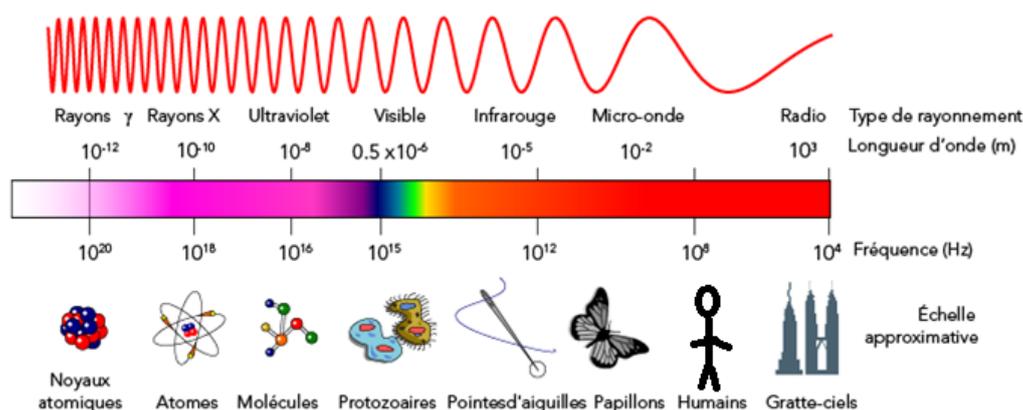


1- RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

Le **rayonnement électromagnétique (REM)** se compose d'ondes. Ces ondes contiennent de l'énergie électrique et magnétique.

Le **spectre électromagnétique (REM)** englobe toute une gamme d'énergies, depuis l'énergie très faible, comme les ondes radio, jusqu'à l'énergie très haute, comme les rayons gamma



Le REM est caractérisé par une fréquence (nombre d'ondes par seconde) et une longueur d'onde (distance entre les crêtes d'onde adjacentes). Plus la fréquence est élevée, plus l'onde est courte. Par exemple, les rayons gamma ont une très haute fréquence et une très courte longueur d'ondes. Ces ondes possèdent aussi beaucoup d'énergie!

Il y a sept formes naturelles de REM. Les rayons gamma possèdent la plus haute énergie et la plus courte longueur d'onde. Puis, il y a les rayons X, les rayons ultraviolets, la lumière visible, le rayonnement infrarouge et les micro-ondes. Enfin, il y a les ondes radio qui ont le moins d'énergie et la plus grande longueur d'onde.

Les seules parties du spectre électromagnétique que nos sens peuvent détecter directement sont l'infrarouge (ressenti comme de la chaleur) et la lumière visible. Nous ne pouvons pas voir ni sentir les ondes radio, les rayons X et les rayons gamma, mais ils peuvent traverser le corps.

Le REM se déplace en petits paquets (quanta) d'énergie appelés « photons » (paquets d'énergie de charge électrique nulle qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière, soit $2,998 \times 10^8$ m/s)

Le rayonnement ionisant et non ionisant

Le rayonnement peut être ionisant ou non.

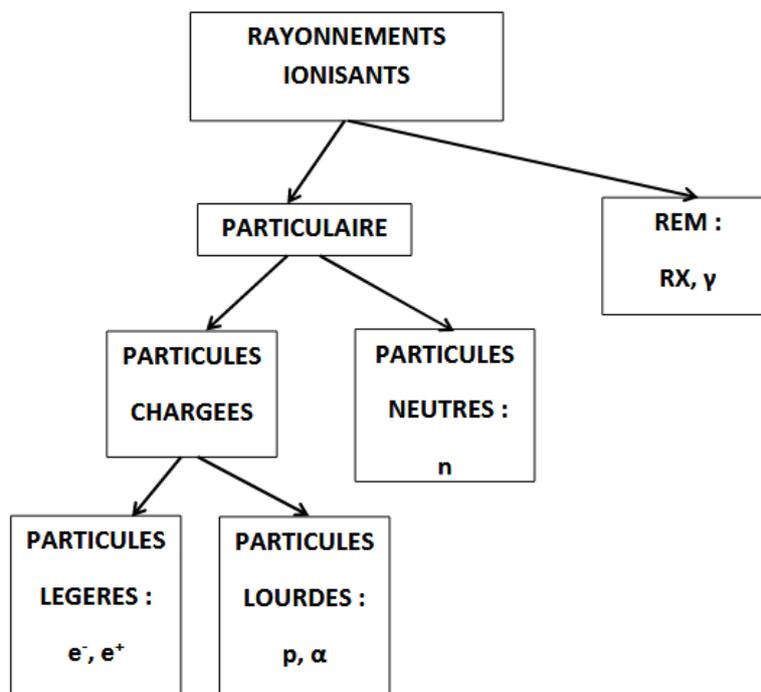
Le rayonnement non ionisant n'a pas assez d'énergie pour ioniser les atomes ou les molécules (et ainsi leur faire acquérir ou perdre des électrons).

Il y a plusieurs types de rayonnement non ionisant. Il comprend notamment les rayons ultraviolets proches, la lumière visible, le rayonnement infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio. Il ne peut ioniser les atomes, mais n'est pas pour autant complètement inoffensif.

Les micro-ondes sont assez énergétiques pour cuire nos aliments et l'ultraviolet, pour nous donner un coup de soleil.

Le rayonnement ionisant a assez d'énergie pour éjecter des électrons de leur atome d'origine et libérer ainsi des ions. Le rayonnement ultraviolet lointain, les rayons X et les rayons gamma sont trois formes de rayonnement ionisant. Ce type de rayonnement très énergétique peut rapidement provoquer le cancer, voire détruire des cellules sur le coup. C'est pour cette raison que l'on nous fait porter un tablier de plomb pour prendre une radiographie dentaire et que les techniciens se placent dans une salle différente pour utiliser les appareils de radiologie.

La quantité de rayonnement dans une seule radiographie n'est pas nocive! Mais le rayonnement d'un grand nombre de rayons X pourrait être dangereux. C'est pourquoi les techniciens se placent dans une salle différente pour utiliser les appareils de radiologie.



2- INTERACTIONS RAYONNEMENTS IONISANTS /MATIERE

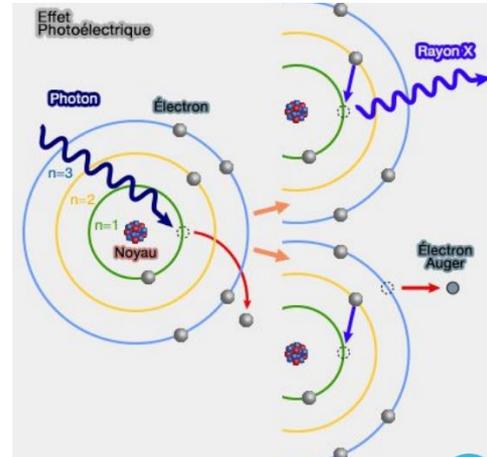
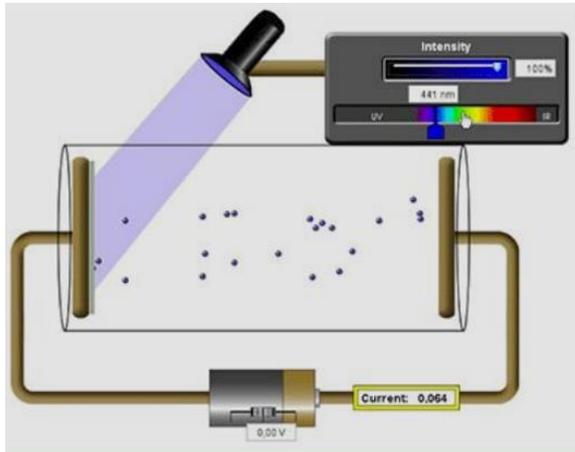
1- Les principaux modes d'interaction (photons, ions, e-, neutrons)

Les interactions entre les éléments radioactifs et la matière peuvent se produire de différentes manières, en fonction du type de particules radioactives (photons, ions, électrons, neutrons) et de la nature de la matière avec laquelle ils interagissent. Les principales interactions (Les rayons X et les rayons gamma) interagissent avec la matière par plusieurs processus :

- l'effet photoélectrique,
- l'effet Compton,
- la création de paires.

1. Effet photoélectrique :

Lorsque des photons interagissent avec des électrons liés à des atomes dans un matériau, ils peuvent transférer toute leur énergie à un électron, éjectant ainsi cet électron de son orbite. Cela crée un électron libre et un trou dans la couche électronique. L'énergie du photon doit être supérieure à l'énergie de liaison de l'électron pour que cet effet se produise.



L'énergie totale du système (photon + électron) est conservée. L'énergie du photon est transférée à l'électron éjecté et à son énergie cinétique. Énergie du photon (E_{photon}) utilisée pour éjecter un électron :

$$E_{\text{photon}} = E_{\text{liaison de l'électron}} + E_{\text{cinétique de l'électron}}$$

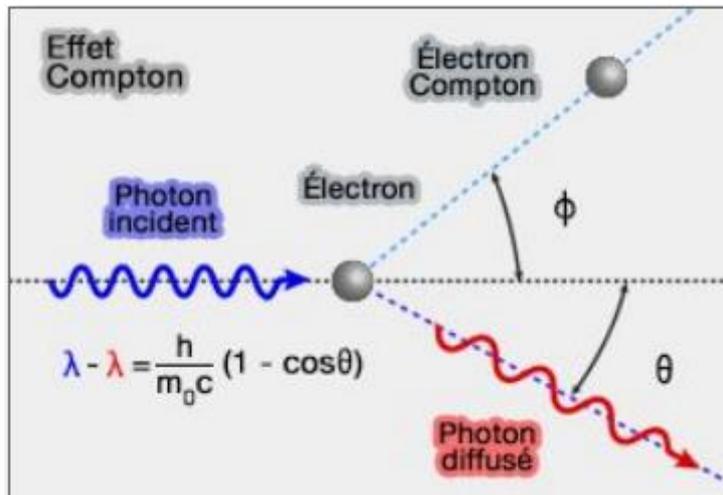
La quantité de mouvement totale du système doit être conservée, mais dans le cas du photoélectrique, la masse de l'électron est beaucoup plus petite que celle du photon, de sorte que la contribution de l'électron à la quantité de mouvement est souvent négligée.

2. Effet Compton :

L'effet Compton est une diffusion inélastique des photons par des électrons libres. Lorsqu'un photon frappe un électron, il peut perdre une partie de son énergie et changer de direction. Cela résulte en un photon diffusé avec une longueur d'onde plus grande que celle du photon incident. L'effet Compton est particulièrement significatif pour les photons de haute énergie, tels que les rayons X et gamma. Énergie du photon diffusé :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

Où λ est la longueur d'onde du photon incident, λ' est la longueur d'onde du photon diffusé, h est la constante de Planck, m_e est la masse de l'électron, c est la vitesse de la lumière, et θ est l'angle de diffusion.



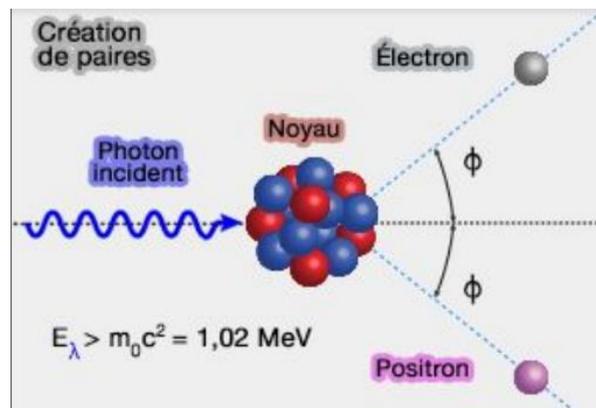
3. Création de paires électron-positron :

Lorsque des photons de haute énergie interagissent avec la matière, ils peuvent se transformer en une paire de particules : un électron et un positron. Cette réaction nécessite une énergie du photon supérieure à la double masse à repos de l'électron ($E = 2mc^2$), où "m" est la masse de l'électron et "c" est la vitesse de la lumière. Ces paires électron-positron peuvent ensuite interagir davantage avec la matière.

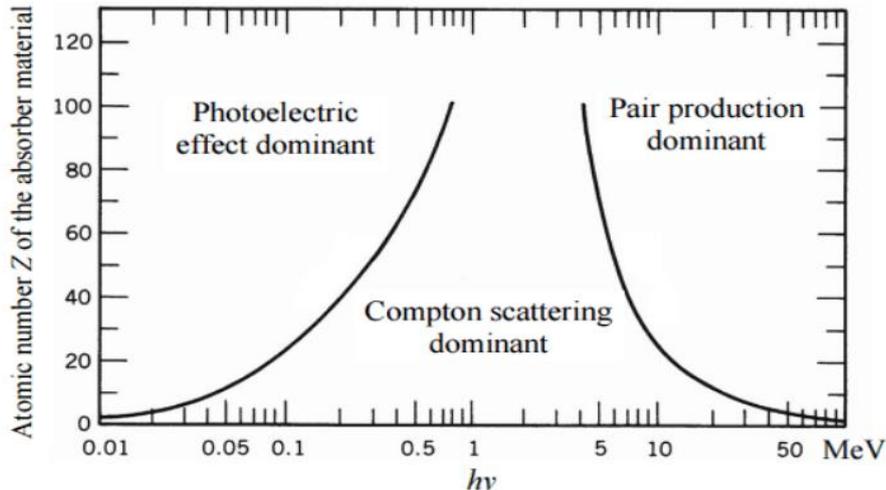
Énergie du photon nécessaire pour la création de paires :

$$E_{\text{photon}} \geq 2m_e c^2$$

Où m_e est la masse de l'électron et c est la vitesse de la lumière.



- L'effet photoélectrique prédomine à basse énergie et pour les matériaux lourds (Z élevé).
- L'effet Compton est prépondérant pour les énergies intermédiaires (imagerie) et pour les matériaux légers (faible Z).
- La matérialisation est le processus dominant pour les rayonnements d'énergie supérieure à quelques MeV et pour les matériaux lourds.



3- ABSORPTION DES RAYONNEMENTS (SECTION EFFICACE, PARCOURS, DOSE ABSORBEE)

Les propriétés d'absorption des rayonnements pour les éléments radioactifs dépendent de la nature spécifique de chaque élément et de sa configuration atomique, si on compare les paramètres de section, parcours ou dose absorbée, on trouve qu'elle dépend de la nature de rayonnement :

	alpha	bêta	gamma
Section Efficace pour les Éléments Radioactifs :	Les particules alpha ont une section efficace plus élevée en raison de leur charge positive et de leur masse relativement élevée, ce qui les rend fortement interactives avec la matière.	Les particules bêta ont une section efficace moindre que les particules alpha, mais elles peuvent pénétrer plus profondément dans la matière.	Les rayons gamma ont généralement une section efficace plus faible que les particules chargées, mais ils peuvent pénétrer plus loin dans la matière.
Parcours des Particules Alpha, Bêta et Rayons Gamma	Les particules alpha ont un parcours très court dans la matière en raison de leur forte ionisation. Elles perdent rapidement leur énergie et sont arrêtées par quelques centimètres d'air ou quelques feuilles de papier	Les particules bêta peuvent avoir un parcours plus long que les particules alpha, pénétrant davantage dans la matière, mais elles sont finalement arrêtées par des matériaux plus denses comme le verre ou l'aluminium.	Les rayons gamma ont une capacité de pénétration plus élevée et peuvent traverser des matériaux plus épais avant d'être atténués.
Dose Absorbée par les Particules	La dose absorbée par les particules alpha est généralement élevée sur	La dose absorbée par les particules bêta dépend de facteurs tels	La dose absorbée par les rayons gamma dépend de l'énergie

Alpha, Bêta et Rayons Gamma	une courte distance. Cependant, en raison de leur faible capacité de pénétration, ces particules n'affectent que les tissus situés à proximité immédiate de la source radioactive.	que l'énergie de la particule, la densité du matériau traversé, et la distance à la source.	du rayonnement, de la densité du matériau traversé, et de la distance à la source.
------------------------------------	--	---	--

Dose Absorbée par les Éléments Radioactifs :

- La dose absorbée dépend de la quantité d'énergie déposée par les rayonnements dans un matériau donné.
- Les éléments radioactifs émettent des rayonnements qui peuvent causer des dommages biologiques lorsqu'ils interagissent avec les tissus vivants.
- La dose absorbée est influencée par la nature du rayonnement, la distance à la source, et les propriétés de protection des matériaux environnants.

La dose absorbée par les particules alpha est souvent mesurée en gray, mais elle peut également être exprimée en sievert (Sv), en prenant en compte les caractéristiques spécifiques des tissus biologiques touchés.

Les doses radiologiques

Les doses radiologiques font référence à la quantité d'énergie déposée par les rayonnements ionisants lorsqu'ils interagissent avec la matière. Ces rayonnements peuvent provenir de diverses sources, telles que les rayons X en médecine, les rayons gamma dans l'industrie ou la radiothérapie, et les particules alpha, bêta, et les neutrons émis lors de processus nucléaires.

Il existe plusieurs termes associés aux doses radiologiques, et ils sont importants pour évaluer les risques potentiels pour la santé et mettre en place des pratiques de sécurité appropriées. Voici quelques termes couramment utilisés :

1. **Dose Absorbée (Gray - Gy) :** La dose absorbée mesure l'énergie déposée par unité de masse dans un matériau. Elle est exprimée en gray (Gy), où 1 Gy équivaut à une absorption d'énergie de 1 joule par kilogramme.
2. **Dose Équivalente (Sievert - Sv) :** La dose équivalente prend en compte les différents types de rayonnements et leur impact biologique sur les tissus. Elle est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur de pondération du rayonnement (WRWR). La dose équivalente est exprimée en sieverts (Sv), où 1 Sv équivaut à 1 Gy ajusté en fonction du type de rayonnement.
3. **Dose Efficace (Sievert - Sv) :** La dose efficace est une mesure de la dose équivalente pondérée en fonction de la sensibilité des différents tissus du corps humain. Elle prend en compte la variabilité de la radiosensibilité des différents organes et tissus.

4. **Exposition (Coulomb par kilogramme - C/kg) :** L'exposition mesure le nombre de charges électriques produites dans l'air par les rayonnements ionisants. L'unité d'exposition est le coulomb par kilogramme (C/kg).

Il est important de noter que différentes doses radiologiques ont des effets biologiques différents sur les tissus vivants. Les doses élevées peuvent causer des dommages aux cellules, tandis que des doses plus faibles peuvent entraîner des risques à long terme, notamment le développement de cancers. La radioprotection et la gestion des doses sont des aspects cruciaux de nombreuses activités impliquant des rayonnements ionisants, tels que la médecine nucléaire, l'industrie nucléaire, et la recherche.

Les Unités de Dose Radiologique : Gray (Gy) et Sievert (Sv)

La mesure des doses radiologiques est cruciale dans divers domaines tels que la médecine, l'industrie et la recherche. Deux unités importantes sont utilisées pour quantifier les doses radiologiques : le gray (Gy) et le sievert (Sv).

1. Gray (Gy) - Dose Absorbée :

- Le gray (Gy) est l'unité de mesure de la dose absorbée, qui représente l'énergie déposée par les rayonnements ionisants dans un matériau.
- Un gray équivaut à une absorption d'énergie de 1 joule par kilogramme de matériau irradié ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).
- L'équation pour calculer la dose absorbée (D) est :

$$D = \frac{\text{Énergie absorbée}}{\text{Masse du matériau irradié}}$$

- Le gray est utilisé pour mesurer la quantité d'énergie délivrée par les rayonnements ionisants, mais il ne prend pas en compte les différents effets biologiques des différents types de rayonnement.

2. Sievert (Sv) - Dose Équivalente :

- Le sievert (Sv) est l'unité de mesure de la dose équivalente, qui tient compte des effets biologiques des rayonnements ionisants.
- La dose équivalente (H) est calculée en multipliant la dose absorbée (D) par le facteur de pondération du rayonnement (WR) :

$$H = D \times W_R$$

- Le facteur de pondération du rayonnement (WR) est spécifique au type de rayonnement et représente le potentiel de causer des dommages biologiques. Pour les rayonnements gamma et X, WR est égal à 1.
- Pour d'autres types de rayonnements, comme les particules alpha, les neutrons, etc., WR peut être différent pour tenir compte de la nature plus ionisante de ces particules.

- La dose équivalente est exprimée en sieverts (Sv), où 1 Sv équivaut à 1 Gy pour les rayonnements gamma et X.

Exemple :

Supposons qu'un travailleur a été exposé à une dose absorbée de 3 Gy de rayonnement neutron. Le facteur de pondération du rayonnement neutron (W_R) est de 20. Calculez la dose équivalente (H) en sieverts.

$$H = D \times W_R = 3 \text{ Gy} \times 20 = 60 \text{ Sv}$$

Dans cet exemple, la dose équivalente est de 60 Sv, reflétant le fait que les neutrons sont plus biologiquement dommageables que les rayonnements gamma ou X.

En conclusion, le gray mesure la dose absorbée, tandis que le sievert ajuste cette mesure en fonction de la nature biologiquement dommageable du rayonnement. Ces unités sont essentielles pour évaluer les risques associés à l'exposition aux rayonnements ionisants.

Effets déterministes ou réactions tissulaires

À partir d'un certain seuil, exprimé en dose absorbée, apparaissent des effets pathologiques directement liés aux lésions cellulaires. On distingue les effets liés à une irradiation partielle ou globale. Les tissus et organes les plus radiosensibles sont les organes reproducteurs, la moelle osseuse (formation des cellules sanguines), le cristallin, la peau. Une irradiation cutanée localisée peut entraîner par exemple, selon les doses, une brûlure, une ulcération ou une nécrose.

En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus (moelle osseuse, tube digestif, système nerveux central). Une exposition aiguë uniforme du corps entier entraîne le décès dans 1 cas sur 2 à partir de 4 Gy en l'absence de traitement.

EFFETS DÉTERMINISTES ET DOSES SEUILS POUR UNE EXPOSITION UNIQUE BRÈVE	
Effets déterministes ou réactions tissulaires	Dose d'irradiation
Diminution temporaire des spermatozoïdes	0,15 Gy
Atteinte oculaire : opacités du cristallin	0,5 Gy
Diminution temporaire des leucocytes (globules blancs) Lésions cutanées	1 Gy
Stérilité féminine	2,5 Gy
Stérilité masculine définitive	3,5 Gy
Atteinte gastro-intestinale	5 Gy
Décès par atteinte du système nerveux	15 Gy

3- EFFETS SUR LA MATIERE (RADIOLYSE DE L'EAU, POLYMERISATION, RETICULATION, RADIOSTERILISATION, INTERACTION AVEC L'ADN, RADIOTHERAPIE)

Il est essentiel de noter que, bien que les rayonnements ionisants aient des applications bénéfiques, ils présentent également des risques pour la santé. Les procédures impliquant des radiations doivent être soigneusement contrôlées pour minimiser les risques d'effets néfastes

Le rayonnement radioactif peut avoir divers effets sur la matière, et son interaction avec différents types de substances peut entraîner des différents phénomènes, on peut citer quelques exemples :

1. Radiolyse de l'eau :

- Lorsque l'eau est exposée à des rayonnements ionisants, elle peut subir la radiolyse, qui est la dissociation des molécules d'eau en ions et radicaux libres.
- Les radicaux libres générés, tels que le radical hydroxyle (OH•) et le radical hydride (H•), peuvent réagir avec d'autres molécules, provoquant des modifications chimiques.

2. Polymérisation :

- Certains polymères organiques peuvent subir une polymérisation sous l'effet des rayonnements ionisants. Les rayons ionisants induisent la formation de radicaux libres dans les molécules, conduisant à la création de liaisons entre les chaînes polymériques.
- Ce processus est utilisé dans la fabrication de certains matériaux polymères.

3. Réticulation :

- La réticulation est le processus de formation de liaisons entre les chaînes polymériques, renforçant ainsi la structure du matériau.
- Les rayonnements ionisants peuvent provoquer la réticulation des polymères, améliorant ainsi leurs propriétés mécaniques et thermiques.

4. Radiostérilisation :

- La radiostérilisation utilise des rayonnements ionisants (généralement des rayons gamma ou des faisceaux d'électrons) pour détruire les microorganismes dans des produits tels que des dispositifs médicaux, des aliments ou des produits pharmaceutiques.
- Le rayonnement endommage l'ADN des microorganismes, les rendant incapables de se reproduire.

5. Interaction avec l'ADN :

- Les rayonnements ionisants peuvent provoquer des dommages à l'ADN des cellules exposées. Cela peut entraîner des cassures de l'ADN, des mutations génétiques et éventuellement la mort cellulaire.
- Les cellules ont des mécanismes de réparation, mais des dommages graves peuvent perturber ces processus.

6. Radiothérapie :

- En médecine, la radiothérapie utilise des rayonnements ionisants pour traiter le cancer. Les rayons ciblent les cellules cancéreuses, endommageant leur ADN et inhibant leur capacité à se diviser et à croître.

- La radiothérapie peut être administrée à l'aide de rayons X ou de rayons gamma provenant de sources externes ou à l'aide de sources radioactives implantées localement.

Le polyéthylène réticulé (PEX). Le polyéthylène est un polymère thermoplastique largement utilisé dans la fabrication de divers produits en plastique. Cependant, grâce à un processus de réticulation, le polyéthylène peut être transformé en un matériau plus robuste et résistant.

Dans le cas du PEX, la réticulation se produit généralement par exposition à des rayonnements ionisants, tels que des rayons gamma ou des faisceaux d'électrons. Ce processus induit la formation de liaisons covalentes entre les chaînes polymères du polyéthylène, créant un réseau tridimensionnel. Cette réticulation renforce les propriétés mécaniques du matériau, améliorant sa résistance à la chaleur, sa résistance à la pression, et sa durabilité.

Le PEX réticulé est largement utilisé dans les systèmes de tuyauterie pour l'approvisionnement en eau chaude et froide, le chauffage par le sol, et d'autres applications où la résistance chimique et la flexibilité sont des caractéristiques importantes. La réticulation permet d'obtenir un matériau qui conserve certaines des propriétés du polyéthylène tout en offrant des avantages supplémentaires grâce à la structure réticulée.

4-BASES DE LA RADIOPROTECTION (BIOCINETIQUE DES RADIOELEMENTS DANS L'ORGANISME, NORMES, CALCUL DE DOSE)

Biocinétique des Radioéléments dans l'Organisme :

1. Incorporation et Irradiation :

- Lorsqu'un radioélément pénètre dans le corps, il peut être incorporé dans les tissus ou organes cibles.
- Les radioéléments peuvent émettre des rayonnements alpha, bêta, gamma, ou être des émetteurs internes de neutrons, chacun ayant des propriétés de pénétration et d'interaction différentes.

2. Biocinétique :

- La biocinétique étudie le mouvement des radioéléments dans le corps, leurs lieux de fixation, et leur élimination.
- Les modèles de biocinétique aident à prédire la distribution et la rétention des radioéléments, permettant d'évaluer les doses potentielles.

Normes en Radioprotection :

1. Limites d'Exposition :

- Les limites d'exposition sont établies pour protéger les individus contre les effets néfastes des rayonnements.
- Les normes varient selon l'activité professionnelle, la population générale et les situations d'urgence.

2. Dose Annuelle Maximale :

- La dose annuelle maximale recommandée pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants est généralement de 50 millisieverts (mSv).
- Pour la population générale, la dose recommandée est nettement plus basse, généralement autour de 1 mSv par an.

Calcul de la Dose :

1. Dose Équivalente (H) :

- La dose équivalente est une mesure de la dose de rayonnement ajustée en fonction du type de rayonnement et de sa capacité à causer des dommages biologiques.
- Elle est exprimée en sievert (Sv) ou millisievert (mSv).

2. Dose Efficace (E) :

- La dose efficace prend en compte la dose équivalente pour différents organes ou tissus, pondérée par la sensibilité de chaque organe.
- Elle est utilisée pour évaluer le risque global pour la santé.
- Elle est également exprimée en sievert (Sv) ou millisievert (mSv).

3. Calcul de la Dose :

- La dose équivalente (H) est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur de pondération de qualité (Q) spécifique au type de rayonnement.
- La dose efficace (E) est ensuite calculée en sommant les doses équivalentes pondérées pour tous les organes et tissus concernés.

Les calculs de dose en radioprotection impliquent l'utilisation de plusieurs grandeurs, notamment la dose absorbée (D), la dose équivalente (H), et la dose efficace (E). Voici les principales formules associées :

1. Dose Absorbée (D) :

- La dose absorbée mesure l'énergie déposée par unité de masse dans un matériau. Elle est exprimée en gray (Gy) dans le système international d'unités.
- Formule :

$$D = \frac{\Delta E}{m}$$

D : Dose absorbée (Gy)

ΔE : Énergie absorbée (joules)

m : Masse du matériau (kilogrammes)

2. Dose Équivalente (H) :

- La dose équivalente prend en compte la nature biologique du rayonnement. Elle est exprimée en sievert (Sv) dans le système international d'unités.
- Formule :

$$H = D \times Q$$

H : Dose équivalente (Sv)

D : Dose absorbée (Gy)

Q : Facteur de pondération de qualité, qui dépend du type de rayonnement (sans unité)

3. Dose Efficace (E) :

- La dose efficace tient compte des différentes sensibilités des organes et tissus du corps aux radiations. Elle est également exprimée en sievert (Sv).

- Formule :

$$E = \sum w_i \times H_i$$

E : Dose efficace totale (Sv)

w_i : Facteur de pondération tissulaire pour chaque organe ou tissu

H_i : Dose équivalente pour chaque organe ou tissu (Sv)

voici quelques exercices pour pratiquer le calcul des doses en radioprotection :

Exemple 1 - Dose Absorbée (D)

Une source radioactive émet une énergie de 5 J dans un matériau de 2kg. Calculez la dose absorbée en gray.

Exemple 2 - Dose Équivalente (H)

Un travailleur est exposé à une dose absorbée de 0.1 Gy de rayonnement gamma. Le facteur de pondération de qualité (Q) pour les rayonnements gamma est 1. Calculez la dose équivalente en sievert.

Exemple 3 - Dose Efficace (E)

Un patient subit une radiographie du thorax, recevant une dose équivalente de 0.02Sv au niveau du poumon (w_l=0.12) et 0.01 Sv au niveau du foie (w_f=0.05). Calculez la dose efficace totale.

Exemple 4 - Conversion d'Unités

Une dose efficace de 60 mSv est rapportée. Convertissez cette dose en gray.

Exemple 5 - Dose Absorbée dans les Tissus

Un faisceau d'électrons délivre une dose absorbée de 0.5Gy à une profondeur de 2 cm dans un tissu. Calculez la dose absorbée dans le tissu à une profondeur de 5 cm.

Solutions :

1. D=2.5 Gy
2. H=0.1 Sv
3. E=0.018 Sv
4. 1 Sv=1000 mSv
5. D=0.125 Gy