

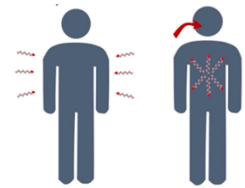


# Radioprotection

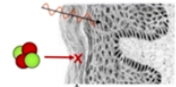
## I - Radioprotection

### A – Les deux types d'exposition

Lorsqu'un organisme est soumis à des RI cela peut être par exposition **externe** ou par irradiation **interne** (soit avalée soit respirée). Les **protections** contre ces deux sources de rayonnements sont différentes.



*Exemple du **Radon-222** qui est un atome radioactif émetteur alpha sous forme gazeuse. Il expose principalement à une forme de contamination **interne**, c'est-à-dire que respiré avec l'air, il va exposer directement le tissu pulmonaire. En revanche, son exposition externe est négligeable puisqu'il s'agit d'un émetteur alpha et que ces particules sont facilement absorbées par la couche cornée de la peau.*

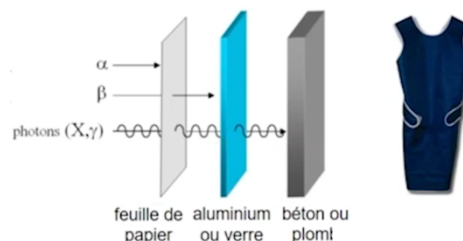


### B – Protection contre l'irradiation externe

Cette protection fait appel à trois moyens simples :

- La **distance**, plus on s'éloigne d'une source et **moins** l'irradiation est importante. On peut faire le lien avec l'« éclairage énergétique » (=la dose reçue par une certaine surface) qui diminue avec le carré de la distance, il s'agit donc d'un moyen efficace pour réduire cette exposition
- Le **temps**, moins on s'expose et **moins** la dose reçue est importante
- L'interposition **d'écran** entre soi et la source permet **d'absorber l'irradiation** avant qu'elle ne nous atteigne. Il faudra choisir ces écrans en fonction du type de rayonnement (*rappel : les rayonnements particuliers sont arrêtés par des écrans relativement fins ; en revanche pour les REM, les écrans seront peu utiles, il faudra donc utiliser du béton ou encore un tablier de plomb*) :

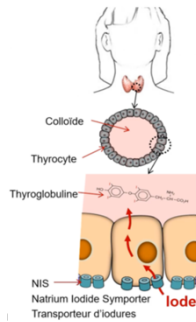
$$E_e = \frac{d\Psi}{ds} = \frac{d\Psi}{d\Omega d^2} [W \cdot m^{-2}]$$



## C – Protection contre la contamination interne

Cette protection plus **complexe** dépend du type de contamination, il est alors nécessaire de se servir d'exemples isolés.

### C.1 – L'exemple de l'Iode



La **thyroïde** est une glande endocrine située à la base du cou. La thyroïde est composée d'une couche monocellulaire de **thyrocytes** regroupés autour d'un liquide qui s'appelle le **colloïde**. La fonction de ces thyrocytes est de capter l'Iode dans le sang, puis de le concentrer de manière à pouvoir l'utiliser pour la fabrication des **hormones thyroïdiennes**.

C'est un système extrêmement efficace pour capter l'iode, mais le problème, c'est lorsqu'il y a un **accident nucléaire** et qu'il y a un relargage important d'un **isotope radioactif de l'iode** :

l'iode 131 radioactif qui est un émetteur  $\beta^-$  (donc qui dépose son énergie à courte distance) peut être libérée accidentellement. Le risque principal est la **contamination interne** par concentration de l'Iode radioactif dans la thyroïde (car pour les cellules, que ce soit de l'iode 131 ou 127 c'est pareil), la dose déposée au tissu thyroïdien va donc être importante.

Pour s'en protéger, on utilise une « **contre-mesure** » qui consiste en une saturation préalable de la thyroïde par des **pastilles d'iode 127** (stable) qui peuvent être prise lors d'un accident nucléaire et qui vont apporter une grande quantité d'iode stable à la thyroïde pour la saturer en iode, si bien que quand va arriver l'iode 131, il ne sera pas capté par la thyroïde déjà saturée.



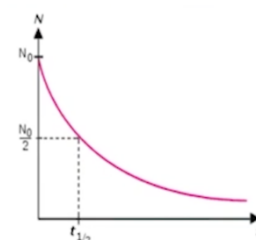
### C.2 - Durée d'une contamination interne

La durée de la radioexposition interne dépend de deux choses :

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

Alors, la durée de contamination interne va être la **composante** de ces deux périodes : il s'agit de la **période effective**. Cette période effective se calcule comme tel :

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



Par exemple l'Iode 131 possède une période physique de 8 jours et une période biologique de 56 jours (car cet Iode est incorporé dans les hormones et le colloïde donc va rester longtemps dans l'organisme), quelle est sa période effective ?

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

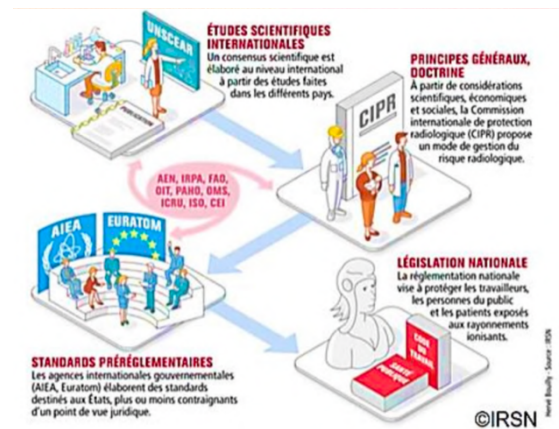
**Important :** Une période effective est **toujours inférieure** aux période physique ou biologique. *Cela signifie en gros que si dans un qcm on vous propose une période effective supérieure aux périodes physique ou effective alors avant même de réaliser le calcul vous pouvez être sûr que c'est faux.*

## D – Règles de radioprotection

### D.1 – Les différents organismes impliqués

Il y a beaucoup d'organismes, à l'échelle internationale, impliqués dans l'élaboration et le contrôle de ces règles de radioprotection :

- Tout part d'un organisme appelé **l'UNSCEAR** (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations) au niveau des nations unies, il s'agit d'un organisme scientifique collectant toutes les informations au niveau national afin d'avoir toutes les données pour prendre les bonnes dispositions
- Ces données sont transmises à la **CIPR** (Commission Internationale de Protection Radiologique) qui, en fonction des données scientifiques qui lui ont été transmises, va développer les principes généraux de la radioprotection pour les citoyens.
- Ces informations sont transmises à **l'AIEA** (Agence Internationale pour l'Energie Atomique) et **l'EURATOM** (pour l'Europe) qui sont des organismes qui élaborent des standards de réglementation utilisés par les pays membres qui intégreront dans leur législation ces propositions
- En France, les règles de radioprotection sont incluses dans les codes de santé publique et du travail
- 



Ces règles vont être **contrôlées et surveillées**, en France grâce à **l'ASN** (Autorité de Sureté Nucléaire). Cet organisme contrôle la radioprotection qu'elle soit industrielle ou dans le domaine médical.

Le **CRIIRAD** (Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la RADioactivité) n'est pas une organisation nationale ou internationale mais d'une association de citoyens « pour le droit à l'information et à la protection ».

## D.2 – Les principes de radioprotection

Ces règles de radioprotection correspondent à des dispositions **règlementaires** (un peu comme un « code de la route ou de conduite ») que chaque pays ou organisation s'impose pour protéger sa population.

Pour le **public**, la radioprotection établit des **limitations de doses individuelles** par an. La limitation de dose efficace au corps entier en France est de **1 mSv**. Les doses équivalentes correspondent à des doses **ciblées** sur certains organes par exemple le cristallin (de 15 mSv) et la peau (de 50 mSv).

Il existe aussi des normes pour les **travailleurs** amenés dans leur travail à être exposé aux radiations ionisantes. Dans ce cas-là, les limites de dose efficace individuelles sont **plus élevées** puisque les personnes sont amenées à être plus exposées, les doses dont de **20 mSv par an** (20 fois plus que la dose autorisée par le public).

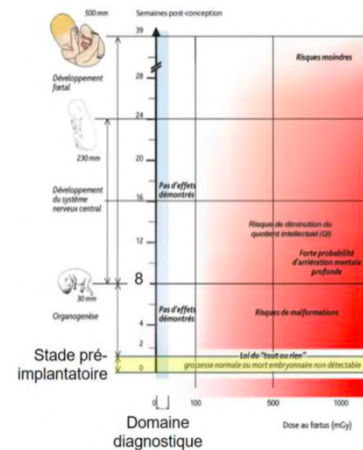
Pour les **patients**, il n'y a **pas de limitation de doses** ++. Même si les doses ne sont pas limitées pour les patients qui en ont besoin, l'utilisation de ces radiations ionisantes doit être justifiée avec une utilisation optimisée : cela signifie, dans chaque cas, qu'il faut utiliser la dose la plus faible possible pour obtenir dans des conditions correctes le diagnostic ou l'effet thérapeutique recherché. Ce principe se nomme **ALARA** « As Low As Reasonably Achievable ».

## D.3 – Exemple de la radioprotection chez la femme enceinte

La femme enceinte constitue un sujet plus à risque surtout au travers de son **foetus en développement**.

Les risques pour le foetus sont des risques **déterministes** qui vont survenir à partir d'un certain seuil équivalent à **100 mGy**. Le diagnostic biologique se situant bien en-dessous de ce seuil, on peut conclure qu'en **théorie** il n'y a pas de risque possible pour le foetus pour les irradiations habituelles. D'autre part, il est nécessaire de tenir compte dans cette évaluation du risque du stade de la grossesse :

- Du stade **préimplantatoire** au 8<sup>e</sup> jour il y a un effet « **tout ou rien** », cela signifie que si une femme enceinte est soumise à une irradiation suffisante à ce moment-là, les effets déterministes provoqueront soit la **mort de l'œuf**, soit la grossesse sera menée à terme **normalement**.
- Du 8<sup>e</sup> jour à la 8<sup>e</sup> semaine se déroule la période de **l'organogénèse** (la période pendant laquelle se développent les organes) pendant laquelle une irradiation importante peut induire un risque de **malformation** seulement au-delà de 100 mGy. Les risques vont **croître avec la dose**.
- Au-delà de 8 semaines, les organes sont formés mais les risques concernent le développement du **système nerveux central** seulement dans le cas d'une irradiation supérieure à 500 mGy



En conséquence, il y a plusieurs règles de radioprotection pour la femme enceinte. Si la femme enceinte doit être soumise à des RI pour des raisons médicales, on **évitera de réaliser ces examens** ou traitements par **principe de précaution** même si on se trouve bien en-deçà des seuils dangereux. Il y a des exceptions en cas **d'urgence ++**.

Dans le cas où la femme enceinte est une professionnelle ayant pour habitude d'être **exposée à des RI**, dans ce cas elle ne sera plus soumise aux limites des dose des travailleurs (rappel : 20 mSv) mais aux **limites du public** (rappel : 1mSv) puisque l'on considère que **l'enfant** qu'elle porte est une personne du public et donc que son exposition doit être en conséquence des règles pour le public.

Il est important de ne pas confondre les risques de **malformations** possibles pour le fœtus (effets déterministes) avec les effets **génétiques** (mutations qui pourraient être transmises à la descendance, ce phénomène théorique n'a jamais été observé).

## E – Conclusion

La radioprotection contre l'irradiation **externe** sont des règles de **bon sens** : on augmente la distance avec la source de rayonnement, on diminue le temps et on interpose des écrans.

Les mesures de radioprotection contre la contamination **interne** dépendent de **chaque situation**. Pour l'Iode, on sature la thyroïde avec de l'Iode stable afin d'éviter qu'elle ne le soit par de l'iode radioactif. Cela sera différent si la contamination est due au Radon par exemple ou toute autre contamination interne.

La réglementation établit des limites pour le **public** et pour les **travailleurs** selon le **principe de précaution** en ayant des seuils très bas pour être sûr de ne pas avoir d'effets détectables. En revanche, il n'y a **pas de limite pour les patients** qui peuvent être soumis

à des RI autant qu'ils en ont besoin mais il y a la **nécessité** de justifier et d'optimiser les doses délivrées à ses patients.

Dans le cas particulier de la femme enceinte on **renonce à réaliser des examens ou traitements** utilisant des RI chez la femme enceinte sauf en cas d'urgence **par principe de précaution**.

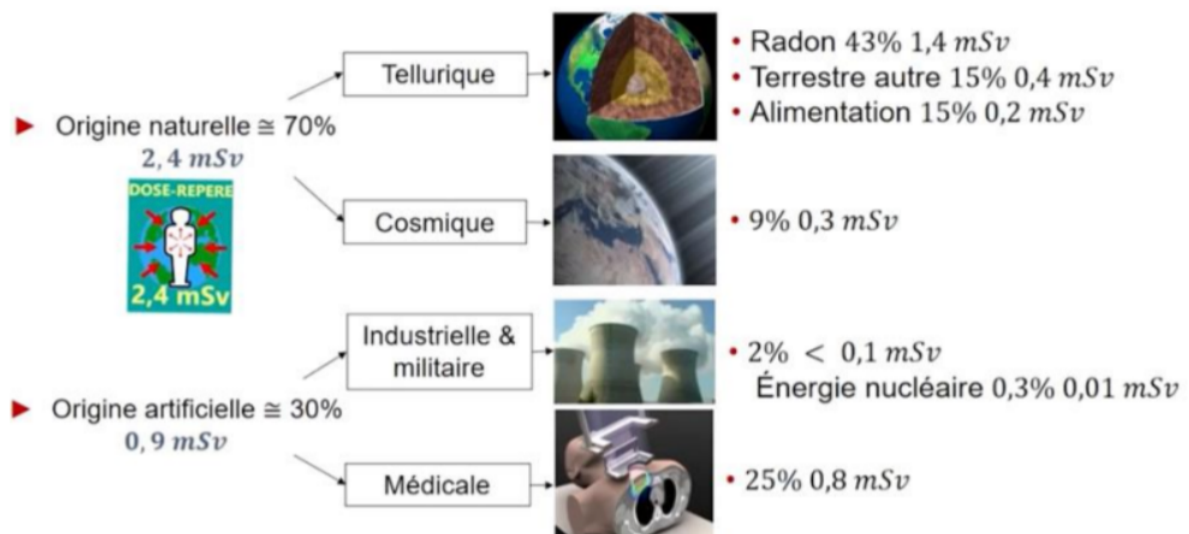
## II – Expositions aux rayonnements ionisants

### A – Exposition du public

#### A.1 - Origines

Il existe deux catégories de radiations ionisantes qui exposent le public :

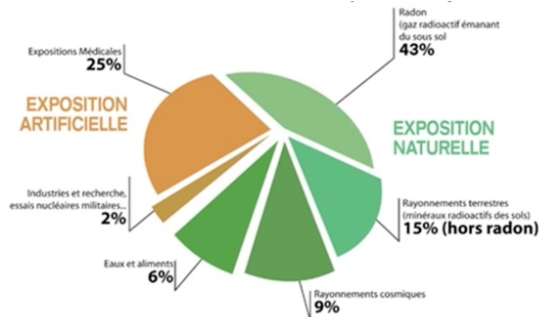
- Ceux d'origine **naturelle** :
  - De catégorie soit **tellurique** (lié aux radioéléments présents dans l'écorce terrestre, ces noyaux radioactifs ont été formés il y a des milliards d'années à la création de la Terre)
  - Soit **cosmique** (lié à des particules de haute énergie provenant essentiellement du soleil)
- Ceux d'origine **artificielle** :
  - De catégorie soit **industrielle et militaire** (lié au développement du nucléaire civil ou des retombées des essais militaires)
  - Soit **médicale** (lié au diagnostics ou traitements chez des patients)





## A.2 – Répartition des différentes expositions

Malgré une exposition très **variable** entre les individus, on définit une exposition **moyenne** (notamment dans un pays).



Les radiations que nous recevons sont à **70-75%** d'origines **naturelles**. Dans ces irradiations naturelles, le plus gros contributeur est le gaz **Radon 222** (43% à lui seul de l'exposition globale) qui est un **gaz radioactif** issu des sous-sols. Concernant l'exposition **artificielle**, l'exposition d'origine **médicale** prédomine avec environ 25% de l'exposition globale d'un sujet. L'exposition

industrielle ou militaire est faible (environ 2%). En France, l'exposition est responsable d'une dose efficace, donc d'une dose délivrée qui prend en compte à la fois les facteurs de qualité du rayonnement et de la radiosensibilité des tissus. Cette **dose efficace** est de **3,3 mSv/an**.

L'exposition d'origine naturelle représente environ 70% de cette dose efficace, ce qui correspond à **2,4 mSv**, qui correspond à la **dose repère** (donc la dose efficace par irradiation **d'origine naturelle** que reçoit un habitant du territoire français).

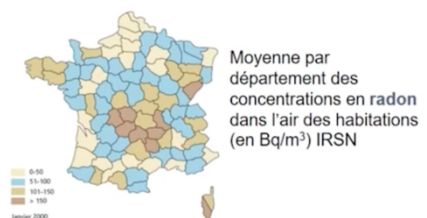
L'exposition d'origine artificielle correspond à 30% de la dose reçue et représente **0,9 mSv** dans laquelle l'irradiation **médicale** est largement dominante représentant 0,8 mSv à elle seule sur cette dose.



## A.3 – L'exposition naturelle tellurique

Elle est liée aux radioéléments présents dans l'écorce terrestre depuis la création de la Terre et cette exposition participe à la dose repère. Il s'agit essentiellement d'une source d'exposition par **contamination interne**. En effet, deux radioéléments provoquent principalement cette irradiation :

Le **Radon 222** (gaz émetteur  $\alpha$  provoquant une irradiation des tissus pulmonaires par inhalation) avec une demi-vie relativement **courte** de 3,8 j de cet élément qui montre que le Radon est le fruit de la désintégration de **l'Uranium-238** avec une demi-vie de 4 milliards d'années (il se désintègre peu à peu). Cette exposition est variable en fonction de la **géographie** car cela dépend de la **nature des sols**. En France ça varie un petit peu (en moyenne 1,4 mSv) mais dans le monde encore plus (jusqu'à 50 mSv en Inde, Brésil, Iran, ...).



Le deuxième radioélément qui participe à l'irradiation naturelle est les **Potassium 40**, qui est **toujours présent** puisqu'il possède une période de 1,3 milliards d'années. C'est un élément assez familier qu'on incorpore par **l'alimentation (contamination interne)**. Il est présent dans l'eau de mer mais ce qui est important est qu'au total, dans un homme de poids moyen (70kg), il génère une activité de **9000 Bq**, donc notre corps est naturellement radioactif.

<sup>40</sup> K	Bq/kg
Eau douce	0,1
Eau de mer	12
Corps humain*	130

\*9 000 Bq pour 70kg (<sup>40</sup>K)

#### A.4 – Exposition naturelle cosmique

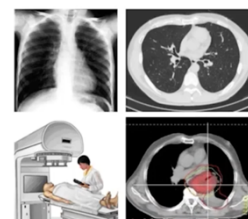
Cette exposition contribue peu à la dose de 2,4 mSv par an puisqu'elle représente **0,3 mSv**. Elle est liée aux particules et rayons gamma qui proviennent essentiellement du soleil. Il ne s'agit pas d'une exposition par contamination interne mais d'une exposition **par irradiation externe**. Nous sommes protégés de ces rayonnements cosmiques grâce à **l'atmosphère** (il s'agit d'une protection partielle). L'importance de cette exposition cosmique dépend fortement de **l'altitude** : au niveau de la mer, il y a une exposition de 0,25 mSv par an mais dès que l'on monte en altitude, cette exposition double tous les 1500 m (15 jours à 1500 m = 0,002 mSv). Si vous prenez l'avion l'exposition à 10 000 m est multipliée par 100 et pour les cosmonautes, l'exposition cosmique est de l'ordre de 1 mSv par jour.

#### B – Exposition des patients

Elle est importante à considérer puisqu'elle est responsable de **25%** de l'ensemble de l'exposition moyenne d'un sujet et elle vient s'ajouter à l'exposition naturelle déjà vue. Elle est extrêmement **variable** d'un individu à un autre en fonction de ses besoins médicaux. Elle est due aux actes **diagnostiques** (radiologie, médecine nucléaire) et aux **traitements** qui vont utiliser les RI (radiothérapie, médecine nucléaire).

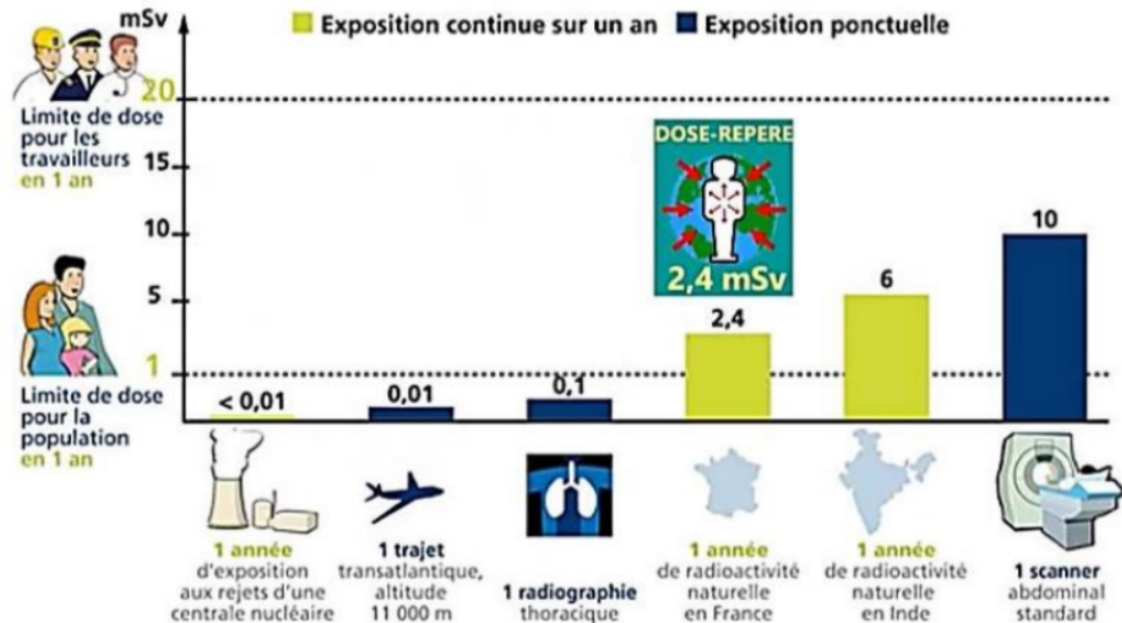
Elle est soumise à plusieurs principes :

- La **justification** des traitements et examens (ils doivent être **nécessaires** à la santé du patient)
- **L'optimisation** des doses avec le **principe ALARA** qui impose d'utiliser des doses qui soient aussi basses que possible pour obtenir des résultats qu'ils soient diagnostiques ou thérapeutiques
- Au niveau réglementaire, cette dose n'est **pas limitée** pour un patient donné à l'exception de la situation de la **femme enceinte** chez laquelle on s'abstient d'utiliser les RI par principe de précaution pour éviter d'exposer son fœtus





Les ordres de grandeur de cette exposition des patients vont varier entre **1 et 10 mSv** pour un **diagnostic** (on parle de dose efficace à tout le volume) et entre **60 et 80 Gy** pour la **radiothérapie** (on parle de dose déposée cumulée et localisée)



Ce graphique permet de situer, par rapport à l'exposition naturelle, l'exposition **médicale**. En abscisse, on voit différentes sources d'irradiations : ces-dernières sont continues en jaune et ponctuelles en bleu. En ordonnée, il y a les doses en mSv correspondantes avec quelques repères : la limite réglementaire de **dose pour le public** de 1 mSv et la limite de dose pour les **travailleurs** de 20 mSv.

Si l'on prend des doses croissantes, les doses annuelles d'exposition liées aux centrales nucléaires est assez faible (< 0,01 mSv). Si on réalise un trajet transatlantique en avion, on voit des doses de l'ordre de 0,01 mSv.

Une **radiographie pulmonaire** va nous donner une dose plus importante de l'ordre de **0,1 mSv** ++ mais cela reste bien **inférieur** à la dose repère de 2,4 mSv, qui est la dose repère en France liée à l'irradiation naturelle. Elle peut être beaucoup plus élevée dans certains pays (comme en Inde par exemple). L'exposition liée au **scanner** est de **10 mSv** et est donc **largement supérieure** à la dose repère naturelle mais qui reste inférieure à la dose limite pour les travailleurs.

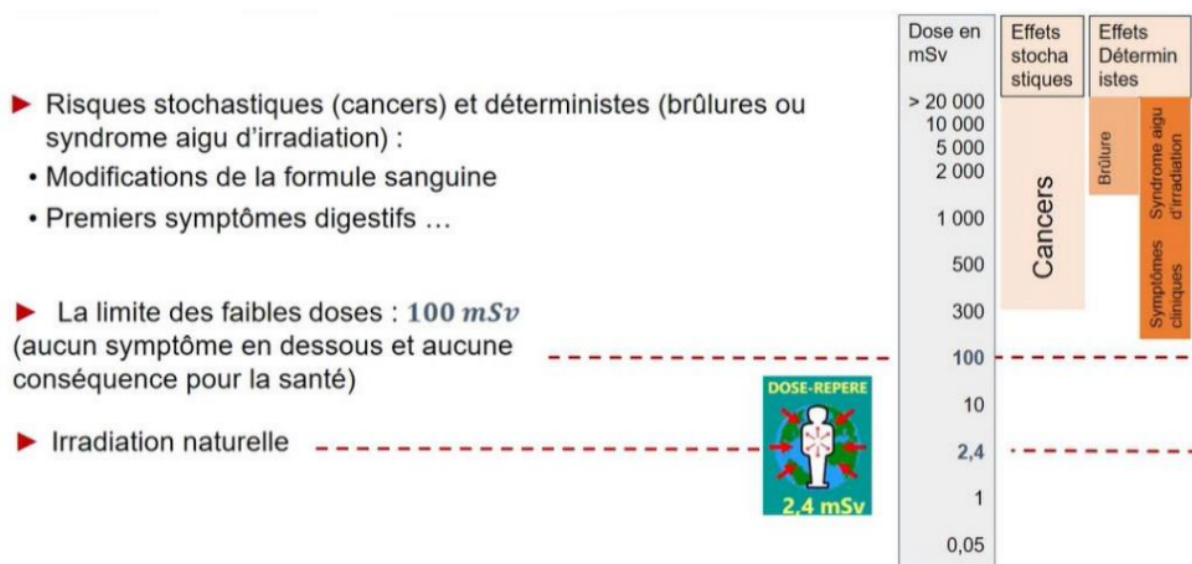
Ces doses **additionnelles** pour le patient sont donc extrêmement **variables** en fonction des nécessités du patient et elles viennent **s'ajouter** aux autres sources d'irradiation externe.

## C – Expositions accidentelles

### C.1 – Les repères

Dans les points de repère importants pour nous sur cette échelle des doses en mSv pouvant être reçues il y a :

- L'irradiation naturelle de 2,4 mSv par an
- La limite des faibles doses de 100 mSv, elle est choisie comme tel car à 100. mSv et en dessous de cette valeur il n'y a aucun symptôme et aucune conséquence pour la santé qui a pu être mise en évidence
- Au-delà de cette dose, il existe des risques qui peuvent être soit stochastiques, donc aléatoires liés à des mutations (peuvent provoquer des cancers), soit déterministes liés à des brûlures ou à des syndromes aigus d'irradiation (qui peuvent se manifester par des symptômes digestifs, hém atologiques et modification biologique de la formule sanguine)



### C.2 L'accident de Tchernobyl du 26 Avril 1986

Lors de l'incendie de la centrale nucléaire de Tchernobyl, 600 pompiers sont intervenus pour éteindre l'incendie. Les doses maximales reçues ont été **très élevées** : de **plus de 1000 mSv** (largement dans les doses d'effets déterministes). Parmi les 600 pompiers, 134 ont développés des **syndromes aigus d'irradiations** graves, pour lesquels ils ont dû être hospitalisés et traités. Malheureusement, il y a eu 28 décès de ces syndromes aigus d'irradiation. Pour le reste des sujets qui ont survécu à cette irradiation, ils ont été suivis de très près car on s'attendait à des tas de maladies/cancers, mais finalement sur 20 ans, ils n'ont développé aucun cancer particulier, ce qui est une bonne surprise. Cependant, 19 d'entre eux sont décédés mais ce n'est pas dû à leur irradiation.

Viennent ensuite ceux qu'on appelle les liquidateurs, les Russes ont fait intervenir 600 000 liquidateurs sur les lieux de manière très courte afin d'être **individuellement peu irradié** : entre **100 et 200 mSv** par personne.

Ces personnes ont été suivies et ont eu beaucoup d'effets sur la santé non spécifiques mais plutôt lié au travail forcé (suicide...) et non pas à l'irradiation. On n'a pas constaté de surmortalité liée à l'irradiation, il y a tout de même eu des cataractes en plus et les leucémies sans que leur nombre dépasse l'incidence habituelle.

Les effets **stochastiques cancérogènes**, n'ont finalement pas été constatés sauf ceux liés à **l'Iode 131**, c'est-à-dire le cancer de la thyroïde par contamination interne de l'Iode dans la thyroïde chez les **enfants**. En effet, les enfants possèdent une thyroïde qui a des capacités de concentration de l'Iode plus importantes que l'adulte puisqu'ils ont besoin de fabriquer des hormones thyroïdiennes en quantité importante. Les retombées d'Iode 131 ont été concentré dans la thyroïde de ces enfants et 7000 d'entre eux ont développés des cancers de la thyroïde. Heureusement le cancer de la thyroïde est un cancer peu agressif et dont beaucoup ont pu être guérit, cependant il y quand même eu 20 décès après 20 ans.

Il n'y a **eu aucuns effets tératogènes** (=effets sur la descendance) comme on pourrait le voir sur internet.

### C.3 – L'accident de Fukushima Daiichi du 11 Mars 2011

Ici, les gammes d'exposition sont bien différentes et bien plus faibles : les doses maximales reçues par les travailleurs de la centrale sont peu supérieures à **100 mSv** puisqu'elles sont en moyennes égales à 140 mSv, on se situe autour de la limite des **faibles doses**.

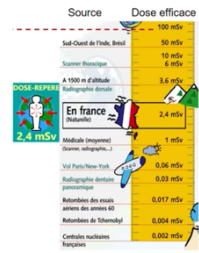
**Aucun effet stochastique** cancérogène n'a été constaté d'autant plus que les Japonais ont appliqué la contre-mesure de la **pastille d'Iode** si bien que les effets constatés après Tchernobyl n'ont pas été ressentis dans cet accident même si le suivi (notamment des enfants) est toujours en cours.

Pour les populations proches de la centrale, ils ont reçu des **doses inférieures** à la limite des faibles doses de 100 mSv donc, à priori, **sans effet** sur la santé. On voit qu'ici, l'accident en lui-même n'a pas provoqué d'effet de surmortalité et d'effets cancérogènes significatifs.

## Conclusion

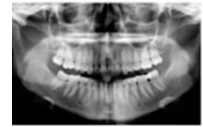
Le professeur insiste encore une fois sur les **doses efficaces à retenir** ++ :

- La limite de **100 mSv des faibles doses**, on sait qu'en deçà il n'y a aucun effet sur la santé
- La dose efficace liée à la **radioexposition naturelle** annuelle en France de **2,4 mSv**
- L'ordre de grandeur des doses délivrées par les examens diagnostiques utilisés en médecine entre **1 et 10 mSv**



## CONCLUSION GÉNÉRALE SUR L'EXPOSITION AUX RI

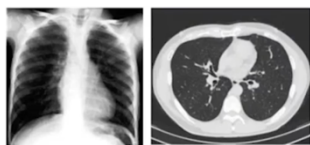
Ce problème nous concerne en tant que professionnels de santé :



- ils sont utilisés dans un intérêt **diagnostique** et **thérapeutique** (médecine)
- la **radiopharmacie**, c'est-à-dire l'utilisation et la manipulation de médicaments radioactifs (pharmacie)
- utilisation des rayons X lors de **panoramiques dentaires** (odontologie)
- Les **radiographies osseuses** (masseurs-kinésithérapeutes)
- La prise en charge de **femmes enceintes** avec leur statut particulier vis-à-vis des RI (maieutique)



Cela concerne aussi tous les citoyens car l'exposition aux RI est un **phénomène naturel**. Il est vrai que les RI sont **dangereux** et qu'il faut savoir s'en protéger mais la radiophonie est aussi dangereuse que les rayonnements eux-mêmes, il s'agit d'un rapport bénéfice/risque. Marie Curie disait « Dans la vie rien n'est à craindre, tout est à comprendre. », c'est particulièrement important dans le domaine des RI puisqu'il faut appuyer son avis sur des faits scientifiques et non pas de la désinformation guidée par des émotions.



Dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, il y a la loi de Brandolini : « La quantité d'énergie nécessaire pour réfuter des idioties est supérieure d'au moins un ordre de grandeur à celle nécessaire pour les produire ».