

# RAYONNEMENT IONISANT 2

## Le cours en 50 questions

### Chapitre 1 et 2 : TRANSFORMATION NUCLEAIRE

#### Transformation isobarique : $\beta^-$ , $\beta^+$ et capture électronique

- 1) ++Que veut dire Isotope, isobare, isotone
- 2) Que signifie Transformation isomérique, isobarique et par partition ? Donner a chaque fois des exemples
- 3) Soit un noyau  ${}^A_ZX$  émetteur  $\beta^-$  :  
Ecrire la réaction de désintégration de cet atome  
Cette transformation est elle spontanée ? A quelle condition la transformation se fait elle ?  
Qu'est ce qu'une particule  $\beta^-$  ?  
Le spectre énergétique de  $\beta^-$  est il continu ? Pourquoi ?  
Quelle est l'effet sur la matière et quelle est l'application en médecine ?
- 4) Soit un noyau  ${}^A_ZX$  émetteur  $\beta^+$  :  
Ecrire la réaction de désintégration de cet atome  
Cette transformation est elle spontanée ? A quelle condition se fait-elle ?  
Qu'est ce qu'une particule  $\beta^+$  ?  
Le spectre énergétique de  $\beta^+$  est il continu ? Pourquoi ?  
Quelle est l'effet sur la matière et quelle est l'application en médecine ?
- 5) Soit un noyau  ${}^A_ZX$  capturant un électron :  
Ecrire l'équation de capture électronique  
Cette transformation est elle spontanée ? A quelle condition se fait-elle ?  
Que se passe-t-il juste après une capture électronique ? Quelle est l'application en médecine ?

#### Transformation par partition : émission alpha et fission

- 6) Soit un Noyaux  ${}^A_ZX$  émetteur  $\alpha$  :  
Ecrire la réaction de désintégration du noyau  ${}^A_ZX$   
Qu'est ce qu'une particule  $\alpha$  ?  
La réaction est elle spontanée ? A quelle condition se fait-elle ?  
Quelle est l'effet des particules alpha sur la matière et quelle est l'application en médecine ?
- 7) Expliquer tres simplement ce qu'est la fission (peu de chose exigible au programme)

- 8) Dessiner sommairement Vallée de stabilité, indiquer où se trouve les émetteurs alpha,  $\beta^-$  et  $\beta^+$  ainsi que les atomes qui fissionnent. Les noyaux radioactifs sont-ils nécessairement artificielle ?

Transformation isomérique : émission de gamma

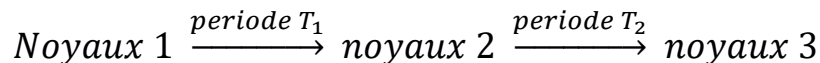
- 9) Dans quel cas a-t-on des transformations isomériques ? Le spectre est-il continu ? Quel est l'effet des particules sur la matière. Quelle est l'application en médecine ?

Loi de décroissance radioactive

- 10) ++Donner les lois de décroissance radioactive reliant  $N$ ,  $T$ ,  $N_0$  et  $\lambda$   
11) ++On note  $A$  l'activité d'un échantillon :  
Quelle est l'unité du système international de  $A$  ? Donner la valeur d'un curi  
Quelle est la signification physique de  $A$   
Donner la loi reliant  $N$  et  $A$   
12) ++Tous les 8 jours, l'activité radioactive d'un échantillon est divisée par 2  
Tous les 138 jours, l'organisme élimine la moitié de l'échantillon  
Quelle est la période effective de disparition du produit ?

Filiation radioactive

- 13) ++Soit la filiation radioactive suivante :



Que se passe-t-il si les noyaux 1 se désintègrent plus vite que le noyau 2 ? ( $T_1 < T_2$ )

- 14) ++Que se passe-t-il si les noyaux 1 se désintègrent moins vite que le noyau 2 ? ( $T_1 > T_2$ )

Utilisation des radio-isotopes in Vivo

- 15) ++Qu'est-ce qu'un radio-isotope  
16) ++Qu'est-ce qu'un vecteur ?  
17) ++Qu'est-ce qu'un marqueur ?

## Chapitre 3 INTERACTION DES RAYONNEMENTS AVEC LA MATIERE

Interaction des particules chargées avec la matière

- 18) Qu'est-ce que le pouvoir de ralentissement (ou pouvoir d'arrêt ou encore Transfert linéique d'énergie) ? Quelle est l'unité ?

- 19) ++Donner la dépendance du TLE en fonction de  $z$  (charge de la particule),  $v$  (vitesse de la particules),  $Z$  (numéro atomique du milieu cible) et  $n$  (densité du milieu)
- 20) ++Donner la dépendance du TLE en fonction de  $z$  (charge de la particule projectile),  $E_c$  (énergie cinétique de la particules projectile),  $Z$  (numéro atomique du milieu cible) et  $n$  (densité du milieu)
- 21) De la relation vue a la question précédente, a anergie cinétique égale, comparer le TLE des électrons, des particules alphas, et des protons
- 22) ++Expliquer le pic de bragg et son intérêt en médecine
- 23) Soit DLI la densité linéaire d'ionisation. Chaque ionisation dépose une énergie  $w$  dans le milieu. Exprimer le TLE en fonction du DLI
- 24) Qu'est ce que la portée ?
- 25) ++Qu'est ce que le bremsstrahlung ?

Interaction des photons avec la matière

- 26) ++Expliquer dans les détails : l'effet photoélectrique et ses conséquences (fluorescence et effet Auger). L'effet photoélectrique a il un seuil ? Si le photon a une énergie de 100 keV et que l'énergie d'ionisation vaut 10 KeV, que vaut l'énergie cinétique de l'électron arraché ?
- 27) Donner les applications de l'effet photoélectrique en médecine
- 28) Chaque électrons a une surface élémentaire  $\sigma_E$  appelé probabilité élémentaire d'interaction (en réalité on appelle cela la section efficace, plus parlant) qui s'exprime en  $m^2$   
 Les matériaux a une densité d'électron noté  $P$  (normalement on la note  $n$  mais bon...) qui s'exprime en  $m^{-3}$   
 Par une analyse dimensionnelle, déterminer la probabilité d'interaction par unité de longueur noté  $\mu$  (en interaction par m, ou plutôt  $m^{-1}$ )
- 29) Une particule a donc une probabilité  $\mu$  par unité de longueur d'interagir. Combien il y a aura il d'interaction si on a  $N$  particule ? ce nombre correspond au nombre d'interaction par mètre.
- 30) ++Qu'est ce que l'effet Compton ?
- 31) Lors d'une collision Compton le photon est dévié d'un angle ( $\theta$ ). Donner la loi permettant le calcul de son énergie
- 32) L'effet Compton est il souhaitable ?
- 33) ++Sur un schéma, représenter la probabilité de survenue de l'effet photoélectrique, l'effet Compton et la création de paire, en fonction de l'énergie en MeV
- 34) ++Qu'est ce que la couche de demi atténuation (CDA) ?
- 35) ++Soit un milieu de Coefficient d'atténuation linéique  $\mu$   
 De quoi dépend ce coefficient ?  
 Par analogie avec les décroissances radioactives, donner la correspondance entre  $\mu$  et CDA
- 36) ++Par analogie avec les décroissances radioactives, donner les correspondances entre  $N$  et  $N_0$

## Chapitre 3 RADIOPROTECTION

- 37) ++Qu'est ce que qu'un effet déterministe ? un effet stochastique ?
- 38) ++Classé dans comme déterministe ou stochastique les conséquences suivantes :
- Obligatoire/aléatoire
  - lié a la transformation cellulaire/liés a la mort cellulaire
  - précoces/tardif
  - Obligatoire au dessus d'une certains seuil/sans seuil
  - Irréversible /Généralement réversible
  - Gravité indépendante de la dose/Gravité proportionnelle a la dose
  - Souvent caractéristique/Non caractéristique
  - Fréquence augmente avec la dose/Sensibilité variable des tissus
- 39) ++Quelles sont les 3 moyens de réduire l'exposition au radiation (la dose reçue)?
- 40) ++Quelles est l'unité de la dose absorbée (DI) ? Quelle est la signification physique ?
- 41) ++Quelle est la loi reliant entre la dose efficace  $H_T$  et la dose reçue DI ? Quelle est la différence fondamentale entre ces deux grandeurs ?
- 42) ++Quelle est la loi reliant entre la dose équivalente  $E_T$  et la dose efficace ?
- 43) ++préciser les unités possibles de  $E_T$  de  $H_T$
- 44) Expliquer ce qu'est une contamination interne et une contamination externe
- 45) ++Donnez la dose efficace reçu naturellement tous les ans en France
- 46) ++Donnez la dose efficace reçu artificiellement tous les ans en France
- 47) ++Donner approximativement la dose efficace total reçue par jours
- 48) ++Expliquer l'effet stochastique des radiations faible dose
- 49) ++Expliquer l'effet déterministe des radiations faible dose a seuil.
- 50) ++Donner le seuil de dose absorbée a partir duquel on observe des effets
- 51) ++Donner le seuil de dose absorbée a partir duquel le patient risque la mort (DL50, dose létale 50, c'est-à-dire la dose qui tue 50% des patients).

# RAYONNEMENT IONISANT 2

## Le cours en 50 réponses

- 1) Isotope = même nombre de proton, isobare = même A, nombre de proton, isone = même nombre de Neutron
- 2) Isométrique : les constituants restent les mêmes, il y a juste réarrangement (émission gamma)  
Isobarique : conservation du nombre de nucléons (bêta+, bêta- capture électronique)  
Par partition : le noyau se casse et perd des nucléons (fission, émission alpha)
- 3)  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}X + {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}$  la transformation est spontanée (loi de décroissance radioactive). La transformation se fait si  $E_{\text{avant}} > E_{\text{après}}$  c'est-à-dire  $m({}^A_ZX) \cdot c^2 > m({}^A_{Z+1}X)c^2 + m_e \cdot c^2 + m\nu \cdot c^2$   
 Une particule  $\beta^-$  est un électron  
 Le spectre est continu car l'énergie se disperse entre l'anti-neutrino et l'électron.  
 Les électrons pénètrent peu la matière et sont arrêtés assez rapidement. Ils peuvent servir à détruire localement certains tissus.
- 4)  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}X + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$  la transformation est spontanée (loi de décroissance radioactive). La transformation se fait si  $E_{\text{avant}} > E_{\text{après}}$  c'est-à-dire  $m({}^A_ZX) \cdot c^2 > m({}^A_{Z-1}X)c^2 + m_e \cdot c^2 + m\nu c^2$   
 Une particule  $\beta^+$  est un positron, un anti-électron, c'est l'antiparticule de e  
 le spectre est continu car l'énergie se disperse entre le neutrino et le positron  
 les positrons pénètrent très peu la matière : ils interagissent presque tout de suite avec un électron pour donner :  

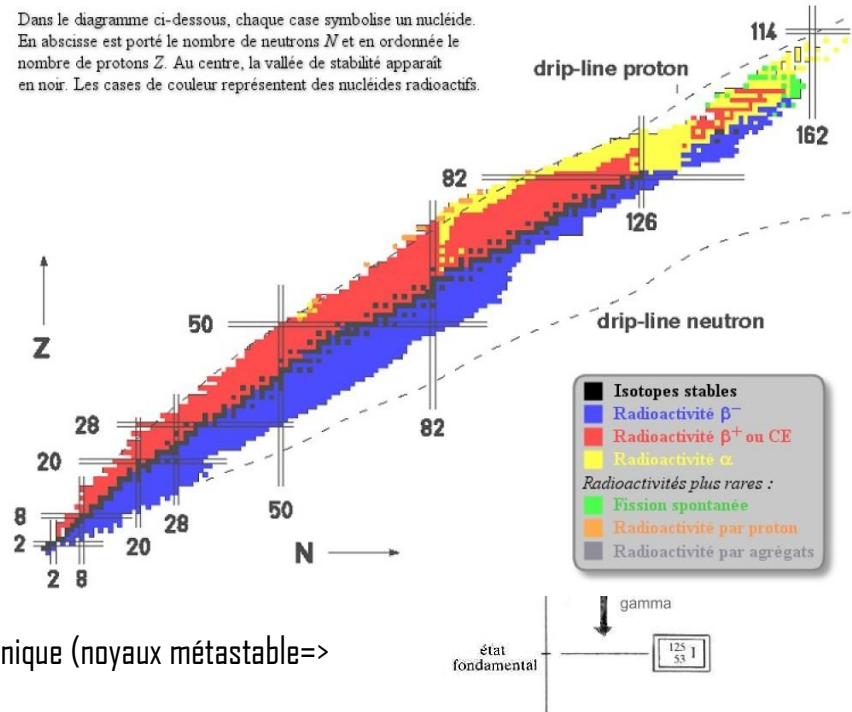
$${}^0_{+1}e + {}^0_{-1}e \Rightarrow 2\gamma$$
 Il y a annihilation (destruction de matière) pour donner 2 photons gamma de très haute énergie. Les photons gamma sont émis à 180° l'un de l'autre, on s'en sert en imagerie TEP (Tomographie par émission de positron)
- 5)  ${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^A_{Z-1}X + {}^0_0\nu$  c'est une transformation forcée (qui ne se fait que si l'électron rencontre le noyau. Ce n'est pas spontanée !) La transformation se fait si  $E_{\text{avant}} > E_{\text{après}}$  c'est-à-dire :  
 $m({}^A_ZX) \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 > m({}^A_{Z-1}X)c^2 + m\nu \cdot c^2$   
 Juste après une capture électronique, il y a réarrangement du noyau et du cortège électronique (émission de photon  $\gamma$  et de X) ces photons peuvent être utilisés pour un diagnostic.
- 6)  ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-4}X + {}^4_2\alpha$   
 Une particule alpha contient 2 protons et 4 nucléons : c'est un noyau d'hélium ! La réaction est spontanée (voir loi de décroissance radioactive)  
 La réaction se fait si  $E_{\text{avant}} > E_{\text{après}}$  c'est-à-dire :  
 $m({}^A_ZX) \cdot c^2 > m({}^A_{Z-4}X)c^2 + m({}^4_2\alpha)c^2$

Les particules sont très rapidement arrêtées par la matière. On s'en sert pour détruire les tissus (intérêt thérapeutique).

7) La fission c'est lorsqu'un atome se scinde en deux.

8) Il existe de très nombreux noyaux radioactifs et naturels, par exemple l'uranium 238 que l'on trouve naturellement présent sur terre.

Dans le diagramme ci-dessous, chaque case symbolise un nucléide. En abscisse est porté le nombre de neutrons  $N$  et en ordonnée le nombre de protons  $Z$ . Au centre, la vallée de stabilité apparaît en noir. Les cases de couleur représentent des nucléides radioactifs.



9) Transformation isomérique : réarrangement du noyau après transformation bêta alpha ou capture électronique (noyaux métastable => noyaux stable)

Les réarrangements engendrent l'émission de photon gamma

Tout comme d'émission atomique, l'émission est quantifiée (quantifié = ne peut prendre que certaines valeurs), le spectre est discontinu.

Les gammas traversent facilement la matière => utilisation en diagnostic et imagerie, mais pas en TTT

$$10) N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \frac{N_0}{2^{t/T}} \quad \text{avec } T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$\lambda$  est la constante de désintégration radioactive en  $s^{-1}$  (ou année $^{-1}$  ou mn $^{-1}$  suivant l'unité du temps)

$T$  est la période radioactive (nom interdit normalement, c'est la demi-vie !)

$T$  est la durée au bout de laquelle la radioactivité (et donc  $N$ ) est divisée par 2

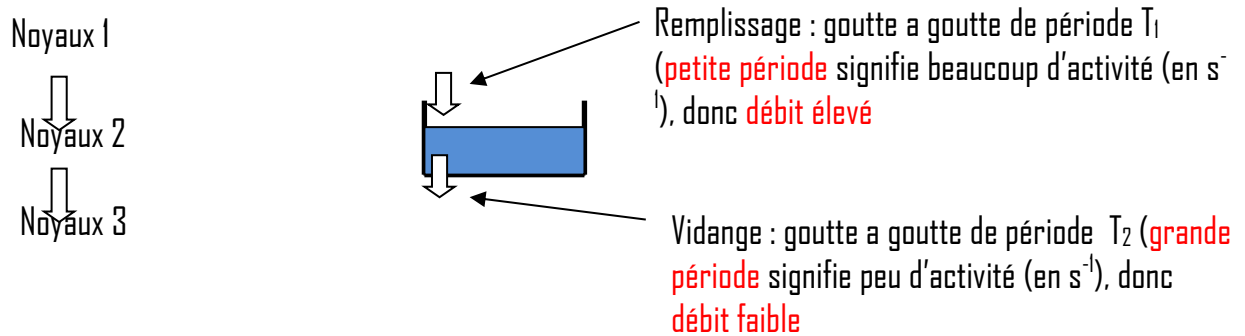
11)  $A$  s'exprime en becquerels ou  $s^{-1}$  (un peu comme la fréquence s'exprime en Hz ou  $s^{-1}$ ). Un Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq

$A$  correspond au nombre de désintégration par seconde, donc au nombre de particules émises par seconde (exemple une activité de 10 000 Bq signifie que l'échantillon émet à chaque seconde 10 000 particules).

L'activité d'un échantillon est proportionnel au nombre de noyaux radioactif (question de bon sens) :  $A = \lambda \cdot N$

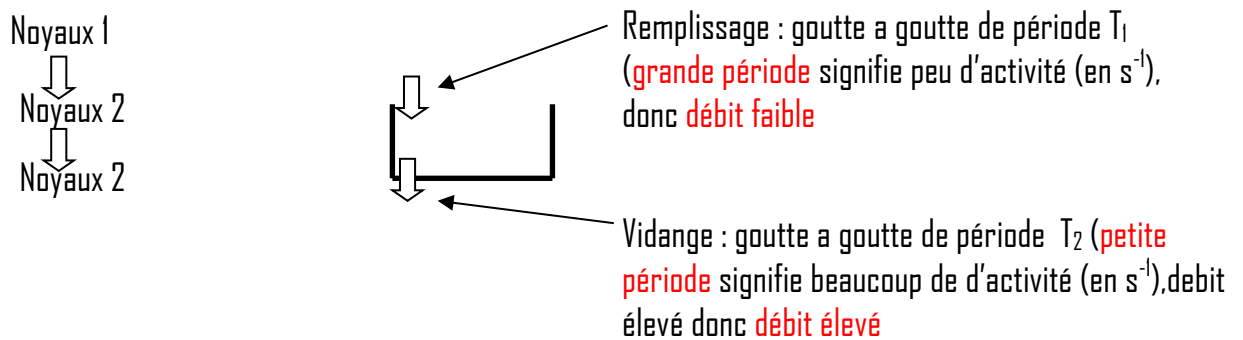
$$12) \frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{ph}} + \frac{1}{T_{bio}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{138} \text{ d'où } T_{eff} = 7,6 \text{ J}$$

13) Analogie d'une baignoire qui se remplit et qui se vide



Si la baignoire se remplit plus vite qu'elle ne se vide, la baignoire se remplit (il y a **accumulation des noyaux 2**). Le goutte à goutte finale sera de période  $T_2$  (**la décroissance se fait par rapport a  $T_2$** )

14) exemple d'une baignoire qui se vide



La baignoire se vide plus vite qu'elle ne se remplit : elle reste vide (il n'y a pas **accumulation des noyaux 2**) Le goutte a goutte finale sera de période  $T_1$  (**la décroissance se fait par rapport a  $T_1$** ) (chaque goutte qui tombe dans la baignoire sera aussitôt évacué)

15) Un radio-isotope c'est un isotope radioactif (exemple oxygène 18)

16) Vecteur = molécule qui a une affinité avec l'organe. Exemple l'iode pour la thyroïde

17) Marqueur = radio-isotope qui permet de suivre le vecteur. Une fois dans l'organisme il aura la même réactivité chimique que la version stable de la molécule.

Exemple (non réel mais permettant de comprendre) pour les questions 16 et 17 :

On ingère du  $CO_2$  dans l'organisme du patient. Le  $CO_2$  va se dissoudre dans le sang. Le  $CO_2$  est donc un vecteur.. Ce  $CO_2$  est particulier car l'oxygène n'a pas 16 nucléons, il en a 18 (c'est l'isotope 18). Il est radioactif. L'oxygène 18 est donc un marqueur.

En analysant les particules radioactives émises par l'oxygène 18, on va pouvoir savoir où s'est fixé le  $CO_2$  radioactif que l'on a injecté au patient. Cela peut servir pour l'imagerie ou le diagnostique.

Interaction des particules chargées avec la matière

18) Transfert linéique d'énergie = perte d'énergie par unité de longueur.

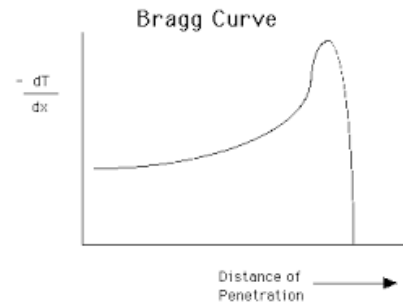
$$TLE = -\frac{dE}{dx} \text{ en ev/m ou en J/m}$$

19)  $TLE = k \cdot \frac{z^2}{v^2} nZ$

20)  $TLE = k \cdot \frac{mz^2}{2Ec} nZ$

21)  $TLE_{\text{proton}} = 1800 TLE_{\text{electron}}$  et  $TLE_{\text{alpha}} = 16 TLE_{\text{proton}}$

22) Plus l'énergie cinétique diminue, plus le DLE devient important. A un moment le TLE devient très très grand, et toute l'énergie de la particule chargée est déposée (à une profondeur bien précise). Cela permet de cibler une zone par exemple pour détruire une lésion dans l'organisme (radiothérapie)



23)  $DLE = DLI \times W$

$TLE \text{ (en J/m)} = DLI \text{ (en ionisation/m)} \times w \text{ (en joule/ionisation)}$

24) Les électrons ne se propagent pas en ligne droite (ils collisionnent) C'est la distance maximale de pénétration dans la matière

25) C'est un rayonnement X émis lors du freinage de l'électron

Interaction électron avec la matière

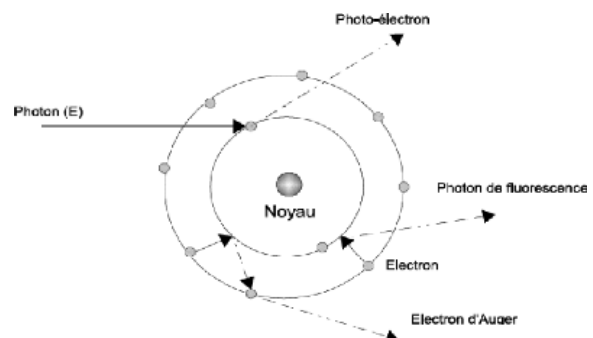
26) Effet photoélectrique un photon heurte un électron interne du cortège qui est arraché du noyau avec énergie  $E_c$  (voir photo électron ci contre). Le seuil est que le photon doit au moins avoir l'énergie suffisante pour ioniser l'atome :

$$E_{\text{photon seuil}} = E_{\text{ionisation}} = E_I$$

$$E_{\text{photon}} = E_I + E_c \text{ (l'énergie du photon } E_c = 100 \text{ Kev)}$$

sert d'une part a ioniser l'atome (énergie  $E_I = 10 \text{ Kev}$  et d'autre part a fournir de l'énergie cinétique a l'électron arraché (énergie  $E_c = 90 \text{ eV}$ )

$$E_c = E_{\text{photon}} - E_I = 90 \text{ Kev.}$$



Le fait qu'un électron des couches internes soit arraché va mettre la pagaille dans le cortège électronique : les électrons dégringolent vers le noyau pour combler le trou => émission d'une cascade de rayon x appelé photon de fluorescence (voir électron et photon de fluorescence ci-dessus) Lors de cette cascade de rayonnement X, un photon émis peut heurter un électron et l'arracher : c'est l'effet Auger (voir électron Auger ci-dessus)



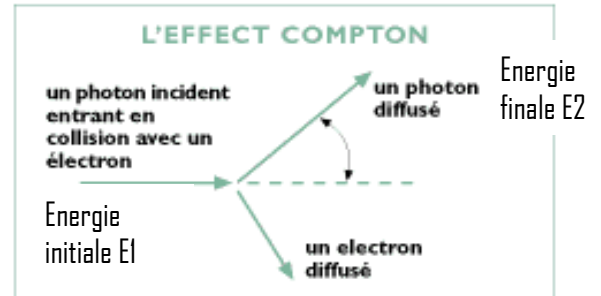
27) Radiothérapie (TTT) radiologie (imagerie) et détection des particules (imagerie)

28)  $\mu = \sigma_E \cdot P$

29)  $dN/dx = N \mu$  s'exprime en collision par m ou  $m^{-1}$  c'est le nombre de photon par m

30) c'est la collision (comme au billard) d'un photon avec un électron. Le photon part d'un côté, l'électron de l'autre.

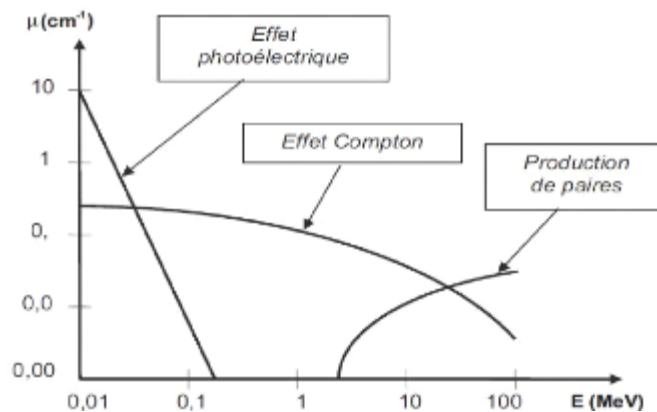
le photon a une énergie initiale  $E_1$  et une énergie finale  $E_2 < E_1$



$$31) E_2 = \frac{E_1}{1 + \frac{E_1}{mc^2}(1 - \cos(\theta))}$$

32) L'effet Compton dévie les photons, c'est gênant (protection du personnel nécessaire et limite de la qualité en imagerie)

33)



34) C'est l'épaisseur de matière qui arrête la moitié des particules (analogie avec la période radioactive)

35) Le coefficient dépend :

- du milieu (composition charge densité)
- de l'énergie des particules incidentes.

Comme

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T} \Rightarrow \text{Analogie} \Rightarrow \mu = \frac{\ln(2)}{CDA}$$

36) Comme

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \text{par Analogie} \Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\mu x} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \mu = \frac{\ln(2)}{CDA}$$

37) Effets déterministes : apparaît à coup sur après irradiation

Effet stochastique (aléatoire) : apparaît des fois mais pas toujours

Contrairement à un effet stochastique, un effet déterministe apparaît de façon certaine quand le seuil limite de rayonnements sur un tissu donné est dépassé.

38)

EFFETS DETERMINISTES	EFFETS STOCHASTIQUES
Obligatoire	aléatoire
liés a la mort cellulaire	lié a la transformation cellulaire
précoces	tardif
Obligatoire au dessus d'une certains seuil	sans seuil
Généralement réversible	Irréversible
Gravité proportionnelle a la dose	Gravité indépendante de la dose
Souvent caractéristique	Non caractéristique
Sensibilité variable des tissus	Fréquence augmente avec la dose

- 39) Protection (souvent par le plomb) + réduction du temps d'exposition (dose reçue proportionnelle au temps) + s'éloigner de la source ( $I = \frac{I_0}{d^2}$  si on double la distance, on divise par la dose reçue)
- 40) La DI correspond a l'énergie par unité de masse on l'exprime en J/kg ou Gray (Gy). 1 Gy=1J/kg
- 41)  $H_T = W \cdot DI$  W est le facteur de pondération suivant le rayonnement (il faut mieux se faire irradier par des rayons X que gamma donc  $W_X=1$   $W_\gamma=20$ ).  $H_T$  s'exprime en sievert (Sv)  
 La différence fondamentale c'est que la dose absorbée ne dépend pas du rayonnement. Alors que la dose équivalente tient compte de la dangerosité du rayonnement reçu.
- 42)  $H_T = \sum W_T \cdot DI = W_1 DI + W_2 + W_3 DI + \dots \text{etc} = W_{\text{testicule}} DI + W_{\text{cerveau}} + W_{\text{peau}} DI + \dots \text{etc}$   
 $W_T$  est le facteur de pondération biologique (suivant l'importance des tissus)  
 Exemple (fictif) :  $W_{\text{testicule}}=20$      $W_{\text{cerveau}}=10$      $W_{\text{peau}}=1$
- 43) Ils s'exprime en Sievert ou en REM = « radiation équivalent men » 1 Sievert = 100 REM
- 44) Contamination externe => simple irradiation, nettoyage et lavage externe prudent  
 Contamination interne (beaucoup plus grave) => la substance a été ingérer ou inhalée ou infiltré sous cutanée (les atomes radioactif vont prendre la place des isotopes dans le corps humain.
- 45) Environ 2,4 mS/an (dépend de l'endroit, il ya plus de radioactivité en Bretagne a cause du granit)
- 46) Environ 1mS/an (dépend des patients, c'est une moyenne certains ont presque 0)
- 47) 3,4 mS/an, ce qui fait 0,009 mS/Jours
- 48) La cellule peut être endommagée mais au lieu « de se suicider » (apoptose) elle continue et se répare mal et continue a se dupliquer (erreur de réparation) => anomalie induite et dupliqué => cancer (effet stochastique)
- 49) A forte dose, on observe beaucoup de mort cellulaire. A partir d'un certains nombre de cellule détruite, on observe un effet a seuil
- 50) Environ 0,3 Gy
- 51) Environ 5 Gy