



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOGRAPHIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA-
FACULTE DE MEDECINE -ANNABA-
DEPARTEMENT DE MEDECINE
SERVICE MEDECINE DU TRAVAIL**

Polycopié à l'usage des étudiants de sixième année

LES RAYONNEMENTS IONISANTS

**Dr BAHMED Amel
Maître de Conférence A
Médecine du travail**

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
- VII. Les effets tissulaires des rayonnements ionisants
 - 7.1. 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
 - 7. 2. Les effets stochastiques.
 - A) Les cancers radio-induit
 - B) Les effets génétiques.
- VIII. Mesure des rayonnements ionisants
- IX. Prévention
- X. Réparation
- Bibliographie

I. Introduction

L'énergie électromagnétique, appelée également énergie rayonnante, 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 particulaire ou électromagnétique est dit ionisant lorsqu'il est capable d'arracher des électrons de la matière.

1. Particules α

Ce sont des noyaux d'hélium He^{2+}_4 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.

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 cutanéomuqueuse. 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.

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, humidité (rayons X et appareils à sources radioactives tels que le Strontium 90, le Césium 137, le Cobalt 60, ...)
- 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, le tritium,... . 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. Les effets tissulaires des RI.

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

7.1. Les effets déterministes

Les effets déterministes résultent d'une forte dose (accident grave), impliquent la mort d'un grand nombre de cellules, sont obligatoirement 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 après irradiations corporelles totales thérapeutiques (préparation aux greffes de moelle)

Phase prodromique

Cette phase comprend un ensemble de signes cliniques 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 également précoce (0 à 8h) s'observent dans plus de 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 jours.

- 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.

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.

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)

Les poumons :

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

Les reins :

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

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.

La thyroïde :

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

E) Effet des RI sur l'embryon et le fœtus

Dans les huit premiers jours : Loi de tout ou rien

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

De J9 à J 60

Période d'organogénèse avec prolifération rapide de tous les tissus représentant une période de radiosensibilité élevée avec 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, anophthalmie,
- Os: adactylie, syndactylie, pied bot...

Après J 60

Période fœtale. Radiosensibilité moins importante :

- retard de croissance, petite taille adulte,
- risque cancérigène (leucémie, néphroblastomes, etc.)

7. 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 dont ils ne se distinguent en rien.
- Toujours graves, pas 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 :

- aucun critère ne permet de différencier un cancer radio-induit d'un cancer d'autre origine,
- la fréquence spontanée des cancers est élevée (25% de la mortalité)
- le surplus de cancers liés aux RI est faible (1 à 2% des cancers) : nécessité de comparer la fréquence des cancers sur des populations très importantes,
- développement de façon très tardive : plusieurs années à plusieurs dizaines d'années après l'irradiation : observation sur des périodes très longues,
- existence simultanée d'autres facteurs de risques (tels que le tabac, l'alimentation, les toxiques) capables de biaiser les études.

B) Les effets 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.

VIII. Mesure des rayonnements ionisants

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

1.1. Appareils de dosimétrie individuelle

1.2. Appareils portatifs de mesure des rayonnements ionisants

1.3. Appareils lourds pour mesures fines (moniteurs)

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. Ils sont soumis à une surveillance médicale spéciale (**SMS**), tous les 6 mois.

Les différentes classes d'exposition :

- **Catégorie A (DATR)** : comporte les travailleurs susceptibles de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv/ an ou une dose équivalente supérieure aux 3/10 des limites annuelles d'exposition.
- **Catégorie B (non DATR)** : comprend les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ne relevant pas de la catégorie A.

IX. Réparation

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

BIBLIOGRAPHIE

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/Algérie
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.

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