

RAYONNEMENTS IONISANTS

NEZZAL Abdelaziz

Plan :

- I. Introduction
- II. Nature des rayonnements ionisants
- III. Modes d'exposition
- IV. Sources des rayonnements ionisants
- V. Les sources d'exposition humaine aux rayonnements
- VI. Mesure des rayonnements ionisants
- VII. Normes
- VIII. Les effets tissulaires des rayonnements ionisants
 - 8.1. Les effets déterministes
 - A) Après irradiations globales aiguës
 - B) Les effets précoces des irradiations cutanées localisées
 - C) Les effets tardifs des irradiations cutanées localisées
 - D) Effets des RI sur d'autres organes
 - E) Effet des RI sur l'embryon et le fœtus
 - 8. 2. Les effets stochastiques
 - A) Les cancers radio-induits
 - B) Les effet génétiques
- IX. Prévention
- X. Réparation

Bibliographie

I. Introduction

L'énergie électromagnétique est composée d'ondes ou radiations de fréquences différentes qui se propagent en ligne droite et à vitesse constante (vitesse de la lumière : 300000 Km/sec). L'ensemble de ces ondes constitue le spectre électromagnétique où les ondes sont réparties selon leur fréquence et leur longueur d'onde. Les radiations électromagnétiques sont réparties selon leur propriété d'ionisation de la matière en rayonnements ionisants et en rayonnements non ionisants (les rayons ultraviolets, les rayons infrarouges...). Les rayonnements ionisants comprennent les neutrons, les particules accélérées, les rayons γ , les rayons X, les particules β et les particules α .

II. Nature des rayonnements ionisants

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

1. Particules α

Ce sont des noyaux d'hélium He_{24} de charge positive. Elles sont émises par des radioéléments lourds. Leur parcours varie selon leur énergie de un à quelques centimètres dans l'air et de quelques micromètres dans les tissus vivants et l'eau.

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.

3. Neutrons

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 dizaines de mètres dans l'air et quelques centimètres dans l'eau.

4. Particules accélérées

Elles proviennent d'accélérateurs d'électrons préalablement ionisés et sont chargées négativement.

5. Rayons γ

Ce sont des ondes électromagnétiques, émises par les noyaux des atomes en même temps que les particules α et β . Elles se propagent en ligne droite et sont très pénétrants.

6. Rayons X

Ils sont émis lorsque des électrons sont projetés sur une cible positive et sont très pénétrants.

III. 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 cutanéo-muqueuse. L'exposition interne existe tant que la substance radioactive n'a pas été éliminée par l'organisme.

L'exposition peut être de courte durée ou prolongée.

IV. Sources des rayonnements ionisants

Les sources des rayonnements ionisants peuvent se présenter sous forme de sources scellées ou de sources non scellées ou d'appareils électriques générateurs.

1. Les sources scellées

Les substances radioactives sont scellées dans une enveloppe inactive qui présente une résistance certaine pour empêcher la dispersion de substance radioactive. Elles sont utilisées dans :

- les instruments de mesure : épaisseur, densité, pesage, ...
- les détecteurs de fumées, paratonnerres, stimulateurs cardiaques, ...
- la chromatographie en phase gazeuse
- la stérilisation de matériels ou de denrées
- Etc.

2. Les sources non scellées

La présentation et les conditions d'emploi ne permettent pas de contrôler la dispersion de la substance radioactive. Les principales substances utilisées sous forme non scellées sont le carbone 14, le soufre 35, le chrome 51, l'iode 125, ... Elles sont utilisées à titre d'exemples comme traceurs pour des mesures de (d'):

- usure,
- recherche de fuites,
- frottement,
- construction de modèles hydrodynamiques
- etc.

3. Appareils électriques générateurs

Tubes radiogènes et accélérateurs de particules

Le tableau suivant donne quelques exemples de sources et d'utilisations des rayonnements ionisants.

Sources	Utilisations
Appareils à rayons X	- Radiographie et radioscopie - Radiothérapie et radiobiologie - Cristallographie et résonance - Jauges d'épaisseur ou de niveau
Générateurs de radio-isotopes	- Médecine nucléaire
Matières radioactives	- Médecine nucléaire (diagnostic et thérapie) - Traceurs - Radiographie industrielle - Jauge de niveau ou d'épaisseur
Générateurs de neutrons	- Production de substances radioactives
Accélérateurs	- Radiothérapie - Radiographie industrielle - Recherche
Réacteurs	- Production d'électricité - Recherche

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. Mesure des rayonnements ionisants

1. Grandeurs et unités de mesure

1.1. Activité

Une source est caractérisée par l'activité du radioélément, c'est-à-dire le nombre de noyaux qui se désintègrent spontanément par unité de temps. L'unité de mesure de la radioactivité est le Becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde. On utilise plus souvent les multiples : kilo Bq = 10^3 , Méga Bq = 10^6 , Giga Bq = 10^9 , Téra Bq = 10^{12} .

1.2. Dose absorbée

C'est la quantité d'énergie transmise par le rayonnement à la matière traversée par unité de masse. Elle se mesure en Gray (Gy) (anciennement le rad : 1Gy = 100 rad).

1.3. Équivalent de dose efficace

Les effets biologiques, à dose égale, sont différents selon la nature du rayonnement et selon les tissus exposés. L'unité de l'équivalent de dose efficace est le Sievert (Sv) (anciennement le rem : 1Sv = 100 rem ; 10 mSv = 1 rem).

1.4. Débit de dose

C'est la dose reçue par unité de temps. Elle s'exprime en Gy/s ou en Sv/s.

2. Appareils de mesure Il existe trois types d'appareils :

2.1. Appareils de dosimétrie individuelle

- Dosimètres photographiques
- Dosimètres thermoluminescents
- Stylodosimètres à lecture directe

2.2. Appareils portatifs de mesure des rayonnements ionisants

- Appareil à chambre d'ionisation
- Compteur Geiger-Muller

- Compteur proportionnel
- Compteur à scintillation

2.3. Appareils lourds pour mesures fines (moniteurs)

VII. Les normes

Elles sont fixées par le décret n°05-117 du 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants.

1. Limites de dose pour les travailleurs exposés

- Dose efficace de 20 millisivert par an en moyenne sur cinq années consécutives.
- Dose efficace de 50 millisivert en une seule année
- Dose équivalente au cristallin de 150 millisivert en un an
- Dose équivalente aux extrémités (mains et pieds) ou à la peau de 150 millisivert
- Pour les apprentis et pour les étudiants (de 16 à 18 ans) :
 - Dose efficace de 20 millisivert par an en moyenne sur cinq années consécutives.
 - Dose efficace de 5 millisivert en une seule année
 - Dose équivalente au cristallin de 50 millisivert en un an
 - Dose équivalente aux extrémités (mains et pieds) ou à la peau de 150 millisivert

2. Limites de dose pour les personnes du public

- Dose efficace de 1 millisivert par an.
- Dans des circonstances particulières, une dose efficace allant jusqu'à 5 millisivert en une seule année à condition que la dose moyenne sur 5 années consécutives ne dépasse pas 1 millisivert
- Dose équivalente au cristallin de 15 millisivert en un an
- Dose équivalente à la peau de 50 millisivert en un an.

VIII. Les effets tissulaires des rayonnements ionisants

On distingue deux types d'effets chez l'homme les effets obligatoires ou déterministes et les effets aléatoires ou stochastiques.

8.1. Les effets déterministes

Les effets déterministes résultent d'une forte dose, entraînent la mort d'un grand nombre de cellules et sont présents au dessus d'un certain seuil.

- Sont proportionnels à la dose, peuvent être réversibles et peuvent être accompagnés d'effets stochastiques.

A) Après irradiations globales aiguës

Les irradiations globales sont accidentelles ou thérapeutiques (préparation aux greffes de moelle)

Phase prodromique

Cette phase comprend un ensemble de signes non spécifiques dont la nature et la précocité d'apparition dépendent de la dose reçue.

- Asthénie, signe précoce (0 à 8h), s'observe dans 30% des cas à 1.5 Gy et 60 à 70% des cas à 2 Gy,
- Céphalées, signe précoce (0 à 8h), supérieur à 50% des cas à 2 Gy,

- Nausées et vomissements, signe un peu plus tardif,
- Erythème précoce, apparaissant dans les 24h au-delà de 6 Gy, pouvant persister 15 j.
- Diarrhée, hypertension et hyperthermie : signes apparaissant pour des doses plus élevées (> 7 Gy).

Ces symptômes disparaissent après quelques heures ou quelques jours laissant place à une phase de latence pouvant durer jusqu'à 3 semaines.

Phase clinique.

Le syndrome aigu d'irradiation comporte trois syndromes majeurs :

1. Syndrome hématopoïétique (dose > 1 Gy)

Il est mortel sans traitement pour 50% des patients pour une dose > 3 à 4 Gy.

Les cellules sanguines circulantes ne sont pas sensibles aux RI (sauf les lymphocytes), les cellules radiosensibles sont les cellules souches de la moelle. Les conséquences d'une diminution des cellules circulantes :

- Granulopénie : infections
- Thrombopénie : hémorragies
- Anémie : pâleur cutanéomuqueuse, asthénie, dyspnée...

2. Syndrome digestif (dose > 7 Gy et devient prépondérant au-delà de 10 Gy)

Il résulte de la destruction de l'épithélium intestinal, entraînant :

- ulcérations digestives avec des infections (mort en 2 à 3 semaines),
- déséquilibre hydro-électrolytique (mort par déshydratation en quelques jours)

3. Syndrome neurovasculaire (dose > 40-50 Gy) :

- Désorientation, détresse respiratoire, convulsions, coma.
- Décès en 48h.

B) Les effets précoces des irradiations cutanées localisées : Brûlures radio-induites

Les brûlures radio-induites sont accidentelles.

Phase prodromique:

Il existe une phase prodromique associant érythème et paresthésies suivi d'une phase de latence de quelques jours à 3 semaines.

Phase d'état:

- érythème, dose > 3 Gy,
- épidermite sèche, dose > 5 Gy,
- épidermite exsudative, dose de 12 à 20 Gy,
- nécrose, dose > 25 Gy, elle peut être précoce ou tardive: réapparition possible d'une nécrose 6 à 18 mois après l'irradiation, après une phase de guérison apparente, secondaire à des lésions vasculaires (fibrose). Risque de fibrose tardive si dose > 12 Gy.

C) Les effets tardifs des irradiations cutanées localisées (la Fibrose)

La fibrose survient des mois ou des années après une irradiation > 12 Gy:

- fibrose active à densité cellulaire élevée et comportant de nombreux foyers inflammatoires
 - riche en fibroblastes hyperactifs sécrétant des substances biologiquement actives (enzymes de dégradation, facteurs de croissance) auto-entretenant le mécanisme de fibrose
- Elle est souvent mutilante.

D) Effets des RI sur d'autres organes

1. Les gonades :

Testicules: stérilité définitive à partir de 6 Sv en dose unique et 2 Sv/an en exposition chronique. Stérilité transitoire à partir de 0.1 Sv en dose unique et 0.5 Sv/an en exposition chronique.

Ovaires: stérilité à partir de 12 Sv (6 pour un âge > 45 ans) en dose unique et > 0.2 Sv/an en exposition chronique. Stérilité transitoire pour un équivalent de dose de 3 Sv.

2. Les yeux :

Le cristallin est la structure radiosensible de l'œil avec possibilité de cataracte. Elle survient des années ou dizaines d'années après une irradiation à des doses > 2 Sv voire > 0.5 Sv avec certains RI (neutrons)

3. Les poumons :

Fibrose diffuse avec insuffisance respiratoire sévère pour des doses de l'ordre de 30 Gy.

4. Les reins :

Radionéphrite avec hypertension artérielle et insuffisance rénale à partir de 20 Gy.

5. Les os :

Radionécrose avec fractures spontanées à partir de 70 Gy. Retard ou arrêt possible de la croissance en cas d'irradiation des cartilages de conjugaison pour les enfants.

6. La thyroïde :

Hypothyroïdie chez 50% des sujets pour 200 Gy (traitement des hyperthyroïdies par iode 131)

7. Effet des RI sur l'embryon et le fœtus

Dans les huit premiers jours : loi du tout ou rien

- Fausse couche pour une irradiation de 4 Gy ou poursuite d'une grossesse normale.

De J9 à J 60

Risque de mort in utéro (4Gy) ou d'apparition de malformations (> 0.5 Gy):

- Cerveau: microcéphalie et arriération mentale à partir 0.25 Gy,
- Œil: microphthalmie, anophtalmie,
- Os: adactylie, syndactylie, pied bot, ...

8. Après J 60

Période fœtale. Radiosensibilité moins importante :

- Retard de croissance, petite taille adulte,
- Risque cancérigène (leucémie, néphroblastomes, etc.)

8. 2. Les effets stochastiques.

Les effets stochastiques ont les caractères suivants:

- Résultent de mutations cellulaires, il s'agit de cancers radio-induits et des risques génétiques.
- Ne présentent pas de seuil.

- Ne sont pas spécifiques de l'irradiation, s'ajoutent aux cas naturellement constatés dans une population.
- Toujours graves, non spontanément réversibles.
- Apparaissent après un long temps de latence (quelques années à quelques dizaines d'années).

A) Les cancers radio-induit

Le cancer est le principal risque tardif des irradiations. La mise en évidence d'une relation irradiation/cancer est difficile.

B) Les effet génétiques.

La probabilité pour qu'une mutation radio-induite ait un effet sur la descendance est très faible. La mise en évidence d'un effet héréditaire des RI chez l'homme est difficile à étudier.

IX. Prévention

1. Protection contre les expositions externes

- Choix optimal de l'équipement et utilisation optimale de l'installation
- Eloignement de la source
- Diminution du temps de séjour
- Atténuation des rayonnements ionisants par un écran (blindage)
- Cessation d'émission pour les appareils à rayon X et les accélérations.

2. Protection contre les expositions internes

2.1. Précautions en cas de contamination radioactive :

- Eviter l'extension de la contamination
- Eviter les écoulements de liquides contaminés et le séchage de poussières radioactives
- Baliser la zone contaminée
- Enfermer les objets contaminant dans des enveloppes étanches
- Prévenir la contamination des personnes par les moyens suivants : port de vêtements étanches (gants, cagoules, bottes, etc.), port d'un masque isolant, alimentation interdite dans les locaux contaminés et contrôle des personnes quittant une zone contaminée.

2.2. Décontamination du matériel et des locaux 2.3. Décontamination des personnes

2.4. Matériels de protection

- Protection individuelle et collective
- Matériel d'intervention
- Matériel de décontamination d'urgence

2.5. Déchets radioactifs: le stockage doit se faire dans des fûts hermétiques et stockés dans un endroit isolé.

3. Respect des règles de surveillance et de protection des travailleurs contre les risques des rayonnements ionisants ainsi que celles relatives au contrôle de la détention et de l'utilisation des substances radioactives et des appareils émettant des rayonnements ionisants.

4. Contrôle

Le contrôle des équipements, des installations et des locaux doit être régulier et périodique.

5. Surveillance médicale du personnel exposé

La surveillance médicale lors des visites médicales préventives doit être clinique, biologique et dosimétrique.

IX. Réparation

Les pathologies liées aux rayonnements ionisants sont réparables selon le tableau N°6 des maladies professionnelles.

Lectures suggérées

1. Descatha A., Jenabian A., Conso F., Ameille J. - Affections hématologiques malignes et activités professionnelles (Elsevier Masson SAS, Paris), Toxicologie-Pathologie professionnelle, EMC, 16-530-A-10, 2003, 12p.
2. Moison R., Bélanger P.A. - Hygiène du travail. Les éditions Le Griffon d'argile inc. 1985.
3. Tubiana M., Jammet H., Bertin M, Les Rayonnements ionisants, EMC, paris, intoxications, maladies par agents physiques, 18510 A10, 1985, 14.
4. Guen B., Masse R. Effets des faibles doses des rayonnements ionisants. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Toxicologie - Pathologie professionnelle, 16-510-A-10, 2007
5. Décret n°05-117 du 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants/Algérie
6. Arrêté interministériel du 20 janvier 2011 définissant les niveaux d'intervention, d'action et de dose en cas de situation d'urgence radiologique ou nucléaire/Algérie.
7. Arrêté interministériel du 20 janvier 2011 fixant la signalisation particulière des zones réglementées contenant des sources de rayonnements ionisants/Algérie.
8. Arrêté interministériel du 20 janvier 2011 fixant les conditions d'utilisation des dosimètres individuels/Algérie.
9. Arrêté du 05 mai 1996 fixant la liste des maladies professionnelles/Algérie