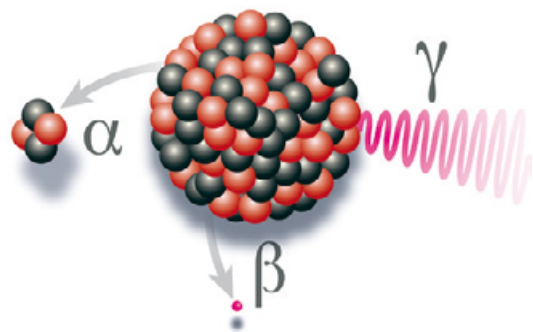


2. Rayonnements ionisants - notions fondamentales



© Graphies.thèque-Fotolia.com

2.1. Manifestations de la radioactivité

Les éléments radioactifs, d'origine naturelle ou artificielle, sont caractérisés par l'instabilité de leur noyau. Elle se manifeste par l'émission de particules (α , β , neutrons) ou de photons (X , γ) qui constituent les rayonnements ionisants, détectables uniquement par des appareils appropriés.

Ces rayonnements ont la propriété d'ioniser la matière, contrairement aux autres rayonnements électromagnétiques tels que la lumière visible, les rayons infrarouges ou les micro-ondes.

Type de rayonnements	Longueur d'onde
Rayonnements ionisants électromagnétiques : γ , X	$\lambda < 100 \text{ nm}$
Rayonnements ultraviolets	$100 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$
Lumière visible	$400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$
Infrarouge	$800 \text{ nm} < \lambda < 10^4 \text{ nm}$
Hyperfréquence	$0,1 \text{ mm} < \lambda < 10 \text{ m}$
Ondes radio	$10 \text{ m} < \lambda < 10^4 \text{ m}$

Tableau 1 Longueur d'onde des rayonnements ionisants et non ionisants ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

2.2. Grandeurs et unités

2.2.1. Activité

L'activité A d'une source radioactive est liée au nombre de noyaux susceptibles de se transformer. Elle est définie par la relation $A = \lambda N$ où N représente le nombre de noyaux ($N = \frac{N_A \cdot m}{M}$) et λ la constante de radioactivité.

$$\lambda = 0,693 / T_{1/2}$$

N_A représente le nombre d'Avogadro,

m représente la masse de l'échantillon.

M représente la masse molaire du radionucléide.

L'unité est le becquerel (Bq) :

Bq = 1 désintégration par seconde.

Cette unité étant très petite, l'activité s'exprime en multiples du becquerel :

- kilobecquerel (kBq) = 10^3 Bq
- mégabecquerel (MBq) = 10^6 Bq
- gigabecquerel (GBq) = 10^9 Bq
- térabecquerel (TBq) = 10^{12} Bq

Le curie (Ci), ancienne unité de radioactivité, ne doit plus être utilisé. Il correspond à l'activité de 1 gramme de radium 226. La relation entre ces deux unités est donnée par la formule suivante : $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$, soit $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

2.2.2. Période radioactive

La période radioactive ou temps de demi-vie $T_{1/2}$ est le temps au bout duquel l'activité de la source a diminué de moitié. Elle est liée à la constante radioactive λ par la formule :

$$\text{Temps de demi-vie} = T_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Après n périodes, l'activité A_0 est divisée par 2^n .

Radionucléides à période courte (<100 jours)	^{99m} Tc	³² P	¹²⁵ I	³⁵ S
	6,02 heures	14,3 jours	59,4 jours	87,5 jours

Radionucléides à période longue	⁶⁰ Co	³ H	¹³⁷ Cs	⁶³ Ni	¹⁴ C	⁴⁰ K
	5,27 ans	12,3 ans	30 ans	100 ans	5730 ans	1,3.10 ⁷ ans

Tableau 2 Périodes radioactives de quelques radionucléides

2.2.3. Énergie

Elle s'exprime en électronvolts (eV) ou ses multiples (keV, MeV, ou GeV)

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$$

Les énergies émises par des radionucléides sont très variées, allant de quelques keV (18,6keV pour le tritium) à plusieurs MeV.

L'énergie moyenne d'une particule β représente environ le tiers de son énergie maximale.

2.2.4. Dose absorbée

La pénétration des rayonnements ionisants dans la matière se traduit par une cession d'énergie.

La dose absorbée D est le rapport :

$$D = \frac{\text{Énergie absorbée par la matière (joule)}}{\text{Masse de matière irradiée (kg)}}$$

L'unité de dose absorbée est le Gray (Gy) :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

Le débit de dose absorbée s'exprime en Gy.h⁻¹.

En pratique, on utilise les sous-multiples mGy.h⁻¹ et μ Gy.h⁻¹.

2.3. Interaction avec la matière

Les radionucléides utilisés couramment émettent des rayonnements dont l'énergie se situe généralement dans l'intervalle 10 keV et 10 MeV.

On distingue :

- les particules chargées légères (e⁺, e⁻ et spectre d'électrons du rayonnement β) ou lourdes (protons, α , ions accélérés).

- les rayonnements électromagnétiques X et γ , constitués de photons issus du cortège électronique pour les X, et du noyau de l'atome pour les γ .
- les neutrons, particules lourdes non chargées pouvant donner lieu à des activations de la matière stable (transformation en radionucléide par irradiation de haute énergie).

2.3.1. Les particules chargées

a) Particules chargées légères

Leur trajectoire est sinueuse.

Le parcours moyen est relativement limité. Il dépend de l'énergie de la particule et de la densité en électrons de la matière traversée. On parle plutôt de portée des électrons, qui est la projection du parcours sur la direction 2π avant.

→ Pour les tissus humains de masse volumique 1 g/cm³, cette portée moyenne est inférieure à 7 microns pour les β du tritium par exemple. Elle est de l'ordre de 0,3 mm pour le ¹⁴C.

→ La pénétration des β de faible énergie (énergie maximale inférieure à 200 keV) est souvent considérée comme négligeable au regard de l'exposition externe. Dans le cas de l'exposition interne, il n'en est pas de même au niveau cellulaire.

Le pouvoir d'arrêt d'un milieu pour une particule chargée légère est la résultante de deux types de phénomènes :

→ La collision : le choc avec les électrons de ce milieu aboutit soit à arracher un ou plusieurs électrons à l'atome (production d'un ion positif), soit à déplacer un électron, auquel cas on parle d'atome excité (tous les électrons sont présents mais pas tous à la bonne place). La réorganisation du cortège électronique conduit à l'émission de raies X mono-énergétiques et à de l'énergie dégradée sous forme de chaleur ou de luminescence, par exemple, dans le cas de la désexcitation de l'atome.

→ Le freinage : il résulte de la modification de la trajectoire de l'électron au voisinage du noyau positif. Toute particule chargée, soumise à une accélération, émet un rayonnement électromagnétique. La perte de l'énergie de l'électron incident se retrouve sous forme d'un rayonnement X, dit « bremsstrahlung » (de l'allemand brems = freins et strahlung = rayonnement). Cette émission n'est pas mono-énergétique mais se répartit sous forme d'un spectre continu allant de 0 à l'énergie initiale de la particule incidente. Son intensité croît en fonction de l'énergie de la particule et du numéro atomique de la matière traversée.

L'énergie totale de la particule incidente se partage dans des proportions variables entre collision et freinage.

En conséquence, pour arrêter ces particules, il convient d'utiliser un matériau de faible numéro atomique, comme le plexiglas (cas du ^{32}P dont

$E_{\text{max}} = 1,7 \text{ MeV}$), de façon à limiter le rayonnement X dû au freinage.

b) Particules chargées lourdes

Leur trajectoire est rectiligne.

Le parcours des α est faible. Ainsi, les α ne présentent pas de risque d'exposition externe mais leur « pouvoir » d'ionisation élevé les rend très nocifs en cas d'incorporation par inhalation ou ingestion dans l'organisme.

Leur pouvoir d'ionisation est maximum en fin de parcours. Cette caractéristique permet de les utiliser dans des applications médicales avec des accélérateurs de particules dont l'énergie est réglée pour délivrer une dose maximale à une profondeur déterminée (hadronthérapie).

La **fiche 1** présente ces notions de portée.

2.3.2. Les rayonnements électromagnétiques X et γ (photons)

Ils interagissent de trois manières avec la matière.

a) L'effet photoélectrique

Le photon disparaît et communique à l'électron heurté toute son énergie, diminuée de l'énergie de liaison de la couche électronique concernée.

b) L'effet Compton

Le photon ne disparaît pas après le choc, mais son énergie et sa direction sont modifiées. L'électron dit « Compton » emporte un certain quantum d'énergie. Il peut arriver que le photon retourne

en arrière à 180° (phénomène de rétrodiffusion). Son énergie est alors limitée à $0,255 \text{ MeV}$, quelle que soit celle du photon incident. Dans ces deux cas, l'atome reste ionisé. Les électrons arrachés provoquent des lacunes dans les couches profondes. La réorganisation électronique qui s'ensuit est à l'origine de l'émission de raies X discrètes, caractéristiques de l'élément.

c) L'effet de matérialisation

Au voisinage du noyau, le photon disparaît et donne naissance à une paire d'électrons e^+ et e^- . Cette création de matière nécessite un équivalent énergétique de deux fois $0,511 \text{ MeV}$. Pour provoquer ce phénomène, il faut donc que le photon incident possède au minimum une énergie de $1,02 \text{ MeV}$. L'énergie excédentaire sert à communiquer de la vitesse aux électrons ainsi créés. Dès qu'il sera suffisamment ralenti, l'électron positif (antimatière) va se recombiner avec un électron du milieu. Cette annihilation donnera naissance à deux γ de $0,511 \text{ MeV}$, émis à 180° .

2.3.3. Les neutrons

Ces particules ne possèdent pas de charge électrique, ce qui leur permet de pénétrer aisément à l'intérieur du noyau. On distingue différentes réactions :

a) La réaction élastique

L'énergie cinétique est conservée. Le transfert d'énergie est maximal quand les masses des particules sont identiques. Les matériaux riches en protons (eau, béton, paraffine, polyéthylène...), dont la masse est voisine de celle du neutron,

constituent donc des ralentisseurs efficaces pour les neutrons. Les protons ainsi mis en mouvement peuvent créer des ionisations.

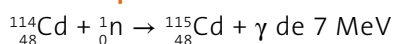
b) La réaction inélastique

L'énergie cinétique n'est pas conservée. Le neutron pénètre dans le noyau qui émet alors un photon γ et un autre neutron d'énergie inférieure au neutron initial.

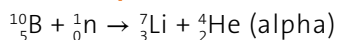
c) La capture radiative (neutrons lents ou thermiques d'énergie $< 0,025\text{eV}$)

Le neutron est capturé par le noyau qui devient instable et peut émettre des particules ionisantes (proton, α) ou des photons γ . Les neutrons peuvent donc rendre radioactifs des noyaux stables à l'origine.

► Exemple 1

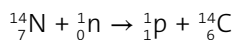


► Exemple 2



On dit que le bore est neutrophage. Sous forme d'acide borique, il peut être injecté dans le circuit primaire des réacteurs nucléaires pour arrêter la réaction en chaîne. Sous forme gazeuse (BF_3), il peut être utilisé dans des compteurs de neutrons (c'est alors la particule alpha qui est ionisante).

► Exemple 3



La production de ${}^{14}\text{C}$ est due à la réaction des neutrons cosmiques sur les premières couches de la troposphère.

2.3.4. Les écrans

Ce paragraphe est entièrement traité dans la **fiche 2**.

2.4. Types d'exposition et contamination

L'emploi des radionucléides peut provoquer une exposition externe, une exposition interne ou une contamination externe ou interne.

2.4.1. Types d'exposition

- **L'exposition externe** est provoquée par une source radioactive située à distance de l'individu. Cette source peut émettre des rayonnements qui interagissent avec le corps humain en créant des ionisations. L'exposition peut être globale ou partielle.

- **L'exposition interne** se produit lorsque les produits radioactifs ont pénétré dans l'organisme par inhalation, ingestion ou par voie cutanée (plaie par exemple). Ce phénomène d'incorporation conduit à l'exposition interne.

Les dégâts biologiques provoqués par une exposition interne ou externe sont de même nature. Lors d'une exposition interne, les caractéristiques physico-chimiques du radionucléide déterminent le tissu biologique sur lequel il se fixe. De sa période biologique (différente de sa période radioactive) dépend son élimination après métabolisation. La période effective (T_{eff}) est le temps pendant lequel le radionucléide pourra agir sur l'organisme. Elle est liée à la période radioactive (T_{rad}) et à la période biologique (T_{biol}) par la relation suivante :

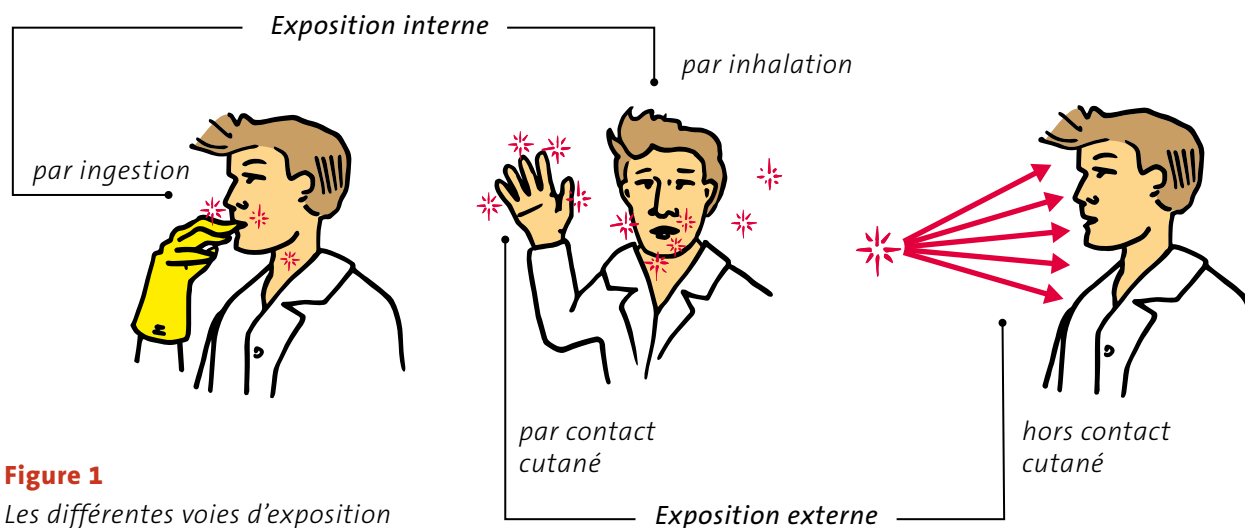


Figure 1

Les différentes voies d'exposition

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{rad}} + \frac{1}{T_{biol}} \rightarrow T_{eff} = \frac{T_{biol} \cdot T_{rad}}{T_{rad} + T_{biol}}$$

Exemple

Période effective de ^{125}I fixé sur la thyroïde

Sa période radiologique étant de 59,4 jours et sa période biologique de 138 jours, la période effective de ^{125}I pour cet organe est donc égale à 42 jours.

2.4.2. Contamination

La contamination est la présence indésirable de substances radioactives sur :

- les surfaces des locaux (murs, sols, plafonds),
- les surfaces de travail,
- les vêtements de travail et de protection,
- le corps humain.

Elle est souvent le résultat :

- d'une manipulation sans précaution de sources non scellées,
- d'une mauvaise pratique,
- d'un incident sur la source, scellée ou non
- d'un facteur externe lié aux autres sources de risques associés (chauffage, pompage, dépression, bain-marie, centrifugeuse, réactions chimiques...).

On distingue plusieurs types de contamination : surfacique, atmosphérique ou volumique, et corporelle.

a) La contamination surfacique

Elle peut présenter deux aspects :

- contamination dite « fixée » ou non labile, qui ne peut se disséminer mais peut engendrer une exposition externe. Elle est difficile à éliminer sans une action mécanique énergique.
- contamination « non fixée » ou labile, qui est facilement transférable par contact, par remise en suspension ou par production d'aérosols. Elle peut conduire à une contamination externe corporelle, à une contamination atmosphérique, et donc finalement à une contamination interne par incorporation de radionucléides dans l'organisme.

b) La contamination atmosphérique (ou volumique)

Elle conduit inéluctablement à une exposition interne de l'organisme par la voie de l'inhalation. Elle est souvent la conséquence d'une contamination labile. Sa concentration dans l'air doit être mesurée ou estimée en Bq/m^3 . Afin de pouvoir faire une estimation de l'activité incorporée, on prend comme valeur moyenne de débit respiratoire humain la valeur de $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ sur les lieux de travail.

Pour certains gaz et vapeurs, il faut tenir compte de l'exposition externe due à l'immersion dans un nuage.

c) La contamination corporelle

Il peut s'agir de :

- contamination externe, qui entraîne une exposition externe de la peau et éventuellement

une incorporation de radionucléide(s) à l'intérieur de l'organisme via la voie cutanée (percutanée et transcutanée) ou orale.

- contamination interne qui est due à l'incorporation de substances radioactives dans le corps, engendrant une exposition interne des différents tissus et compartiments. Elle décroît selon le métabolisme de l'organisme vis-à-vis de la forme physico-chimique sous laquelle se présente le radionucléide (période biologique) et de sa période radioactive.

2.5. Effets des rayonnements ionisants sur l'homme

2.5.1. Notions de dose

Pour quantifier les effets des rayonnements ionisants dans les tissus vivants, il faut déterminer une grandeur qui tienne compte de la qualité du rayonnement : c'est la dose équivalente, anciennement appelée équivalent de dose. Elle est exprimée en sievert (Sv) et est reliée à la dose absorbée par la relation :

Dose équivalente (E) = Dose absorbée (D) . W_R

où W_R est le facteur de pondération radiologique que la commission internationale de protection radiologique (CIPR) a défini pour chaque type de particule ou de rayonnement. De plus, la CIPR a défini, pour les principaux tissus de l'organisme, un facteur de pondération tissulaire W_T , qui introduit la notion de dose efficace comme étant le produit de la dose équivalente, corrigée par le facteur de pondération tissulaire.

Dose efficace (H) = Dose équivalente (E) . W_T

Les valeurs de W_R et W_T sont indiquées dans la **fiche 3**. La connaissance de la dose absorbée par un tissu biologique ainsi que des valeurs de W_R et W_T permet, à partir de l'irradiation partielle d'un tissu, de calculer la dose efficace reçue par tout l'organisme.

► Exemple

1 mGy de photons γ associé à 1 mGy de neutrons de 1 MeV induit une dose équivalente de :

$$1 \text{ mGy} \cdot 1 + 1 \text{ mGy} \cdot 20 = 21 \text{ mSv}$$

↓ ↓

W_R des γ W_R du neutron de 1 MeV
(20,69 selon mise à jour des valeurs
 W_R par la directive 2013/59)

Si cette dose équivalente est délivrée au poumon, la dose efficace correspondante pour l'organisme entier sera égale à :

$$21 \text{ mSv} \cdot 0,12 = 2,52 \text{ mSv}$$

↓

W_T poumon

2.5.2. Effets des rayonnements sur l'homme

Les effets des irradiations sur l'homme sont de deux types : déterministes ou aléatoires.

a) Effets déterministes (également appelés non aléatoires ou non stochastiques)

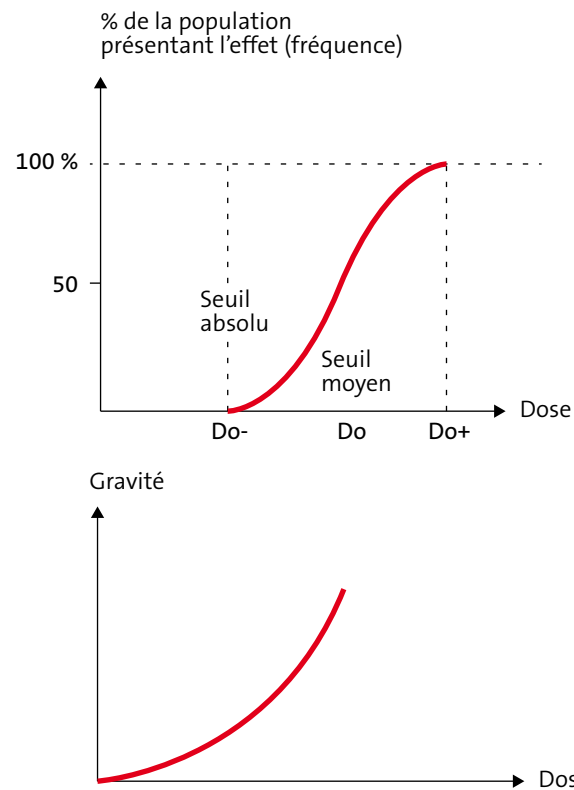


Figure 2 Effets déterministes en fonction de la dose

Ces effets ont les caractéristiques suivantes :

- ils sont observés aux fortes doses,
- ils apparaissent obligatoirement au-dessus d'un seuil qui varie suivant les individus,
- leur gravité augmente avec la dose reçue.

Des exemples de ces effets sont décrits dans la **fiche 4**, en fonction de la dose absorbée soit par l'organisme entier, soit par un tissu biologique particulier.

b) Effets aléatoires ou stochastiques

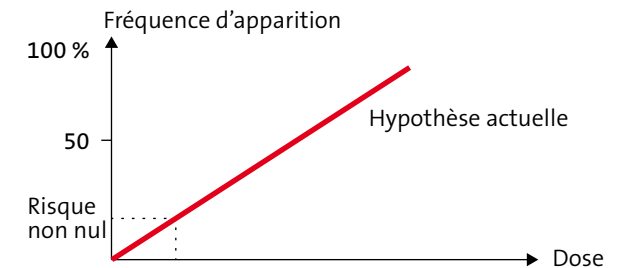


Figure 3 Effets aléatoires en fonction de la dose

Il s'agit d'effets cancérogènes ou mutagènes :

- observables ou prépondérants aux faibles doses (à fortes doses, ils sont masqués par les effets non aléatoires),
- irréversibles,
- pour des raisons de sécurité, et en l'absence de certitude scientifique, il est admis qu'il n'existe pas de dose seuil en dessous de laquelle ils ne se manifesteraient pas,
- dans une population exposée, ils apparaissent au hasard (tous les individus ne sont pas obligatoirement touchés),
- leur probabilité d'apparition dans une population croît avec la dose,
- leur gravité est indépendante du niveau d'exposition,
- leur temps d'apparition est long (quelques années à quelques dizaines d'années).

2.6. Exposition à la radioactivité d'origine naturelle et médicale

2.6.1. Radioactivité naturelle

Il existe quatre catégories de rayonnements ionisants d'origine naturelle.

a) Les rayonnements cosmiques

Ils sont multipliés par 2 quand l'altitude croît de 1 500 m :

à Paris	0,3mSv/an
à 1 500 m	0,6mSv/an
à 3 000 m	1,2mSv/an
à Quito (2 800 m)	1,6mSv/an
à La Paz (3 658 m)	2,7mSv/an
à 18 000 m	10mSv/heure
en cas d'éruption solaire	0,1 à 1mSv/heure au sol

b) Les rayonnements telluriques

Ils sont émis par les éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, tels que le thorium et l'uranium. Ils varient selon la nature des sols et sont plus élevés dans les massifs granitiques que dans les terrains sédimentaires.

à Paris	0,4mSv/an
en Bretagne	de 1,8 à 3,5mSv/an
à Kerala (Inde)	13mSv/an
au Brésil	5 à 10mSv/an

c) La radioactivité de l'air

Elle est principalement due au radon ^{222}Rn , gaz radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Son émission dans l'atmosphère ainsi que sa concentration vont dépendre des conditions météorologiques et des propriétés du sol (richesse en uranium ^{238}U et porosité). Dans les lieux fermés, la concentration va également dépendre des matériaux de construction et de la ventilation des locaux.

Le radon s'accumule dans les espaces clos et peu ventilés, notamment dans les bâtiments, grottes... Des campagnes de mesures d'activités volumiques du radon dans l'habitat ont été organisées par l'IRSN sur l'ensemble du territoire français. Les concentrations moyennes par département vont de 22 Bq/m³ (Paris) à 264 Bq/m³ (Lozère).

d) Les radionucléides présents dans le corps humain

Leur présence est due à l'ingestion d'aliments en contenant naturellement. Dans ce cas, l'exposition est due principalement au potassium ^{40}K : le corps humain (70 kg) contient 145 g de potassium dont 0,012 % est du ^{40}K , ce qui correspond à une activité de 4 428 Bq et à une dose efficace de 0,2 mSv/an. Mais il faut noter également la présence de carbone 14 (^{14}C) avec une activité de 3 500 Bq.

Activité ingérée chaque jour par une personne : 100 Bq de ^{14}C et 100 Bq de ^{40}K .

Au total, l'activité moyenne de l'organisme est donc d'environ 8 000 Bq pour une personne de 70 kg.

De façon générale, des éléments radioactifs sont présents dans pratiquement tout notre environnement.

Substances	Activité
Poisson	100 Bq/kg
Pomme de terre	100 à 150 Bq/kg
Huile de table	180 Bq/l
Lait	50 Bq/l (^{40}K)
	80 Bq/l (radioactivité naturelle totale)
Eau minérale	1 Bq/l (^{226}Ra)
	2 Bq/l (^{238}U)
Eau de pluie	0,3 à 1 Bq/l
Eau de l'Isère	0,3 Bq/l
Eau de mer	10 Bq/l
Sol sédimentaire	400 Bq/kg
Sédiments de l'Isère (^{40}K)	1 000 Bq/kg
Sol granitique	8 000 Bq/kg

Tableau 3 Activité naturelle de quelques substances

Type d'exposition	Dose en mSv
	moyenne
Cosmique (externe)	0,35
Tellurique (externe) ²³⁸ U, ⁴⁰ K, ²³² Th	0,4
Corps humain (interne) ⁴⁰ K, ¹⁴ C, ²³⁸ U, ²³² Th	1,6
Total	2,35

Tableau 4 Bilan de l'exposition naturelle

2.6.2. L'exposition d'origine médicale

Le **tableau 5** présente les doses moyennes délivrées lors de différents examens radiologiques.

Radiographie	Dose à la peau (mSv)	Dose équivalente (mSv)	Variations*
Thorax	0,7	0,1	[0.05-0.36]
Crâne	2	0,15	[0.13-1.35]
Abdomen	3	1,0	[0.3-4.5]
Urographie intraveineuse	20	3,5	[0.7-10.4]
Transit œsogastroduodéal	90	3,8	[1.2-9.4]
Lavement baryté	97	7,7	[4.6-10.2]
Scanner abdominal	-	2,6	-
Scanner thoracique	-	4,8	-

Tableau 5 Doses en fonction de l'examen réalisé

(*) Fourchette des estimations d'équivalent de dose efficace réalisées dans différents pays (d'après UNSCEAR).

2.7. Les principes de la radioprotection

La radioprotection, qui a pour objectif de prévenir et de limiter les risques sanitaires dus aux rayonnements ionisants quelles que soient leurs origines, constitue le socle sur lequel sont fondées les règles de prévention qui doivent être mises en place par l'employeur.

2.7.1. Principes fondamentaux de la radioprotection

Des valeurs limites d'exposition fixées par la réglementation sont associées aux principes fondamentaux suivants.

a) La justification

Toute activité entraînant une exposition aux rayonnements ionisants doit être justifiée par une analyse des avantages qu'elle procure sur le plan individuel ou collectif, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique.

b) L'optimisation

Le niveau d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, la probabilité de la survenue de cette exposition et le nombre de personnes exposées doivent être maintenus au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA : contraction de l'expression « As Low As Reasonably Achievable »), compte tenu de l'état des connaissances techniques, des facteurs économiques et sociétaux.

c) La limitation des expositions individuelles

Les expositions individuelles doivent être maintenues en dessous des limites pour lesquelles le risque est jugé acceptable.

Ces limites sont telles qu'elles permettent de :

- éviter tout effet pathologique, en se situant bien en dessous des seuils des effets déterministes,
- maintenir le détriment éventuel provoqué par les effets aléatoires à un niveau jugé acceptable pour l'individu et la société.

2.7.2. Valeurs limites d'exposition et catégories de travailleurs

Le cumul des expositions internes et externes pour les travailleurs exerçant une activité, même occasionnelle, en zones réglementées, ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans la **fiche 5**.

Ces valeurs limites sont déterminées en fonction des différentes catégories de personnels exposés.

Deux catégories de travailleurs ont été définies :

- la catégorie A regroupe les travailleurs susceptibles de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv/an ou une dose équivalente supérieure aux 3/10^e des limites annuelles fixées à l'article R. 4451-13 du Code du travail.
- la catégorie B regroupe les travailleurs ne relevant pas de la catégorie A qui sont susceptibles de recevoir annuellement une dose efficace supérieure à 1 mSv ou une dose équivalente supérieure au 1/10^e des limites fixées à l'article R. 4451-13 du Code du travail.

Nota bene

➤ Sont considérés comme non exposés les travailleurs ayant une activité en zone réglementée, mais non susceptible d'entraîner un dépassement de l'une des valeurs limites de dose fixées pour le public à l'article R. 1333-8 du Code de la santé publique, **quelles que soient les conditions de réalisation de l'opération, habituelles ou bien liées à un incident.**

Il existe des dispositions particulières à certaines catégories de travailleurs :

- les femmes enceintes ne peuvent être affectées à un poste nécessitant un classement en catégorie A. L'exposition de l'enfant à naître entre la déclaration de grossesse et l'accouchement doit être aussi faible que raisonnablement possible, et en tout état de cause inférieure à 1 mSv.
- les femmes allaitantes ne peuvent être affectées à un poste de travail comportant un risque d'exposition interne à des rayonnements ionisants.
- au CNRS, les jeunes âgés de 15 ans à moins de 18 ans ne doivent pas être exposés.
- les salariés titulaires d'un contrat de travail à durée déterminée et les salariés temporaires ne peuvent exécuter des travaux dans des zones où le débit de dose est susceptible d'être supérieur à 2 mSv/h. Par extension, ils ne peuvent rentrer dans des zones spécialement réglementées dites « orange ». De plus, un *prorata temporis* est applicable à ces travailleurs.
- Pour le public, les expositions doivent demeurer inférieures à 1 mSv en dose efficace. Pour les expositions partielles, elles sont limitées aux doses équivalentes de 50 mSv/an en valeur moyenne pour toute surface de 1 cm² de peau, quelle que soit la surface exposée, et 15 mSv/an pour le cristallin.

Nota bene

➤ La démarche de classement radiologique concerne l'ensemble des agents exerçant une activité en zone réglementée. À la suite des études de poste, le directeur d'unité procède au classement approprié des travailleurs ou démontre que leur exposition ne peut pas dépasser l'une des valeurs limite de doses fixées pour le public.

Cette démarche doit prendre en compte également les situations d'exposition professionnelle en dehors du laboratoire, en France comme à l'étranger.

2.8. Définition des sources scellées et des sources non scellées

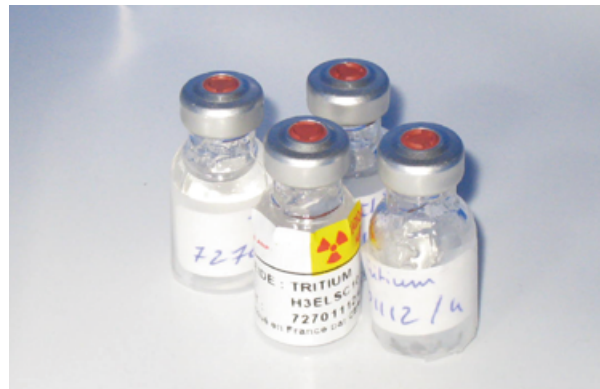
2.8.1. Sources scellées

Les sources scellées ont une structure ou un conditionnement qui empêche, en utilisation normale, toute dispersion de matière radioactive dans le milieu ambiant. Elles sont conçues et fabriquées selon des critères de résistance pour certaines conditions d'utilisation définies dans la norme NF EN ISO 2919.



2.8.2. Sources non scellées

Les sources non scellées sont des sources dont la présentation et les conditions normales d'emploi ne permettent pas de prévenir une dispersion de la substance radioactive dans le milieu ambiant.



La **fiche 6** présente les principales caractéristiques des radionucléides les plus couramment utilisés ainsi que les valeurs relatives à la radioprotection qui leur sont associées.