

# LES RAYONNEMENTS IONISANTS

## I/ Généralité

### 1. *Rappel des notions physique*

- La matière est constituée d'atomes: l'atome comprend un noyau autour duquel gravite des électrons.
- Le noyau est lui-même formé de neutrons et de protons(charge positive).
- Les protons et les neutrons sont appelés nucléons et la masse globale des nucléons est quasiment celle de l'atome
- Les électrons (de charges négatives) autour du noyau dont la charge équilibre celle du noyau.
- Nomenclature d'un atome s'écrit  ${}^A_ZX$ , dont :

X: représente le symbole chimique de l'élément au quel appartient l'atome

A: est le nombre de masse = au nombre de protons + le nombre de neutrons

Z: le numéro atomique = nombre de protons donc d'électrons.

**Exp:** le noyau d'hydrogène contient 1 proton celui du plomb  ${}^{210}_{82}$  (82 proton et 82 neutrons)les protons et les électrons portent une charge électrique égale mais opposée en signe ,le neutron n'est pas chargé électriquement.

-lorsque l'atome n'est pas ionisé: le nombre de protons est égal au nombre d'électrons ce qui en assure la neutralité (stabilité).

- **Stabilité et instabilité nucléaire**

Les noyaux peuvent être classés en deux catégories:

#### ➤ **Les noyaux d'atomes stables**

Possèdent un nombre de protons et de neutrons tels que leur architecture est parfaitement équilibrée(n'émet pas de radioactivité) ,de durée de vie indéfinie et sauf perturbation extérieur, cette structure ne se modifie pas.

#### ➤ **Les noyaux des atomes instables**

➤ l'instabilité se traduit par un excès d'énergie, le noyau va spontanément se transformé en d'autres noyaux afin de devenir plus stable cette transformation s'accompagne de l'émission de rayonnements porteur de l'énergie libérée. Leur durée de vie varient de nanoseconde aux milliards d'années.

Ces atomes instables sont dits « radioactifs »

De tels atomes peuvent existés naturellement (carbone  ${}^{14}$ ,l'uranium ${}^{238}$ ) ou être créés artificiellement par des accélérateurs de particules(fluor  ${}^{18}$ , iridium ${}^{192}$ ).

## 2. Définitions

## A/ Radioactivité

La radioactivité (découverte en 1896 par Henri Becquerel)

on appelle radioactivité le processus par lequel certains noyaux atomique émettent de façon spontanée un rayonnement .

Ces rayonnements sont « dit » ionisants car par leur interaction avec la matière , ils peuvent l'ioniser: lui enlever un ou plusieurs électrons.

- **L'ionisation des atomes:** l'énergie du rayonnement est supérieur à l'énergie de liaison des électrons: un électron est donc arraché au cortège électronique .
- **L'excitation des atomes:** si l'énergie n'est pas suffisante pour arracher un électron, peut être cependant suffisamment pour faire passer un électron du niveau fondamental à un niveau énergétique supérieur: l'atome est dit « excité ».

## B/ Isotopes

Des atomes qui appartiennent à un même élément chimique mais de constitution différentes.

Ont des propriétés chimiques identiques : le même numéro atomique Z donc le même nombre de protons mais un nombre de neutrons (A) différents .

**isotopes naturels:** Hydrogène (1 proton).

**Isotopes artificiels:** ces isotopes sont obtenus en bombardant des noyaux stables avec des particules appropriées, exemple l'iode 123 (radioactif) obtenu à partir de l'iode 127 (stable):en général la plus part des isotopes artificiels sont radioactifs.

## C/ Un radical libre

-Atome qui porte sur sa couche électronique externe un ou plusieurs électrons célibataires(non apparié à un électron).

-Cette configuration confère à l'atome une haute réactivité chimique : il tend à capturer un électron pour compléter sa couche électronique(stable).

-*Au niveau de l'organisme:* les radicaux libres proviennent essentiellement de l'interaction des rayonnements ionisants avec les électrons des molécules d'eau et ce en raison de la teneur extrêmement élevée en eau dans l'organisme.

-Ainsi le radical H est un puissant réducteur et le radical OH très fortement oxydant.

- On parle alors de : Rayonnements indirectement ionisants

### **3. Différents types de rayonnements**

-Gamma, Béta , X ,Alpha , et les neutrons à chaque désintégration ,le noyau radioactif peut générer des rayonnements de différents matières.

-On distingue deux types de rayonnements ionisants

### A/ Rayonnements électromagnétiques

-comprennent la lumière, les rayons X, Gamma: ce sont des rayonnements photoniques et ne sont ionisants qu'au dessus de 10eV.

-Ils sont de même nature et se distinguent par leur origine .

- ✓ Les rayons X proviennent de la couche électronique de l'atome
- ✓ Rayons Gamma proviennent de la désintégration d'un noyau, sont très pénétrants et leur énergie est plus élevée.

#### Caractéristiques des rayons X

- Propagation à la vitesse de la lumière
- Longueur d'onde : 1/10 000 de la lumière
- Sans masse, ni charge
- Rayonnements très pénétrant
- Parcourt des kilomètres dans l'air , des dizaines de centimètres dans l'eau

### B/ Rayonnement corpusculaires

- Ce sont les rayonnement alpha , Béta et les neutrons

- ils sont émis lors de transformation nucléaires

-se produisent dans les noyaux instables.

#### **Rayonnements neutroniques:**

- **Neutrons:** stoppé par les matériaux peu denses riches en hydrogène (eau, polyéthylène)
- **Alpha :** ne parcourt que quelques centimètres dans l'air ,arrêté par une feuille de papier
- **Béta:** parcourt quelques mètres dans l'air ,peut être stoppée par une paroi en bois ou en verre.

#### **Production des rayons X**

Interaction des électrons avec les structures atomiques

NOYAUX OU ELECTRONS → IONISATION OU EXCITATION → PRODUCTION DES RAYONS X

## II/ LES SOURCES D'EXPOSITION HUMAINE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

### **1/Exposition naturelle**

- C'est la principale composante de l'exposition humaine en moyenne 2,4 mSv. en rapport avec les radionucléides se trouvant dans la croûte terrestre ou apportée par ingestion ou inhalation de potassium 40, le carbone 14 et le radium 226...

- Cette exposition a deux origines: tellurique 1,6mSv/an et cosmique 0,3mSv/an.

## **2/Exposition professionnelle**

-Surtout externe et plus rarement interne lié à l'utilisation de substances radioactives ou à l'introduction de nombreuses techniques de diagnostic de mesure ou de traitement.

### ➤ **Secteur médical**

#### **En radiodiagnostic ou conventionnelle**

- La source la plus répandue : rayons X

(20 à 30 KV): mammographie

(50 à 120 KV): (ASP)

La radiologie interventionnelle : utilisant les rayons X (scopie) en Orthopédie, cardiologie et la chirurgie .

En médecine nucléaire les sources radioactives

« non scellées »: pour le diagnostic technétium 99, IODES 123, fluor 18 le traitement IODE 131 .

Les radioéléments sont utilisés dans les labos: physico-chimiques ( molécules marqués) de biochimie (dosage des vitamines ,hormones , enzymes , marqueurs tumoraux).

En radiothérapie : utilisation de radioéléments: les faisceaux de rayonnements ionisants utilisés sont produits par les accélérateur d' électrons (5 à 20MeV):curiethérapie(césium137).

## **III/ MODE D'EXPOSITION DE L'ORGANISME**

### **A/Exposition externe**

Due à des sources externes situées hors de l'organisme: irradiation sans contact cutanée elle peut être partielle ou globale.

### **B/Exposition interne** : contamination

L'organisme est susceptible d'entrer en contact direct avec une source radioactive: la personne est soumise à un risque de contamination :

-**Externe par contact cutané**: substance radioactive à l'extérieur du corps(blessure).

-**Interne**: substance radioactive à l'intérieur du corps.

-**La contamination par voie externe par inhalation ,ingestion et la voie oculaire.**

Une contamination diminue suivant 02 voies :

- Décroissance de la source(1/2 vie physique)
- L'élimination naturelle (1/2vie d' élimination biologique).

#### **IV/ GRANDEURS ET UNITES**

- Il existe trois unités pour mesurer les effets des rayonnements :

**Becquerel:** nombre de désintégration par seconde, noté (Ba): cette unité est utilisé pour l'activité.

**Gray:** c'est l'énergie du rayonnement reçue, notée(Gy) c'est l'unité de la dose absorbée.

**Sievert:** c'est l'effet de l'irradiation reçue, notée (SV) c'est l'unité de la dose équivalente absorbée.

- ***Dose absorbée (D)***

-Il s'agit d'une grandeur physique utilisable quels que soient le rayonnement et le milieu

-C'est l'énergie de 1 joule dans 1Kg de matière.

-La dose absorbée désigne la dose moyenne reçue par un tissu ou organe. L'unité c'est le Gray: 1Gy = 1j/Kg

- ***Débit de dose absorbée***

-C'est l'énergie cédée à la matière par unité de temps. Gray/heure (Gy/h).

- ***Dose équivalente(H)***

-C'est la dose absorbée par tissu ou l'organe

-Calculée en fonction d'un facteur de pondération WR qui est fonction du type rayonnement absorbé

$$H=D \times W_r$$

-Unité Sievert (SV)

- $W_r= 1$  Béta, Gamma et X
- $W_r= 20$  Alpha
- $W_r= 5$  à  $20$  Neutrons
- $W_r 5$  protons

- ***Dose efficace (E)***

C'est la somme des doses équivalentes délivrées aux différents organes et tissus du corps par des expositions externe et interne et pondérée par un facteur de pondération des tissus et organes  $W_t$

Unité Sievert (SV)

$W_t = 0,05$  (thyroïde)

$W_t = 0,20$  (gonades)

$W_t = 0,05$  (seins)

$W_t = 0,12$  (poumons)

$W_t = 0,01$  (peau)

- ***Les facteurs de pondérations***

**$W_R$** : prend en compte le type de rayonnement. Pour une même valeur de la dose absorbée les photons les neutrons, et les particules alpha n'ont pas la même «efficacité biologique» la dose absorbée doit alors être pondérée en la multipliant par facteur tenant compte de la qualité du rayonnement.

**$W_t$** : prend en compte la sensibilité des tissus ou organes. Pour considérer le détriment global des rayonnements- agissant sur les différents tissus ou organes d'un individu, on définit la dose efficace à partir de la quelle sont fondées les limites de dose pour l'organisme entier.

- ***Dose efficace à l'organisme entier***

\*L'effet des rayonnements sur l'organisme vivant dépend de la dose absorbée des tissus mais également de la nature du rayonnement et de la sensibilité des tissus ou organes irradiés. Ainsi la dose efficace qui rend compte de l'effet global des rayonnements sur l'organisme résulte d'une modélisation du risque.

\*A partir de la dose absorbée, une double pondération est effectuée, d'abord avec le facteur prenant compte la qualité du- rayonnement puis avec le facteur prenant en compte la sensibilité relative des tissus ou organes dans lesquels est répartie la dose absorbée.

- ***L'activité***

-Une substance radioactive est caractérisée par son « activité » cette grandeur traduit: le nombre de désintégration qui se produit par unité de temps (seconde).

-Exprimée en Becquerel (Bq).

- ***La période radioactive***

C'est le paramètre de radioprotection de l'exposition interne: c'est le temps (T) au bout duquel l'activité initiale est divisée par 2.

8 jours pour l'IODE<sub>131</sub>, 2 heures pour le Fluor, 18,6 heures pour le Technétium 99...

### **En résumé**

Pour évaluer l'importance de l'impact biologique d'une exposition au rayonnement ionisants et comparer les expositions entre elles **TENIR COMPTE**

- ✓ Des effets dans la matière : Dose absorbée (Gy)
- ✓ De la nature des rayonnements : Equivalent de dose (Sv) pour une même dose absorbée, effet biologique des rayons alpha est 20 fois plus importante que celui des rayons Gamma
- ✓ Du temps d'irradiation : Débit de dose (Gy/h)
- ✓ De la radiosensibilité du tissu/organe touché: Dose efficace (Sv)

### **V/ Effets biologiques des rayonnements ionisants**

#### **1) Effets biologiques des rayonnements ionisants**

-Quelle que soit leur origine naturelle ou artificielle nucléaires ou radiologique, les RI ont suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes de la matière.

#### ***S'ils' agit des constituants des cellules vivantes:***

-Les RI altèrent les structures moléculaires des cellules : soit les détruire ou les modifier. Deux molécules sont particulièrement importantes les molécules d'ADN et d'eau : dès lors: produit deux catégories d'effets (déterministe et aléatoires).

#### **2) Les effets moléculaires**

-Au sein d'une cellule peuvent être identifiées plusieurs cibles potentielles : la membrane cellulaire, les organites cytoplasmiques et le noyau.

- Les deux premières structures ne sont concernées que par les doses les plus fortes qui conduisent dans tous les cas à la mort cellulaire (effets déterministes).

- C'est l'atteinte du noyau et plus particulièrement de la molécule d'ADN porteuse du code génétique de la cellule qui rend compte des (effets stochastiques).

-La molécule d'ADN présente de multiples particularités et l'une des plus intéressante est l'existence d'une machinerie enzymatique très complexe dédiée au maintien de son intégrité et à la réparation la plus fidèle possible. Cet équipement enzymatique est fondamental.

-Les lésions de l'ADN peuvent avoir de nombreuses causes intrinsèque à la cellule ou extrinsèque: la plus importante est certainement liée à la production de radicaux libres au cours du métabolisme cellulaire de l'oxygène.

-Les RI font partie des agresseurs extrinsèques potentiels au même titre que de multiples toxiques chimiques, souvent plus efficace pour induire des anomalies de l'ADN.

### 3) Effets des RI sur l'ADN

-Les RI provoquent des lésions de la molécule d'ADN par l'intermédiaire des ionisations moléculaires.

-Il est important de préciser que ces lésions ne sont pas spécifiques aux RI mais qu'elles peuvent survenir spontanément dans une cellule ou être induites par d'autres toxiques.

-Il n'est pas donc possible d'affirmer la responsabilité des RI dans la genèse des lésions de l'ADN.

Les effets des RI sur la molécule d'ADN sont de deux types:

#### ❖ Effets directs

Résulte de l'ionisation de l'ADN représente 40% du nombre total de lésions par l'irradiation.

#### ❖ Effets indirectes

-Résulte de la création de radicaux libres et implique la molécule d'eau (par son abondance 70% de l'organisme) comme intermédiaire qui subit un processus appelé radiolyse.

-Les radicaux libres H et OH s'ils sont produit à proximité de la molécule d'ADN ,il vont pouvoir réagir avec elle et altérer sa structure par oxydation ou réduction.

-Tous les éléments de l'ADN peuvent être concernés: les bases, le squelette phosphodiester, un ou plusieurs brins.

### 4) Effets des RI sur..

#### *Les lésions chromosomiques*

- Les lésions de la molécule d'ADN ont également des conséquences à l'échelle supérieure: chromosomique (visible au microscope).Elles sont liées à la survenue de lésions double brin qui rompe la molécule d'ADN.

- Il peut s'agir de délétion qui correspond à la perte d'un segment plus ou moins long de bras d'un chromosome provoquant une perte du matériel génétique et de la fonction protéique correspondante.

-Peuvent survenir des ruptures avec réarrangement chromosomique: inversion d'un segment de bras translocation(transfert d'un segment de bras dans un autre bras).

### 5) Réparation des lésions de l'ADN



-Mécanismes visant à éliminer les radiolésions et reconstituer la structure originale de l'ADN, donc à restaurer la viabilité de la cellule.

- On estime qu'une dose de 1Gy de rayon X délivrée dans une cellule provoque 1000 cassure simple brin et 40 à 50 cassure double brin et 2000 lésions de base qui s'ajoutent aux lésions spontanées.

-Ces systèmes de réparation sont soit:

- ❖ **Constitutif**: ils existent naturellement dans la cellule
- ❖ **Inductibles**: ils apparaissent après les lésions de la molécule d'ADN.

-Après l'exposition à de faible dose de RI, la cellule réagit en stimulant des mécanismes de défense enzymatiques qui sont des capteurs des radicaux libres, ces enzymes sont mis en œuvre très rapidement pour intercepter et neutraliser les radicaux libres et les oxydants dès leur formation.

-Les systèmes de surveillance des lésions d'ADN ont pour but d'éviter toute persistance d'une lésion qui risque d'induire des altérations génétiques.

-Si les lésions sont trop importantes ou non réparables ces cellules sont éliminées, la cellule meurt immédiatement ou après quelques divisions cette mort différée est appelée apoptose: ce phénomène empêche la persistance d'une anomalie génétique importante potentiellement délétère pour l'individu.

## 6) Les effets cellulaires

Plus une cellule se divise souvent, plus le nombre de divisions qu'elle doit accomplir est grand, moins elle est différenciée et plus elle est radiosensible.

Plus une cellule est différenciée, moins souvent et moins longtemps elle se multiplie et plus elle est radiorésistante.

-C'est cette loi qui explique qu'au sein d'un tissu irradié, ce sont les cellules souches non différenciées dont la tâche est de fournir par multiplication les cellules qui vont secondairement se différencier pour construire le tissu qui sont les premiers éliminées.

-Cette loi est également à la base de toute applications des RI pour le traitement des affections néoplasiques puisque la capacité de prolifération des cellules malignes est supérieure à celle des cellules normales et les affecte donc d'une radiosensibilité plus élevée.

### **Mort cellulaire**

-On définit la mort des cellule comme la perte irréversible de leur capacité de prolifération.

-Survient à des doses très élevées arrêt de toute fonction cellulaire : la mort cellulaire est immédiate.

-Si la dose est plus faible la mort est différée: les cellules ont perdus la capacité de division

Effets dits « déterministes»

### **Mutations**

-Dans certains cas les RI sont responsables de lésions chromosomiques non létales peuvent conférer à la cellule mutée de nouvelles propriétés.

-Les cellules peuvent garder leur pouvoir de division mais transmettent à leur descendance les anomalies induites:

- ✓ Cancers si elles touchent les cellule somatiques
- ✓ Anomalies héréditaires si elles touchent les cellules germinales.: Effets dits « aléatoire »

#### 7) Effets tissulaires

-Conséquences des effets cellulaires

-Les effets s'expriment de façon différente selon la radiosensibilité des tissus

-Les tissus les plus radiosensibles sont constitués de cellules peu différenciée: se divise souvent

(tissu hématopoïétique, embryon, foetus, matrice des ongles)

-Les tissus moins radiosensibles sont constitués de cellules très différencier: se divise peu (tissus nerveux, musculaire, cristallin).

#### 8) Les effets déterministes

-La mort cellulaire induite par les RI est à l'origine des effets déterministes ,qui apparaissent au-dessus d'un seuil leur gravité augmente avec la dose.

-Le seuil d'apparition des symptômes clinique est relié au pourcentage de cellules d'un tissu dont la mort est nécessaire pour désorganiser suffisamment sa fonction.

-Il existe toujours un intervalle libre entre l'irradiation et l'apparition des symptômes, ce délai est lié d'une part à la durée de vie des cellules différenciées moins radiosensibles que les cellules souches et d'autre part à la mort cellulaire différée avant laquelle se produisent quelques divisions des cellules souches.

#### **relation dose -effet**

- l'existence d'un seuil d'apparition
- gravité proportionnelle à la dose
- réversibilité
- spécifiques

- précoces
- la prévention consiste à maintenir toujours les doses en dessous du seuil d'apparition

**Exemple:** tremper les mains dans de l'eau chaude ( $T^{\circ}$  seuil)

- Pour une dose  $<$  à 0,5 Gy aucune symptomatologie
- 0,5 à 2 Gy réaction générale légère : asthénie, nausées vomissements 3 à 6 heures, sédation après 24 heures
- 2 à 4 Gy atteinte hématopoiétique modérée: leucopénie, thrombopénie, anémie 3 semaines après l'exposition
- 4 à 6 Gy atteinte hématopoiétique graves: hémorragies aplasie
- 6 à 7 Gy atteinte gastro-intestinale: diarrhées, vomissement hémorragiques
- 8 à 10 Gy atteinte pulmonaire: IRA
- $>$  à 10 Gy atteinte cérébrale: coma, mort en 14 à 38 heures.

### 9) Effets aléatoires (stochastiques)

Les RI peuvent aussi léser la cellule sans la tuer, en créant des altérations cellulaires compatibles avec la survie cellulaire mais potentiellement néfastes à plus ou moins long terme. Les effets les plus importants sont les modifications chromosomiques.

Ce phénomène relève d'un phénomène statistique au sein de la population cellulaire car il survient au hasard et ils sont de deux types en fonction de la nature de la cellule ; **concernée** : effet cancérogène en cas de cellule somatique et des **effets héréditaires transmissibles** en cas de cellules germinales.

- probabilistes
- relation dose-fréquence
- pas de seuil d'apparition
- la gravité est indépendante de la dose
- Irréversible
- Non spécifiques
- tardifs
- Prévention: maintien des doses au plus bas niveau

**Exemple:** la probabilité d'un accident en roulant en voiture

#### a/ *Effets aléatoires (cancers radioinduits)*

-Le cancer est le principal risque tardif des irradiations.

-La mise en évidence d'une relation irradiation /cancer est difficile: l'existence concomitante d'autres facteurs de risques (tabac, alimentation, toxiques) peuvent biaiser les études.

-Aucun critères ne permet de différencier un cancer radioinduits d'un cancer d'autre origine.

-Le risque des cancers radioinduits dépend:

- **Du tissu irradié** (radiosensibilité) sein> thyroïde> moelle osseuse
- **L'âge:** enfants et adolescents
- **Sexe:** risque élevé chez les femmes
- **Débit dose:** le haut débit augmente le risque

-Le développement du cancer radio induit est très tardif: plusieurs années après l'irradiation en moyenne 8 à 10 ans pour les leucémies, 16 à 24 ans pour les tumeurs solides justifiant un suivi sur une longue période.

-Concernant les enfants exposés avant âge de 10 ans: le risque serait d'un cas supplémentaire de leucémie et d'un cas supplémentaire de tumeurs cérébrale pour 10 000 examens scanographique.

-Des études récentes confirment la notion bien établie de la radiosensibilité particulière des enfants et des adolescents et doivent renforcer la vigilance sur la justification et l'optimisation des examens de cette population.

#### **10) Effets des irradiations « in utero»**

on distingue 3 phases:

##### **✚ Préimplantatoire de 0j au 8eme jours**

- ✓ mort intra utérine
- ✓ Développement normal
- ✓ **l'organogénèse du fœtus au 60eme jours**
- ✓ mort intra -utérine
- ✓ malformations : développement anormal du SNC: microcéphalie et arriération mentale.
- ✓ oeil: microphthalmie, anophthalmie
- ✓ os: adactylie, syndactylie, pied bot.

##### **✚ foetale du 60eme au 270eme jours**

- ✓ Développement anormal
- ✓ Retard mental du 60ème au 111ém jours
- ✓ Défaut de croissance
- ✓ Cancers (leucémie ,néphroblastomes)

#### **VI/ Démarche de prévention et..**

La démarche de prévention des travailleurs exposés aux rayonnement ionisants

- Est régit par une réglementation spécifique qui regroupe un certain nombres de décrets qui oblige toute organisme utilisant les rayonnements ionisants(médical ou industriel) à prendre un ensemble de mesures préventives pour la sécurité collective

et individuelle non seulement des travailleurs, mais aussi les patients et le public contre le risque des rayonnements ionisants.

- Le suivi médical des travailleurs nécessite la collaboration du médecin du travail et de la personne compétente en radioprotection (obligation de la loi).