**IV. La radioactivité**

**Définition** : La **radioactivité** est le [phénomène physique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nom%C3%A8ne_physique) par lequel des [noyaux atomiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Noyau_atomique) instables (dits radionucléides ou [radioisotopes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radioisotope" \o "Radioisotope)), se transforment spontanément en d'autres atomes [(désintégration)](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9sint%C3%A9gration_radioactive) en émettant simultanément des particules de matière ([électrons](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectron), [noyaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Noyau_atomique) d'[hélium](https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lium_4), [neutrons](https://fr.wikipedia.org/wiki/Neutron), etc.) et de l'[énergie](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_(physique)) ([photons](https://fr.wikipedia.org/wiki/Photon) et [énergie cinétique](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_cin%C3%A9tique)). La radioactivité a été découverte en [1896](https://fr.wikipedia.org/wiki/1896) par [Henri Becquerel](https://fr.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel) dans le cas de l'[uranium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Uranium), et très vite confirmée par [Marie Curie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie) pour le [radium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radium).

L'émission de particules matérielles et immatérielles est appelée rayonnement, et l'énergie des particules est suffisante pour entraîner l'ionisation de la matière traversée, d'où le nom de [**rayonnements ionisants**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnements_ionisants). On distingue classiquement les **rayons α** constitués de noyaux d'hélium (également appelés [particules α](https://fr.wikipedia.org/wiki/Particule_%CE%B1)), les **rayons β** constitués d'électrons ([particules β](https://fr.wikipedia.org/wiki/Particule_%CE%B2)) et les [**rayons γ**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_%CE%B3)constitués de [photons](https://fr.wikipedia.org/wiki/Photon), auxquels il faut ajouter les neutrons qui dérivent des [fissions spontanées](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fission_spontan%C3%A9e).

**Origines**

1. **Origines naturelles**

* La principale source de radioactivité est représentée par les [radioisotopes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radioisotope" \o "Radioisotope) existants dans la nature et produits lors des explosions des [supernovas](https://fr.wikipedia.org/wiki/Supernova). On trouve des traces de ces éléments radioactifs et de leurs descendants dans tout notre [environnement](https://fr.wikipedia.org/wiki/Environnement) : un roc de [granite](https://fr.wikipedia.org/wiki/Granite) contient des traces d'[uranium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Uranium) qui, en se désintégrant, émettent du [radon](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radon).
* Les isotopes qui ont subsisté depuis la formation de notre [système solaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_solaire) sont ceux dont la [période radioactive](https://fr.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9riode_radioactive) est très longue : pour l'essentiel, l'[uranium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Uranium) et le [thorium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thorium) et ne constituent généralement pas un danger important en termes de [radiotoxicité](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiotoxicit%C3%A9" \o "Radiotoxicité) .
* Le rayonnement tellurique dû aux radionucléides présents dans les roches ([uranium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Uranium), [thorium](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thorium) et descendants).
* Au rayonnement dû aux éléments de longue durée de vie s'ajoute celui des radioisotopes qui forment leur [chaîne de désintégration](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cha%C3%AEne_de_d%C3%A9sint%C3%A9gration). Ces éléments sont généralement à demi-vie beaucoup plus courte. Parmi ces descendants il faut citer la présence d'un gaz radioactif [**dense**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Densit%C3%A9)**: le**[**radon**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radon). Du fait de sa volatilité, il est susceptible de migrer dans l'atmosphère et est ainsi 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 désintégration 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).
* D'autre part, la [Terre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre) est en permanence soumise à un flux de particules primaires de haute énergie en provenance essentiellement de l'[espace](https://fr.wikipedia.org/wiki/Espace_(cosmologie)) et (en bien moindre mesure) du [Soleil](https://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil) : les [rayons cosmiques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_cosmique).

1. **Origine artificielle**

L'activité humaine est une autre source majeure de [rayonnements ionisants](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant). Principalement, pour 20 % du total des expositions humaines à la radioactivité, par les activités médicales : production de radionucléides par [**cyclotron**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cyclotron)(pour les [scintigraphies](https://fr.wikipedia.org/wiki/Scintigraphie) par exemple). Le reste, représentant 3 % du total des expositions humaines, est produit, par ordre d'importance, par :

* diverses [industries minières](https://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie_mini%C3%A8re), [centrales](https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_thermique) au charbon ;
* l'armée : retombées d'[essais nucléaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_nucl%C3%A9aire), [bombes nucléaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bombe_nucl%C3%A9aire) ;
* l'[énergie nucléaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_nucl%C3%A9aire) civile (0,3 % du total des expositions) : émissions, fuites et production de [déchets radioactifs](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9chet_radioactif) ;
* accidents : [catastrophe nucléaire de Tchernobyl](https://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_nucl%C3%A9aire_de_Tchernobyl), [accident nucléaire de Fukushima](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_nucl%C3%A9aire_de_Fukushima) ;
* la recherche : recherche en physique des particules (par exemple au [**CERN**](https://fr.wikipedia.org/wiki/CERN)en Suisse ou au [**GANIL**](https://fr.wikipedia.org/wiki/GANIL) en France).

C'est l'[**imagerie médicale**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_m%C3%A9dicale) au moyen de [**rayons X**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_X) qui produit la plus grande part de l'exposition artificielle aux rayonnements ionisants. On ne parle cependant pas de radioactivité car les rayons X ne sont pas issus de [réactions nucléaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9action_nucl%C3%A9aire) mais d'[excitation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Excitation_(physique)) électronique de l'atome*.*

**Tableau 1 : Sources et expositions humaines à la radioactivité**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nature de la source** | **Exposition humaine à la radioactivité selon l'**[**OMS**](https://fr.wikipedia.org/wiki/OMS) | | |
| **mSv par personne et par an** | **Radioactivité naturelle en %** | **Radioactivité artificielle en %** |
| [**Radon**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radon) (gaz radioactif naturel dense souvent présent dans les rez- de- chaussées) | 1,3 | 42 % |  |
| **Irradiation d'origine médicale** ([radiographies](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiographie), [scanners](https://fr.wikipedia.org/wiki/Scanner_corporel), [radiothérapies](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radioth%C3%A9rapie), etc.) | 0,6 |  | 20 % |
| **Éléments absorbés par**[**alimentation**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Alimentation) (essentiellement du [potassium 40](https://fr.wikipedia.org/wiki/Potassium_40) contenu naturellement dans les aliments) | 0,5 | 16 % |  |
| [**Rayonnement cosmique**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_cosmique) | 0,4 | 13 % |  |
| **Rayonnement interne** | 0,2 | 6 % |  |
| **Autres origines artificielles sauf**[**énergie nucléaire**](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_nucl%C3%A9aire)**civile**([industries minières](https://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie_mini%C3%A8re" \o "Industrie minière) diverses, retombées atmosphériques des [essais nucléaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_nucl%C3%A9aire) militaires, instruments de mesure, certaines méthodes de mesure industrielles. | 0,1 |  | 3 % |
| [**Énergie nucléaire**](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_nucl%C3%A9aire)**civile** | 0,01 |  | 0,3 % |
| **Total** | **3,1** | **77 %** | **23 %** |

NB : Il existe aussi le rayonnement interne du corps : la radioactivité naturelle des atomes du [corps humain](https://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_humain) se traduit par environ 8 000 désintégrations par seconde (8 000 Bq). Ce taux est principalement dû à la présence de [carbone 14](https://fr.wikipedia.org/wiki/Carbone_14) et de [potassium 40](https://fr.wikipedia.org/wiki/Potassium_40) dans notre organisme.

### Substances radioactives

### Une substance radioactive doit être repérée par le symbole ☢ ([Unicode](https://fr.wikipedia.org/wiki/Unicode) 2622, [UTF-8](https://fr.wikipedia.org/wiki/UTF-8) E2 98 A2). Une « substance radioactive » au sens réglementaire est une substance qui contient des radionucléides, naturels ou artificiels, dont l'activité ou la concentration justifie un contrôle de radioprotection.

### Gestion des risques sanitaires

### 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 ([loi de Bergonié et Tribondeau](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_de_Bergoni%C3%A9_et_Tribondeau&action=edit&redlink=1) ou [loi de la radiosensitivité](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_de_la_radiosensitivit%C3%A9&action=edit&redlink=1)). Les effets sont différents selon le vecteur de la radioactivité :

* exposition à des [rayonnements ionisants](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnements_ionisants) par une source radioactive à distance ;
* [contamination radioactive](https://fr.wikipedia.org/wiki/Contamination_radioactive) si par exemple l'on ingère ou inhale un produit radioactif.

Les normes internationales, basées sur les conséquences épidémiologiques de l'[explosion des bombes d'Hiroshima et Nagasaki](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bombardements_atomiques_de_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](https://fr.wikipedia.org/wiki/CIPR) 1990).

De récentes études s'intéressent aux effets de la contamination radioactive chronique, qui même à des faibles doses, pourraient ne pas être négligeables, et pourraient provoquer différentes pathologies atteignant certaines fonctions physiologiques (système nerveux central, respiration, digestion, reproduction). Mais cette vision est contestée, et d'autres acteurs, dont notamment l'Académie de médecine, estiment au contraire que ces craintes sont inutiles.

### Dose radiative : Le principe retenu en radioprotection est de maintenir l'exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. Pour faciliter cette optimisation, les sites français exposés aux radiations ionisantes sont organisés en zones dont l'accès est plus ou moins restreint. Ces zones sont délimitées par les débits de doses suivants:

* zone bleue : d'environ 2,5 à 7,5 μSv/ h ;
* zone verte : de 7,5 à 25 μSv/ h ;
* zone jaune : de 25 μSv/ h à 2 mSv/ h ;
* zone orange : de 2 à 100 mSv/ h ;
* zone rouge : > 100 mSv/ h

Le débit de dose dont on est certain qu'il produit des effets biologiques dangereux se situe à partir de 1 mSv/ h, c'est-à-dire en « zone jaune ». Les effets varient selon le temps auquel on y est soumis. Les effets statistiquement observables apparaissent pour des doses cumulées supérieures à 100 mSv, soit un stationnement de plus de 50 h (une semaine à plein temps) en zone jaune. Cette exposition peut être atteinte en 1 h en « zone orange ».

### 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](https://fr.wikipedia.org/wiki/Europe) et aux [États-Unis](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tats-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 efficace (E) maximale 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 dose efficace maximale est passée à 20 mSv sur les 12 derniers mois.

Lors d'un [scanner](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radiographie) médical, le patient peut par exemple recevoir une dose *moyenne* de 0,05 mSv (examen local), de 25 mSv (scanner du crâne) ou de 150 mSv (scanner du corps entier). Pour éviter tout symptôme d'altération sanguine, on se limite à un maximum de trois examens d'organe par an.

**Conséquences sur la santé**

Les effets sur un organisme vivant d'une exposition aux rayonnements ionisants ([irradiation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Irradiation)) dépendent du niveau et de la durée de l'exposition (aiguë ou chronique), de la nature du [rayonnement](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement) ainsi que de la localisation de la radioactivité (exposition externe, interne, en surface, etc.).

Mi-2011 après l'[accident nucléaire de Fukushima](https://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_nucl%C3%A9aire_de_Fukushima) et à l’occasion d'une Conférence internationale de **[radioécologie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radio%C3%A9cologie" \o "Radioécologie)** et de radioactivité environnementale le 20 juin 2011 à Hamilton (Canada), huit organismes de recherche européens, avec le soutien de la [Commission européenne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Commission_europ%C3%A9enne), ont créé une *Alliance européenne en radioécologie* pour mieux intégrer la recherche en radioécologie.

En zone contaminée par des poussières radioactives, on se protège par une hygiène très stricte : confinements ; tenue étanche ventilée (TEV), heaume ventilé avec surtenue, et/ou autres protections ; nettoyage des surfaces de travail ; précautions pour éviter de soulever la poussière.

Les rayonnements ionisants (ou radiations ionisantes) sont classés **cancérogènes avérés** pour l’homme (groupe 1 du *CIRC*).  Ils peuvent avoir **deux types d’effets**:

* **des effets à court terme** et systématiques à partir d’une certaine dose, qui résultent toujours d’un accident (on parle d'**effets déterministes**) comme par exemple aux abords de la centrale de Tchernobyl. Le délai d’apparition de ces effets après l’exposition varie de quelques heures à quelques mois.
* effets à plus long terme et non systématiques, comme le risque de cancer (on parle alors d'**effets aléatoires**).

#### Le syndrome d’irradiation aigüe

Il est exceptionnel et toujours accidentel. Il peut s’agir soit d’un accident nucléaire (comme celui de Tchernobyl par exemple), soit d’un accident radiologique (irradiations industrielles, médicales, de recherche). Les symptômes initiaux de l’irradiation aiguë de l’ensemble du corps sont : nausée, vomissement, diarrhée, fièvre, céphalée, érythème. Le premier indicateur de sévérité du syndrome est un faible délai d’apparition, l’intensité et la durée de ces symptômes. Ce syndrome est observé à partir de doses supérieures à 1 Gray (Gy), soit approximativement 1000 mSV. Ces doses entraînent, dans les semaines qui suivent, une destruction plus ou moins importante des cellules de la moelle osseuse (aplasie médullaire). Celle-ci est à l’origine d’une diminution du nombre de globules sanguins et de troubles de la coagulation. Ce syndrome d’atteinte de la moelle osseuse exige des soins adaptés : transfusion, facteur de croissance, greffe.  
A partir de 4 Gy, on sait que 50% des personnes irradiées vont mourir (c’est la DL50). Au-delà de 10 à 12 Gy, toute thérapeutique est vaine, car il apparaît alors d’autres syndromes, tels que l’atteinte irréversible du système digestif ou du système nerveux central (*IRSN*).

#### Le risque de cancer - Effets à long terme (aléatoires)

Sur le long terme, du fait d’altérations subies au niveau de la cellule, l’exposition à des rayonnements ionisants peut conduire à l’apparition de cancers secondaires chez les personnes irradiées. C’est pourquoi certaines populations comme les survivants **d’Hiroshima et de Nagasaki**, ou les personnes qui travaillent avec des matériaux radioactifs comme les travailleurs des mines d’uranium ont développé plus de cancers que les personnes qui n’ont pas subi d’irradiation. Ces effets, peuvent se révéler plusieurs années, voire plusieurs dizaines d’années après l’irradiation. Cependant toutes les personnes touchées ne développent pas de cancer : cela n’est qu’un risque. La fréquence dépend en partie de la dose reçue (plus la dose est importante, plus le risque de développer un cancer est fort). Actuellement, on ne sait pas distinguer un cancer provoqué par des rayonnements ionisants d’un cancer qui a une autre origine. En outre, on a remarqué que la gravité d’un cancer n’est pas liée à la dose reçue ; il n’y a pas de dose minimale connue correspondant à l’apparition d’un cancer.  
En juin 2009, le *CIRC* a réuni un groupe de travail afin d’estimer la cancérogénicité de différents types de rayonnements et pour identifier les localisations cancéreuses correspondantes. Les rayonnements suivants ont été classés dans le Groupe 1 par le CIRC :

* Rayonnements ionisants :
  + Emetteurs de particules alpha
  + Emetteurs de particules bêta
  + Rayons X et rayons gamma
  + Rayonnement neutronique
  + Rayonnement solaire
* Rayonnement ultra-violet (100-400 *nm* de longueur d’onde, comprenant UVA, UVB et UVC)