

EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS :

Les effets biologiques des rayonnements ionisants dépendent des facteurs suivants :

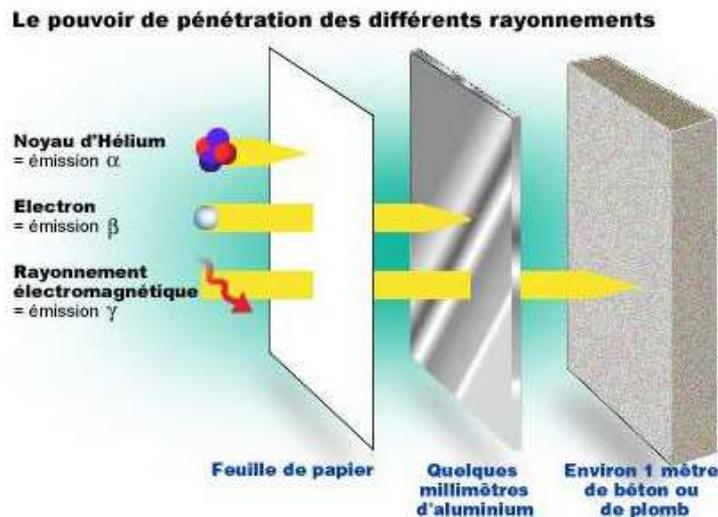
- 1- la dose d'irradiation, qui représente l'énergie absorbée par unité de masse.
- 2- de la nature du rayonnement :

à énergies égales :

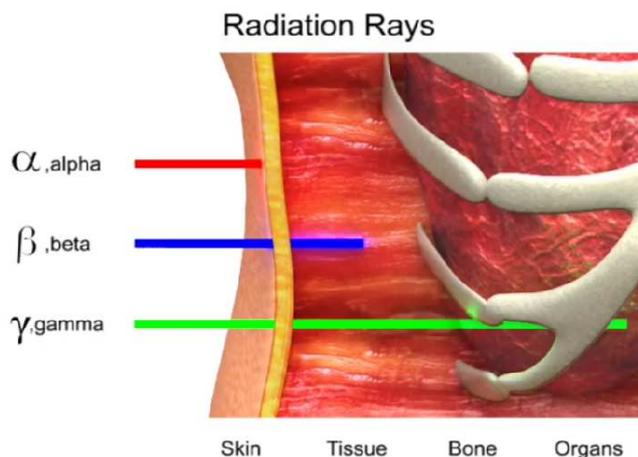
le pouvoir de pénétration du rayonnement α est le plus faible tandis que celui des rayons γ est le plus important.

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.



- 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).

○

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 :

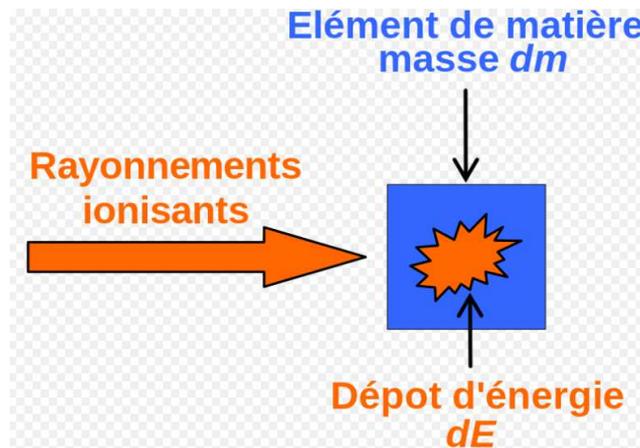
- la première, appelée **dose équivalente** (en Sievert, Sv), prend en compte le type de rayonnement. Elle est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur dépendant du type de rayonnement (X, gamma...);
- la seconde, appelée **dose efficace**, prend en compte le type de tissu ou d'organe 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 ABSORBEE :

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 :

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

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 États-Unis :

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

DOSE EQUIVALENTE :

la **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.

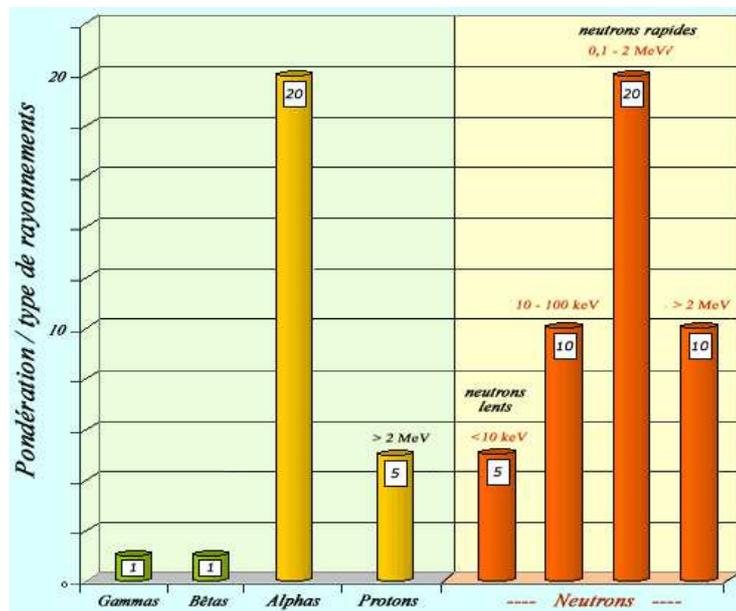
$$H = \sum_R \omega_R D_R$$

D_R : dose absorbée du rayonnement.

ω_R : facteur de pondération du rayonnement.

L'unité de dose équivalente est le sievert :

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



Valeurs des coefficients de pondération ω_R

pour différents rayonnements.

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 (essentiellement, un potentiel carcinogène ou mutagène) n'a pas la même gravité suivant le type de tissu.

La dose efficace, 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).

$$E = \sum_T \omega_T H_T$$

H_T : dose équivalente du tissu.

ω_T : facteur de pondération du tissu.

L'unité de dose efficace est le sievert :

1 Sv = 1Gy = 1 J/Kg.



Valeurs des coefficients de pondération ω_T

pour différents tissus.

Dose absorbée



La dose absorbée est la quantité d'énergie cédée par le rayonnement.

Dose équivalente



La dose équivalente permet de connaître l'impact d'un rayonnement donné.

Dose efficace



La dose efficace prend en compte la « fragilité » d'un tissu ou d'un organe et le type de rayonnement.

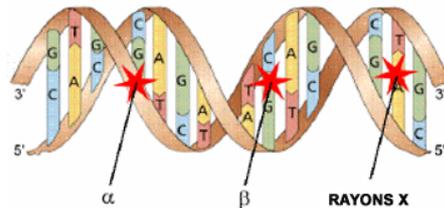
EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR L'ADN :

Les rayonnements ionisants ont un effet sur les êtres vivants à un niveau atomique en ionisant les molécules à l'intérieur des cellules microscopiques qui constituent notre corps. Lorsqu'ils entrent en contact avec une cellule, quatre cas de figure peuvent se présenter :

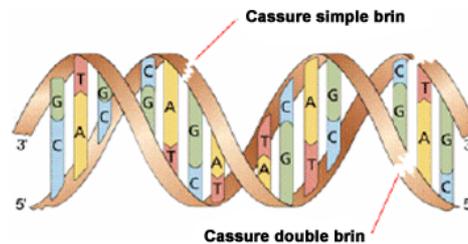
1. Ils traversent directement la cellule sans causer aucun dommage.
2. Ils endommagent la cellule, mais celle-ci se répare spontanément.
3. Ils altèrent la capacité de la cellule à se reproduire correctement par elle-même et provoquent parfois une mutation.
4. Ils détruisent la cellule. La mort d'une cellule n'est pas préoccupante, mais si un trop grand nombre de cellules d'un organe comme le foie sont détruites d'un seul coup, l'organisme en mourra.

Action directe du rayonnement ionisant sur l'ADN :

L'ADN de nos cellules est continuellement exposé à des agents génotoxiques, par exemple, le rayonnement ultraviolet, des composés chimiques mutagènes d'origine naturelle ou industrielle et des espèces réactives de l'oxygène produites par le métabolisme respiratoire oxydant et les rayonnements ionisants. Lorsque les cellules sont exposées à des rayonnements ionisants, des dommages radio-induits surviennent par action directe ou indirecte. On parle d'action directe lorsque des particules alpha ou bêta ou des rayons γ créent des ions qui séparent physiquement l'un des deux ou les deux squelettes sucre-phosphate ou brisent les paires de base de l'ADN.



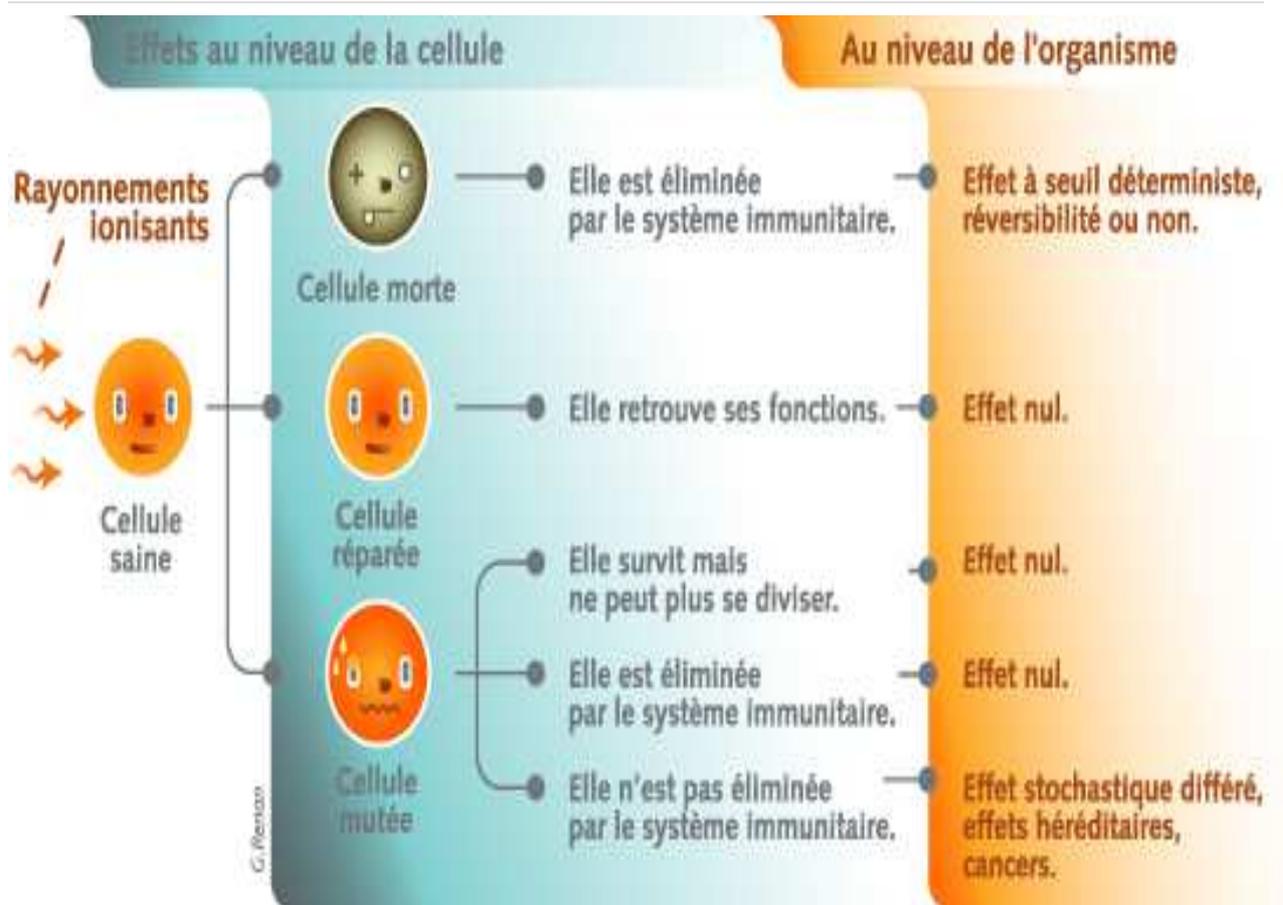
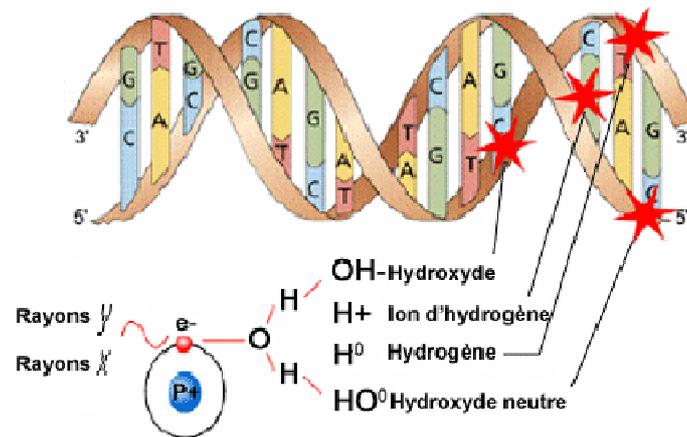
Action directe.



Cassures simple brin et double brin.

Action indirecte du rayonnement ionisant sur l'ADN :

Les rayonnements ionisants peuvent aussi causer indirectement des dommages ou des lésions aux cellules en créant des radicaux libres. Les radicaux libres sont des molécules extrêmement réactives en raison de la présence d'électrons libres (ions), créés par la séparation des molécules d'eau. Ils peuvent former des composés comme le peroxyde d'hydrogène ou le superoxyde, qui peuvent induire des réactions chimiques nocives au sein des cellules. Par suite de ces changements chimiques, les cellules peuvent subir divers changements structurels qui entraînent leur mort ou transforment leur fonction.



Arbre des évolutions possibles de la cellule

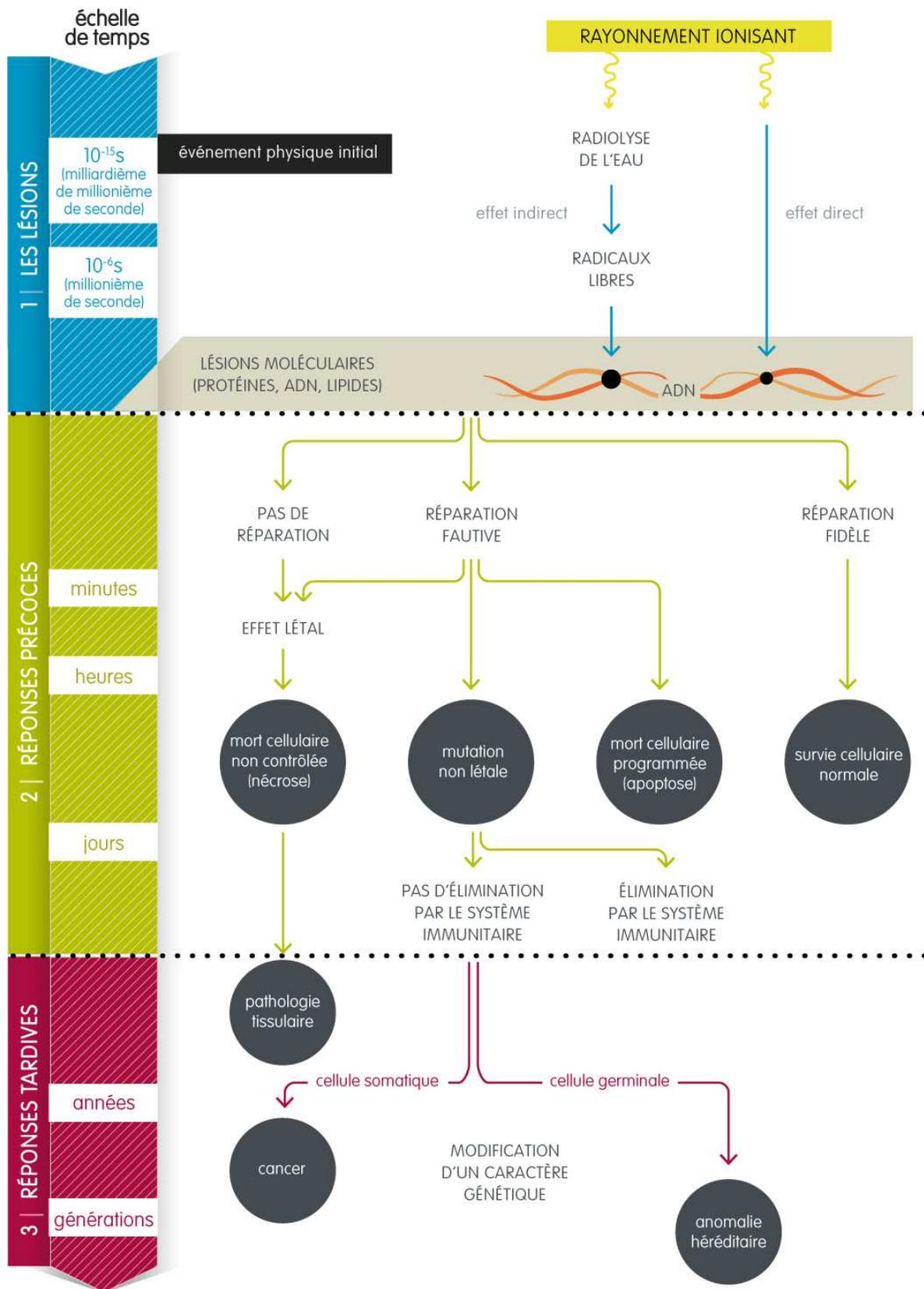




Tableau des effets sur l'organisme en fonction des doses pour une irradiation globale (corps entier).

Effet déterministe :

Un **effet déterministe** est un effet des rayonnements ionisants néfaste à la santé. Il résulte de dommages irréparables sur l'ADN causés par une dose importante d'irradiation ; cela entraîne la mort de nombreuses cellules.

Contrairement à un **effet stochastique**, un effet déterministe apparaît de façon certaine quand le **seuil limite de rayonnements** sur un tissu donné est dépassé, et en général peu de temps après l'irradiation. Au-delà du seuil, l'importance et la gravité des symptômes augmentent en fonction de la dose reçue. Les symptômes peuvent être généralisés ou localisés.

Les symptômes sont normalement précoces, mais peuvent chez certaines personnes se révéler après un délai plus important. De plus, l'**effet déterministe** subi n'empêche pas de subir en complément aussi un **effet stochastique** à long terme.

Effet stochastique (aléatoire) :

Ce sont des effets aléatoires dont l'apparition est étalée dans le temps (long terme). Ils sont provoqués par une mutation non-létale de l'ADN et sont caractérisés par la mutation des cellules touchées. Contrairement aux effets déterministes, la gravité de ces effets n'est pas fonction de la dose reçue lors de l'exposition, seule la probabilité d'apparition en dépend.

Comparatif des effets déterministes et stochastiques :

Effets déterministes	Effets stochastiques
cause: destruction massive des cellules obligatoires (ils apparaissent toujours)	cause: lésions non réparées de l'ADN 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

Principes de radioprotection :

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.



Pour des travailleurs exposés :

Les moyens de protection sont très variés. Les principes sont basés sur des règles de bon sens et dépendent du pouvoir de pénétration et du type de rayonnement.

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 : $(X \propto \frac{1}{a^2})$. 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.

ACCIDENT NUCLEAIRE :

Dans le cas d'un accident nucléaire, les personnes qui vivent à proximité de l'endroit où s'est produit l'accident doivent suivre les deux mesures protectrices suivantes :

- 5- Se cacher dans des abris de préférence souterrains.
- 6- Prendre des comprimés d'iodure de potassium qui va se fixer sur la thyroïde et la protéger de l'iode radioactif qui pourrait être présent dans l'air après l'accident nucléaire.

L'iodure de potassium est utilisé en médecine sous la forme de comprimés contenant typiquement 130 mg de KI, ce qui représente environ 100 mg d'iode.