1. Notions générales

1-1 La radioactivité

1-1-1 Constitution des atomes

Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons de charge électrique négative.

Le noyau est constitué de deux types de particules : les **protons** de charge électrique positive et les **neutrons** sans charge électrique. Ces particules sont appelées des nucléons.

Le nombre d'électrons et de protons dans un atome sont identiques et donc, un atome est électriquement neutre.

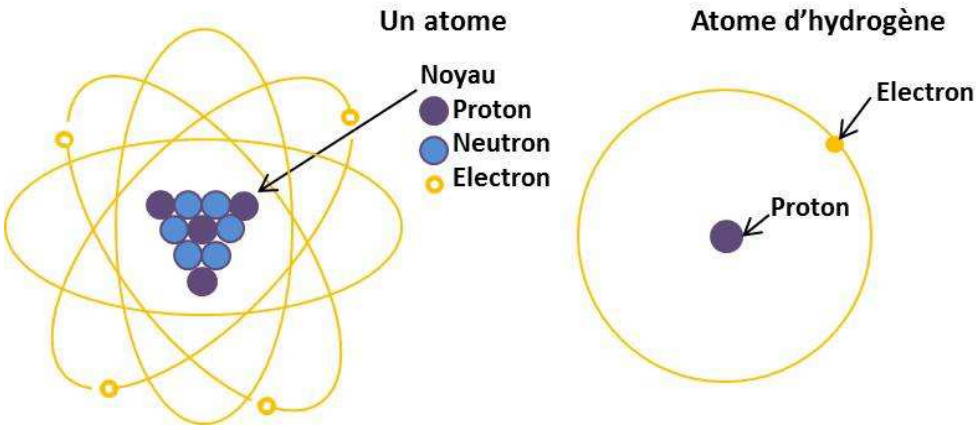


Figure 1 - Schéma d'un atome et un atome d'hydrogène.

L'atome est caractérisé par le nombre de protons qui caractérise la charge électrique de ce noyau et le nombre de nucléons (protons + neutrons) qui caractérise la masse de ce noyau (sa masse atomique).

Ainsi par exemple, l'hydrogène dont le noyau contient un proton et un neutron sera représenté ainsi : ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$.

L'uranium qui contient dans son noyau 92 protons et 146 neutrons, soit au total 238 nucléons sera représenté ainsi $^{238}_{92}\mathbf{U}$.

Certains noyaux sont instables : ils se transforment spontanément (on dit qu'ils se désintègrent) en émettant différents types de rayonnements. Les éléments constitués d'atomes ayant des noyaux instables, sont des éléments radioactifs ou **radioéléments ou radionucléides**.

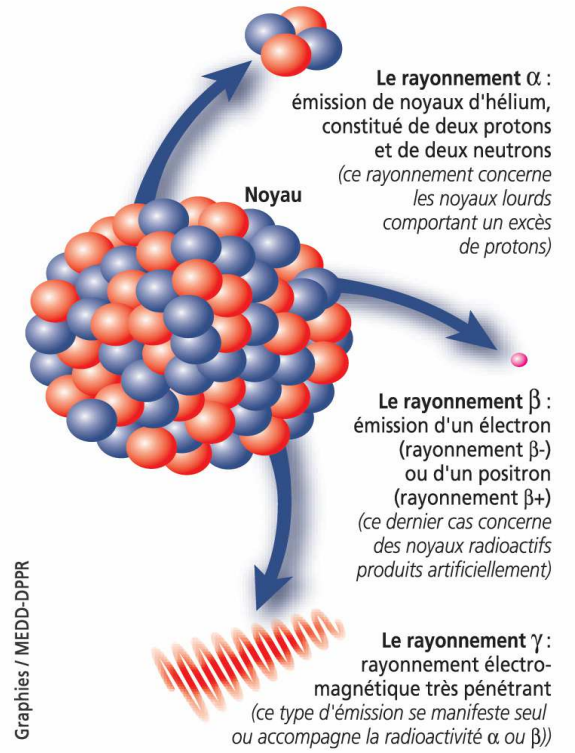
Deux éléments peuvent avoir dans leur noyau le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différents. Dans ce cas ce sont tous les deux le même élément chimique (même propriétés

chimiques) mais l'un peut être stable et l'autre radioactif. On les appelle des **isotopes.** Ainsi par exemple, on trouve dans la nature :

- Le Potassium, très répandu et présent dans tout organisme vivant qui est constitué d'un mélange de 99,998% de potassium stable et de 0,012% de Potassium 40 radioactif,
- L'Uranium naturel que l'on extrait de gisements miniers mais que l'on trouve à l'état de traces dans presque tous les sols et dans l'eau de mer, est constitué d'un mélange de 99,7% d'Uranium 238 et de 0,7% d'Uranium 235, tous deux éléments radioactifs,
- D'autres radioéléments sont produits artificiellement dans les centrales électronucléaires entre autres, par exemple : l'Iode131, le Césium137, le Plutonium239.

1-1-2 Rayonnements et période radioactive

En se désintégrant, un noyau radioactif peut émettre différents types de rayonnements :



- Rayonnements **alpha (α),** ce sont des noyaux d'Hélium (2 protons, 2 neutrons), très peu pénétrants, une feuille de papier suffit à les arrêter,
- Rayonnements **béta (β),** ce sont des électrons, peu pénétrant. Ils ont un parcours de quelques mètres dans l'air et sont arrêtés par quelques millimètres de métal,
- Rayonnements **X ou gamma (γ)** de même nature que la lumière ou les ondes radio ou les rayonnements électromagnétiques), très pénétrants, nécessitant, plusieurs dizaines de centimètres de Plomb ou de mètre de béton pour les arrêter.

Figure 2 - Noyau instable émettant des rayonnements.

Une matière radioactive est donc constituée d'atomes dont les noyaux ont tendance à se désintégrer dans le temps. Le temps mis par la moitié des noyaux pour se désintégrer est appelée la **période radioactive (T)**.

Ces périodes varient dans de grandes proportions suivant la nature du radioélément (Tableau 1).

Radioélément	Période radioactive (T)
Iode 131	8 jours
Césium 137	30 ans
Plutonium 239	24000 ans
Potassium 40	1,3 milliard d'années

Tableau 1 - Quelques radioéléments et leurs périodes de radioactivité.

Au bout d'une période, la radioactivité d'un élément est donc divisée par 2, au bout de 2 périodes elle est divisée par 4 et au bout de 10 périodes elle est divisée par 100.

La radioactivité disparaît donc dans le temps :

- Rapidement pour les radioéléments de période courte, et
- Très lentement pour ceux qui ont une période très longue.

1-1-3 Filiations radioactives [2]

Par désintégration de son noyau, un radioélément donne naissance à un noyau différent qui peut être lui-même radioactif et se désintégrer pour donner un troisième noyau qui peut lui-même être radioactif, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à un noyau stable. Une telle chaine est appelée une filière ou une famille radioactive. Ainsi, dans le minerai d'uranium naturel, existent deux types d'Uranium : l'Uranium 238 et l'Uranium 235. Chacun de ceux-ci est la tête d'une famille. Celle de l'Uranium 238 est donnée dans la figure suivante :

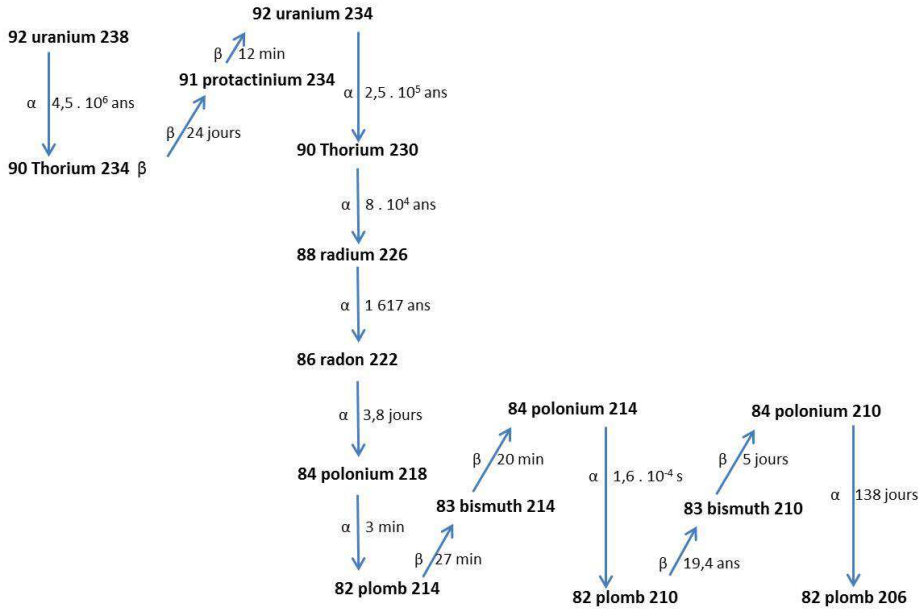


Figure 3 - Famille de l'Uranium 238, d'après de Choudens [2].

On voit que cette famille aboutit au Plomb 206 qui est stable. Dans celle-ci on trouve dans ses différents chainons, le Radium 226 bien connu et le Radon 222 qui est un élément gazeux qui se dégage donc de tout terrain contenant des traces d'Uranium ce qui est le cas de la plupart des sols.

1-1-4 Le phénomène de fission

Certains noyaux lourds (avec beaucoup de protons et de neutrons) ont la faculté, lorsqu'ils sont heurtés par des particules lourdes, tels des neutrons, de se casser en deux voire trois morceaux. C'est le phénomène de la **fission**.

Peu de noyaux sont susceptibles de donner lieu à de telles réactions, mais c'est le cas de l'Uranium 235 que l'on trouve dans le minerais naturel d'Uranium et du Plutonium 239 qui n'existe pas à l'état naturel mais est produit par un certain nombre de réactions annexes dans les réacteurs nucléaires.

L'Uranium naturel, ne contient que 0,7% d'Uranium 235, les autres 99.3 % sont constitués d'Uranium 238. Lors des fissions, on obtient donc deux ou trois noyaux, bien entendu plus légers que le noyau de départ, mais qui sont radioactifs. En moyenne il y a production de deux neutrons qui dans certaines conditions pourront être utilisés pour produire d'autres fissions de noyaux lourds et entretenir ainsi une réaction en chaine. C'est ce phénomène qui est utilisé dans les réacteurs électronucléaires. En effet, lors des fissions, est aussi dégagée une certaine quantité d'énergie qui apparaitra sous forme de chaleur qui sera utilisée comme source d'énergie pour produire de l'électricité.

Le résultat d'une fission est donc :

- La production de deux ou trois noyaux légers radioactifs
- L'émission en moyenne de deux neutrons
- Un dégagement de chaleur.

1-1-5 Unités de radioactivité

L'unité qui mesure la radioactivité d'un matériau radioactif est le **Becquerel** (Bq). On dit qu'une matière radioactive (une source radioactive) présente une radioactivité (une activité) de 1 becquerel (1Bq) lorsque, dans cette matière, un noyau se désintègre par seconde.

1 Bq = 1 désintégration par seconde.

Cette unité est très petite. L'activité d'une source radioactive s'exprimera en multiples du becquerel :

Le kilobecquerel (kBq) = 1000 Bq

Le mégabecquerel (mBq) = 1 million de Bq

Le gigabecquerel (gBq) = 1 milliard de Bq

Le terabecquerel (tBq) = 1000 milliards de Bq

On entend encore parler d'une ancienne unité de radioactivité : le curie (Ci). Le curie est la radioactivité de 1 g de radium, radioélément que l'on retrouve dans les sols avec l'Uranium. 1 g de radium est le siège de 37 milliard de désintégrations par seconde, donc :

1Ci = 37 milliard de becquerel, soit 37 gigabecquerel (37 gBq)

1-2 Comment nous atteignent les rayonnements

1-2-1 Irradiation externe

Une source radioactive émet des rayonnements. Si nous séjournons à proximité, ces rayonnements peuvent nous atteindre. Nous sommes soumis à une irradiation externe.

- Si nous nous éloignons de la source, l'irradiation diminue.
- Plus nous restons longtemps au voisinage de la source, plus notre irradiation sera importante.
- Si nous interposons des écrans ou si nous mettons des blindages autour de la source, nous diminuons (éventuellement nous supprimons) l'irradiation. Ces écrans ou blindages devront être d'épaisseur et de matériaux adaptés au pouvoir de pénétration des rayonnements émis par la source :
    - Une feuille de papier arrêtera les rayonnements alpha,
    - Une feuille d'aluminium de quelques millimètres nous protégera des rayonnements béta,
    - Un ou deux mètres de béton seront en général nécessaires pour nous protéger des sources intenses de rayonnement gamma.

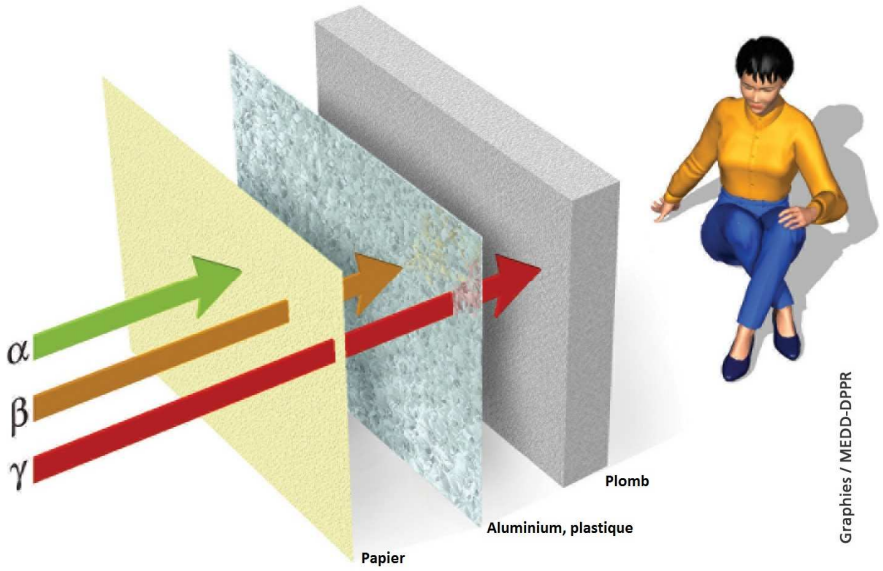


Figure 4 - Les différentes barrières aux différents rayonnements.

Donc pour se protéger d'une irradiation externe, il faut :

- Se tenir le plus loin possible de la source,
- Rester le moins longtemps possible à son voisinage,
- Interposer des écrans protecteurs entre la source et nous.

1-2-2 Contamination

Des éléments radioactifs peuvent être rejetés accidentellement dans l'air ou l'eau dans l'environnement. Dans l'air, ils sont transportés au gré des vents, souvent très loin de leur point d'émission. On a alors une **contamination de l'air ou de l'eau**. Ils peuvent se déposer sur la peau des personnes présentes sous le nuage. Ils subissent alors une contamination externe.

En respirant cet air contaminé, ou en absorbant une eau contaminée, nous absorbons une partie des éléments contaminant ces milieux. Il y a inhalation ou ingestion d'éléments radioactifs.

Une certaine quantité de particules radioactives transportées par l'air se redépose sur le sol, dans l'eau des cours d'eau ou lacs et sur les végétaux qui par ailleurs peuvent incorporer, par absorption, des radioéléments contaminant les sols. Il y a **contamination de l'environnement.**

Si nous consommons des légumes sur lesquels se sont déposés des éléments radioactifs ou qui ont poussé sur des sols contaminés, si nous consommons de la viande et le lait d'animaux qui ont vécu dans des zones contaminées ou ont été nourris par des fourrages provenant de zones contaminées, nous ingérons une partie de la radioactivité qu'ils contiennent.

Les éléments radioactifs inhalés ou ingérés circulent dans notre organisme et vont se fixer temporairement et sélectivement sur certain de nos organes. Il y a alors **contamination interne** de notre organisme.

1-2-3 Irradiation interne

Petit à petit, les éléments radioactifs fixés à l'intérieur de notre organisme, s'éliminent :

- par décroissance radioactive (d'autant plus vite que leur période « T » est courte)
- par les phénomènes biologiques naturels d'élimination de notre organisme (ils se retrouvent dans les fèces et les urines et la mesure de leur radioactivité permet de détecter une contamination interne**.**

Le temps mis pour éliminer la moitié de cette contamination interne par les phénomènes biologiques, est la **période biologique Tb.**

Finalement, le temps mis pour éliminer de l'organisme, la moitié de la contamination interne ; tant par la décroissance radioactive que par les phénomènes biologiques, est la **période effective Te**, période déterminée à partir de T et Tb par la relation :

$$\mathbf{1/Te = 1/T + 1/Tb}$$

Durant le temps où ils restent dans notre organisme, les éléments radioactifs émettant leurs rayonnements, irradient de l'intérieur les organes sur lesquels ils sont temporairement fixés. Ce temps dépend donc de la période Te du radioélément en cause. Celle-ci peut être courte ou très longue suivant en particulier la période biologique Tb du radioélément, période liée au métabolisme de celui-ci qui est fonction de sa nature chimique (certains éléments chimiques se renouvellent rapidement, l'eau par exemple, d'autres très lentement).

1-3 Action des rayonnements sur la matière

En traversant la matière, les rayonnements émis par des sources radioactives, heurtent les noyaux des atomes constitutifs de cette matière.

Au cours de ces chocs, ils cèdent de l'énergie à ces atomes qui vont donc en être perturbés.

Ce sont ces perturbations qui sont à l'origine des dégâts causés par les rayonnements à la matière (vivante ou non) irradiée.

L'énergie cédée par les rayonnements à une matière irradiée est donc caractéristique de l'effet de l'irradiation. La quantité d'énergie cédée par unité de masse de matière irradiée est appelé la **dose absorbée (Da).**

L'unité de dose absorbée est le gray (Gy).

- 1 kilogramme de matière irradiée aura reçu une dose absorbée de 1 gray (1Gy), lorsque les rayonnements lui auront cédé une énergie de 1 joule
- Si une dose absorbée de 1 gray est cédé à la matière irradiée en 1 heure, on dira que le débit de dose absorbée est de 1 gray par heure (1Gy/h).

Le milligray	**1mGy = 1/1000 Gy**
Le microgray	**1 µGy = 1/1000 000 Gy**
Le milligray par heure	**1mGy/h = 1/1000 Gy/h**

1-4 Action des rayonnements sur les tissus des êtres vivants

L'énergie cédée par les rayonnements aux tissus d'un organisme vivant, crée des dégâts dans certaines des cellules constituant ces tissus, donc un **dégât biologique**. Ces dégâts dépendent bien entendu, de la quantité d'énergie cédée, donc de la dose absorbée, mais aussi de la manière dont cette énergie est cédée.

Ainsi, à dose absorbée égale, le dégât biologique sera moins important si l'énergie est cédée aux tissus par un grand nombre de petits paquets, que par quelques gros paquets.

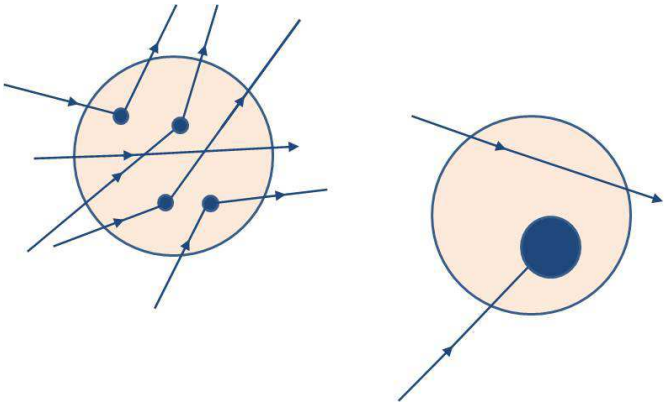


Figure 5 - Action des rayonnements sur les tissus vivants.

A dose absorbée égale, les différents types de rayonnements n'auront pas la même nocivité. Ainsi les rayonnements α auront une nocivité plus forte que les rayonnements γ.

Pour tenir compte de cette caractéristique, pour rendre compte de l'effet biologique d'une irradiation, on affecte la dose absorbée d'un coefficient de pondération spécifique du type de rayonnement qui a produit l'irradiation. Ce coefficient **Wr** qui rend donc compte de la nocivité de chaque type de rayonnement, est par exemple :

Wr = 1 pour le rayonnement X etγ

Wr = 20 pour le rayonnement α

Ceci étant, pour chiffrer le dégât biologique provoqué par une irradiation, il existe une nouvelle grandeur appelée « **dose équivalente (H)** » est égale à la dose absorbée multipliée par le facteur de pondération du rayonnement ayant causé l'irradiation. :

H = Da x Wr

On voit donc qu'à dose absorbée égale, la dose équivalente pour une irradiation provoquée par un rayonnement α sera 20 fois plus grande que provoquée par un rayonnement γ.

L'unité de dose équivalente est le **sievert (Sv)** et la dose équivalente divisée par le temps durant lequel elle a été subie constitue **le débit de dose équivalente** qui s'exprime en **sievert par heure (Sv/h).**

Lorsqu'il n'y a pas irradiation de l'organisme entier, par suite par exemple, d'une contamination interne qui s'est traduite par l'irradiation du ou des seuls organes sur lesquels le (ou les) radioélément contaminant s'est fixé, ces différents organes n'ont pas la même sensibilité à l'irradiation et le risque engendré par leur irradiation est moindre que si l'organisme entier avait été irradié au même niveau (par exemple, 1Sv corps entier est plus grave que 1Sv à la thyroïde). Pour tenir compte de cela, on introduit un coefficient de pondération supplémentaire **Wt** par lequel il faut multiplier la dose équivalente reçue par les organes irradiés pour rendre compte du risque biologique total ; Ce produit est appelé la **dose efficace E.**

$$E = H \times Wt = Da \times Wr \times Wt$$

La dose efficace E s'exprime elle aussi en sievert;

Exemples :

- Pour une irradiation homogène de l'organisme entier Wt = 1, d'où E = H
- Pour une irradiation du poumon, Wt = 0,12, d'où E = 0,12 H
- Pour une irradiation de la thyroïde, Wt = 0,003, d'où E = 0,003 H

Grandeurs	Unités	Définitions
Activité (A)	becquerel (Bq)	Mesure du nombre de désintégrations par seconde au sein d'une matière radioactive
Dose absorbée (Da)	gray (Gy)	Energie reçue par unité de masse dans un matériau irradié
Débit de dose absorbée (Da/h)	gray par heure (Gy/h)	Energie reçue par unité de masse dans un matériau irradié par unité de temps
Dose équivalente (H)	sievert (Sv)	Mesure du dégât biologique sur les tissus irradiés
Débit de dose équivalente	sievert par heure (Sv/h)	Dégât biologique subi par des tissus irradié par unité de temps
Dose efficace (E)	Sievert (Sv)	Dégât biologique subi par l'organisme entier pour une irradiation totale ou partielle

Tableau 2 - Les unités de mesures de rayonnements.

1-5 Effets des rayonnements sur l'homme

On distingue deux types d'effets des irradiations sur l'homme :

1-5-1 Effets non aléatoires

Les effets non aléatoires (ou encore non stochastiques) ont les caractéristiques suivantes :

- ils sont dus à de fortes doses d'irradiation
- ils n'apparaissent qu'au-dessus d'un certain seuil d'irradiation
- leur gravité augmente avec la dose d'irradiation reçue.

Les effets non aléatoires apparaissent de façon précoce après l'irradiation (de quelques heures à quelques semaines).

- En dessous de 0,25 sievert, aucun de ces effets n'apparaît
- Entre 0,25 sievert et 1 sievert, modification de la formule sanguine
- Entre 1 et 2 sievert, apparition du « mal des rayons » : malaises, nausées, vomissements.
- De 2 à 4 sieverts, nausées, vomissements, érythèmes (brulures de la peau), fièvre, agitation.
- De 4 à 6 sieverts, possibilité d'une issue fatale.
- Au-dessus de 7 sieverts, issue fatale très probable, certaine au-dessus de 10 sievert.

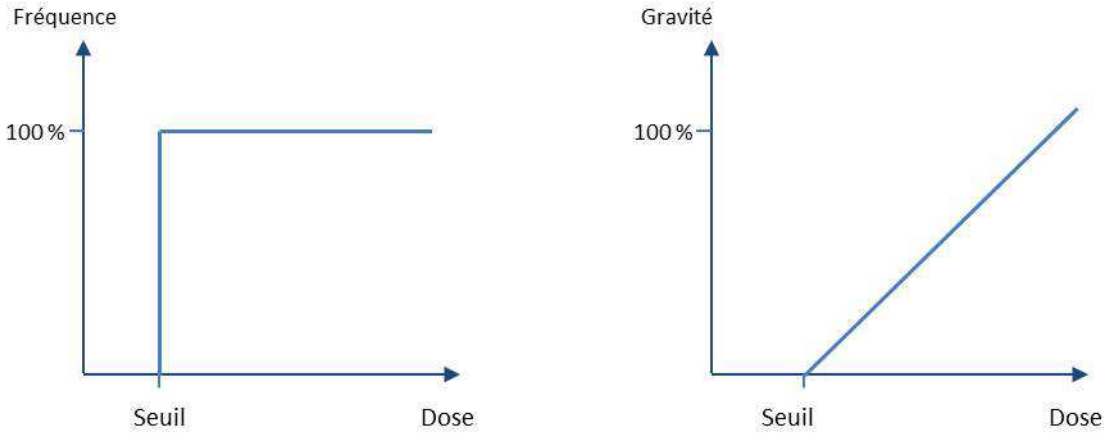


Figure 6 - Les effets non aléatoires (ou non stochastiques).

1-5-2 Effets aléatoires

Les effets aléatoires (ou stochastiques) sont ceux produits par les faibles doses (aux fortes doses ils existent mais sont masqués par les effets non aléatoires plus immédiats et potentiellement plus graves) ;

- Pour ces effets et en l'absence de certitudes scientifiques, on admet pour des raisons de sécurité, qu'il n'y a pas de seuil en dessous duquel ils ne se manifesteraient pas.
- Dans une population irradiée, ils n'apparaissent pas obligatoirement chez chaque individu, mais le nombre d'individus chez lesquels ils apparaissent, croit avec la dose d'irradiation.
- La gravité est indépendante de la dose d'irradiation, celle-ci n'étant que le facteur déclenchant l'effet.

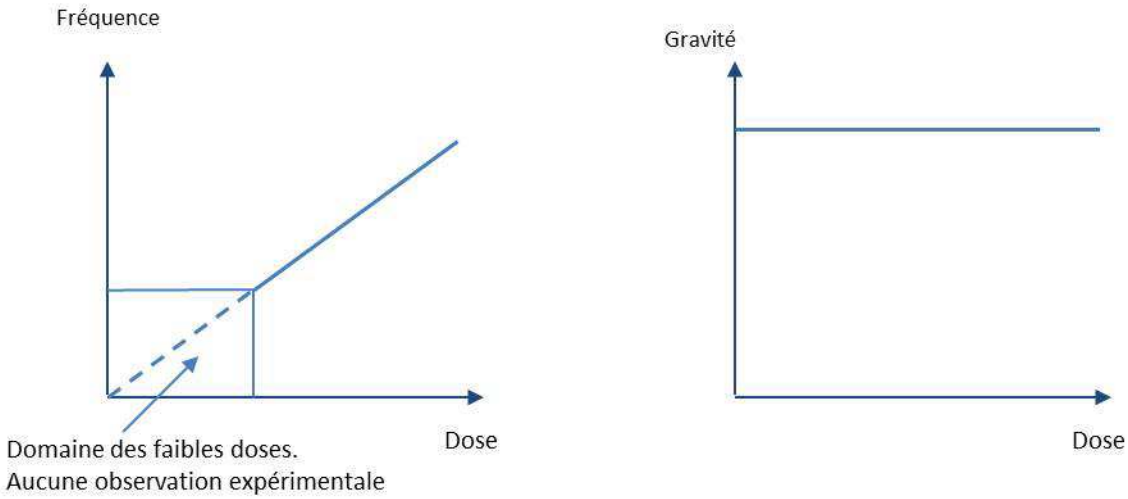


Figure 7 - Les effets aléatoires (ou stochastiques).

Les effets aléatoires sont de deux types :

- **L'induction de cancers**

  L'induction de cancers parmi une population irradiée est souvent difficile à mettre en évidence, car elle se superpose au taux observé dans nos pays dans les populations non soumise à une irradiation (de l'ordre de 25%) et ils n'apparaitront souvent qu'après des délais relativement longs après l'irradiation (de 2 à 3 ans jusqu'à plusieurs dizaines d'années). Certains sont plus précoces que d'autres, tels les cancers de la thyroïde (par suite d'une irradiation de cette glande (suite par exemple à l'inhalation d'iode radioactive émise lors d'un accident sur un réacteur), ou les leucémies.

  Les observations qui ont été faites sur des populations irradiées (survivants d'Hiroshima et de Nagasaki, radiologistes, mineur des mines d'Uranium, et plus récemment, suite de l'accident de Tchernobyl) ont conduit à admettre, en prenant des marges de sécurité, que :

  - la relation dose-effet était linéaire (probabilité d'apparition d'un cancer croissant proportionnellement à la dose d'irradiation subie),
  - le taux d'apparition de tout type de cancer, de 1 cas parmi une population de 100 000 personnes ayant subi une irradiation de 1 millisievert.

  Concernant l'apparition de cancer de la thyroïde suite à l'inhalation d'iode radioactive après un accident sur un réacteur électronucléaire, les conséquences de Tchernobyl ont montré que l'augmentation des cancers de ce type était particulièrement importante chez les enfants et les jeunes de moins de 25 ans. Ainsi des taux annuels de 12 cas pour 100 000 enfants ont été relevés dans les districts les plus touchés, alors que le taux habituel d'incidence est de 0,1 à 0,3 cas pour 100 000 enfants.

- **Les effets génétiques**

  L'apparition, sous l'effet d'irradiations, d'effets génétiques est elle aussi très difficile à mettre en évidence chez une population irradiée car elle se superpose à une fréquence d'apparition naturelle d'anomalies génétiques (10% des enfants sont, à leur naissance, porteur d'une anomalie génétique, heureusement le plus souvent sans conséquence apparente).

  Aucune des études faites sur des populations irradiées n'a permis de mettre en évidence de façon indiscutable, un effet génétique sur l'homme.

  Un effet a cependant été observé sur des animaux irradiés à de relativement fortes doses. Dans un souci de sécurité, on admet donc que, comme pour l'apparition de cancers, la relation dose effet est linéaire et que la fréquence d'apparition d'effet génétiques parmi les deux générations qui suivent celle qui a été irradiée, est de 4 cas parmi une population de 1 million de personnes ayant subis une irradiation de 1 millisievert.

1-6 Irradiation naturelle et résultant d'activités humaines

1-6-1 Radioactivité naturelle

L'homme a de tout temps été soumis à une irradiation provenant de sources naturelles. Celles-ci sont de natures diverses :

- Les **rayonnements cosmiques** provenant de l'espace extra-terrestre et en particulier du soleil. En Europe, pour tous ceux qui vivent à une altitude voisine du niveau de la mer, ils se traduisent par une irradiation externe moyenne d'environ 0,36 millisievert par an.

  Lorsqu'on s'élève, cette irradiation augmente, ainsi une personne vivant à 1500m d'altitude subira une irradiation annuelle d'environ 0,6 millisievert.

- Les **radioéléments contenus dans les sols** (Uranium, Thorium, Potassium…) provoquent en moyenne, pour chacun d'entre nous, une irradiation externe annuelle d'environ 0,4 millisievert.

  Il faut noter que dans certaines régions de France ou du monde où il y a par exemple des gisements de minerais radioactifs, ces irradiations peuvent être beaucoup plus fortes.

- Les **éléments radioactifs naturels que nous inhalons** avec l'air que nous respirons (une émanation gazeuse de l'Uranium contenu dans les sols: le Radon,…), ceux que nous ingérons avec nos aliments (Potassium en particulier), provoquent chez chacun de nous en moyenne une irradiation interne annuelle d'environ 2,33 millisievert dont 1,25 millisievert du au Radon.

1-6-2 Radioactivité due aux activités humaines

De par ses activités, l'homme ajoute à ces sources naturelles, d'autres sources artificielles d'irradiation :

- Les **irradiations médicales** (radiographie, radiographie dentaire…). On estime qu'en moyenne, chaque Français subit annuellement de par ces sources, une irradiation externe d'environ 1 millisievert par an (mSv/an).

- Les **activités industrielles non nucléaires** (combustion du charbon qui contient entre autres des traces de Radium, utilisation d'engrais phosphatés qui contiennent du Potassium, télévision…), entrainent en moyenne par an une irradiation de chaque Français d'environ 0,01 mSv.

- Les **activités industrielles nucléaires** (centrales électronucléaires, usines de retraitement…) provoquent annuellement, une irradiation moyenne d'environ 0,01 mSv.

- Les **retombées des essais nucléaires atmosphériques**, entrainent actuellement une irradiation annuelle d'environ 0,1 mSv.

1-6-3 Bilan global

Il est donné dans le tableau suivant :

	Exposition (en mSv)		
Exposition en millisievert	**Valeurs annuelles moyennes**	**Valeurs courantes en France**	**Valeurs extrêmes dans le monde**
Radioactivité naturelle			
Exposition externe			
Origine cosmique	0,36	0,3 à 2	55 (cosmonautes)
Origine terrestre	0,41	0,05 à 1,5	175 (Brésil) 400 (Iran)
Exposition interne			
Potassium 40	0,18		
Plomb, Bismuth, Polonium	0,12		
Radon et descendants	1,26	0,2 à 60	500 (Suède)
Total	**2,33**		
Radioactivité due aux activités humaines			
Origine médicale	1		
Industrie nucléaire et autres	0,02		
Essais nucléaires	0,1		
Total	**1,12**		
Total général	**3,45**		

Tableau 3 - Les niveaux d'irradiation naturels et résultant d'activité humaine (d'après la Société française de la radioprotection [18]).

1-7 Les normes, la réglementation de la radioprotection

Leur respect vise à assurer la protection des travailleurs, de la population et de l'environnement contre les dangers des rayonnements ionisants.

La réglementation nationale prévoit de plus les dispositions qui doivent être prises pour protéger les travailleurs de l'industrie du nucléaire et la population autour des installations nucléaires contre leurs dangers éventuels.

Les réglementations des différents pays en la matière, sont assez homogènes d'un pays à l'autre. Ceci résulte de la manière dont elles sont élaborées.

En effet, à l'origine de ces règles, on trouve un organisme international : la **Commission internationale de protection contre les rayonnements (CIPR)**, association non gouvernementale, créée en 1928. Cette commission se tient en permanence au courant de tous les travaux mondiaux en radioprotection et en radiobiologie et après examen de leurs résultats scientifiques et réflexion, en tire des recommandations dont la pertinence a toujours été unanimement reconnue et qui sont donc reprises par divers organismes internationaux officiels, dont principalement **l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA)** dont le siège est à Vienne. En ce qui nous concerne, la Commission des communautés européenne (CEE), en tire des directives qui doivent être reprise dans les législations des Etats membres. La France applique donc ces directives.

La réglementation française en la matière, fait l'objet d'articles dans le Code du travail et le Code de la santé publique, résultant du **décret 2007-1570 du 5 novembre2007**, pris en application de la loi sur la transparence et la sécurité nucléaire (**loi TSN 2006-286 du 13 juin 2006**).

Limites d'exposition aux rayonnements ionisants	**Public**	**Travailleurs directement exposés**
Limite de dose corps entier(s)	1	20
Limite de dose aux extrémités (doigts, bras, pieds)		500
Limite de dose au cristallin	15	150
Limite de dose à la peau (dose moyenne sur 1cm2	50	500

Tableau 4 - Les limites d'exposition pour les travailleurs et le public (en millisieverts par an : mSv/an).

Cette réglementation ne s'applique pas aux personnes exposées à des rayonnements ionisants à des fins médicales ou médico-légales, pour lesquelles, la CEE a édité la directive 97-43 du 30 juin 1997 relative à la protection des personnes contre les rayonnements ionisants lors d'exploitation à des fins médicales, directives transposées dans la législation française par le décret 2003-270 du 24 mars 2003 qui, sur ce chapitre, modifie le Code de la santé publique. Un arrêté du 12 février 2004 fixe des niveaux de référence à ne pas dépasser pour les actes de radiologie et de médecine nucléaire.

Ceci étant, la réglementation française impose pour la radioprotection, les principes suivants :

- Il faut s'efforcer, dans toute pratique mettant en jeu des rayonnements ionisants, de se tenir en dessous des limites réglementaires « Aussi bas qu'il est raisonnablement possible de le faire » (principe ALARA - As Low As Raisonably Achievable).

- Toute activité provoquant une irradiation même en dessous des limites réglementaires, doit être justifiée par le bénéfice que la population retirera de cette activité.

Les normes ci-dessus, concernent l'irradiation externe plus l'irradiation interne pouvant provenir de l'inhalation et/ou de l'ingestion d'éléments radioactifs contaminant l'environnement.

1-7-1 Dose efficace par unité d'incorporation (DPUI)

L'irradiation externe peut se contrôler relativement facilement en utilisant par exemple, des dosimètres pouvant être portés individuellement. L'irradiation interne est plus difficile à mesurer. Aussi a-t-on défini, pour chaque radioélément, la dose efficace provoquée par l'incorporation d'un Becquerel du dit radioélément. C'est ce qu'on appelle « la dose efficace par unité d'incorporation (DPUI) ». Elle s'exprime en Sievert par Becquerel (Sv/Bq ou Sv.Bq-1). A partir de la mesure ou de l'estimation du nombre de Becquerel incorporé, il est alors possible d'en déduire l'irradiation interne subie par la personne contaminée et comparer cette dose aux limites précédemment indiquées. Ces facteurs de conversion sont différents entre un nourrisson et un adulte par suite des différences dans l'alimentation et le métabolisme de ces catégories de la population.

Les DPUI en Sv/Bq recommandées par la CIPR et par l'AIEA pour quelques **radionucléides**, sont données dans le tableau suivant.

Radionucléides	**Nourrissons** (Sv/Bq)	**Adultes** (Sv/Bq)
Sr90	7,8 10-8	2,8 10-8
Iode131	1,8 10-7	2,2 10-8
Cs137	1,2 10-8	1,3 10-8
Cs134	1,6 10-8	1,9 10-8
Pu239	4,2 10-7	2,5 10-7
Am 241	3,7 10-7	2 10-7

Tableau 5 - Dose efficace par unité d'incorporation (DPUI) (Sv/Bq).

1-7-2 Contamination des aliments

Suite à l'accident de Tchernobyl, la communauté économique européenne a fixé des niveaux de contamination à ne pas dépasser dans les aliments pour leur commercialisation après un accident

nucléaire (Règlement européen 3954/87, modifié par le règlement 2218/89). Ces niveaux sont applicables en France et sont donnés dans le tableau suivant (en Bq/kg).

Radioéléments	**Alimentation pour nourrissons**	**Produits laitiers**	**Autres denrées alimentaires**	**Liquides destinés à la consommation**
Isotopes du Sr dont Sr90	75	125	750	125
Isotopes de l'Iode (dont I131)	150	500	2000	500
Isotopes du Pu dontPu239	1	20	80	20
Autres radionucléides dont Cs137 et Cs134	400	1000	1250	125

Tableau 6 - Limites de contamination des aliments (Bq/Kg).

Suite à l'accident de Fukushima, des normes plus sévères ont été fixées pour l'importation de produits alimentaires provenant du Japon.

Des normes ont aussi été fixées pour les produits servant à l'alimentation du bétail.