

Demande de compléments à la réponse de la CCSN**Relative à la question 7 du BAPE (document QUES7)****Question:****Les classes de radioactivité**

Nous avons demandé à la CCSN de partitionner l'échelle de radioactivité pour distinguer les niveaux de « très faible », « faible », « moyenne » et « haute » activités. Nous nous inspirions en cela d'une classification en usage en France. Votre réponse traite principalement des règles de classification et de gestion des déchets radioactifs au Canada (p. 1 à 6 du document QUES7.1).

Nous comprenons de cette réponse qu'il ne vous est pas possible de partitionner l'échelle numérique en quatre classes de radioactivité tel que nous vous l'avions demandé parce que le système en usage au Canada doit aussi tenir compte d'autres paramètres, notamment de la demi-vie des radionucléides présents.

- Pourriez-vous nous confirmer que nous interprétons correctement cette partie de la réponse relative aux classes de radioactivités. Sinon, veuillez rectifier.

Réponse de la CCSN:

Oui, votre interprétation est correcte. Le système canadien de classification des déchets radioactifs ne dépend pas d'un seul paramètre, comme le champ de rayons gamma. De nombreux paramètres peuvent être utilisés pour classer les déchets radioactifs. Chaque titulaire de permis a la responsabilité de mettre en place son propre système de classification des déchets qui tient compte de leur inventaire. Ce système est vérifié par la CCSN avant qu'une autorisation soit donnée.

Selon la norme N292.0-14 de la CSA, *General principles for the management of radioactive waste and irradiated fuel*, le système de classification des déchets radioactifs au Canada reconnaît quatre principales catégories de déchets radioactifs : a) déchets radioactifs de faible activité (DRFA); b) déchets radioactifs de moyenne activité (DRMA); c) déchets radioactifs de haute activité (DRHA) et d) résidus des mines et usines de concentration d'uranium.

Les paramètres suivants peuvent servir à classer les déchets radioactifs : a) demi-vie des radionucléides; b) production de chaleur; c) intensité du rayonnement pénétrant; d) activité volumique des radionucléides; e) facteurs de dose pour les radionucléides pertinents et f) produits de désintégration [1].

Les DRFA contiennent des matières dont la teneur en radionucléides est supérieure aux seuils de libération et aux quantités d'exemption établies, mais qui renferment généralement une quantité limitée de radionucléides de longue durée. En moyenne, il est possible de prendre en

considération dans le processus de classification des déchets une limite de 400 Bq/g (et jusqu'à 4 000 Bq/g pour les colis individuels) pour les radionucléides émettant des particules alpha de longue durée. En ce qui concerne les radionucléides émettant des particules bêta et/ou des rayons gamma de longue durée, les activités volumiques moyennes autorisées peuvent être beaucoup plus élevées (jusqu'à des dizaines de kBq/g) et peuvent être propres à un site et à une installation d'évacuation. Les principaux critères pour classer les DRFA comme étant des DRFA de très courte durée est la demi-vie des radionucléides prédominants. De manière générale, la gestion des déchets radioactifs de très courte durée devrait seulement s'appliquer aux radionucléides présentant une demi-vie de 100 jours ou moins. [1]

Les DRMA émettent typiquement des rayonnements pénétrants suffisamment intenses pour nécessiter un blindage pendant leur manutention et leur stockage provisoire. Il est impossible de fournir une limite précise pour séparer les DRFA des DRMA, car les limites pour le niveau acceptable de l'activité volumique différeront entre les radionucléides individuels et les groupes de radionucléides. Cependant un débit de dose au contact de 2 mSv/h et une puissance thermique inférieure à 2 kW/m³ peuvent être utilisés dans certains cas pour établir une distinction entre les DRFA et les DRMA. [1]

Les DRHA sont le combustible nucléaire usé qui a été déclaré comme déchet radioactif et/ou des déchets qui produisent une chaleur importante (habituellement plus de 2 kW/m³) via la désintégration radioactive. Les DRHA présentent habituellement des niveaux d'activité volumique de l'ordre de 10⁴ à 10⁶ TBq/m³. [1]

Ontario Power Generation (OPG) classe ses déchets radioactifs selon les catégories suivantes : DRFA, DRMA et DRHA. Les DRFA sont tous les déchets radioactifs ayant un débit de dose inférieur à 10 mSv/h à une distance de 30 cm des déchets. Les DRMA sont tous les déchets radioactifs ayant un débit de dose supérieur ou égal à 10 mSv/h; tous les déchets émettant des particules alpha qui ne sont pas des déchets de combustible usé, les DRFA ou les déchets de cobalt usé à haute puissance thermique; ou tous les filtres et les colonnes d'échange d'ions ayant des radionucléides à longue demi-vie ainsi que les composants du cœur du réacteur et les résines échangeuses d'ions en vrac. [2] Enfin, les DRHA sont tous les déchets de combustible usé. Ce système de classification a été examiné et approuvé par le personnel de la CCSN.

Note: 1 kBq = 1,000 Bq; 1 TBq = 1 X 10¹² Bq

Référence :

[1] Norme de la CSA, N292.0-14, General principles for the management of radioactive waste and irradiated fuel, mai 2014.

[2] Document d'OPG, W-SR-01320-00001 R003, Western Waste Management Facility Safety Report, octobre 2012.

Question:

L'activité radiologique des diverses substances

En réponse au volet 7B de notre demande, la CCSN a fourni des valeurs d'activité massique pour une partie des éléments de la liste que nous avons fournie.

Les produits de conversion de l'uranium :

La réponse de CCSN ne fournit pas d'information sur l'activité des produits de conversion UO_2 et UF_6 .

- Pouvons-nous considérer que l'activité massique de ces produits est similaire à celle d'une grappe de combustible neuve, soit d'environ 22 000 Bq/g ? Sinon, quelle est-elle ?

Réponse de la CCSN:

L'uranium naturel que l'on trouve dans la croûte terrestre est un mélange de trois isotopes: l'uranium 238 (U-238), ce qui représente 99,275%; U-235 - 0,720%; et des traces de U-234 à 0,005%.

L'uranium 238 a une radioactivité spécifique de 12,35 kBq/g (kBq = 1000 Becquerels), et U-235 de 80 kBq/g. L'U-234 est en équilibre séculaire avec l'U-238 de sorte que pour chaque Becquerel provenant de U-238 il y en a un qui provient de U-234. La radioactivité spécifique de l'uranium naturel est donc environ le double de celle de l'U-238 soit environ 25 kBq/g

On peut estimer grossièrement les activités massiques de l' UO_2 et de l' UF_6 par le rapport de masse l'uranium dans ces composés.

Pour UO_2 : $238/(238 + 16 \times 2) = 0,88$

$$25\ 000\ \text{Bq/g} \times 0,88 = \text{environ } 22\ 037\ \text{Bq/g}$$

Pour UF_6 : $238/(238 + 19 \times 6) = 0,676$

$$25\ 000\ \text{Bq/g} \times 0,676 = \text{environ } 16\ 900\ \text{Bq/g}$$

Puisqu'il n'y a pas de processus d'enrichissement, l'activité spécifique de l' UO_2 et de l' UF_6 demeure identique à celle de l'uranium naturel.

Après la séparation des produits de filiation d'uranium dans les usines de concentrations d'uranium, les produits de filiation de courte période du Th-234 et du Pa-234m vont croître au cours des prochains mois. Ceux-ci se rajouteront aux activités. À l'état d'équilibre, la somme des activités sera donc :

UO₂: 43,900 Bq/g, ce qui équivaut à un résultat allant de 22,200 à 43,900 Bq/g

UF₆: 33,700 Bq/g, ce qui équivaut à un résultat allant de 17,000 à 33,700 Bq/g

À noter : Que l'uranium naturel UO₂ se retrouve sous la forme de poudre ou de pastilles scintillantes dans les faisceaux de combustible, l'activité d'1 gramme d'UO₂ demeure la même.

Question:

Le combustible usagé :

La réponse de la CCSN indique que « l'activité du combustible CANDU à la sortie du réacteur [...] est disponible dans le tableau ». Or, dans le tableau intitulé « Radioactivity in Uranium », la case correspondant au descriptif « Fuel Bundles – Spent » est vide. Par ailleurs, à la page 5 de la réponse, il est précisé que les grappes de combustibles irradiées « présentent habituellement des niveaux d'activité volumique de l'ordre de 104 à 106 TBq/m³ ».

- Compléter cette réponse en indiquant l'activité massique du combustible CANDU à la sortie du réacteur (en Bq/g) et préciser le facteur qui permettrait de convertir l'activité volumique d'une grappe de combustible en activité massique. La CCSN ajoute : « Nous n'avons pas fourni d'information sur le combustible à l'uranium enrichi [...] puisque que ces combustibles ne sont pas utilisés dans les réacteurs CANDU ». Or, une part importante de l'uranium extrait au Canada est destinée à la production de combustible à l'uranium enrichi. De plus, la CCSN régleme et autorise non seulement des réacteurs CANDU mais également des réacteurs de recherche qui utilisent du combustible à l'uranium enrichi. Il semble donc vraisemblable que la CCSN soit au fait du niveau d'activité d'autres types de combustible que ceux des réacteurs CANDU.
- Préciser d'abord si l'activité massique de combustibles à l'uranium enrichi à la sortie d'un réacteur diffère significativement de celle du combustible CANDU.
- Si c'est le cas, compléter la réponse en fournissant des valeurs caractéristiques de l'activité massique de combustibles à l'uranium enrichi.

Réponse de la CCSN:

Le personnel de la CCSN aimerait apporter une correction à l'information précédemment soumise. Les déchets radioactifs de haute activité (DRHA) ont habituellement des niveaux d'activité volumique de l'ordre de 104 à 106 TBq/m³ [1]. Dans la réponse de la CCSN, il était indiqué « 104 à 106 TBq/m³ », ce qui est incorrect. Cette erreur typographique doit être corrigée.

L'activité volumique du combustible d'uranium enrichi usé diffère de celle du combustible usé CANDU. Tel que mentionné précédemment, les DRHA (combustible CANDU usé) ont généralement une activité volumique de l'ordre de 10^4 à 10^6 TBq/m³. En comparant l'activité volumique du combustible d'uranium enrichi usé à celle du combustible usé CANDU, on constate que l'activité volumique du combustible d'uranium enrichi usé serait de 3 à 6 fois plus élevée. Par conséquent, pour le combustible d'uranium enrichi usé, l'activité volumique se situerait de manière générale dans la plage de 3×10^4 à 6×10^6 TBq/m³, puisqu'il existe de nombreux types de combustible enrichi, une plage d'activités volumiques peut être fournie, plutôt qu'une valeur précise.

Pour convertir l'activité volumique de Bq/g en Bq/m³, il faut d'abord multiplier la valeur par 1 000 (g/kg) pour la convertir en Bq/kg, et ensuite multiplier cette valeur par 11 (kg/m³) pour la convertir en Bq/m³.

Référence:

- [1] Norme de la CSA, N292.0-14, General principles for the management of radioactive waste and irradiated fuel, mai 2014.

Question:

La radioactivité d'autres résidus miniers et métallurgiques :

À ce sujet la CCSN répond ne pas avoir d'information « *puisque ce ne sont pas des activités réglementées par la CCSN* ». En effet, dans sa réponse à la question 8 (document déposé QUES7.2), la CCSN explique qu'elle « *n'a pas le mandat ni l'autorité de réglementer les substances radioactives pouvant se trouver dans les minerais, les stériles, les résidus ou les scories de mines autres que celles d'uranium* ».

La commission s'est intéressée à ces substances notamment parce que les auteurs du rapport DIVEX₁ les ont incluses dans leur « *Inventaire des ressources minérales en uranium du Québec* » (Tableau 5.2, p. 68 du document déposé PR3). Cet inventaire présente les teneurs en uranium respectives de ces différents résidus miniers et métallurgiques mais pas leur activité massique. La question qui suit fait appel à l'expertise de la CCSN plutôt qu'à sa juridiction.

- À votre avis, sur la base de la teneur en uranium de ces résidus est-il possible d'estimer ou d'approximer leur activité massique ? Si oui expliquer la méthode de calcul qui s'applique.

Réponse de la CCSN: Le tableau ci-contre présente l'information demandé.

Gisements comportant de l'uranium comme coproduit potentiel	Masse de l'échantillon en g	% U	U Total (g)	Activité de l'U (12.35 KBq/g)	Produits de désintégration (U238)	Activité des produits de désintégration secondaires kBq/g	Produits de désintégration secondaires (U235)	Activité (KBq/g)	Activité (Bq/g)
Kwyjibo	1	0.11	0.0011	12.35	14	0.569	11	0.207	197.07
Ashram (Eldor) / Erlandson No.1	1	36.52	0.3652	12.35	14	0.569	11	65.43	65428.87
Manoka (Oka)	1	0.01	0.0001	12.35	14	0.569	11	0.02	17.92
Strange Lake Main Zone (Lac Brisson)	1	2.5	0.025	12.35	14	0.569	11	4.48	4478.98
Harvey Hill Cu Mine	1	0.01	0.0001	12.35	14	0.569	11	0.02	17.92
Kipawa (Zeus, Lac Sheffield-2)	1	0.32	0.0032	12.35	14	0.569	11	0.571	573.31
Montviel	1	4.14	0.0414	12.35	14	0.569	11	7.4218	7417.18
Strange Lake B Zone	1	7.82	0.0782	12.35	14	0.569	11	14.01	14010.23
Misery Lake	1	3.18	0.0318	12.35	14	0.569	11	5.7026	5697.26
Crevier	1	0.51	0.0051	12.35	14	0.569	11	0.911	913.71
Oka, (Zone Bond, Wayfair)	1	0.13	0.0013	12.35	14	0.569	11	0.231	232.91
St-André-2	1	0.13	0.0013	12.35	14	0.569	11	0.231	232.91
St-Lawrence Columbium Mine (SLC)	1	0.09	0.0009	12.35	14	0.569	11	0.164	161.24
Niobec, Nb Mine	1	3.79	0.0379	12.35	14	0.569	11	6.7913	6790.13
Lac à Paul	1	1.12	0.0112	12.35	14	0.569	11	2.0158	2006.58
Niobec REE projet	1	0.47	0.0047	12.35	14	0.569	11	0.845	842.05
Grande-Vallée	1	0.89	0.0089	12.35	14	0.569	11	1.5952	1594.52

Résidus miniers et métallurgiques	Masse de l'échantillon en g	% U	U Total (g)	Activité de l'U (12.35 KBq/g)	Produits de désintégration (U238)	Activité des produits de désintégration secondaires kBq/g	Produits de désintégration secondaires (U235)	Activité (KBq/g)	Activité (Bq/g)
Mine SLC, scories	1	0.02	0.0002	12.35	14	0.569	11	0.04	35.83
Mine Niobec, scories	1	0.05	0.0005	12.35	14	0.569	11	0.09	89.58
Phosphogypses, Varennes	1	0.19	0.0019	12.35	14	0.569	11	0.34	340.40
Harvey Hill, résidus	1	0.01	0.0001	12.35	14	0.569	11	0.02	17.92
Boues Rouges, Jonquière	1	0.48	0.0048	12.35	14	0.569	11	0.86	859.96
Mine SLC, résidus	1	0.05	0.0005	12.35	14	0.569	11	0.09	89.58

L'activité exprimée en Bq/g dans le tableau a été calculée de la façon suivante:

La chaîne de désintégration de l'uranium 238 comprend 14 éléments, la chaîne se termine au Plomb 210. La chaîne de l'uranium 235 comprend 11 éléments et s'achève sur le plomb 207, élément stable. Parmi les radioéléments présents dans le minerai, deux sont sous forme gazeuse : le radon 222 pour la chaîne de l'U₂₃₈, le radon 219 pour la chaîne de l'U₂₃₅, Enfin les minerais d'uranium renferment également du thorium 232, qui génère lui aussi une chaîne de désintégration radioactive (à laquelle appartient en particulier le radium 228 et le radon 220).

Dans la nature, l'uranium naturel est présent avec tous les descendants de chacune de ses chaînes. La période de demi-vie des éléments situés en tête de chaîne étant très longue (4,5 milliards d'années pour l'U₂₃₈, 700 millions d'années pour l'U₂₃₅), il s'établit au fil du temps un « équilibre radioactif », situation où, pour chaque radioélément de la chaîne, il se crée autant d'atomes par la désintégration du radioélément précédent qu'il n'en est détruit par la désintégration qui donne naissance au radioélément suivant. Dans ces conditions les activités de tous les éléments d'une même chaîne sont égales :

- l'activité d'un radionucléide de la chaîne de l'U₂₃₈ est égale à 12 347 Bq.g⁻¹ ;
- l'activité d'un radionucléide de la chaîne de l'U₂₃₅ est égale à 569 Bq.g⁻¹ ;

La chaîne de l'U₂₃₈ comprenant 14 radionucléides et la chaîne de l'U₂₃₅ comprenant 11 radionucléides, l'activité totale de l'uranium dans la nature est égale à 14 x 12347 + 11 x 569, soit 179 107 Bq par gramme d'uranium contenu. On peut ainsi à partir de simples multiplications dresser un tableau permettant de visualiser rapidement l'activité de quelques matériaux en fonction de leur teneur en uranium. En tenant compte que dans les résidus, il ne subsiste plus que

les radionucléides non extraits par le traitement (Réf : Claude BIRRAUX, Rapport de l'OPECST n° 278 (1995-1996), 19 mars 1996). Voici les autres facteurs dont nous avons tenu compte:

Dans 1 g de matériau contenant 1% U₃O₈ on a :

$$(1\text{g} \times 1\%) / (100 \times 0,848) = 0,00848 \text{ g d'uranium.}$$

Masse atomique de l'uranium : 238

Masse atomique de l'oxygène : 16

Fraction ou pourcentage de l'uranium dans U₃O₈ : $(238 \times 3) / (238 \times 3 + 16 \times 8) = 0.848$
ou 84.8 %

Dans le cas où la teneur est mentionnée en pourcentage d'uranium (uranium métal), on utilise **0,01 gramme**.

Prenons l'activité de l'uranium à 12 350 Bq/g. En considérant un équilibre séculaire, l'activité des 14 produits de désintégration sera aussi de 12 350 Bq/g.

$$0,01 \text{ g} \times 12\,350 \text{ Bq/g} \times 14 = 1\,729 \text{ Bq}$$

En prenant compte de 11 autres produits de désintégration à 569 Bq/g, on ajoute;

$$0,01\text{g} \times 569 \text{ Bq/g} \times 11 = 62,6 \text{ Bq}$$

L'estimation totale est donc de

$$1\,729 \text{ Bq} + 62,6 \text{ Bq} = 1\,791,6 \text{ Bq/g pour un matériau contenant 1\% U}$$

Question:

La figure transmise au BAPE

En réponse à la question 7, la CCSN a fourni à la commission une figure intitulée : « *Radioactivité de l'uranium (Bq/g)* ».

Cette figure répond partiellement au besoin de la commission. Elle présente deux inconvénients. D'une part l'échelle numérique plafonne à 25 000 Bq/g, ce qui ne permet pas d'y illustrer le niveau d'activité de combustibles usagés. D'autre part, l'échelle numérique utilisée n'est pas homogène : entre 5 000 à 25 000 Bq/g, elle semble linéaire tandis qu'en dessous de 1 000 Bq/g, elle tend à devenir logarithmique.

- La commission souhaite obtenir une version améliorée de cette figure. L'échelle numérique représentée devrait être entièrement logarithmique et s'étendre jusqu'à un niveau d'activité suffisant pour y situer des combustibles irradiés. De plus, la résolution graphique de l'image devrait être suffisamment haute pour pouvoir en faire une affiche murale et être bien lisible sur un grand écran. Au besoin, pour régler des aspects techniques de cette demande, vous pouvez prendre contact avec un analyste de la commission.

Réponse de la CCSN:

La figure révisée est en pièce jointe au courriel. Veuillez prendre note que nous vous transmettons également une figure donnant des exemples de dose de rayonnement pour diverses activités anthropogéniques ainsi que du rayonnement annuel au Canada.

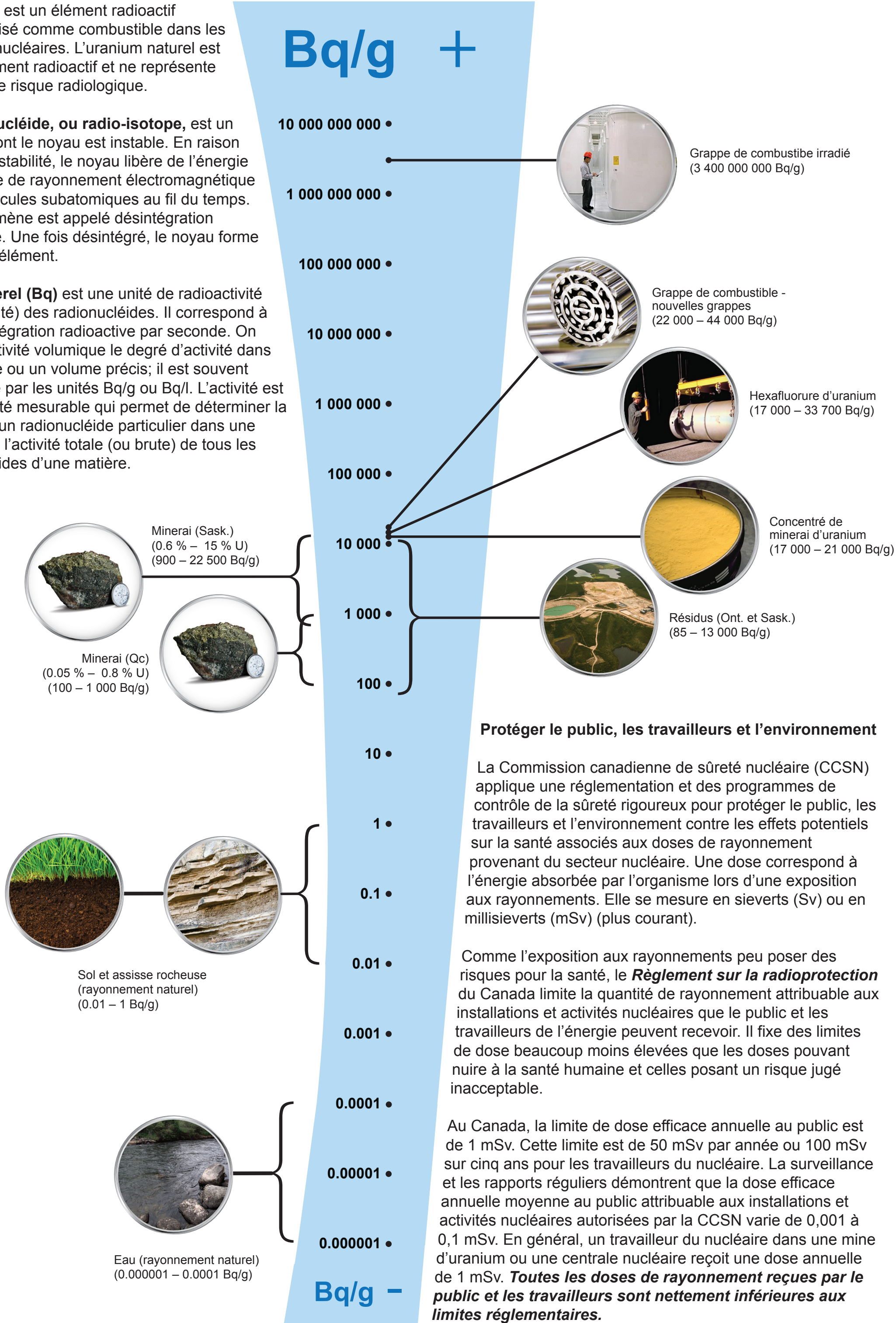
L'information présentée dans la figure « Teneur en uranium (Bq/g) » ne permet pas de mettre le risque relatif en perspective et pourrait donner l'impression que le risque pour l'environnement et la santé augmente avec le nombre de Becquerels. Le cadre réglementaire de la CCSN fait en sorte que ce matériel n'est pas accessible au public et que les doses au public des activités minières, de conversion, de fabrication de combustibles et de gestion de déchets (tous niveaux d'activités confondus) sont faibles et bien en deçà de la limite réglementaire de 1 mSv par année et bien en deçà le dose annuelle provenant du rayonnement naturel (~1.8 mSv par année). Nous souhaitons que lorsque le BAPE utilisera la figure sur la teneur en uranium que la figure sur les doses de rayonnement soit utilisée simultanément.

Teneur en uranium (Bq/g)

L'**uranium** est un élément radioactif naturel utilisé comme combustible dans les centrales nucléaires. L'uranium naturel est très faiblement radioactif et ne représente qu'un faible risque radiologique.

Le **radionucléide, ou radio-isotope**, est un élément dont le noyau est instable. En raison de cette instabilité, le noyau libère de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique ou de particules subatomiques au fil du temps. Ce phénomène est appelé désintégration radioactive. Une fois désintégré, le noyau forme un nouvel élément.

Le **becquerel (Bq)** est une unité de radioactivité (ou d'activité) des radionucléides. Il correspond à une désintégration radioactive par seconde. On appelle activité volumique le degré d'activité dans une masse ou un volume précis; il est souvent représenté par les unités Bq/g ou Bq/l. L'activité est une quantité mesurable qui permet de déterminer la quantité d'un radionucléide particulier dans une matière ou l'activité totale (ou brute) de tous les radionucléides d'une matière.



Protéger le public, les travailleurs et l'environnement

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) applique une réglementation et des programmes de contrôle de la sûreté rigoureux pour protéger le public, les travailleurs et l'environnement contre les effets potentiels sur la santé associés aux doses de rayonnement provenant du secteur nucléaire. Une dose correspond à l'énergie absorbée par l'organisme lors d'une exposition aux rayonnements. Elle se mesure en sieverts (Sv) ou en millisieverts (mSv) (plus courant).

Comme l'exposition aux rayonnements peu poser des risques pour la santé, le **Règlement sur la radioprotection** du Canada limite la quantité de rayonnement attribuable aux installations et activités nucléaires que le public et les travailleurs de l'énergie peuvent recevoir. Il fixe des limites de dose beaucoup moins élevées que les doses pouvant nuire à la santé humaine et celles posant un risque jugé inacceptable.

Au Canada, la limite de dose efficace annuelle au public est de 1 mSv. Cette limite est de 50 mSv par année ou 100 mSv sur cinq ans pour les travailleurs du nucléaire. La surveillance et les rapports réguliers démontrent que la dose efficace annuelle moyenne au public attribuable aux installations et activités nucléaires autorisées par la CCSN varie de 0,001 à 0,1 mSv. En général, un travailleur du nucléaire dans une mine d'uranium ou une centrale nucléaire reçoit une dose annuelle de 1 mSv. **Toutes les doses de rayonnement reçues par le public et les travailleurs sont nettement inférieures aux limites réglementaires.**

Exemples de doses de rayonnement

