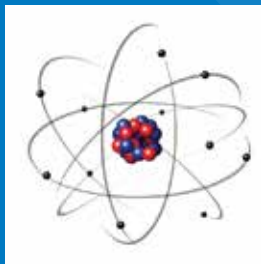




Introduction au rayonnement



Décembre 2012



Introduction au rayonnement

© Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) 2012
Numéro de catalogue de TPSGC CC172-93/2012F-PDF
ISBN 978-0-662-71632-7

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)

La reproduction d'un extrait quelconque du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition d'en indiquer la source en entier. Toutefois, la reproduction de ce document en tout ou en partie à d'autres fins nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Also available in English under the title: *Introduction to Radiation*

Disponibilité du document

Les personnes intéressées peuvent consulter le document sur le site Web de la CCSN à suretenucleaire.gc.ca.

Pour commander des exemplaires, en français ou en anglais, veuillez communiquer avec la :

Commission canadienne de sûreté nucléaire
280, rue Slater
C.P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

Téléphone : 613-995-5894 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)
Télécopieur : 613-995-5086
Courriel : info@cnsccsn.gc.ca
Site Web : suretenucleaire.gc.ca

Introduction au rayonnement

Décembre 2012

Table des matières

1.	Aperçu	1
2.	Introduction au rayonnement	2
2.1	L'atome – Au cœur de la matière.....	2
2.2	Les isotopes.....	3
2.3	Les radio-isotopes	4
3.	Catégories et sources de rayonnement	6
3.1	Rayonnement non ionisant.....	6
3.2	Rayonnement ionisant.....	6
3.3	Sources naturelles de rayonnement ionisant	8
3.4	Sources artificielles de rayonnement ionisant.....	10
3.5	Trouver un équilibre.....	13
4.	Effets du rayonnement sur la santé	14
4.1	Preuves épidémiologiques.....	14
4.2	Évaluation du risque de cancer	15
4.3	Comment le rayonnement affecte-t-il les cellules?	17
5.	Doses de rayonnement.....	20
5.1	Dose absorbée	20
5.2	Dose équivalente	20
5.3	Dose efficace.....	21
5.4	Doses typiques de rayonnement.....	21
5.4.1	Rayonnement naturel	21
5.4.2	Les sources artificielles de rayonnement	23
5.5	Limites de dose	24
6.	Réglementation des radiations	27
6.1	Protection des Canadiens	27
6.2	Protection des travailleurs	28
7.	Sommaire	30
	Glossaire	31
	Acronymes et unités	39
	Sources.....	40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneur en potassium 40 de quelques aliments	10
Tableau 2 : Isotopes radioactifs du corps humain (adulte de 70 kg)	10
Tableau 3: Doses de rayonnement, limites de dose et effets possibles sur la santé.....	19
Tableau 4 : Dose efficace moyenne dans certaines villes canadiennes comparée à la moyenne mondiale.....	23
Tableau 5 : Doses aux organes typiques selon le type d'examen radiologique.....	24
Tableau 6 : Dose annuelle maximale pour les membres du public résultant des émissions atmosphériques et aquatiques par année	26

Liste des figures

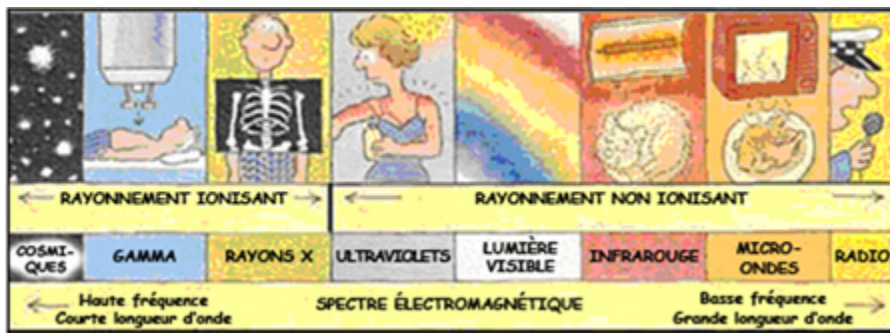
Figure 1 : Le spectre électromagnétique	1
Figure 2 : Un atome.....	2
Figure 3 : Le tableau périodique des éléments	3
Figure 4 : Courbe de désintégration radioactive du carbone 14	5
Figure 5 : Capacité de pénétration de différents types de rayonnement.....	8
Figure 6 : Sources de rayonnement naturel	8
Figure 7 : Caméra gamma utilisée en médecine nucléaire à des fins diagnostiques	11
Figure 8 : Jauge nucléaire portative.....	12
Figure 9 : Mine d'uranium, lac McClean (Saskatchewan).....	13
Figure 10 : Modèles de risques liés aux faibles doses de rayonnement ionisant.....	17
Figure 11 : Brin d'ADN	18
Figure 12 : Lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée.....	20
Figure 13 : Facteurs de pondération tissulaire.....	21
Figure 14 : Dose efficace annuelle pour l'extérieur provenant du rayonnement cosmique en Amérique du Nord (en microsieverts)	22
Figure 15 : Doses provenant du rayonnement naturel de fond au Canada	23
Figure 16 : Cadre de la limite de dose de rayonnement	25
Figure 17 : Doses reçues par les travailleurs en 2007 au Canada, par type d'installation.....	25

Introduction au rayonnement

1. Aperçu

Le rayonnement est de l'énergie sous forme d'ondes ou de faisceaux de particules. Il y a plusieurs sortes de rayonnement tout autour de nous. Lorsque les gens entendent le mot rayonnement, ils pensent souvent à l'énergie atomique, au nucléaire et à la radioactivité, mais le rayonnement peut prendre de nombreuses autres formes. Le son et lumière visible sont des types familiers de rayonnement; d'autres types incluent les rayons ultraviolets (qui produisent le bronzage), le rayonnement infrarouge (une forme d'énergie thermique), et les signaux de la radio et de la télévision. La figure 1 présente une vue d'ensemble du spectre électromagnétique et la section 3 aborde plus en détail les divers types de rayonnements.

Figure 1 : Le spectre électromagnétique



© Reproduit avec l'autorisation de la World Nuclear Association, Londres, Royaume-Uni

L'utilisation non contrôlée du rayonnement artificiel pose un risque possible pour la santé et la sécurité des travailleurs et du public. C'est là qu'entre en scène la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). La CCSN réglemente l'utilisation de l'énergie et des matières nucléaires afin de préserver la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens et de protéger l'environnement contre les effets du rayonnement.

Le but de ce document est de fournir des informations claires et simples sur le rayonnement : ce qu'il est, d'où il provient et comment on l'utilise. Il présente également des informations sur les effets du rayonnement et les doses de rayonnement ainsi que la façon dont la CCSN veille à la sûreté de l'industrie nucléaire canadienne grâce à son cadre de réglementation exhaustif et sa vigilance.

2. Introduction au rayonnement

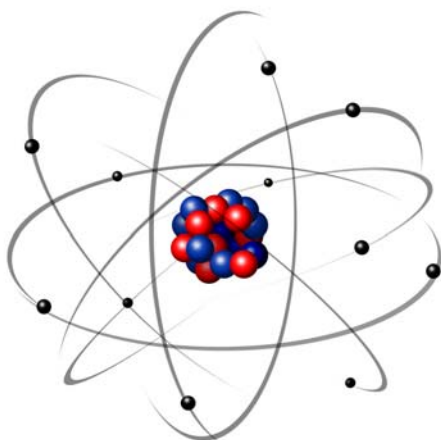
Toute la vie s'est développée dans un milieu baignant dans le rayonnement. Nous découvrons les forces à l'œuvre dans le rayonnement lorsque nous étudions la structure des atomes. L'atome, qui est d'une extrême petitesse – par comparaison, un cheveu humain est des millions de fois plus épais – se compose de particules encore plus petites et qui portent une charge électrique. Les sections 2.1 à 2.3 traitent de l'atome plus en détail, de même que des principes de base relatifs au rayonnement.

2.1 L'atome – Au cœur de la matière

Toute la matière qui nous entoure est composée d'atomes. En d'autres termes, toute la matière dans le monde commence avec un atome – ils forment des éléments comme l'oxygène, l'hydrogène et le carbone.

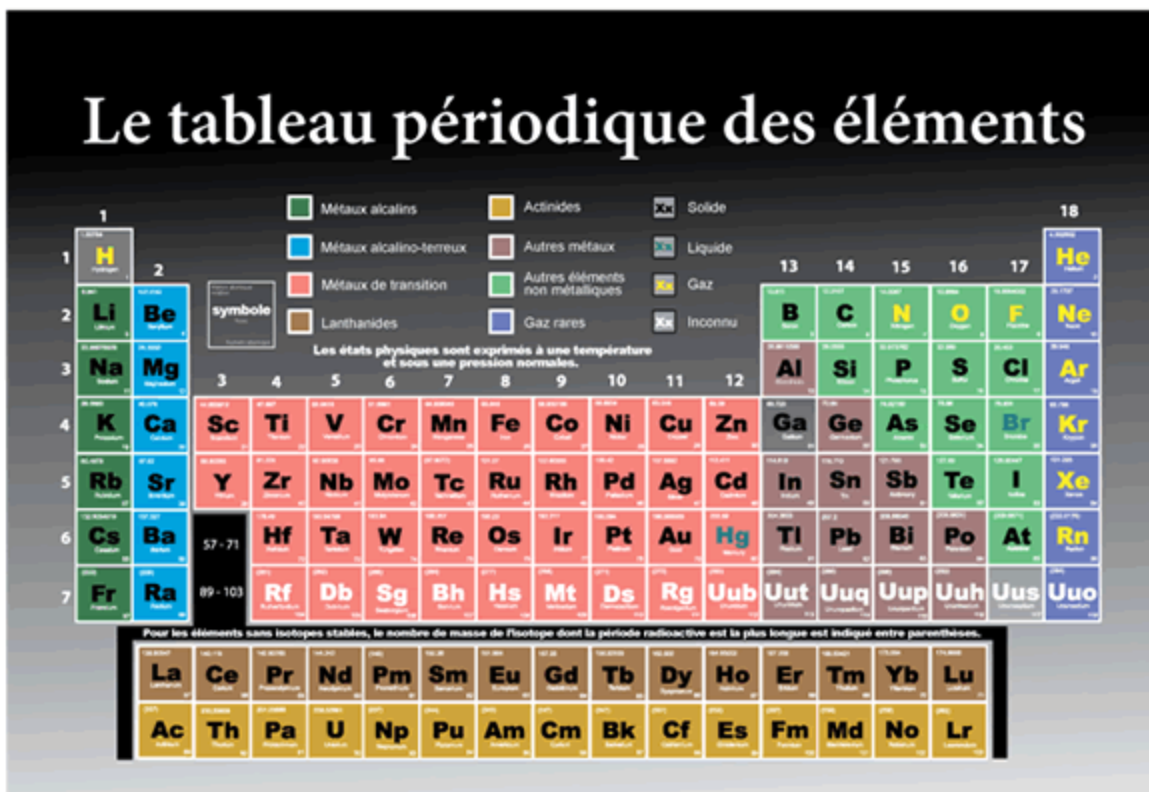
Un atome est composé d'un noyau – lui-même constitué de protons et de neutrons reliés ensemble par des forces nucléaires – entouré d'un cortège d'électrons qui gravitent en orbite autour du noyau (voir la figure 2). Le noyau porte une charge positive – les protons sont chargés positivement, alors que les neutrons sont neutres électriquement comme leur nom l'indique. Les électrons sont des particules chargées négativement qui se déplacent autour du noyau en formant un nuage périphérique. Les électrons négatifs sont attirés vers le noyau positif par une force électrique. C'est ce qui maintient l'intégrité structurale de l'atome.

Figure 2 : Un atome



Chaque élément se distingue par le nombre de protons dans son noyau. Ce nombre, qui est spécifique à chaque élément, s'appelle le numéro atomique. Par exemple, il y a six protons dans le carbone; pour cette raison son numéro atomique est 6 dans le tableau périodique des éléments (voir la figure 3). Dans un atome ayant une charge neutre, le numéro atomique est égal au nombre d'électrons. Les propriétés chimiques d'un atome sont déterminées par le nombre d'électrons, en général le même nombre que le numéro atomique.

Figure 3 : Le tableau périodique des éléments



Les atomes d'un ou de plusieurs éléments se combinent entre eux pour former des molécules. Une molécule d'eau, par exemple, est constituée de deux atomes d'hydrogène combinés à un atome d'oxygène (H₂O).

Un nucléide est une entité atomique caractérisée par le nombre de protons et de neutrons qui composent le noyau, lequel correspond approximativement à la masse du nucléide. Le numéro qui accompagne parfois le nom du nucléide est le nombre de masse (la somme des protons et des neutrons dans le noyau). Par exemple, le carbone 12 est un nucléide de carbone avec 6 protons et 6 neutrons.

2.2 Les isotopes

Un isotope est une variante d'une même espèce chimique. Bien que tous les isotopes d'un élément donné possèdent le même nombre de protons, chaque isotope a un nombre différent de neutrons.

Par exemple, il existe trois isotopes (ou variantes) de l'hydrogène :

- l'hydrogène 1 (un proton et zéro neutron)
- l'hydrogène 2 ou deutérium (un proton et un neutron)
- l'hydrogène 3 ou tritium (un proton et deux neutrons)

Un autre exemple est l'uranium 235, qui possède 92 protons et 143 neutrons, contrairement à l'uranium 238, qui possède 92 protons et 146 neutrons.

Un isotope est stable lorsqu'il y a un équilibre entre le nombre de neutrons et le nombre de protons. Lorsqu'un isotope est petit et stable, il contient pratiquement le même nombre de protons que de neutrons. Les isotopes stables plus volumineux ont légèrement plus de neutrons que de protons. Parmi les nucléides stables figurent le carbone 12 (six protons et six neutrons pour une masse totale de 12), le phosphore 30 (15 protons et 15 neutrons) et le sodium 22 (11 protons et 11 neutrons).

2.3 Les radio-isotopes

Les isotopes qui sont instables et émettent un rayonnement sont appelés radio-isotopes. Un radio-isotope est un isotope d'un élément qui subit une désintégration spontanée et émet du rayonnement à mesure qu'il se désintègre. Pendant le processus de désintégration, il devient moins radioactif au fil du temps, devenant finalement stable.

Une fois qu'un atome atteint une configuration stable, il ne produit plus de rayonnement. Pour cette raison, les sources radioactives – ou des sources qui émettent spontanément de l'énergie sous forme de rayonnement ionisant à la suite de la désintégration d'un atome instable – s'affaiblissent avec le temps. À mesure que le nombre d'atomes instables de la source qui deviennent stables augmente, le rayonnement produit diminue et l'activité du matériau diminue avec le temps jusqu'à devenir nulle.

Le temps nécessaire pour qu'un radio-isotope se désintègre jusqu'à la moitié de son activité de départ se nomme la demi-vie (ou période) radiologique, désignée par le symbole $t_{1/2}$. Chaque radio-isotope a sa propre demi-vie qui peut aller d'une fraction de seconde à des milliards d'années. Par exemple, l'iode 131 a une demi-vie de huit jours, tandis que le plutonium 239 a une demi-vie de 24 000 ans. Un radio-isotope qui a une demi-vie courte est plus radioactif qu'un radio-isotope ayant une demi-vie longue et il dégage donc plus de rayonnement au cours d'une période donnée.

Il existe trois grands types de désintégration radioactive :

- **Désintégration alpha** : Lorsqu'un atome subit une désintégration alpha, il émet une particule composée de deux protons et de deux neutrons provenant directement de son noyau. Dans ce cas, le numéro atomique diminue de 2 et la masse de 4. Le radium, le radon, l'uranium et le thorium comptent parmi les émetteurs de particules alpha.
- **Désintégration bêta** : Dans la désintégration bêta de base, un neutron se transforme en proton et un électron est émis par le noyau. Le numéro atomique augmente de un, mais la masse ne diminue que légèrement. Le strontium 90, le tritium, le carbone 14 et le soufre 35 comptent parmi les émetteurs de particules bêta pures.
- **Désintégration gamma** : La désintégration gamma est la libération de l'énergie excédentaire présente dans le noyau après une désintégration alpha ou bêta, ou après la capture des neutrons (un type de réaction nucléaire) dans un réacteur nucléaire. L'énergie résiduelle est émise sous forme de photon de rayons gamma. La désintégration gamma n'affecte généralement pas la masse ni le numéro atomique du radio-isotope. L'iode 131, le césium

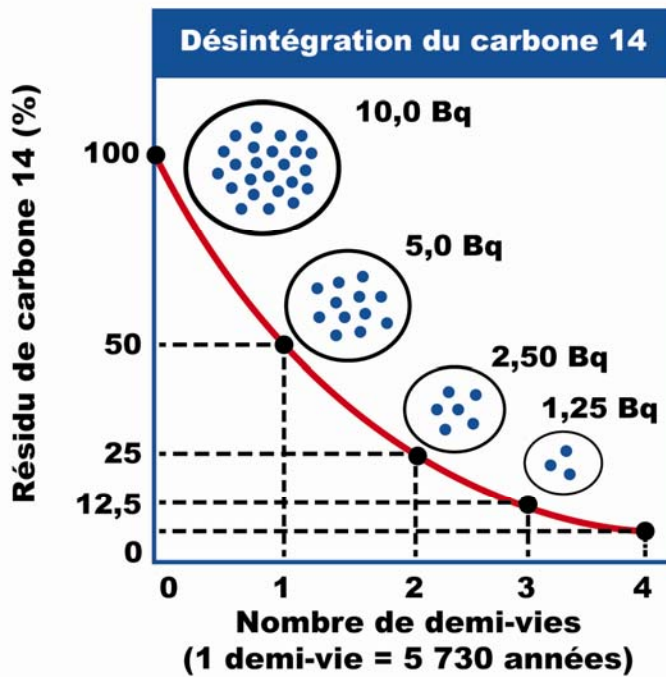
137, le cobalt 60, le radium 226 et le technétium 99m comptent parmi les émetteurs de particules gamma.

Le nombre de désintégrations nucléaires dans une substance radioactive par unité de temps est appelé l'activité. L'activité est utilisée comme mesure de la quantité d'un radionucléide, et elle est mesurée en becquerels (Bq). 1 Bq = 1 désintégration par seconde

Si la source originelle de la radioactivité est connue, il est possible de calculer le temps nécessaire à sa désintégration pour une activité donnée. La désintégration est exponentielle et l'isotope doit avoir de nombreuses demi-vies avant de devenir non radioactif. La figure 4 montre la courbe de désintégration radioactive du carbone 14, qui a une demi-vie d'environ 5 700 ans.

Même lorsqu'un radio-isotope à haute activité s'est désintégré pendant plusieurs demi-vies, le niveau de radioactivité restante n'est pas nécessairement sécuritaire. Les mesures de l'activité d'une matière radioactive sont toujours nécessaires pour estimer les doses de rayonnement potentielles.

Figure 4 : Courbe de désintégration radioactive du carbone 14



Adaptée de l'Université de Waikato, www.sciencelearn.org.nz

3. Catégories et sources de rayonnement

Le rayonnement résulte de l'émission d'énergie sous forme de vagues de particules. Il existe deux grands types de rayonnement : le rayonnement ionisant et le rayonnement non ionisant. Ceux-ci seront respectivement abordés dans les sections 3.1 et 3.2.

3.1 Rayonnement non ionisant

Le rayonnement non ionisant contient moins d'énergie que le rayonnement ionisant; il ne possède pas assez d'énergie pour produire des ions. Voici des exemples de rayonnement non ionisant : la lumière visible, l'infrarouge, les ondes radio, les micro-ondes et la lumière du soleil.

Les systèmes de positionnement global (GPS), les téléphones cellulaires, les stations de télédiffusion, la radio AM et FM, les interphones pour bébés, les téléphones sans fil, les dispositifs d'ouverture de portes de garage et les radioamateurs utilisent tous un rayonnement non ionisant. Parmi les autres formes de rayonnement non ionisant figurent le champ magnétique terrestre, ainsi que le champ magnétique à proximité des lignes de transmission, des câbles et appareils électriques ménagers. Ceux-ci sont définis comme des ondes extrêmement basses et elles ne posent pas de risque pour la santé.

3.2 Rayonnement ionisant

Le rayonnement ionisant possède suffisamment d'énergie pour éjecter les électrons de leur orbite autour des atomes et perturber l'équilibre entre électrons et protons, ce qui a pour effet de charger positivement l'atome. Les molécules et les atomes chargés électriquement portent le nom d'ions. Le rayonnement ionisant désigne le rayonnement qui provient de sources naturelles et artificielles.

Il existe plusieurs types de rayonnement ionisant :

Rayonnement alpha (α)

Le rayonnement alpha est constitué de particules alpha qui sont composées de deux protons et de deux neutrons chacune et qui portent une double charge positive. En raison de leur masse relativement importante et de leur charge, elles ont une capacité de pénétration de la matière très limitée. Le rayonnement alpha peut être arrêté par une feuille de papier ou la couche externe morte de la peau. Par conséquent, le rayonnement alpha produit par des substances nucléaires à l'extérieur du corps ne présente pas de risque d'irradiation. Toutefois, lorsque des substances nucléaires émettant du rayonnement alpha sont absorbées dans le corps (par exemple, en respirant ou en les ingérant), l'énergie du rayonnement alpha est complètement absorbée dans les tissus corporels. Pour cette raison, le rayonnement alpha est seulement un danger interne. Un exemple d'une substance nucléaire qui subit une désintégration alpha est le radon 222, qui se désintègre en polonium 218.

Rayonnement bêta (β)

Le rayonnement bêta est formé de particules éjectées du noyau d'un atome et qui sont identiques aux électrons du point de vue physique. Les particules bêta ont généralement une charge négative, sont très petites et peuvent pénétrer plus profondément que les particules alpha. Cependant, la plupart du rayonnement bêta peut être arrêté par de petites quantités de blindage, tels que des feuilles de plastique, de verre ou de métal. Lorsque la source de rayonnement est à l'extérieur du

corps, le rayonnement bêta a une énergie suffisante pour pénétrer la couche externe morte de la peau et déposer son énergie à l'intérieur de cellules actives de la peau. Cependant, la capacité de pénétration du rayonnement bêta dans les tissus profonds et les organes est très limitée. Les substances nucléaires qui émettent du rayonnement bêta peuvent aussi être dangereuses si elles sont absorbées par le corps. Le tritium est un exemple de substance nucléaire qui produit des émissions bêta (hydrogène 3) et qui se désintègre en hélium 3.

Rayonnement photonique (gamma [γ] et rayons X)

Le rayonnement photonique est un rayonnement électromagnétique. Il existe deux types de rayonnement photonique d'intérêt aux fins du présent document : le rayonnement gamma (γ) et les rayons X. Le rayonnement gamma est constitué de photons qui proviennent de l'intérieur du noyau et les rayons X sont des photons qui proviennent de l'extérieur du noyau, et ils sont généralement plus faibles en énergie que le rayonnement gamma.

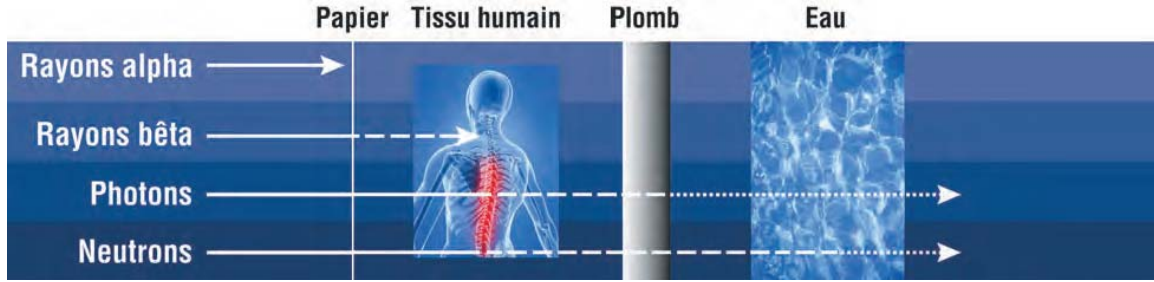
Le rayonnement photonique peut pénétrer très profondément et, parfois, on ne peut réduire son intensité que grâce à des matériaux qui sont très denses, tels que le plomb ou l'acier. En général, le rayonnement photonique peut parcourir des distances beaucoup plus grandes que le rayonnement alpha ou bêta et il peut pénétrer les tissus et les organes corporels lorsque la source de rayonnement est à l'extérieur du corps. Le rayonnement photonique peut aussi être dangereux si les substances nucléaires émettant les photons sont incorporées. Le cobalt 60 est un exemple d'une substance nucléaire qui produit une émission de photons, qui se désintègre en nickel 60.

Rayonnement neutronique (n)

Exception faite du rayonnement cosmique, la fission spontanée est la seule source naturelle de neutrons (n). Une source de neutrons répandue provient des réacteurs nucléaires, dans lesquels la division d'un noyau d'uranium ou de plutonium est accompagnée d'une émission de neutrons. Les neutrons émis par fission peuvent frapper le noyau d'un atome adjacent et causer une autre fission, ce qui provoque une réaction en chaîne. La production d'énergie nucléaire se fonde sur ce principe. Toutes les autres sources de neutrons dépendent de réactions où un noyau est bombardé avec un certain type de rayonnement (tels que le rayonnement de photons ou d'un rayonnement alpha), et où l'effet résultant sur le noyau est l'émission d'un neutron. Les neutrons peuvent pénétrer dans les tissus et les organes du corps humain lorsque la source de rayonnement est à l'extérieur du corps. Les neutrons peuvent aussi être dangereux si des substances nucléaires émettant des neutrons sont déposées à l'intérieur du corps. Le rayonnement neutronique est le mieux arrêté ou absorbé par des matériaux qui contiennent des atomes d'hydrogène, tels que la cire de paraffine et les matières plastiques. En effet, les neutrons et les atomes d'hydrogène ont des masses atomiques semblables et ils entrent facilement en collision les uns avec les autres.

La figure 5 résume les types de rayonnement mentionnés dans ce document, des rayonnements ionisants ayant la plus grande énergie jusqu'aux rayonnements non ionisants en ayant le moins. Chaque source de rayonnement se distingue par sa capacité à pénétrer dans des matériaux divers, comme le papier, la peau, le plomb et l'eau.

Figure 5 : Capacité de pénétration de différents types de rayonnement ionisant



3.3 Sources naturelles de rayonnement ionisant

Le rayonnement a toujours été présent et fait partie de notre environnement (voir la figure 6). Toute la vie s'est développée dans un bain de rayonnement ionisant. Notre organisme y est adapté.

De nombreux radio-isotopes sont d'origine naturelle et ils ont été produits lors de la formation du système solaire et par l'interaction des rayons cosmiques avec des molécules dans l'atmosphère. Le tritium est un exemple de radio-isotope formé par l'interaction des rayons cosmiques avec des molécules atmosphériques. Certains radio-isotopes (comme l'uranium et le thorium) qui ont été conçus lors de la formation de notre système solaire ont des demi-vies de milliards d'années et ils sont toujours présents dans notre environnement. Le rayonnement de fond est le rayonnement ionisant constamment présent dans l'environnement naturel.

Figure 6 : Sources de rayonnement naturel



Le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) identifie quatre sources principales d'exposition du public aux rayonnements naturels :

- Les rayonnements cosmiques
- Les rayonnements terrestres
- L'inhalation
- L'ingestion

Exposition aux rayonnements cosmiques

L'atmosphère extérieure de la terre est continuellement bombardée par des rayons cosmiques. Habituellement, le rayonnement cosmique est constitué de particules en mouvement rapide qui existent dans l'espace et proviennent d'une diversité de sources, y compris le soleil et des phénomènes célestes dans l'univers. Les rayons cosmiques sont essentiellement des protons, mais peuvent aussi être d'autres particules ou de l'énergie ondulatoire. Une partie du rayonnement ionisant pénètre l'atmosphère terrestre et est absorbée par les humains, ce qui se traduit par une exposition au rayonnement naturel.

Exposition aux rayonnements terrestres

La composition de la croûte terrestre est une source importante de rayonnement naturel. Les principaux facteurs contributifs sont les gisements naturels d'uranium, de thorium et de potassium qui, par le processus de désintégration naturelle, libèrent de petites quantités de rayonnements ionisants. L'uranium et le thorium se trouvent essentiellement partout. Des traces de ces minéraux sont également présentes dans les matériaux de construction, de sorte que l'exposition aux rayonnements naturels peut avoir lieu à l'intérieur comme à l'extérieur.

Exposition par inhalation

La plus grande partie de la variation de l'exposition à la radioactivité naturelle provient de l'inhalation de gaz radioactifs qui sont produits par les minéraux radioactifs présents dans le sol et le socle rocheux. Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore qui est produit par la désintégration de l'uranium. Le thoron est un gaz radioactif produit par la désintégration du thorium. Les niveaux de radon et de thoron varient considérablement selon l'emplacement en fonction de la composition du sol et du socle rocheux.

Une fois libérés dans l'air, ces gaz sont normalement dilués à des niveaux inoffensifs dans l'atmosphère, mais parfois ils sont piégés et ils s'accumulent à l'intérieur des bâtiments et sont inhalés par les occupants. Le radon constitue un risque pour la santé, non seulement pour les mineurs d'uranium, mais aussi pour les propriétaires de résidences si on le laisse s'accumuler dans la maison. En général, il est la principale source d'exposition au rayonnement naturel. Pour plus d'information sur le radon, consultez le document *Le radon et la santé* (INFO-0813) de la CCSN à suretenucleaire.gc.ca ou visitez le site Web de Santé Canada (hc-sc.gc.ca) pour en savoir plus sur les moyens de le contrôler dans votre maison.

Exposition par ingestion

Des traces de minéraux radioactifs se trouvent naturellement dans la nourriture et l'eau potable. Par exemple, les légumes sont généralement cultivés dans du sol et avec des eaux souterraines qui contiennent des minéraux radioactifs. Une fois ingérés, ces minéraux entraînent l'exposition interne aux rayonnements naturels.

Les isotopes radioactifs naturels, comme le potassium 40 et le carbone 14, ont les mêmes propriétés chimiques et biologiques que leurs isotopes non radioactifs. Ces éléments radioactifs et non radioactifs interviennent dans la constitution et le fonctionnement de notre organisme.

Les radio-isotopes naturels nous exposent constamment à des rayonnements et on en trouve couramment dans de nombreux aliments, comme les noix du Brésil. Le tableau 1 indique la quantité de radioactivité provenant du potassium 40 contenue dans environ 500 grammes de différents produits alimentaires.

Tableau 1 : Teneur en potassium 40 de quelques aliments

Aliment	Radioactivité par 500 g, en Bq
Viande rouge	56
Pommes de terre blanches	63
Carottes	63
Bananes	65
Haricots de Lima	86
Noix du Brésil ¹	103

Source : Brodsky, 1978

¹ Les noix du Brésil contiennent aussi naturellement du radium 226 (de 19 à 130 Bq par 500 grammes).

Le corps humain contient plusieurs isotopes radioactifs (voir le tableau 2).

Tableau 2 : Isotopes radioactifs du corps humain (adulte de 70 kg)

Isotopes	Radioactivité, en Bq
Carbone 14	3 700 ^a
Polonium 210	40 ^{b,d}
Potassium 40	4 000 ^b
Radium 266	1,1 ^b
Thorium	0,21 ^b
Tritium	23 ^c
Uranium	2,3 ^{a, b, d}

a CIPR, 1975

b Eisenbud et Gesell, 1997

c UNSCEAR, 2000

d CIPR, 1980

3.4 Sources artificielles de rayonnement ionisant

Les gens sont également exposés à du rayonnement artificiel au cours de traitements médicaux et d'activités impliquant des matières radioactives. Ces radio-isotopes sont des sous-produits de l'exploitation des réacteurs nucléaires et des produits de générateurs de radio-isotopes tels que les cyclotrons. Un grand nombre de radio-isotopes artificiels sont utilisés dans les domaines de la médecine nucléaire, de la biochimie, de l'industrie manufacturière et de l'agriculture. Voici leurs sources les plus courantes :

- **Sources médicales :** Le rayonnement a de nombreuses applications en médecine. La plus connue est sans doute la radiographie par rayons X, dont les appareils permettent de détecter des fractures osseuses et de diagnostiquer certaines maladies. Les appareils à rayons X sont réglementés par Santé Canada et les autorités provinciales. La médecine nucléaire fait pour sa part appel à des isotopes radioactifs pour diagnostiquer et traiter des maladies comme le cancer. Une caméra gamma (voir la figure 7) est un appareil médical souvent utilisé pour faire des diagnostics. La CCSN réglemente ces applications de la médecine nucléaire, ainsi que l'équipement connexe. Elle délivre aussi les permis pour les réacteurs et les accélérateurs de particules qui produisent les isotopes destinés à des applications médicales et industrielles.

Figure 7 : Caméra gamma utilisée en médecine nucléaire à des fins diagnostiques



- **Sources industrielles:** Le rayonnement a plusieurs applications industrielles, allant des jauges nucléaires (voir la figure 8) utilisées pour la construction des routes jusqu'aux jauges de densité qui mesurent le débit dans les conduites d'usine. Les détecteurs de fumée, certains panneaux fluorescents et les dispositifs permettant d'évaluer les réserves des champs de pétrole utilisent aussi le rayonnement. Le rayonnement est également employé pour la stérilisation au moyen de gros irradiateurs lourdement blindés. Tous ces usages sont réglementés par la CCSN.

Figure 8 : Jauge nucléaire portable



- **Cycle du combustible nucléaire :** Les centrales nucléaires utilisent de l'uranium pour déclencher la réaction en chaîne qui produira la vapeur chargée d'actionner les turbines pour la production d'électricité. Dans le cadre de leur activité normale, les centrales nucléaires rejettent dans l'environnement des substances radioactives dont les niveaux sont réglementés. Ces rejets sont réglementés pour veiller à ce que les doses au public soient bien inférieures aux limites réglementaires. Les mines d'uranium (voir la figure 9), les usines de fabrication de combustible et les installations de gestion des déchets radioactifs rejettent également une certaine quantité de radioactivité (qui contribue à la dose à laquelle le public est exposé) qui peut être contrôlée par la CCSN.

Figure 9 : Mine d'uranium, lac McClean (Saskatchewan)



- **Essais nucléaires atmosphériques :** Les essais atomiques réalisés dans l'atmosphère entre la fin de la Deuxième Guerre mondiale et jusqu'à la fin des années 1980 ont eu pour effet de rejeter des éléments radioactifs, ou retombées, dans l'atmosphère. Ces retombées radioactives se sont désintégrées dans l'environnement. La plupart des retombées possédaient une période radioactive courte et ont disparu, mais certaines n'ont pas encore achevé leur désintégration. Les doses de radioactivité dues à ces retombées que reçoivent les êtres humains et l'environnement sont chaque année de plus en plus faibles.

3.5 Trouver un équilibre

Normalement, il y a très peu de choses que nous puissions faire pour changer ou réduire le rayonnement ionisant provenant de sources naturelles, comme le soleil, les sols ou les roches. Ce type d'exposition, bien que non complètement dénuée de risque, est généralement assez faible. Toutefois, dans certains cas, les sources naturelles de radioactivité peuvent atteindre un niveau inacceptable et doivent être réduites. C'est notamment le cas du radon présent dans les maisons.

Le rayonnement ionisant provenant de sources et d'activités artificielles est plus étroitement contrôlé. Dans ces cas précis, il importe de trouver un équilibre entre les avantages que procure le rayonnement à la société et les risques qu'il fait peser sur la santé de la population et sur l'environnement. Des limites de dose sont donc fixées pour restreindre l'exposition des travailleurs et des membres du public au rayonnement. Par ailleurs, les titulaires de permis doivent garder les doses de rayonnement au niveau le plus bas que l'on puisse raisonnablement atteindre (le principe ALARA). Il importe également que le recours au rayonnement procure un bénéfice net. Par exemple, les détecteurs de fumée peuvent utiliser des isotopes radioactifs car ce

type de dispositif peut sauver des vies. De même, les centrales nucléaires nous procurent de l'électricité tout en posant des risques minimes qui sont rigoureusement contrôlés.

4. Effets de l'exposition au rayonnement sur la santé

Le mot « sûreté » revêt différents sens selon les personnes. Pour plusieurs, la sûreté est synonyme d'absence de risques ou de dangers. Mais en réalité, il existe toujours un certain niveau de risque dans pratiquement tout ce que nous faisons.

Par exemple, les limites de vitesse sur les routes sont fixées pour optimiser la sécurité des usagers de la route. Cela n'empêche toutefois pas les accidents de se produire, même si les automobilistes respectent les limites de vitesse. Malgré ces risques, nous conduisons quand même.

Les mêmes décisions conscientes sont prises à l'égard du rayonnement. L'exposition au rayonnement comporte un risque pour la santé. La connaissance de ces risques permet à la CCSN et à d'autres organismes de réglementation de fixer des limites de dose et de formuler des règlements qui limitent l'exposition à un risque acceptable ou tolérable, où il est peu probable de causer des dommages.

L'avantage en ce qui concerne le rayonnement tient à ce que nous connaissons mieux les risques qu'il fait peser sur la santé que les risques associés à tout autre agent chimique ou toxique. Depuis le début du siècle, les effets du rayonnement ont été étudiés en profondeur, en laboratoire et auprès de populations humaines.

4.1 Preuves épidémiologiques

Les études menées sur les survivants des explosions atomiques survenues à Hiroshima et Nagasaki en 1945 indiquent que l'exposition au rayonnement à long terme a eu pour principal effet d'augmenter la fréquence des cas de cancer et de leucémie.

Des résultats comparables ont été observés :

- chez les personnes ayant reçu une radiothérapie ou subi un examen diagnostique faisant appel au rayonnement
- chez les anciens mineurs de mines d'uranium
- chez les travailleurs qui ont fabriqué des armes atomiques
- chez les personnes exposées au rayonnement par suite de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl
- chez les personnes exposées au radon dans leur maison

Des études ont montré que l'exposition au rayonnement augmente la fréquence de certains cancers survenant déjà de manière spontanée dans la population et que cette augmentation est proportionnelle à la dose de rayonnement. Autrement dit, plus la dose est importante, plus le risque de cancer est élevé. On parle alors d'effets stochastiques (voir la section 4.3). Toutefois, les études menées à ce jour n'ont pas permis de démontrer l'apparition d'un nombre excessif de

cancers ou d'autres maladies chez les personnes exposées au rayonnement de manière chronique à des doses inférieures à environ 100 mSv¹ par année.

Plusieurs raisons peuvent expliquer pourquoi les effets du rayonnement ne peuvent pas être perçus en deçà de 100 mSv par année :

- L'une d'entre elles tient à ce qu'il existe un seuil en deçà duquel la dose reçue n'occasionne pas de cancers. Par exemple, le radium a un seuil de 10 Sv pour le cancer des os.
- L'autre raison, défendue par les études du Comité consultatif sur les effets biologiques des rayonnements ionisants (Biological Effects of Ionizing Radiation) (BEIR) et par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) de l'Académie des sciences de la France, veut que même si une faible dose de rayonnement peut induire des cancers, l'incidence des cancers radio-induits est si faible qu'il est impossible de les distinguer des cancers spontanés de même type.

Les chercheurs continuent d'étudier les effets de faibles doses de rayonnement pour pouvoir confirmer ou infirmer ces hypothèses. En attendant, la CCSN et d'autres organismes de réglementation ont opté pour le principe de précaution, et partent du principe que toute exposition au rayonnement comporte un certain niveau de risque.

La plupart des personnes ayant présenté des problèmes de santé dans les études en question ont été exposées à des doses relativement élevées (supérieures à 100 mSv) au cours d'une très courte période de temps. C'est ce qu'on appelle l'exposition « aiguë ». Normalement, les travailleurs et les membres du public exposés au rayonnement de l'industrie nucléaire reçoivent des doses beaucoup plus faibles au cours de périodes beaucoup plus longues (exprimées en années plutôt qu'en secondes). On parle alors d'exposition « chronique ». Selon les estimations, les expositions aiguës au rayonnement ont 1,5 à 2 fois plus de probabilités de causer des effets biologiques que l'exposition chronique.

4.2 Évaluation du risque de cancer

La CIPR a calculé la probabilité de cancer mortel en se basant essentiellement sur l'évaluation des effets des rayonnements effectuée par des organismes scientifiques comme l'UNSCEAR et le BEIR. La CIPR a ensuite déterminé ce qu'elle qualifie de « détriment » total dû à l'exposition au rayonnement. Il s'agit :

- de la probabilité d'induire un cancer mortel
- du risque d'apparition d'un cancer non mortel
- du risque d'effets héréditaires graves
- des années de vie perdues en cas de manifestation de l'effet nocif

¹ Le sievert (Sv) est l'unité utilisée pour calculer la « dose équivalente » et la « dose efficace ». Il est égal à 1 joule/kilogramme. Le millisievert (mSv) équivaut à 1/1000 de 1 Sv.

Compte tenu de tous ces risques, la CIPR a calculé que le détriment total s'établissait à 0,042 (4,2 %) par sievert pour les travailleurs adultes et à 0,057 (5,7 %) par sievert pour l'ensemble de la population (CIPR 103). Pour l'ensemble de la population, le risque est légèrement plus élevé que celui des travailleurs en raison des différences touchant diverses variables, comme le sexe et les plages d'âge, qui ont été prises en compte.

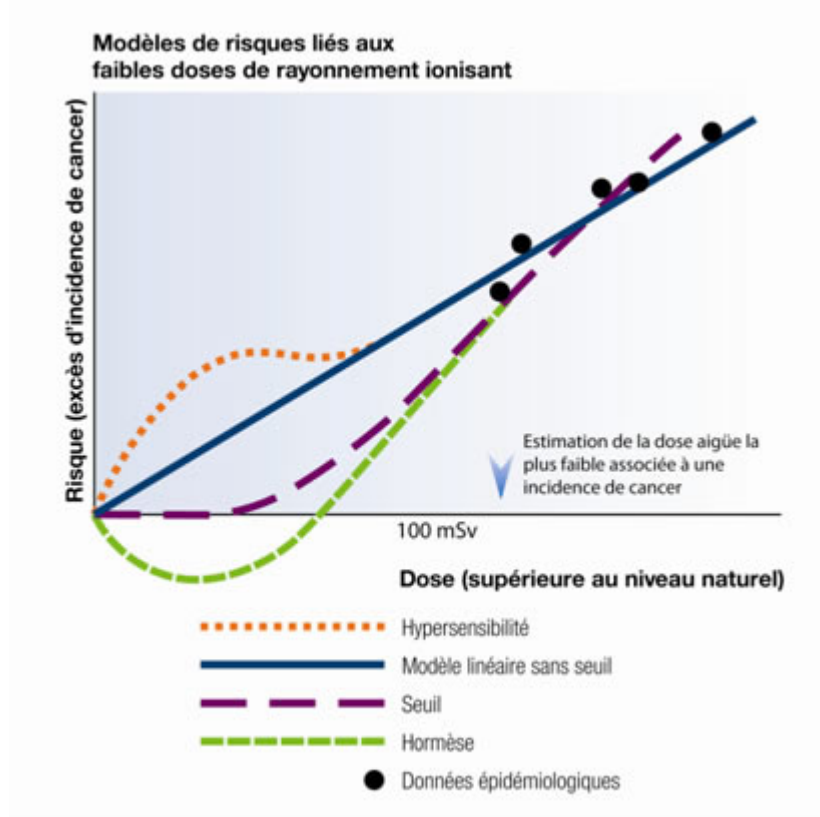
Pour établir les limites de dose, la CCSN s'est en grande partie fiée aux recommandations de la CIPR. Les limites de dose sont établies à un niveau sous lequel le risque est considéré comme acceptable. Toutefois, par prudence, on part du principe que toute exposition au rayonnement comporte un certain nombre de risques, même en deçà de la limite de dose, d'où l'existence de règlements pour réduire toutes les doses au niveau ALARA. ALARA n'est pas une limite de dose, mais une pratique qui vise à maintenir les doses autant que possible en dessous de la limite réglementaire qui, au Canada, est fixée à 1 mSv par an pour le public. En fait, la dose de rayonnement totale attribuable à l'industrie nucléaire ne représente qu'une infime fraction de cette dose, c'est-à-dire dans la gamme de 12 à 18 microsieverts (μSv)², ce qui est des milliers de fois inférieur à la limite.

Le modèle linéaire sans seuil est un modèle de risque utilisé à l'échelle internationale par la plupart des organismes de santé et des organismes de réglementation nucléaire afin d'établir des limites de dose pour les travailleurs et les membres du public. Le modèle linéaire sans seuil présume raisonnablement qu'il existe un lien direct entre la radioexposition et les taux de cancer.

Plusieurs autres modèles de risque existent (voir la figure 10), chacun ayant ses avantages et désavantages. Ils varient en fonction de leurs hypothèses et s'ils prennent en compte l'incertitude. La CCSN utilise le modèle linéaire sans seuil comme approche à la radioprotection et pour l'élaboration de règlements appropriés.

² Comme les doses auxquelles sont exposés les travailleurs et le public sont si basses, la plupart des rapports et des mesures de dose utilisent les termes millisievert (mSv) et microsieverts (Sv), qui équivalent respectivement à 1/1000 et à 1/100 000 000 de sievert. Ces sous-unités du sievert sont plus pratiques à utiliser pour les milieux professionnel et public.

Figure 10 : Modèles de risques liés aux faibles doses de rayonnement ionisant



4.3 Comment le rayonnement affecte-t-il les cellules?

L'altération ou cassure des molécules de l'acide désoxyribonucléique (ADN) est le principal effet du rayonnement sur la santé. L'ADN est une longue chaîne d'acides aminés qui contient les informations nécessaires au fonctionnement des cellules. Le rayonnement peut altérer cette chaîne. Dans ce cas, trois phénomènes peuvent se produire :

1. L'ADN se répare correctement :

Dans ce cas, la cellule est correctement réparée et continue de fonctionner normalement. La molécule d'ADN subit en permanence des lésions, à chaque seconde de la journée, et les cellules ont une aptitude naturelle à réparer ces lésions.

2. La lésion de l'ADN est trop grave et la cellule meurt (effets déterministes) :

Si l'ADN ou d'autres éléments essentiels de la cellule reçoivent une forte dose de rayonnement, la cellule peut soit mourir, soit être lésée au point de ne plus pouvoir se régénérer. Si ce phénomène touche un grand nombre de cellules dans un tissu ou un organe, les effets précoces du rayonnement peuvent se manifester. Il s'agit des effets déterministes dont la gravité varie selon la dose de rayonnement reçue. Ils peuvent se traduire par des brûlures, des cataractes et, dans des cas extrêmes, la mort.

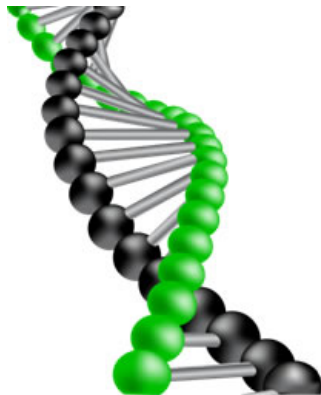
Les premières preuves des effets déterministes du rayonnement ont été observées chez les premiers chercheurs et utilisateurs du rayonnement. Ceux-ci ont présenté des lésions sévères à la peau et aux mains en raison d'une exposition à une dose excessive de rayonnement. Plus récemment, les mêmes phénomènes ont été observés après l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, en 1986, au cours duquel plus de 130 travailleurs et pompiers ont reçu de fortes doses de rayonnement (800 à 16 000 mSv) et ont présenté par la suite la maladie des rayons. Deux des personnes exposées sont décédées quelques jours après l'exposition. Plus de 30 travailleurs et pompiers sont décédés dans les trois mois qui ont suivi l'accident.

La CCSN et d'autres organismes de réglementation internationaux disposent de mesures, y compris des limites de dose très strictes et des bases de données permettant le suivi des sources radioactives, pour atténuer les risques susceptibles de peser sur les membres du public ou les travailleurs exposés à des doses de rayonnement suffisamment élevées pour occasionner des effets déterministes. La CCSN dispose également de règlements très stricts pour la manipulation des substances et des dispositifs nucléaires au Canada.

3. La cellule se répare mal, mais continue de vivre (effets stochastiques) :

Dans certains cas, une partie de l'ADN (voir la figure 11) de la cellule peut être lésée par le rayonnement et ne pourra peut-être pas se réparer par elle-même. Celle-ci peut continuer de vivre et même de se reproduire. Toutefois, au cours de ce processus, les erreurs qui n'ont pas été corrigées dans le brin d'ADN seront aussi présentes dans les cellules qui descendent d'une cellule et cela peut perturber leur fonctionnement. La probabilité de ce type d'effets indésirables est proportionnelle à la dose et porte le nom d' « effet stochastique ». Avec les effets stochastiques, la probabilité des effets augmente à mesure que la dose augmente. Toutefois, le moment où les effets surviendront et leur gravité sont indépendants de la dose.

Figure 11 : Brin d'ADN



Les dommages à l'ADN se produisent constamment dans le corps humain. En effet, nous sommes exposés à environ 15 000 événements de ce type qui n'entraînent pas la mort des cellules chaque seconde. Parfois, la structure de la cellule change parce qu'elle se répare mal. Cette altération peut n'avoir aucun effet ou l'effet en question peut se manifester plus tard dans la vie. Un cancer ou des effets héréditaires peuvent ou non survenir.

Les dommages génétiques surviennent lorsque l'ADN des cellules des spermatozoïdes ou des ovules est endommagé. Cela provoque l'émergence d'une anomalie qui est transmise d'une génération à l'autre. D'après les études menées sur les animaux, comme sur les mouches des fruits par Hermann J. Muller en 1926, l'exposition au rayonnement cause des mutations génétiques. Toutefois, à ce jour, aucun effet génétique connu n'a été observé chez les êtres humains par suite d'une exposition au rayonnement. Il s'agit d'études qui ont porté sur 30 000 enfants de survivants des bombardements atomiques sur Hiroshima et Nagasaki au Japon en 1945 (BEIR VII).

Le tableau 3 fait la synthèse des effets possibles sur la santé qui sont reliés à des doses de rayonnement données. Les limites de dose ont aussi été ajoutées pour montrer comment elles protègent les travailleurs et la population des dangers.

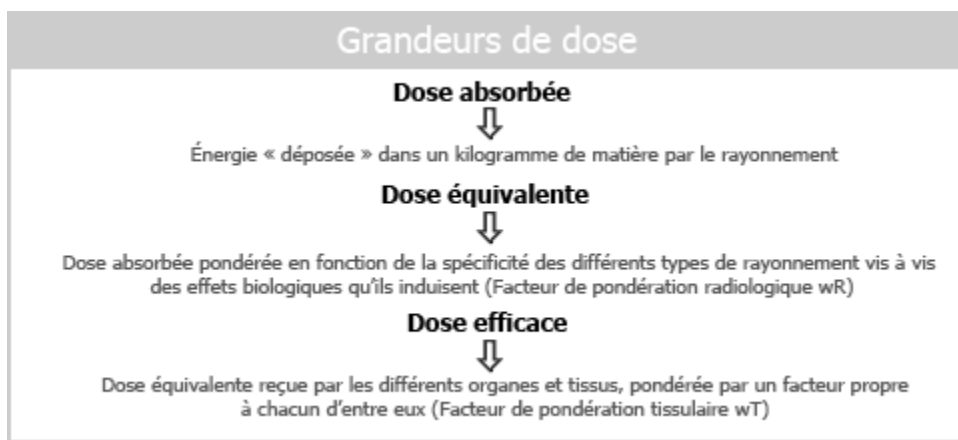
Tableau 3: Doses de rayonnement, limites de dose et effets possibles sur la santé

Dose	Limite ou effet sur la santé
Plus de 5 000 mSv	Dose pouvant causer la mort si elle est reçue en une seule fois
1 000 mSv	Dose pouvant occasionner les symptômes de la maladie des rayons (fatigue et nausées) si elle est reçue au cours d'une période de 24 heures
100 mSv	Dose aiguë la plus petite connue pouvant causer l'apparition de cancers
30 à 100 mSv	Dose de rayonnement reçue lors d'une tomographie axiale informatisée du corps entier
50 mSv	Limite de dose de rayonnement annuelle pour les travailleurs du secteur nucléaire
1,8 mSv	Dose annuelle moyenne due au rayonnement de fond au Canada
1 mSv	Limite de dose annuelle pour les membres du public au Canada
0,1 à 0,12 mSv	Dose reçue lors d'une radiographie des poumons
0,01 mSv	Dose reçue lors d'une radiographie dentaire
0,01 mSv	Dose annuelle moyenne résultant des voyages en avion

5. Doses de rayonnement

Pour les besoins de la radioprotection, différentes grandeurs de dose ont été définies : dose absorbée, dose équivalente et dose efficace. Les sections 5.1 à 5.3 décrivent respectivement ces types de dose. La figure 12 présente un aperçu du lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée.

Figure 12 : Lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée



La section 5.4 présente des doses de rayonnements représentatives qui pourraient être attendues selon divers scénarios et la section 5.5 traite des limites de doses établies par la CCSN.

5.1 Dose absorbée

Lorsque le rayonnement ionisant pénètre dans le corps humain ou dans la matière, il leur communique de l'énergie. L'énergie absorbée par suite de l'exposition au rayonnement porte le nom de dose absorbée. La dose absorbée se mesure grâce à une unité appelée le gray (Gy). Un Gray correspond à une énergie déposée d'un joule dans un kilogramme de matière.

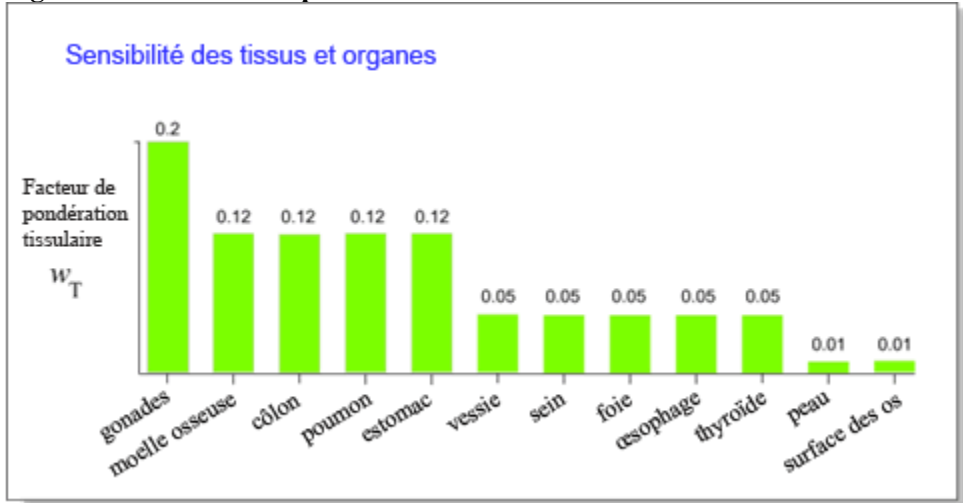
5.2 Dose équivalente

Lorsque le rayonnement est absorbé par une matière vivante, on peut parfois observer un effet biologique. Tous les rayonnements ne produisent pas le même effet biologique pour une même dose absorbée. L'effet dépend du type de rayonnement (alpha, bêta, gamma, etc.). Ainsi, 1 Gy de rayonnement alpha est plus nocif pour les tissus humains que 1 Gy de rayonnement bêta. Pour obtenir la dose équivalente, il faut multiplier la dose absorbée par un facteur de pondération radiologique (w_R) spécifique. Pour exprimer cet effet, on utilise alors un facteur de pondération radiologique (w_R) pour mettre en équivalence les différents types de rayonnement et leur efficacité biologique respective. Cette dose équivalente est exprimée en sievert (Sv). Autrement dit, 1 Sv de rayonnement alpha possède les mêmes effets biologiques que 1 Sv de rayonnement bêta. En d'autres mots, la dose équivalente permet d'obtenir une unité qui rend compte du degré de nocivité de différents types de rayonnement.

5.3 Dose efficace

Les différents tissus et organes présentent une sensibilité différente au rayonnement (voir la figure 13). Par exemple, la moelle osseuse est beaucoup plus radiosensible que les tissus musculaires ou nerveux. Pour obtenir une indication de l'effet de l'exposition sur la santé générale, la dose équivalente peut être multipliée par un facteur de pondération tissulaire (w_T) lié au risque pour un tissu ou organe particulier. Cette multiplication donne la dose efficace absorbée par le corps. L'unité utilisée pour exprimer la dose efficace est également le sievert.

Figure 13 : Facteurs de pondération tissulaire



Source : Règlement sur la radioprotection

À titre d'exemple, si l'estomac et la vessie d'un sujet sont exposés séparément au rayonnement et que les doses équivalentes aux tissus soient respectivement de 100 et 70 mSv, la dose efficace sera calculée comme suit : $(100 \text{ mSv} \times 0,12) + (70 \text{ mSv} \times 0,05) = 15,5 \text{ mSv}$. Le risque d'effets nocifs liés à l'exposition au rayonnement équivaut à 15,5 mSv reçus de façon homogène par le corps entier.

5.4 Doses typiques de rayonnement

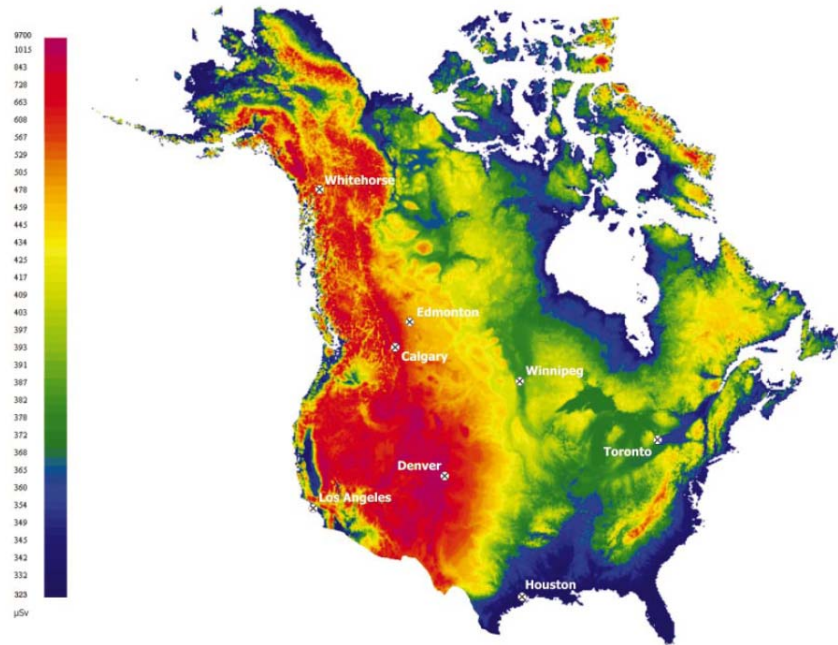
5.4.1 Rayonnement naturel

Au niveau mondial, la dose efficace moyenne totale provenant du rayonnement naturel est de l'ordre de 2,4 mSv par an. Au Canada, la dose efficace moyenne se chiffre à 1,8 mSv (voir le tableau 4 et la figure 15). Tel que spécifié à la section 3, la dose peut dépendre de la source de rayonnement :

- **Rayonnement cosmique :** Les régions de haute altitude reçoivent plus de rayonnement cosmique. Selon une étude récente de Santé Canada, la dose efficace annuelle provenant du rayonnement cosmique reçue par les habitants de Vancouver, en Colombie-Britannique, qui est située au niveau de la mer, est de l'ordre de 0,30 mSv. Par contre, une personne qui vivrait au sommet du mont Lorne, au Yukon, à une altitude de 2 000 m, recevrait une dose annuelle d'environ 0,84 mSv. Les voyages aériens augmentent également l'exposition au rayonnement cosmique de 0,01 mSv par Canadien par an. La figure 14 montre à quel point les niveaux de

rayonnement cosmique varie avec des élévations au-dessus du niveau de la mer et en fonction de la longitude et de la latitude.

Figure 14 : Dose efficace annuelle pour l'extérieur provenant du rayonnement cosmique en Amérique du Nord (en microsieverts)



Source : Gratsky et al., 2004

- **Rayonnement terrestre :** Les sols contiennent également des sources naturelles de rayonnement, et les régions dont les sols sont riches en uranium reçoivent plus de rayonnement émis par les sols. La dose efficace moyenne de rayonnement émis par les sols (et les matériaux de construction provenant de ces sols) est de l'ordre de 0,5 mSv par an. Toutefois, cette dose varie selon l'emplacement géographique et la géologie, et peut atteindre 260 mSv dans le Nord de l'Iran ou 90 mSv au Nigéria. Au Canada, la dose annuelle la plus élevée serait, selon les estimations, de l'ordre de 2,3 mSv et concerne les Territoires du Nord-Ouest.
- **Inhalation :** La croûte terrestre produit du radon, qui est présent dans l'air que nous respirons. Le radon donne lieu à quatre produits de désintégration qui irradient les poumons en cas d'inhalation. À l'échelle mondiale, la dose efficace annuelle moyenne de rayonnement par le radon est d'environ 1,3 mSv. Une récente étude de Santé Canada sur le radon dans les habitations a révélé que les niveaux de radon dans 93 % des foyers canadiens sont en dessous de la ligne directrice canadienne actuelle de 200 Bq/m³.
- **Ingestion :** Enfin, il existe plusieurs sources de rayonnement naturelles qui pénètrent dans nos organismes, que ce soit par les aliments que nous ingérons, l'air que nous respirons et l'eau que nous buvons. Le potassium 40 est la principale source d'irradiation interne (exception faite des produits de filiation du radon). La dose efficace moyenne provenant de ces sources est d'environ 0,3 mSv par an.

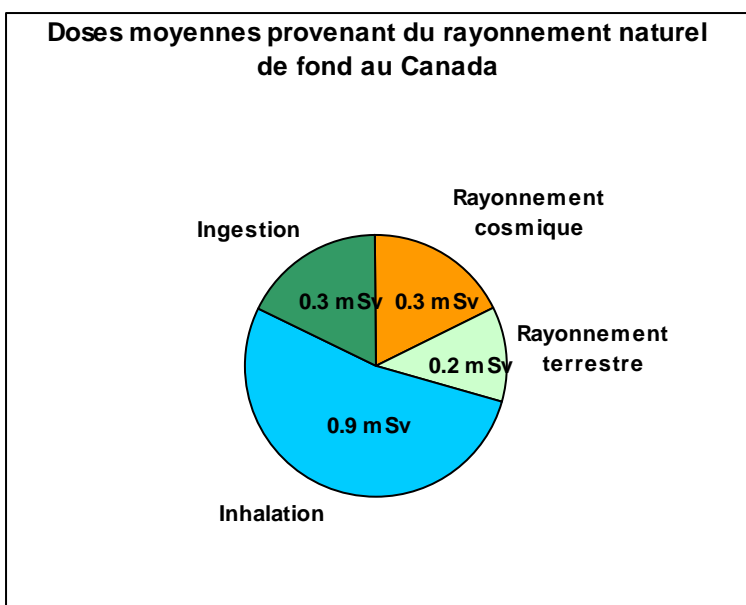
Tableau 4 : Dose efficace moyenne dans certaines villes canadiennes comparée à la moyenne mondiale

Source de rayonnement	Moyenne mondiale ¹ (mSv)	Canada ² (mSv)	Toronto ² (mSv)	Winnipeg ² (mSv)
Rayonnement cosmique	0,4	0,3	0,3	0,3
Irradiation interne	0,3	0,3	0,3	0,3
Exposition due à l'inhalation	1,3	0,9	0,8	3,2
Irradiation externe	0,5	0,2	0,2	0,2
Total	2,4	1,8	1,6	4,0

1 UNSCEAR, 2010

2 Grasty et LaMarre, 2004

Figure 15 : Doses provenant du rayonnement naturel de fond au Canada



5.4.2 Les sources artificielles de rayonnement

Les sources artificielles de rayonnement (résultant des activités commerciales et industrielles) représentent environ 0,2 μ Sv de notre exposition annuelle au rayonnement. Les rayons X et autres interventions médicales diagnostiques et thérapeutiques (voir le tableau 5) représentent environ 1,2 mSv par an (UNSCEAR, 2000). Les produits de grande consommation comme le tabac et les détecteurs de fumée représentent 0,1 mSv de notre exposition annuelle au rayonnement.

Tableau 5 : Doses aux organes typiques selon le type d'examen radiologique

Type d'examen	Organe	Dose (mSv)
Radiographie dentaire ¹	Cerveau	0,01
Radiographie de la poitrine ¹	Poumons	0,1
Mammographie de dépistage ²	Seins	3
Tomodensitométrie abdominale (adulte) ²	Estomac	10
Tomodensitométrie abdominale (néonatale) ²	Estomac	20

¹ National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), 2009

² Brenner et Hall, 2007

Globalement, le rayonnement naturel représente approximativement 60 % de la dose annuelle à laquelle nous sommes exposés. Les interventions médicales représentent approximativement 40 % de cette dose annuelle.

Il n'y a pas de différence dans les effets causés par le rayonnement naturel ou artificiel.

5.5 Limites de dose

La CCSN établit les limites de dose pour les travailleurs canadiens et la population. Elle le fait en suivant les recommandations de la CIPR qui se compose de scientifiques éminents et de plusieurs grands spécialistes de la radioprotection. Ces règlements s'inspirent aussi de la plupart des normes et recommandations de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

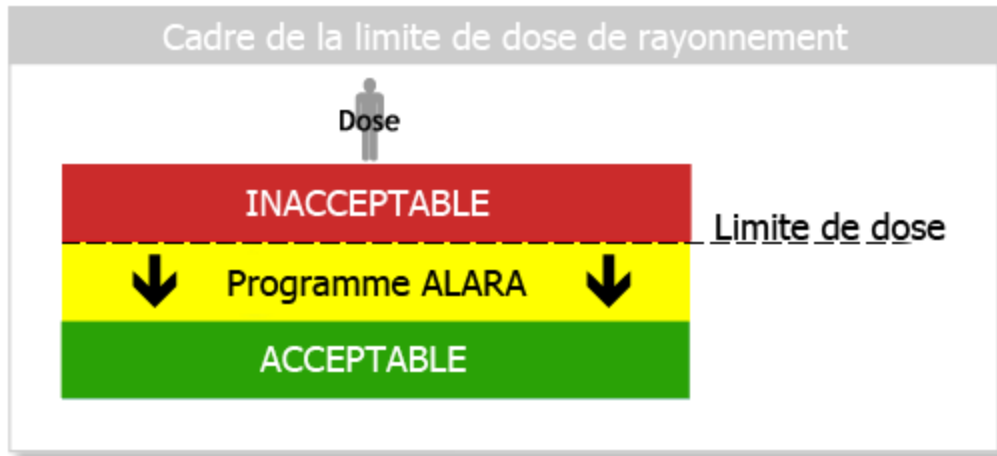
Au Canada, l'application des règlements, normes et pratiques mis en place pour protéger les membres du public et les travailleurs des sources de rayonnement qui ne sont pas réglementées par la CCSN est du ressort de Santé Canada, de Ressources humaines et Développement des compétences Canada, du ministère de la Défense nationale et des gouvernements provinciaux et territoriaux.

Par ailleurs, le Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial (CRFPT) élabore des lignes directrices concernant le rayonnement ionisant et non ionisant et s'emploie à harmoniser les règlements relatifs à la radioprotection à la grandeur du Canada. Coprésidé par la CCSN, Santé Canada et les provinces, le CRFPT est une tribune nationale pour les questions de radioprotection.

Pour les personnes qui exploitent l'énergie nucléaire ou travaillent avec celle-ci, la limite de dose réglementée est fixée en dessous de la limite inférieure de ce qui est considéré comme une exposition inacceptable. Par exemple, les limites de dose efficace pour les travailleurs du secteur nucléaire est de 50 mSv par an et de 100 mSv sur 5 ans. Il n'a pas été démontré que l'exposition à du rayonnement inférieur à une dose aiguë d'environ 100 mSv n'augmente pas le risque d'effets sur la santé comme le cancer.

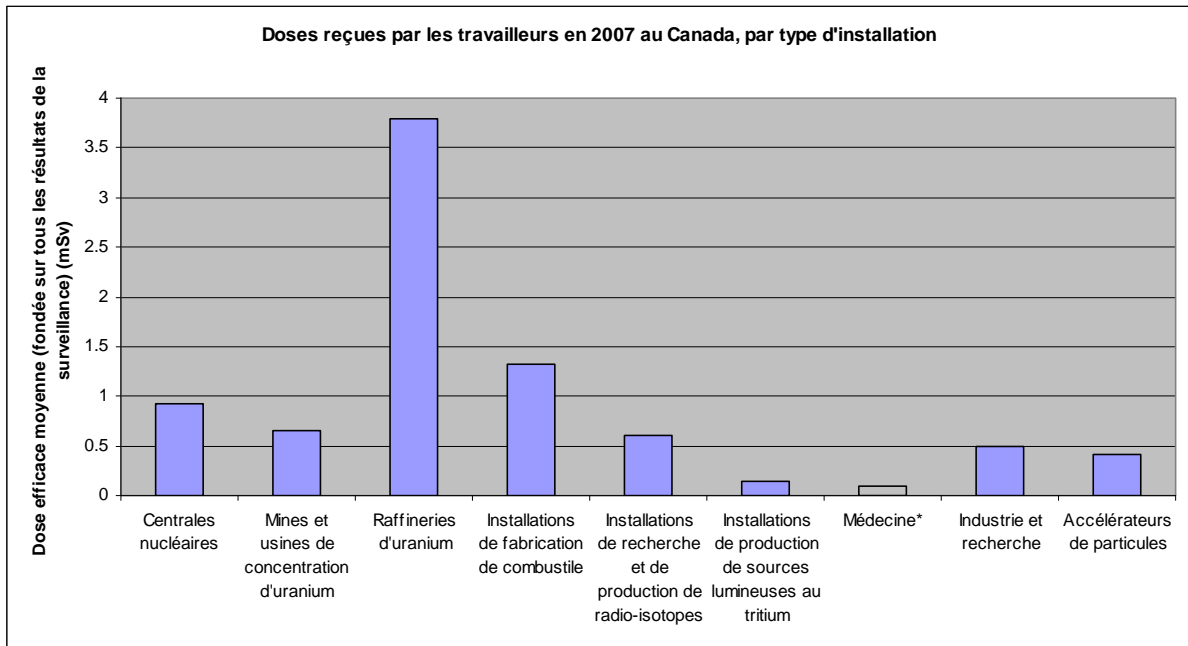
De plus, les titulaires de permis doivent veiller à ce que toutes les doses respectent le principe ALARA (voir la figure 16).

Figure 16 : Cadre de la limite de dose de rayonnement



Les rapports et les contrôles réguliers démontrent que la moyenne annuelle des doses aux travailleurs des installations nucléaires canadiennes est de l'ordre de 1 à 2 mSv par année (voir la figure 17).

Figure 17 : Doses reçues par les travailleurs en 2007 au Canada, par type d'installation



* Peut inclure l'exposition aux rayons X.

Source : Fichier dosimétrique national du Canada (Santé Canada) – D'après les données publiées les plus récentes.

Au Canada, la limite de dose efficace pour le public est de 1 mSv au cours d'une année civile. Les rapports et les contrôles réguliers montrent que les doses efficaces annuelles auxquelles les membres du public sont exposés dans le cadre des activités réglementées par la CCSN varient entre 0,001 et 0,092 mSv par an. Le tableau 6 présente la dose annuelle maximale pour les membres du public résultant d'émissions dans l'air et dans l'eau provenant de diverses installations autorisées de la CCSN, par année. Les doses reçues résultant d'émissions atmosphériques et aquatiques n'ont pas été additionnées pour Énergie atomique du Canada limitée (EACL) aux Laboratoires de Chalk River parce que ces doses correspondaient à différents individus exposés représentatifs provenant de différentes populations.

Tableau 6 : Dose annuelle maximale pour les membres du public résultant des émissions atmosphériques et aquatiques par année

Installation	Dose annuelle maximale (mSv) pour les membres du public résultant des émissions atmosphériques et aquatiques par année				
	2006	2007	2008	2009	2010
Centrales nucléaires					
Point Lepreau	0,0006	0,0007	0,0018	0,0004	0,0002
Gentilly-2	0,0007	0,0009	0,0006	0,0012	0,0010
Darlington	0,0011	0,0014	0,0013	0,0007	0,0006
Pickering	0,0028	0,0026	0,0041	0,0018	0,0010
Bruce	0,0025	0,0021	0,0027	0,0044	0,0029
Laboratoires de Chalk River d'EACL (émissions atmosphériques)	0,081	0,073	0,092	0,045	0,032
Laboratoires de Chalk River d'EACL (émissions aquatiques)	0,027	0,014	0,013	0,0011	0,0004

Source : Rapports des titulaires de permis et données de surveillance de l'environnement soumises à la CCSN

6. Réglementation des radiations

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) réglemente l'utilisation de l'énergie et des matières nucléaires afin de préserver la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens, de protéger l'environnement et de mettre en œuvre les obligations internationales du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Le mandat de la CCSN inclut aussi la diffusion de renseignements objectifs de nature scientifique, technique et réglementaire à l'intention de la population.

En tant qu'organisme de réglementation nucléaire du Canada, la CCSN surveille toutes les installations nucléaires et les activités et applications liées au nucléaire. En font partie les centrales nucléaires, les mines et usines de concentration d'uranium, les installations de traitement et de recherche, les installations de gestion des déchets radioactifs, les substances nucléaires et les appareils à rayonnement utilisés à des fins médicales et industrielles.

La CCSN dispose d'un cadre de délivrance de permis et de vérification de la conformité visant à assurer que toute personne qui utilise, possède ou stocke des substances nucléaires et des appareils à rayonnement est en conformité avec un permis et a mis en place des dispositions de sûreté et de sécurité appropriées. Au fil des ans, ces exigences réglementaires ont été renforcées suite à l'amélioration des connaissances sur les effets du rayonnement.

6.1 Protection des Canadiens

Toutes les installations et activités nucléaires au Canada sont régies par la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (LSRN), qui est entrée en vigueur en mai 2000, en remplacement de l'ancienne *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*. La LSRN et ses règlements sont conçus pour protéger le public, les personnes qui travaillent dans le secteur nucléaire et notre environnement. Le rôle de la CCSN est de s'assurer que la LSRN et ses règlements sont respectés.

La CCSN collabore avec les organismes provinciaux et territoriaux de réglementation en matière de protection de l'environnement et de radioprotection. De nombreux autres organismes fédéraux jouent également un rôle dans la protection des Canadiens : la CCSN collabore avec Ressources naturelles Canada, Environnement Canada, Santé Canada, Pêches et Océans Canada, Transports Canada, la Défense nationale et les Forces canadiennes, et Affaires étrangères et Commerce international Canada pour réglementer les installations et activités nucléaires canadiennes.

Les normes canadiennes en matière de sûreté nucléaire prennent comme référence les normes internationales. Pour ce faire, la CCSN s'appuie sur les travaux de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et d'autres organisations telles que le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), ainsi que sur ceux de Santé Canada et d'Environnement Canada.

Avec la coopération de ses États membres, l'AIEA publie plusieurs normes internationales, notamment des normes de non-prolifération nucléaire. Les normes de la CCSN et les meilleures pratiques dans ce domaine respectent celles de l'AIEA.

Dans le domaine de la non-prolifération nucléaire, la CCSN travaille pour le compte du gouvernement du Canada afin d'atteindre deux objectifs : assurer aux Canadiens et à la communauté internationale que les exportations nucléaires de notre pays ne contribuent pas à la

fabrication d'armes nucléaires ou de dispositifs explosifs nucléaires et promouvoir un cadre international de non-prolifération efficace et plus complet.

6.2 Protection des travailleurs

La CCSN réglemente les installations et activités nucléaires canadiennes dans le but de protéger la sécurité et la santé des travailleurs. Les installations nucléaires comprennent les centrales nucléaires, les mines et les usines de concentration d'uranium, les installations de fabrication de combustible et les installations qui effectuent le traitement et la recherche. Les aspects des activités réglementées sont la sécurité, la dosimétrie, l'emballage et le transport des substances nucléaires, ainsi que l'importation et l'exportation des substances nucléaires.

On estime à 40 000 le nombre de travailleurs de l'industrie nucléaire au Canada, et le nombre de personnes exposées au rayonnement chaque jour dans le cadre de leur emploi est beaucoup plus élevé. Les travailleurs canadiens sont exposés à des rayonnements de deux façons : ils travaillent avec des sources artificielles de rayonnement (par exemple, dans l'industrie nucléaire, les soins de santé, les établissements de recherche ou de production) ou bien ils sont exposés à des niveaux élevés de rayonnement naturel (par exemple, dans l'industrie minière, dans les équipages d'avion et dans la construction).

Le *Règlement sur la radioprotection* canadien fixe des limites s'appliquant à la quantité de rayonnement à laquelle le public et les travailleurs du secteur nucléaire (TSN) peuvent être exposés. Il s'agit des « limites de dose » (voir la section 5.5) et elles sont fixées en deçà du seuil auquel on s'attend qu'il y ait des effets néfastes sur la santé. Le Règlement exige que les titulaires de permis mettent en œuvre des programmes de radioprotection qui limitent l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants sous les limites de dose et à un niveau aussi bas que possible, les facteurs sociaux et économiques en présence étant pris en compte (voir la figure 17).

Accident nucléaire survenu à Fukushima en 2011

Le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9 suivi d'un tsunami dévastateur ont frappé le Japon, laissant derrière eux près de 25 000 morts ou disparus, un demi-million de résidences détruites ou endommagées et 560 km² inondés.

Les répercussions combinées du séisme et du tsunami sur la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi ont provoqué l'un des pires accidents nucléaires du monde. Au cours des heures et des jours qui ont suivi, trois des six réacteurs de la centrale ont surchauffé et subi des dommages. Les travailleurs de la centrale ont bravé des conditions extraordinaires pour prévenir ou retarder les rejets de matières radioactives au-dessus de la région environnante et dans la mer. Grâce à leurs efforts, il a été possible de retarder suffisamment ces rejets pour que la population environnante puisse être évacuée malgré les dommages généralisés subis aux infrastructures locales.

À mesure que l'accident se déroulait, la zone d'évacuation s'est agrandie et les autorités ont recommandé aux habitants d'un plus grand secteur de se réfugier à l'intérieur. Des mesures de surveillance radiologique étendues et de contrôle de la production et de la distribution alimentaires ont été mises en œuvre. Dans le même ordre d'idée, il faudra poursuivre la surveillance et le contrôle des approvisionnements alimentaires et en eau, peut-être pendant de nombreuses années.

Cet accident a poussé de nombreux pays à évaluer la sûreté de leurs infrastructures nucléaires. La Commission canadienne de sûreté nucléaire a entrepris un examen de toutes les grandes installations nucléaires au Canada. Cet examen, dirigé par un groupe de travail multidisciplinaire, a permis de confirmer que les installations canadiennes peuvent résister et répondre à des événements externes, comme les tremblements de terre. Un plan d'action de quatre ans est en cours d'élaboration afin de renforcer les défenses et de réduire davantage le risque, notamment grâce à l'amélioration du *Règlement sur la radioprotection* en vigueur pour y intégrer de nouvelles exigences en cas d'urgence.

Les installations nucléaires au Canada doivent disposer d'un personnel qualifié pour effectuer leurs activités en conformité avec la LSRN et ses règlements. La CCSN vérifie également que le personnel travaillant dans le domaine de la radioprotection est capable d'exécuter les tâches prévues d'après les permis.

Surveillance des doses

Tous les titulaires de permis de la CCSN sont tenus de déterminer les doses de rayonnement reçues par les travailleurs dans l'exercice de leurs fonctions. En outre, si l'on s'attend à ce que les doses efficaces dépassent 5 mSv en un an, les titulaires de permis sont tenus de recourir à des services de dosimétrie autorisés.

La CCSN délivre des permis aux services de dosimétrie, qui doivent effectuer des mesures de doses exactes et précises. Les titulaires de permis de services de dosimétrie sont tenus de déposer de l'information régulièrement dans le Fichier dosimétrique national (FDN). Le FDN, exploité par le Bureau de la radioprotection de Santé Canada, contient les dossiers de doses de rayonnement provenant de tous les processeurs commerciaux de dosimétrie, des installations de production d'énergie nucléaire, d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL) et des mines d'uranium. Le registre comprend également les dossiers de doses provenant des utilisateurs de rayons X tels que les dentistes, les radiologues et les chiropraticiens, ainsi que les expositions aux produits de filiation du radon provenant de certaines mines qui ne détiennent pas de permis de la CCSN.

7. Sommaire

Le rayonnement a toujours été présent et il est partout dans notre environnement. La vie a évolué dans un monde contenant des niveaux élevés de rayonnement ionisant. Nous sommes également exposés au rayonnement artificiel provenant de sources telles que les traitements médicaux et les activités impliquant des matières radioactives.

Les effets du rayonnement sur la santé sont bien compris. Depuis le début du 20^e siècle, les effets du rayonnement ont été étudiés à fond, à la fois en laboratoire et sur les populations humaines. En raison des risques connus du rayonnement pour la santé, il doit être utilisé avec prudence et strictement contrôlé. Un équilibre doit être trouvé entre les avantages du rayonnement pour la société et les risques que le rayonnement pose pour les personnes, la santé et l'environnement.

La CCSN réglemente l'utilisation de l'énergie et des matières nucléaires afin de protéger la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens, de protéger l'environnement, et de respecter les obligations internationales du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Elle définit également des limites de dose pour empêcher que les travailleurs et le public ne soient soumis à une exposition excessive au rayonnement.

La compréhension des risques que pose le rayonnement aide la CCSN et d'autres organismes de réglementation à fixer les limites de dose et à établir des règlements qui limitent l'exposition à des niveaux sûrs. Les titulaires de permis sont tenus de maintenir toutes les doses de rayonnement à des niveaux ALARA. Des programmes de surveillance du rayonnement sont en place à proximité des centrales nucléaires et d'autres installations nucléaires à travers le Canada pour protéger les personnes et l'environnement contre les effets potentiels du rayonnement.

Des programmes gouvernementaux et de l'industrie mesurent systématiquement les niveaux de radioactivité dans l'air, l'eau potable, les eaux de surface, le sol et les aliments. Grâce à ces données, la CCSN peut vérifier que les normes sont respectées, évaluer l'efficacité des contrôles et déterminer les tendances environnementales.

Depuis plus de 65 ans, le Canada détient un dossier de sûreté nucléaire reconnu au niveau international. La CCSN est fière d'avoir contribué à ce dossier de sûreté en assurant une surveillance réglementaire solide. Les Canadiens peuvent être assurés que la CCSN continuera de surveiller avec vigilance la sûreté de l'industrie nucléaire canadienne, de sorte que la santé et la sûreté ne soient jamais compromises.

Glossaire

Acide aminé : Les éléments constitutifs des protéines. Il s'agit de molécules organiques contenant un groupement amine (NH₂) et un groupe carboxyle (COOH).

Acide désoxyribonucléique (ADN) : Le composé moléculaire dans le noyau d'une cellule qui forme le modèle de la structure et du fonctionnement de la cellule.

Activité : Rythme auquel se produisent les désintégrations dans une matière radioactive par unité de temps. Utilisée comme mesure de la quantité de radionucléides présents. Unité : Becquerel; symbole : Bq. 1 Bq = une désintégration par seconde.

ALARA : Un principe d'optimisation de la protection utilisé pour s'assurer que les limites de doses reçues au niveau individuel, au travail et par le public, soient maintenues aussi bas que raisonnablement possible (ALARA), compte tenu des facteurs économiques et sociaux. Ce concept ne désigne pas la limite de dose; il s'agit d'un processus qui permet de maintenir les niveaux de dose bas.

Appareil à rayonnement : Tel que défini dans le *Règlement sur les substances nucléaires et les appareils à rayonnement* : a) un appareil contenant une substance nucléaire en une quantité supérieure à la quantité d'exemption et permettant son utilisation pour ses propriétés de rayonnement ; et b) un appareil contenant un composé lumineux au radium.

Atome : Unité de matière formée d'un noyau unique autour duquel gravitent plusieurs électrons et dont le nombre est égal à celui des protons dans le noyau. L'atome est la plus petite partie d'un élément pouvant se combiner chimiquement avec d'autres atomes. Tous les atomes autres que l'hydrogène 1 ont des neutrons dans le noyau.

Becquerel : Unité SI de mesure de l'activité d'une substance radioactive. Le becquerel remplace le curie (Ci), qui n'est pas une unité SI. Son symbole est Bq. Il correspond à une désintégration nucléaire par seconde; 1 Bq = 27 pCi ($2,7 \times 10^{-11}$ Ci) et 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq. (Voir aussi « SI ».)

Cancer : Un grand nombre de maladies causées par la division effrénée de cellules anormales.

Capture des électrons : Processus de désintégration radioactive au terme duquel un électron en orbite est capturé par le noyau et fusionne avec ce dernier. Après ce processus, la masse reste inchangée, mais le numéro atomique diminue d'un facteur de un car un proton est converti en neutron.

Capture des neutrons ou capture neutronique : Type de réaction nucléaire au terme de laquelle un noyau atomique s'empare d'un neutron libre et fusionne avec lui pour former un noyau plus lourd. Les neutrons peuvent réagir avec un noyau atomique de plusieurs manières, chacune aboutissant à un produit différent.

Cataracte : Affection qui survient lorsque le cristallin normalement transparent de l'œil se trouble ou s'opacifie et cause une vision trouble qu'il n'est pas possible de corriger par des verres correcteurs ordinaires. Le facteur le plus important de la formation de cataractes est le vieillissement, mais il existe des facteurs additionnels comme le tabagisme, le diabète, l'exposition excessive au soleil et le rayonnement.

Cellule : La plus petite unité structurelle et fonctionnelle de tous les organismes vivants connus.

Désintégration (radioactive) : Transformation d'un nucléide radioactif en un nucléide différent (ou plusieurs nucléides différents) par émission spontanée de rayonnement tels que des rayonnements alpha, bêta ou gamma ou par capture des électrons. Il en résulte un noyau plus stable et moins chargé en énergie. Chaque processus de désintégration a une période radioactive définie.

Deutérium : Un isotope d'hydrogène, avec un proton et un neutron dans le noyau.

Dose : Terme général utilisé pour désigner la quantité d'énergie provenant de rayonnement ionisant absorbée par les tissus. La dose absorbée est mesurée en grays (Gy), où 1 gray équivaut à 1 joule par kilogramme. Voir aussi dose absorbée, dose équivalente et dose efficace.

Dose absorbée : Quantité d'énergie absorbée par la matière irradiée par unité de masse. Cela reflète la quantité d'énergie déposée par du rayonnement ionisant lors de son passage à travers un milieu (comme l'air, l'eau ou du tissu vivant). Unité : gray. Symbole : Gy.

Dose aiguë : Exposition reçue pendant une courte durée (heures ou jours). L'adjectif « aiguë » désigne uniquement la durée de l'exposition et non l'intensité des doses concernées.

Dose chronique : Exposition persistante (en termes de mois ou d'années). L'adjectif « chronique » se rapporte uniquement à la durée de l'exposition et non à l'intensité des doses.

Dose efficace : Mesure de dose visant à rendre compte de l'ampleur du détriment radiologique pouvant résulter de la dose. Elle représente la somme des produits des doses équivalentes aux tissus multipliées par leurs facteurs de pondération tissulaires respectifs. Unité : sievert (Sv).

Dose équivalente : Mesure de la dose au tissu ou à l'organe visant à rendre compte de l'ampleur du dommage causé. Obtenue en multipliant la dose absorbée par un facteur de pondération radiologique pour tenir compte de l'efficacité biologique de différents rayonnements à causer des dommages au tissu ou à l'organe considéré. Unité : sievert (Sv).

Dosimètre : Dispositif porté par une personne pour mesurer une dose de rayonnement ionisant.

Dosimétrie : Sous-spécialité scientifique de la radioprotection et de la physique médicale centrée sur le calcul et l'enregistrement des doses internes et externes provenant du rayonnement ionisant.

Eau légère : Eau ordinaire composée de molécules ayant deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène (H₂O). Différente de l'eau lourde, qui est composée de molécules ayant un atome d'hydrogène, un atome de deutérium (D) et un atome d'oxygène (HDO).

Eau lourde : Eau contenant une teneur élevée de molécules avec des atomes de deutérium (hydrogène lourd). Dans certains réacteurs, l'eau lourde est utilisée comme modérateur parce qu'elle ralentit les neutrons avec efficacité et aussi parce qu'elle a une faible probabilité d'absorber les neutrons.

Eau tritiée : L'eau tritiée (HTO) est une molécule d'eau dans laquelle une ou deux molécules d'hydrogène ont été remplacées par un atome de tritium.

Effets déterministes : Changements dans les cellules et les tissus qui se produiront certainement après une dose aiguë de rayonnement (à un niveau de dose supérieur à au moins 1 000 mSv), en deçà duquel l'effet du rayonnement n'est pas détecté. La gravité des effets sanitaires (érythème cutané, brûlures et chute des cheveux) augmente avec la dose reçue.

Effets stochastiques : Terme utilisé pour désigner les effets sanitaires du rayonnement (tels que le cancer ou les maladies héréditaires) présentant un risque statistique. Pour ces maladies, la probabilité d'apparition augmente proportionnellement à la dose de rayonnement reçue : plus la dose est élevée, plus la probabilité d'apparition est grande. La gravité des effets n'est pas proportionnelle à la dose.

Efficacité biologique relative : Mesure relative de l'efficacité de différents types de rayonnements à provoquer un effet sanitaire précis, exprimée comme le rapport inverse des doses absorbées de deux types de rayonnement différents qui produiraient un effet biologique donné de même intensité.

Électron : Particule élémentaire stable possédant une charge électrique négative de $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs et une masse de $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

Électron-volt (eV) : Unité d'énergie équivalente à environ $1,6 \times 10^{-19}$ joules.

Élément : Types d'atomes spécifiques ayant le même nombre de protons dans leur noyau et par conséquent le même numéro atomique. Le nombre de neutrons peut différer.

Émission de positrons : Type de désintégration radioactive dans laquelle un proton est transformé en neutron, ce qui émet un positron. Dans ces cas, lorsque le rapport neutrons-protons est trop faible et que l'émission de particules alpha n'est pas possible sur le plan énergétique, le noyau peut, dans certaines conditions, atteindre la stabilité en émettant un positron.

Énergie : Grandeur physique qui décrit la quantité de travail qui peut être effectuée par une force donnée, où la masse-énergie est conservée. Il existe différentes formes d'énergie : énergie cinétique, potentielle, thermique, gravitationnelle, acoustique, lumineuse, élastique, nucléaire et électromagnétique.

Épidémiologie : Étude de la distribution et des éléments déterminants des maladies dans les populations humaines. Elle sert de base pour la santé publique et la médecine préventive et elle est fondée sur des observations plutôt que sur des expériences.

Essai biologique : Toute procédure utilisée pour déterminer la nature, l'activité, l'emplacement ou la rétention de radionucléides dans l'organisme par des mesures directes (*in vivo*) ou par des analyses de matières excrétées ou autrement éliminées par l'organisme (*in vitro*).

Facteur de pondération radiologique : Nombre par lequel il faut multiplier la dose absorbée dans un tissu ou un organe pour déterminer l'efficacité biologique relative du rayonnement à induire des effets stochastiques à de faibles doses, le résultat étant la dose équivalente.

Facteur de pondération tissulaire : Facteur pour lequel la dose équivalente est pondérée aux fins de la détermination de la dose efficace. Le facteur de pondération tissulaire pour un organe ou un tissu représente la contribution relative de cet organe ou de ce tissu au préjudice total causé par les effets de l'irradiation uniforme du corps entier.

Fission ou fission nucléaire : Division d'un noyau lourd en deux morceaux (ou rarement plusieurs) avec des masses d'ampleur équivalente, accompagnée généralement de l'émission de neutrons et de rayonnement gamma.

Gray (Gy) : Unité du SI de la dose absorbée. Unité : 1 joule/kilogramme, mais a un usage restreint.

In vitro : Terme utilisé pour décrire une expérience réalisée en dehors d'un organisme vivant, dans un environnement contrôlé, comme dans une éprouvette ou une boîte de Pétri. Du latin « dans le verre ».

In vivo : Terme utilisé pour décrire une expérience portant sur un organisme vivant complet, par opposition à un organisme partiel ou mort, ou un environnement contrôlé *in vitro*. Latin pour « dans le vivant ».

Ion : Atome, molécule ou fragment de molécule ayant acquis une charge électrique suite à la perte ou au gain d'un ou plusieurs électrons.

Isotopes : Deux ou plusieurs formes d'un élément donné qui ont des numéros atomiques identiques (le même nombre de protons dans leur noyau) et la même ou les mêmes propriétés chimiques, mais avec des masses atomiques différentes (différents nombres de neutrons dans leur noyau) et des propriétés physiques distinctes. Par exemple, l'uranium a 16 isotopes différents, soit U-234, U-235, U-236, U-238, etc.

Leucémie : Cancer des globules blancs (leucocytes).

Limites de dose : Limites de dose efficace et équivalente prévues par le *Règlement sur la radioprotection*. Ces limites sont en place pour réduire au minimum le risque d'effets nocifs pour la santé causés par l'exposition aux rayonnements associée à des activités autorisées par la CCSN.

Maladie des rayons : Ensemble de symptômes caractérisant les radiolésions, qui résultent d'une exposition excessive de l'ensemble du corps (ou d'une grande partie de celui-ci) au rayonnement ionisant. Les premiers de ces symptômes sont des nausées, de la fatigue, des vomissements et la diarrhée, qui peuvent être suivis par la perte de cheveux, des hémorragies, l'inflammation de la bouche et de la gorge et une perte générale d'énergie.

Masse ou masse atomique : Masse d'un isotope d'un élément exprimée en unités de masse atomique, définie par un douzième de la masse d'un atome de carbone 12. Une masse atomique de 1 équivaut à environ $1,66 \times 10^{-27}$ kg.

Microsievert : Un millionième de sievert (voir sievert). Symbole : μSv .

Millisievert : Un millième de sievert (voir sievert). Symbole : mSv .

Modèle linéaire sans seuil : Modèle dose-réponse basé sur l'hypothèse selon laquelle, dans la gamme des faibles doses, les doses de rayonnement supérieures à zéro augmentent le risque de cancers et/ou de maladies héréditaires d'une manière proportionnelle simple.

Modérateur : Matière, telle que l'eau ordinaire ou l'eau lourde, qui est utilisée dans un réacteur pour ralentir la vitesse élevée des neutrons, ce qui accroît la probabilité qu'une fission survienne.

Molécule : Groupe d'atomes liés chimiquement les uns aux autres.

Mutation : Changement chimique de l'ADN dans le noyau d'une cellule. Les mutations survenant dans les cellules des spermatozoïdes ou des ovules, ou leurs précurseurs, peuvent avoir des effets héréditaires chez les enfants ou les générations futures. Les mutations dans les cellules somatiques (cellules non reproductrices) peuvent également favoriser l'apparition du cancer.

Neutron : Particule élémentaire du noyau de l'atome (à l'exception de l'hydrogène), et dont la masse est similaire à celle d'un proton, soit de l'ordre de $1,6 \times 10^{-27}$ kg.

Nombre de masse : Nombre de neutrons et de protons dans le noyau d'un atome.

Non-prolifération nucléaire : Effets déployés pour prévenir la fabrication d'armes nucléaires et de dispositifs nucléaires explosifs. La CCSN est responsable de la mise en œuvre de la politique de non-prolifération nucléaire du Canada, qui contient deux objectifs de large portée et de longue date :

1. garantir aux Canadiens et à la communauté internationale que les exportations nucléaires du Canada ne contribuent pas à la fabrication d'armes nucléaires ou d'autres dispositifs nucléaires explosifs
2. promouvoir un régime international de non-prolifération plus efficace et plus complet

Noyau (d'un atome) : Partie centrale d'un atome chargée positivement contenant des protons et des neutrons. Le nombre total de protons et de neutrons s'appelle le nombre de masse.

Nucléide : Un terme général pour désigner tous les isotopes connus, qu'ils soient stables ou non.

Numéro atomique : Nombre de protons dans le noyau d'un atome. Symbole : Z

Optimisation : Processus d'établissement de niveaux de protection et de sûreté qui permettent d'assurer que les expositions, la probabilité de subir une exposition et la valeur des expositions potentielles soient maintenues aussi bas que raisonnablement possible (ALARA), compte tenu des facteurs économiques et sociaux, tel que recommandé par la Commission internationale de protection radiologique.

Particules alpha : Une particule à charge positive formée de deux protons et de deux neutrons qui est émise par le noyau de certains éléments radioactifs lorsqu'il se désintègre. Une particule alpha est relativement volumineuse et peut être arrêtée par la peau ou une feuille de papier. Une particule alpha est identique à un noyau d'hélium.

Particules bêta : Un électron (une particule ayant une charge négative) ou un positron (une particule ayant une charge positive) qui est émis par le noyau de certains éléments radioactifs lorsqu'ils se désintègrent. Les particules bêta sont relativement petites et peuvent être arrêtées par une feuille d'aluminium ou de plastique de quelques millimètres d'épaisseur.

Période (radioactive) : Temps nécessaire pour que l'activité d'un radionucléide soit réduite de moitié par un processus de désintégration radioactive. Symbole : $t_{1/2}$. Plus la période d'une substance est courte, plus elle est radioactive.

Photon : Un quantum (la plus petite quantité possible) d'énergie émise sous forme de rayonnement électromagnétique.

Positron : Particule élémentaire chargée positivement de $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs et dont la masse est de $9,1 \times 10^{-31}$ kg (comparable à un électron mais chargée positivement).

Produits de filiation du radon : Terme utilisé pour désigner collectivement les produits immédiats de désintégration radioactive du radon. Il s'agit de la chaîne de désintégration qui inclut le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214. Leur période combinée moyenne est de l'ordre de 30 minutes. Aussi appelé descendant du radon.

Proton : Particule élémentaire stable présente dans le noyau de l'atome possédant une charge électrique positive de $1,6 \times 10^{-19}$ coulombs et une masse de $1,67 \times 10^{-27}$ kg.

Radioactif : Empreint de radioactivité; émettant spontanément de l'énergie sous forme de rayonnement ionisant (telles que les particules alpha et bêta, des neutrons ou des rayons gamma) à la suite de la désintégration d'un atome instable.

Radon : Élément chimique dont le symbole est Rn et le nombre atomique 86. Le radon est un gaz noble, rare, incolore, inodore, insipide, naturel et radioactif issu de la désintégration du radium. Il s'agit de l'une des substances les plus lourdes persistant sous forme de gaz dans des conditions normales; le radon présente un risque pour la santé.

Radio-isotope : Isotope d'un élément qui subit une désintégration spontanée et émet un rayonnement.

Radionucléide : Nucléide radioactif.

Radiosensible : Un terme qualitatif pour distinguer les cellules, les tissus et les organes qui sont plus susceptibles d'être endommagés par le rayonnement.

Rayonnement : Processus d'émission ou de transmission d'énergie sous forme de particules ou d'ondes. Dans le présent document, le terme « rayonnement » désigne un rayonnement ionisant, sauf indication contraire.

Rayonnement artificiel : Rayonnement produit par les activités humaines et qui s'ajoute au rayonnement de fond.

Rayonnement cosmique : Rayonnement naturel provenant de l'espace. Ces rayons sont composés de rayonnements ionisants pénétrants (à la fois particuliers et électromagnétiques) et peuvent porter des énergies de plus de 10^{20} eV. Le champ magnétique terrestre dévie les rayons cosmiques chargés vers les pôles.

Rayonnement de fond naturel : Une source de rayonnement présente en permanence dans l'environnement et provenant de différentes sources. Parmi ces sources figurent le rayonnement cosmique, les sources terrestres (éléments radioactifs présents dans le sol), l'air ambiant (radon) et les sources internes (denrées alimentaires et boissons). La dose efficace annuelle globale par personne attribuée au rayonnement naturel est de 2,4 mSv par année (UNSCEAR, 2008).

Rayonnement électromagnétique : Mouvement d'ondes en déplacement résultant de l'évolution des champs électriques et magnétiques. Le spectre de rayonnement électromagnétique connu comprend la gamme des rayons X (et des rayons gamma) de courte longueur d'onde et à haute énergie, l'ultraviolet, la lumière visible, l'infrarouge et le radar, et des ondes radio et de longueur d'onde relativement longue et à faible énergie. Selon la mécanique quantique, les rayonnements électromagnétiques à haute énergie peuvent se comporter comme des particules (photons).

Rayonnement gamma : Rayonnement électromagnétique pénétrant produit par un noyau atomique pendant sa désintégration radioactive; forme de rayonnement ionisant à courte longueur d'onde et énergie élevée.

Rayonnement ionisant : Rayonnement capable d'ajouter ou de retrancher des électrons en traversant la matière (par ex. air, eau ou tissus vivants). Exemples : particules alpha, rayonnement gamma, rayons X et neutrons.

Rayonnement neutronique : Se produit lorsque les neutrons sont éjectés du noyau par fission nucléaire (c.-à-d. division de l'atome) et d'autres processus. Contrairement à d'autres rayonnements, le rayonnement neutronique est absorbé par les matériaux contenant un grand nombre d'atomes d'hydrogène, comme la cire de paraffine et les matières plastiques.

Rayonnement non ionisant : Un rayonnement plus faible que le rayonnement ionisant, c.-à-d. qui ne possède pas l'énergie suffisante pour produire des ions. La lumière visible, les rayons infrarouges et les ondes radioélectriques sont des rayonnements non ionisants.

Rayons X : Rayonnement électromagnétique (photon) pénétrant émis par un atome après avoir été bombardé par des électrons. Les rayons X diffèrent du rayonnement gamma dans la mesure où ils sont émis à partir des électrons en orbite et non à partir du noyau. Ils sont généralement plus faibles en énergie que le rayonnement gamma. Les rayons X sont principalement générés par des moyens artificiels plutôt qu'à partir de substances radioactives. Ils sont utilisés avant tout à des fins médicales.

Réacteur nucléaire : Appareil dans lequel une réaction en chaîne de fission nucléaire autoentretenu se produit dans des conditions contrôlées pour produire de l'énergie ou des rayonnements utiles.

Réaction en chaîne : Voir réaction nucléaire en chaîne.

Réaction nucléaire en chaîne : Exemple de fission nucléaire où un neutron est éjecté d'un atome fissionné, ce qui causera la fission d'un autre atome en éjectant plus de neutrons.

Rejets : Substances et matières nucléaires relâchées dans l'environnement (sous forme liquide ou gazeuse) à la suite d'activités autorisées par la CCSN.

Service de dosimétrie autorisé : Une entreprise ou une institution qui détient un permis de la CCSN pour mesurer les doses de rayonnement aux travailleurs.

SI : Système international d'unités.

Sievert : L'unité du SI mesurant la « dose équivalente » et la « dose efficace ». Elle est égale à 1 joule/kilogramme. Elle remplace l'ancienne unité de rayonnement classique rem. Des multiples du sievert (dont le symbole est Sv) sont utilisés dans la pratique courante et incluent le millisievert (mSv; 1/1000 de 1 Sv) et le microsievert (μ Sv; 1/1 000 000 de 1 Sv).

Substances nucléaires : Isotopes qui émettent du rayonnement.

Travailleur du secteur nucléaire (TSN) : Personne qui, du fait de sa profession ou de son occupation et des conditions dans lesquelles elle exerce ses activités, si celles-ci sont liées à une substance ou à une installation nucléaire, risque vraisemblablement de recevoir une dose de rayonnement supérieure à la limite réglementaire fixée par la CCSN pour la population en général (1 mSv par année).

Tritium : Un isotope radioactif de l'hydrogène possédant deux neutrons et un proton dans son noyau. Le tritium se désintègre en émettant un électron (rayonnement bêta) et sa période radioactive est de 12,3 ans. Le tritium est présent naturellement dans l'environnement et également un sous-produit des réacteurs nucléaires.

Acronymes et unités

ADN : acide désoxyribonucléique
AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique
ALARA : niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre
BEIR : National Academy of Biological Effects of Ionizing Radiation
Bq : becquerel
CCSN : Commission canadienne de sûreté nucléaire
CIPR : Commission internationale de protection radiologique
CRFPT : Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial
EACL : Énergie atomique du Canada limitée
ELF : ondes mégamétriques
FDN : Fichier dosimétrique national
Gy : gray
H₂O : symbole chimique de l'eau, également HOH
HTO : eau tritiée
ICRU : Commission internationale des unités et des mesures de radiation
J : joule
LSRN : *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*
mSv : millisievert
NCRP: National Council on Radiation Protection and Measurements
Sv : sievert
TDM : tomodensitométrie
t_{1/2} : symbole pour la période radioactive d'un radionucléide
TSN : travailleur du secteur nucléaire
μSv : microsievert
UNSCEAR : Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants
UV : ultraviolet
w_R : facteur de pondération radiologique
w_T : facteur de pondération tissulaire

Sources

- World Nuclear Association, world-nuclear.org/info/inf51.html
- *Règlement sur la radioprotection*, mai 2000, laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/sor-2000-203/page-1.html
- Commission canadienne de sûreté nucléaire, juin 2003, *Contrôle et enregistrement des doses de rayonnement aux personnes*, guide de réglementation G-91, http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads_fre/44019-G91F.pdf?CFID=17937881&CFTOKEN=18173133
- Commission canadienne de sûreté nucléaire, octobre 2004, *Maintenir les expositions et les doses au « niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre »*, guide de réglementation G-129, révision 1, http://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads_fre/G129rev1_f.pdf
- Commission internationale de protection radiologique, *Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique*, Annales de la CIPR 103, Publication 103, Pergamon Press, Oxford, 2007.
- Commission internationale de protection radiologique, *Rapport du Groupe de travail sur l'homme de référence*, Publication 23 de la CIPR, Pergamon Press, New York, 1975.
- Commission internationale de protection radiologique, *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*, Publication 30 de la CIPR, partie 1 (et supplément), part 2 (et supplément), partie 3 (et suppléments A et B), et index, Annales de la CIPR, Pergamon Press, New York, 1979-1982.
- Commission internationale de protection radiologique, *Recommandations de 1990 de la Commission internationale de protection radiologique*, Annales de la CIPR 21(1-3), Publication 60 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- Commission internationale des unités et des mesures de radiation, 2011, *Fundamental quantities and units for ionizing radiation*, Journal de la ICRU, volume 11, n° 1, publié par Oxford University Press.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), ncrponline.org/PDFs/NCRP%20Composite%20Glossary.pdf
- Santé Canada, *Rapport de 2008 sur les radioexpositions professionnelles au Canada*, publication 5923 de SC, hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/occup-travail/2008-report-rapport-eng.pdf
- Committee to Assess Health Risks from Exposures to Low Levels of Ionizing Radiation, *Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII – Phase 2*, National Academy Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, 2006.
- Nations Unies, *Effects of Ionizing Radiation, Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B; Volume II: Scientific Annexes C, D and E, Rapport de 2006 du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des rayonnements ionisants*, publications des Nations Unies E.08.IX.6 (2008) et E.09.IX.5 (2009), Nations Unies, New York.

- Nations Unies, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Volume I: Sources; Volume II: Effects. Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, Rapport 2000 à l'Assemblée générale, avec des annexes scientifiques, publications des Nations Unies E.00.IX.3 et E.00.IX.4, Nations Unies, New York, 2000.
- NRC des États-Unis, nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary.html.
- Brodsky, A. *Handbook of Radiation Measurement and Protection*, Boca Raton, CRC Press, 1978.
- Eisenbud M. et T. Gesell, *Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources*, 4^e édition, Academic Press, 1997.
- Grasty, R.L. et LaMarre, J.R., The Annual effective dose from natural sources of ionizing radiation in Canada, *Radiation Protection Dosimetry* 108, p. 215-226, 2004.
- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRPM), *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States*, rapport n° 160 du NCRPM, U.S. NCRP, Washington, 2009.
- Brenner, D.J. et Hall, E.J., Computed Tomography – An Increasing Source of Radiation Exposure, *New England Journal of Medicine* 357, p. 2277-2284, 2007.