

Radioprotection

Introduction :

La nécessité de se protéger des radiations apparut très peu de temps après la découverte de la radioactivité. Après sa découverte des rayons uraniques, Henri Becquerel s'aperçut qu'un tube de matière radioactive, gardé dans la poche de sa veste, avait provoqué une brûlure comparable à un coup de soleil. Mais on n'imaginait pas leur nocivité.

La radioprotection est, par définition, la protection des individus contre les effets des rayonnements ionisants. C'est un enjeu de santé publique qui vise à la prévention des risques naturels, professionnels et médicaux tout comme les risques d'accidents nucléaires, et qui doit gérer les problèmes inhérents à chaque type de source de rayonnement (rayons X pour les radiographie, accélérateurs de particules pour la recherche, déchets radioactifs des centrales nucléaires...).

La protection contre les rayonnements a pour but de protéger au maximum les individus tout en leur permettant d'exercer des activités nécessaires mais qui entraîne une exposition aux rayonnements

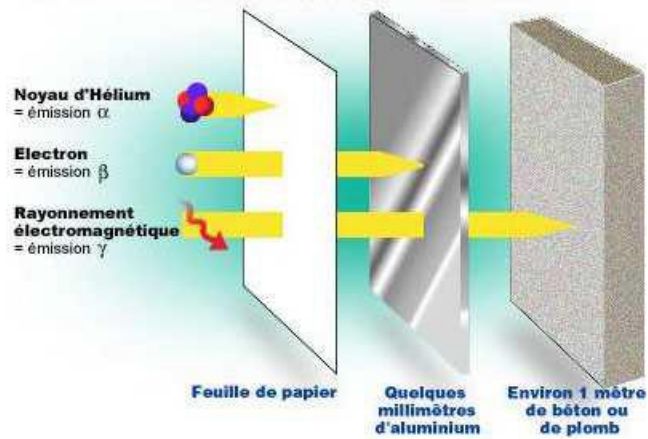
EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS :

Les effets biologiques des rayonnements ionisants dépendent des facteurs suivants :

- 1- la dose d'irradiation, qui représente l'énergie absorbée par unité de masse.
- 2- de la nature du rayonnement énergies égales .

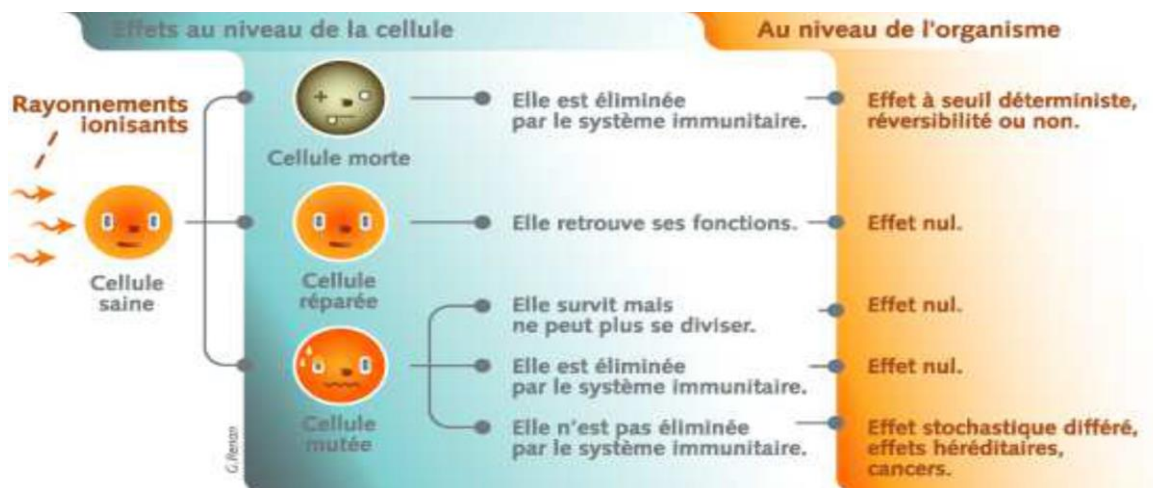
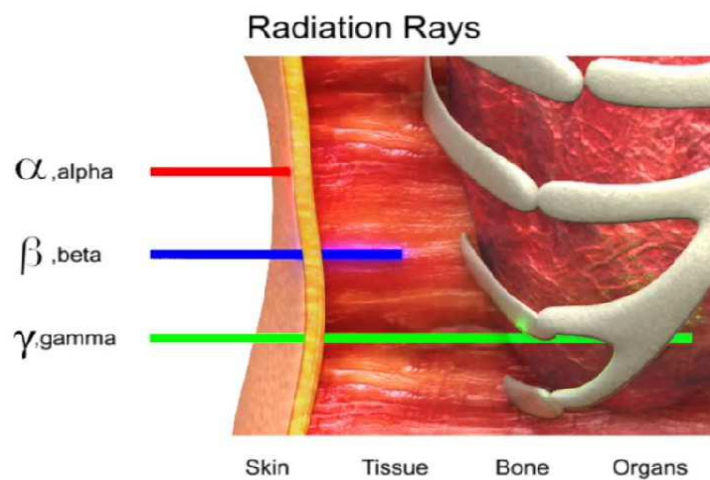
Le pouvoir de pénétration du rayonnement α est le plus faible tandis que celui des rayons γ est le plus important. Les protons provoquent deux fois plus de cancers que les rayons γ . les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir **des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies**. Ces effets se manifestent **de façon aléatoire** (que l'on ne peut pas prédire pour une personne donnée). Les rayonnements alpha, qui sont de grosses particules (noyaux d'hélium), sont rapidement freinés lorsqu'ils pénètrent à l'intérieur d'un matériau ou d'un tissu vivant et déposent leur énergie localement. Ils sont donc, à dose absorbée égale, plus perturbateurs que des rayonnements gamma ou X, lesquels pénètrent plus profondément la matière et étalent ainsi leur dépôt d'énergie.

Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements



3-

3- la nature des tissus exposés aux rayonnements.

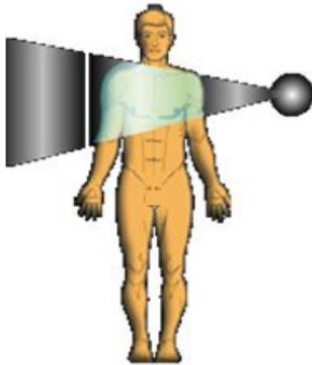


4- des modalités d'exposition :

On parle d'irradiation lorsque l'exposition est externe ;

On parle de contamination lorsque l'exposition est interne (ingestion d'aliments contaminés, par exemple).

Exposition externe



Distance
Temps
Ecran

Contamination externe



Surface de contact

contamination interne



Voie d'incorporation
Organe cible
Période effective

Active

LES DIFFERENTS TYPES DE DOSE :

Différents concepts de dose sont utilisés pour comprendre l'impact de multiples rayonnements sur de multiples types de tissus ou d'organes.

Tout d'abord, on calcule la **dose absorbée** (en Gray, Gy). Ensuite, pour prendre en compte l'influence de deux paramètres – le type de tissu ou d'organe touché et le type de rayonnement – on calcule deux doses :

La première, appelée **dose équivalente** (en Sievert, Sv), prend en compte le type de rayonnement. Elle est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur dépendant du type de rayonnement (X, gamma...) ;

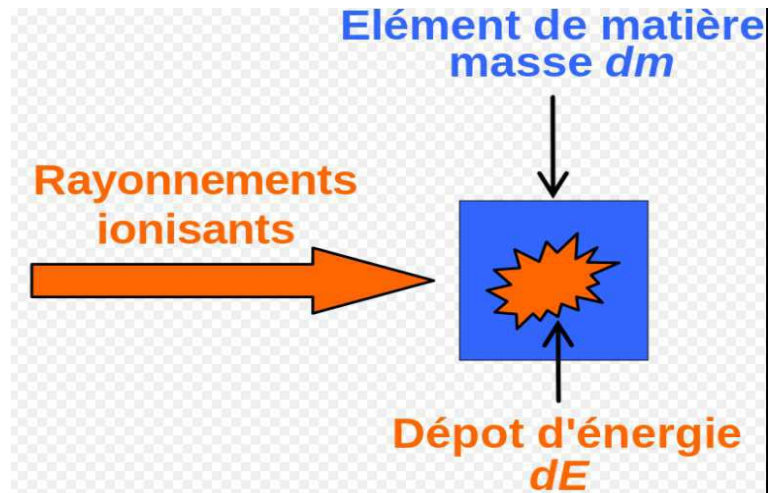
La seconde, appelée **dose efficace**, prend en compte le type de tissu ou d'organe touché.

Ainsi on peut déterminer l'impact d'un type de rayonnement sur un type de tissu ou d'organe touché. Seule la dose absorbée est mesurée, les autres – dose équivalente et dose efficace – sont calculées.

Exprimée en Gray (Joules/kg), la « dose absorbée » représente l'énergie cédée par le rayonnement à l'organisme ou à un objet qu'il rencontre.

LA DOSE ABSORBÉE :

En radioprotection, la **dose absorbée**, ou, plus concisément, la **dose**, est l'énergie déposée par unité de masse par un rayonnement ionisant.



Soit un faisceau de rayonnements ionisants irradiant un élément d'un matériau de masse dm .

Soit dE l'énergie déposée dans cet élément par le faisceau, la dose absorbée D est alors :

$$D = \frac{dE}{dm} \left(\frac{J}{kg} : Gy \right) [Gy = Gray]$$

La dose absorbée mesure donc la densité massique d'énergie déposée par irradiation.

UNITE .

L'unité de dose du Système international est le gray (Gy) ; c'est une unité dérivée valant un joule par kilogramme :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg.}$$

Le gray a officiellement supplanté d'anciennes unités qui restent cependant d'usage courant, Notamment aux Etats-Unis :

$$\text{le rad (rd) valant } 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ cGy}$$

Le débit de dose.

C'est la dose reçue par unité de temps décrit la rapidité de l'exposition;

Il a une importance fondamentale en radiobiologie et en radioprotection

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} (Gy/s)$$

Dose équivalente .

Dose équivalente (notée H) est une grandeur physique mesurant l'impact sur les tissus

biologiques d'une exposition à un rayonnement ionisant, par exemple à une source de radioactivité.

Elle se définit comme la dose absorbée, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur de pondération du rayonnement sans dimension, qui prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré.

$$H = W_R \cdot D$$

Si plusieurs rayonnements $R_1, R_2, R_3, \dots$

$$H = W_{R1}D_1 + W_{R2}D_2 + W_{R3}D_3 = \sum W_R D$$

D : dose absorbée du rayonnement.

W_R : facteur de pondération du rayonnement.

L'unité de dose équivalente est le sievert :

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

W_R : facteur de pondération lié à la nature du rayonnement.

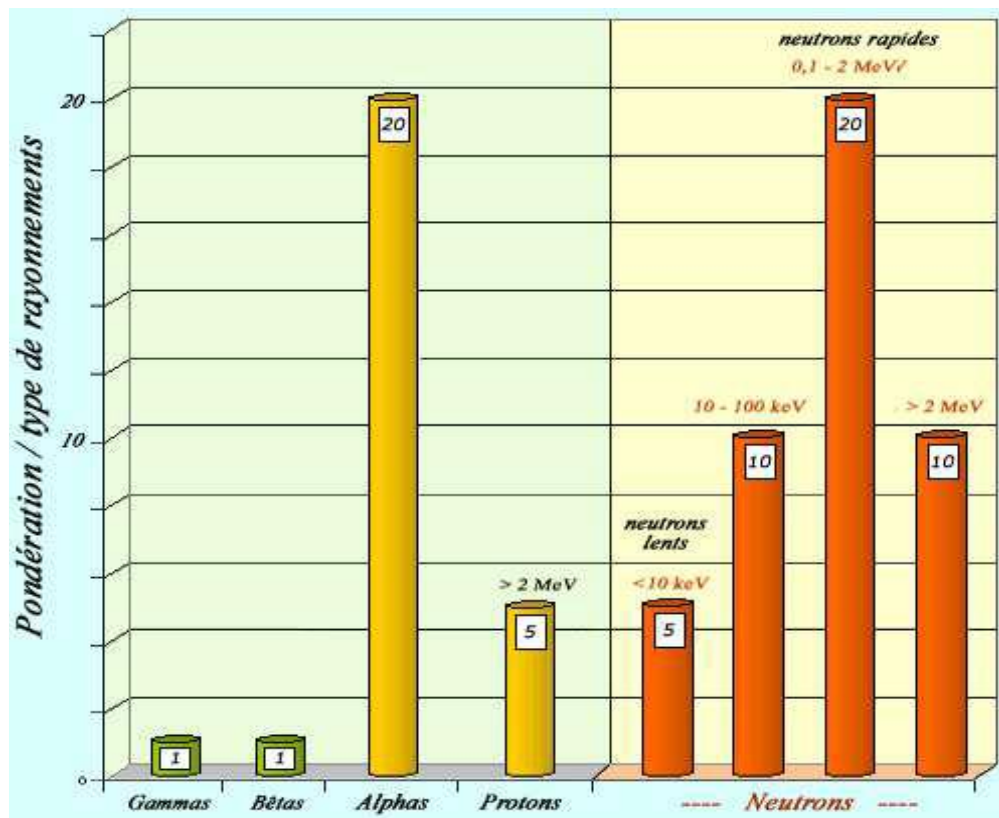
Il exprime l'efficacité d'une variété donnée de rayonnement à produire une complication tardive chez l'homme.

Les rayonnements de référence sont les rayons X et γ .

Si par exemple, les rayons α sont 20 fois plus efficace pour produire des effets biologiques que les rayons X et les rayons γ , le facteur de pondération sera égal à 20.

« il vaut mieux recevoir sur la tête 1kg de plumes que 1kg de plomb »

Autrement dit le coefficient de pondération W_R est utilisé pour évaluer le potentiel de dommage biologique relatif d'un type particulier de rayonnement par rapport à d'autres types. En d'autres termes, il indique la capacité d'un type de rayonnement à causer des dommages aux tissus biologiques lorsqu'il est absorbé par le corps humain.



Valeurs des coefficients de pondération W_R pour différents rayonnements.

Type et domaine d'énergie		W_R
Photons, toutes énergies		1
Électrons, toutes énergies		1
Neutrons, énergie $< 10 \text{ keV}$		5
10 keV à 100 keV		10
$> 100 \text{ keV}$ à 2 MeV		20
2 MeV à 20 MeV		10
$> 20 \text{ MeV}$		5
Protons, énergie $> 2 \text{ MeV}$		5
Alpha, toutes énergies		20

La dose efficace.

La dose équivalente permet de calculer des effets biologiques quand un organisme est exposé dans son ensemble à une dose relativement homogène, mais quand une exposition n'est que partielle, sa gravité doit encore être pondérée par la nature du tissu biologique qui a été exposé : quand une exposition est locale, son effet n'a pas la même gravité suivant le type de tissu.

La dose efficace, (notée E), est le produit de la dose équivalente H et d'un facteur sans dimension W_T (facteur de pondération traduisant la plus ou moins grande sensibilité du tissu aux rayonnements).

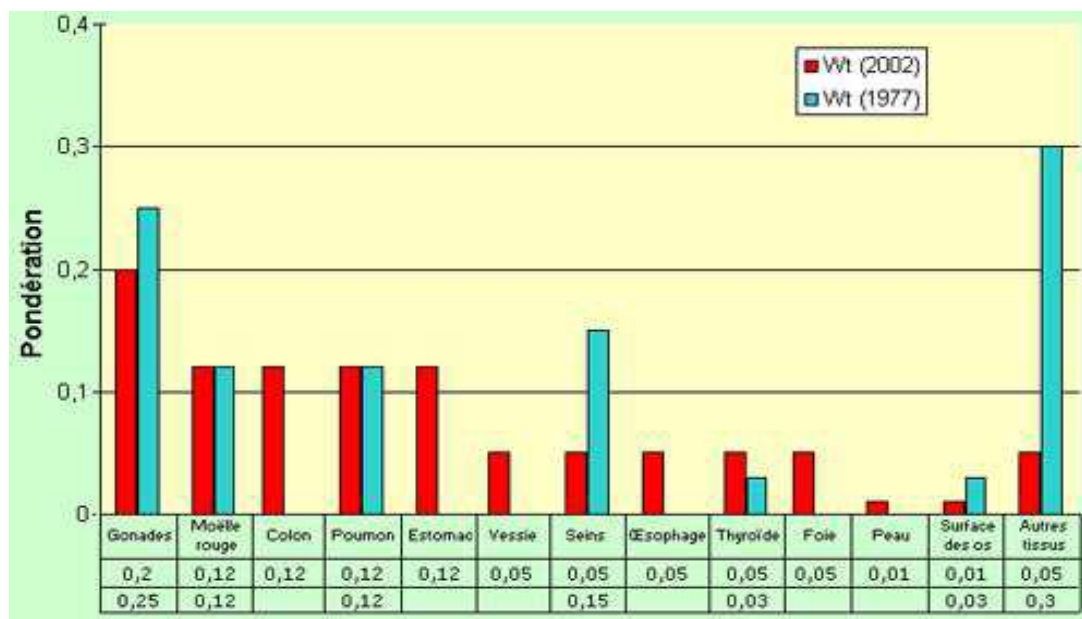
$$E = \sum W_T \cdot H = \sum W_T \cdot W_R \cdot D$$

- ❑ H: dose équivalente du tissu.
- ❑ W_T : facteur de pondération du tissu de radiosensibilité de l'organe.
- ❑ D : dose absorbée du rayonnement.
- ❑ W_R : facteur de pondération du rayonnement.

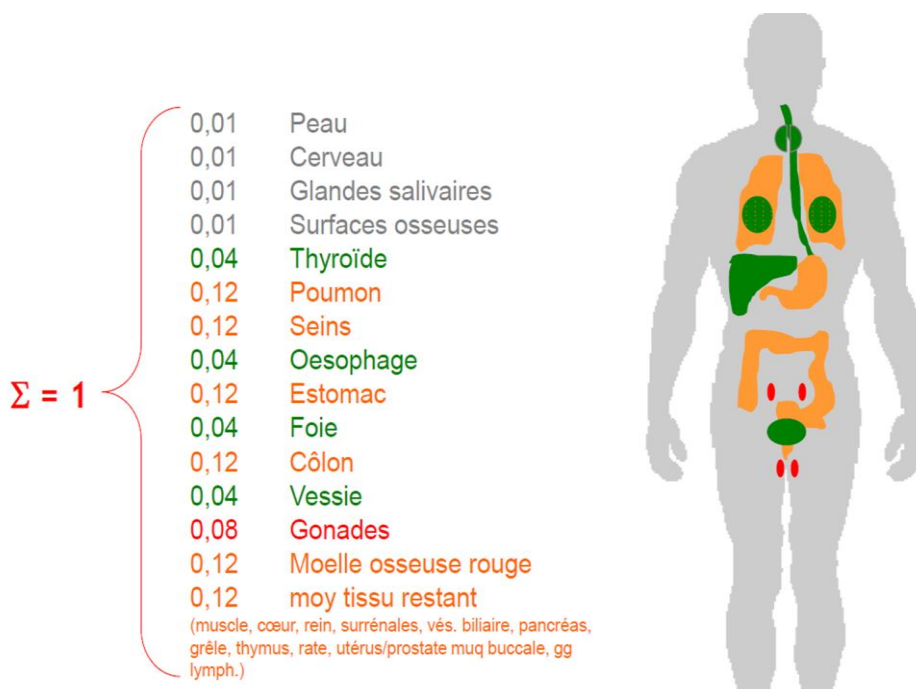
L'unité de dose efficace est le sievert : 1 Sv = 1Gy =1 J/Kg.

Autrement dit le coefficient de pondération W_T est utilisé pour prendre en compte le type et l'énergie des rayonnements ionisants et leur capacité à causer des dommages biologiques.

Il permet d'ajuster les doses équivalentes en fonction du type de rayonnement, car différents types de rayonnements ont des effets biologiques différents sur les tissus humains.



Valeurs des coefficients de pondération W_T pour différents tissus.



Le champ d'application principal de la dose efficace est d'estimer les risques pour la santé d'une exposition à des rayonnements ionisants sur l'ensemble du corps ou sur des organes spécifiques.

La dose efficace est souvent utilisée dans divers domaines, notamment :

1. **Radiodiagnostic médical.** Pour évaluer et minimiser les risques pour la santé des patients lors de procédures radiologiques telles que les radiographies, les scanners CT, et les examens de médecine nucléaire.
2. **Radiologie interventionnelle.** Pour contrôler et limiter l'exposition des patients et du personnel médical aux rayonnements lors d'interventions médicales guidées par imagerie.
3. **Industrie nucléaire.** Pour surveiller et réduire l'exposition des travailleurs aux rayonnements dans les installations nucléaires et les sites de stockage des déchets radioactifs.
4. **Radioprotection environnementale.** Pour évaluer les risques pour la santé des populations exposées aux rayonnements ionisants d'origine naturelle ou artificielle, tels que ceux provenant des installations nucléaires ou des déversements accidentels

CIPR 60 est une abréviation pour "Commission Internationale de Protection Radiologique, Publication 60". Cette publication est un document de référence majeur dans le domaine de la radioprotection. Elle énonce les recommandations de la CIPR concernant les principes et les pratiques de protection contre les rayonnements ionisants.

En plus des limites de dose recommandées pour les travailleurs exposés aux rayonnements et pour le public, la CIPR 60 aborde également des sujets tels que la gestion des déchets radioactifs, la

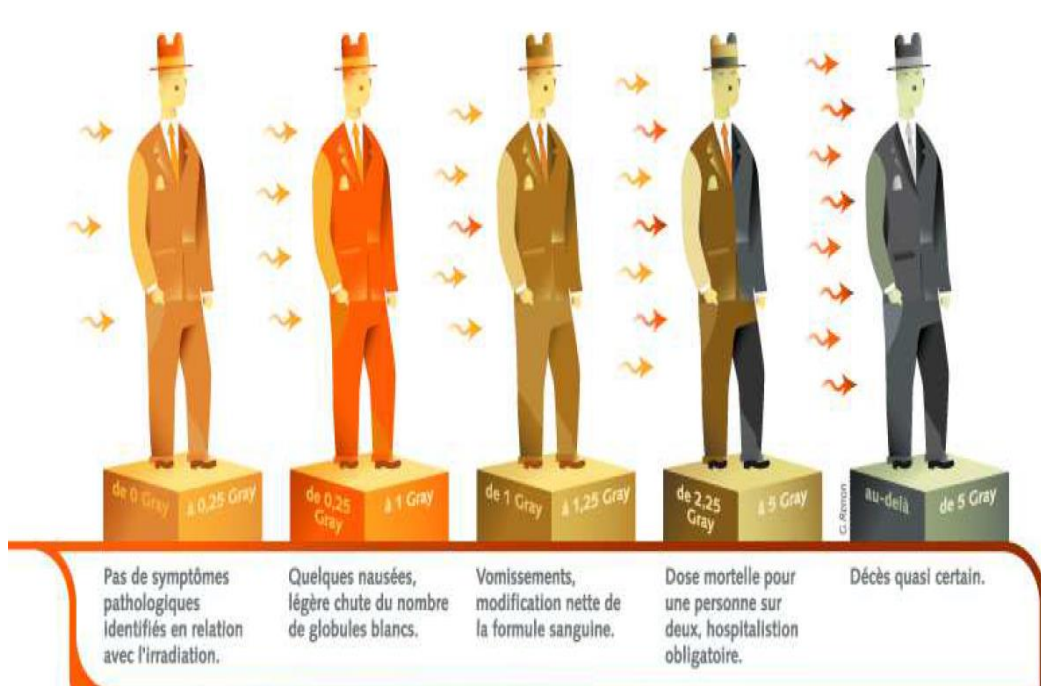
radioprotection en médecine, les principes de radioprotection et la justification des pratiques impliquant l'exposition aux rayonnements.

Le 22 juin 1990, un communiqué de presse de la CIPR annonce un prochain changement de ses recommandations générales. La publication 60 de la CIPR, publiées en 1991, recommande de limiter les doses individuelles du public à 1 milli-sievert par an et celles des travailleurs à 100 milli-sievert sur cinq ans, sans dépasser 50 milli-sievert par an.

Pour la femme enceinte on se limite à une dose inférieure à 1mSv dose équivalente au fœtus, de la déclaration de la grossesse à l'accouchement

Grandeur de protection (Domaine d'application)	Système de limitation de dose Dose maximale admissible(DMA)	
	Activité Professionnelle	Public
Dose Efficace (Corps entier)	100 mSv sur une période de 5ans	1 mSv par an
Dose Equivalente annuelle		
- au cristallin	150 mSv	15 mSv
- à la peau	500 mSv	50 mSv
- aux mains et aux pieds	500 mSv	

mSv/an	Catégorie A	Catégorie B	Apprentis
Corps entier	20 sur 5 an	15	6
Cristallin	150	50	50
Extrémités	500	150	150



Effet déterministe.

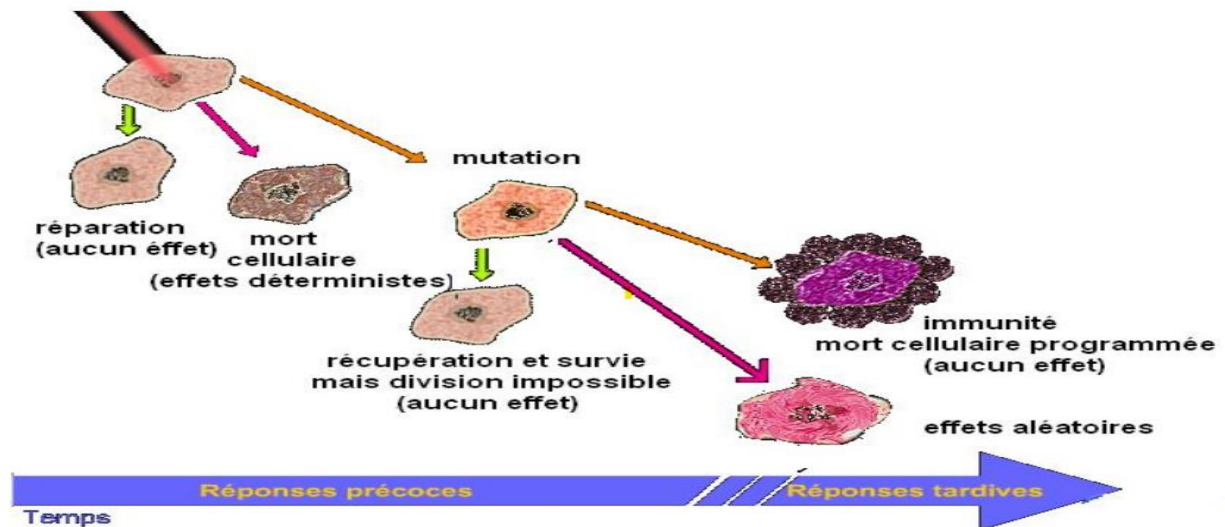
Un effet déterministe est un effet des rayonnements ionisants néfaste à la santé. Il résulte de dommages irréparables sur l'ADN causée par une dose importante d'irradiation, cela entraîne la mort de nombreuses cellules. Il apparaît de façon certaine quand le seuil limite de rayonnements sur un tissu est dépassé, et en générale peu de temps après l'irradiation et la gravité augmente en fonction de la dose reçue.



Effet Stochastique.

Ce sont des effets aléatoires dont l'apparition est étalée dans le temps (long terme). Ils sont provoqués par une mutation de l'ADN, c'est-à-dire la mutation des cellules touchées.

La gravité de ces effets n'est pas fonction de la dose reçue lors de l'exposition, seul la probabilité d'apparition en dépend.



Comparatif des effets déterministes et stochastiques :

Effets déterministes	Effets stochastiques
cause: destruction massive des cellules	cause: lésions non réparées de l'ADN
obligatoires (ils apparaissent toujours)	aléatoires
pathologies diverses	cancers et effets génétiques
dose seuil d'apparition: 0,2 - 0,3 Gy	pas de dose seuil d'apparition
manifestation précoce	manifestation tardive
gravité dépendante de la dose	gravité indépendante de la dose
clairement décrits	non spécifiques

Moyens de protection classiques

Face à une source de radioactivité, quelques règles élémentaires doivent être respectées pour limiter l'exposition :

- ❖ Éloigner tant que possible les personnes de la source des rayonnements : l'intensité des rayonnements ionisants diminue avec le carré de la distance
- ❖ Diminuer au maximum la durée d'exposition aux rayonnements
- ❖ Placer entre la source et les personnes exposées un ou plusieurs écrans/blindages de protection

Les personnes professionnellement exposées portent des tenues adaptées au risque encouru : combinaisons, gants, sur chaussures, masque, ... Ces tenues sont utiles pour la protection contre la contamination. Elles portent également un dosimètre qui mesure la quantité de rayonnements

ionisants auquel elles sont exposées. Ce dispositif permet de vérifier que la dose reçue ne dépasse pas les normes en vigueur. Elles font en outre l'objet d'un suivi sanitaire spécifique.

On distingue deux catégories d'exposition professionnelle:

Catégorie A: comme les manipulateurs de médecine nucléaire ou les chercheurs travaillant sur des accélérateurs.

Catégorie B: comme les secrétaires médicales, les agents de sécurité.

Dose efficace en mSv/an	Catégorie A	Catégorie B	Public
Corps entier	20	6	1
Extrémités (mains, pieds)	500	150	50
Peau	500	150	50
Cristallin	150	50	15

Quelques règles simples sont à respecter lorsque l'on a affaire à des substances radioactives :

1- Se tenir le plus éloigné possible de la source radioactive, l'exposition variant pour les rayons gamma en raison inverse du carré de la distance .

Les substances radioactives doivent être manipulées à distance. Les usines traitant les combustibles et les déchets nucléaires utilisent des robots.

2- Si la source est intense, Il est nécessaire de placer la source derrière un blindage approprié, par exemple un écran de plomb qui va absorber ou atténuer le rayonnement. Les radiologues s'abritent derrière leur écran de verre au plomb.

3- ne jamais toucher directement de la main une surface contaminée ou une substance radioactive, mais utiliser des gants.

4- ne pas manger, ni fumer à proximité d'une source radioactive, et se laver les mains après avoir manipulé des matériaux radioactifs alpha et bêta.

5- limiter la durée d'exposition aux rayonnements

6- se protéger du contact et de l'inhalation de poussières radioactives par des combinaisons étanches.

Les gants, combinaisons et matériels contaminés par un contact avec des substances radioactives sont mis de côté et stockés comme des déchets de Faible radioactivité.

7- Afin de mieux se protéger, il est enfin nécessaire de détecter et de mesurer les doses d'irradiation. Un rayonnement alpha et bêta est souvent suivi par des rayons gamma de désexcitation du noyau. Le rayonnement émis est donc complexe avec de multiples composantes. Une bonne protection demande une bonne détection.

Il est facile de se protéger des particules chargées si l'épaisseur de blindage est supérieure à leur parcours maximal. Il est impossible en principe d'arrêter parfaitement des particules neutres. Pratiquement, un blindage adéquat permet de rendre négligeable le rayonnement non arrêté.

Débit d'équivalent de dose	Couleur	Conditions d'accès
100 mSv.h ⁻¹	ROUGE 	Zone à risque très importants, accès interdit sauf accord écrit du Chef d'établissement pour un agent DATR ; enregistrement nominatif et port d'un dosimètre adapté.
2 mSv.h ⁻¹	ORANGE 	Zone à risques importants, l'accès des agents DATR à ces zones et la durée du séjour sont soumis à l'accord formel du Service de Radioprotection.
25 µSv.h ⁻¹	JAUNE 	Durée limitée pour les cat. De travailleurs A et B.
7,5 µSv.h ⁻¹	VERTE 	Durée limitée pour les cat. B, permanente pour A, zone de travail normal.
2,5 µSv.h ⁻¹	BLEUE 	Accès permanent pour tous les travailleurs de l'établissement.

CONCLUSION

La radioprotection est essentielle pour garantir la sécurité des travailleurs et du public exposé aux radiations ionisantes. Grâce à une compréhension approfondie des principes de radioprotection, à des pratiques de travail sûres et à une surveillance régulière, nous pouvons minimiser les risques

associés à l'exposition aux radiations. Toutefois, il est crucial de rester vigilant et de continuer à améliorer nos pratiques pour maintenir un environnement de travail sûr et protéger la santé de tous.