

Chapitre II

Section F

Radioactivité



Symbole signalant une source de rayons ionisants,

La **radioactivité**, terme inventé vers 1898 par Marie Curie, est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables se désintègrent en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements divers, pour se transformer en des noyaux atomiques plus stables. Les rayonnements ainsi émis sont appelés, selon le cas, des *rayons α* , des *rayons β* ou des *rayons γ* .

Les radionucléides les plus fréquents dans les roches terrestres sont l'isotope 238 de l'uranium (^{238}U), l'isotope 232 du thorium (^{232}Th), et surtout l'isotope 40 du potassium (^{40}K)^[1]. Outre ces isotopes radioactifs naturels encore relativement abondants, il existe dans la nature des isotopes radioactifs en abondances beaucoup plus faibles. Il s'agit notamment des éléments instables produits lors de la suite de désintégrations des isotopes mentionnés, par exemple de divers isotopes du radium et du radon.

Un des radionucléides naturels les plus utilisés par l'homme est l'isotope 235 de l'uranium (^{235}U) qui se trouve dans la nature en faible concentration (<1 %) associé à l'isotope ^{238}U , mais dont on modifie la concentration par des techniques d'enrichissement de l'uranium pour qu'il puisse servir à la production d'énergie nucléaire civile et militaire.

Un autre radionucléide naturel est le radiocarbone, c'est-à-dire l'isotope 14 du carbone (^{14}C). Ce dernier est constamment produit dans la haute atmosphère par des rayons cosmiques interagissant avec l'azote, et se détruit par désintégrations radioactives à peu près au même taux qu'il est produit, de sorte qu'il se produit un équilibre dynamique qui fait que la concentration du ^{14}C reste plus ou moins constante au cours du temps dans l'air et dans les organismes vivants qui respirent cet air. Une fois un organisme mort, la concentration en ^{14}C diminue dans ses tissus, et permet de dater le moment de la mort. Cette datation au

radiocarbone est un outil de recherche très prisé en archéologie et permet de dater avec une bonne précision des objets organiques dont l'âge ne dépasse pas cinquante à cent mille ans.

Les rayonnements α , β et γ produits par la radioactivité sont des rayonnements ionisants qui interagissent avec la matière en provoquant une ionisation. L'irradiation d'un organisme entraîne des effets qui peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé, selon les doses de radiation reçues et le type de rayonnement concerné.

Historique

La radioactivité fut découverte en 1896 par Henri Becquerel (1852-1908), lors de ses travaux sur la phosphorescence : les matières phosphorescentes émettent de la lumière dans le noir après expositions à la lumière, et Becquerel supposait que la lueur qui se produit dans les tubes cathodiques exposés aux rayons X pouvait être liée au phénomène de phosphorescence. Son expérience consistait à sceller une plaque photographique dans du papier noir et mettre ce paquet en contact avec différents matériaux phosphorescents. Tous ses résultats d'expérience furent négatifs, à l'exception de ceux faisant intervenir des sels d'uranium, lesquels impressionnaient la plaque photographique à travers la couche de papier. Cependant, il apparut bientôt que l'impression de l'émulsion photographique n'avait rien à voir avec le phénomène de phosphorescence, car l'impression se faisait même lorsque l'uranium n'avait pas été exposé à la lumière au préalable. Par ailleurs, tous les composés d'uranium impressionnaient la plaque, y compris les sels d'uranium non phosphorescents et l'uranium métallique. À première vue, ce nouveau rayonnement était semblable au rayonnement X, découvert l'année précédente (en 1895) par le physicien allemand Wilhelm Röntgen (1845-1923). Des études ultérieures menées par Becquerel lui-même, ainsi que par Marie Curie (1867-1934) et Pierre Curie (1859-1906), ou encore par Ernest Rutherford (1871-1937), montraient que la radioactivité est nettement plus complexe que le rayonnement X. En particulier, ils trouvaient qu'un champ électrique ou magnétique sépare les rayonnements « uraniques » en trois faisceaux distincts, qu'ils baptisaient α , β et γ . La direction de la déviation des faisceaux montrait que les particules α étaient chargées positivement, les β négativement, et que les γ étaient neutres. En outre, la magnitude de la déflexion indiquait nettement que les particules α étaient bien plus massives que les β .

En faisant passer les rayons α dans un tube à décharge et en étudiant les raies spectrales ainsi produites, on pouvait conclure que le rayonnement α est constitué d'hélium, autrement dit de noyaux d'hélium (^4He). D'autres expériences permettaient d'établir que les rayons β sont composés d'électrons comme les particules dans un tube cathodique, et que les γ sont, tout comme les rayons X, des photons très énergétiques. Par la suite, on découvrit que de nombreux autres éléments chimiques ont des isotopes radioactifs. Ainsi, en traitant des tonnes de pechblende, une roche uranifère, Marie Curie réussit à isoler quelques milligrammes de radium dont les propriétés chimiques sont tout à fait similaires à celles du baryum (les deux sont des métaux alcalino-terreux), mais qu'on arrive à distinguer à cause de la radioactivité du radium.

Les dangers de la radioactivité pour la santé ne furent pas immédiatement reconnus. Ainsi, Nikola Tesla (1856-1943), en soumettant volontairement en 1896 ses propres doigts à une irradiation par des rayons X, constata que les effets aigus de cette irradiation étaient des brûlures qu'il attribua, dans une publication, à la présence d'ozone. D'autre part, les effets mutagènes des radiations, en particulier les risques de cancer, ne furent découverts qu'en 1927 par Hermann Joseph Muller (1890-1967). Avant que les effets biologiques des radiations ne soient connus, des médecins et des sociétés attribuaient aux matières radioactives des propriétés thérapeutiques : le radium, en particulier, était populaire comme tonifiant, et fut prescrit sous forme d'amulettes ou de pastilles. Marie Curie s'est élevée contre cette mode, arguant que les effets des radiations sur le corps n'étaient pas encore bien compris. Durant les années 1930, les nombreuses morts qui ont semblé pouvoir être reliées à l'utilisation de produits contenant du radium ont fait passer cette mode.

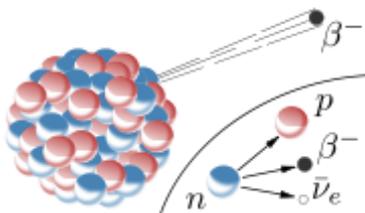
Les transformations nucléaires

La désintégration d'un noyau radioactif peut entraîner l'émission de rayonnement α , β^- ou β^+ . Ces désintégrations sont souvent accompagnées de l'émission de photons de haute énergie ou *rayons gamma*, dont les longueurs d'onde sont généralement encore plus courtes que celles des rayons X, étant de l'ordre de 10^{-9} m ou inférieures. Cette **émission gamma** (γ) résulte de l'émission de photons lors de transitions nucléaires : du réarrangement des charges internes du noyau nouvellement formé, ou bien de la couche profonde du cortège électronique perturbé, à partir de niveaux d'énergie excités avec des énergies mises en jeu de l'ordre du MeV.

Les transformations isobariques

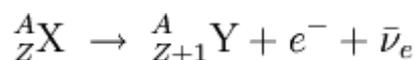
Une transformation isobarique correspond à la transmutation d'un noyau avec la conservation du nombre de masse A.

L'émission bêta moins



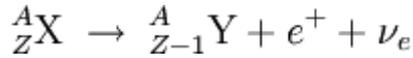
Émission d'une particule bêta moins (électron)

La **radioactivité bêta moins** (β^-) affecte les nucléides X présentant un excès de neutrons. Elle se manifeste par la transformation dans le noyau d'un neutron en proton, le phénomène s'accompagnant de l'émission d'un électron (ou *particule bêta moins*) et d'un antineutrino électronique $\bar{\nu}$:



L'émission bêta plus

La **radioactivité bêta plus** (β^+) ne concerne que des nucléides qui présentent un excès de protons. Elle se manifeste par la transformation dans le noyau d'un proton en neutron, le phénomène s'accompagnant de l'émission d'un positon (ou *positron*, ou encore *particule bêta plus*) et d'un neutrino électronique ν :



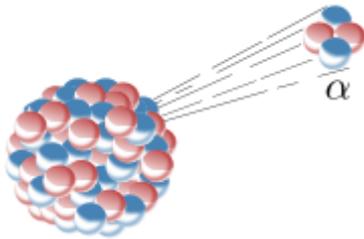
L'émission d'un rayonnement β^+ par un noyau n'est possible que si l'énergie disponible est supérieure à 1,022 MeV (soit la masse de deux électrons).

La capture électronique

La **capture électronique** (ϵ) ne concerne que des nucléides qui présentent un excès de protons et dont l'énergie disponible (dans la réaction potentielle) n'est pas nulle.

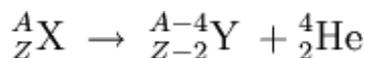


L'émission alpha



émission d'une particule alpha (noyau d'hélium)

On parle^[2] de **radioactivité alpha** (α) pour désigner l'émission d'un noyau d'hélium ou *hélium* :



Ces hélium, encore appelés *particules alpha*, ont une charge $2e$, et une masse de 4,001 505 8 unités de masse atomique.

Loi de désintégration radioactive

Un radionucléide quelconque a autant de chances de se désintégrer à un moment donné qu'un autre radionucléide de la même espèce, et la désintégration ne dépend pas des conditions physico-chimiques dans lesquelles le nucléide se trouve. En d'autres termes, la loi de désintégration radioactive est une *loi statistique*.

Soit $N(t)$ le nombre de radionucléides d'une espèce donnée présents dans un échantillon à un instant t quelconque. Comme la probabilité de désintégration d'un quelconque de ces radionucléides ne dépend pas de la présence des autres radionucléides ni du milieu environnant, le nombre total de désintégrations dN pendant un intervalle de temps dt à l'instant t est proportionnel au nombre de radionucléides de même espèce N présents et à la durée dt de cet intervalle : c'est une loi de décroissance exponentielle. On a en effet :

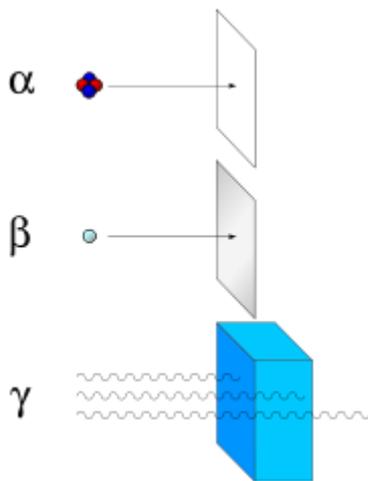
$$dN = -\lambda N dt$$

Le signe moins ($-$) vient de ce que N diminue au cours du temps, de sorte que la constante λ est positive.

En intégrant l'équation différentielle précédente, on trouve le nombre $N(t)$ de radionucléides présents dans le corps à un instant t quelconque, sachant qu'à un instant donné $t = 0$ il y en avait N_0 :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Interaction entre les rayonnements et la matière



En irradiation externe, le rayonnement α est arrêté par une feuille de papier. Le rayonnement β est arrêté par une feuille d'aluminium. Le rayonnement γ est arrêté par de grandes épaisseurs de matériaux denses, comme le plomb.

Les rayonnements ionisants provoquent tous au sein de la matière des ionisations et des excitations. La façon dont se produisent ces ionisations dépend du type de rayonnement considéré.

- rayonnement α : un noyau atomique instable émet une particule lourde chargée positivement constituée de deux protons et de deux neutrons (noyau d'hélium-4). En traversant la matière, cette particule interagit principalement avec le cortège électronique des atomes du matériau traversé, ce qui les excite ou les ionise. Ce mécanisme se produit sur une très courte distance car la section efficace d'interaction

est élevée: le pouvoir de pénétration des rayonnements alpha est faible (une simple feuille de papier ou 4 à 5 cm d'air les arrêtent totalement) et par conséquent le dépôt d'énergie par unité de longueur traversée sera élevé. Cette énergie dissipée dans la matière traversée se traduira par des excitations et des ionisations et donne lieu à des rayonnements secondaires.

- rayonnement β^- : un noyau atomique instable émet une particule légère et chargée négativement (un électron) qu'une feuille d'aluminium peut arrêter. Cependant ce rayonnement interagit avec la matière en provoquant des excitations et des ionisations par diffusion. Le parcours des électrons dans la matière est plus important que celui des particules alpha (de l'ordre de quelques mètres maximum dans l'air). La perte d'énergie du rayonnement bêta par unité de longueur traversée sera, toute autre chose étant égale, moindre que celle du rayonnement alpha. Il en sera donc de même du nombre d'excitation et d'ionisation produite par unité de longueur. Dans certains cas (électron de forte énergie et matériau traversé de masse atomique élevée) l'émission d'un rayonnement de freinage électromagnétique est possible.
- rayonnement β^+ : un noyau atomique instable émet une particule légère et chargée positivement (un positon) qui interagit immédiatement avec un électron du milieu provoquant son annihilation et la production de deux rayons gamma de 511 keV chacun ayant entre eux un angle solide de 180° .
- rayonnement γ : un noyau atomique qui ne souffre pas d'un déséquilibre baryonique, mais qui se trouve dans un état d'énergie instable, émet un photon très énergétique, donc très pénétrant, pour atteindre un état d'énergie stable ; il faut plusieurs centimètres de plomb pour l'atténuer. Il n'y a guère de différence entre les rayons X durs et le rayonnement γ — seul leur origine les différencie. En général, l'émission de rayons γ suit une désintégration α ou β , car elle correspond à un réarrangement des nucléons, et notamment à une réorganisation de la charge électrique à l'intérieur du nouveau noyau. On rencontre donc fréquemment un noyau radioactif émettant simultanément plusieurs types de rayonnement : par exemple, l'isotope 239 du plutonium (^{239}Pu) est un émetteur α - γ , l'isotope 59 du fer (^{59}Fe) est un émetteur β - γ . Le rayonnement gamma est un faisceau de photons sans charge ni masse. En traversant la matière il provoque trois types d'interactions :
 - l'effet photo-électrique,
 - la création de paires,
 - l'effet Compton.

Ces mécanismes produiront, *in fine*, des excitations et ionisations dans le matériau traversé. Le rayonnement gamma a un fort pouvoir de pénétration dans la matière (plusieurs mètres de béton).

La nature des lois physiques permettant de calculer les parcours ou l'atténuation des

rayonnements dans la matière est différent selon les rayonnements considérés. Les rayonnements gamma ne sont jamais complètement arrêtés par la matière. C'est pourquoi le flux de photons émergent d'un écran sera faible, voire quasi indétectable, mais jamais nul. Les lois physiques qui traduisent le parcours des rayonnements alpha et bêta montrent qu'au-delà d'une certaine distance, il est impossible que des particules puissent être retrouvées. Le rayonnement incident peut donc être complètement bloqué par un matériau qui joue le rôle d'écran.

Mesure de radioactivité

Grandeurs objectives

Ces grandeurs objectives sont mesurables à l'aide d'appareils de physique (compteurs, calorimètres, horloges).

- L'activité d'une source radioactive se mesure en becquerels (Bq), unité correspondant au nombre de désintégrations par seconde, en hommage à Henri Becquerel. On utilise quelquefois (en biologie par exemple) le nombre de désintégrations par minute.
- L'activité massique ou volumique est plus souvent utilisée. Elle correspond à l'activité rapportée à la masse (Bq/kg) ou au volume de l'échantillon mesuré (Bq/L ou Bq/m³).
- Le curie (Ci) était autrefois utilisé : il se définit comme l'activité d'un gramme de radium, soit 37×10^9 désintégrations par seconde, soit $37 \text{ Bq} = 1 \text{ nCi}$.
- le coulomb par kilogramme (C/kg) peut également être utilisé : il mesure l'exposition aux rayonnements X et gamma (la charge d'ions libérée dans la masse d'air). L'ancienne unité équivalente était le Roentgen qui correspond au nombre d'ionisations par kilogramme d'air.
- Pour le radon, l'énergie alpha potentielle volumique (EAPV) peut être mesurée en joule (unité) par mètre cube (j/m³). Cela correspond à l'énergie des particules alpha émises dans un certain volume par les descendants du radon.

Conversion des différentes unités objectives :

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 0,027 \text{ nCi}$$

Grandeurs subjectives

Ce sont des grandeurs non mesurables directement. Elles sont estimées à partir de mesures et de coefficients de pondération définis par la CIPR.

- La dose absorbée par la cible est définie comme l'énergie reçue par unité de masse de la cible, en joules par kilogramme, c'est-à-dire en Grays (Gy) dans le système SI. L'ancienne unité était le rad. $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$. On définit également un débit de dose,

c'est-à-dire l'énergie absorbée par kilogramme et par unité de temps, c'est-à-dire en gray par seconde (Gy/s).

- La dose équivalente, H pour laquelle chaque rayonnement doit être pondéré pour tenir compte de leur nocivité respective. L'unité du Système International (SI) est le Sievert (Sv). Lorsque le rad était utilisé comme unité de dose absorbée, l'unité de dose équivalente était le rem, acronyme de « rad equivalent man ».
- La dose efficace, E est la somme pondérée des doses équivalentes H_T aux organes et tissus T irradiés. Elle rend compte du risque d'apparition de cancer. L'unité utilisée est également le Sievert.

Chiffres à manier avec précaution et pas sourcé :

Le facteur de risque d'induction de cancer est estimé à 4% par Sv pour une population de travailleurs et à 5% par Sv pour la population en général. À titre d'exemple, les personnes vivant en Europe occidentale reçoivent une dose annuelle naturelle de 3 mSv dont la moitié est due au radon. //

- L'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$, est une *grandeur opérationnelle* exprimée en mSv. C'est une mesure approchante de la dose efficace externe, utilisée pour les mesures de l'environnement.
- L'équivalent de dose individuel, $H_p(10)$, est une *grandeur opérationnelle* exprimée en mSv. C'est une mesure approchante de la dose efficace externe, utilisée pour les mesures de l'exposition des personnes aux radiations ionisantes dans le cadre de leur profession.

Conversion des différentes unités subjectives :

1 rad = 0,01 Gy
1 Gy = 100 rad
1 rem = 0,01 Sv = 10 mSv
1 Sv = 100 rem

Origines de la radioactivité

La radioactivité a principalement pour origine les radioisotopes existants dans la nature et produits lors des explosions des supernovas. On trouve des traces de ces éléments radioactifs et de leurs descendants dans notre environnement : un roc de granite contient des traces d'uranium qui, en se désintégrant, émettent du radon.

On parle de « radioactivité naturelle » pour désigner la radioactivité due à des sources non produites par les activités humaines, comme celle issue du radon, ou du rayonnement cosmique. A contrario, on parle de « radioactivité artificielle » pour désigner la radioactivité due à des sources produites par les activités humaines : éléments transuraniens synthétiques,

concentrations artificiellement élevées de matières radioactives, production artificielle de rayonnement Gamma (dans un accélérateur de particules par exemple) ou de rayons X (radiographies). Physiquement, il s'agit exactement du même phénomène.

Nature de la source	Exposition humaine à la radioactivité selon l'OMS^[3] : mSv par personne et par an	Radioactivité naturelle en %	Radioactivité artificielle en %
Radon (gaz radioactif naturel souvent présent dans les rez-de-chaussée)	1,3	42%	
Irradiation d'origine médicale (Radiographies, scanners, radiothérapies...)	0,6		20%
Éléments absorbés par alimentation (essentiellement du potassium 40 contenu naturellement dans les aliments)	0,5	16%	
Rayonnement cosmique	0,4	13%	
Rayonnement interne	0,2	6%	
Autres origines artificielles sauf énergie nucléaire civile (industries minières diverses, retombées atmosphériques des essais militaires, instruments de mesure, certains procédés industriels tels la radiographie de soudures...)	0,1		3%
Energie nucléaire civile	0,01		0,3%
Total	3,1	77%	23%

Selon une Etude de Billon S. et Al^[4], l'exposition naturelle à la radioactivité représenterait environ 2,5 mSv sur un total de 3,5. Cette dose peut varier de 1 à 40 mSv, selon l'environnement géologique et les matériaux d'habitation. Il y a aussi le rayonnement interne du corps : La radioactivité naturelle des atomes de notre corps se traduit par environ 8 000 désintégrations par seconde (8 000 Bq). Ce taux est principalement du à la présence de carbone 14 et de potassium 40 dans notre organisme.

Radioactivité naturelle

Radioactivité tellurique

Le rayonnement tellurique dû aux radionucléides présents dans les roches (uranium, thorium et descendants) est d'environ 0,50 mSv par an en France ^[5]. Il peut cependant être bien plus important dans certaines régions où la roche est très concentrée en uranium (régions granitiques comme la Forêt-Noire en Allemagne ou la Bretagne et le Massif central en France) ou en thorium (Région du Kérala en Inde).

Radon

A ce rayonnement s'ajoute la présence d'un gaz radioactif : le radon. Il est responsable à lui seul de la plus grande part de l'exposition humaine moyenne à la radioactivité : 42% du total. Il est issu de la décomposition de l'uranium naturellement contenu dans les sols. Dans les régions où la concentration en uranium dans la roche est élevée, il est souvent présent dans les habitations peu ventilées, ou construites sur des sols à fort dégagement de radon (rez-de-chaussée, maisons, caves). Il entraîne alors une exposition interne conséquente à cause de ces descendants à vie courte (dont fait notamment partie le polonium).

La radioactivité du radon est la deuxième source de décès par cancer du poumon en France juste derrière le tabac ^[6].

Rayons cosmique

- La Terre est en permanence soumise à un flux de particules primaires de haute énergie en provenance de l'espace et du soleil, les rayons cosmiques. Le champ magnétique terrestre (la Ceinture de Van Allen) dévie la majeure partie d'entre elles. L'atmosphère n'absorbant qu'une partie de ces particules de haute énergie, une fraction de celle-ci atteint le sol, voire, traverse les couches rocheuses.
- Ce rayonnement extraterrestre, par un phénomène de spallation à partir des noyaux plus lourds présents dans la haute atmosphère, entraîne la production de rayonnements et de particules ionisantes secondaires ou tertiaires (neutrons, électrons, alpha, ions ...). Ce phénomène est à l'origine, entre autre, de la production de radionucléides cosmogéniques sur notre planète tels que le carbone 14.

La part due au rayonnement cosmique représente environ 0,32 nGy/h ^[7] au niveau de la mer. Cette valeur varie en fonction de la latitude et de l'altitude, elle double à 1 500 m d'altitude.

Radioactivité artificielle

L'activité humaine est une autre source majeure de rayonnements ionisants. Principalement, pour 20% du total des expositions humaines à la radioactivité, par les activités médicales : production de radionucléides par cyclotron (pour les scintigraphies et TEP par exemple). Le reste, représentant 3% du total des expositions humaines, est produit, par ordre d'importance, par :

- Les industries minières diverses (exemple: centrales à charbon)
- L'armée : retombées d'essais nucléaires, bombes nucléaires
- L'Energie nucléaire civile (0,3% du total des expositions) : émissions, fuites et production de déchets nucléaires.

- Accidents : Tchernobyl
- La Recherche : Recherche en physique des particules (CERN par exemple)

Note : L'imagerie médicale au moyen de rayons X produit la plus forte dose d'exposition de l'homme aux rayonnements ionisants. On ne parle cependant pas de radioactivité car les rayons X ne sont pas issus de réactions nucléaires du noyaux mais d'excitation électronique de l'atome

Radioprotection

Risque sanitaire



Nouveau symbole lancé par l'AIEA représentant un danger de mort ou de dommages sérieux.

Une substance radioactive doit être repérée par le symbole ☣ (Unicode 2622, UTF-8 E2 98 A2).

Les conséquences de la radioactivité sur la santé sont complexes. Le risque pour la santé dépend non seulement de l'intensité du rayonnement et la durée d'exposition, mais également du type de tissu concerné — les organes reproducteurs sont 20 fois plus sensibles que la peau. Les effets sont différents selon le vecteur de la radioactivité :

- exposition à des rayonnements ionisants par une source radioactive à distance
- contamination radioactive si l'on avale ou l'on respire un produit radioactif

Les normes internationales, basées sur les conséquences épidémiologiques de l'explosion des bombes d'Hiroshima et Nagasaki, partent du principe que le risque pour la santé est proportionnel à la dose reçue et que *toute dose de rayonnement comporte un risque cancérigène et génétique* (CIPR 1990).

La réglementation pour la protection contre les radiations ionisantes est basée sur trois recommandations fondamentales :

1. *Justification* : on ne doit adopter aucune pratique conduisant à une irradiation à moins qu'elle ne produise un bénéfice suffisant pour les individus exposés ou pour la société, compensant le préjudice lié à cette irradiation.
2. *Optimisation* : l'irradiation doit être au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre.

3. *Limitation de la dose et du risque individuels* : aucun individu ne doit recevoir des doses d'irradiation supérieures aux limites maximum autorisées.

De récentes études de l'IRSN ont montrées que les effets de la contamination radioactive chronique, même à des faibles doses, ne sont pas négligeables, et pourraient provoquer différentes pathologies atteignant certaines fonctions physiologiques (système nerveux central, respiration, digestion, reproduction). [1]

Dose radiative

L'environnement naturel émet un rayonnement inférieur $0,00012 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$. L'exposition peut devenir dangereuse à partir de $0,002 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$, selon le temps auquel on y est soumis.

Les doses actuellement tolérées dans les différents secteurs contrôlés des centrales nucléaires françaises sont

- zone bleue : de $0,0025$ à $0,0075 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$
- zone verte : de $0,0075$ à $0,02 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$
- zone jaune : de $0,02$ à $2 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$
- zone orange : de 2 à $100 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$
- zone rouge : $> 100 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$

Dose équivalente

La **dose équivalente** est la mesure de dose cumulée d'exposition continue aux radiations ionisantes durant une année, avec des facteurs de pondération. Jusqu'en 1992, les doses équivalentes n'étaient pas mesurées de la même façon en Europe et aux États-Unis ; aujourd'hui ces doses sont standardisées.

La dose cumulée d'une source radioactive artificielle devient dangereuse à partir de 500 mSv (ou 50 rem), dose à laquelle on constate les premiers symptômes d'altération sanguine. En 1992, la dose équivalente maximale (dem) pour une personne travaillant sous rayonnements ionisants était fixée à 15 mSv sur les 12 derniers mois en Europe (CERN et Angleterre) et à 50 mSv sur les 12 derniers mois aux États-Unis. Depuis août 2003, la dem est passée à 20 mSv sur les 12 derniers mois.

Lors d'un scanner médical, le patient reçoit une dose de $0,05 \text{ mSv}$ à 15 mSv suivant les organes. Pour éviter tout symptôme d'altération sanguine, on se limite à un maximum de trois examens de ce type par an.

Radioprotection

Irradiation

En France, la réglementation fixe les limites annuelles de radiation à 20 mSv (2 rem) pour les travailleurs et à 1 mSv ($0,1 \text{ rem}$) pour la population.

Les facteurs qui protègent des radiations sont :

- Distance (éviter de mettre la tête sur la source),

- Activité (réduire au mieux le ddd),
- Temps (rester le moins longtemps près de la source),
- Écran (plomber, immerger, bétonner, ... la source).

Certains comportements sont susceptibles d'entraîner une surexposition à la radioactivité : un patient qui effectue 5 radiographies aux rayons X subit une dose d'environ 1 mSv ; les passagers et les pilotes des avions de ligne, et les astronautes en orbite, subissent aussi de l'ordre d'1 mSv lors d'une éruption solaire très intense. S'ils répètent ces voyages ou effectuent des missions de longues durées, une exposition prolongée accroît le risque d'irradiation.

Contamination radioactive

En zone contaminée par des poussières radioactives, on se protège par une hygiène très stricte : nettoyage des surfaces de travail, précautions pour éviter de soulever la poussière, tenues de protection

Alimentation

La Communauté européenne a fixé des doses de radioactivité à ne pas dépasser dans les aliments : le lait ne doit pas dépasser 500 Bq/l pour l'iode 131. Dans certains länder allemands, les normes sont beaucoup plus sévères (100 Bq/l en Sarre, 20 Bq/l en Hesse et Hambourg).

Principaux éléments radioactifs

- curium ^{242}Cm et ^{244}Cm
- américium ^{241}Am
- plutonium ^{239}Pu et ^{241}Pu
- uranium ^{235}U et ^{238}U
- thorium ^{234}Th
- radium ^{242}Ra
- polonium ^{210}Po
- césium ^{134}Cs , ^{135}Cs et ^{137}Cs
- iode ^{129}I , ^{131}I et ^{133}I
- antimoine ^{125}Sb
- ruthénium ^{106}Ru
- strontium ^{90}Sr
- krypton ^{85}Kr et ^{89}Kr
- sélénium ^{75}Se
- cobalt ^{60}Co
- chlore ^{36}Cl
- soufre ^{35}S
- phosphore ^{32}P
- carbone ^{14}C ^{13}C
- tritium ^3H