

Biophysique des rayonnements

INTRODUCTION

L'effet des rayonnements sur la matière vivante est souvent perçu comme un effet nocif. L'étude scientifique de l'interaction matière-rayonnement, donne une possibilité de comprendre correctement de nombreux et complexes faits expérimentaux, c'est la **radiobiologie**.

Les scientifiques ou médecins spécialisés retirent de ces études un ensemble cohérent de connaissances orienté vers la **radioprotection**.

La **radioprotection** est issue du désir d'éviter une pathologie induite par les rayonnements sur une population malade ou en bonne santé, mais aussi sur la descendance de ces populations.

Les applications de la radioactivité, singulièrement les applications industrielles, ont générés des craintes parfois déraisonnables. La pathologie induite par les applications médicales a imposé la mise en place des normes de radioprotection dès 1928.

Les malades cancéreux sont traités par des rayonnements, c'est la **radiothérapie**. L'effet n'est plus délétère, au contraire c'est un effet bénéfique pour le malade.

Tout rayonnement, ionisant ou non ionisant, présente des effets biologiques, utiles ou nuisibles à la vie.

Donc, l'importance actuelle des rayonnements et les perspectives de leur développement, imposent au médecin et au biologiste de connaître les principes de leurs utilisations. Dans ce cours, nous présentons, en première partie, la physique générale des radiations. En deuxième partie, nous nous intéressons à l'étude de l'effet biologique des rayonnements et leurs applications en domaine médical.

Partie 1 : PHYSIQUE GENERALE DES RAYONNEMENTS

Un rayonnement ou une radiation est un mode de propagation de l'énergie dans l'espace, sous forme d'onde ou de particules.

Les rayonnements ne peuvent être détectés que grâce à leurs interactions avec la matière : ils cèdent totalement, ou en partie, leur énergie et en subissent des modifications.

I- Classification des rayonnements

* Selon la nature du rayonnement, ils sont classés en rayonnements **électromagnétiques** et rayonnements **particulaires**.

* Selon les effets sur la matière biologiques, ils sont classés en rayonnements **ionisants** et rayonnements **non-ionisants**.

I-1 Rayonnements électromagnétiques

1-1-1 Aspect ondulatoire de REM

Les radiations électromagnétiques sont émises par les vibrations des électrons atomiques composants celle-ci (avec deux composantes électrique et magnétique)

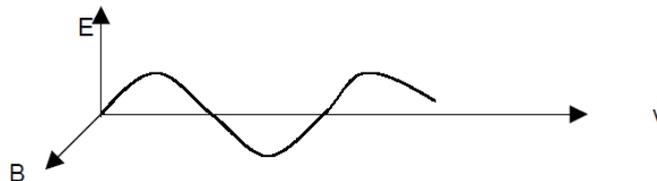


Fig. 1 : Rayonnement électromagnétique.

Ces rayonnements sont caractérisés par leur vitesse dans le vide (Célérité) $\approx 3.10^8$ m/s ainsi que leur fréquence ($\nu = 1/T$) où T est la période ou la longueur d'onde ($\lambda = CT = C/\nu$). Comme parfois ils se distinguent par le nombre d'onde ($\sigma = 1/\lambda$) ou la pulsation ($\omega = 2\pi/T$).

Par leurs fréquences, ils sont classifiés en en fonction de l'énergie de ses photons, ou, de manière équivalente, de sa longueur d'onde, ou de sa fréquence '**spectre électromagnétique**'.

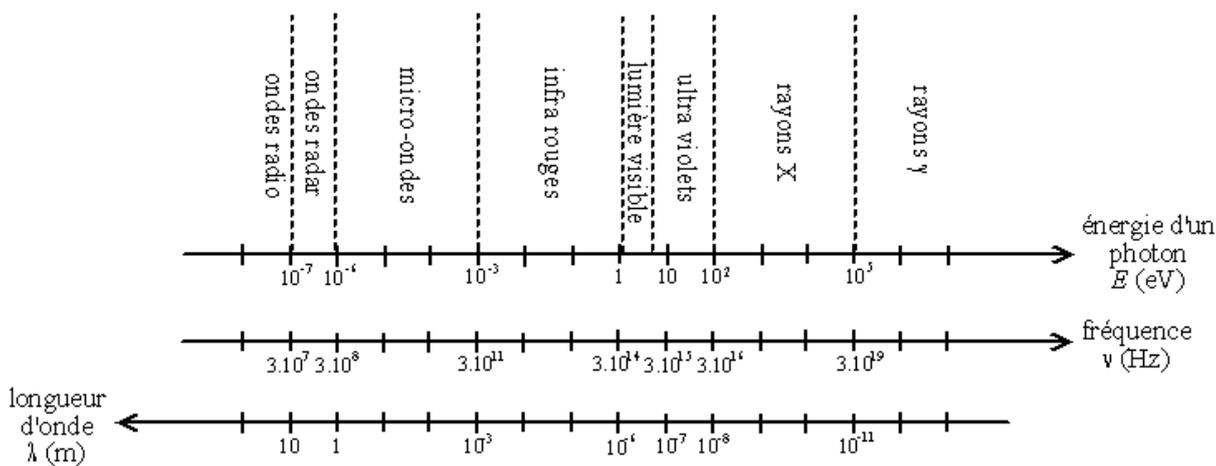


Fig. 2 Classement des rayonnements électromagnétiques par énergie, fréquence et longueur d'onde.

I-1-2 Aspect corpusculaire de REM

La nature **ondulatoire** des ondes électromagnétiques (REM) ne suffit pas à expliquer certains phénomènes tels que l'**effet photoélectrique**. Cela induit l'introduction de la nature **corpusculaire** conjuguée à la nature ondulatoire des photons.

L'hypothèse d'Einstein sur la quantification du rayonnement

C'est en 1905 qu'Einstein proposa son hypothèse sur la quantification du rayonnement. L'émission et l'absorption d'un rayonnement de fréquence ν se fait par des "**quanta**" ou "**photons**" d'énergie $E = h\nu$.

Le photon reste localisé dans l'espace (il n'a pas une extension infinie) ; une fois émis, il s'éloigne de la source à la vitesse c .

h est la constante introduite par Planck en 1900 : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Joule.s

En résumé, le photon se comporte à la fois comme un corpuscule et une onde.

I-2 Rayonnements particuliers

Nous regrouperons sous le terme de rayonnements corpusculaires ou particuliers les rayonnements constitués de particules élémentaires de **masse au repos non nulle**. Dans le domaine médical, il s'agira essentiellement de rayonnements constitués d'électrons, de noyaux d'hélium (particules α), de protons, plus rarement de neutrons. Ces particules peuvent être produites lors de désintégrations radioactives ou au moyen d'accélérateurs. Dans le domaine médical, ces rayonnements possèdent toujours des énergies largement capables d'ioniser des atomes. En pratique on distingue les particules selon leur charge : particules chargées ou particules non chargée (neutre).

I-2-1 Les particules chargées

Il s'agira essentiellement des particules chargées relativement lourdes et des particules chargées plus légères. Ces rayonnements agissent avec les électrons de la matière cible

- **Particules chargées légères (électrons) :** électrons, rayonnements β^- et β^+ , électrons de conversion interne, électrons Auger ... Toutes ces particules ne diffèrent que de par leur mode de production et sont de nature fondamentalement identique.

Le terme générique d'électron sera appliqué à ces particules.

- **Particules chargées lourdes :** protons, particules α , ions lourds, résidus de fission nucléaire... Le comportement dans la matière de ces entités est soumis aux mêmes lois que les particules chargées

légères, cependant l'effet de la masse intervient, ce qui a l'avantage de simplifier l'étude mathématique et physique.

Les électrons qui pénètrent dans la matière possèdent une vitesse, c'est-à-dire une énergie cinétique par essence transférable par des chocs.

I-2-2 Les particules non chargées (neutrons)

Il s'agit des rayonnements qui agissent sur les noyaux de la matière cible. Dans le domaine médical, on ne considère que les rayonnements de neutrons. Un faisceau de neutrons sera un excellent moyen pour incorporer des neutrons dans des noyaux ou pour observer des collisions avec ceux-ci. Compte tenu du volume très limité du noyau au sein de l'atome, ces chocs seront cependant peu fréquents, ce qui explique qu'un faisceau de neutrons pourra pénétrer profondément au sein d'un organisme. L'interaction neutron-matière pourra cependant augmenter significativement. Si la longueur d'onde de de Broglie associée aux neutrons est de l'ordre des dimensions de l'atome (10^{-10} m). Cela aura lieu pour des énergies relativement faibles, inférieures à 1eV. De tels neutrons seront qualifiés de **neutrons thermiques**, car ayant des énergies cinétiques de l'ordre de celle donnée par l'agitation thermique. Les neutrons de plus de 0,8 MeV sont appelés neutrons rapides. Entre 1 eV et 0,8 MeV, on parlera de neutrons **épi-thermique**.

Des essais cliniques sont en cours pour évaluer l'intérêt des neutrons thermiques dans le traitement de certains cancers.

II- Rayonnement X

Les rayons X ont été découverts en 1895 par W. Röntgen à Würzburg en Allemagne. Il baptise les rayons qu'il a découverts Rayons X avec le X comme l'inconnue en Mathématiques. Les rayons X sont des radiations électromagnétiques, qui occupent le domaine de 0,03 nm à 10 nm. Bien qu'il n'y ait pas de limites bien déterminées.

II-1 Production des Rayons X

Une application des interactions des électrons avec la matière est la production des RX. Les faisceaux de rayons X utilisés en médecine sont généralement produits par des tubes à RX dit tube de Coolidge dont le principe est représenté sur la figure 8.

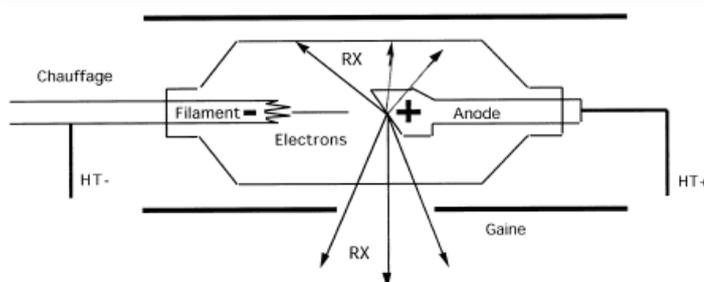


Fig .4 : Schéma d'un tube à RX de Coolidge

Dans un tube à RX de Coolidge, dédié pour l'imagerie, l'émission des électrons est obtenue par effet thermoélectrique, à l'aide d'un filament chauffé à une température suffisante par un courant i . Les électrons mis quittent le filament sous l'effet d'un champ électrique intense qui les accélère jusqu'à la cible. Ce champ électrique est obtenu à l'aide d'une différence de potentiel U dont la valeur est habituellement entre 30 et 150 kV pour les tubes de radiodiagnostic, et quelques centaines de kV pour les tubes utilisés en radiothérapie. Le filament émetteur constitue le pôle négatif ou cathode, la cible métallique constitue le pôle positif ou anode. Ces électrodes sont placées dans une enceinte de verre où l'on fait un vide poussé. Le tube est entouré d'un blindage en plomb percé par une fenêtre par où émergent les RX.

II-2 Spectre des rayons X

L'émission des RX est la conséquence des interactions qui se produisent entre les électrons rapides et les particules du métal dans lequel ils pénètrent. Ces électrons rapides ont une énergie cinétique $E_0 = e.U$

II-2-1 Spectre continu de freinage

Lorsqu'un électron d'énergie cinétique E_0 s'approche du noyau de charge positive, il rayonne de l'énergie sous forme d'une onde électromagnétique. Cette énergie est prélevée sur l'énergie cinétique de l'électron sous forme de RX. L'électron perd donc de l'énergie et aura une énergie finale E_c . On dit que l'électron est freiné. L'énergie des photons X émis est :

$$E = E_0 - E_c = h\nu$$

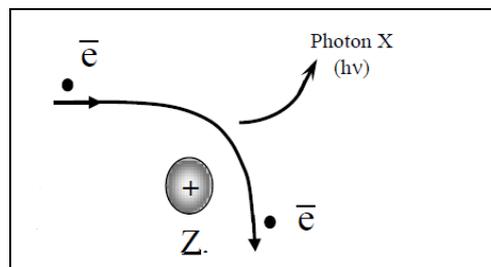
Trois possibilités peuvent se présenter :

- L'électron subit un freinage complet $h\nu = E_0 = e.U$

Ainsi l'énergie maximale des RX est égale numériquement à U

- l'électron incident perd une partie de son énergie. $0 < h\nu < E_0$

- L'électron passe sans aucune perte d'énergie : aucun photon X émis.



L'énergie totale, émise sous forme de photons peu énergétiques, est supérieure à l'énergie totale émise sous forme de photons très énergétiques.

II-2-2 Spectre caractéristique

Les collisions des électrons incidents avec les électrons de l'anode aboutissent à des ionisations. L'atome qui a perdu un électron d'une couche profonde possède un excès d'énergie, le retour à l'état fondamental se fait alors par émission d'un ou plusieurs photons X dont l'énergie totale est égale à W_i , on obtient ainsi une famille de raies X. Pour l'atome de tungstène, les principales raies sont des raies L aux alentours de 12 keV et des raies K aux alentours de 60 keV. Le spectre de raies a très peu d'intérêt en imagerie.

Partie 2 : EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS ET APPLICATIONS EN MEDECINE

La matière vivante (virus, cellule, tissu ou animal) est composée d'atomes structurés en molécules. Soumise à une irradiation par des rayonnements ionisants ou non ionisants cette matière reçoit de l'énergie, avec ou sans transfert de matière.

Les rayonnements ionisants, comme non ionisants peuvent avoir des effets délétères, nuisibles à la santé, ou au contraire utiles et même nécessaires à la vie.

I-LES RAYONNEMENTS IONISANTS

Un rayonnement ionisant est un rayonnement capable de déposer assez d'énergie dans la matière qu'il traverse pour créer une ionisation d'atomes de molécules d'intérêt biologique, riches en azote, oxygène et hydrogène, dont les énergies d'ionisation sont de l'ordre de la dizaine d'électronvolts.

Atome	N	O	H	C	Na	K
Energie d'ionisation (eV)	14,51	13,57	13,54	11,24	5,13	4,10

En général on retient pour les rayonnements ionisants un seuil de 13,6 eV. Ces rayonnements ionisants, lorsqu'ils sont maîtrisés, ont beaucoup d'usages pratiques bénéfiques (domaines de la santé, industrie...) Mais pour les organismes vivants, ils sont potentiellement nocifs à la longue et mortels en cas de dose élevée.

I-1 Principaux rayonnements ionisants

Type de rayonnement		Rayonnement ionisant	Charge élémentaire	Masse (MeV/c ²)
<u>Rayonnements électromagnétiques</u>	Indirectement ionisant	Rayonnement ultraviolet	0	0
		Rayon X		
		Rayon gamma		

<u>Rayonnements particuliers</u>	Directement ionisant	Neutron	0	940
		Électron / particule β^-	-1	0,511
		Positron / particule β^+	+1	0,511
		Muon	-1	106
		Proton	+1	938
		Ion ^4He / particule α	+2	3730
		Ion ^{12}C	+6	11193
		Autres ions	Variable	Variable

Les rayonnements les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière pour les arracher de leur atome. Les atomes ainsi privés de certains de leurs électrons sont alors chargés positivement. Les atomes voisins qui accueillent les électrons se chargent négativement.

Les atomes chargés positivement ou négativement sont appelés ions. Les atomes qui ont perdu au moins un électron sont devenus des ions positifs (cations), tandis que les atomes qui ont reçu au moins un électron sont devenus des ions négatifs (anions). Les rayonnements capables de provoquer de telles réactions sont dits ionisants.

Par leur énergie, les rayonnements ionisants sont pénétrants, c'est-à-dire qu'ils peuvent traverser la matière. Le pouvoir de pénétration dépend du type de rayonnement et du pouvoir d'arrêt de la matière. Cela définit des épaisseurs différentes de matériaux pour s'en protéger, si nécessaire et si possible.

I-2 Sources des rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants sont présents sur la Terre depuis sa création. Les progrès scientifiques ont amenés les hommes à se servir de rayonnements ionisants produits artificiellement. Ces rayonnements ont donc aujourd'hui des origines très diverses.

-Les rayonnements cosmiques sont des rayonnements ionisants d'origine naturelle. Ils peuvent provenir du Soleil. Ils sont constitués de noyaux atomiques, de particules de haute énergie et de rayonnements électromagnétiques. Leur interaction dans l'atmosphère produit des éléments radioactifs, dits d'origine cosmogénique, ainsi que des pions se désintégrant en produisant muons.

-La radioactivité produit différents types de rayonnements ionisants : les particules α , les particules β (β^- : électrons, β^+ : positons), les protons, les neutrons et les rayons γ . Les radionucléides responsables de cette radioactivité ont eux-mêmes plusieurs origines :

-Certains rayonnements électromagnétiques sont également des rayonnements ionisants. De manière classique, on considère que c'est à des longueurs d'onde inférieures à $0,1 \mu\text{m}$ qu'un rayonnement électromagnétique est ionisant. Parmi le spectre électromagnétique, sont donc considérés comme ionisants les rayons gamma, les rayons X et certains ultraviolets. Les rayons gamma sont issus de la désexcitation nucléaire faisant suite à une désintégration radioactive. Les rayons X et les rayonnements ultraviolets sont issus des processus électromagnétiques comme la transition électronique. Ils font partie des rayonnements cosmiques mais sont aussi produits de manière artificielle pour servir dans divers domaines tels que la recherche scientifique, la radiologie médicale ou l'industrie.

-Certains rayonnements particuliers sont aussi considérés comme des rayonnements ionisants. Ils proviennent des diverses sources naturelles ci-dessus mais peuvent aussi être directement créés de façon artificielle et utilisés dans des accélérateurs de particules : électrons, protons, ions.

I-3 Les modes d'exposition aux rayonnements

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue deux modes d'exposition : externe ou interne.

- ✓ **L'exposition externe** a lieu lorsque le sujet se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuage ou de dépôt sur le sol, sources à usage industriel ou médical...). L'exposition externe peut concerner tout l'organisme ou une partie seulement de celui-ci. Elle cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire des rayonnements (cas par exemple d'une radiographie du thorax).
- ✓ **L'exposition interne** (contamination interne) est possible lorsque des substances radioactives se trouvent à l'intérieur de l'organisme. Celles-ci provoquent une irradiation interne. Elles ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion, par une plaie ou par voie transcutanée, et se distribuent ensuite dans l'organisme. On parle alors de contamination interne. Celle-ci ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme après un temps plus ou moins long par élimination naturelle, décroissance radioactive, et/ou traitement.

Une réglementation a défini depuis 2006 plusieurs modes d'exposition :

1. exposition externe sans contact (à distance) : irradiation ;
2. exposition externe avec contact : contamination externe ;
3. exposition interne : contamination interne.

La contamination peut être surfacique, ou volumique (atmosphérique).

I-4 Dosimétrie des rayonnements ionisants :

La première mesure de « dose » avait été proposée par LIND en 1911, qui avait observé qu'un gramme de radium dans l'air produisait 0,7 g d'ozone par heure. L'imprécision des mesures reste exagérée.

Dans le domaine médical, toutes les interactions des rayonnements ionisants se résument à un transfert d'énergie cinétique électronique. L'idée de mesurer une charge électrique créée dans l'air par un faisceau de rayons X était séduisante. Il est en effet bien plus aisé de mesurer une charge créée dans une petite masse d'air, que d'apprécier la très faible différence de température associée, ce qui est la méthode de référence.

I-4-1 Dose absorbée

La grandeur physique qui permet de quantifier l'interaction d'un rayonnement avec la matière est la dose absorbée.

Si l'on considère un rayonnement d'énergie incidente EI qui pénètre dans un élément de volume de masse dm et qui en ressort avec une énergie EF, la dose absorbée est le rapport:

$$D = (EI - EF) / dm$$

L'unité internationale de dose absorbée est le Gray ou Gy. 1 Gy correspond à la dose absorbée par une masse de 1 kg à laquelle les rayonnements communiquent une énergie de 1 J, soit: **1 Gy = 1J. kg⁻¹**. La dose absorbée se mesure avec un dosimètre.

Une unité historique est encore utilisée: le rad avec 1 Gy = 100 rad.

- **Le débit de dose absorbée**

Indique la vitesse avec laquelle la dose absorbée augmente.

$$D' = D / t \text{ (= dose absorbée / temps écoulé)}$$

L'unité internationale de dose absorbée est Gray/seconde (Gy/s), plus pratique: µGy/h

Aussi : Débit de dose à une distance X = (constante d'équivalent de dose x activité de la source) / X²

Cependant, des expositions conduisant à une même valeur de dose absorbée ne présentent pas nécessairement les mêmes risques, qui sont également liés à la nature des rayonnements, aux conditions de l'exposition et à la sensibilité des organes et tissus irradiés. La connaissance de la dose absorbée n'est donc pas suffisante pour quantifier l'impact biologique d'une exposition.

I-4-2 Dose équivalente

Pour apprécier l'impact biologique des rayonnements sur un organe ou un tissu lors d'une exposition uniforme, on calcule une dose dite équivalente, qui est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération radiologique sans dimension caractéristique du rayonnement. Cette dose est alors exprimée en **sievert (Sv)**, du nom du radiobiologiste suédois Rolf Sievert (1896 – 1966).

La dose équivalente est actuellement notée H_R , il vient la relation fondamentale :

$$H_R = D_R \cdot W_R$$

Pour un rayonnement donné (indice R), la dose équivalente est égale au produit de la dose absorbée par le facteur de qualité.

- **Le facteur de qualité du rayonnement W_R**

$W_R = 1$ pour rayons X, rayons gamma, rayons beta

$W_R = 5$ pour protons à énergie supérieure à 2 MeV, pour neutrons à énergie supérieure à 20 MeV ou inférieure à 10 keV

$W_R = 10$ pour neutrons à énergie entre 10 et 100 keV ou entre 2 et 20 MeV

$W_R = 20$ pour neutrons à énergie entre 0,1 et 2 MeV et pour rayons alpha ou noyaux plus lourds.

Unité: Sv/Gy

I-4-3 Dose efficace

C'est une grandeur toujours exprimée **Sievert**, déterminée par calcul:

$$H_E = \sum W_T \times H_T$$

= somme de tous les produits entre facteur de pondération tissulaire W_T et la dose équivalente H_T pour le tissu T.

- **Le facteur de pondération tissulaire W_T**

Les différents organes ont une radiosensibilité différente (en termes de risque de cancer ou d'affections héréditaires). Pour tenir compte de ce fait, et dans le but de définir une échelle unique sur laquelle on peut quantifier les risques, indépendamment si le corps entier ou une partie du corps a été exposée, on a introduit un facteur de pondération tissulaire W_T qui tient compte de la radiosensibilité différente des différents organes.

Unité: / (sans unité)

Facteur W_T	Organes
0,2	Gonades
0,12	Colon, poumons, estomac, moelle osseuse rouge
0,05	Seins, vessie, foie, œsophage, thyroïde
0,01	Os (surface, peau)
0,05	Reste de l'organisme

- **Signification de la dose efficace**

L'indication de la dose efficace est synonyme de l'indication du RISQUE.

Pour une même dose efficace (p.ex. 10 mSv), le risque dû au rayonnement est indépendant du fait si une personne a subi une exposition partielle (p.ex. du crâne, du cou et du thorax) ou une exposition du corps entier.

La définition du risque dû au rayonnement comprend

- * le risque de mourir d'un cancer radioinduit
- * le risque de développer un cancer radioinduit
- * le risque de produire des effets génétiques sur l'ensemble des générations.

Dans la formule de calcul de la dose efficace, on tient compte de la sensibilité relative des différents organes de produire un des effets ci-dessus (facteur de pondération tissulaire), du type et de l'énergie du rayonnement et de la distribution de dose absorbée.

La dose efficace est une grandeur déterminée par calcul et qui tient compte :

- du type et de l'énergie du rayonnement
- du fait s'il y a eu exposition externe ou interne
- du fait si une partie ou le corps entier a été exposé

Le risque de cancer mortel est estimé à 5%/Sv et celui des risques héréditaires à 1%/Sv à des faibles doses.

I-5 Effets biologiques des rayonnements ionisants

Ce sont les effets observés lorsque des radiations ionisantes interagissent avec le tissu vivant en transférant leur énergie aux molécules organiques. La gravité de ces effets dépend du type de radiation (alpha, bêta, gamma), de la dose absorbée, mais aussi du taux d'absorption et de la radio sensibilité des tissus concernés. Les effets biologiques d'une irradiation rapide sont très différents de ceux d'une irradiation longue. Les premiers entraînent une mort cellulaire et se manifestent en quelques heures, jours ou semaines. Les autres sont mieux tolérés car une partie des lésions sont réparée. Cependant, des doses de radiation trop faibles pour détruire les cellules peuvent néanmoins provoquer des modifications cellulaires dont les conséquences apparaissent au bout de plusieurs années.

Chaque cellule biologique contient environ 10^{14} molécules répartit en 10^{13} molécules d'eau et 10^9 grosses molécules dont l'importance pour la vie cellulaire varie d'une espèce moléculaire à une autre hiérarchiquement : (ADN ; ARN, enzymes, protéines)

Les effets des rayonnements ionisants sur un organisme résultent du transfert d'énergie à la matière, transfert qui constitue un processus complexe.

I-5-1 Au niveau moléculaire (Les lésions moléculaires)

➤ Lésions induites par transfert direct d'énergie

L'énergie du rayonnement est transférée directement à la molécule qui est ionisée ou est excitée.

L'excédent d'énergie acquis par la molécule est perdu par:

- Rayonnement de fluorescence ;
- rupture de liaisons chimiques.

Exemple: l'excès d'énergie d'une ionisation est de 12,6 eV et celui d'une excitation est de 6,6 eV. Dans les 2 cas, l'excès est suffisant pour rompre la liaison H-OH d'une molécule d'eau dont l'énergie est de 5,16 eV.

➤ Lésions induites par transfert indirect d'énergie

L'énergie est transférée à des molécules au voisinage des molécules concernées qui induisent à leur tour des lésions des molécules concernées. C'est typiquement l'action des radicaux libres formés lors de la radiolyse de l'eau. Actuellement, on pense que c'est l'effet direct qui prédomine.

En effet, en raison de leur courte durée de vie (10^{-6} secondes) les radicaux libres migrent à de faibles distances. En conséquence, seuls ceux qui sont formés à proximité d'une molécule peuvent la léser.

➤ Les cibles des lésions radioinduites

Toutes les molécules biologiques sont des cibles. On peut mentionner en particulier :

a. l'eau: en raison de sa proportion dans tous les organismes vivants (environ 70% chez l'homme)

b. l'ADN: en raison de sa fonction centrale dans la cellule (altération des chromosomes et division cellulaire, altération des gènes et mutations).

I-5-2 Au niveau cellulaire (Les dommages cellulaires)

➤ Mort cellulaire, cancérogénèse et effets héréditaires

La mort cellulaire résulte de lésions irréparables dans des structures vitales pour la cellule telles que les chromosomes. La mort cellulaire peut être immédiate pour des doses élevées (plusieurs Gy) ou différée pour les faibles doses.

Les effets des faibles doses sont les suivants :

- les lésions sont dans la plupart des cas réparées et la cellule redevient normale
- si les lésions sont mal réparées, les cellules peuvent perdre leur capacité de division dès la 1^{ère} division (1^{ère} mitose) ou après plusieurs mitoses (mort différée)

Enfin, la cellule peut sembler normale en terme de survie, mais être anormale en terme chromosomique et subir des effets génétiques (héréditaires) ou s'orienter vers le développement de cancers.

I-5-3 Les effets pathologiques des rayonnements ionisants chez l'homme

✓ Les effets déterministes

Lors d'une exposition, si le nombre de cellules détruites est trop important, leur remplacement par la multiplication des cellules viables est insuffisant. Le déficit cellulaire qui en résulte entraîne des lésions tissulaires qui à leur tour altèrent la fonction de l'organe. Enfin, celle-ci peut entraîner des signes cliniques, voire la mort de l'individu.

Les effets déterministes sont donc ceux que l'on observe au delà d'un seuil, qui correspond à une dose de 0,2 à 0,3 Gy. Ils sont appelés déterministes car ils sont obligatoires, c'est-à-dire qu'ils se manifestent toujours.

✓ Les effets stochastiques

Les effets stochastiques sont les conséquences probabilistes à long terme, chez un individu ou chez sa descendance, de la transformation d'une cellule.

Ils résultent donc de lésions mal réparées des molécules d'ADN.

Les effets stochastiques sont de 2 types :

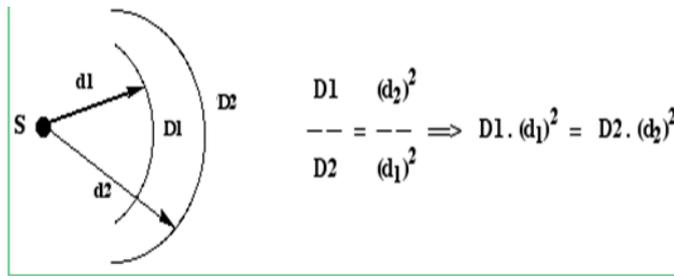
- si la mutation porte sur un gène d'une cellule somatique, les effets concernent l'individu exposé. Ce sont les effets cancérogènes
- si la mutation porte sur un gène d'une cellule germinale, les effets concernent l'individu exposé mais peuvent également se transmettre. Ce sont les effets héréditaires.

I-6 PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS IONISANTS

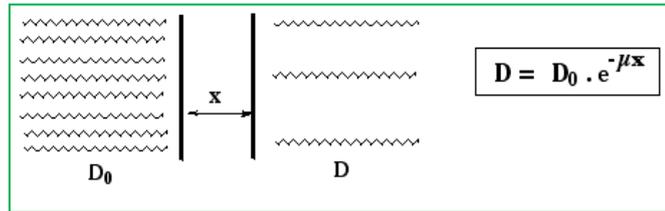
Les effets sur l'organisme d'une radio-exposition dépendent de la nature du rayonnement :

La dose absorbée est reçue par une personne est le produit du temps d'exposition par le débit de la dose absorbée. Alors la protection contre une exposition externe se fait soit par :

1. du temps d'exposition.
 2. Minimisation du débit de dose absorbée.
- Minimisation de la distance avec la source : Trouver un moyen d'augmenter la distance entre l'opérateur et la source de rayonnements



Atténuation par des écrans :



II- RAYONNEMENTS NON-IONISANTS

Un rayonnement non-ionisant désigne un type de rayonnement pour lequel l'énergie électromagnétique transportée par chaque quantum est insuffisante pour provoquer l'ionisation d'atomes ou de molécules. Ces radiations peuvent cependant avoir suffisamment d'énergie pour provoquer le passage d'un électron sur un niveau d'énergie plus élevé. Certains de ces rayonnements peuvent avoir des effets biologiques.

Parmi les rayonnements non-ionisants, on compte les rayonnements du proche ultraviolet, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes, les ondes radio et les champs statiques.

Parmi les rayonnements cités comme non-ionisants, les plus énergétiques (ultraviolet proche, lumière visible) peuvent dans certains cas ioniser quelques molécules.

La lumière du soleil, largement filtrée par l'atmosphère terrestre, arrive à la surface de la terre essentiellement composée de rayonnements non-ionisants (à l'exception notable de certains rayonnements ultra-violet).

➤ Effets biologiques des rayonnements non-ionisants

L'utilisation des rayonnements non-ionisants dans le champ médical comme dans la vie de tous les jours pose donc moins de problèmes que les rayonnements ionisants. L'un des principaux effets des rayonnements non-ionisants est un chauffage du corps.

En termes d'effets biologiques potentiels, les rayonnements non ionisants peuvent être divisés en :

- Les radiations de la gamme optique et de l'infra-rouge peuvent exciter des électrons ;
- Les radiations dont la longueur d'onde est plus petite que le corps, peuvent induire un chauffage du corps par courants induits (micro-ondes et rayonnements électromagnétiques de haute fréquence) ;
- Les radiations dont la longueur d'onde, sont bien plus grandes que le corps humain, peuvent plus rarement causer un chauffage via courants induits.

	Source	Longueur d'onde	Fréquence	Effet biologique
Ultraviolet C	Lumière destinée à la stérilisation par rayonnement	100 - 280 nm		Érythème, pigmentation de la peau, photokératite

Ultraviolet B	Cabine de bronzage	280 - 315 nm		photokératite, érythème, pigmentation de la peau, cancer de la peau, réactions photosensitives de la peau, production de vitamine D
Ultraviolet A	lumière noire, lumière du soleil	315 - 400 nm		Cataracte photochimique, érythème, pigmentation de la peau
Lumière visible	Lasers, lumière du soleil	400 - 780 nm		Vieillessement de la peau, cancer de la peau, lésions rétinienne photochimiques et thermiques.
Infrarouge A	Lasers, télécommandes	780 nm - 1,4 μ m		Brûlure thermique de la rétine, cataracte thermique, coup de soleil
Infrarouge B	Lasers, communications à longue distance	1,4 μ m - 3 μ m	215 THz - 100 THz	Brûlure de la cornée, cataracte, coup de soleil
Infrarouge C	laser Infra-rouge	3 μ m - 1 mm	100 THz - 300 GHz	Brûlures à la cornée, cataracte, échauffement de la surface du corps
Micro-ondes	Téléphones portables dans la gamme PCS, four à micro-ondes, téléphones sans-fil, détecteurs de mouvement, radar, Wi-Fi	33 cm - 1 mm	1 GHz - 300 GHz	Chauffage des tissus du corps
Ondes radio	Téléphones portables, télévision, émetteurs radio	3 km - 33 cm	100 kHz - 1 GHz	Echauffement du corps humain sur une épaisseur allant jusqu'à 1 cm
Basse fréquence	câbles de transport de l'électricité	> 3 km	< 100 kHz	Accumulation de charges électriques à la surface du corps, perturbation de la réponse des muscles et des nerfs
Champ statique	aimants forts, IRM	infinie	0 Hz	Vertiges, nausées, charges électriques à la surface du corps

Dr. C. SEKKAK

2021/2022