

Faculté de médecine d'Alger

Département de médecine

Les rayonnements ionisants

DR TADJER

I. Introduction

Des radio-isotopes naturels sont présents sur toute la planète, dans l'atmosphère (carbone 14, radon 222), dans la croûte terrestre (uranium 238 et uranium 235, radium 226...) et dans notre alimentation (potassium 40).

Un rayonnement est dit ionisant si son énergie est suffisamment élevée pour ioniser les atomes du milieu qu'il traverse.

Par leur capacité d'ioniser la matière, les rayonnements ionisants peuvent causer des dommages physiques dans l'organisme humain entraînant des effets biologiques.

Des mesures de sûreté radiologique devraient être appliquées afin d'éviter les dommages.

Ils peuvent être arrêtés, peuvent être détectés et mesurés par un matériel spécial.

II. Rappels sur les bases physiques et biophysiques

Constitution de la matière

L'atome

Un atome est un noyau autour duquel gravitent des électrons, il est composé de deux types de particules, des protons chargés positivement et les neutrons non chargés électriquement ainsi que les électrons

Tous les éléments présents dans la nature comme l'oxygène, le carbone, l'hydrogène, etc... sont composés de différents types d'atomes.

Les rayonnements ionisants provenant de sources radioactives ont leur origine dans l'atome.

Les radioéléments

Les différents éléments présents dans la nature diffèrent par le nombre d'électrons et de protons que contient leur atome. Par exemple :

- Hydrogène (1 proton, 1 électron)
- Hélium (2 proton, 2 électron)
- Carbone (6 proton, 6 électron)

La radioactivité

La radioactivité est une propriété physique, naturelle, qui permet aux noyaux de certains atomes instables, de revenir à la stabilité en émettant des rayonnements.

L'ionisation se produit est le phénomène où un électron est arraché à un atome électriquement neutre. On obtient ainsi deux ions:

- L'atome chargé positivement;
- l'électron chargé négativement
- **Un rayonnement est dit ionisant si son énergie est suffisamment élevée pour ioniser les atomes du milieu qu'il traverse**

Les différents types de rayonnements ionisants :

Les rayonnements ionisants comprennent : les particules alpha, les particules bêta, les neutrons, les rayons gamma, les rayons X.

Les rayons alpha (α) :

- se composent de 2 protons et de 2 neutrons (le noyau d'un atome d'hélium);
- ne sont pas très pénétrants et peuvent être arrêtés par quelques centimètres d'air ou une feuille de papier;
- mais peuvent être difficile à détecter en raison de leur faible pouvoir pénétrant.

Les rayons bêta (β) :

- sont dans la plupart des cas constitués d'électrons chargés négativement;

- sont plus pénétrants que les rayons alpha mais peuvent encore être arrêtés par un plastique épais ou de fines feuilles de métal;
- représentent un risque d'irradiation interne.

Le rayonnement neutron (n) :

Des neutrons libres peuvent constituer un type de rayonnement.

- Eux-mêmes sans charge, les neutrons peuvent être absorbés par d'autres noyaux qu'ils rendent instables et par conséquent radioactifs.
- Ce processus est appelé activation.
- Les neutrons sont très pénétrants et peuvent causer d'importants dommages biologiques.

Les neutrons peuvent être arrêtés par un matériau hydrogéné comme l'eau ou du polyéthylène

Les rayons gamma (γ) :

- n'ont ni masse ni charge mais peuvent être extrêmement pénétrants
- doivent être arrêtés par des matériaux lourds ou massifs tels que l'acier, le plomb ou le béton peuvent être facilement détectés.

Les rayons X :

Sont générés électriquement et ne proviennent pas de la décroissance de matières radioactives; ils ont des propriétés qui peuvent être considérées comme presque identiques à celles des rayons gamma, si ce n'est qu'ils ont généralement des énergies plus faibles.

Différentes unités de grandeurs utilisées en radioprotection :

L'activité

Nombre de transformations par unité de temps,

Unité : becquerel (Bq), 1 Bq= 1 désintégration par seconde.

Ancienne unité : le curie 1Ci= 37 milliard de Bq

La période

Temps nécessaire pour que l'activité soit divisée par 2

Elle se note : T

Exemples de périodes

^{12}B T=0,02 secondes, ^{24}Na T=15 heures, ^{131}I T=8jours

^{60}Co T=5,2ans, ^{238}U T=4,5 milliards d'années

La dose absorbée

Energie cédée à la matière par unité de temps

Unité : le gray

La dose équivalente

A doses égales les effets biologiques sont différents selon la nature du rayonnement et selon les tissus exposés

Unité: le Sievert

On utilise plutôt **le mSv**

La dose efficace : somme de doses équivalentes

Afin de traduire la nuisance biologique des rayonnements sur les différents tissus humains on a défini la **grandeur dose efficace** par :

$$E = H \times W_T$$

W : facteur de pondération des tissus

Unité: le sievert

Sources de rayonnements

| Exposition artificielle | Exposition naturelle |
|---------------------------------|---|
| Médicale 1100 µSv/an | Rayonnements telluriques industrielle 1 à 200 mSv/an |
| Explosions nucléaires 5 µSv/an | Débit faible : 0,27mSv/h |
| Dose efficace 2400µSv/an | Professionnelle 1100 mSv/an |
| Domestique 50 µSv/ | |
| Débits variables parfois élevés | |

Exposition externe

- rayonnements cosmiques (galaxies, soleil):

- rayonnements telluriques émis par les radionucléides primordiaux: ^{40}K , ^{87}Rb , familles de l' ^{238}U , du ^{232}Th et de l' ^{235}U .

Exposition interne

- par inhalation : radon (^{222}Rn ; ^{220}Rn ; ^{219}Rn) et ses descendants (Po; Pb; Bi; Ti)
- par ingestion de tous les aliments (^{40}K , et radionucléides des familles de l' ^{238}U , et du ^{232}Th)

Types d'exposition aux rayonnements ionisants :

Sources scellées et sources non scellée

Les sources scellées ont une structure toute dispersion de matière radioactive dans le milieu ambiant.

Les sources non scellées sont des sources dont la présentation et les conditions normales d'emploi ne permettent pas de prévenir une dispersion de la substance radioactive dans le milieu ambiant.

Irradiation et contamination

L'irradiation correspond à une exposition externe par une source radioactive située à distance de l'individu.

La contamination est la présence indésirable de substances radioactives sur :

- les surfaces des locaux (murs, sols, plafonds),
- les surfaces de travail,
- les vêtements de travail et de protection,
- le corps humain.
- contamination externe, qui entraîne une exposition externe de la peau
- contamination interne qui est due à l'incorporation de substances radioactives dans le corps.

III Professions exposées

Applications médicales

Les rayonnements utilisés dans un but diagnostique et/ou thérapeutique

- **En radiodiagnostic** : radiologie conventionnelle, radioscopie, radiologie interventionnelle, tomodensitométrie, mammographie,
- **En médecine nucléaire** : diagnostic, radiothérapie métabolique,

Spécialité médicale qui utilise les rayonnements ionisants en sources non scellées à des fins thérapeutiques ou diagnostiques :

- pour le diagnostic: on utilise des émetteurs α .
Ces rayonnements peuvent traverser les tissus et être détectés à l'extérieur du corps.
- pour l'usage thérapeutique on utilise des émetteurs β (un faible parcours dans les tissus ce qui leur permet de délivrer une dose locale élevée).
- Les émetteurs les plus utilisés sont :

| | |
|-----------------------------------|--|
| • Technétium(^{99m}Tc) | • Thyroïde, muqueuse gastrique, glandes salivaires |
| • Thallium ^{201}Tl | • Myocarde, muscles et certaines tumeurs |
| • Xénon | • Ventilation pulmonaire |

| | |
|----------------------------|---------------|
| • Iode(131,123) | • Thyroïde |
| • Indium ¹¹¹ In | • Hématologie |

- **Radiothérapie** L'énergie déposée par les rayonnements ionisants altère ou détruit les cellules du volume irradié en endommageant leur matériel génétique, rendant impossible toute multiplication de ces cellules.
- **Curiethérapie** La curiethérapie est utilisée pour le traitement des tumeurs accessibles de petites dimensions. Les sources habituellement utilisées sont l'¹⁹²Ir, le ⁶⁰Co, l'¹²⁵I, le ⁹⁰Sr¹³⁷Cs,

❓ Applications industrielles :

La radiologie industrielle

- Jauges nucléaires pour la mesure de la densité du sol,
- Appareils de mesure d'humidité,
- Eliminateurs d'électricité statique,
- Détecteurs de fumée,

Contrôle de pièces métallique et de mesures et de soudure

- Radiographie de soudure,
- Inspection des cargaisons et des installations,
- Application de la technologie des radio-traceurs aux puits de Pétrole,

Industrie nucléaire

- Sources de lumière pour les situations d'urgence,
- Irradiation des aliments,

IV. Radio pathologie

1. Classification des effets biologiques

Effets non aléatoires, déterministes ou non stochastiques

- effets somatiques précoces
- existence d'un seuil
- aucune symptomatologie, si la dose est inférieure à 0,5 Grays
- ne peuvent être mis en évidence par l'examen clinique ou l'analyse biologiques.

Effets aléatoires ou stochastiques

- la gravité de l'effet augmente avec la dose
- l'effet apparaît chez toutes les personnes irradiées
- doses beaucoup plus faibles
- la probabilité de l'effet augmente avec la dose
- la gravité de l'effet n'augmente pas avec la dose
- l'effet n'apparaît que chez certains sujets irradiés

2. Clinique

- a) **Le syndrome aigu des radiations** : exposition de l'organisme en une seule fois.

📌 Le syndrome initial

- fatigue, anorexie, nausées, vomissements, diarrhée
- fuites hydro-électrolytiques, hypotension (10Gy)
- Hyperthermie
- érythème précoce

? Le Syndrome hématopoïétique

- doses supérieures à 1Gy
- dépression du nombre périphérique des globules blancs, des plaquettes et des rouges
- destruction des cellules souches de la moelle osseuse :
- les éléments figurés du sang ne sont pas renouvelés
- mort des suites d'une leucopénie et d'une thrombopénie :
- Infections, Hémorragies, leucopénies.

? Le Syndrome gastro-intestinal

- destruction des cellules souches
- destruction de la muqueuse intestinale :
- disparition des villosités
- pertes de liquides et d'électrolytes
- résorption de bactéries et de toxines présentes dans l'intestin
- diarrhées, nausées, vomissements

? Le Syndrome neuro-vasculaire

- doses très élevées 50-100 Gy
- entraîne la mort dans les 48-72 heures
- désorientation, apathie, ataxie, convulsions
- lésions micro vasculaires et Œdème cérébral
- hypertension intracrânienne.

? Les symptômes associés

- Symptômes oro -pharyngés
- Atteintes pulmonaires

b) Irradiation externe partielle

❖ Peau

▪ radiodermites aiguës précoces

- Entre 3 et 8 Gy: apparition d'un érythème. au delà de 5 Gy, radioépidermite sèche, alopecie transitoire (1^{er} stade).
- Entre 12 et 20 Gy : radioépidermite exsudative après 2-3 semaines. alopecie permanente (2^{ème} stade)
- Au-delà de 25 Gy: radiodermite ulcéreuse nécrose de la peau (3^{ème} stade).

Séquelles:

- atrophies de segments cutanés ou muqueux, télangiectasies, dyskératoses, dyschromies
- troubles fonctionnels avec douleurs, troubles de la sensibilité, de la vascularisation ou de la mobilité.

▪ Radiodermites tardives

Ce sont les classiques radiodermites des radiologistes survenant après plusieurs années de latence ; une fois constituées, elles n'ont plus tendance à régresser

- 1^{er} stade, atrophique : manque de souplesse, et d'élasticité de la peau, chute des poils.
- 2^{ème} stade, ulcéreux : ulcération atone, guérison difficile en cas de traumatisme

□ 3^{ème} stade, cancéreux : évolution possible vers un cancer cutané.

❖ gonades

- Les cellules germinales testiculaires sont très radio sensibles.
 - une dose de 4 Gy suffit pour entraîner une stérilité définitive.
 - une dose de 0,2 Gy peut entraîner une hypospermie.
- Les ovaires sont moins radiosensibles. la stérilité survient pour des doses supérieures à 8 Grays

❖ Œil

Une radio exposition peut entraîner une cataracte dans un délai variable:

- plus de 05 ans pour des doses inférieures à 02 Gy
- 01 an pour des doses supérieures à 10 Gy.

On peut voir également :

- des radiodermites aiguës ou chroniques des paupières avec blépharites et chute des cils.
- des conjonctivites traînantes et des syndromes secs oculaires.
- des kératites

❖ thyroïde

Les glandes endocrines sont en général assez résistantes sauf la thyroïde pour laquelle les effets pourront être retardés de 10 à 15 ans avec l'apparition d'une hypothyroïdie.

❖ effets des irradiations in utero

Les effets varient en fonction du stade de développement de fœtus.

- **Période de pré implantation (6ème – 9ème jours)**

Les cellules sont indifférenciées et totipotentes. En cas d'exposition élevée, il y a mort cellulaire et avortement passant inaperçu. Sinon quelques cellules sont détruites et remplacées ; une seule cellule survivante suffit pour assurer le développement complet de l'embryon.

- **Embryogenèse (jusqu'au 60ème jour)**

C'est la période la plus radio sensible. il y a risque de malformations, de mal développement du système nerveux central.

- **Phase fœtale (au-delà du 60ème jour)**

Le risque malformatif diminue mais une irradiation peut entraîner un risque cancérogène qui ne se révélera qu'après la naissance.

c) Effets aléatoires d'une exposition aux rayonnements

Ils ne concernent que certains individus au hasard et sont indépendants de la dose ; ils vont atteindre soit le sujet lui-même, soit sa descendance.

- **Effets génétiques**

Les anomalies génétiques peuvent concerner soit les chromosomes soit un ou plusieurs gènes.

- **Effets cancérogènes**

- ✓ **Latence important**

- Leucémies: 5 ans
- Tumeurs solides: 10 ans

Exception:

- les nourrissons de Tchernobyl
- cancer thyroïdien forte dose de l'¹³¹I
- thyroïde en plein développement

- ✓ **Difficulté de mise en évidence** en raison de la tendance au développement des cancers dans l'espèce humaine.

V. Radioprotection

La radioprotection a pour objectif de prévenir et de limiter les risques sanitaires dus aux rayonnements ionisants. Elle constitue le socle sur lequel sont fondées les règles et moyens de prévention qui doivent être mises en place par l'employeur ainsi que les tâches qui incombent aux différents partenaires sur le terrain, médecin du travail, radio physicien, radioprotectionniste, personne compétente en radioprotection.

1. Principes fondamentaux de la radioprotection

La justification : Toute activité entraînant une exposition aux rayonnements ionisants doit être justifiée par une analyse des avantages qu'elle procure.

L'optimisation : Le niveau d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, doit être maintenu au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA : contraction de l'expression « As Low As Reasonably Achievable »).

La limitation ; Les expositions individuelles doivent être maintenues en dessous des limites pour lesquelles le risque est jugé acceptable.

Règles de radioprotection

Le temps : minimisation du temps d'exposition

La distance : minimisation du débit de dose absorbée: la distance avec la source.

Les écrans : minimisation du débit de dose absorbée: l'atténuation par les écrans.

Les règles de radioprotection sont contenues dans Le décret n°05-117 du 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants ainsi que les différents textes d'application. Elles peuvent être résumées comme suit :

- ❑ Autorisation de détention et d'utilisation par l'employeur de sources de rayonnements, soumise à un certain nombre de conditions et après évaluation de la conformité radiologique de l'installation.

- ❑ Dispositif de protection radiologique comportant :

- La délimitation des zones réglementées :
 - Zones contrôlées (dépassement des 3/10èmes de doses annuelles possible).
 - Zones surveillées (dépassement de 1/10^{ème} des limites de doses possible)
- la protection contre l'exposition externe (blindage de la source, écrans, appareils de manipulation à distance, dispositif de mesure des rayonnements avec signalisation sonore et visuelle etc.)
- la protection contre la contamination (confinement des sources radioactives, ventilation appropriée, boîtes à gants etc.)

- ❑ Contrôle dosimétrique des travailleurs.

L'évaluation périodique des doses reçues par les travailleurs affectés dans une zone contrôlée au moyen de dosimètres individuels

Les résultats dosimétriques sont reportés dans le dossier médical spécial.

- ❑ Suivi médical par la médecine du travail :

- Limites de doses :

- 20mSv par an en moyenne sur cinq années consécutives
- 50mSv en une seule année.

- Classement des travailleurs

- Catégorie A : travailleurs susceptibles de dépasser les 3/10^{ème} des limites annuelles,

- Catégorie B : travailleurs non susceptibles de recevoir des doses supérieures à 3/10èmes des limites annuelles de doses.

▪ surveillance médicale particulière

Elle comprend :

- un examen médical d'aptitude avant toute affectation à un poste de travail sous rayonnement.
- Un examen médical périodique deux fois par an pour les travailleurs de la catégorie A, une fois par an pour ceux de la catégorie B pour s'assurer de l'aptitude médicale au travail.
- Un examen médical à la reprise de travail pour s'assurer de l'aptitude médicale au travail.
- Un examen médical en cas de dépassement des limites de dose.
- La tenue d'un dossier médical spécial comportant outre le volet de base :
 - Une fiche de poste de travail,
 - Une fiche de suivi dosimétrique externe et interne (anthropogammétrie)
 - Les dates et les résultats des examens médicaux pratiqués.

L'examen médical pratiqué comprend outre l'examen clinique un hémogramme complété, si besoin est, par un bilan hépatique et rénal ainsi que par une radiographie standard et des épreuves fonctionnelles respiratoires en cas d'exposition à un risque de contamination.

VI. Réparation

Tableau N° 6 : Affections provoquées par les rayonnements ionisants

| Désignation de maladies | Délai de prise en charge | LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES |
|--|--------------------------|--|
| - Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë. | 90 j | Tous travaux exposant à l'action des rayons ou des substances radioactives naturelles ou artificielles ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment : - Extraction et traitement des minerais radioactifs, - Préparation des substances radioactives, - Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs, - Préparation et application de produits luminescents radifères - |
| - Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique. | 1an | |
| - Blépharite ou conjonctivite. | 90 j | |
| - Kératite. | 1 an | |
| - Cataracte. | 10ans | |
| - Radiodermites aiguës. | 90 j | |
| - Radiodermites chroniques. | 10ans | |
| - Radio-épithélite aiguë des muqueuses. | 90 j | |
| - Radiolésions chroniques des muqueuses. | 5ans | |
| - Radionécrose osseuse. | 30ans | |
| - Leucémies. | 30ans | |

| | | |
|--|----------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Cancer broncho-pulmonaire primitive par inhalation. - Sarcome osseux. | 30ans 50ans | <p>Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires. - Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X,</p> <ul style="list-style-type: none"> - Travaux exposant des travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux. - Travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émettant les rayonnements indiqués ci-dessus |
|--|----------------|--|