

# Dosimétrie, radiobiologie, radioprotection

Coucouuuu, c'est le dernier cours qu'on va voir ensemble! Est-ce que vous êtes triste?

Moi oui beaucoup!

J'ai enlevé de ma fiche des formules et d'autres choses que je trouve pas très importantes et qui tombent pas vraiment.

Il n'y a pas beaucoup de qcm qui tombent chaque année sur ce cours mais ils sont plutôt accessibles et ce sont toujours les mêmes notions qui tombent! Alors bossez le biiien, on se revoit à la fin!

## I) Dosimétrie

### 1) Énergie d'un rayonnement et effet de la distance

Définition de la fluence  $\varphi$  : un certain nombre de particules rayonnées qui vont traverser la zone qui va les recevoir. C'est le nombre de photons ou de particules traversant une surface.

En terme d'énergie mais pas de nombre: fluence énergétique  $\psi$ , c'est l'énergie totale portée par le rayonnement qui va frapper la surface qui nous intéresse.

Cette énergie reçue est liée à la distance et à la surface qu'elle représente, cela introduit la notion d'angle solide  $d\Omega$ .

L'énergie reçue par une surface dépend de l'inverse du carré de la distance à la source +++

### 2) Dose absorbée D

C'est l'énergie qui a été absorbée (logique mdr). C'est l'énergie déposée dans la matière via les ionisations qu'il s'y produit.

Cette énergie s'exprime en joules J/kg cependant on exprime pas l'énergie déposée dans cette unité mais en **grays (Gy)** pour marquer le fait qu'il d'agi de radiations ionisantes.

On est capable de mesurer cette énergie déposée en grays, mais ça ne suffit pas pour aborder l'effet qu'elle va provoquer parce qu'il va falloir tenir compte d'un facteur de qualité du rayonnement.

### 3) Facteur de qualité du rayonnement

Deux rayonnements de natures différentes n'auront pas la même efficacité biologique, c'est-à-dire les mêmes effets sur cette matière traversée.

Cela dépend de ce que l'on appelle le **Transfert d'Énergie Linéique (TEL)**, c'est-à-dire le pouvoir d'ionisation d'un rayonnement sur sa trajectoire : c'est la quantité d'énergie déposée par unité de longueur ( $[TEL] = \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ).

Par exemple :

- Le **TEL d'une particule alpha**  $\rightarrow TEL_{\alpha} = 150 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$
- Le **TEL d'un électron**  $\rightarrow TEL \text{ de l'électron} = 0.25 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$

Ceci est lié au devenir de ces particules dans la matière :

- Un électron traverse la matière en provoquant beaucoup d'ionisations sur une grande profondeur.
- Une particule  $\alpha$  va distribuer ses ionisations de manière très concentrée sur sa trajectoire, et en particulier en fin de trajectoire.

Les TEL sont différents selon la nature des rayonnements :

$$\text{TEL}\alpha > \text{TEL}\beta \rightarrow \text{TEL}\gamma \text{ et rayons X l}$$

Ceci aboutit à définir ce que l'on appelle un facteur de qualité ou de **dangerosité  $W_r$**  lié à chacun des rayonnements. C'est la traduction réglementaire de cette efficacité biologique qui va tenir compte du TEL. Il s'agit d'un nombre sans dimension.

#### 4) Doses en radioprotection

- Dose équivalente  $H$

-> Dose absorbée pondérée par le *facteur de dangerosité  $W_r$*  :  $H = D \times W_r$

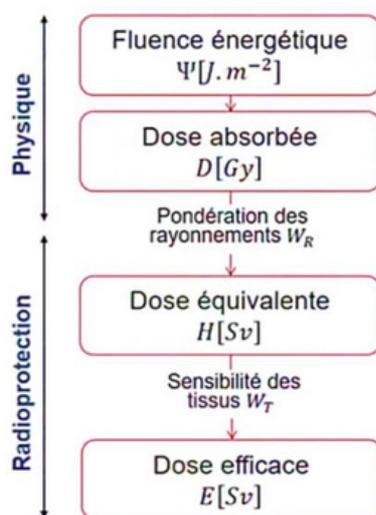
-> S'exprime en **Sievert (Sv)** et pas en Grays pour montrer qu'il s'agit bien de dose de radioprotection

- Dose efficace  $E$

-> La dose équivalente ne tient pas compte de la sensibilité des différents tissus.

-> La dose efficace prend alors en compte le *facteur de sensibilité des tissus  $W_T$*  :  $E = H \times (\sum W_T)$

-> S'exprime en **Sieverts (Sv)**



$\Psi$  Fluence énergétique [J.m<sup>-2</sup>]

$D$  dose délivrée [Gy]

$E$  dose efficace [Sv]  
(conséquences)



## II) Radiobiologie

### 1) Effets moléculaires des rayonnements ionisants

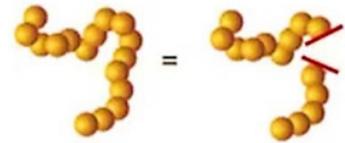
Le dépôt d'énergie se fait au niveau de la matière en provenance des radiations ionisantes par des ionisations qui sont les effets physiques initiaux.

#### a) Mécanismes généraux directs

À l'échelle qui nous intéresse, les ions qui sont créés sont des **ions moléculaires** : l'électron est expulsé d'une molécule plutôt que d'un atome simple ce qui crée un électron célibataire sur cette molécule. Cette dernière ainsi transformée est très instable, très oxydante (à la recherche d'un électron). C'est ce qu'on appelle un radical libre.

Les effets de ces ionisations induites par les rayonnements ionisants vont être :

- La destruction fonctionnelle de la molécule par rupture de liaison moléculaire
- La diffusion de radicaux libres toxiques



### b) Radiolyse de l'eau

On va observer ce phénomène au niveau de la molécule d'eau. C'est ce que l'on appelle la radiolyse de l'eau. C'est logique de s'intéresser aux effets des radiations ionisantes sur les molécules d'eau puisque celles-ci représentent 60 à 90% de la masse corporelle.

L'absorption de l'énergie va se faire sous forme d'effets au niveau de ces molécules d'eau :

- Excitation :  $\text{H}_2\text{O} + \text{RI} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^*$
- Ionisation :  $\text{H}_2\text{O} + \text{RI} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^{*+} + \text{e}^-$
- Radiolyse :  $\text{H}_2\text{O} + \text{RI} \rightarrow \text{HO}^* + \text{e}^- + \text{H}^+$

Radical hydroxyle (très oxydant)



La radiolyse de l'eau donne donc un radical HO, un électron et un H+. Le radical libre hydroxyle HO est très oxydant et donc agressif, il veut récupérer son électron à tout prix et va ainsi provoquer de nombreux effets chimiques.

Les produits de la radiolyse peuvent :

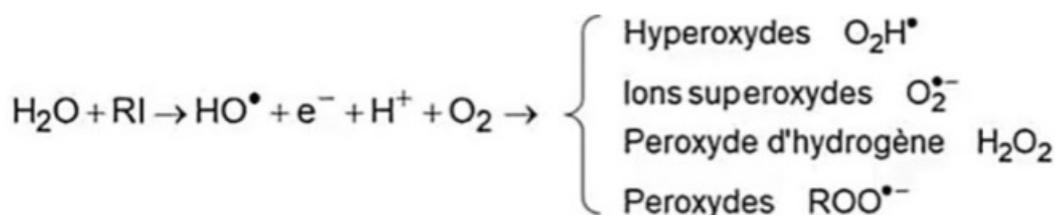
- Se recombiner dans le meilleur des cas
- Diffuser et provoquer d'autres oxydations moléculaires
- Former le radical  $\text{H}_2\text{O}_2^*$  (une molécule elle-même très oxydante) ou d'autres peroxydes

L'ensemble constitue des oxydants très puissants qui bien que de durée de vie très brève vont prolonger les effets des radiations ionisantes au niveau d'autres molécules de l'organisme.

### c) Effet oxygène

L'oxygène a un effet radiosensibilisant : c'est l'effet oxygène. Lorsqu'il y a de l'oxygène présent, les radicaux libres issus de la radiolyse de l'eau se transforment en autre sorte de radicaux libres ayant une durée de vie beaucoup plus longue. C'est ce que l'on appelle les espèces réactives de l'oxygène (ERO).

Les radicaux libres issus de la radiolyse de l'eau ont une durée de vie extrêmement brève mais s'ils rencontrent une molécule d'oxygène, ils vont provoquer la création des « espèces réactives de l'oxygène », des radicaux libres très oxydants et de durée de vie plus importante (il y a prolongation des effets chimiques).



L'effet oxygène potentialise l'effet des radiations ionisantes. C'est important en radiothérapie (on cherche à détruire un tissu cancéreux par des radiations ionisantes) : si le tissu est bien oxygéné, les radiations seront efficaces. Au contraire si la tumeur est ischémique (peu oxygénée), l'effet thérapeutique des radiations ionisantes est diminué.

## 2) Effets cellulaires des rayonnements ionisants

### a) Cibles cellulaires

Le cytoplasme est peu sensible, de même que les membranes, sauf à forte dose (induction d'apoptose). La radiosensibilité d'une cellule dépend essentiellement du cycle dans lequel elle est :

- Maximale en G2 et M : lorsqu'on a duplication de l'ADN
- Importante dans certains points de contrôles (vers l'apoptose)

La cellule est d'autant plus sensible qu'elle est en division. Ceci a donné lieu à la loi de Bergonié et Tribondeau (1906) :

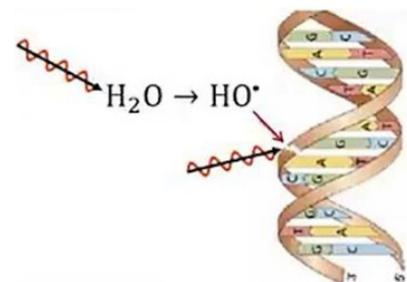
**La radiosensibilité des cellules augmente avec les capacités de division et diminue avec la différenciation**

Dans la cellule, le cytoplasme et les membranes sont relativement peu affectés par les effets oxydants. La cible principale des effets oxydants et des radiations ionisantes, même à faible dose, est l'ADN.

### b) Effets sur l'ADN

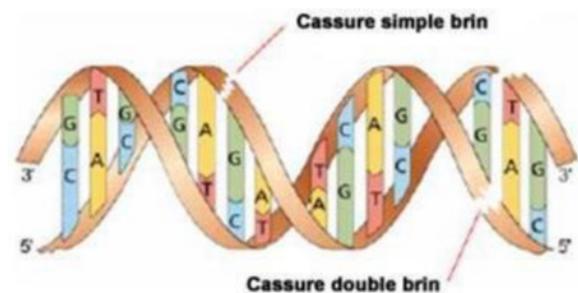
Les effets sur l'ADN sont de deux types :

- Indirects (70%) : via les radicaux libres (par exemple issus de la radiolyse de l'eau).
- Directs (30%) : ionisation directe des molécules constituant la double hélice d'ADN.



Dans les deux cas, on va avoir des lésions de l'ADN qui sont variables :

- Altération d'une base : une base déficiente va provoquer une erreur de lecture lors de la transcription
- Cassure simple brin
- Cassure double brin
- Dommages chromosomiques plus vastes



On peut remarquer les fréquences comparées de ces lésions de l'ADN :

	Lésions	1 Gy 1s	Spontanées/h
Il ne faut pas retenir ce tableau mais il est plutôt important	Bases	2000	3000
	ADN simple brin	1000	5000
	ADN double brin	50	<1

La différence significative que l'on remarque sont les lésions double brins de l'ADN qui sont très rares spontanément et qui surviennent sous l'effet de radiations ionisantes. Ces cassures de l'ADN sont le résultat de radiations ionisantes mais elles peuvent survenir dans d'autres situations, comme dans des situations spontanées liées au métabolisme.

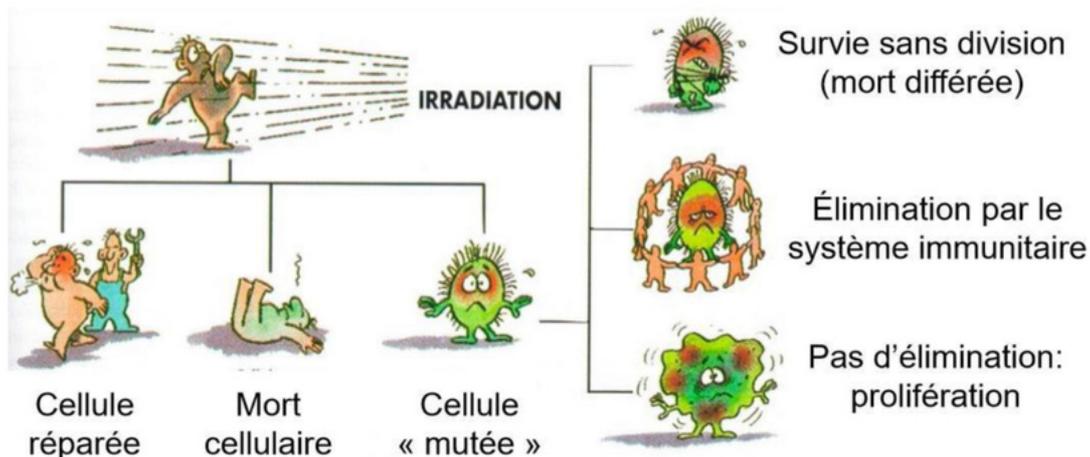
Les effets sur l'ADN peuvent donner lieu à des phénomènes de réparation. En effet, la cellule dispose d'un système de réparation rapide et efficace. Lorsqu'on a une lésion d'une base, étant donné qu'il y a un système de bases en miroir, le système de réparation peut réparer cette lésion. Ils vont exciser la base anormale et resynthétiser en miroir à partir de l'autre brin.

Cependant, cette réparation peut produire une erreur : c'est ce que l'on réparation fautive. C'est d'autant plus possible que les lésions sont des lésions de double brin. Ce sont elles qui peuvent générer des mutations sur l'ADN qui peuvent engendrer la mort cellulaire, des mutations donnant lieu à des phénomènes de cancérogénèse, voire même théoriquement être transmises à la descendance. Ces mauvaises réparations sont l'élément clé des effets des radiations ionisantes.

### c) Conséquence des effets cellulaires

La cellule va avoir différentes stratégies et choisir le plus souvent celle du moindre risque. Sous l'effet d'une irradiation, elle va avoir un certain nombre de dommages :

- Si elle peut les réparer (restitution ad integrum), elle redevient normale et rien ne se passe.
- Si les dommages sont trop importants, la cellule va mourir et éviter de transmettre des anomalies.
- Si on a une réparation fautive, cela peut induire une mutation qui reste viable. À ce moment-là, on a une cellule mutée qui doit franchir à nouveau un certain nombre de barrières avant de pouvoir se développer :
  - Dans un premier temps, cette mutation induit souvent une survie sans division, c'est-à-dire une mort qui est différée : la cellule va vivre mais va finir par mourir et ne pas se diviser.
  - Une autre possibilité est que cette cellule mutée soit reconnue par le système immunitaire qui va la détruire.
  - Si toutes ces protections échouent, la cellule mutée peut ne pas être éliminée et proliférer de manière autonome et donner lieu éventuellement en particulier au développement d'un cancer.



### 3) Mêmes effets en physiologie

Les effets cellulaires ne sont pas spécifiques aux radiations ionisantes. Les mêmes effets sont retrouvés en physiologie.

#### a) Effets moléculaires

La production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) est normale et constante chez tous les organismes qui vivent en aérobie. C'est pour cette raison que nos cellules disposent d'un système de détoxification des ERO qui est très efficace et complexe permettant de réduire leurs effets (enzymes : glutathion peroxydase, superoxyde dismutase, catalase... ; et des molécules anti-oxydants : vitamine E, C...).

Si ces ERO deviennent trop efficaces, ont trop d'effets néfastes (par excès de production d'ERO ou insuffisance du système de détoxification), on est dans une situation de stress oxydant. Il peut survenir dans beaucoup de situations pathologiques en dehors d'exposition à des radiations ionisantes : cancers, athérome, maladies neurodégénératives (Alzheimer)... ou simplement le vieillissement (effet du stress oxydant prolongé le long de la vie).

### b) Effets sur l'ADN

De même les lésions de l'ADN surviennent spontanément du fait d'autres agressions que les radiations ionisantes : le tabac, la pollution atmosphérique, l'inflammation produisant des radicaux libres, la respiration mitochondriale, l'exposition au rayonnement solaire (UV) qui va aussi provoquer directement ou indirectement des lésions de l'ADN...

Tous ces effets, moléculaires ou sur l'ADN, liés aux rayonnements ionisants ne sont pas du tout spécifiques et sont des effets produits par beaucoup d'autres sources d'agressions de la cellule. C'est pour cela que les mécanismes de protection sont aussi développés.

## 4) Effets tissulaires des rayonnements ionisants

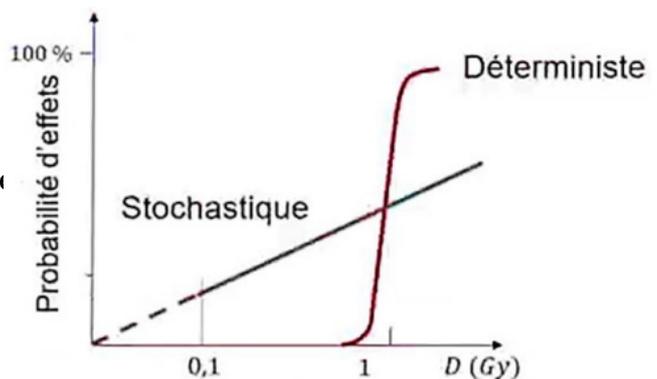
Les tissus sont un ensemble de cellules et donc vont dépendre des effets individuels constatés au niveau de chaque cellule.

- Si l'essentiel des cellules du tissu a fait l'objet d'une réparation, le tissu ayant une majorité de cellules réparées ne voit aucun effet tissulaire.
- Si une majorité de cellules du tissu a fait l'objet d'une mort cellulaire sous l'effet des radiations ionisantes, on a un effet obligatoires puisque le tissu a perdu un certain nombre de cellules. C'est ce que l'on appelle les effets déterministes, comme par exemple des brûlures cutanées induites par des irradiations importantes. Ces effets sont donc possibles simplement à forte dose.
- Si une majorité de cellules du tissu a fait l'objet de mutations (réparation fautive de l'ADN échappant à tous les mécanismes de protection, on a des effets aléatoires (on ne peut pas prévoir si une cellule sera réparée ou si elle échappera aux mécanismes de réparation et de défense). C'est ce que l'on appelle les **effets stochastiques**.

- S'ils se produisent au niveau des tissus somatiques, cela va pouvoir provoquer des cancers. Ils existent mais ne sont pas montrés en dessous d'un certain niveau d'irradiation (100 mSv).
- S'ils se produisent au niveau du tissu gonadique, on peut en théorie considérer qu'il y a un risque de transmission de la mutation à la descendance. Cependant cela n'a jamais été constaté chez l'Homme.

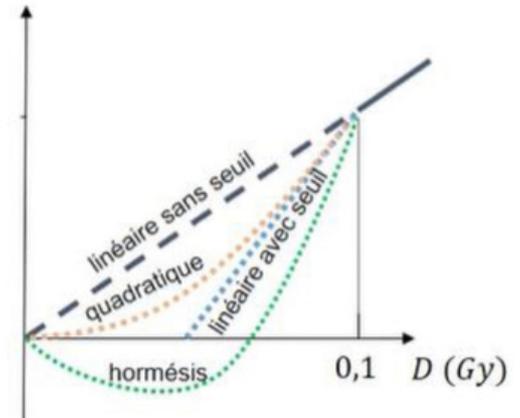
## 5) Relation dose-effets

Les effets déterministes (sous l'effet de la mort cellulaire) sont automatiques et obligatoires lorsque la radiation est suffisante. La relation dose-effet opère avec un effet seuil, c'est-à-dire que ces effets ne peuvent survenir qu'à partir d'une dose déposée relativement élevée (de l'ordre de 1 Gy) puisqu'il faut avoir suffisamment de morts cellulaires pour provoquer un effet tissulaire : c'est un effet « tout ou rien ».



Les effets stochastiques (sous l'effet de mutations) sont aléatoires. À partir de 100 mGy et au-delà, on a une relation dose-effet qui est linéaire : plus la dose augmente, plus la probabilité d'avoir un effet est importante.

Le problème est en dessous de cette borne de 100 mGy : la relation dose-effet n'est pas connue. Pour certains elle est linéaire avec seuil (linéaire mais à partir d'un certain niveau), pour d'autres elle est quadratique (non linéaire mais augmente avec la dose reçue), voire pour d'autres encore elle suit l'hormésis (irradiation bénéfique à faible dose puisqu'elle stimulerait les mécanismes de réparation). La réalité est contestée puisque l'on n'a pas de preuves suffisantes, donc la relation linéaire sans seuil prévaut par principe de précaution (hypothèse la plus défavorable).



<b>Effets physiques</b> (picoseconde : $10^{-12}$ )	Photoélectrique Ionisations	Compton	Paire Excitations
<b>Effets moléculaires</b> (microsecondes)	Radicaux libres ou effets directs Lésions ADN		
<b>Effets cellulaires</b> (heures ou jours)	Réparation	Mort cellulaire	Mutation
<b>Effets tissulaires</b> (semaines ou années)	Aucun	Déterministes	Stochastiques Cancer Effet génétique ?

C'était vraiment du blabla infini, je suis désolée pour ça :( mais maintenant on passe à une partie un peu plus cool.

### III) Radioprotection

#### 1) Les deux types d'exposition

Lorsqu'un organisme est soumis à des radiations ionisantes, ce peut être par :

- Exposition externe, lorsque la source des radiations est extérieure au sujet
- Exposition interne ou contamination, lorsque cette source est interne au sujet, soit avalée ou respirée.

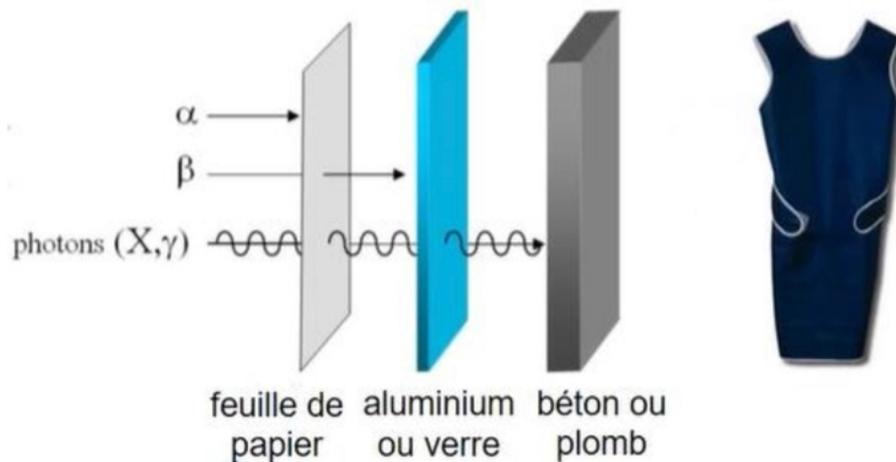
On prend l'exemple du **radon-222 émetteur  $\alpha$**  qui est sous forme gazeuse. Il expose principalement à une contamination interne, l'inhalation expose directement les tissus pulmonaires.

En revanche, son exposition externe est négligeable parce que les émetteurs  $\alpha$  sont facilement absorbés par la matière, et en l'occurrence absorbés par la couche cornée de la peau, si bien qu'il n'y aura pas d'irradiation au-delà de ce niveau cutané.

## 2) Protection contre l'irradiation externe

La protection contre l'irradiation externe relève du bon sens et fait appel à trois moyens :

- La distance : plus on s'éloigne d'une source, moins l'irradiation est importante.
- Le temps : moins on s'expose, moins la dose reçue est importante.
- Les écrans : l'interposition entre soi et la source d'écrans permet d'absorber l'irradiation avant qu'elle ne nous atteigne. Le choix de ces écrans dépend du type de rayonnements.



## 3) Protection contre la contamination

Cette protection est plus complexe et dépend du type de contamination. On en est donc réduit à prendre des exemples isolés.

### a) Exemple de l'iode et de la thyroïde

La thyroïde est une glande endocrine située à la base du cou et histologiquement, elle est formée de follicules formés d'une couche monocellulaire de thyrocytes entourant un liquide appelé colloïde. La fonction de ces thyrocytes est de capter l'iode du sang et de le concentrer de manière à pouvoir fabriquer les hormones thyroïdiennes dans le colloïde (ce sont les seules de l'organisme à contenir de l'iode).

Lorsqu'il y a des accidents nucléaires par exemple, il peut y avoir de l'iode-131 radioactif émetteur  $\beta$ - libéré. Le risque principal est une contamination interne par concentration de l'iode radioactif dans la thyroïde et donc une dose déposée au tissu thyroïdien

importante. Pour s'en protéger, on utilise une contre mesure : on fait réaliser une saturation préalable de la thyroïde par de l'iode stable 127 grâce à des pastilles d'iode. La thyroïde étant déjà saturée en iode 127, l'iode radioactif 131 ne pourra s'y concentrer.

Ceci ne vaut que pour la thyroïde, bien évidemment pour d'autres contaminations les mesures de protection seront différentes.

### b) Durée d'une contamination interne

La durée de la radioexposition par contamination interne dépend :

- De la période radioactive (période physique)
- De la vitesse d'élimination physiologique du radioélément (période biologique)

Le résultat correspond à la période effective :

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{phys}} + \frac{1}{T_{bio}}$$

Exemple de l'iode-131 :

$$T_{phys} = 8 \text{ j}$$

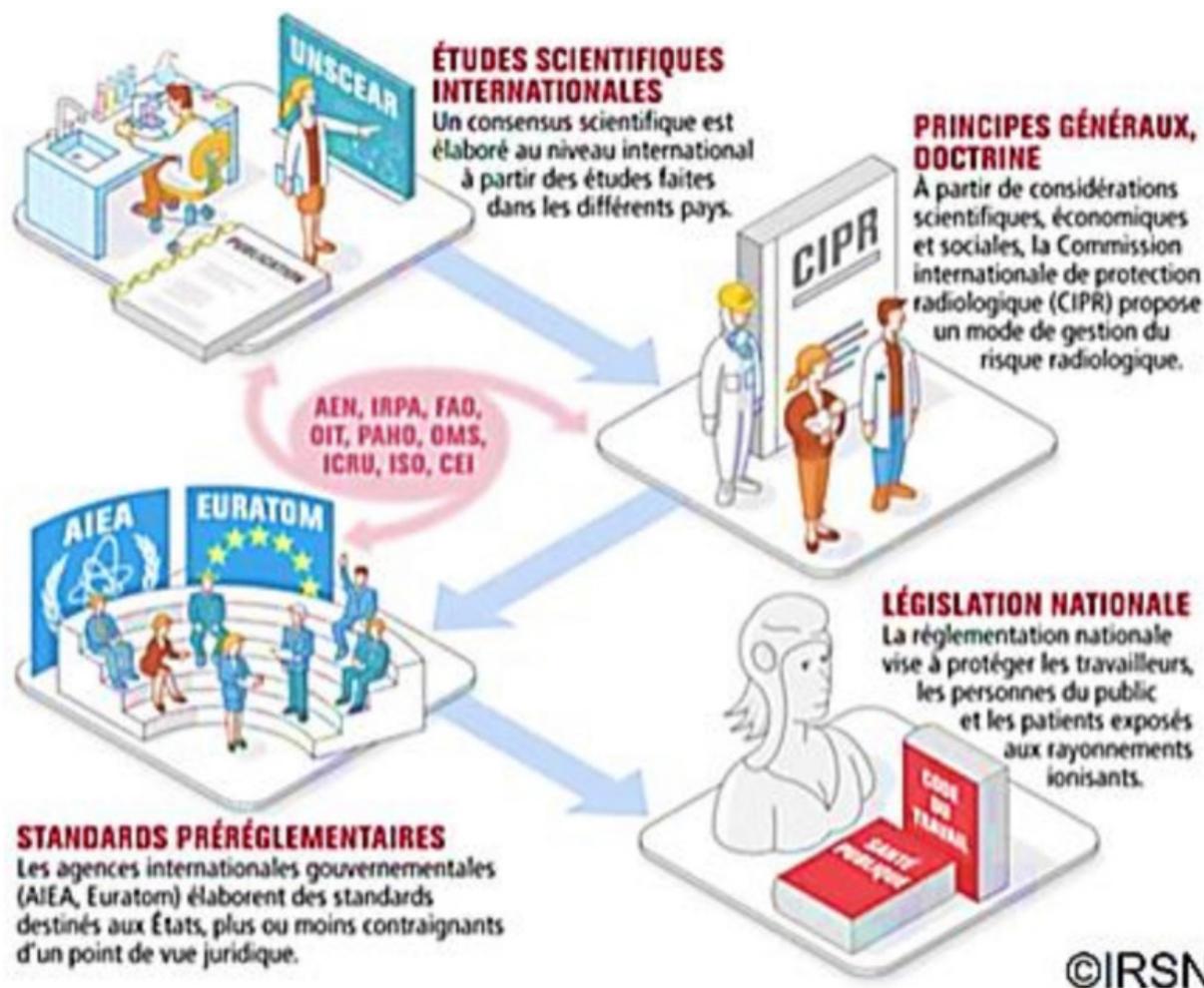
$$T_{bio} = 56 \text{ j}$$

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{phys}} + \frac{1}{T_{bio}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{56} \rightarrow T_{eff} = 7 \text{ j}$$

Ceci témoigne de la *durée d'irradiation interne*. Une période effective est toujours inférieure à la plus petite des périodes physique ou biologique.

## 4) Règles de radioprotection

### a) Différents organismes impliqués



Ces règles vont ensuite être contrôlées. En France, le contrôle et la surveillance sont réalisés par l'Autorité de Sureté Nucléaire (ASN).

Une autre structure appelée la Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la RADioactivité (CRIIRAD) est une association de citoyens pour le droit à l'information et à la protection.

## b) Principes de la radioprotection

Ce sont des dispositions réglementaires, une sorte de code de conduite que chaque pays et organisation s'impose pour protéger sa population.

- Pour le public : les personnes en moyenne d'une population, indépendamment de ce qu'elles auront sur le plan médical. La limitation de dose individuelle par an en France est une dose efficace au corps entier d'une valeur de 1 mSv. Il existe aussi des doses pour des organes précis, ce sont donc des doses équivalentes, comme le cristallin et la peau (15 et 50 mSv). Ces valeurs ne sont pas à retenir.
- Pour les travailleurs amenés à être exposés aux radiations ionisantes (centrale nucléaire, service de radiologie, aviation...) : la limite de dose efficace individuelle par an est de 20 mSv.
- Pour les patients soumis à des radiations ionisantes à des fins médicales : il n'y a pas de limite de dose. Par contre, leur utilisation doit être justifiée médicalement et optimisée (dose la plus faible possible) selon le principe ALARA : As Low As Reasonably Achievable.

## c) Exemple de la radioprotection chez la femme enceinte

C'est un sujet plus à risque à travers son fœtus qui est en train de se développer.

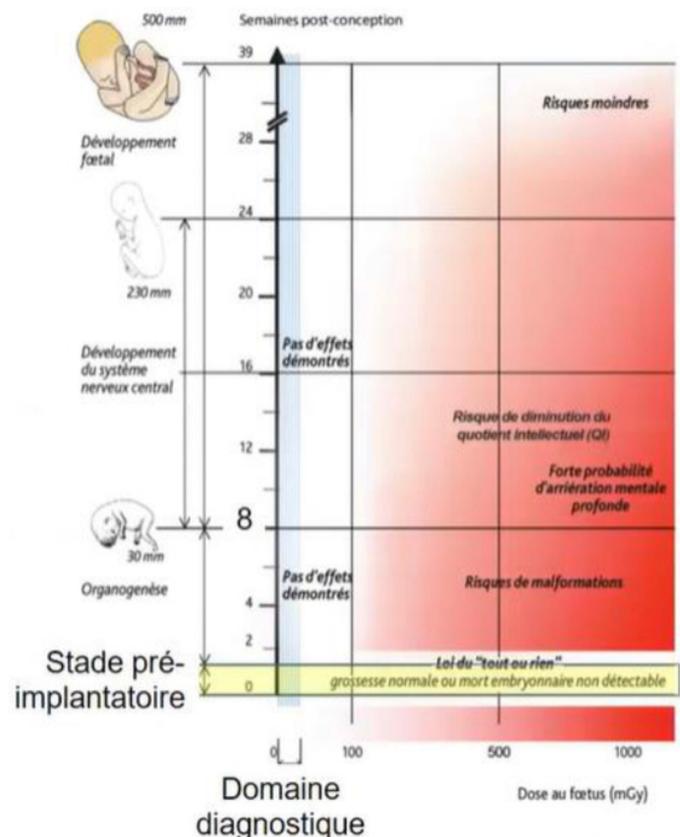
Les risques pour le fœtus sont des risques déterministes qui vont survenir à partir d'un certain seuil de **100 mGy**. En deçà, il n'y a aucun risque : on peut noter que le diagnostic radiologique par exemple se situe bien en deçà de ce seuil et donc en théorie il n'y a pas de risque pour le fœtus pour les irradiations habituelles.

D'autre part, il faut tenir compte dans l'évaluation du risque du stade de la grossesse :

- Au stade pré-implantatoire (jusqu'à J8), on a soit la mort de l'œuf, soit la grossesse sera menée à terme normalement.
- Durant la période d'organogenèse (J8 – S8), les organes se développent. Une irradiation importante peut induire un risque déterministe de malformation si  $D > 100$  mGy.
- Au-delà de 8 semaines, les organes sont formés mais les risques concernent le développement du système nerveux central si  $D > 500$  mGy.

Les règles de radioprotection de la femme enceinte sont particulières :

- On évite les examens sur les femmes enceintes, sauf en cas d'urgence
- Elle va être soumise aux limites du public si elle travaille dans un environnement l'exposant à des RI



### III) Radioprotection

C'est la partie la plus importante et qui tombe le plus!

#### 1) Expositions du public

##### a) Origines

Il existe deux grandes catégories de radiations ionisantes qui exposent les personnes :

##### ➤ Une origine naturelle

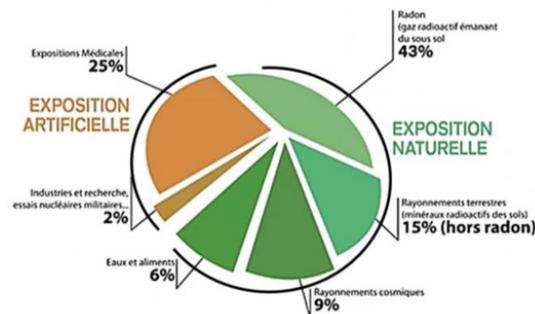
- *Tellurique* : liée aux radioéléments présents dans l'écorce terrestre formés il y a des milliards d'années
- *Cosmique* : liée à des particules de haute énergie provenant essentiellement du Soleil

##### ➤ Une origine artificielle

- *Industrielle et militaire* : liée au développement du nucléaire civil pour la production d'énergie, ou des retombées d'essais nucléaires militaires.
- *Médicale* : liée aux méthodes utiles aux diagnostics ou réaliser des traitements

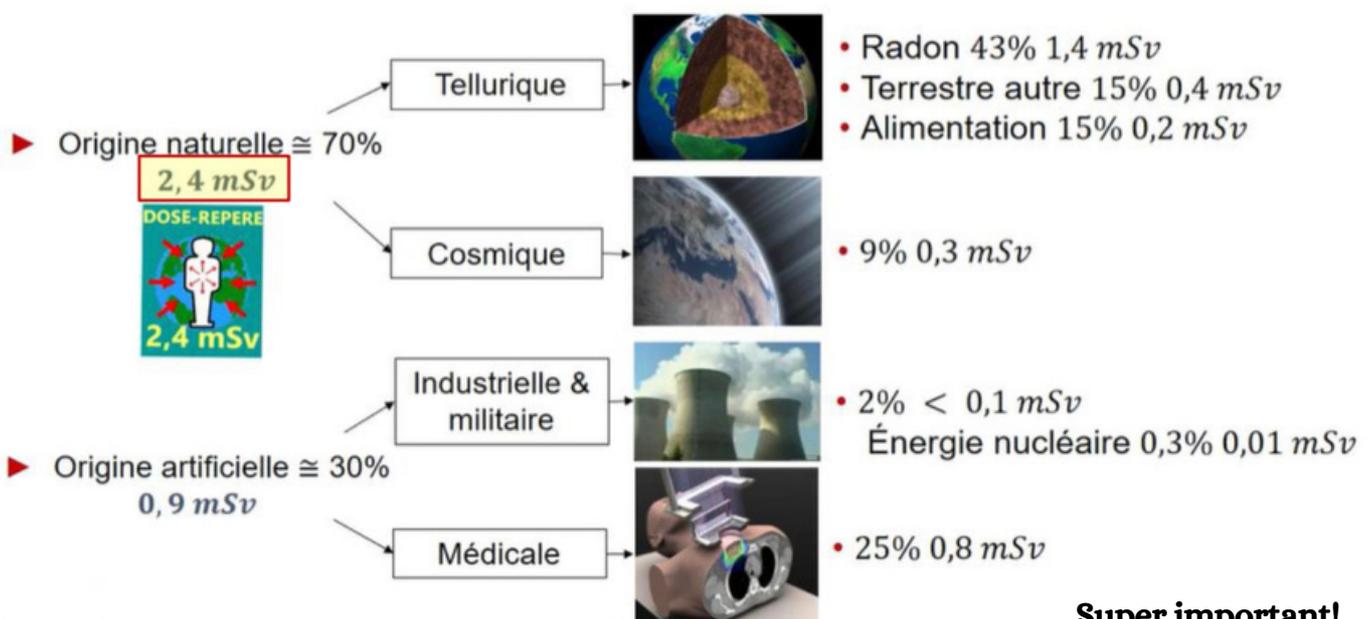
##### b) Répartition des différentes expositions

L'exposition individuelle est très variable selon les individus. On définit une exposition moyenne, notamment dans un pays. Voici une distribution globale de ces expositions :



Les expositions naturelles sont responsables d'environ 70% de l'exposition individuelle. Dans ces expositions naturelles, c'est l'exposition liée au radon qui prédomine (43%), un gaz radioactif venant des sous-sol. Les expositions artificielles sont responsables d'environ 30% de l'exposition individuelle. Ce qui y prédomine, c'est l'exposition d'origine médicale (25%).

**En France, la dose efficace est de 3,3 mSv/an (2,4 + 0,9 mSv)**



**Super important!**

### c) Exposition naturelle tellurique

Elle est liée aux radioéléments présents dans l'écorce terrestre depuis la création de la Terre et elle participe à cette dose repère de 2,4 mSv représentant l'irradiation naturelle en France.

Cette exposition est essentiellement une source d'exposition par contamination interne. En effet, c'est principalement deux radioéléments qui provoquent cette irradiation naturelle d'origine tellurique :

- Le radon-222 (gaz émetteur  $\alpha$  avec une demi-vie  $T = 3,8$  j) provoquant une irradiation des tissus pulmonaires par inhalation. Il est en fait le fruit de la désintégration de l'uranium-238 qui lui-même est toujours présent dans l'écorce terrestre depuis la création de la Terre puisque sa demi-vie est de 4 milliards d'années. C'est la présence de cet uranium qui se désintègre peu à peu et produit du radon-222 qui fait que ce dernier existe naturellement avec une demi-vie plutôt courte. L'exposition à ce radon-222 est assez variable en fonction de la géographie (1,4 mSv en moyenne en France et de 6 à 50 mSv au Kérala indien, au Brésil, en Iran...).
- Le potassium-40 ( $\beta^-$  avec une demi-vie  $T = 1,3$  milliards années) est aussi une source d'irradiation par contamination interne parce qu'il nous expose via l'alimentation (0,2 mSv en moyenne). Au total il a une activité de 9000 Bq pour 70 kg, notre corps est naturellement radioactif du fait de ce potassium-40.

### d) Exposition naturelle cosmique

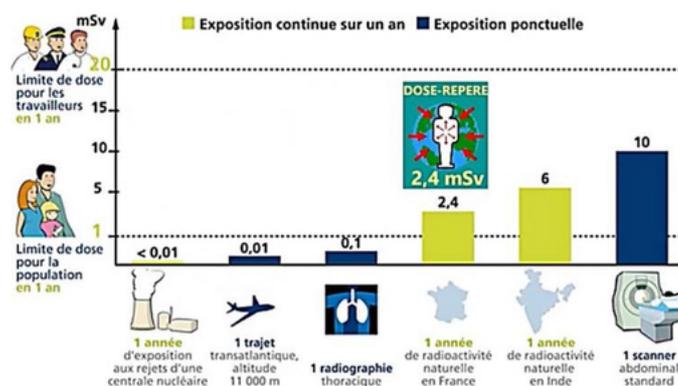
Elle contribue elle aussi à la dose repère des 2,4 mSv par an correspondant à l'irradiation naturelle. Elle y contribue peu puisqu'elle n'y représente que 0,3 mSv. Elle est liée aux particules ou aux rayonnements gamma venant essentiellement du Soleil. Il s'agit ici d'une exposition par irradiation externe.

## 2) Expositions des patients

Elle est importante à considérer puisqu'elle est globalement responsable de 25% de l'ensemble de l'exposition moyenne d'un sujet. Elle vient s'ajouter à l'exposition naturelle dont on vient de parler. Bien sûr, elle est extrêmement variable d'un individu à l'autre et de ses besoins médicaux. Elle est due aux actes diagnostics (radiologie, médecine nucléaire) et aux traitements utilisant les RI (radiothérapie, médecine nucléaire).

Elle est soumise aux principes de justification des examens et des traitements et d'optimisation des doses (ALARA). On rappelle qu'elle n'est pas limitée individuellement par la législation à l'exception de la femme enceinte +++

Pour le diagnostic, l'ordre de grandeur de l'exposition se situe entre 1 et 10 mSv (dose efficace à tout le volume). Pour les traitements, il se situe entre 60 et 80 Gy (dose déposée cumulée et localisée).



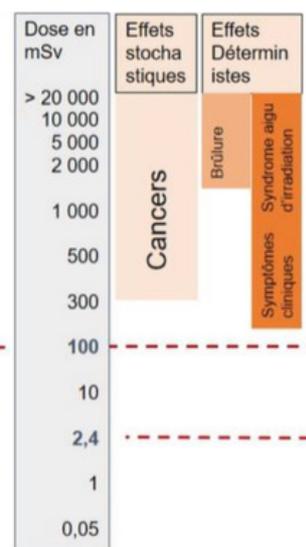
### 3) Expositions accidentelles

#### a) Les repères

On a comme repères :

- L'irradiation naturelle : **2,4 mSv par an**
- La limite des faibles doses : **100 mSv** (aucun symptôme ou conséquences pour la santé en dessous)
- Au-delà de 100 mSv : **risques stochastiques** (aléatoires liés à des mutations pouvant provoquer des cancers) et déterministes (brûlures ou syndrome aigu d'irradiation SAI présentant des modifications digestives et hématologiques)

- ▶ Risques stochastiques (cancers) et déterministes (brûlures ou syndrome aigu d'irradiation) :
  - Modifications de la formule sanguine
  - Premiers symptômes digestifs ...
- ▶ La limite des faibles doses : **100 mSv** (aucun symptôme en dessous et aucune conséquence pour la santé)
- ▶ Irradiation naturelle



On va donc situer des accidents sur cette échelle

#### b) L'accident de Tchernobyl (26/04/1986)

Les doses maximales reçues ont été très élevées puisque supérieures à **1000 mSv** pour 600 pompiers requis en urgence pour éteindre l'incendie de la centrale. Ces personnes ont été soumises à des doses importantes susceptibles de donner lieu à des SAI et en effet 134 en ont développé. Malheureusement, tous n'ont pas pu guérir et 28 sont décédés. Pour le reste des sujets ayantsurvécu, on a déploré 19 décès après 20 ans mais aucun lié aux effets des radiations ionisantes. Cette population a principalement subi des doses élevées donnant des effet déterministes (syndromes aigus d'irradiation).

Viennent ensuite les 600.000 liquidateurs qui se sont suivis sur le chantier. Ces personnes ont séjourné de manière très courte sur les lieux de manière à être individuellement assez peu irradiées. Ces personnes ont reçu entre **100 et 200 mSv**. Le suivi médical est difficile et hétérogène. On a néanmoins constaté de nombreux effets non spécifiques sur la santé (suicides, morts violentes...) et on n'a pas pu démontrer une surmortalité induite par l'irradiation (seulement des cataractes plus nombreuses et quelques leucémies).

Les effets stochastiques cancérogènes n'ont été constatés que pour ceux liés à l'iode-131, des cancers de la thyroïde chez les enfants (7000) qui ont une capacité de concentration de l'iode plus importante que l'adulte. C'est un cancer peu agressif et après 20 ans on a déploré 20 décès liés. Il n'y a pas eu d'effet tératogène sur la descendance des patients exposés à ces irradiations.

### c) L'accident de Fukushima Daiichi (11/03/2011)

On est dans des gammes d'exposition différentes et bien plus faibles. Les doses maximales reçues par les travailleurs de la centrales étaient peu supérieures à la limite des faibles doses (en moyenne 140 mSv).

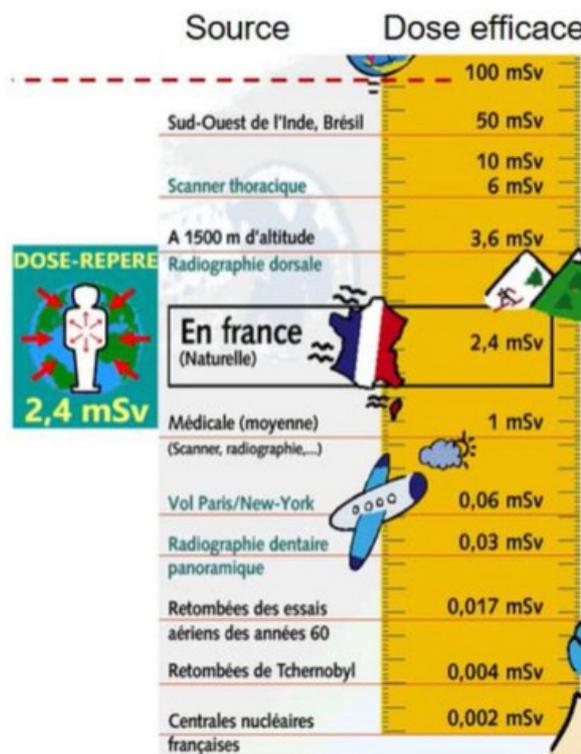
On n'a pas constaté d'effets stochastiques cancérogènes, surtout que les Japonais ont appliqué des contre mesures de protection de la thyroïde en distribuant des pastilles d'iode. Le suivi des enfants est toujours en cours, pour l'instant on n'a pas d'incidence significative de cancers de la thyroïde. Les populations proches de la centrales ont reçu des doses inférieures à la limite des faibles doses de 100 mSv donc a priori sans effets sur la santé.

Heureusement l'accident nucléaire en lui-même (causé par un tsunami) n'a pas provoqué d'effets de surmortalité et cancérogènes significatifs.

## CONCLUSION

Les principaux repères à retenir (doses efficaces en mSv) sont :

- 100 mSv : la limite supérieure des faibles doses, aucun effet sur la santé en deçà
- 2,4 mSv : dose efficace de la radioexposition naturelle annuelle moyenne en France
- 1 à 10 mSv : ordre de grandeur des doses efficaces délivrées lors d'examens diagnostics



Ma dernière fiche :(

Allez voir les dédis sur l'autre fiche, elles valent le coup!