

LES RAYONNEMENTS IONISANTS- RADIOPROTECTION

Objectifs du cours :

- Classer les rayonnements ionisants
- Citer les sources d'exposition aux rayonnements ionisants : naturelles, médicales et industrielles
- Reconnaître les effets sur la santé
- Citer les principes de radioprotection.

I- GENERALITES

1. Définitions :

- Atome : un noyau autour duquel gravitent des électrons (-)
- Noyau : neutrons et de protons (+), appelés aussi nucléons
- Masse de l'atome = masse des nucléons
- Les énergies de liaison ou de dissociation : exprimées en puissance de l'unité de base d'énergie qui est l'électron - volt (eV)
- La nomenclature d'un atome s'écrit : A_ZX
 - **X : symbole chimique**
 - **A : nombre de masse** = nombre de protons + nombre de neutrons
 - **Z : numéro atomique** = nombre de protons = nombre d'électrons
- Les **isotopes** ; différents atomes qui appartiennent à un même élément chimique, ayant :
 - Des propriétés chimiques identiques
 - Numéro atomique **Z identique** (même nombre de protons)
 - Un nombre de masse **A différent** (Nombre de neutrons différent)

Exemples : ${}^{123}_{53}I$ ${}^{124}_{53}I$ ${}^{125}_{53}I$ ${}^{129}_{53}I$ ${}^{123}_{53}I$ ${}^{131}_{53}I$ ${}^{132}_{53}I$ ${}^{135}_{53}I$

Ces atomes instables (les **radionucléides**) en raison d'un excès de protons ou neutrons émettent de façon spontanée des **rayonnements** qui, en interagissant avec la matière, peuvent l'ioniser, c'est-à-dire lui arracher un ou plusieurs électrons → **ionisants**

On parle de « **rayonnement primaire** » lorsqu'il s'agit d'un rayonnement émis directement par une source (radionucléide, générateur de rayons X...).

L'expression « **rayonnement secondaire** » est utilisée lorsqu'il s'agit de rayonnements résultant des interactions de rayonnements primaires avec la matière.

Par exemple : interaction de neutrons avec la matière provoquant l'émission secondaire de rayonnements α , β , γ , X ou de neutrons.

2. Interactions rayonnements /matière :

A. Ionisation : l'électron rompt sa liaison avec le noyau, il faut pour cela lui communiquer une énergie au moins égale à l'énergie de liaison de l'électron au noyau

B. Excitation : l'énergie communiquée à l'électron est trop faible pour rompre sa liaison avec le noyau donc l'électron passe de son niveau énergétique fondamental à un niveau plus élevé correspondant à une orbite plus périphérique (atome est dit excité)

II- LES DIFFERENTS TYPES DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET LEURS CARACTERISTIQUES :

Un rayonnement particulaire ou électromagnétique est dit ionisant lorsqu'il est capable d'arracher des électrons de la matière.

1. Particules α :

Ce sont des particules constituées de 2 protons et de 2 neutrons (charge électrique positive). Elles sont émises par des radioéléments lourds. Leur parcours varie selon leur énergie d'un à quelques centimètres dans l'air et de quelques micromètres dans les tissus vivants et l'eau.

Elles sont arrêtées par la couche cornée de la peau ou une feuille de papier.

Exemples d'émetteurs : Plomb 210, Radon 222, Uranium 235.

2. Particules β :

Ce sont des électrons négatifs ou parfois positifs (positons). Selon leur énergie, leur parcours dans l'air est d'un mètre à quelques mètres alors que dans les tissus et l'eau le parcours est de 1 millimètre à quelques millimètres. Elles sont arrêtées par une feuille d'aluminium ou par des matériaux de faible poids atomique (plexiglas, etc).

Elles ne pénètrent pas en profondeur dans l'organisme.

Exemples d'émetteurs : Césium 137, Iridium 192, Phosphore 32

3. Rayons γ :

Ce sont des photons énergétiques. Ils sont très pénétrants pouvant parcourir quelques centaines de mètres dans l'air. Ils traversent les vêtements et le corps et sont arrêtés ou atténués par des écrans protecteurs en matériaux denses (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb).

Exemples d'émetteurs : Césium 137, Iridium 192, Technétium 99.

4. Rayons X :

Ce sont des photons énergétiques. Ils sont très pénétrants pouvant parcourir quelques centaines de mètres dans l'air. Ils traversent les vêtements et le corps et sont arrêtés ou atténués par des écrans protecteurs en matériaux denses (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb).

Exemples d'émetteurs : Générateurs électriques de rayon X, certains radionucléides.

5. Rayons neutroniques :

Ces particules électriquement neutres agissent sur la matière par chocs avec pouvoir de pénétration élevé qui varie selon leur énergie et la nature du milieu, et pouvant parcourir quelques centaines de mètres dans l'air. Ils traversent les vêtements et le corps et sont arrêtés ou atténués par des écrans de paraffine, eau, béton.

Exemples d'émetteurs : Couple Américium- Béryllium lors de la fission de l'Uranium 235, Accélérateurs de particules

III- LES MODES D'EXPOSITION

La nature et l'importance des effets sur la santé dépendent du mode d'exposition aux rayonnements ionisants et de la durée d'exposition. Cette exposition peut se faire selon 3 modes :

- 1. Exposition externe sans contact cutané :** La source du rayonnement est extérieure et à distance de l'organisme pouvant entraîner une exposition globale ou localisée. Ce type d'exposition résulte essentiellement de l'exposition aux rayonnements gamma, X et neutroniques.
- 2. Exposition externe par contact cutané :** La peau subit une irradiation par des dépôts de substances radioactives. La substance radioactive peut également pénétrer à travers la peau lésée ou plus rarement saine.
- 3. Exposition interne :** Elle résulte de la pénétration des substances radioactives dans l'organisme par ingestion, par inhalation (poussières, gaz, vapeurs, fumées et brouillards), par voie cutanéomuqueuse. L'exposition interne persiste tant que la substance radioactive n'a pas été éliminée par l'organisme.

IV- UNITES DE MESURE EN RADIOPROTECTION :

- **Radioactivité :** mesure le nombre de noyaux qui se désintègrent spontanément par unité de temps. L'unité de mesure est le Becquerel (1Bq correspond à une désintégration/seconde)
- **Dose absorbée :** c'est la quantité d'énergie communiquée par le rayonnement à la matière traversée par unité de masse. L'unité de mesure est le Gray (1Gy=100rad).
- **Equivalent de dose efficace :** responsable des effets biologiques. L'unité de mesure est le Sievert (Sv).
- **Débit de dose :** c'est la dose reçue par unité de temps. L'unité de mesure est Gy/sec.

V- LES SOURCES D'EXPOSITION HUMAINE AUX RAYONNEMENTS :

Les sources d'exposition humaines peuvent être naturelles ou artificielles.

1. Expositions naturelles : elle a deux origines :

- **Origine cosmique :** les rayonnements cosmiques de haute énergie interagissent avec les noyaux des atomes de l'atmosphère terrestre. Ils créent un rayonnement secondaire formé de particules de haute énergie et des radio-isotopes qui participent à l'exposition interne
- **Origine tellurique :** les radioéléments présents dans la croûte terrestre ont en général des périodes très longues. Son importance varie selon la nature des sols. L'organisme humain peut contenir également des radioéléments qui sont apportés par l'alimentation et l'eau de boisson.

2. Expositions artificielles :

- **Exposition du public**
 - Exposition médicale
 - Exposition domestique
- **Exposition professionnelle**

Nous citerons comme travailleurs exposés à titre d'exemples :

- Les professions médicales et paramédicales
- Les travailleurs des centres de recherche utilisant des sources
- Les travailleurs de l'industrie nucléaire
- Les travailleurs des mines d'uranium
- Les travailleurs des industries utilisant des sources radioactives scellées ou non scellées.

VI- LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS :

1. Effets moléculaires : dans une cellule vivante, toutes les molécules présentes peuvent être touchées cependant deux molécules ont une importance particulière, il s'agit de la molécule d'**eau** de par son abondance au sein des cellules et de la molécule d'**ADN** du fait des conséquences majeures pouvant être dues à une modification de sa structure.

- **La radiolyse de l'eau :** sous l'action des RI, la molécule d'eau se décompose en deux radicaux libres (R^*), porteurs d'un électron non apparié ou « célibataire », responsables de lésions moléculaires à leur tour.

- **Effet sur les systèmes enzymatiques :**

- Désorganisation des chaînes d'oxydoréduction des cytochromes
- Altération des membranes des lysosomes

- **Effet des rayonnements ionisants sur l'ADN :**

- Rupture d'un ou des deux brins de l'ADN
- Altération des bases ou des sucres

Les lésions de l'ADN peuvent conduire à la mort cellulaire ou à des mutations.

2. Les effets cellulaires : ils dépendent de la dose délivrée. Une irradiation peut entraîner :

- **La mort cellulaire :**

- Immédiate, si la dose est élevée
- Différée, après quelques mitoses si la dose est plus faible.

- **Altération des fonctions cellulaires :** elles peuvent être dues à des doses faibles, elles se manifestent par :

- Croissance cellulaire retardée
- Mobilité cellulaire diminuée
- Cycles mitotiques peuvent être retardés ou arrêtés.

- **Mutations cellulaires :** après lésion de l'ADN, les cellules peuvent conserver leur capacité de division, mais transmettent à leur descendance des anomalies radio-induites : ce sont les mutations, pouvant engendrer des cancers, si elles touchent les cellules somatiques et des anomalies héréditaires, si elles affectent les cellules germinales.

3. Les effets tissulaires : Ils ne s'expriment que lorsqu'un nombre important de cellules est détruit. Les RI affectent les cellules qui se divisent. Dans le cas du système hématopoïétique, si la cellule souche (multi potentielle) qui à l'origine des cellules de la lignée sanguine, est détruite par une dose suffisante, la différenciation est bloquée et conduit à une aplasie médullaire.

VII- EFFETS SUR L'HOMME :

1. Les effets précoces :

- Sont caractérisés par un temps de latence bref (quelques heures à quelques mois)
- Ils nécessitent une dose suffisante,
- Il peut s'agir :

- D'une irradiation externe globale ou généralisée
- D'une irradiation partielle localisée (exposition externe partielle)

A. Les irradiations externes globales ou généralisées :

- **En deçà d'une dose absorbée de 1 Gy :**

- Il y a peu de signes cliniques
- Parfois asthénie, céphalée, nausées.

- **Entre 1 et 2 Gy :**

- Signes neurovégétatifs : céphalées, asthénie, tachycardie, hypotension.
- Troubles digestifs : nausée, vomissement et douleur abdominale.
- Le sujet doit être hospitalisé pour surveillance.

- Au-delà de 2 Gy :

- Hospitalisation en service spécialisé en raison de l'atteinte du système hématopoïétique.
- Les lymphocytes sont les cellules les plus radiosensibles, leur nombre diminue rapidement après exposition.
- Le nombre de granulocytes diminue.
- La thrombopénie est responsable de troubles hémorragiques.

- Au-delà de 6 Gy :

- Aux syndromes prodromiques et hémorragiques qui sont majeurs, se surajoute un syndrome **viscéral**, gastro intestinal associant vomissements, diarrhée et hémorragies digestives.
- En l'absence de greffe de moelle osseuse, la mort est quasi certaine.

- Au-delà de 10 Gy :

- Les signes neurologiques apparaissent
- Aucune thérapeutique n'est efficace
- Le sujet meurt en 48 heures.

B. Irradiation partielle localisée ou exposition externe partielle :

Les effets dépendent de la dose reçue et de l'organe atteint

a. La peau :

- 3 et 5 Gy : Erythème
- 5 et 8 Gy : Epidermite sèche
- 12 et 20 Gy : Epidermite exsudative
- 25 Gy : Nécrose

Des séquelles importantes peuvent s'observer à type de :

- Atrophie d'un segment cutané, dyskératose, dyschromatose ;
- Douleur, troubles de la sensibilité....

b. Les gonades :

- **Testicules** : les cellules germinales des testicules sont très radiosensibles.
- Une dose supérieure à 0,2 Gy : diminution du nombre des spermatozoïdes
- 4 Gy : stérilité définitive

- Ovaires :

- Ont une radiosensibilité inférieure à celle des testicules
- La stérilité survient pour une dose supérieure à 8 Gy.

c. L'œil : la cataracte peut apparaître pour une dose inférieure à 2 Gy en 5ans.

d. La thyroïde : hypothyroïdie retardée entre 10 à 15 ans.

e. Système nerveux :

- *Leuco encéphalopathies* diffuses d'apparition tardive (1 – 3 ans)
- Pour la moelle épinière : *myélopathies radiques aiguës*, trois mois après l'irradiation pour des doses supérieures à 45 Gy.

f. Intestin :

« Grêle radique » : atrophie de l'épithélium intestinal, épaissement pariétal diminuant la lumière : *douleurs, troubles du transit*, parfois des complications à type d'*occlusion*, de *perforations* ou de *fistules*.

g. Poumon :

Pneumopathie aiguë radique : SDRA avec « poumon blanc », apparaissent pour > 8 Gy en dose unique.

h. Os et cartilage : l'irradiation des os en période de croissance entraîne un retard ou un arrêt de croissance.

i. Effets tératogènes : Le fœtus et l'embryon sont très radiosensibles.

- Période de pré implantation : en cas de dose élevée, il y'a mort cellulaire et avortement qui passe inaperçu, si non, quelques cellules sont détruites et remplacées, une seule cellule survivante suffit, c'est « la loi du tout ou rien »

- Embryogénèse ; c'est la période la plus radiosensible pendant laquelle vont se mettre en place les ébauches des tissus et organes de l'embryon ainsi que sa forme. Une irradiation risque d'induire des malformations :
 - Microcéphalie
 - Retard mental
 - Trouble de la croissance
- Stade fœtal (au-delà de 60 jours) : la fréquence des malformations diminue, ainsi que leur gravité.

2. Effets tardifs : ils se caractérisent par :

- Période de latence longue
- Peuvent s'observer pour des doses faibles
- Sont aléatoires
- Leur nature et leur gravité sont indépendantes de la dose
- Ils se manifestent par :
 - **Effets cancérigènes** :
 - Leucémie
 - Cancer de la peau
 - Sarcome osseux
 - **Effets génétiques** : Ils sont provoqués par la mutation d'une cellule de la reproduction. Ils sont difficiles à mettre en évidence car l'incidence naturelle des anomalies génétiques est importante.

VIII- RADIOPROTECTION :

« L'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, y compris par les atteintes portées à l'environnement ».

Art.4 Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants.

La protection contre l'exposition à des rayonnements ionisants doit être fondée sur les principes généraux suivants :

- **Justification** : toute pratique impliquant une exposition aux rayonnements ionisants doit pouvoir être **justifiée** par le bénéfice net qu'elle procure en tenant compte des facteurs économiques et sociaux.
- **Limitation** : sans préjudice des dispositions relatives aux expositions exceptionnelles liées aux situations d'urgence, l'exposition de toute personne doit être **restreinte** de façon que ni la dose efficace totale, ni la dose équivalente totale aux organes ou tissus concernés, ne dépassent la limite de dose applicable.
- **Optimisation** : la protection radiologique et la sûreté doivent être **optimisées** de façon que l'ampleur des doses individuelles, le nombre des personnes exposées et la probabilité des expositions soient maintenus au niveau le **plus bas** qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

IX- REPARATION :

Les effets des rayonnements ionisants sont réparés au tableau n°6 des maladies professionnelles.