



# Guide sur les rayons X et la radioprotection



**Auteurs :**

Tara Hargreaves, B.Sc., M.Sc.

Reza Moridi, Ph.D., F.Inst.P., F.IEE, C.Eng.

Institut de radioprotection du Canada

Le 16 février 2010

Nouvelle édition millésime 2010

**Publication :**

Administration canadienne de la sûreté du transport aérien

Ottawa, Canada

K1P 6B9

Une version électronique de cette publication est disponible à [www.catsa-acsta.gc.ca](http://www.catsa-acsta.gc.ca).

Ce document a été publié grâce à une contribution de l'ACSTA. Le document a été rédigé d'abord en anglais et traduit vers le français.



Administration canadienne de la sûreté du transport aérien

# **Guide sur les rayons X et la radioprotection**

à l'intention des opérateurs des appareils de radioscopie des bagages

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>4</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>5</b>
<b>1: Introduction au rayonnement</b>	<b>6</b>
Qu'est-ce que le rayonnement? .....	6
Que signifient les termes « radioactif » et « radioactivité »? .....	7
Quels types de rayonnement existe-t-il? .....	8
Que signifient exposition au rayonnement interne et exposition au rayonnement externe? .....	10
À quelle quantité de rayonnement suis-je exposé de façon naturelle? .....	11
Est-ce que ce « fond naturel de rayonnement » sera nocif pour moi? .....	12
Que sont le rayonnement ionisant et le rayonnement non ionisant? .....	13
Comment le rayonnement ionisant peut-il affecter mon corps? .....	13
À quelle sorte de rayonnement appartiennent les rayons X? .....	14
En quoi les rayons X diffèrent-ils du rayonnement nucléaire? .....	15
Comment un rayon X se déplace-t-il d'un endroit à l'autre? .....	16
Comment le risque de travailler avec les rayons X se compare-t-il avec celui d'autres activités? .....	17
<b>2: Radioprotection</b>	<b>18</b>
Qu'est-ce qu'est la CIPR? .....	18
Qu'est-ce que le principe ALARA? .....	18
Quels sont les meilleurs moyens de me protéger du rayonnement? .....	18
Quel est l'effet de la durée sur l'irradiation? .....	20
Quel est l'effet de la distance sur l'irradiation? .....	21
Que signifie la « loi de l'inverse du carré de la distance pour les rayons X »? .....	22
Comment le blindage agit-il sur l'irradiation? .....	22
Quelles sont les meilleures sortes de blindage contre le rayonnement? .....	23
<b>3: Appareils de radioscopie des bagages</b>	<b>24</b>
Qu'est-ce qu'un appareil de radioscopie des bagages? .....	24
Que signifie « l'énergie de faible à moyenne valeur »? .....	25
Comment fonctionne un appareil de radioscopie? .....	25
Quelles sont les différences entre les appareils de radioscopie des bagages et les autres types d'appareils de radiologie X? .....	26
Quelles sortes d'appareils de radioscopie des bagages l'ACSTA utilise-t-elle? .....	27
Les rayons X sont-ils toujours en cours de production lorsqu'on opère un appareil de radioscopie des bagages? .....	28
Quelle quantité de rayonnement les appareils de l'ACSTA produisent-ils chaque fois qu'ils inspectent un sac? .....	29

Quel est le degré de blindage des appareils de radioscopie des bagages de l'ACSTA? Est-ce suffisant pour me protéger du rayonnement en tout temps.....	29
Comment les rideaux arrêtent-ils ou réduisent-ils le rayonnement? .....	30
En quoi l'endroit où je me tiens assis ou debout a-t-il un effet sur l'irradiation que je subis? .....	30
Est-ce qu'un objet traversant l'appareil de radioscopie des bagages (ex. nourriture, vêtements, métal, etc.) peut devenir radioactif? .....	30
Combien recevrais-je de rayonnement si je travaillais 40 heures par semaine à côté d'un appareil de radioscopie des bagages? .....	31
<b>4: Règlement sur la radioscopie des bagages au Canada</b>	<b>32</b>
Que fait le gouvernement pour me protéger contre un rayonnement excessif? .....	32
Qu'est-ce que le <i>code de sécurité 29</i> ? .....	32
Qu'en est-il des autres codes de sécurité qui traitent des rayons X?	
S'appliquent-ils à mon milieu de travail? .....	33
Quelle est la dose maximale de rayonnement à laquelle une personne devrait se limiter selon Santé Canada? .....	34
Pourquoi les agents de contrôle ne sont-ils pas considérés comme des travailleurs sous irradiation? .....	34
Pourquoi permet-on au travailleur sous irradiation de s'exposer à 20 fois plus de rayonnement qu'aux gens du public, y compris les agents de contrôle? .....	35
Qu'arrive-t-il si j'atteins la limite annuelle de 1 mSv? .....	35
Comment puis-je mesurer la quantité de rayonnement auquel j'ai été exposé? .....	35
Qu'est-ce qu'un appareil de contrôle de rayonnement? .....	36
Qu'est-ce qu'un dosimètre? .....	36
Devrais-je porter un dosimètre personnel? .....	37
À titre d'opérateur d'appareil de radioscopie des bagages, quelles sont mes responsabilités à l'égard de ma sécurité et de celle d'autrui? .....	37
Quelles sont les responsabilités de l'ACSTA à titre de propriétaire d'appareils de radioscopie à l'égard de la sécurité des agents de contrôle? .....	38
Quelles sont les responsabilités de Santé Canada à l'égard de ma sécurité et de celle des autres? .....	38
<b>Lexique</b>	<b>39</b>
<b>Références &amp; autres lectures</b>	<b>42</b>

## Remerciements

L'Administration canadienne de la sûreté du transport aérien exprime sa reconnaissance envers les auteurs de la présente publication, Mme Tara Hargreaves et M. Reza Moridi, qui ont compilé la version originale du présent Guide. L'ACSTA tient également à remercier M. Jean Marc Légaré d'avoir traduit le Guide original en français.

L'ACSTA reconnaît aussi l'aide de M. François Cormier dans la préparation du présent Guide.

## Avant-propos

Ce manuscrit a été rédigé par l'Institut de radioprotection du Canada pour l'Administration canadienne de la sûreté du transport aérien (ACSTA). Il a été conçu pour répondre de façon claire aux questions fréquemment posées par le personnel aéroportuaire qui utilisent les appareils de radioscopie des bagages, ou qui travaillent à proximité de ceux-ci dans les aéroports.

Ce manuscrit porte sur les principes fondamentaux du rayonnement et de la radioprotection, et donne des explications sur les rayons X, les risques qui y sont associés, et les éléments clés du *Code de sécurité 29*, lequel porte sur les dispositifs à rayons X pour l'inspection des bagages et les agents de contrôle qui les utilisent ou se trouvent à proximité.

Bien qu'un seul document ne puisse répondre à toutes les questions, nous espérons que ce manuel s'avérera un outil de référence utile et pratique.

Les politiques et les procédures de l'ACSTA en matière de radioprotection ne figurent pas dans le présent manuscrit; celles-ci sont détaillées plutôt dans les Procédures normalisées d'exploitation (PNE) de l'ACSTA.

Les appareils radioscopiques dont il est fait mention dans ce manuscrit étaient utilisés par l'ACSTA au moment de la publication.

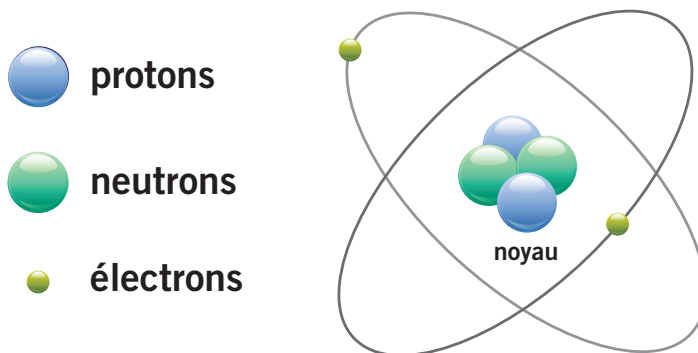
L'Institut de radioprotection du Canada est un organisme indépendant à caractère national fondé en 1980, qui s'est donné comme mission de promouvoir les principes de radioprotection dans les milieux de travail, dans la communauté et dans les écoles.

## Introduction au rayonnement

### ► Qu'est-ce que le rayonnement?

Pour comprendre le rayonnement, il est important de savoir ce qu'est un atome. Les atomes sont d'infimes particules constituant toute matière. Ils sont les constituants de base de notre monde. Les atomes sont faits d'encore plus petites particules qu'on nomme protons, neutrons et électrons. Les protons ont une charge positive, tandis que les neutrons n'ont aucune charge (particules neutres). Les protons et les neutrons se trouvent au centre de l'atome, tout comme le soleil se trouve au centre de notre système solaire. Le centre de l'atome s'appelle le noyau. Les électrons sont d'infimes particules qui ont une charge négative. Bien que la charge négative de l'électron s'oppose à la charge positive du proton, les deux sont d'égale force. On peut concevoir les électrons comme tournant en orbite autour du noyau de l'atome, tout comme les planètes décrivent des orbites autour du soleil de notre système solaire.

La *figure 1* représente un atome d'hélium. Son noyau se compose de deux protons et de deux neutrons, et deux électrons tournent en orbite autour du noyau.



*Figure 1* : Diagramme d'un atome

Le « rayonnement » résulte de particules subatomiques (particules qui composent un atome comme les protons, les neutrons et les électrons) ou d'ondes électromagnétiques (énergie pure sans aucune masse) qui sont émises de l'atome. Essentiellement, le rayonnement est quelque chose qui s'envole de l'atome. Quand un atome émet du rayonnement, celui-ci se propage à une très grande vitesse, ce qui lui confère beaucoup d'énergie.

Puisque le rayonnement est fait de particules qui sont plus petites que les atomes ou d'ondes qui n'ont pas de masse, il est capable de traverser des objets qui,



pour nous, sont solides. Divers types de rayonnement ont différentes capacités de pénétrer dans la matière. Les types de rayonnement et leur capacité de pénétration sont présentés plus bas.

*Remarque : Vous trouverez les définitions des termes indispensables à la bonne compréhension du rayonnement dans un lexique à la fin du manuel.*

## ► Que signifient les termes « radioactif » et « radioactivité »?

Le terme « radioactif » qualifie les atomes qui émettent du rayonnement. Donc, un atome radioactif est un atome qui émet du rayonnement. Le rayonnement est émis par le noyau d'un atome radioactif. L'uranium est un exemple d'atome radioactif. Il émet, à partir de son noyau, des radiations dite particules alpha. On dit que l'atome subit une désintégration lorsqu'il émet du rayonnement.

Le terme « radioactivité » désigne l'activité de la matière radioactive. La matière se compose d'une multitude d'atomes; son activité est le nombre de ses atomes qui vont se désintégrer en un certain laps de temps et émettre du rayonnement. La radioactivité se mesure habituellement par le nombre de désintégrations nucléaires par seconde. On dit d'une matière qui subit une désintégration par seconde qu'elle a une activité d'un becquerel (Bq).

Les appareils de radioscopie ne sont pas radioactifs. Ces appareils sont conçus pour produire des radiations dont le rayonnement est contrôlé par l'opérateur de l'appareil. On peut provoquer ou arrêter l'émission de ce rayonnement en appuyant sur un bouton. L'électricité alimente l'appareil en énergie, de façon à créer du rayonnement sous forme de rayons X. Les rayons X ne proviennent pas de noyaux d'atomes à l'intérieur de l'appareil. Sans électricité, l'appareil de radioscopie ne peut d'aucune façon émettre des rayons X.

Dans le cas de matière radioactive telle que l'uranium, on ne peut empêcher l'émission de rayonnement. La radioactivité est une propriété intrinsèque d'une matière, qu'on ne peut ni accélérer, ni ralentir, ni arrêter. De la matière cessera d'être radioactive seulement quand elle aura subi suffisamment de désintégrations pour parvenir à un état stable « non radioactif ».

## ► Quels types de rayonnement existe-t-il?

Les types de rayonnement les plus courants sont les rayons alpha, bêta, gamma et X.

Le rayonnement alpha provient d'atomes radioactifs lourds. Une particule alpha (*figure 2*) est une particule lourde formée de deux protons et de deux neutrons et chargée positivement. Le rayonnement alpha provient du noyau d'un atome. Il perd son énergie très rapidement. Il s'arrête complètement après avoir traversé quelques centimètres d'air. La couche de peau morte qui couvre notre peau arrête complètement le rayonnement alpha.



**Figure 2 :** Diagramme d'une particule alpha

Le rayonnement bêta provient d'atomes radioactifs. Une particule bêta (*figure 3*) est une particule très petite et très légère, qui peut avoir une charge négative ou positive. Si elle est chargée négativement, elle est alors exactement semblable à un électron. Si elle est chargée positivement, on l'appelle positron. Un positron a la même dimension et la même masse qu'un électron, mais il est de charge opposée. Les deux sortes de rayons bêta proviennent du noyau de l'atome. Le rayonnement bêta peut voyager plus loin que le rayonnement alpha. Dans l'air, le rayon bêta peut parcourir environ deux mètres. Le rayonnement bêta peut traverser la partie morte de notre peau et atteindre la partie vivante juste en-dessous. Une feuille de plastique peut l'arrêter complètement.



**Figure 3 :** Diagramme d'une particule bêta

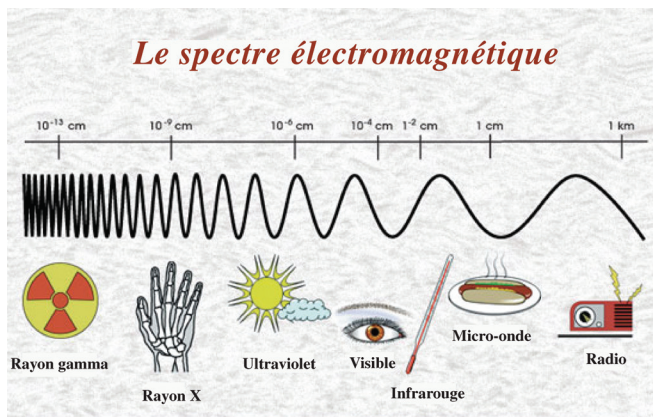
Le rayonnement gamma se compose d'ondes électromagnétiques de très haute énergie (voir *figure 4*) alors que la lumière visible se compose d'ondes électromagnétiques de plus faible énergie. Le rayonnement gamma n'a ni masse, ni charge électrique. Les rayons gamma proviennent du noyau d'un atome radioactif. Le rayonnement gamma est très pénétrant. Il peut traverser notre corps. En fait, on ne peut pas arrêter complètement le rayonnement gamma. Certains rayons gamma, mais peu, arriveront même à traverser une grande épaisseur de plomb.



**Figure 4 :** Diagramme d'une onde électromagnétique. La flèche indique la direction vers laquelle l'onde voyage.

Les rayons X sont produits par des appareils conçus à cet effet (appareils de radioscopie). Ils sont constitués d'ondes électromagnétiques de grande énergie, mais ils ne proviennent pas du noyau de l'atome. Ils se produisent à la suite d'interactions spécifiques entre les électrons et les atomes. Comme les rayons gamma, les rayons X sont très pénétrants. On ne peut les arrêter complètement, mais on peut utiliser des matériaux tels que le plomb pour réduire le nombre de rayons X qui atteindra notre corps. Cela est décrit en détail plus bas.

Le diagramme suivant, appelé spectre électromagnétique (*figure 5*), montre quelques-unes des formes les plus familières de rayonnement électromagnétique, classées de la gauche vers la droite selon leur énergie de rayonnement, celle des rayons gamma étant la plus grande.



**Figure 5 :** Le spectre électromagnétique. Offert par NASA/JPL-Caltech.

Les principales sortes de rayonnement ionisant ainsi que leurs sources et usages les plus courants sont présentés dans le *tableau 1* ci-dessous.

Type de rayonnement	Exemples de sources de rayonnement	
	Source	Usage
Particule alpha	Atomes d'uranium	Combustible pour les centrales nucléaires
Particule bêta	Carbone 14	Datation archéologique au carbone
Rayon gamma	Césium 137	Traitement du cancer
Rayon X	Appareil électronique	Imagerie non envahissante

**Tableau 1** : Exemples de types de rayonnement, de sources et d'usages

### ► Que signifient « exposition au rayonnement interne » et « exposition au rayonnement externe » ?

La distinction entre l'exposition au rayonnement interne et au rayonnement externe réside dans l'emplacement de la source de rayonnement.

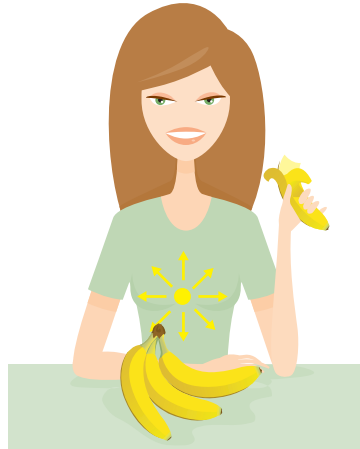
Une source de rayonnement externe se trouve à l'extérieur du corps (voir *figure 6*). L'exposition aux rayons X est un exemple d'exposition au rayonnement externe. La source de rayonnement, l'appareil de radioscopie, est située à l'extérieur du corps.



**Figure 6** : Exposition au rayonnement externe. Un appareil de radioscopie des bagages est une source de rayonnement externe.

Une source de rayonnement interne se trouve à l'intérieur du corps (voir *figure 7*). Le potassium 40, forme radioactive présente dans le potassium naturel tel qu'on le trouve dans les bananes et ailleurs, est un exemple courant d'une telle source d'exposition au rayonnement interne. Lorsqu'une personne mange une banane,

une petite quantité de potassium radioactif se trouvant dans la banane est retenue dans le corps. Le potassium émet alors des radiations pendant qu'il est présent à l'intérieur du corps.



**Figure 7 :** Exposition au rayonnement interne. Nous sommes tous exposés au rayonnement interne à partir des aliments que nous mangeons. Quand nous mangeons, nous incorporons dans notre corps de petites quantités d'atomes radioactifs naturels.

## ► À quelle quantité de rayonnement suis-je exposé de façon naturelle?

Le rayonnement est quelque chose qu'on ne peut éviter dans notre monde; les aliments que l'on mange, l'air que l'on respire, le sol sous nos pieds et les étoiles de la voûte céleste nous exposent tous au rayonnement. Ces sources de rayonnement sont ce qu'on appelle « rayonnement d'origine naturelle ». Nous recevons une dose d'environ 2 à 3 milliSievert (mSv)<sup>1</sup> de rayonnement chaque année provenant de ce fond naturel de rayonnement.

Explorons ensemble quelques-unes des principales sources de rayonnement naturel.

### **Rayonnement cosmique**

L'espace sidéral est une mer de rayonnement. Les étoiles, y compris notre soleil, émettent plusieurs formes de rayonnement incluant le rayonnement gamma. Une grande part du rayonnement gamma est incapable de traverser notre atmosphère, mais une partie réussit à atteindre la surface de la Terre, et à nous atteindre.

### **Rayonnement terrestre ou tellurique**

La Terre contient toutes sortes de matières radioactives. Partout sur la Terre, le sol contient de faibles quantités d'uranium et d'autres atomes radioactifs. Nous sommes exposés au rayonnement émis par ces atomes. Ainsi, lorsque l'uranium se désintègre, le cycle de transformation passe, entre autres, par un gaz radioactif, le radon, pour devenir finalement du plomb stable, donc non radioactif. Le radon, gaz radioactif, émerge du sol et se mélange à l'air. Lorsqu'on respire, on inspire aussi le radon qui devient alors une source interne d'exposition au rayonnement.

### **Nourriture**

La nourriture que nous cultivons de la Terre absorbe des nutriments et des minéraux du sol. Quelques-uns de ces nutriments et minéraux contiennent des atomes radioactifs qui se trouvent donc dans les aliments. Quand nous mangeons ces aliments, nous consommons des atomes radioactifs qui deviennent une source interne de rayonnement. Le potassium 40 contenu dans les bananes et le carbone 14 qui se trouve dans les plantes et les animaux sont deux exemples d'atomes radioactifs trouvés dans les aliments.

<sup>1</sup> Remarque : Le sievert (Sv) est l'unité d'une dose de rayonnement ionisant. Un mSv est un millièème de sievert. La rubrique unités de rayonnement du lexique résume les définitions des unités courantes utilisées dans les mesures du rayonnement ionisant.

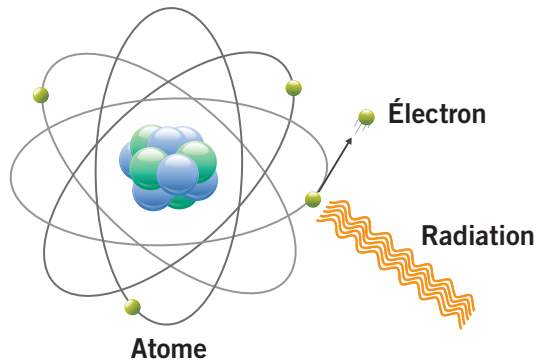
## **► Est-ce que ce « fond naturel de rayonnement » sera nocif pour moi?**

Tout rayonnement a le potentiel d'être nocif, et le fond naturel de rayonnement ne fait pas exception à la règle. À titre d'exemple, le radon, gaz radioactif qui se trouve naturellement dans l'air, a le potentiel de causer le cancer des poumons. On peut prendre des moyens pour réduire ce risque, mais il est impossible de l'éliminer, tout comme on ne peut éliminer les autres sources de rayonnement d'origine naturelle. En général, la quantité d'exposition au rayonnement est si faible que nous n'avons pas à nous en préoccuper. En fait, Santé Canada déclare que « rien n'indique que les radiations qui existent normalement dans le milieu naturel augmentent les risques de cancer » dans son *Code de sécurité 29* (dont il sera question plus bas).

## ► Que sont le rayonnement ionisant et le rayonnement non ionisant?

Le rayonnement ionisant est un rayonnement doté d'une énergie suffisante pour déloger les électrons des orbites des atomes qu'il frappe. Les particules alpha et bêta et les rayons gamma et X appartiennent à cette catégorie de rayonnement.

La *figure 8* montre un atome subissant de l'ionisation par une onde électromagnétique.



*Figure 8* : Ionisation.

Le rayonnement non ionisant est un rayonnement qui n'a pas assez d'énergie pour déloger les électrons des orbites des atomes qu'il frappe. Les ondes radio, les micro-ondes, l'infrarouge (ex. la chaleur issue d'un feu) et la lumière visible appartiennent à cette catégorie de rayonnement.

## ► Comment le rayonnement ionisant peut-il affecter mon corps?

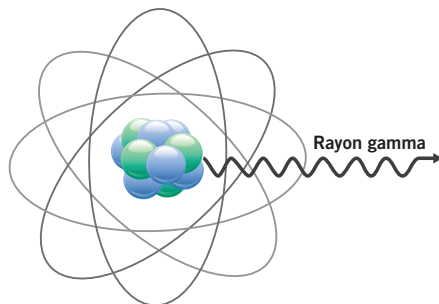
Le rayonnement ionisant peut endommager l'ADN à l'intérieur des cellules de notre corps. L'ADN est « le programme » de notre corps, contenant toute son information génétique. Plus important encore, il dicte aux cellules comment elles doivent se comporter, y compris quand et à quelle fréquence elles doivent se reproduire. Si la molécule d'ADN est endommagée, cela peut avoir pour effet que la cellule se reproduise fréquemment et bien avant qu'elle n'arrive à maturité. Les nouvelles cellules auront aussi la même carence et se comporteront de la même manière. Il en résulte une croissance de cellules sans aucun bénéfice fonctionnel pour le corps. Cela constitue une tumeur. Si la tumeur envahit d'autres tissus du corps, on parle alors de cancer.

Le cancer est la principale conséquence néfaste sur la santé qui nous intéresse en regard des effets dus à de faibles niveaux d'exposition au rayonnement ionisant sur une longue période de temps.

L'exposition à une forte quantité de rayonnement sur une courte période de temps pourrait conduire à des effets néfastes plus immédiats sur la santé. Les effets comprennent des symptômes tels que la léthargie, la nausée, les vomissements, la diarrhée et la mort dans les cas les plus sévères. Il faudrait qu'une personne reçoive une dose aiguë d'environ 250 mSv ou plus pour qu'un de ces effets puisse commencer à se manifester. La mort ne devient un risque possible qu'à une dose aiguë d'environ 2000 mSv. La dose maximale qu'un opérateur d'appareil de radioscopie des bagages peut recevoir en un an, période de temps trop longue pour être considérée comme aiguë, est approximativement 1,4 mSv. On discutera de cette dose plus en profondeur dans une autre question, mais on peut aisément constater que, même à cette dose surestimée, il serait impossible d'atteindre 250 mSv, même au bout d'une vie entière de travail comme opérateur d'appareil de radioscopie des bagages.

## ► À quelle sorte de rayonnement appartient les rayons X?

Les rayons X sont une sorte de rayonnement ionisant. Tout comme les rayons gamma, les rayons X sont du rayonnement électromagnétique de grande énergie. Cependant, les rayons gamma proviennent du noyau d'un atome radioactif (*figure 9*), alors que les rayons X sont produits par les interactions entre des électrons et des atomes, et ils sont généralement créés dans des appareils spécifiques; la différence est que les rayons X ont beaucoup plus d'énergie. En fait, les rayons X ont tellement plus d'énergie qu'on ne peut les détecter avec nos sens.



**Figure 9 :** Diagramme de l'émission d'un rayon gamma. Les rayons gamma proviennent des noyaux d'atomes radioactifs.



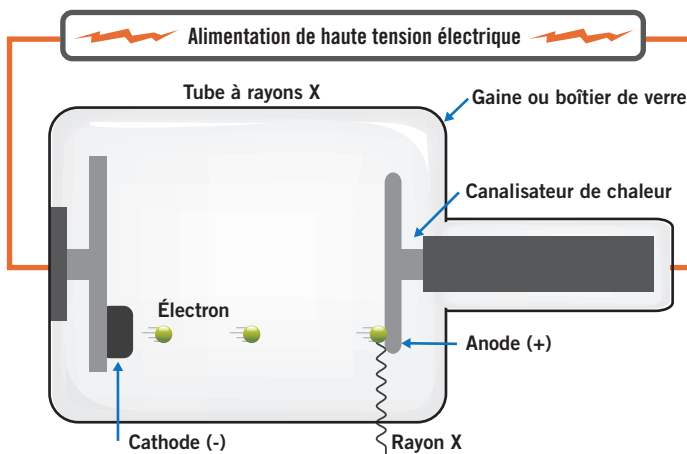
Les rayons X sont le plus souvent produits par des appareils et sont donc une source de rayonnement d'origine humaine (*voir figure 10*). Quand ces appareils de radioscopie sont sous tension, cela ne signifie pas nécessairement qu'ils produisent des rayons X; l'opérateur de l'appareil doit lui donner des instructions précises (appuyer sur un bouton particulier, pousser un commutateur) pour amorcer la création de rayons X.

## ► En quoi les rayons X diffèrent-ils du rayonnement nucléaire?

Comme le nom l'indique, le rayonnement nucléaire (tel que le rayonnement alpha, bêta et gamma) est le rayonnement qui émane du noyau d'un atome radioactif. On n'a aucun contrôle sur le rayonnement nucléaire; on ne peut contrôler ni son énergie lors de l'émission, ni le taux d'émission.

Les rayons X sont créés dans les appareils de radioscopie par le bombardement d'électrons contre un matériau cible. Lorsque ces électrons interagissent avec les atomes du matériau cible, ils ralentissent, ce qui signifie qu'ils perdent de l'énergie. Cette « perte » d'énergie crée un rayon X. L'appareil de radioscopie est ainsi conçu que nous pouvons contrôler l'énergie des rayons X, le nombre de rayons produits et, plus important encore, le moment où les rayons X sont produits. Nous avons la capacité de démarrer et d'arrêter la production de rayons X.

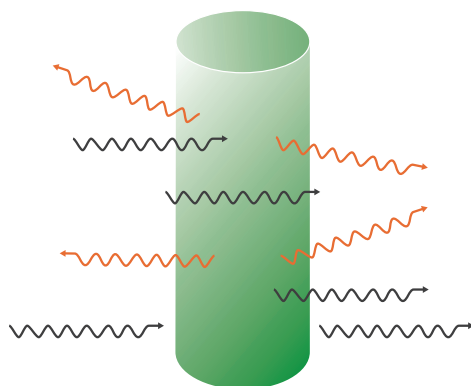
La *figure 10* montre comment les rayons X sont produits par un appareil électrique de radioscopie.



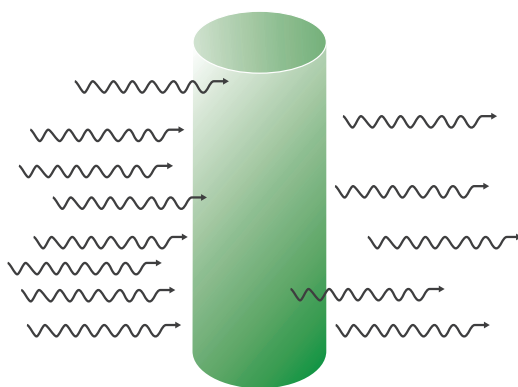
**Figure 10 :** Diagramme de production de rayons X. Les rayons X sont créés par des appareils spéciaux qui utilisent des tubes à rayons X semblables à celui illustré ci-dessus. Les appareils ont besoin d'électricité pour générer des rayons X.

## ► Comment un rayon X se déplace-t-il d'un endroit à l'autre?

Tout comme la lumière, les rayons X se propagent en ligne droite. Lorsqu'ils rencontrent un objet, ils peuvent passer directement à travers l'objet, mais parfois ils rebondissent sur l'objet et peuvent finir par dévier dans de multiples directions – ce phénomène s'appelle « diffusion » (*figure 11*). Par ailleurs, certains rayons X perdront leur énergie en traversant un objet, et puisqu'un rayon X n'est rien d'autre que de l'énergie, lorsque l'énergie est dissipée, il en va également ainsi du rayon X. Ce processus s'appelle « atténuation » (*figure 12*)



**Figure 11 :** Diffusion des rayons X. Lorsque les rayons X rencontrent un objet, certains d'entre eux interagissent et seront diffusés dans différentes directions alors que d'autres traverseront l'objet librement. Dans le diagramme, les rayons rouges représentent les rayons X diffusés.



**Figure 12 :** Atténuation des rayons X. Lorsqu'un faisceau de rayons X rencontre un objet, quelques rayons X interagissent avec les atomes dans l'objet et perdent toute leur énergie. Il en résulte que moins de rayons X réussiront à arriver de l'autre côté de l'objet. Cela diminue le nombre de rayons X dans le faisceau : c'est l'atténuation.

## ► Comment le risque de travailler avec les rayons X se compare-t-il avec celui d'autres activités?

Toute activité humaine est associée à un risque. En général, les opérateurs d'appareils de radioscopie des bagages reçoivent beaucoup moins que 1 mSv de dose de rayonnement par année (un opérateur de l'ACSTA reçoit, en fait, une moyenne de 0,02 mSv par année, comme on l'indique ci-dessous). Travailler avec cette quantité de rayonnement est moins risqué que de travailler en manufacture, dans le transport et dans la construction. Il y a une plus grande chance de mourir dans un accident de la route ou à domicile que d'avoir reçu 1 mSv de dose de rayonnement dans une année (*tableau 2*).

Risque situationnel	Taux de risque mortel par année
1 mSv de dose de rayonnement	1 sur 20 000
Accident à domicile	1 sur 11 000
Travail en manufacture	1 sur 11 000
Accident de la route	1 sur 5 000
Travail dans le transport	1 sur 4 000
Travail dans la construction	1 sur 3 000

\*Valeurs provenant de « Canada : vivre avec le rayonnement », par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA), 1995, maintenant appelée Commission canadienne de sécurité nucléaire (CCSN)

**Tableau 2** : Risque de décès par année pour diverses activités\*

## Radioprotection

### ► Qu'est-ce qu'est la CIPR?

La CIPR est la « Commission internationale de protection radiologique ». La CIPR est la principale autorité internationale en matière d'effets sur la santé et d'utilisation sûre du rayonnement ionisant. Elle est composée d'un groupe d'experts dans les domaines liés à la radioprotection. Ces experts étudient l'information scientifique existante sur les effets de l'exposition au rayonnement sur la santé, et, s'appuyant sur les données, font des recommandations sur les limites de dose. La plupart des pays, dont le Canada, adoptent les recommandations de la CIPR.

### ► Qu'est-ce que le principe ALARA?

ALARA est l'acronyme anglais de « As Low as Reasonably Achievable » (aussi faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre). L'idée qui sous-tend le principe ALARA est qu'il ne suffit pas de rester juste au-dessous de la dose limite permise par la loi. Le principe ALARA exige des employeurs qu'ils prennent des mesures pour s'assurer que les doses de rayonnement auxquelles sont exposés les employés soient maintenues à un niveau aussi faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. Il sert à rappeler que la dose limite n'est pas un objectif. L'objectif est plutôt de maintenir les doses au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre sur les lieux de travail.

### ► Quels sont les meilleurs moyens de me protéger du rayonnement?

Pour être fidèle au principe ALARA où vous essayez toujours de réduire l'exposition potentielle au rayonnement au « niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre », les meilleurs moyens de vous protéger du rayonnement sont d'appliquer les trois principes de radioprotection suivants : la durée, la distance et le blindage.

#### **Durée**

Quoique le niveau d'exposition au rayonnement soit très faible, pour mettre en pratique le principe ALARA, il faut limiter la durée des périodes passées près des sources de rayonnement. La logique est simple : le moins de temps vous vous trouvez près d'une source de rayons X, le moins de risques il y a de vous exposer au rayonnement. Par exemple, si on n'a pas de raison de rester près d'un appareil de radioscopie, peu importe le niveau de rayonnement, on devrait pratiquer le principe ALARA, et donc ne pas y rester inutilement.

L'importance du principe de la durée est aussi l'une des raisons pour lesquelles les appareils de radioscopie sont conçus de manière à n'émettre des rayons X que durant l'inspection d'un sac. En plus d'épargner de l'électricité, cette mesure aide à réduire la durée d'exposition des opérateurs à l'irradiation aux rayons X. Bien sûr, cette mesure s'ajoute aux autres principes clés : la distance et le blindage.

### **Distance**

Ce principe est tout aussi simple : plus vous êtes éloigné de la source de rayonnement, moins vous y êtes exposé. Bien que les appareils de radioscopie des bagages soient correctement blindés, aucun blindage ne peut empêcher les rayons X de s'échapper à 100 % : théoriquement, un rayon X peut traverser un matériau et n'être ni atténué, ni diffusé, quelle que soit l'épaisseur du matériau. La chance que cela se produise est peut-être très faible au point d'être négligeable, disons des fractions de un pour cent, mais c'est possible.

Cela étant dit, augmenter votre distance ne veut pas dire vous déplacer à plusieurs mètres de l'appareil; même un éloignement de quelques centimètres supplémentaires peut avoir un effet significatif, ce qui est certainement le cas avec les appareils de radioscopie des bagages.

À titre d'exemple, si vous vous placez à 5 cm des rideaux blindés d'un appareil de radioscopie Hi-Scan, 40 heures par semaine, pendant 50 semaines consécutives, vous vous exposerez à approximativement 1,4 mSv de rayons X. Mais si vous reculez à 50 cm (ce qui est la position normale de l'opérateur de l'ACSTA), vous ne recevrez qu'environ 0,014 mSv, soit cent fois moins qu'à 5 cm de distance.

L'entrée et la sortie de l'appareil de radioscopie sont blindées au moyen de rideaux qui peuvent remuer. C'est donc autour de ces zones que le niveau de rayonnement risque d'être le plus élevé. On peut appliquer le principe de distance pour se protéger contre le rayonnement en évitant de se rapprocher de ces zones autant que possible, et en n'allant jamais au-delà de ces rideaux à l'intérieur de l'appareil de radioscopie. C'est une des raisons pour lesquelles les appareils de l'ACSTA sont équipés d'une barrière de plastique ou de métal à l'entrée et à la sortie. Ces barrières aident à empêcher qu'une partie du corps se trouve près des rideaux, ou même au-delà des rideaux, à l'intérieur de l'appareil de radioscopie.

### **Blindage**

Placer des matériaux entre vous et la source d'irradiation a pour effet de réduire la quantité de rayonnement qui peut vous atteindre puisqu'une partie de ce rayonnement sera atténué par ce matériau de blindage. Le type de matériau utilisé influera sur l'efficacité du blindage, selon l'effet qu'il aura sur l'atténuation des rayons X. Plus le matériau est lourd et épais, plus il est efficace pour

atténuer les rayons X. Les appareils de radioscopie sont conçus de telle sorte que le blindage incorporé suffit à réduire le nombre de rayons X s'échappant de l'appareil à un niveau négligeable.

Pour que l'effet de blindage des rideaux contre les rayons X soit optimal, il faut que les rideaux pendent directement vers le bas, sans faire de plis et sans s'entortiller, lors de la production de rayons X. Si l'appareil produit des rayons X pendant que les sacs y entrent ou en sortent (ce qui peut survenir avec les appareils de radioscopie Hi-Scan aux points de contrôle pré-embarquement (CPE)), les rideaux blindés remueront à ces moments-là, permettant ainsi à plus de rayons X de s'échapper de l'appareil. C'est justement ici que les principes de la durée et de la distance entrent en jeu et compensent pour les mouvements des rideaux de blindage. L'appareil Hi-Scan produit des rayons X seulement lorsqu'il balaie un sac (mise en pratique du principe de la durée) et les écrans à l'entrée et à la sortie de l'appareil empêchent tant le public que les agents de contrôle de trop s'approcher des rideaux en mouvement (mise en pratique du principe de distance).

## ► Quel est l'effet de la durée sur l'irradiation?

Le plus longtemps une personne s'expose au rayonnement, le plus d'énergie son corps absorbera du rayonnement. C'est une erreur de penser que le rayonnement pourrait, en quelque sorte, rester dans le corps et le rendrait éventuellement radioactif. Un rayon X transférant son énergie au corps est comparable à une balle de baseball frappant une personne. Lorsque la balle frappe une personne, elle transfère son énergie au corps. La balle perd son énergie et s'arrête. Le corps absorbe cette énergie qui peut faire éclater des vaisseaux sanguins et produire ainsi une ecchymose. Lorsque le corps absorbe l'énergie de la balle, il n'absorbe évidemment pas la balle. L'énergie absorbée n'est pas, en quelque sorte, « entreposée » dans le corps. Au moment du transfert, cette énergie est immédiatement utilisée pour causer la rupture de vaisseaux sanguins. De la même manière, si l'énergie du rayonnement est absorbée par le corps, elle n'est pas non plus emmagasinée par le corps. L'énergie affectera immédiatement le corps en brisant des liens dans les molécules, ou elle affectera les cellules du corps.

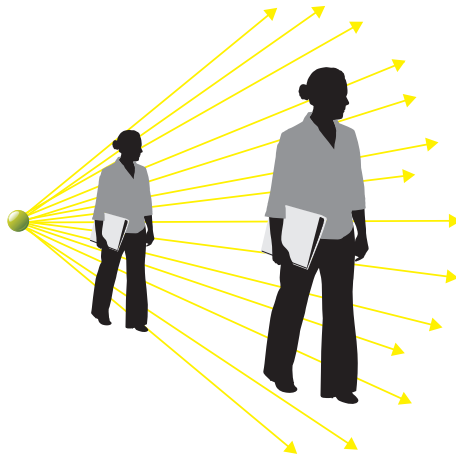
C'est l'absorption de l'énergie qui peut conduire à des effets sur la santé. Chaque fois que le rayonnement interagit avec le corps, il a le potentiel d'endommager les cellules du corps, ce qui peut avoir des conséquences sur la santé. Au fur et à mesure que de l'énergie est transférée au corps par le rayonnement, les risques de ses effets sur la santé augmentent. Ainsi, en limitant la durée

d'exposition d'une personne au rayonnement, on limite la quantité d'énergie qui est transférée au corps par le rayonnement, ce qui, à son tour, limite les risques des effets négatifs sur la santé.

### ► Quel est l'effet de la distance sur l'irradiation?

Les rayons X se concentrent sur une petite région juste autour de la source, mais s'évalent sur une grande région à mesure qu'ils s'éloignent de la source. Plus vous restez près de la source, plus nombreux sont les rayons qui entrent en contact avec votre corps. Puisque le même nombre de rayons X occupe une plus grande région en s'éloignant de la source, si vous vous éloignez, moins de rayons viendront effectivement en contact avec votre corps. L'éloignement accru de la source réduira donc la quantité de rayonnement à laquelle vous vous exposez.

Sur la *figure 13* ci-dessous, le cercle à gauche indique une source de rayons X et les flèches représentent les rayons X. En se rapprochant de la source de rayons X, la personne reçoit plus de rayons que lorsqu'elle est éloignée de la source de rayons X.



**Figure 13** : Le principe de la distance de radioprotection.

## ► Que signifie la « loi de l'inverse du carré de la distance pour les rayons X »?

La loi de l'inverse du carré de la distance exprime à quel rythme l'irradiation diminue lorsque vous vous éloignez de la source. Elle indique qu'au fur et à mesure que vous vous éloignez d'une source de rayons X, l'exposition diminue d'un facteur qui est l'inverse du carré de la distance. Cela veut dire que si vous doublez votre distance de la source, votre exposition tombe à 1/4 de ce qu'elle était là où vous étiez originellement. Si vous triplez votre distance de la source, votre exposition tombe à 1/9 de ce qu'elle était là où vous étiez originellement. Voyez dans le *tableau 3* quelques exemples de la variation des rapports entre la distance et le débit d'irradiation selon la loi de l'inverse du carré de la distance.

Distance de la source de rayons X	Quantité d'irradiation
5 cm	0,5 mR/h
10 cm (2 fois 5 cm)	0,125 mR/h (1/4 de 0,5 mR/h)
15 cm (3 fois 5 cm)	0,056 mR/h (1/9 de 0,5 mR/h)
20 cm (4 fois 5 cm)	0,031 mR/h (1/16 de 0,5 mR/h)
25 cm (5 fois 5 cm)	0,020 mR/h (1/25 de 0,5 mR/h)
50 cm (10 fois 5 cm)	0,005 mR/h (1/100 de 0,5 mR/h)
100 cm (20 fois 5 cm)	0,00125 mR/h (1/400 de 0,5 mR/h)

*Tableau 3:* Exemple de la loi de l'inverse du carré de la distance

## ► Comment le blindage agit-il sur l'irradiation?

Lorsque le rayonnement traverse le blindage, les interactions qui s'y produisent diminuent son énergie et son intensité. Ainsi, quand un rayon X rencontre un matériau de blindage et peut interagir avec les atomes de ce matériau, les interactions amènent le rayon X à perdre de l'énergie (atténuation). Il est possible qu'un rayon X perde toute son énergie de cette façon, ce qui signifie alors qu'il traverse le blindage jusqu'à sa disparition. Il est également possible qu'un rayon X traverse le matériau de blindage et n'interagisse avec aucun atome du matériau. C'est pourquoi aucune épaisseur de blindage ne peut prétendre arrêter complètement tous les rayons X. Cependant, le blindage est habituellement conçu de façon à réduire le rayonnement à un niveau si faible qu'il se confondra avec le fond naturel de rayonnement.



## ► Quelles sont les meilleures sortes de blindage contre le rayonnement?

Aucune sorte de blindage n'est parfaite pour tous les types de rayonnement, pour toutes les situations. Nous avons mentionné plus haut que notre couche de peau morte peut arrêter le rayonnement alpha et que le plastique est excellent pour arrêter le rayonnement bêta. Ces matériaux ne fonctionneraient aucunement pour arrêter les rayons X puisque leur énergie est beaucoup trop grande et qu'ils pourraient facilement les traverser. Les meilleurs matériaux de blindage contre les rayons X sont ceux qui sont lourds. Plus le matériau est lourd, plus grande sera la chance d'interaction avec les atomes du matériau de blindage. Le matériau de blindage le plus couramment utilisé contre les rayons X est le plomb.

## Appareils de radioscopie des bagages

### ► Qu'est-ce qu'un appareil de radioscopie des bagages?

Dans son avant-propos, le *Code de sécurité 29* de Santé Canada définit ainsi le système d'inspection à rayons X des bagages : « *Le dispositif à rayons X pour l'inspection des bagages est une machine conçue spécialement pour générer des rayons X dont l'intensité exprimée en keV, varie de faible à moyenne* ». Elle est conçue pour l'examen des bagages en transit, des effets personnels, du courrier cacheté, etc. Cette définition comprend les systèmes Hi-Scan utilisés pour les inspections des bagages de cabine (*figure 14*) aussi bien que les systèmes à rayons X VIS/VDS (*figure 15*) et les appareils CTX (*figure 16*) utilisés dans les aéroports.



**Figure 14 :** L'appareil de radioscopie Hi-Scan utilisé au contrôle préembarquement.



**Figure 15 :** Appareils de radioscopie VIS et VDS. L'appareil VIS108 est illustré à gauche alors que l'appareil VDS108 utilisé pour l'enregistrement des bagages surdimensionnés est illustré à droite.



**Figure 16 :** L'appareil de radioscopie CTX 2500.

## ► Que signifie « l'énergie de faible à moyenne valeur »?

L'énergie du rayonnement se mesure en électronvolt (eV). Un électronvolt est une mesure d'énergie tout comme une calorie ou un joule, sauf qu'il est beaucoup plus petit que ces deux dernières unités, et on l'emploie pour mesurer l'énergie du rayonnement. Le rayonnement aura plus fréquemment une énergie située dans la gamme des kiloélectronvolts (keV) ou des mégaélectronvolts (MeV). Un keV est égal à 1 000 eV, et 1 MeV est égal à 1 000 000 eV.

« La valeur de faible à moyenne énergie » telle que citée dans le *Code de sécurité 29* de Santé Canada désigne les appareils qui émettent des rayons X dont l'énergie est de 350 keV ou moins. Les appareils de radioscopie des bagages aussi bien que les appareils de radiothérapie pour les rayons X superficiels, les appareils de radiologie dentaire et plusieurs appareils de radiographie industriels font partie de cette catégorie. Certains appareils de radioscopie de cargaisons peuvent produire des rayons dont l'énergie se situe dans la gamme des MeV. Ce sont des appareils de très grande énergie qui sont soumis à des règlements plus contraignants.

Il faut souligner que l'énergie des rayons X n'est pas le seul facteur à considérer dans la dose livrée par l'appareil. L'intensité du faisceau de rayons X (le nombre de rayons X qui est produit) et la durée de l'exposition aux rayons X sont aussi des facteurs importants de la quantité de rayonnement livré par l'appareil. Les appareils de radiologie dentaire utilisent souvent des rayons X dont l'énergie avoisine les 70 keV. Cependant, un examen radiologique dentaire peut conduire à une dose environ dix fois plus élevée que la dose livrée à un objet à l'intérieur d'un appareil de radioscopie des bagages à la suite d'une inspection unique.

## ► Comment fonctionne un appareil de radioscopie?

Un appareil de radioscopie des bagages ressemble à un grand boîtier muni d'une entrée et d'une sortie situées aux côtés opposés de l'appareil. Une courroie de convoyeur entre par l'entrée, traverse l'appareil, puis sort par la sortie. Les bagages sont placés sur la courroie du convoyeur qui les transporte à l'intérieur de l'appareil où ils sont inspectés aux rayons X. Quand l'exposition aux rayons X est terminée, la courroie les transporte à l'extérieur de l'appareil par la sortie.

Les rayons X sont produits par un générateur de rayons X situé à l'intérieur du boîtier de l'appareil.

Pendant l'inspection d'un sac, le faisceau de rayons X est dirigé vers le sac. Le sac et les objets qu'il contient atténuent le faisceau de rayons X, ce qui signifie qu'il y a plus de rayons X qui entrent dans le sac et les autres objets qu'il y en a qui en sortent. Les matériaux plus épais et plus lourds à l'intérieur du sac mèneront à une plus grande atténuation du faisceau de rayons X, alors que les matériaux plus légers et plus minces vont conduire à moins d'atténuation. Sur le côté du boîtier opposé au faisceau se trouvent des capteurs qui détectent les rayons X passant à travers le sac. En fonction du nombre de rayons X qui ont traversé le sac et de leur énergie, les capteurs, qui sont semblables aux capteurs d'un appareil photo numérique, représenteront les détections de rayons X comme des points pâles et foncés, donnant ainsi une image des objets à l'intérieur du sac. Dans l'image qui s'affiche à l'écran, les articles causant une plus grande atténuation du faisceau de rayons X (ceux qui laissent passer moins de rayons X) apparaissent plus foncés que les articles causant peu d'atténuation du faisceau (ceux qui laissent passer plus de rayons X). On peut également ajuster l'image de sorte que différentes densités apparaissent de diverses teintes (bleue, orange, etc.), afin d'aider l'opérateur à repérer rapidement les articles d'intérêt.

### ► **Quelles sont les différences entre les appareils de radioscopie des bagages et les autres types d'appareils de radiologie X (ex. applications médicale, dentaire, de cargaisons, etc.)?**

Beaucoup d'appareils à rayons X fonctionnent sur le même principe quoiqu'elles servent à des fins différentes. Les appareils d'applications médicale, dentaire, de cargaisons et beaucoup d'appareils industriels sont utilisés pour voir à l'intérieur des objets, tout comme les appareils de radioscopie des bagages. Les différences résident dans la conception.

Les appareils de radiologie médicale et dentaire servent à regarder à l'intérieur du corps. Les rayons X, dans ces cas, ne sont pas confinés à l'intérieur d'un boîtier. On considère ces appareils comme étant à « faisceau ouvert » puisque le faisceau est ouvert dans la salle et n'est pas entièrement entouré de blindage.

Les appareils de radioscopie de cargaisons servent à des fins semblables à celles des appareils de radioscopie des bagages. Cependant, vu la taille imposante des objets que ces appareils inspectent, le faisceau de rayons X est doté d'une énergie beaucoup plus grande et, conséquemment, plus à risques. Ces appareils existent tant sous forme de boîtier qu'en système à « faisceau ouvert ».

Les appareils de radiographie industriels ressemblent davantage à des boîtiers munis de portes. On place l'objet à l'intérieur de l'appareil, et on doit fermer la porte adéquatement pour que l'appareil puisse produire des rayons X.

Peu importe le type d'appareil qu'un travailleur utilise, on doit maintenir les doses de rayonnement à une valeur minimale. Le *tableau 4* ci-dessous montre la dose moyenne annuelle pour divers types de travailleurs.

Profession	Dose de rayonnement annuelle moyenne pour 2004 (mSv)
Personnel de bord d'un avion	0,46
Dentiste	0,02
Technologue en radiologie médicale	0,10
Radiologue (diagnostique)	0,19
Radiologue (thérapeutique)	0,10
Opérateur d'appareil de radioscopie des bagages	Estimée à moins de 0,014 mSv

**Tableau 4** : Dose de rayonnement annuelle pour diverses professions (valeurs provenant de Santé Canada)

### ► Quelles sortes d'appareils de radioscopie des bagages l'ACSTA utilise-t-elle?

L'ACSTA utilise les appareils Hi-Scan et aTiX pour l'inspection des bagages de cabine au contrôle préembarquement. Les unités VIS et VDS servent à examiner les bagages enregistrés et hors format. La différence entre ces deux types d'appareils de radioscopie réside dans leur emplacement; les appareils VIS se trouvent à l'intérieur du système de triage des bagages alors que les unités VDS sont situées, en général, dans des endroits isolés et sont utilisés pour les bagages dont la taille excède les dimensions normales.

On utilise aussi les appareils de tomodensitomètres, semblables à ceux utilisés dans les établissements de santé (sauf que ceux des établissements de santé n'ont pas de rideaux blindés à l'entrée fournissant une protection supplémentaire). Contrairement aux autres unités, le tube à rayons X se déplace autour des bagages et il prend beaucoup de clichés, sous divers angles, afin de fournir une image tridimensionnelle de l'objet et d'en faciliter l'identification. Les modèles en usage sont le CTX 2500 et le CTX 9000 de Morpho Detection, le CT-80 de Reveal Imaging, et L'Examiner de L3.

L'ACSTA utilise uniquement des appareils de radioscopie munis de boîtiers.

## ► Les rayons X sont-ils toujours en cours de production lorsqu'on opère un appareil de radioscopie des bagages?

La réponse est non. L'appareil de radioscopie peut être sous tension, mais cela ne signifie pas qu'il y ait production de rayons X. Lorsque l'appareil est sous tension, il se réchauffe et est prêt à produire des rayons X. On doit activer l'appareil en appuyant sur un bouton ou en poussant un commutateur pour amorcer la production de rayons X. Les entrées et sorties des appareils sont dotées de voyants rouges. Lorsque ces voyants sont allumés, c'est qu'il y a production de rayons X. Quand ils sont éteints, l'appareil ne produit pas de rayons X.

Les appareils de radioscopie de l'ACSTA sont aussi munis de dispositifs à sécurité intrinsèque qui empêchent de générer des rayons X dans certaines conditions, surtout ceux qu'opèrent manuellement les agents de contrôle. Ces dispositifs à sécurité intrinsèque comprennent :

### **Tapis isolants**

Si l'opérateur n'est pas debout sur les tapis isolants, les rayons X ne peuvent pas être produits. Cette fonctionnalité de l'appareil fait en sorte que l'appareil de radioscopie ne puisse produire de rayons X que lorsqu'un opérateur est sur place pour le commander.

### **Commutateurs de verrou**

Les commutateurs de verrou sont conçus de manière à ce que, si les panneaux extérieurs sont ouverts, il ne puisse y avoir production de rayons X. Cette précaution n'inclut pas le mouvement des rideaux protecteurs à l'entrée et à la sortie de l'appareil.

### **Arrêts d'urgence**

Si on appuie sur le bouton d'arrêt d'urgence, il ne peut y avoir production de rayons X que si l'on réactive l'appareil en appuyant de nouveau sur le bouton d'arrêt d'urgence.

### **Clé de contact**

Si les clés de contact ne sont pas dans les trous de serrure ou si la clé est en position fermée, il ne peut y avoir production de rayons X. Pour certains appareils (tous ceux de CPE et les CTX 2500 de CBE), l'opérateur est debout juste à côté de l'appareil de radioscopie et il commande la production de rayons X. D'autres appareils (tous les autres de CBE) s'opèrent généralement à distance.

### ► Quelle quantité de rayonnement les appareils de l'ACSTA produisent-ils chaque fois qu'ils inspectent un sac?

Dans une inspection type, un sac recevra une dose de rayonnement d'environ 2  $\mu\text{Sv}$  (microsievert) dans les appareils Hi-Scan. Cela est dix fois moins que la dose de rayonnement d'un examen radiologique dentaire.

*Note : Un microsievert est un millionième de sievert.*

### ► Quel est le degré de blindage des appareils de radioscopie des bagages de l'ACSTA? Est-ce suffisant pour me protéger du rayonnement en tout temps?

Selon le *Code de sécurité 29* de Santé Canada, afin de se conformer aux règlements, à 5 cm de distance de la surface extérieure de l'appareil à rayons X, le débit de dose ne doit excéder 5  $\mu\text{Sv/h}$  (microsievert par heure). Ce niveau de rayonnement est considéré comme étant négligeable. Les appareils de radioscopie sont fabriqués avec un blindage suffisant pour que le débit de dose, à 5 cm de tout point de la surface extérieure de l'appareil, soit inférieur à la limite de 5  $\mu\text{Sv/h}$ .

Aussi, comme le stipule le Code de sécurité 29, les appareils de radioscopie doivent être vérifiés régulièrement par un personnel d'entretien formé afin de s'assurer que le débit de dose à 5 cm de tout point de la surface extérieure de l'appareil soit toujours en deçà de la limite de 5  $\mu\text{Sv/h}$ .

Les appareils de radioscopie qu'utilise l'ACSTA sont faits des matériaux de blindage suivants :

- **Hi-Scan** : 4,5 mm de plomb
- **aTiX** : 5,0 mm de plomb
- **VIS/VDS** : 1,524 mm de plomb et 1,524 mm d'acier
- **CT-80** : 3,18 mm de plomb et 2,54 mm d'acier
- **Examiner** : 1,524 mm de plomb et 1,4986 mm d'acier
- **MVT-HR** : 3,175 mm de plomb

## ► **Comment les rideaux arrêtent-ils ou réduisent-ils le rayonnement?**

Comme pour tout blindage, les rideaux protecteurs à l'entrée et à la sortie de l'appareil de radioscopie ne peuvent arrêter tout le rayonnement qui s'échappe de l'appareil, mais réduisent, à coup sûr, la quantité de rayonnement qui sort. Ils accomplissent cela de la même façon que le reste du blindage autour de l'appareil. Les rideaux sont fabriqués d'un matériau spécifique et d'une épaisseur déterminée, afin d'offrir un blindage contre les rayons X produits par l'appareil. La double couche de rideaux aide à minimiser toute ouverture qui pourrait survenir entre les sections de rideaux.

Pour renforcer l'efficacité, les rideaux protecteurs ne doivent pas être en mouvement lorsqu'il y a production de rayons X dans l'appareil. Durant la production de rayons X, les rideaux doivent pendre directement vers le bas.

## ► **En quoi l'endroit où je me tiens assis ou debout a-t-il un effet sur l'irradiation que je subis?**

Le principe de radioprotection de la distance s'applique, que vous soyez assis ou debout, lorsque vous êtes autour de l'appareil de radioscopie. Plus vous êtes loin de l'appareil, moins vous êtes exposé au rayonnement.

Vous devez aussi porter attention à l'entrée et à la sortie de l'appareil. Puisque les rideaux peuvent remuer, ces zones sont les plus vulnérables aux fuites de rayonnement. C'est là l'une des principales raisons pour lesquelles on se sert des barrières de plastique et de métal (on les appelle « écrans ») pour empêcher les personnes de trop s'approcher de ces ouvertures.

## ► **Est-ce qu'un objet traversant l'appareil de radioscopie des bagages (ex. nourriture, vêtements, métal, etc.) peut devenir radioactif?**

La réponse à cette question est non, absolument pas, bien entendu. Un quelconque objet qui traverse l'appareil ne peut devenir radioactif en aucune façon. Tout ce qui a passé par l'appareil de radioscopie peut être manipulé en toute sécurité, et la nourriture est propre à la consommation.



L'appareil de radioscopie n'affectera non plus aucun médicament qu'on y fait passer. L'énergie des rayons X est beaucoup trop faible pour avoir le moindre effet sur les médicaments.

L'énergie du rayonnement des appareils de radioscopie de l'ACSTA est trop faible pour causer des effets perceptibles sur les pellicules non traitées des appareils photo, et ce, jusqu'à au moins 800 ASA. Cependant, des inspections multiples de la même pellicule non traitée pourraient finir par endommager ces pellicules.

### ► **Combien recevrais-je de rayonnement si je travaillais 40 heures par semaine à côté d'un appareil de radioscopie des bagages?**

En se basant sur les mesures prises au cours de trois années sur les appareils de radioscopie par le fournisseur du service d'entretien et sur celles prises par les analystes d'essais de l'ACSTA, les débits de dose à 5 cm des rideaux des appareils (là où le débit extérieur est le plus élevé) sont comme suit :

- 0,2  $\mu\text{Sv/h}$  pour le aTiX
- 0,4  $\mu\text{Sv/h}$  pour le Hi-Scan
- 0,5  $\mu\text{Sv/h}$  pour le VIS/VDS
- 0,7  $\mu\text{Sv/h}$  pour le CTX 2500

Si on calcule à partir du débit le plus élevé de 0,7  $\mu\text{Sv/h}$ , pour le CTX 2500, si vous travailliez 40 heures par semaine, tout en restant à 5 cm des rideaux, en fonction continue, vous pourriez recevoir une dose hebdomadaire de 28  $\mu\text{Sv}$  ou 0,028 mSv. Si vous travailliez dans ces conditions 50 semaines dans l'année, votre dose annuelle de rayons X serait de 1,4 mSv. En réalité, les doses calculées ci-dessus sont une surestimation. En général, vous ne passerez pas votre quart de travail entier à travailler à 5 cm des rideaux, surtout que l'ACSTA recommande que vous vous placiez, en tout temps, à au moins 50 cm des rideaux. De plus, l'appareil ne générera pas constamment des rayons X pendant que vous travaillerez, puisque chaque sac est exposé pendant seulement quelques secondes durant l'inspection. En réalité, votre dose annuelle de rayonnement devrait donc être plus près de 0,014 mSv!

## Règlement sur la radioscopie des bagages au Canada

### ► Que fait le gouvernement pour me protéger contre un rayonnement excessif?

Avant même que le système de radioscopie n'atteigne le lieu de travail, le gouvernement requiert qu'il soit conforme à la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* (LDER). Cette loi et les règlements apparentés donnent les détails sur les dispositifs de sécurité qui doivent être en place sur l'appareil. Ils décrivent les normes que l'appareil doit respecter pour qu'on puisse l'opérer de manière sécuritaire. Un appareil ne peut légalement être utilisé au Canada s'il ne répond pas aux normes de la LDER. On peut trouver le texte de cette loi sur Internet, à l'adresse suivante : <http://lois.justice.gc.ca/fr/showtdm/cs/R-1>.

Une fois que le système de radioscopie des bagages répond aux exigences de la LDER et qu'il est installé dans le milieu de travail, le *Code de sécurité 29* de Santé Canada entre en vigueur. Ce code de sécurité fournit en détail les responsabilités du propriétaire, de l'utilisateur et du personnel d'entretien, et il décrit les normes de sécurité auxquelles on doit se conformer par rapport à l'opération et à l'entretien sécuritaire de l'appareil.

Santé Canada mène des inspections périodiques sur les systèmes de radioscopie dans les lieux de travail fédéraux afin de s'assurer qu'ils sont conformes au *Code de sécurité 29*. Ces inspections consistent, entre autres, à prendre des mesures du rayonnement du matériel afin de s'assurer qu'il répond toujours aux normes de la LDER; à mener une vérification administrative et technique auprès du fournisseur du service d'entretien afin de s'assurer qu'il effectue un entretien régulier et adéquat des appareils; à s'entretenir avec les opérateurs pour s'assurer qu'ils sont bien informés des exigences du *Code de sécurité 29*.

### ► Qu'est-ce que le *code de sécurité 29*?

C'est un document émis par Santé Canada qui expose les règlements, les politiques et les procédures fédérales régissant l'usage sûr des systèmes d'inspection des bagages. En ce qui concerne le système de radioscopie des bagages, le *Code de sécurité 29* établit les responsabilités du propriétaire du système, des opérateurs du système et du personnel d'entretien. Ce code de sécurité donne aussi en détail les normes réglementaires, les exigences d'installation, les responsabilités d'entretien et les exigences sur la surveillance de radioprotection telles qu'elles s'appliquent aux systèmes de radioscopie des bagages.

En plus, le *Code de sécurité 29* traite des questions soulevées en regard de la santé et de la sécurité pour le public en général, aussi bien que pour les opérateurs des appareils de radioscopie. Il indique la procédure à suivre afin de réduire au minimum la dose de rayons X pour quiconque se trouve dans le voisinage de l'appareil. L'utilisation de dosimètres et les limites de dose annuelles sont également traitées dans le *Code de sécurité 29*.

### ► Qu'en est-il des autres codes de sécurité qui traitent des rayons X? S'appliquent-ils à mon milieu de travail?

Santé Canada a quelques codes de sécurité concernant les appareils de radioscopie dans divers milieux. Ils sont propres au type d'appareil à rayons X et aux fins auxquelles ils sont utilisés. Le *Code de sécurité 29* est le seul qui s'applique aux appareils de radioscopie des bagages; il s'applique également aux agents de contrôle de sûreté.

Le *tableau 5* donne la liste de quelques-uns des codes de sécurité sur les systèmes utilisant des rayons X et aux types d'appareils auxquels ils s'appliquent.

Code de sécurité de Santé Canada	Domaine d'application
20 A	Appareils radiographiques en diagnostic médical
28	Radioprotection en médecine vétérinaire
29	Dispositifs à rayons X pour l'inspection des bagages
30	Radioprotection dans l'exercice de la dentisterie
31	Radioprotection en tomographie
32	Appareils d'analyse aux rayons X (pour l'examen microscopique ou pour l'analyse atomique des matériaux)
33	Protection dans l'exercice de la mammographie
34	Appareils de radiologie industriels : radioprotection et sécurité (y compris les systèmes de radiographie utilisés pour vérifier l'intégrité et la structure des composants, ou les appareils utilisés pour le soudage par faisceaux d'électrons)

**Tableau 5 :** Codes de sécurité de Santé Canada

## ► Quelle est la dose maximale de rayonnement à laquelle une personne devrait se limiter selon Santé Canada?

Santé Canada suit la ligne directrice internationale établie par la CIPR qui stipule que le travailleur sous irradiation devrait s'exposer à une dose maximale de rayonnement de 20 mSv par année. Ce guide international est suivi par de nombreux pays au monde. En réalité, l'objectif est de maintenir les doses de rayonnement bien en deçà de cette limite, c'est-à-dire à s'en tenir au principe d'ALARA. Pour les gens du public, y compris les travailleurs qui ne sont pas désignés comme étant des travailleurs sous irradiation, la dose limite annuelle est de 1 mSv. En ce qui a trait aux doses limites, les opérateurs d'appareils de radioscopie des bagages tombent dans la catégorie des gens du public.

Le *tableau 6* ci-dessous provient de la publication n° 60 de la CIPR, 1990. Au Canada, les limites professionnelles ne s'appliquent qu'aux personnes désignées « travailleurs sous irradiation ».

Application	Dose limite	
	Professionnel	Public
Dose efficace	20 mSv par année, en moyenne, sur des périodes établies de 5 ans	1 mSv par année
Dose annuelle équivalente pour		
Cristallin de l'œil	150 mSv	15 mSv
Peau	500 mSv	50 mSv
Main et pieds	500 mSv	–

**Tableau 6 :** Doses limites recommandées par la CIPR

## ► Pourquoi les agents de contrôle ne sont-ils pas considérés comme des travailleurs sous irradiation?

À des fins réglementaires, les employés ne sont, en général, pas désignés comme « travailleurs sous irradiation » à moins qu'il n'existe la probabilité, pour eux, de recevoir une dose de rayonnement annuelle supérieure à 1 mSv (la limite de dose pour le public). Des études ont démontré que les activités professionnelles des opérateurs d'appareils de radioscopie des bagages les exposent à une dose de rayonnement bien en deçà de 1 mSv par année. C'est la raison pour laquelle ils ne sont pas désignés comme travailleurs sous irradiation.

## ► Pourquoi permet-on au travailleur sous irradiation de s'exposer à 20 fois plus de rayonnement qu'aux gens du public, y compris les agents de contrôle?

Lors de l'établissement des doses limites recommandées, la CIPR a pris en compte ce que la plupart des gens considéreraient comme étant un risque acceptable pour la santé. Les gens reconnaissent que toutes les professions comportent un certain nombre de risques pour la santé des employés et, en établissant des limites de dose, l'objectif est de limiter le risque des travailleurs sous irradiation à un niveau comparable à celui des travailleurs d'autres professions.

Le classement ou la désignation des travailleurs comme « travailleurs sous irradiation » sert aux fins de réglementation. Cette désignation exige que les employeurs décrivent les risques encourus aux personnes travaillant dans un milieu de rayonnement ionisant et que les travailleurs soient au courant de ce risque et qu'ils l'acceptent. Parce que ces travailleurs sont susceptibles de s'exposer à des niveaux de rayonnement plus élevés que les gens de la catégorie « public », les contrôles sur les pratiques de travail et les procédures de sécurité pour les travailleurs sous irradiation sont plus stricts, et ce, afin de s'assurer que la dose de rayonnement à laquelle ces travailleurs s'exposent est maintenue dans les limites réglementaires.

## ► Qu'arrive-t-il si j'atteins la limite annuelle de 1 mSv?

Dans le cas très improbable où vous atteindriez cette limite, votre employeur serait tenu de s'assurer que vous ne travaillez plus dans aucune zone qui augmenterait davantage votre dose annuelle. Une enquête serait instituée afin de déterminer ce qui a conduit au dépassement de la dose limite établie et de prendre des mesures correctives pour s'assurer qu'un tel événement ne se reproduise pas.

## ► Comment puis-je mesurer la quantité de rayonnement auquel j'ai été exposé?

Il existe deux façons de mesurer la quantité de rayonnement à laquelle une personne a été exposée. On peut faire une estimation des doses au moyen d'un appareil de contrôle de rayonnement. La dose spécifique qu'une personne a reçue peut se mesurer au moyen d'un dosimètre personnel.

## ► Qu'est-ce qu'un appareil de contrôle de rayonnement?

Un appareil de contrôle de rayonnement est un instrument capable de détecter le rayonnement ionisant tel que les rayons X. L'appareil est muni d'une « fenêtre » pour permettre au rayonnement d'entrer dans le détecteur; ou alors, il est relié à une sonde dotée d'une « fenêtre » par laquelle le rayonnement pénètre dans la sonde et est ainsi détecté; l'appareil enregistre alors le niveau de rayonnement mesuré. Les sondes viennent sous différentes formes et tailles. Le choix de la sonde dépend, entre autres facteurs, du type de rayonnement à mesurer et du niveau d'irradiation.

Un appareil de contrôle de rayonnement (*figure 17*) mesure généralement le débit d'irradiation en mR/h ou il donne une indication du débit d'irradiation en mSv/h. Souvenons-nous que 1 mR/h est approximativement équivalent à 0,01 mSv/h.



*Figure 17* : Exemple d'un appareil de contrôle de rayonnement type.

## ► Qu'est-ce qu'un dosimètre?

Un dosimètre est un petit instrument que vous pouvez épingler à vos vêtements et qui permet de mesurer la dose de rayonnement à laquelle vous êtes exposé quand vous travaillez. Il contient une matière spéciale qui réagit quand le rayonnement la frappe. Pour déterminer cette dose, il faut envoyer le dosimètre à un laboratoire autorisé qui lira le résultat à l'aide d'un appareil particulier conçu à cet effet.

Un dosimètre type est muni de filtres permettant de distinguer les différents types de rayonnement ionisant, comme le rayonnement bêta et le rayonnement X,

par exemple. En revanche, il ne peut distinguer les différentes sources de rayonnement; il ne peut pas dire si le rayonnement provient du fond naturel de rayonnement ou de l'appareil de radioscopie, par exemple. Cependant, lorsque nous utilisons un dosimètre, nous utilisons simultanément un dosimètre témoin que nous gardons à l'écart de la source professionnelle du rayonnement qui nous intéresse (en l'occurrence, les appareils de radioscopie des bagages) afin d'obtenir une mesure du fond naturel de rayonnement. Connaissant cette mesure, on peut alors déduire quelle est la dose provenant de la source professionnelle.

Un dosimètre ne permet pas de dire à une personne si elle a été exposée à plus de rayonnement une journée et moins le lendemain. Il enregistre simplement le total accumulé pour la période pendant laquelle on l'a porté, et un laboratoire autorisé lit le résultat.

### ► Devrais-je porter un dosimètre personnel?

Selon le *Code de sécurité 29* de Santé Canada, les études démontrent que la quantité de rayonnement que reçoit un opérateur d'appareil de radioscopie des bagages est négligeable. En conséquence, on a établi que le port d'un dosimètre n'est « ni requis, ni recommandé ».

### ► À titre d'opérateur d'appareil de radioscopie des bagages, quelles sont mes responsabilités à l'égard de ma sécurité et de celle d'autrui?

À titre d'opérateur, vous devez :

- suivre la formation sur le fonctionnement adéquat du système de radioscopie;
- démontrer que vous êtes capable d'opérer le système;
- lire et comprendre les lignes directrices sur la sécurité du rayonnement, les procédures adéquates d'opération et les sections 3.2 et 4.2 du *Code de sécurité 29*;
- cesser d'opérer le matériel dans l'éventualité d'une situation non sécuritaire ou en cas d'accident de rayonnement et aviser immédiatement l'autorité appropriée;
- assumer la responsabilité d'effectuer le travail de manière sécuritaire.

La liste ci-dessus n'est ni détaillée, ni exhaustive. Veuillez vous reporter à la section 3.2 du *Code de sécurité 29* pour de plus amples renseignements.

## ► Quelles sont les responsabilités de l'ACSTA à titre de propriétaire d'appareils de radioscopie à l'égard de la sécurité des agents de contrôle?

À titre de propriétaire d'appareils de radioscopie, l'ACSTA a la responsabilité ultime de l'opération sécuritaire des appareils. Voici quelques responsabilités du propriétaire détenteur des appareils de radioscopie :

- s'assurer que, avant d'utiliser le système d'inspection aux rayons X, les opérateurs et le personnel d'entretien ont reçu une formation sur l'opération adéquate des appareils de radioscopie ainsi que sur les risques qui lui sont associés;
- établir des lignes directrices sur la radioprotection et sur les procédures d'utilisation et de sécurité sur le lieu de travail;
- rendre accessible aux opérateurs et au personnel d'entretien le *Code de sécurité 29* aux fins de référence;
- s'assurer que tous les opérateurs et le personnel d'entretien ont bien lu et compris les lignes directrices sur la radioprotection, les procédures d'utilisation appropriées ainsi que les parties pertinentes du *Code de sécurité 29* avant d'utiliser le système de radioscopie;
- établir un programme d'entretien pour l'équipement;
- réagir de façon appropriée dans l'éventualité d'un accident de rayonnement ou d'une situation peu sûre ou à risque.

La liste ci-dessus n'est ni détaillée ni exhaustive. Veuillez vous reporter à la section 3.1 du *Code de sécurité 29* pour de plus amples renseignements.

## ► Quel est le rôle de Santé Canada à l'égard de ma sécurité et de celle des autres?

Les fonctions principales de l'organisme de réglementation (Santé Canada) sont les suivantes : élaborer des règlements, des normes et des lignes directrices; vérifier la conformité aux lois et aux normes de sécurité relatives à la radioprotection et les appliquer; et effectuer des contrôles de radioprotection des installations sous réglementation fédérale et des appareils de radioscopie eux-mêmes.

Si Santé Canada établit que les appareils sont défectueux ou que les pratiques d'utilisation ne sont pas sécuritaires, il a l'autorité d'ordonner l'arrêt immédiat des appareils non sûrs jusqu'à ce que les appareils ou la procédure d'utilisation respectent et garantissent de nouveau les exigences de sécurité.



## Lexique

Note : Veuillez vous reporter à la *figure 18*, à la fin du lexique, pour l'illustration des termes.

<b>Atome</b>	Constituant de base de toute matière. Tout ce qui est matériel dans notre monde est constitué d'atomes. Les tables, les chaises, le sol, le papier, nos corps sont tous constitués d'atomes. Les atomes ressemblent à notre système solaire; ils ont un centre très lourd (noyau) et des particules beaucoup plus petites (électrons) qui gravitent en orbite autour du centre. Les atomes sont minuscules. Il en faut des millions pour obtenir l'épaisseur d'un cheveu.
<b>Électron</b>	Infime particule chargée négativement et ayant une très petite masse. Dans un atome, il tourne en orbite autour du noyau, un peu comme les planètes tournent en orbite autour du soleil de notre système solaire.
<b>Irradiation aiguë</b>	Exposition à un rayonnement d'un niveau important, généralement causée par un accident ou un événement inhabituel sur une courte période de temps.
<b>Neutron</b>	Particule électriquement neutre se trouvant dans le noyau d'un atome. Il a approximativement la même masse qu'un proton.
<b>Noyau</b>	Centre massif d'un atome. Il est composé de particules plus petites appelées protons et neutrons.
<b>Onde électromagnétique</b>	La lumière visible en est constituée. La lumière visible est faite de la même « substance » que les ondes de radio, de micro-ondes, de rayonnement gamma et de rayons X, la seule chose qui les différencie étant la quantité d'énergie de chacune.
<b>Particule alpha</b>	Particule composée de deux protons et de deux neutrons. Sa masse atomique est de quatre et il est généralement émis à partir d'atomes lourds (dont le nombre atomique est supérieur à 82).

**Particule subatomique**

Particule qui fait partie d'un atome.

**Rayon X**

Rayonnement électromagnétique de grande énergie, semblable à un rayon gamma. Contrairement aux rayons gamma, les rayons X ne sont pas émis par le noyau d'un atome radioactif. Ils sont créés par la perte d'énergie d'électrons qui frappent violemment une cible. Le plus souvent, les rayons X sont créés dans des appareils conçus à cet effet.

**Rayonnement gamma**

Onde électromagnétique de grande énergie émise par le noyau d'un atome radioactif. Un rayon gamma n'a ni masse, ni charge. C'est de l'énergie pure.

**Unités de rayonnement**

Afin de mieux comprendre le rayonnement, ses effets physiques et sur la santé, plusieurs grandeurs sont utilisées, et à chacune correspond une unité de mesure. Le tableau ci-dessous résume les grandeurs et les unités.

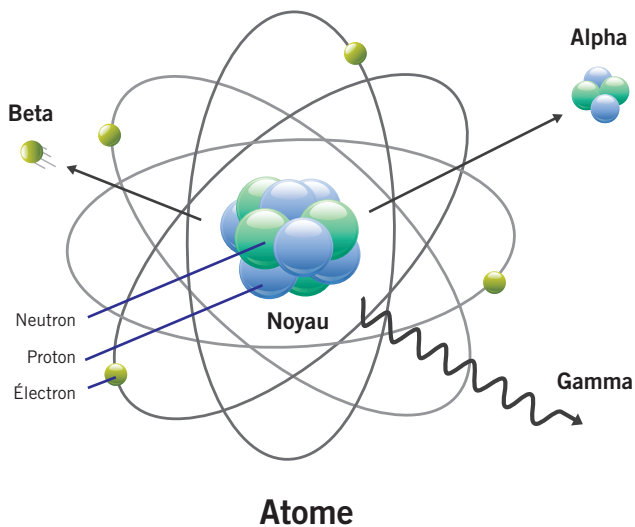
<b>Grandeur de rayonnement</b>	<b>Unité associée</b>	<b>Abréviation</b>
Dose absorbée	milligray	mGy
Dose équivalente	millisievert	mSv
Dose efficace	millisievert	mSv
Exposition	milliroentgen	mR
Débit d'exposition	Milliroentgen par heure	mR/h

**Tableau 7 :** Résumé des grandeurs et des unités de rayonnement

Lorsqu'on traite des doses de rayonnement causées par les rayons X, le mGy et le mSv sont des unités équivalentes.

Les unités que vous rencontrerez probablement le plus souvent sont le mSv et le mR. Le mSv est utilisé pour mesurer la dose de rayonnement reçue par une personne. On la trouve dans la réglementation en rapport avec la limite de dose de rayonnement. Le mR est utilisé lorsqu'on mesure le rayonnement provenant d'un appareil de radioscopie. Un mR est équivalent à une dose de rayonnement de 0,01 mSv. Il

est fort probable qu'on mesurera le débit de dose et qu'on le donnera en mR/h, indiquant la grandeur de rayonnement sortant de l'appareil chaque heure. Un mR/h est équivalent à 0,01 mSv/h.



**Figure 18** : Diagramme atomique pour illustrer la terminologie du lexique.

## Références

**Burnham, J. U.**, *Radiation Protection*, rev. 4. New Brunswick, Point Lepreau Generating Station, New Brunswick Power Corporation, 2001.

**Cember, H.**, *Introduction to Health Physics*, 2<sup>e</sup> éd., Pergamon Press, Toronto, 1989.

**Commission de contrôle de l'énergie atomique** (maintenant la Commission canadienne de sûreté nucléaire), *Canada : Vivre avec le rayonnement*, Groupe Communication Canada, Division de l'édition, 1995.

**Commission internationale de protection radiologique**, *Radiation Protection*, publication no 60 de la CIPR, Pergamon Press, 1990.

**Health Physics Society** [disponible en ligne]  
<http://hps.org/>, consulté le 8 janvier 2007.

*Maharaj, Harri*. Entrevue personnelle, novembre 2006.

**Santé Canada**, *Dispositifs à rayons X pour l'inspection des bagages - précautions à prendre - Code de sécurité 29*, 1993.

**Santé Canada**, *Rapport de 2005 sur les radioexpositions professionnelles au Canada*, 2006.

**Shleien, B., L. A. Slaback Jr et B. K. Birky**, *Handbook of Health Physics and Radiological Health*, 3<sup>e</sup> éd., Baltimore, Williams and Wilkins, 1998.

## Autres lectures

**Administration canadienne de la sûreté du transport aérien.** « Sécurité en matière de radioscopie - Conseils pour assurer le fonctionnement sécuritaire de l'équipement radioscopique » [disponible en ligne].

[http://www.catsa-acsta.gc.ca/so-ac/francais/tips\\_conseils/xray\\_radioscopie.htm](http://www.catsa-acsta.gc.ca/so-ac/francais/tips_conseils/xray_radioscopie.htm), consulté le 8 janvier 2007.

**Health Physics Society.** « Security Screening » [disponible en ligne].

<http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/securityscreening.html>, consulté le 8 janvier 2007.

**National Institute for Occupational Safety and Health.** « X-Ray Exposures from Airport Screening Machines. » [disponible en ligne]

<http://O-www.cdc.gov.mil1.sjlibrary.org/niosh/topics/airportscreener/default.html>, 8 janvier 2007.

**University of Colorado at Boulder.** « Physics 2000 » [disponible en ligne]

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>, consulté le 8 janvier 2007.

**Uranium Information Centre.** « Radiation and Life » [disponible en ligne].

<http://www.uic.com.au/ral.htm>, consulté le 8 janvier 2007.

**U.S. Environmental Protection Agency.** « Understanding Radiation. »

[disponible en ligne]. <http://www.epa.gov/radiation/understand/index.html>, consulté le 8 janvier 2007.

