

Agents physiques

Rayonnement - Grandeurs et unités de rayonnement ionisant

Sur cette page

[Qu'est-ce que le rayonnement ionisant?](#)

[Quels sont, à titre d'exemple, certains des types de rayonnement ionisant?](#)

[De quelles propriétés tient-on compte dans la mesure du rayonnement ionisant?](#)

[Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de la radioactivité?](#)

[Qu'entend-on par période lorsqu'on parle de radioactivité?](#)

[Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de l'énergie de rayonnement?](#)

[Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de l'exposition au rayonnement?](#)

[Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de la dose de rayonnement?](#)

[Quelles sont les relations entre les unités SI et les unités non SI?](#)

[Qu'est-ce que la « dose engagée »?](#)

[Qu'est-ce que la « dose efficace »?](#)

[Quelles sont les limites de l'exposition au rayonnement?](#)

[Quels sont les principaux moyens de limiter l'exposition au rayonnement?](#)

[Quels sont les effets produits par différentes doses de rayonnement sur les personnes?](#)

[Que sont les unités « niveau opérationnel » et « niveau opérationnel-mois »?](#)

Qu'est-ce que le rayonnement ionisant?

Le rayonnement ionisant est un rayonnement qui possède suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes ou aux molécules (groupes d'atomes) lorsqu'il frappe ou traverse une substance. Un atome (ou une molécule) qui perd un électron avec sa charge négative devient chargé positivement. On appelle ionisation la perte (ou le gain) d'un électron, et on appelle ion un atome ou une molécule de charge non neutre.

Remarque : Les micro-ondes, le rayonnement infrarouge (IR) et le rayonnement ultraviolet sont des types de rayonnement non ionisant. Le rayonnement non ionisant n'a pas suffisamment d'énergie pour retirer des électrons.

Quels sont, à titre d'exemple, certains des types de rayonnement ionisant?

Il existe des sources naturelles et artificielles de rayonnements ionisants. Parmi les sources artificielles de rayonnements, on retrouve les appareils de radiographie, les isotopes radioactifs utilisés en médecine nucléaire, les caméras gamma, les jauges nucléaires et les centrales nucléaires.

Les rayons X sont un type de rayonnement électromagnétique produit lorsqu'un faisceau d'électrons de grande intensité est projeté sur une cible métallique contenue dans un tube de verre. La fréquence de ce rayonnement est très élevée, de l'ordre de 0,3 à 30 EHz (exahertz ou milliard de gigahertz). Par comparaison, les stations de radiodiffusion FM émettent à des fréquences voisines de 100 MHz (mégahertz) ou 0,1 GHz (gigahertz).

Voici des exemples de sources naturelles de rayonnement :

- rayonnement naturel provenant de l'espace;
- rayonnement cosmique;
- rayonnement terrestre émis par les minéraux présents dans la croûte terrestre;
- rayonnement associé à l'inhalation de radon;
- rayonnement associé à la consommation d'aliments et d'eau potable contenant du potassium 40 radioactif.

Certains minéraux, comme l'uranium et le thorium, sont radioactifs et émettent un rayonnement lorsque leur noyau se fractionne ou se désintègre. Les trois types de rayonnements produits par les substances ou les sources radioactives sont les particules alpha, les particules bêta et les rayons gamma.

De quelles propriétés tient-on compte dans la mesure du rayonnement ionisant?

Le rayonnement ionisant est mesuré selon :

- l'intensité ou la radioactivité de la source de rayonnement;
- l'énergie du rayonnement;
- le niveau de rayonnement dans l'environnement;

- la dose de rayonnement ou la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par le corps humain.

Du point de vue de l'exposition professionnelle, la dose de rayonnement est la grandeur mesurée la plus importante. Les limites d'exposition professionnelle, comme les valeurs limites d'exposition (TLV®) de l'ACGIH, sont données sous forme de dose maximale admissible. Le risque de maladies causées par les rayonnements dépend de la dose de rayonnement totale reçue par une personne au fil du temps.

Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de la radioactivité?

L'activité radioactive ou intensité d'une source est mesurée en becquerels (Bq).

1 Bq = 1 désintégration par seconde

Un becquerel est une quantité extrêmement faible d'activité radioactive. Les multiples couramment utilisés du Bq sont le kBq (kilobecquerel), le MBq (mégabecquerel) et le GBq (gigabecquerel).

1 kBq = 1 000 Bq, 1 MBq = 1 000 kBq, 1 GBq = 1 000 MBq

Une ancienne unité d'activité radioactive, qui est encore grandement utilisée, est le curie (Ci).

1 Ci = 37 GBq = 37 000 MBq

Un curie est une grande quantité d'activité radioactive. Les sous-unités couramment utilisées sont le mCi (millicurie), le μ Ci (microcurie), le nCi (nanocurie) et le pCi (picocurie).

1 Ci = 1 000 mCi; 1 mCi = 1 000 μ Ci; 1 μ Ci = 1 000 nCi; 1 nCi = 1 000 pCi

Une autre formule de conversion utile est la suivante :

1 Bq = 27 pCi

Le becquerel (Bq) et le curie (Ci) sont des unités de mesure du taux d'émission de rayonnement (non de l'énergie) d'une source.

Qu'entend-on par période lorsqu'on parle de radioactivité?

L'activité radioactive d'une source diminue avec le temps, étant donné qu'un nombre grandissant d'atomes radioactifs (radionucléides) émettent de l'énergie et deviennent des atomes stables. La décroissance de la radioactivité correspond à la diminution de l'intensité du rayonnement. La période radioactive est le temps après lequel l'intensité du rayonnement est réduite de moitié. L'activité est réduite de moitié parce que la moitié des atomes radioactifs se sont désintégrés pendant une période. Par exemple, une source radioactive de 50 Bq aura une activité de 25 Bq après une période radioactive.

Tableau 1 Décroissance radioactive	
Nombre de périodes écoulées	Pourcentage d'activité radioactive restant
0	100
1	50
2	25
3	12,55
4	6,25
5	3,125

Les périodes varient considérablement d'une substance radioactive à une autre, allant d'une fraction de seconde à des millions d'années.

Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de l'énergie de rayonnement?

L'énergie d'un rayonnement ionisant se mesure en électronvolts (eV). Un électronvolt est une quantité d'énergie extrêmement faible. Les multiples couramment utilisés sont le kiloélectronvolt (keV) et le mégaélectronvolt (MeV).

6 200 milliards de MeV = 1 joule

1 joule par seconde = 1 watt

1 keV = 1 000 eV, 1 MeV = 1 000 keV

Le watt est une unité de puissance, laquelle correspond à une quantité d'énergie (ou de travail) par unité de temps (p. ex. minute, heure).

Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de l'exposition au rayonnement?

L'exposition aux rayons X et aux rayons gamma est souvent exprimée en röntgens (R). Le röntgen (R) est une unité associée au degré d'ionisation produit dans l'air. Une exposition aux rayons gamma ou aux rayons X d'un röntgen produit une dose tissulaire d'environ 1 rad (0,01 gray). (Reportez-vous à la prochaine section pour les définitions du gray (Gy) et du rad, qui sont des unités de dose.)

Une autre unité de mesure de l'intensité des rayons gamma dans l'air est « la dose dans l'air ou le débit de dose absorbée dans l'air », qui s'exprime en grays par heure (Gy/h). Cette unité est utilisée pour exprimer l'intensité de rayonnement gamma produite dans l'air par les substances radioactives présentes dans la terre et dans l'atmosphère.

Quelles sont les unités utilisées pour la mesure de la dose de rayonnement?

Un rayonnement ionisant qui interagit avec le corps humain cède son énergie aux tissus du corps. La dose absorbée est la quantité d'énergie absorbée par unité de poids d'un organe ou d'un tissu et elle s'exprime en grays (Gy). Une dose d'un gray correspond à une énergie de rayonnement d'un joule absorbée par kilogramme (poids) d'organe ou de tissu. Le rad est l'ancienne unité, encore utilisée, de dose absorbée. Un gray est équivalent à 100 rads.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads}$$

Des doses égales de différents types de rayonnement ionisant n'ont pas toutes le même degré de nocivité pour les tissus humains. Pour une dose absorbée donnée, les particules alpha produisent plus de dommage que les particules bêta, les rayons gamma et les rayons X, de sorte que 1 Gy de rayonnement alpha est plus dommageable que 1 Gy de rayonnement bêta. Afin de tenir compte de la manière dont les différents types de rayonnement causent des dommages à des tissus ou à un organe, on exprime la dose de rayonnement sous forme d'un équivalent de dose, en sieverts (Sv). La dose en Sv est égale aux « doses absorbées » internes et externes totales multipliées par un « facteur de pondération pour les rayonnements » (WR – voir le tableau 2 ci-dessous). Cette dose est importante lorsqu'on mesure des expositions professionnelles. Avant 1990, ce facteur de pondération était appelé facteur de qualité (QF).

	Colonne 1	Colonne 2
Article	Type de rayonnement	Facteur de pondération
1	Photons, toutes énergies	1
2	Électrons et muons, toutes énergies ¹	1
3	Protons et pions chargés	2
4	Particules alpha, fragments de fission et ions lourds	20
5	Neutrons	Une fonction continue de l'énergie des neutrons ²

¹Sauf les électrons d'Auger émis à partir des noyaux liés à l'ADN.

²Les facteurs de pondération pour ces neutrons peuvent aussi être obtenus à partir de la courbe continue indiquée à la figure 1, et dans l'équation 4.3, à la page 66 de la publication 103 de la CIPR, version anglaise parue en 2007, intitulée *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*.

Source : *Règlement sur la radioprotection* du Canada, annexe 2 (DORS/2000-203).

Souvent, l'équivalent de dose est appelé simplement la « dose » dans l'utilisation courante de la terminologie des rayonnements. L'ancienne unité « d'équivalent de dose » ou « dose » était le rem.

Dose en Sv = dose absorbée en Gy x facteur de pondération pour les rayonnements (W_R)

Dose en rems = dose en rads x QF

1 Sv = 100 rems

1 rem = 10 mSv (millisievert = un millième de sievert)

un équivalent de dose dans l'air de 1 Gy correspond à une dose tissulaire de 0,7 Sv (UNSEAR 1988 Rapport p. 57)

une exposition de 1 R (röntgen) équivaut approximativement à une dose tissulaire de 10 mSv

Quelles sont les relations entre les unités SI et les unités non SI?

Le tableau 3 montre les unités SI (Système international d'unités ou International System of Units), les unités non SI correspondantes, leurs symboles et les facteurs de conversion.

Tableau 3			
Unités d'activité radioactive et de dose de rayonnement			
Grandeur	Unité et symbole SI	Unité non SI	Facteur de conversion
Activité radioactive	becquerel, Bq	curie, Ci	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq = 37 gigabecquerels (GBq) 1 Bq = 27 picocuries (pCi)
Dose absorbée	gray, Gy	rad	1 rad = 0,01 Gy
« Dose » (équivalent de dose)	sievert, Sv	rem	1 rem = 0,01 Sv 1 rem = 10 mSv

Qu'est-ce que la « dose engagée »?

Lorsqu'une substance radioactive pénètre dans l'organisme par inhalation ou par ingestion, la dose de rayonnement s'accumule constamment dans un organe ou un tissu. La dose totale accumulée pendant les 50 années qui suivent l'incorporation est appelée la dose engagée. La dose engagée dépend de la quantité de substance radioactive ingérée et du temps pendant lequel cette substance est restée dans l'organisme.

Qu'est-ce que la « dose efficace »?

La dose efficace est la somme des équivalents de dose pondérés dans tous les organes et tissus du corps.

Dose efficace = somme des [doses aux organes x facteurs de pondération des tissus]. La dose efficace est mesurée en millisieverts (mSv) ou sieverts (Sv).

Les facteurs de pondération des tissus (tableau 4) représentent la sensibilité relative des organes du point de vue de l'apparition de cancers.

Tableau 4
Facteurs de pondération pour les organes et les tissus

	Colonne 1	Colonne 2
Article	Organe ou tissu	Facteur de pondération
1	Gonades (testicules ou ovaires)	0,20
2	Moelle rouge	0,12
3	Côlon	0,12
4	Poumon	0,12
5	Estomac	0,12
6	Vessie	0,04
7	Sein	0,12
8	Foie	0,04
9	Œsophage	0,04
10	Glande thyroïde	0,04
11	Peau ¹	0,01
12	Surfaces des os	0,01
13	Cerveau	0,01
14	Glandes salivaires	0,01
15	L'ensemble de tous les organes et tissus ne figurant pas aux articles 1 à 12 (autres organes et tissus), y compris la glande surrénale, le cerveau, les voies respiratoires supérieures, l'intestin grêle, le rein, les muscles, le pancréas, la rate, le thymus et l'utérus ^{2,3}	0,05
16	Corps entier	1,0

¹Le facteur de pondération pour la peau s'applique seulement lorsque la peau du corps entier est exposée.

²Le facteur de pondération pour les autres organes et tissus s'applique à la dose moyenne arithmétique des 13 autres organes et tissus.'

³Il n'y a pas de facteur de pondération pour les mains, les pieds et le cristallin.

Source : *Règlement sur la radioprotection* du Canada, annexe 1 (DORS/2000-203).

Quelles sont les limites de l'exposition au rayonnement?

Les limites d'exposition aux rayonnements applicables auxquelles doit se conformer un lieu de travail varient selon le type de rayonnement et d'exposition, la manière dont il est généré, le fait que les travailleurs soient ou non des travailleurs du secteur de l'énergie nucléaire et l'administration dans laquelle ils exercent leurs activités. Les lieux de travail doivent toujours tout mettre en œuvre pour minimiser l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (ALARA) en deçà des limites d'exposition. La *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* et le *Règlement sur la radioprotection* du Canada sont des instruments législatifs fédéraux qui s'appliquent aux demandeurs et aux titulaires de permis de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Le *Code canadien du travail* fixe également des limites d'exposition aux rayonnements pour les lieux de travail fédéraux. Les gouvernements provinciaux et territoriaux établissent également des lois sur la quantité maximale de rayonnement à laquelle les travailleurs peuvent être exposés. Ces limites d'exposition s'appliquent aux lieux de travail qui ne sont pas titulaires d'un permis de la CCSN (par exemple, qui n'emploient pas de travailleurs du secteur de l'énergie nucléaire).

Les valeurs limites d'exposition (TLV®) publiées par l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) sont des limites d'exposition en milieu de travail qui ont été adoptées par de nombreux ordres de gouvernement comme lignes directrices ou limites réglementaires :

20 mSv – TLV® pour la dose efficace annuelle moyenne de rayonnement pour les travailleurs, échelonnée sur cinq ans.

Certaines administrations peuvent avoir des limites d'exposition aux rayonnements ionisants plus strictes pour les travailleurs, comme une limite de dose efficace de 20 mSv sur toute période de 12 mois consécutifs (*Occupational Health and Safety Regulations* de la C.-B., Partie 7). Les limites d'exposition pour les travailleuses enceintes sont également plus basses, la plupart des administrations fixant une limite de 4 mSv.

Au Canada, le *Règlement sur la radioprotection* établit les quantités limites de rayonnement auxquelles peuvent être exposés le public et les travailleurs du secteur nucléaire. La limite de dose efficace pour les travailleurs du secteur nucléaire est de 50 mSv par année et de 100 mSv sur 5 ans. Cette limite signifie que sur 5 ans, la limite de dose efficace moyenne annuelle est de 20 mSv et que l'exposition ne peut pas dépasser 50 mSv au cours d'une seule année. La limite pour les travailleuses enceintes, une fois la grossesse déclarée, est de 4 mSv pour la durée restante de la grossesse.

La limite de dose efficace annuelle pour la population canadienne est de 1 mSv. Cette limite de dose concorde avec la limite de dose annuelle recommandée par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), qui est de 1 mSv pour la population en général.

D'après l'information provenant de la surveillance régulière des travailleurs les plus exposés, comme les techniciens en radiographie, les doses annuelles moyennes sont de 5 mSv.

Quels sont les principaux moyens de limiter l'exposition au rayonnement?

Les principaux moyens permettant de limiter l'exposition au rayonnement sont les mesures techniques, les mesures administratives et l'équipement de protection individuelle. Voici quelques-unes des mesures possibles :

- Éducation et formation
- Réduction de la durée d'exposition
- Augmentation de la distance par rapport à la source de rayonnement
- Utilisation d'une barrière physique qui modifie la trajectoire du rayonnement entre le travailleur et la source, p. ex. en béton ou en plomb
- Surveillance des expositions (individuelles et collectives)
 - Consignation des expositions
 - Surveillance de la santé
 - Promotion d'une culture de la santé et de la sécurité
 - Respect des limites (doses) établies d'exposition au rayonnement

Environ quarante-quatre (44) pour cent des travailleurs faisant l'objet d'une surveillance à l'échelle mondiale sont exposés à des sources artificielles de rayonnement. Soixante-quinze pour cent des travailleurs exposés à des sources artificielles travaillent dans le domaine de la santé. Le tableau 5 montre l'évolution générale de l'exposition radiologique des travailleurs depuis les années 1970.

Tableau 5				
Évolution de l'exposition radiologique des travailleurs (mSv)*				
Sources	Années 1970	Années 1980	Années 1990	Années 2000
Naturelles				
Personnel navigant	-	3,0	3,0	3,0
Exploitation du charbon	-	0,9	0,7	2,4
Autres secteurs miniers**	-	1,0	2,7	3,0
Divers	-	6,0	4,8	4,8
Total	-	1,7	1,8	2,9
Artificielles				
Usage médical	0,8	0,6	0,3	0,5
Industrie nucléaire	4,4	3,7	1,8	1,0
Autres industries	1,6	1,4	0,5	0,3
Divers	1,1	0,6	0,2	0,1
Total	1,7	1,4	0,6	0,5

*Estimation de la dose efficace moyenne par travailleur sur un an.

**L'extraction d'uranium est comprise dans l'industrie nucléaire.

Source : *Radiation : Effects and Sources*, Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2016

Quels sont les effets produits par différentes doses de rayonnement sur les personnes?

Un sievert (Sv) est une dose élevée. La limite d'exposition recommandée pour bon nombre de travailleurs au cours d'une seule année correspond à une dose efficace de 0,05 Sv (50 mSv), ou une moyenne annuelle de 0,02 Sv (20 mSv).

Les effets causés par l'exposition de courte durée à des doses de rayonnement élevées (exposition aiguë) varient selon la dose. Voici quelques exemples :

10 Sv – risque de mort dans les quelques jours ou semaines qui suivent

1 Sv – risque de cancer se manifestant plus tard au cours de la vie (5 cas sur 100)

100 mSv – risque de cancer se manifestant plus tard au cours de la vie (5 cas sur 1 000)

50 mSv – limite d'exposition professionnelle pour la dose efficace annuelle des travailleurs sous rayonnements au cours d'une seule année

20 mSv – limite d'exposition professionnelle pour la dose efficace annuelle moyenne, établie sur une période de cinq ans

Que sont les unités « niveau opérationnel » et « niveau opérationnel-mois » ?

Dans les mines d'uranium souterraines, comme dans certaines autres mines, l'exposition au rayonnement est attribuable principalement à la présence, dans l'air, de radon et de ses produits de désintégration solides de courte période, appelés produits de filiation du radon ou descendants du radon. Les produits de filiation du radon entrent dans le corps avec l'air inhalé. La dose de particules alpha pour les poumons dépend de la teneur de l'air en radon et en produits de filiation du radon.

La teneur en radon se mesure en picocuries par litre (pCi/L) ou en becquerels par mètre cube (Bq/m³) d'air ambiant. L'unité de mesure de la teneur en produits de filiation du radon est le niveau opérationnel (WL), une unité qui indique la teneur en particules alpha potentielles par litre d'air.

L'unité utilisée pour exprimer l'exposition des travailleurs aux produits de filiation du radon est le niveau opérationnel-mois (WLM). Un WLM correspond à une exposition à 1 WL pendant 170 heures.

1 WL = 130 000 MeV d'énergie alpha par litre d'air

= 20,8 µJ (microjoules) d'énergie alpha par mètre cube (m³) d'air

WLM = niveau opérationnel-mois

= exposition à 1 WL pendant 170 heures

1 WLM = 3,5 mJ-h/m³

On utilise souvent la teneur en radon (pCi/L) de l'air pour estimer le WL de produits de filiation du radon. Les estimations faites de cette manière risquent de comporter des erreurs, parce que le rapport du radon à ses produits de désintégration (produits de filiation du radon) n'est pas constant.

Le facteur d'équilibre est le rapport de l'activité de tous les produits de filiation du radon de courte période à l'activité du radon parent. Le facteur d'équilibre est 1 lorsque les deux activités sont égales. Les activités des produits de filiation du radon sont habituellement inférieures à l'activité du radon, de sorte que le facteur d'équilibre est habituellement inférieur à 1.

Conversion des unités d'exposition au radon (facteur d'équilibre = 0.40)

1 WLM - 3,54 mJ-h/m³

1MBq-h/m³ = 2,22 mJ-h/m³

$$1\text{MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 0,628 \text{ WLM}$$

Exposition annuelle basée sur la teneur en radon mesurée

(A) À la maison : pour 7 000 heures passées à l'intérieur par année

$$1 \text{ Bq}/\text{m}^3 = 0,0156 \text{ mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3$$

$$1 \text{ Bq}/\text{m}^3 = 0,00044 \text{ WLM}$$

$$1 \text{ mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 1,1 \text{ mSv}$$

(B) Au travail : pour 2 000 heures de travail par année

$$1 \text{ Bq}/\text{m}^3 = 0,004 45 \text{ mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 0,001 26 \text{ WLM}$$

$$1\text{mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3 = 1,4 \text{ mSv}$$

$$1 \text{ WLM} = 4 \text{ mSv}$$

Source : Publication 65 de la CIRP, Protection Against Radon at Home and at Work

$\text{mJ}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ = millijoules-heures/par mètre cube

$\text{MBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ = mégabecquerels-heures par mètre cube

le joule est une unité d'énergie

1 J = 1 watt-seconde = énergie fournie en une seconde par une source d'une puissance de 1 watt

1 calorie = 4,2 J

MBq/m^3 = mégabecquerels par mètre cube

WLM = niveau opérationnel-mois

Date de la dernière modification de la fiche d'information : 2024-04-23

Avertissement

Bien que le CCHST s'efforce d'assurer l'exactitude, la mise à jour et l'exhaustivité de l'information, il ne peut garantir, déclarer ou promettre que les renseignements fournis sont valables, exacts ou à jour. Le CCHST ne saurait être tenu responsable d'une perte ou d'une revendication quelconque pouvant découler directement ou indirectement de l'utilisation de cette information.