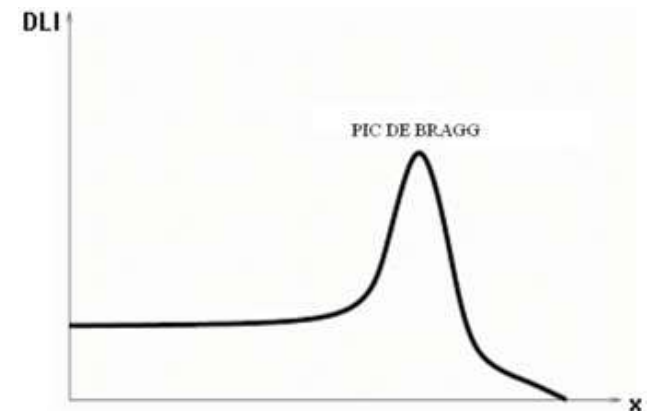
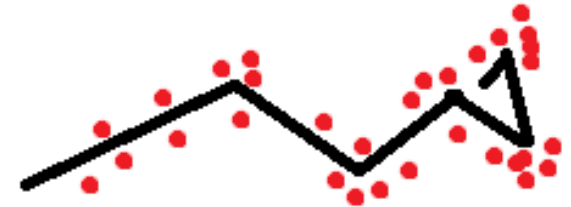
$$TEL = DLI \times \omega$$

- Avec ω étant l'énergie moyenne d'ionisation ($\omega = 34$ eV dans l'air).

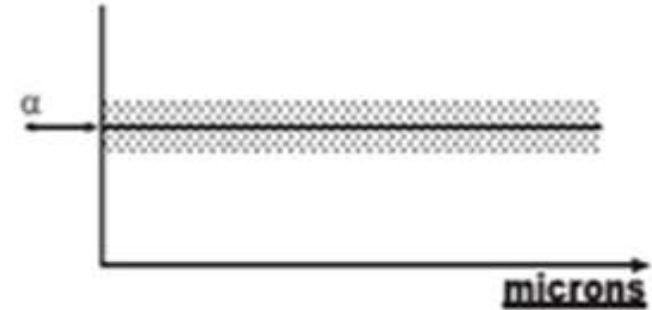


DENSITE LINEAIRE D'IONISATION (DLI)

- nombre de paire d'ions créés par unité de longueur (en paires d'ions/ μm)
- Et la DLI augmente en fin de parcours ainsi le maximum d'ionisation de fait en fin de portée. Comme de montre la courbe de BRAGG.



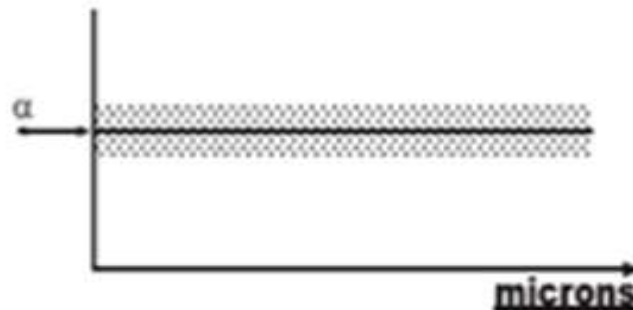
RAYONNEMENT α



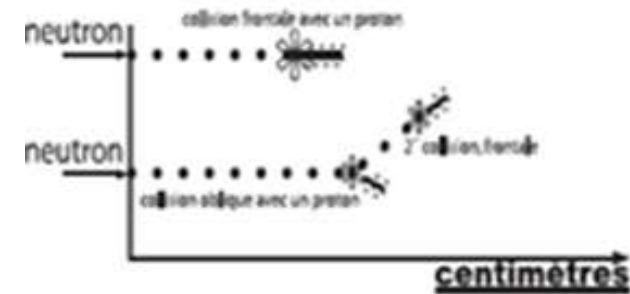
- C'est des noyaux d'Hélium de masse et de charge importante, et proviennent des réactions nucléaires des noyaux lourds ($Z > 82$).
- Sa double charge électrique rend la particule α fortement interactive avec les nuages électroniques des atomes au milieu qu'elle traverse.
- Elle est rapidement freinée et son parcours très bref, dépendant de son énergie initiale et de la densité électronique du milieu traversé.

RAYONNEMENT α

- Les rayonnements α sont très ionisants et peu ou pas pénétrant.
- Ils sont arrêtées par une feuille de papier mais elles sont redoutées lorsqu'elle pénètre à l'intérieur de l'organisme (ingestion, inhalation, plaie cutanée).

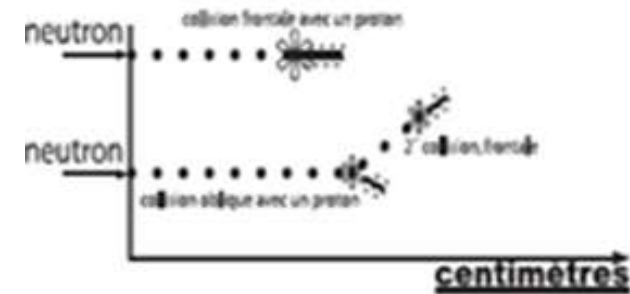


NEUTRON



- Les neutrons ont une masse presque identique à celle du proton et ont une charge nulle.
- Ils sont émis lors des phénomènes de désintégration nucléaire.
- L'absence de charge rend les neutrons insensibles aux champs électriques des atomes.

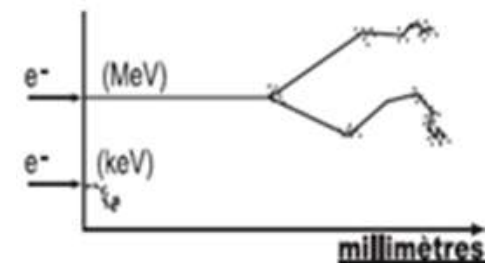
NEUTRON



- En milieu biologique, les neutrons entre essentiellement en collision avec les atomes d'hydrogène (des protons) qui sont mobilisés et qui sont très ionisants.
- Donc les neutrons sont indirectement mais fortement ionisants.
- Toutefois, ils traversent bien la matière et ils ne sont pas arrêtés par les écrans lourds.

RAYONNEMENT β

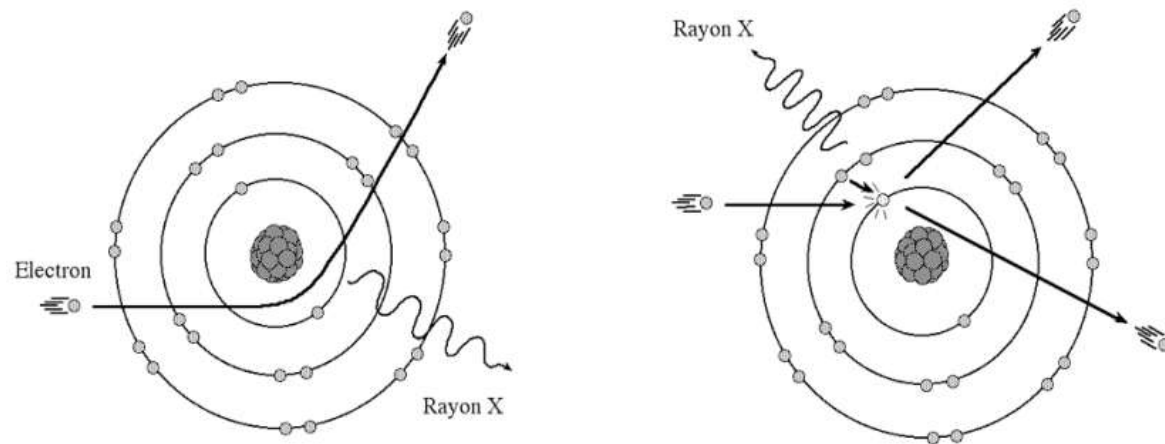
- Il est constitué d'électrons, de masse faible et porteur de charge électrique, négative (électron, β^-) ou positive (positon, β^+).
- Les rayonnements β sont faiblement ionisants, leur trajet dans la matière est donc en ligne brisée, les segments diminuant de longueur à chaque interaction, leur parcours peut atteindre 1,5 cm.



RAYONNEMENT β

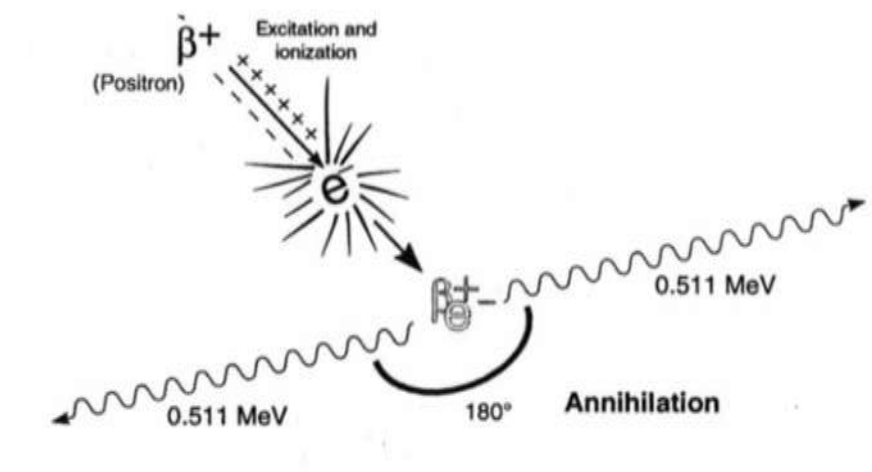
- Les particules beta (TEL faible) subissent deux types d'interactions avec les atomes :
 - ✓ soit des collisions avec les électrons du nuage,
 - ✓ soit un freinage à proximité du noyau

Les deux phénomènes aboutissent à la formation de rayons X



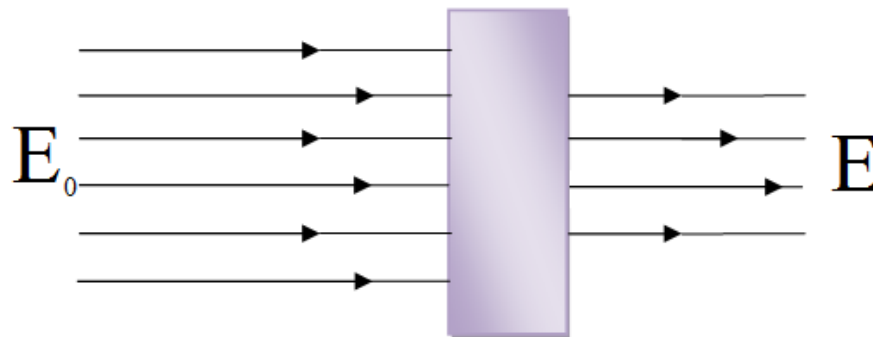
RAYONNEMENT β

- les rayonnements β^+ s'annihilent lorsqu'il rencontre des électrons et donnent deux rayons gamma.



LOIS D'ATTENUATION D'UN FAISCEAU DE PHOTO

- Lorsqu'une source émet un rayonnement, cette émission se fait souvent dans toutes les directions de l'espace qu'on va considérer comme isotrope et homogène.



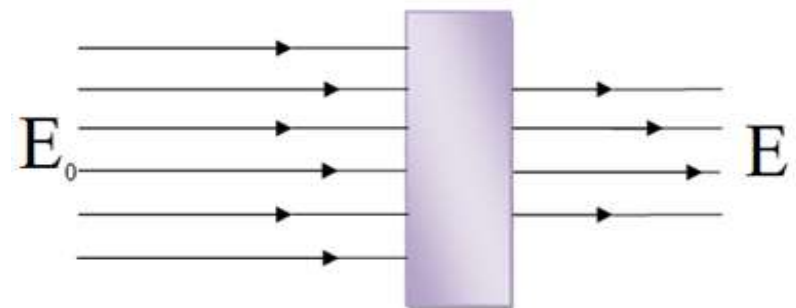
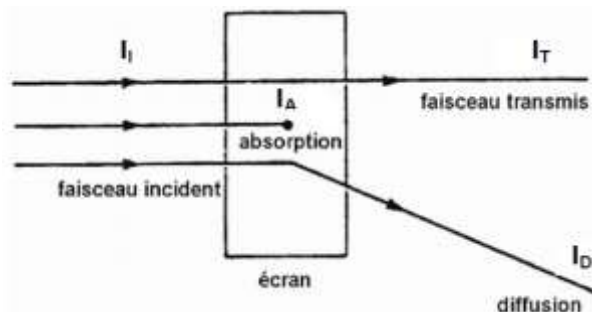
ATTENUATION DANS LE VIDE

- Dans le vide, les photons se propagent sans interaction, donc en ligne droite à partir de la source.
- C'est une loi purement géométrique, qui n'est pas seulement applicable aux REM . elle porte le nom de loi de l'inverse du carré de la distance. Elle répond à la loi

$$I = \frac{I_0}{d^2}$$

ATTENUATION DANS LA MATIERE

- Quand un faisceau mince unidirectionnel de photons monoénergétiques traverse un milieu matériel, une partie des photons est arrêtée, une autre déviée (diffusée) et une autre transmise restant dans la même direction de propagation du faisceau sans être déviée.
- L'énergie totale du faisceau sera diminuée ou atténuée.



LOI D'ATTENUATION

- Le caractère aléatoire des interactions des photons avec la matière conduit à une loi d'atténuation exponentielle.
- Si on considère un écran d'épaisseur x caractérisé par un coefficient d'atténuation linéique μ et recevant N_0 photons, il n'en laissera passer un nombre N tel que

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

L'épaisseur x est en cm et μ est en cm^{-1} .

N (ou N_0) peut facilement remplacé par l'intensité du faisceau I ou par l'énergie du faisceau E

COEFFICIENT D'ATTENUATION

- Le coefficient d'atténuation linéaire μ exprime la probabilité qu'un photon d'interagir avec la matière, il dépend de l'énergie des photons incidents et la nature de la matière traversé.
- Parfois on caractérise le milieu par μ/ρ exprimé en cm^2/gr et qui est le coefficient d'atténuation massique, on a dans ce cas la relation

$$E = E_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot X}$$

Avec $X = \rho x$

ρ : densité de matière

COUCHE DEMI-ATTENUATION (CDA)

- C'est l'épaisseur que doit avoir l'écran pour ne laisser passer que la moitié des photons incidents, autrement dit c'est l'épaisseur qui réduit le nombre de photon du faisceau de moitié.

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

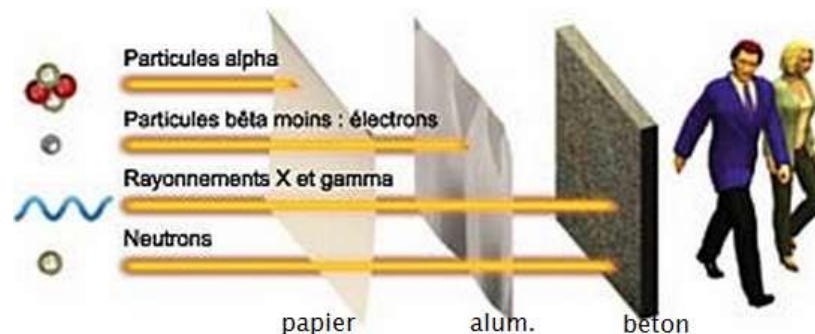
$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot CDA}$$

$$\mu CDA = \ln 2$$

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

COUCHE DEMI-ATTENUATION (CDA)

- La CDA dépend du milieu absorbant (numéro atomique Z et état, gaz, liquide, solide) et de l'énergie des photons (mais ne dépend pas de l'épaisseur déjà traversée par le faisceau).
- Fait important il est impossible d'arrêter totalement un faisceau photon.
- On peut cependant par un écran convenable, limiter son énergie à des valeurs qui ne présente pas de dangers biologique.



EXEMPLE DE CALCUL

- Pour des photons de 1 MeV, un écran de plomb ($\rho = 11,3 \text{ g/cm}^3$), a un coefficient d'atténuation massique $\mu = 0,07 \text{ cm}^2/\text{g}$. quel est la CDA ?

$$\mu = \frac{\mu}{\rho} \times \rho = 11,3 \times 0,07 = 0,79 \text{ cm}^{-1}$$

$$CDA = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{0,79} = 0,88 \text{ cm}$$

- Donc pour 10 CDA un écran de plomb d'épaisseur de 8,8 mm laissera passer un photon de 1 MeV sur 1000 ; ce qui est convenable à la radioprotection.

CONCLUSION

- L'étude des phénomènes liés à l'interaction rayonnement matière a permis de faire évoluer plusieurs disciplines en médecine.
- Dans le diagnostic radiologique, l'effet photoélectrique est à la base de formation de rayons X et la dématérialisation est le principe pour la TEP.
- Aussi, le pouvoir ionisant et destructeur des électrons est à la base de la radiothérapie et la radiobiologie.
- Les autres phénomènes tels l'effet Compton pour la formation de rayonnements diffusés et l'atténuation du faisceau de photon ont permis de développer la radioprotection.