

LA RADIOPROTECTION

Nombre de crédits : **01**

Coefficient de la Matière : **01**

Master 1 Physique Médicale

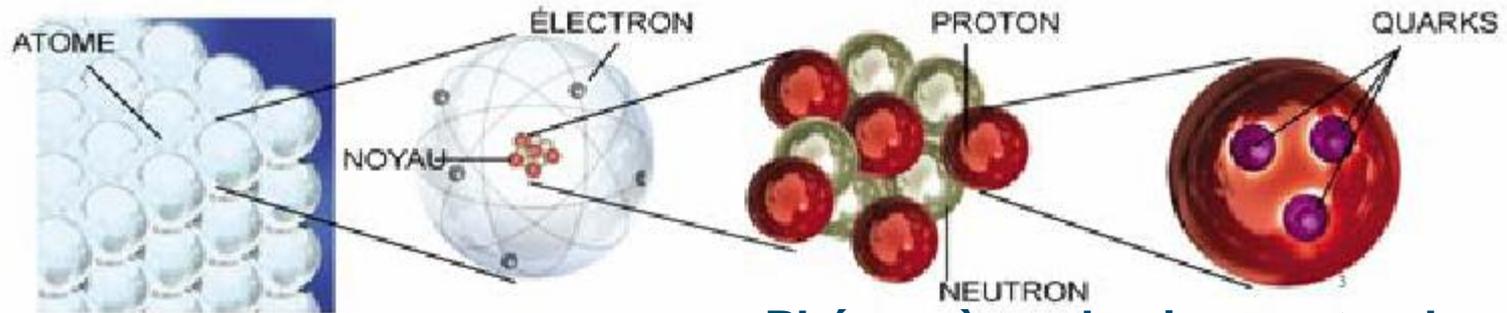
Dr Bounab Sabrina

2023/2024

Généralités

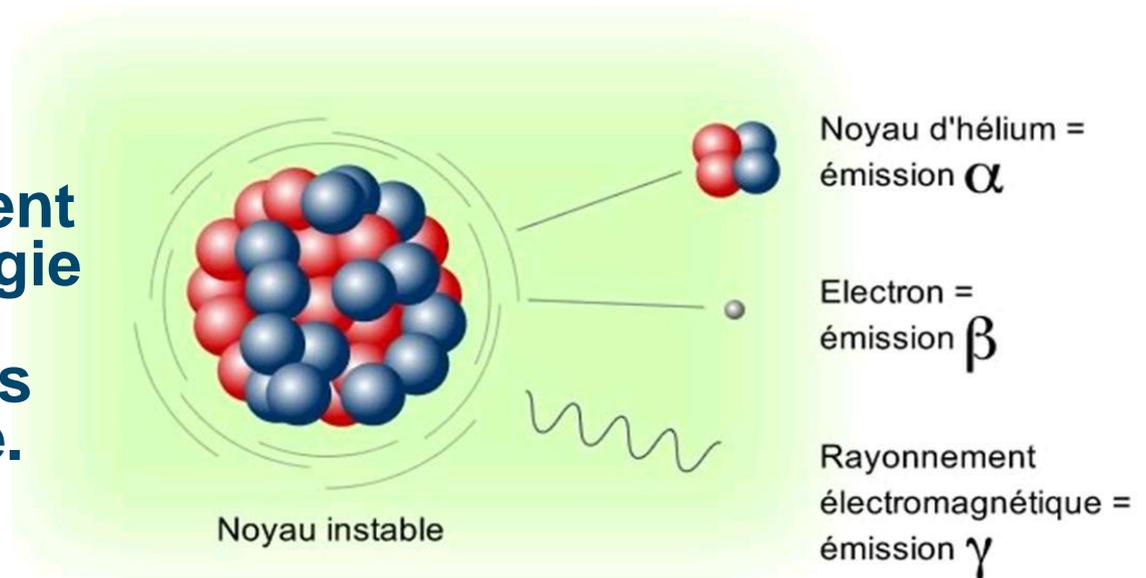
LES RAYONNEMENTS IONISANTS

Caractéristiques des particules élémentaires



Phénomène physique naturel spontané

des noyaux atomiques instables se transforment en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements ionisants vers un état plus stable.



- Les éléments radioactifs, d'origine naturelle ou artificielle, sont caractérisés par l'instabilité de leur noyau.
- Elle se manifeste par l'émission de particules (α , β , neutrons) ou de photons (X , γ) qui constituent les rayonnements ionisants, détectables uniquement par des appareils appropriés.
- Ces rayonnements ont la propriété d'ioniser la matière, contrairement aux autres rayonnements électromagnétiques tels que la lumière visible, les rayons infrarouges ou les micro ondes.

Type de rayonnements	Longueur d'onde
Rayonnements ionisants électromagnétiques : γ , X	$\lambda < 100 \text{ nm}$
Rayonnements ultraviolets	$100 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$
Lumière visible	$400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$
Infrarouge	$800 \text{ nm} < \lambda < 10^4 \text{ nm}$
Hyperfréquence	$0,1 \text{ mm} < \lambda < 10 \text{ m}$
Ondes radio	$10 \text{ m} < \lambda < 10^4 \text{ m}$

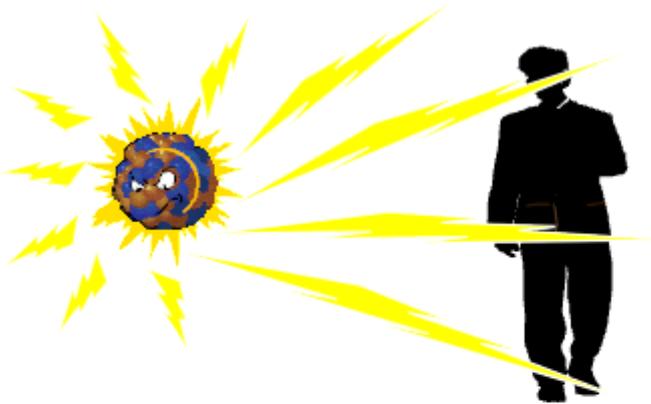
Tableau 1 Longueur d'onde des rayonnements ionisants et non ionisants ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

Chapitre 01 : Nature de l'exposition aux rayonnements

1.1 L'exposition

Tout individu soumis à l'action des rayonnements ionisants est dit **exposé**.

- Si les sources d'émission des rayonnements sont situées à l'extérieur de l'organisme l'exposition est **externe**, si elles sont situées à l'intérieur elle est **interne**.



exposition externe



exposition interne

- **L'exposition externe** provoquée par une source radioactive située à distance de l'individu. Cette source peut émettre des rayonnements qui interagissent avec le corps humain en créant des ionisations. L'exposition peut être globale ou partielle.

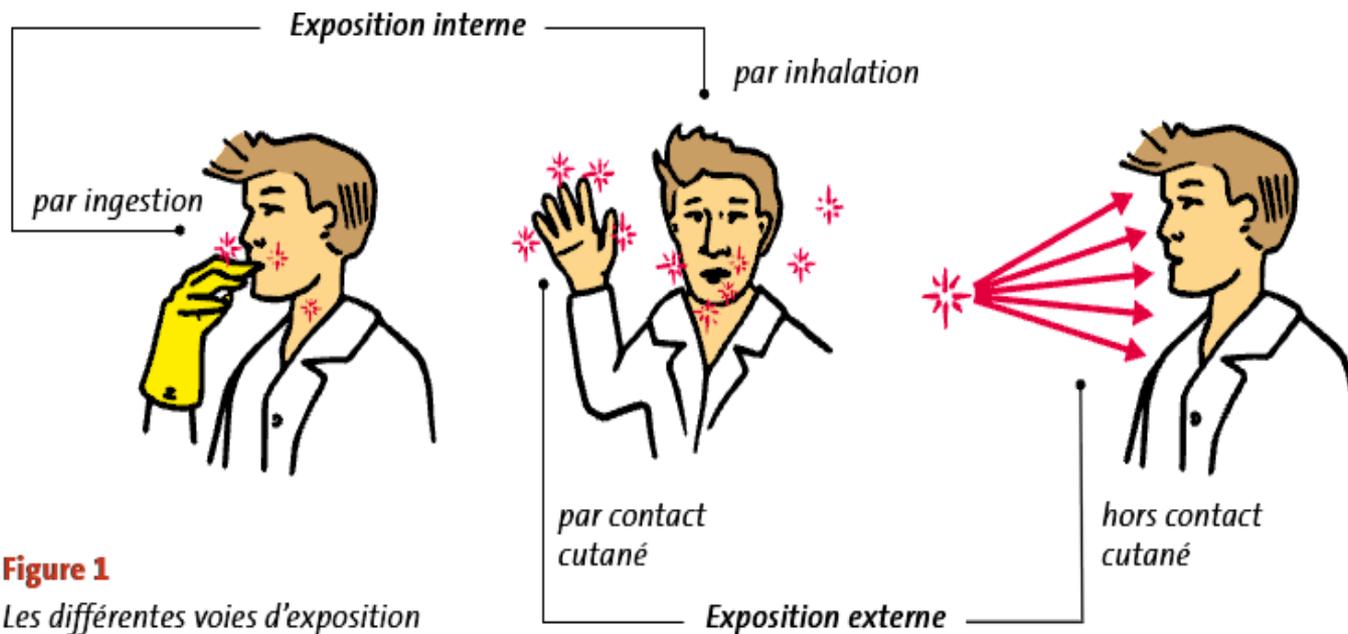


Figure 1
Les différentes voies d'exposition

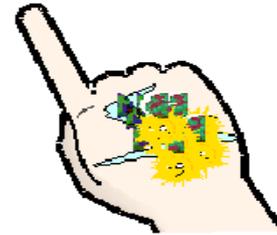
- L'**exposition interne** se produit lorsque les produits radioactifs ont pénétré dans l'organisme par inhalation, ingestion ou par voie cutanée (plaie par exemple). Ce phénomène d'incorporation conduit à l'exposition interne.



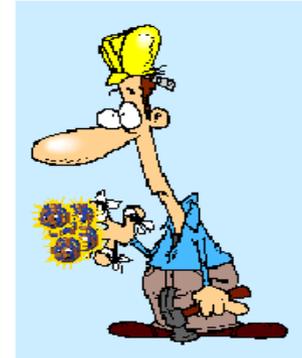
Inhalation



Ingestion



cutanée



Blessure

- L'exposition ne cesse qu'après disparition des substances par élimination naturelle et décroissance radioactive. Le temps nécessaire à la diminution de moitié de l'exposition est appelé **période effective**. Celle-ci peut, dans certains cas, être très longue à l'échelle de temps d'une vie humaine. Un traitement médical peut parfois favoriser l'élimination.

- Les dégâts biologiques provoqués par une exposition interne ou externe sont de même nature.
- Lors d'une exposition interne, les caractéristiques physico-chimiques du radionucléide déterminent le tissu biologique sur lequel il se fixe.
- De sa période biologique (différente de sa période radioactive) dépend son élimination après métabolisation.
- La période effective (T_{eff}) est le temps pendant lequel le radionucléide pourra agir sur l'organisme.
- Elle est liée à la période radioactive (T_{rad}) et à la période biologique (T_{biol}) par la relation suivante :

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{rad}} + \frac{1}{T_{biol}} \rightarrow T_{eff} = \frac{T_{biol} \cdot T_{rad}}{T_{rad} + T_{biol}}$$

Exemple

Période effective de I^{125} fixé sur la thyroïde

Sa période radiologique étant de 59,4 jours et sa période biologique de 138 jours, la période effective de I^{125} pour cet organe est donc égale à 42 jours.

1.2 La contamination radioactive

La contamination est la présence indésirable de substances radioactives sur :

- les surfaces des locaux (murs , sols, plafonds),
- les surfaces de travail,
- les vêtements de travail et de protection,
- le corps humain.

Elle est souvent le résultat :

- d'une manipulation sans précaution de sources non scellées,
- d'une mauvaise pratique,
- d'un incident sur la source, scellée ou non
- d'un facteur externe lié aux autres sources de risques associées (chauffage, pompage, dépression, bain-marie, centrifugeuse, réactions chimiques...).

On distingue plusieurs types de contamination :
surfacique, atmosphérique ou volumique, et corporelle.

a) La contamination surfacique : Elle peut présenter deux aspects :

- contamination dite « fixée » ou non labile, qui ne peut se disséminer mais peut engendrer une exposition externe. Elle est difficile à éliminer sans une action mécanique énergique.

- contamination « non fixée » ou labile, qui est facilement transférable par contact, par remise en suspension ou par production d'aérosols.

Elle peut conduire à une contamination externe corporelle, à une contamination atmosphérique, et donc finalement à une contamination interne par incorporation de radionucléides dans l'organisme.

b) La contamination atmosphérique (ou volumique)

- Elle conduit inéluctablement à une exposition interne de l'organisme par la voie de l'inhalation.
- Elle est souvent la conséquence d'une contamination labile. Sa concentration dans l'air doit être mesurée ou estimée en Bq/m³.

- Afin de pouvoir faire une estimation de l'activité incorporée, on prend comme valeur moyenne de débit respiratoire humain la valeur de $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ sur les lieux de travail.
- Pour certains gaz et vapeurs, il faut tenir compte de l'exposition externe due à l'immersion dans un nuage.

c) La contamination corporelle :

Il peut s'agir de :

- contamination externe, qui entraîne une exposition externe de la peau et éventuellement une incorporation de radionucléide(s) à l'intérieur de l'organisme via la voie cutanée (percutanée et transcutanée) ou orale.

- contamination interne qui est due a l'incorporation de substances radioactives dans le corps, engendrant une exposition interne des différents tissus et compartiments.
- Elle décroît selon le métabolisme de l'organisme vis-à-vis de la forme physico-chimique sous laquelle se présente le radionucléide (période biologique) et de sa période radioactive.

2 - GRANDEURS ET UNITES EN RADIOPROTECTION

2.1 - ACTIVITÉ (notation A)

C'est le nombre de désintégrations par seconde. La désintégration correspond à une transformation spontanée d'un atome (et en particulier son noyau) radioactif.

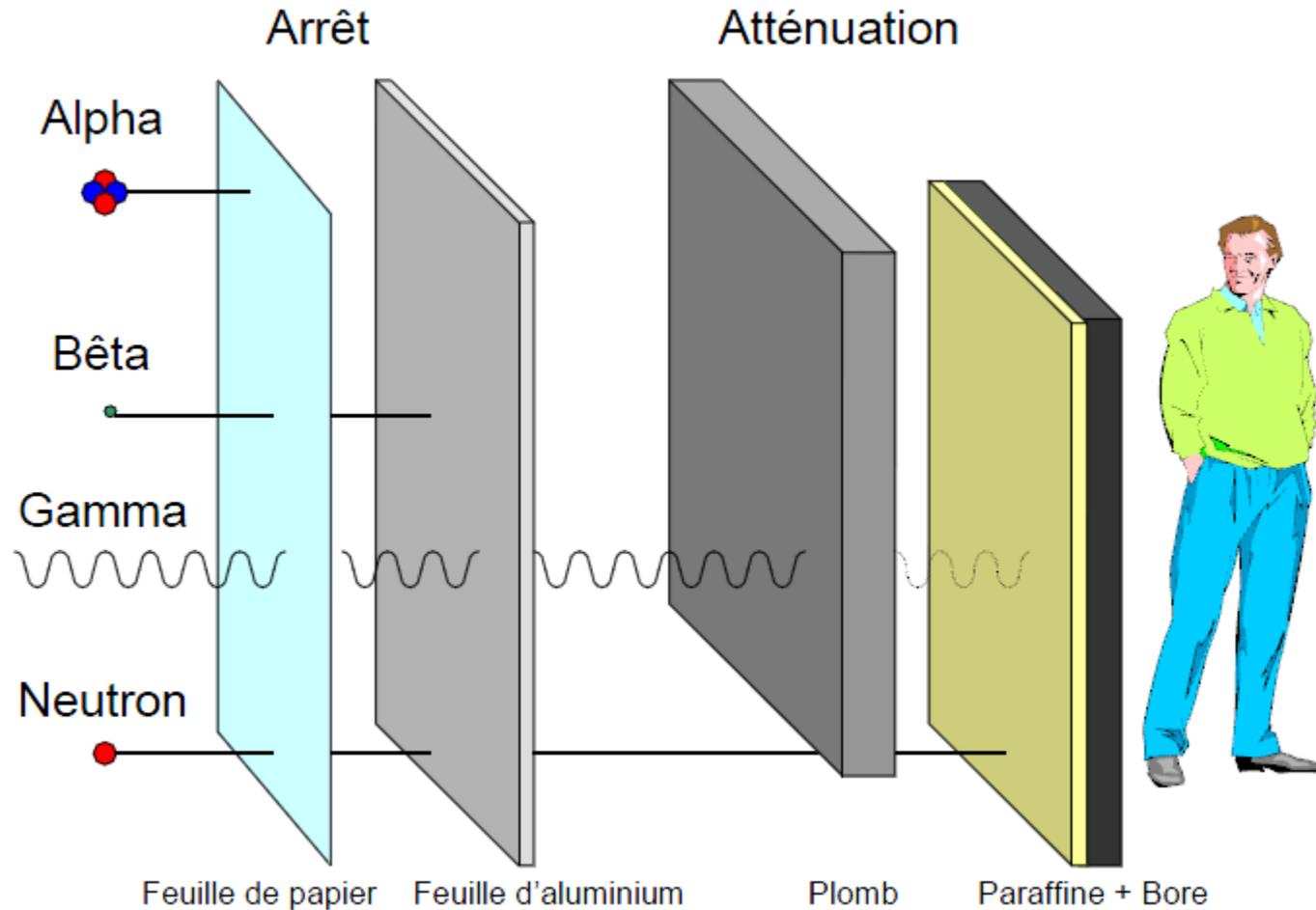
L'unité d'activité est le becquerel (symbole Bq) :

1 Becquerel = 1 désintégration par seconde

On utilise plus fréquemment les multiples du becquerel : kBq (1000 fois plus), MBq (1 000 000 de fois plus), GBq (1 000 000 000 de fois plus).

- A l'issue de la désintégration et, s'il y a lieu, de la désexcitation, des rayonnements énergétiques particuliers (alpha, bêta) et électromagnétiques (X et gamma) peuvent être émis. Le pouvoir de pénétration de ces rayonnements est donné par la figure suivante.

- A noter que les neutrons sont issus, soit de la fission d'atomes lourds (uranium, plutonium, californium), soit de l'interaction d'un rayonnement avec la matière.



- Les rayonnements particuliers (alpha et bêta) sont stoppés alors que les rayonnements électromagnétiques (X et gamma) ne sont qu'atténués.
- Les neutrons bien que particuliers, ont un comportement voisin des rayonnements électromagnétiques concernant leur trajet dans la matière. Au cours de leur parcours,
- tous ces rayonnements vont céder leur énergie en fonction de leurs interactions.

2.2 La dose absorbée

La dose absorbée est donc l'énergie cédée par les rayonnements à l'unité de masse exposée.

Dans un milieu exposé aux rayonnements ionisants, la dose absorbée (notée D) en un point déterminé est donnée par la relation :

$$D = \frac{dE}{dm}$$

D'après cette relation, dans le système international (S.I) de mesures, une dose absorbée se mesure en joule par kilogramme. L'unité légale est le **Gray** (symbole : Gy) et par définition :

$$1 \text{ Gray (Gy)} = 1 \text{ Joule par kilogramme (J.kg}^{-1}\text{)}$$

- On utilise plus fréquemment les sous-multiples du Gray : mGy (1000 fois moins), μ Gy (1 000 000 de fois moins)

2.3 Le débit de dose absorbée

Le débit de dose absorbée; noté $\overset{\circ}{D}$, est la dose absorbée par unité de temps

$$\overset{\circ}{D} = \frac{dD}{dt}$$

Dans le système international le débit de dose absorbée doit se mesurer en Gray par seconde (Gy./s). En pratique on utilise souvent des sous-multiples, comme les mGy./h, compte tenu des activités manipulées.

Si le débit de dose absorbée est constant dans l'intervalle de temps t , on peut écrire la relation :

$$D = \dot{D} \times t$$

Exemple :

Si le débit de dose absorbée, dû à l'ambiance, a un poste de travail est de 0.3 mGy.h^{-1} , et si le manipulateur y séjourne pendant 2 heures et 30 minutes, la dose absorbée par l'ensemble de son organisme est :

$$D = 0,3 \times 2,5 = 0,75 \text{ mGy}$$

1.5 La dose équivalente

Pour quantifier les effets des rayonnements ionisants dans les tissus vivants, il faut déterminer une grandeur qui tienne compte de la qualité du rayonnement : c'est la dose équivalente, anciennement appelée équivalent de dose.

- Elle est exprimée en sievert (Sv) et est reliée à la dose absorbée par la relation :

$$\text{Dose équivalente (E)} = \text{Dose absorbée (D)} \cdot W_R$$

ou W_R est le facteur de pondération radiologique que la commission internationale de protection radiologique (CIPR) a défini pour chaque type de particule ou de rayonnement.

- De plus, la CIPR a défini, pour les principaux tissus de l'organisme, un facteur de pondération tissulaire W_T , qui introduit la notion de dose efficace comme étant le produit de la dose équivalente, corrigée par le facteur de pondération tissulaire.

$$\text{Dose efficace (H)} = \text{Dose équivalente (E)} \cdot W_T$$

La dose efficace E

(que l'on retrouve mentionnée au niveau réglementaire)

C'est la somme des doses équivalentes pondérées délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps.

La dose efficace est définie par la formule :

$$E = \sum_T H_T \cdot w_T = \sum_R D_{T,R} \cdot w_R \cdot w_T$$

où :

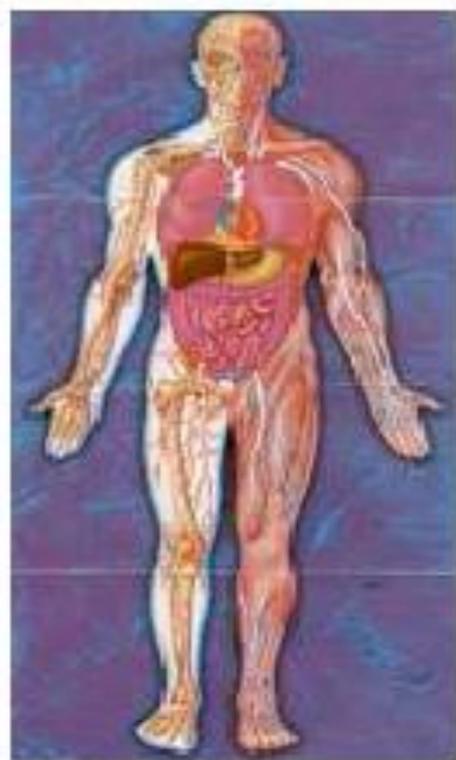
$D_{T,R}$ est la moyenne pour l'organe ou le tissu T, de la dose absorbée du rayonnement R.

w_R est le facteur de pondération pour le rayonnement R ;

w_T est le facteur de pondération pour le tissu ou l'organe T.

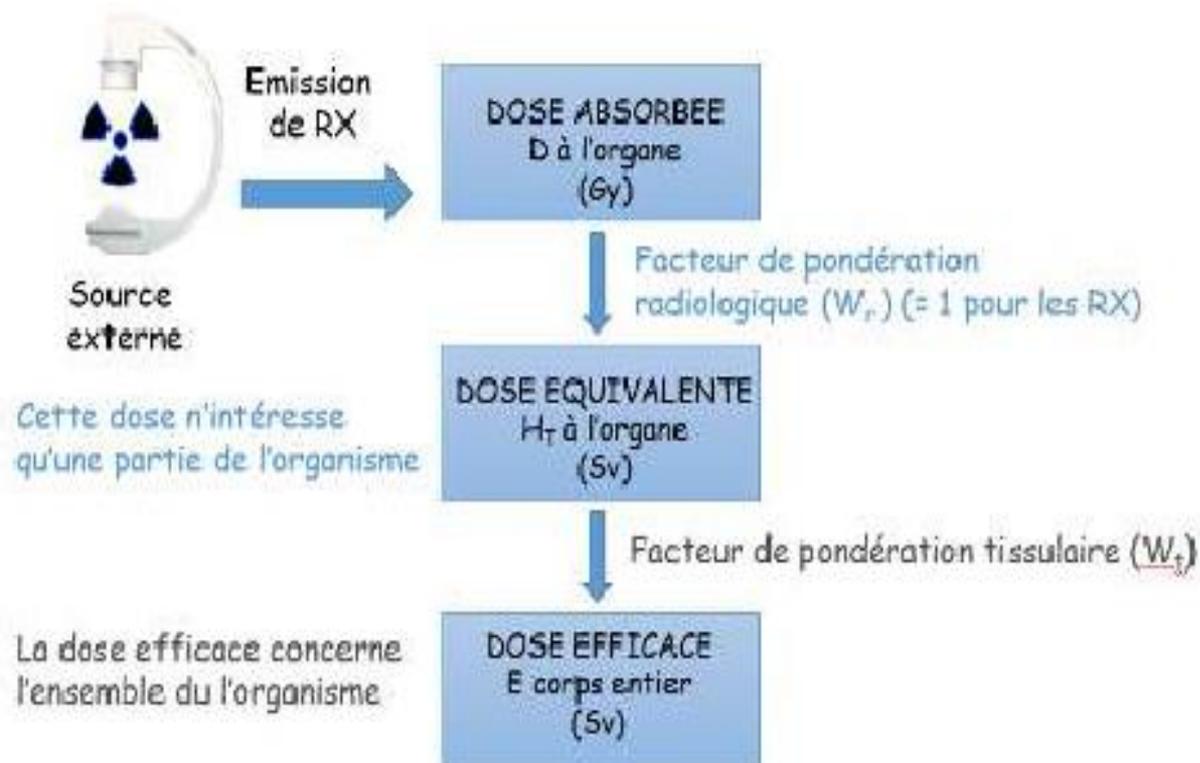
Facteurs de pondération tissulaires :

Nouveaux facteurs de pondération
tissulaires fixés par la CIPR 103 (2007)



Tissus ou organe:	W_T	W_T
Gonades	0.2	0,08
Moelle rouge	0.12	0,12
Colon	0.12	0,12
Poumon	0.12	0,12
Estomac	0.12	0,12
Vessie	0.05	0,04
Seins	0.05	0,12
Foie	0.05	0,04
Œsophage	0.05	0,04
Thyroïde	0.05	0,04
Peau	0.01	0,01
Sur face des os	0.01	0,01
Autres	0.05	0,12

De la dose absorbée à la dose biologique (résumé)



Nature du rayonnement	w_R
β , électrons, γ , X	1
p	10
neutrons	de 5 à 20
α	20

> Exemple

1 mGy de photons γ associé à 1 mGy de neutrons de 1 MeV induit une dose équivalente de :

$$1 \text{ mGy} \cdot 1 + 1 \text{ mGy} \cdot 20 = 21 \text{ mSv}$$

↓

w_R des γ

↓

w_R du neutron de 1 MeV

(20,69 selon mise à jour des valeurs w_R par la directive 2013/59)

Si cette dose équivalente est délivrée au poumon, la dose efficace correspondante pour l'organisme entier sera égale à :

$$21 \text{ mSv} \cdot 0,12 = 2,52 \text{ mSv}$$

↓

w_T poumon

Exemple (exercice) : examen radiographique du bassin :

- ⇒ Soit une dose absorbée de 20mGy à la vessie
- ⇒ Dose équivalente (H) ?
 - Facteur de pondération radiologique : Photons X → = 1
 - $D = 20 \text{ mGy} \rightarrow = 20 \times 1 = 20 \text{ mSv}$
- ⇒ Dose efficace (E) ?
 - Facteur de pondération tissulaire de la vessie → = 0,05
 - $E = 20 \times 0,05 = 1 \text{ mSv} \rightarrow$ dose représentative pour le corps entier

3-EFFETS DES RAYONNEMENTS SUR L'ORGANISME

Les effets des rayonnements sur la santé sont classés en deux catégories :

3.1 - LES EFFETS DÉTERMINISTES

Ils apparaissent au-delà d'un certain seuil, en général de manière précoce. Ils sont souvent provoqués par une exposition de courte période avec un fort débit de dose. La gravité augmente avec la dose reçue.

- Une exposition de 4,5 grays délivrée à l'organisme entier peut entraîner le décès dans 50 % des cas (dose létale 50%), 60 jours après l'exposition **sans traitement médical**.
- Sur le plan professionnel, les valeurs envisagées ci-dessus ne peuvent correspondre qu'à une situation "accidentelle".

3.2 - LES EFFETS STOCHASTIQUES (ou ALÉATOIRES)

- Les effets stochastiques, qui se produisent selon une certaine probabilité. On n'observe pas de seuil sous lequel on peut affirmer que ces effets n'auront pas lieu.
- Leur probabilité d'apparition est considérée comme sans seuil. Elle est considérée comme proportionnelle à la dose équivalente reçue.
- L'apparition des effets est en général tardive. Ils se traduisent par des effets somatiques sur les personnes exposées (cancers) ou par des effets héréditaires.

Les principales sources de données relatives, à ces effets sont fournies par :

- survivants d'Hiroshima et Nagasaki (90 000 personnes environ)
- patients ayant été traités par irradiation
- travailleurs exposés aux radiations
- expérimentations animales.

La probabilité de voir un de ces effets apparaître est estimée à 5,6 % pour 1 Sievert reçu pour les travailleurs et 7,3 % pour 1 Sievert reçu pour la population.

- L'exposition aux rayonnements doit donc être maintenue à un niveau qui : empêche l'apparition des effets déterministes. Cette valeur a été fixée à 500 mSv par an (sauf cas particuliers).
- limite l'apparition des effets aléatoires à un niveau socialement acceptable, aussi faible que raisonnablement possible. Cette valeur a été fixée à 20 mSv par an.