

Introduction :

Il est important de parler des radiations ionisantes pour comprendre leurs effets biologiques, connaître le plus objectivement possible, les expositions et leurs risques pour pouvoir s'en protéger ou au contraire les utiliser pour traiter des maladies.

Il faudra bien comprendre que les effets biologiques des radiations ionisantes :

- * Ne sont pas spécifiques : il y a d'autres causes qui peuvent produire les mêmes effets.
- * Sont bien connus : on connaît les données physiques et biologiques.
- * Dépendent de l'énergie (apportée par la radioactivité), du temps d'exposition. C'est pour cela qu'il est important de connaître la dosimétrie : manière d'exprimer l'exposition de quelqu'un ou d'un tissu à une irradiation.

I. GRANDEURS ET UNITE EN DOSIMETRIE

A. Énergie d'un rayonnement et effet de la distance

L'énergie d'un rayonnement E en Joules est une **quantité émise par une source qui va se déposer dans la matière.**

On considère cette énergie selon un facteur **temps**, c'est pourquoi on va parler de débit de fluence énergétique φ , c'est-à-dire **l'énergie émise par unité de temps.**

$$\varphi = \frac{dE}{dt} \quad [W]$$

On s'intéresse surtout à **l'énergie reçue** : dépend de la surface soumise à l'irradiation.

$$E_e = \frac{d\varphi}{dS_{IR}} = \frac{d\varphi}{d\Omega \cdot d^2} \quad [W \cdot m^{-2}]$$

L'équation de droite montre qu'en supposant que l'irradiation est une source ponctuelle, la surface irradiée est fonction de la surface de cette surface irradiée et de la distance d^2 par rapport à la source.

Pour des raisons géométriques (d'angle solide) plus on s'éloigne plus l'énergie reçue est faible et celle-ci décroît comme le carré de la distance.

→ Donc l'énergie reçue dépend de l'inverse du carré de la distance.

B. Dose absorbée D

Dose absorbée = énergie qui est déposée par le rayonnement dans un échantillon de matière.

L'énergie peut venir de plusieurs ionisations mais aussi de plusieurs rayonnements et la dose déposée est la somme des énergies individuelles déposées.

L'énergie déposée devrait s'exprimer en Joules, mais en réalité on l'exprime en **Grays** (Gy), il n'y a pas de raisons physiques (on pourrait l'exprimer en joules/kg), c'est juste pour marquer qu'il s'agit d'un dépôt d'énergie qui vient de radiations ionisantes.



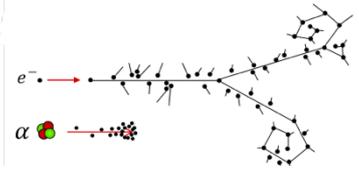
C. Facteur de qualité d'un rayonnement

1. TEL

Définition :

- * Il illustre la dépendance des effets biologique à la nature du rayonnement.
- * Le TEL = quantité d'énergie transférée au milieu par unité de longueur.
- * Traduit la densité d'ionisations provoquée par le rayonnement par unité de longueur : $[\text{TEL}] = \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$

→ On a le TEL des particules du plus élevé au moins élevé : $\text{TEL } \alpha > \text{TEL } \beta^- > \text{TEL } \gamma \text{ et X.}$



2. Facteur de dangerosité

Traduction réglementaire de cette efficacité biologique. Il s'agit d'un nombre sans unité qui tient compte du TEL.

	X, γ, e^-	n rapides	n thermiques	α et p
W_R	1	5	20	20

D. Dose équivalente H

C'est la dose absorbée pondérée par W_R (facteur de dangerosité). Cette nouvelle mesure de Dose équivalente H exprime l'effet potentiel du rayonnement en fonction de sa dangerosité. Le facteur de dangerosité est assez subjectif, on ne peut donc plus exprimer la dose en Gy mais en **Sievert (Sv)**.

Il ne s'agit plus d'une unité physique mais d'une unité de radioprotection, on n'exprime donc plus une dose mais des effets.

$$H = W_R \times D$$

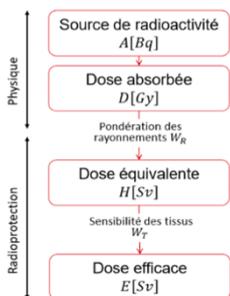
E. Dose efficace E

Organe	W_{T1}	W_{T2}
	CIPR 1990	CIPR 2007
Gonades	0,20	0,08
Sein	0,05	0,12
Moelle osseuse - Colon	0,12	0,12
Poumons - Estomac	0,12	0,12
Vessie - Foie	0,05	0,04
Œsophage - Thyroïde	0,05	0,04
Peau, surface des os	0,01	0,01

Il faut aussi tenir compte de la sensibilité des tissus. C'est la dose équivalente H totale (reçue par l'organisme) pondérée par un facteur de sensibilité des tissus W_T , sans unité. E est toujours en Sv.

$$E = (\sum W_T) \times H = (\sum W_T) \times W_R \times D$$

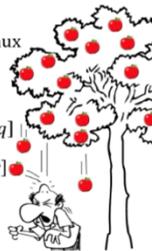
F. Conclusion



Conclusion

$N = \text{nbre de noyaux}$

D dose absorbée [Gy]
 E dose efficace [Sv]
 (conséquences)



- * Nb noyaux = nb pommes.
- * L'activité en Bq : nb de noyaux radioactifs qui se désintègrent/s = nb de pommes qui tombent/s
- * Dose absorbée en Gy = nb de pommes sur la tête du monsieur → C'est de la physique, mesurable, avec des unités physiques
- * Conséquence : dose équivalente et efficace en Sv = bosse formée → Mesure des conséquences biologiques et physiologiques => Radioprotection



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

II. RADIOBIOLOGIE

A. Effets moléculaires des rayonnements ionisants

1. Mécanismes généraux directs

Le dépôt d'énergie se fait par des ionisations de molécules (= retrait d'électrons à des atomes qui font partie de la molécule) : on a des ions moléculaires, la molécule se retrouve avec un électron célibataire. Ces molécules sont **instables** et **oxydantes** : comblent leur vacance électronique en cherchant un nouvel électron → provoquent des réactions → on les appelle des radicaux libres.

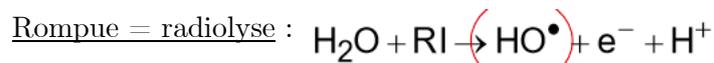
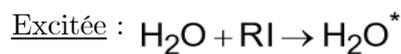
Donc, quand une molécule subit l'effet d'un rayonnement ionisant, on obtient :

- * Une rupture de la molécule par l'ionisation (= destruction fonctionnelle).
- * Une diffusion de radical libre non-dit : les radicaux libres sont toxiques.

2. Radiolyse de l'eau

On va regarder ce phénomène au niveau de la molécule d'eau = radiolyse de l'eau car ces molécules sont particulièrement répandues dans notre organisme (60 à 90% de masse corporelle).

Sous l'effet d'un rayonnement ionisant (RI) la molécule d'eau peut être :



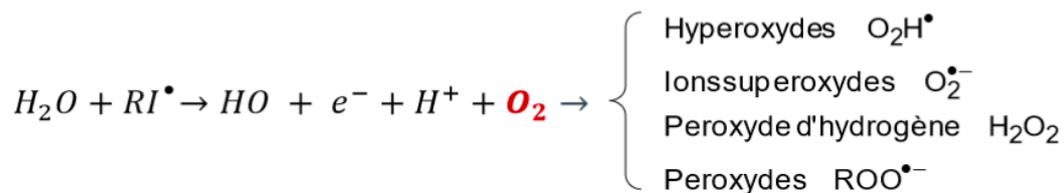
La radiolyse de l'eau donne donc un radical HO, un électron et un H+. Le radical libre hydroxyle HO est très oxydant, agressif, il veut récupérer son électron à tout prix et va ainsi créer pas mal d'effets chimiques.

Les produits de la radiolyse peuvent :

- * Se recombinaison, c'est donc un moindre mal.
- * Diffuser → provoquent des oxydations d'autres molécules : c'est la base des principaux effets biologiques.
- * Former le radical H2O2 = molécule elle-même très oxydante, ou autres peroxydes.

Ainsi comprenez bien, il y a un effet physique d'ionisation, qui enclenche immédiatement un effet oxydant chimique. Celui-ci poursuit l'effet biologique initial physique des radiations ionisantes mais est de durée très brève. Les radicaux ont une durée de vie brève, diffusent rapidement et provoquent leurs effets quasi-instantanément ; néanmoins ils sont nombreux et significatifs.

3. Effet oxygène



L'ionisation de l'oxygène a un effet particulier : **l'effet oxygène** (l'oxygène est moins fréquent que l'eau mais important).

Les **radicaux libres** (*cf. photo juste avant*) issus de la radiolyse de l'eau ont une durée de vie extrêmement brève MAIS si ces radicaux libres (ex : HO) rencontrent une molécule d'oxygène ils vont provoquer la création des « **espèces réactives de l'oxygène** » = ce sont des radicaux libres très oxydants ET de durée de vie plus importante (il y a prolongation des effets chimiques).

On dit que l'oxygène a un effet **radio-sensibilisant** = là où il y aura de l'oxygène, les effets chimiques seront potentialisés.

C'est important en **radiothérapie** (on cherche à détruire un tissu cancéreux par radiations ionisantes) : si le tissu est **bien oxygéné**, les radiations seront **efficaces** ; au contraire si la tumeur est ischémique (peu oxygénée), l'effet sera moindre.

B. Effets cellulaires

Biologiquement, la radiosensibilité d'une cellule dépend fortement de son cycle cellulaire : la cellule est particulièrement sensible dans le cycle G2 et M. (*coucou la biocell <3*)

Importance du point de contrôle de l'apoptose : les effets peuvent se dérouler en phase G2 et M mais la cellule peut n'être sensible et réagir que quand la cellule passe par le point de contrôle → à ce moment s'il y a eu des effets, la cellule passe en apoptose.

Retenez bien que **la cellule est d'autant plus sensible qu'elle est en division.**

Ceci explique la loi de Bergonié et Tribondeau (1906) :

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

Les **cellules souches**, très peu différenciées sont **très sensibles** contrairement aux cellules déjà très différenciées qui se divisent moins fréquemment et donc sont moins sensibles.

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 en général, même à faible dose, est l'ADN.

Effet sur l'ADN :

- * Direct (30%) : ionisation directe des bases de la molécule d'ADN.
- * Indirect (70%) : via la radiolyse de l'eau et via les radicaux libres.

Dans les deux cas l'ADN est agressée et l'hélice peut être rompue.

Or l'ADN porte tout le génome donc tout le message génétique qui sert à la division, les conséquences sont donc importantes.

Types de lésions :

- * Altération d'une base
- * Cassure simple brin
- * Cassure double brin
- * Dommages plus généraux de l'ensemble du chromosome

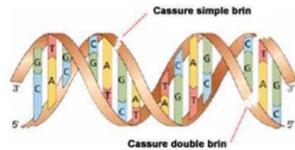


Ces cassures de l'ADN sont le résultat de radiations ionisantes mais elles peuvent survenir dans d'autres situations, comme dans des situations spontanées liées au métabolisme.

L'ADN est capable de se réparer : les cellules ont un système de réparation rapide et efficace. La réparation d'une modification de base ou de cassure simple brin est facile et juste car on prend exemple sur le brin en face pour ne pas faire d'erreurs. La réparation d'une cassure double brin peut être *fautive* : l'organisme peut se tromper → mutation.

Ces mutations peuvent avoir des conséquences : transformations cancéreuses ou transmises à la descendance.

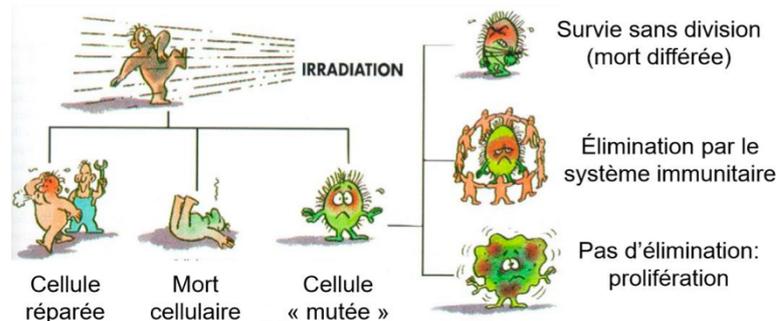
Exemple de l'efficacité : Il existe un organisme (bactérie = *Deinococcus radiodurans*) qui résiste à des doses d'irradiations extrêmement élevées (50 000Gy) → la cellule a su développer des mécanismes de réparation très efficaces + système de lutte contre les radicaux libres très efficace => se défend très bien.



Lésions	1 Gy 1s	Spontanées/h
Bases	2000	3000
ADN simple brin	1000	5000
ADN double brin	50	<1

C. Conséquences des effets cellulaires

La cellule est équipée pour se réparer avec une série de niveaux de défenses (pour prendre le moins de risque), si tous les mécanismes de défenses sont franchis, la cellule n'est pas éliminée, elle prolifère (possibles effets secondaires).



D. Effets cellulaires en physiologie

Les effets cellulaires ne sont pas spécifiques aux radiations ionisantes !!

Effets moléculaires :

- * Les espèces réactives de l'oxygène (ERO), qui prolongent les effets oxydants de la radiolyse de l'eau, existent chez tous les organismes qui utilisent de l'oxygène, vivants en aérobie, on a tout le temps beaucoup d'ERO => ce sont les effets oxydants.
- * La cellule qui utilise de l'oxygène a forcément beaucoup de molécules oxydantes, elle a donc un système de détoxification des ERO, ce sont des enzymes qui permettent de minimiser les effets oxydants physiologiques.
- * On parle de stress oxydant quand les ERO sont en excès → peut être à l'origine de pathologies : cancers, athérome, maladies neurodégénératives... ou simplement le vieillissement (= effet du stress oxydant prolongé le long de la vie) => rien à voir avec les radiations ionisantes même si on a les mêmes effets.



Effet sur l'ADN :

- * Les effets sur l'ADN peuvent aussi être provoqués par d'autres toxiques, qui vont soumettre la cellule aux mêmes phénomènes de réparation : rayonnement solaire, respiration mitochondriale, toxiques industriels, tabac, pollution... → aussi sources d'agression de l'ADN (de la même façon que les ionisations).

Source	Types de lésions	Nombre de lésions par jour
Métabolisme normal	Bases	10 000
	Ruptures simples	20 000 à 40 000
Pollution	Bases	10 000
	Ruptures simples ou doubles	?
Bronzage au soleil (1h)	Bases	60 000 à 80 000/h
Tabac (20 cigarettes/j)	ADN	100 à 2000
Radioactivité naturelle	Ruptures simples	2/an

E. Effets tissulaires

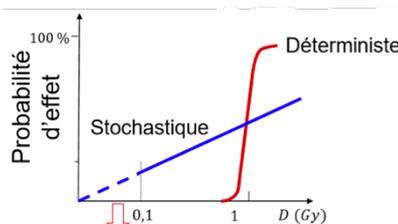
Effets cellulaires	→	Effets tissulaires
Réparation		• Aucun effet tissulaire
Mort cellulaire		• Effets obligatoires ou effets déterministes Type brûlure cutanée Seulement sensibles à fortes doses
Mutation		• Effets aléatoires ou effets stochastiques Tissus somatiques: cancer Non démontrés en dessous de 100 mSv Tissu gonadique: effets sur la descendance Non démontrés chez l'homme

* Mort cellulaire : effets obligatoires = déterministes, on a une brûlure lors de morts cellulaires importantes en cas de forte dose.

* Mutations : effets aléatoires = stochastiques : on ne peut pas prévoir si une cellule sera réparée ou si elle échappera aux mécanismes de réparation et de défense.

NB : remarque des mutations sur le tissus gonadique

Relation entre dose-effet : Sur le graphique, probabilité d'effet en fonction de la dose déposée (Gy).

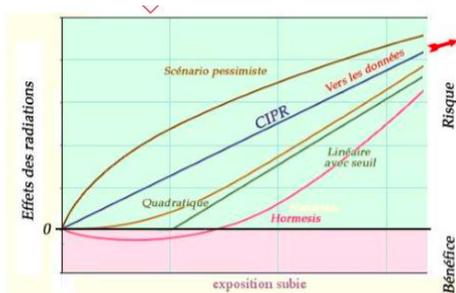


* Effets déterministes → effets à seuil (=ne se produisent que lorsque suffisamment de cellules sont mortes, donc que à partir d'une certaine dose).

* Effets stochastiques → relation linéaire : plus il y a de doses, plus grande est la probabilité d'effets.

Mais le sujet est difficile surtout en cas de faibles doses (en pointillés), c'est une chose très discutée, il n'y a pas de consensus scientifique.

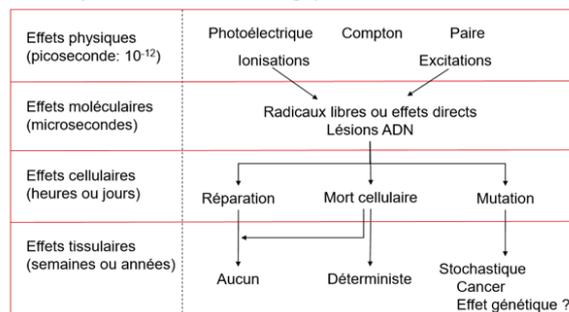
Plusieurs hypothèses :



Relation linéaire → La réglementation considère sans en être certains qu'il y a une relation linéaire sans seuil, même à faible dose il peut y avoir des effets stochastiques, donc des mutations.

Certains considèrent que la courbe est différente, et même que la courbe puisse passer en dessous de 0 (= hormesis) : ils soutiennent qu'avec de très faibles doses, l'irradiation peut protéger en stimulant les mécanismes de réparations → Pas de certitude sur les différents modèles défendus !!

Conclusion synthèse des effets biologiques



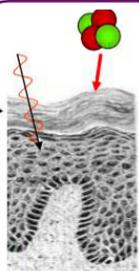
III. RADIOPROTECTION

A. Historique et institutions

1902	Académie des sciences : description des brûlures (premiers radiologues et H. Becquerel & M. Curie)
1928	Commission Internationale de Protection contre les Rayons X se crée pour réglementer et étudier la radioprotection → en 1950 International Commission on Radiological Protection ICRP.
1955	Nations Unies : "United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations" (UNSCEAR), surveille et dicte les règles de radioprotection
1973	Organisme français de radioprotection → Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN).
1986	« Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la RADioactivité » (CRIIRAD): association « pour le droit à l'information et à la protection », pas nationales ou internationales mais association de citoyens indépendante des autres institutions (considérant que celles-ci ne le sont pas assez) ≠ des structures officielles.

B. Deux types d'exposition

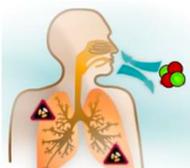
1. L'exposition externe



On reçoit un rayonnement extérieur, le premier tissu affecté est donc la peau. En fonction des rayonnements on a des effets différents :

- * Les **particules lourdes** (comme les particules α) seront arrêtées par la couche cornée de la peau → l'exposition externe à un rayonnement alpha (ex : radon-222) est sans conséquence.
- * Les **autres rayonnements** qui traversent la couche cornée vont déposer leur énergie dans la peau ou les organes en dessous → provoquent des effets biologiques.

2. L'exposition interne par contamination



On ingère une source radioactive. C'est différent, en particulier pour le radon (=émetteur alpha), si on respire le radon, celui-ci sera en contact avec nos alvéoles → il y aura un effet biologique de ces rayonnements.

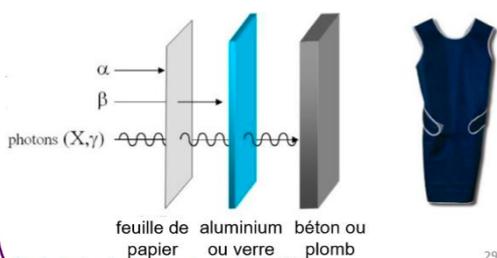
C. Moyens de protection contre l'exposition externe

Il y a 3 règles :

La distance : l'exposition décroît comme le carré de la distance → s'éloigner au maximum est efficace.

Le temps : si on est exposés à une irradiation il est important de l'être le moins longtemps possible.

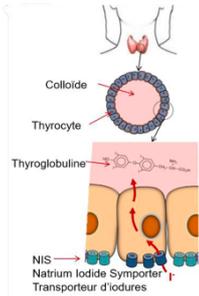
Les écrans : les écrans interposés peuvent absorber une quantité de rayonnement importante → ils dépendent du type du rayonnement : α -> une feuille de papier ; gamma ou X provoquent peu d'ionisations dans leur trajectoire -> écran de plomb (ex : tablier de plomb pour certains professionnels de radiologie ou de médecine nucléaire).



D. Protection contre une exposition par contamination interne

Cela dépend du type de rayonnement : il faut éviter d'absorber des rayonnements ionisants bien entendu.

Cas particulier de la thyroïde :



La thyroïde est une glande endocrine située à la base du coup. Le tissu thyroïdien est organisé d'une manière particulière : on a un monocouche de thyrocytes et à l'intérieur le colloïde. Les thyrocytes rassemblent les éléments nécessaires à la fabrication des hormones thyroïdiennes qui se déroulera dans le colloïde. Ils récoltent en particulier l'iode. L'iode est assez peu répandu dans l'organisme, ces cellules doivent donc être capables de capter l'iode du sang vers l'intérieur de la glande grâce à leurs transporteurs transmembranaires.

- * Lors des accidents de centrales, il y a libération d'Iode-131, un élément radioactif : émetteur β^-
- * C'est un danger car si cet iode est absorbé (arrive facilement car il est volatil) les cellules thyroïdiennes vont le capter sans faire la différence avec l'iode-127 normal et donc concentrer l'iode radioactif dans la thyroïde. Il va y avoir des émissions β^- importantes dans les cellules → risque cancer de la thyroïde.

La thyroïde est donc une cible en radioprotection : autour des centrales nucléaires, la population dispose de pastilles d'iode stable à absorber en cas d'accident pour saturer la thyroïde en iode → les thyrocytes auront déjà accumulé de l'iode et ne vont pas capter l'iode radioactif → protection de la thyroïde (efficace).

E. Durée d'une contamination interne

La durée de la contamination interne dépend de :

- * La période radioactive : tout atome radioactif décroît avec une certaine période → décroissance exponentielle liée à la radioactivité = **période physique** = radiologique ex : iode 131- 8 jours.
- * L'élimination physiologique des radioéléments, durée de vie biologique = **période biologique** (ex : l'iode → 56 jours).

Les deux vont s'associer pour déterminer la durée de séjour de l'élément radioactif ingéré dans notre organisme → période effective.

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

Exemple : Si on est contaminés par l'iode 131, la moitié sera éliminé au bout de 7 jours

NB : la période effective est < à la plus petite période qu'on ait

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



F. Principes de la radioprotection

La radioprotection n'est plus de la science mais des règles à respecter comme un Code de la route (« ne retenez pas ces valeurs, sachez qu'elles existent ») :

- * Pour le public : l'exposition en moyenne ne doit pas dépasser **1mSv par an**
- * Pour les travailleurs exposés (dans les centrales, en médecine nucléaire) : max. **20mSv par an**
- * Pour les patient soumis à des rayonnements ionisants (examens) : **PAS de limites de dose.**
(Il n'y a pas de réglementation qui interdise d'avoir un examen radiologique si on en a déjà eu avant, le bénéfice apporté sera plus important que les inconvénients potentiels des ionisations).

Si on doit exposer un patient à des rayonnements ionisants il faut :

- * Que l'examen soit **justifié**
- * Que l'exposition soit **optimisée**

Exposition optimisée : les professionnels doivent garantir qu'ils exposent le patient au minimum nécessaire pour l'examen ou le traitement = *principe ALARA* « As Low As Reasonably Achievable », (dose aussi faible que possible)

G. Radioprotection de la femme enceinte

1. Effets déterministes sur le fœtus

- * Si un fœtus est irradié accidentellement très tôt, dans la phase pré-implantatoire : 8 premiers jours, il y a un effet « **tout ou rien** » = soit il y a réparation et la grossesse continue sans problème, soit les réparations ne sont pas satisfaisantes et la grossesse s'arrête.
- * Entre 8 jours et 8 semaines (organogénèse) : les effets d'irradiation peuvent perturber la formation des organes, le risque de **malformations** n'existe que si les doses > 100mGy (on est rarement exposés à autant).
- * Après 8ème semaine, (organes à peu près complètement formés), la maturation du **système nerveux central** peut être perturbée à des doses > 500mGy.

2. Radioprotection

Sauf en cas d'urgence vitale, on **évite** tout examen (radio ou médecine nucléaire) ou toute exposition à des radiations ionisantes chez le femme enceinte.

Si c'est une **professionnelle travaillant dans un milieu exposé** à de la radioactivité on considère la femme enceinte comme « public » elle a une limite de **1mSv** par an et pas 20mSv, on ne l'expose pas davantage.

Il s'agit ici de risques de malformations de l'enfant soumis à des irradiations, on ne parle pas des possibles effets génétiques des rayonnements (qui n'ont jamais été observés heureusement).



IV. EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

A. Origines

1. La radioactivité naturelle

- * Origine tellurique : l'écorce terrestre contient des radioéléments, de durée de vie de plusieurs milliards d'années, formés au moment de la création de la Terre, qui émettent des rayonnements
- * Origine cosmique : vient du Soleil, nécessaire à la vie et producteur de radioactivité

2. La radioactivité artificielle

- * Industrielle et militaire : nucléaire civil (énergie) et essais militaires
- * Médicale : diagnostic et traitements

B. Répartition de l'exposition

→ Irradiation naturelle : 73%

- * 43% radon ; 15% rayonnements terrestres (minéraux)
- * 9% cosmique ; 6% eaux et aliments (on peut ingérer des atomes radioactifs)

→ Irradiation artificielle : 27%

- * **25% médicale**
- * 2% industrie, recherche, militaire

→ L'irradiation d'origine naturelle (70%) représente la dose repère = **2,4 mSv/an** (on est exposés à 2,4 mSv par an)

C. Exposition naturelle

1. Tellurique

Vient de l'écorce terrestre, notamment du **radon-222** (gaz inhalé) → provoque surtout une irradiation interne. En France l'irradiation moyenne est de 1,4mSv et la répartition est hétérogène : plus importante dans les régions granitiques.

Dans le monde, l'hétérogénéité est importante aussi, dans la région du Kerala (Inde) l'irradiation due au radon peut aller jusqu'à 50mSv (dose très élevée, sans rendre les populations en moins bonne santé que les autres).

Le **potassium-40** est aussi une source non négligeable, il est présent dans l'alimentation → à l'origine de notre radioactivité interne propre ; on émet de la radioactivité car on a en nous du K-40.



2. Cosmique

Exposition liée au rayonnement solaire.

Variable en fonction du niveau (= proximité avec le soleil) → au niveau de la mer : l'exposition est faible ; augmente avec l'altitude : double tous les 1500mètres (quand on va au ski, quand on prend l'avion, on est + irradiés au niveau cosmique → les cosmonautes reçoivent une dose de 1mSv par jour, ce qui n'est plus négligeable).

D. Exposition des patients

Elle est due aux diagnostics (radio, scanners, examens de médecine nucléaire) ou aux traitements (radiothérapies pour les tumeurs, médecine nucléaire).

Soumise aux principes de justification et d'optimisation, n'est pas limitée par la législation.

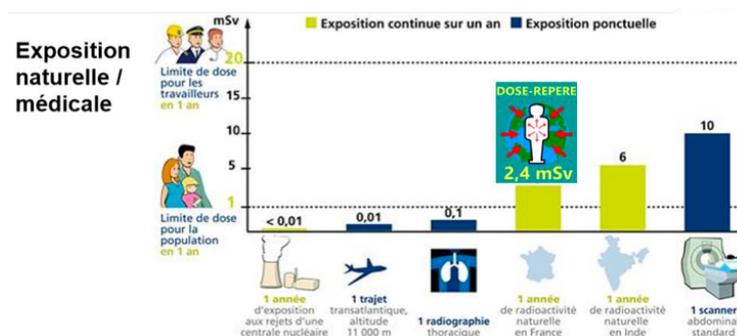
Ordre de grandeur des doses :

- * **Diagnostics** : dose reçue de 1 à 10mSv.
- * **Radiothérapie** (on préfère les grays car on mesure la dose déposée dans la tumeur mais là on utilise des électrons ou des gammas donc $W=1$ donc revient à la même valeur en Sv) : 60 à 80 Gy, ces doses sont cumulées et localisées.

E. Accidents d'exposition

1. Les repères

- * L'irradiation naturelle est la dose repère : 2,4 mSv.
- * La limite des faibles doses est de 100 mSv ++ (les expériences n'ont jamais montré d'effets biologiques détectable en dessous de 100mSv => dose faible).
- * Au-delà il y a des risques : stochastiques (développement possible de cancers) ou déterministes (brûlures, syndromes d'irradiation...) → les syndromes d'irradiations atteignent les tissus à renouvellement rapide : **le sang** (modification de la formule du sang), **l'épithélium digestif** (premiers troubles digestifs).



2. L'accident de Tchernobyl (26 avril 1986)

→ **600 pompiers ont reçu des doses très fortes > à 1000 mSv → irradiation intense :**

- * 134 → syndrome aigu d'irradiation (effets déterministes graves : digestifs, diarrhées, pbs neurologiques, pbs hépatologiques).
- * 28 décès dans les suites.
- * Après 20 ans, 19 des sauvés sont morts de causes non liées à l'irradiation, comme si après avoir été guéri du syndrome aigu d'irradiation il n'y a pas eu d'effet 2^{ai}res stochastiques à long terme

→ **600 000 liquidateurs pour se relayer pour nettoyer ont été exposés à des doses de 100 à 200 mSv :**

- * Doses pas trop élevées → beaucoup d'effets sur leur santé, essentiellement des effets non liés à l'irradiation : problèmes sociaux, suicides, violence etc... mais pas de surmortalité induite par l'irradiation, juste des cataractes en surnombre.

→ **Effets stochastique cancérogènes survenus :**

- * 1 seul type de cancer : cancer de la thyroïde chez les enfants en bas âge : la population a ingéré de l'iode-131, or les enfants ont besoin d'iode pour leurs hormones de croissance et ils sont dans une région pauvre loin de la mer (= carence en iode), leur thyroïde a donc capté énormément d'iode-131 → peu de décès liés car ce cancer se guérit bien.

→ **Aucun effet tératogène** : aucun enfant malformé à cause des irradiations.

Conclusion : Il n'y a donc pas eu des centaines de milliers de morts à Tchernobyl ! (≈ 50 décès direct)

3. L'accident de Fukushima Daiishi (11 mars 2011)

Un tsunami a engendré le dysfonctionnement de la centrale nucléaire. Il n'y a pas eu de syndrome d'irradiation aigu (pas d'incendie, donc pas de pompiers proches).

- * **Les travailleurs** : soumis à + de 100mSv mais quand même assez peu (140mSv).
- * **Les populations aux environs** : - de 100 mSv (faibles doses).
- * **Contre mesure de protection** : pastilles d'iode à la population → pour l'instant pas de sur-incidence de cancers thyroïdiens (suivi toujours en cours).

→ **Conclusion** : Peu d'effet de cet accident sur la santé (doses plus faibles, et mesures prises).

V. CONCLUSION

La radioprotection et les effets biologique des rayonnements **concernent toutes les professions de santé**. Les médecins (prescrivent des examens et des thérapeutiques), pharmaciens (peuvent travailler dans la radiopharmacie), dentistes (utilisent les rayons X), les Kinés (Utilisent la radiologie), les sages-femmes (s'occupent de populations particulièrement sensibles).

Cela concerne aussi tous les **citoyens**, les rayons ionisants sont dangereux c'est sûr, mais la radio-phobie est dangereuse également : si on ne fait pas les examens c'est pire. C'est un exemple de sujet où il est important de se forger son opinion personnelle, qui doit être basée sur des connaissances scientifiques et sur des appréciations du rapport bénéfices/risques. Il faut rester vigilant sur la désinformation (qui est extraordinaire dans la radioactivité).

