

DÉFINITION DE « MATIÈRE RADIOACTIVE » DU RÈGLEMENT SUR LES MATIÈRES DANGEREUSES

La présente fiche a pour objectif de fournir des exemples concrets où la définition de « matière radioactive » du *Règlement sur les matières dangereuses* (RMD) peut s'appliquer et, le cas échéant, d'expliquer comment évaluer cette propriété par des exemples de calculs.

1. Champ d'application

La radioactivité naturelle est causée principalement par l'uranium-238, le thorium-232 et leurs produits de désintégration. Dans une moindre mesure, l'uranium-235, ses produits de désintégration et le potassium-40 contribuent aussi à la radioactivité naturelle. Les concentrations des radionucléides dans une matière résiduelle sont normalement équivalentes à ce que l'on retrouve dans la nature, mais les radionucléides (radio-isotope, radioéléments) peuvent aussi s'y concentrer à cause du procédé générateur¹.

De façon générale, la gestion des matières qui contiennent des radionucléides naturels qui ne sont pas utilisés pour leurs propriétés radioactives est de compétence provinciale. Voici quelques exemples de telles matières : tarte accumulé dans des équipements de l'industrie du pétrole, briques réfractaires, résidus du traitement d'eau souterraine saumâtre, phosphogypse généré lors de la production d'acide phosphorique à partir de roche phosphatée.

L'article 7 du *Règlement [provincial] sur les matières dangereuses* (RMD)² exclut de l'application des chapitres III à VIII de ce règlement les matières radioactives régies par la *Loi [fédérale] sur la sûreté et la réglementation nucléaires*³. Cela comprend notamment les chapitres IV et V du RMD qui portent respectivement sur l'entreposage et le dépôt définitif des matières dangereuses résiduelles. La gestion des matières qui sont développées, produites ou utilisées pour leurs propriétés radioactives et la gestion de leurs contenants sont encadrées par le gouvernement fédéral.

Par exemple, les radionucléides servant à des fins médicales, les matières radioactives utilisées dans des centrales de production d'électricité, les matériaux de démantèlement de ces centrales, les enseignes et cadrans radioluminescents sont des matières dont la gestion est encadrée par le gouvernement fédéral par l'entremise de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN).

Selon l'article 7 du RMD, les chapitres I et II du RMD demeurent applicables aux matières radioactives dont la gestion est encadrée par la CCSN autant qu'à celles dont la gestion est encadrée par la législation québécoise. Les chapitres I et II du RMD contiennent par exemple, la définition de « matière radioactive » (article 3) et l'interdiction de rejeter une matière dangereuse dans l'environnement (article 8). Ainsi, le rejet dans l'environnement d'une matière qui correspond à la définition de « matière radioactive » selon l'article 3 du RMD sera visé par l'article 8 de ce règlement, même si cette matière est régie par la *Loi fédérale sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.

2. Matières qui ne constituent pas des matières dangereuses au sens du RMD

Les matières suivantes sont susceptibles de contenir des matières radioactives. Elles sont toutefois exclues de l'application du RMD selon l'article 2 de ce règlement.

- Les sols contaminés (article 2, paragraphe 1° du RMD);

1. De l'information supplémentaire est disponible à l'adresse suivante, il est recommandé de lire ce document :

<http://www.suretenucleaire.gc.ca/fra/resources/factsheets/naturally-occurring-radioactive-material.cfm>.

2. Le RMD est disponible à cette adresse : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2.%20r.%2032>.

3. <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/n-28.3/index.html>.

- Les matériaux résiduels de travaux de construction, de démantèlement ou de rénovation d'un immeuble ou d'une infrastructure (article 2, paragraphe 2° du RMD). Cela comprend le ciment, le béton, le gypse, les panneaux acoustiques, la laine de roche, l'ardoise, la céramique et la brique. Cela n'inclut pas la brique ou la céramique réfractaire car elles proviennent d'un équipement, pas d'un immeuble;
- La ferraille et autres objets de métal (article 2, paragraphe 3° du RMD). Cela comprend, par exemple, les alliages de thorium utilisés dans des pièces de moteur d'avion ou dans des électrodes à souder. Cependant, les résidus de sablage au jet de ferraille ou d'objets de métal ne sont pas exclus de l'application du RMD;
- Les résidus miniers (article 2, paragraphe 10° du RMD);
- Les matières radioactives pour lesquelles un permis de possession, de vente, d'importation ou d'utilisation a été délivré par la CCSN, et qui respectent les limites fixées par le permis quant à leur rejet ou dépôt dans un lieu d'enfouissement technique, un lieu d'incinération ou dans un égout (article 2, paragraphe 13° du RMD). Contactez la CCSN pour plus de détails <https://www.cnsccsn.gc.ca/fra/contact-us/index.cfm>;
- Les détecteurs de fumée (article 2, paragraphe 20° du RMD).

Les matières visées par l'article 2 ne constituent pas des matières dangereuses et sont exclues du RMD à moins, dans le cas des matières visées par les paragraphes 2° et 3°, qu'elles soient assimilées à des matières dangereuses.

3. Les matières assimilées à des matières dangereuses

Une matière assimilée à une matière dangereuse est une matière dangereuse au sens de l'article 1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE)⁴.

Les matières assimilées à une matière dangereuse selon l'article 4, paragraphe 8° du RMD, comprennent des matériaux de démantèlement, de la ferraille ou des objets de métal contaminés en surface par une matière radioactive au sens de l'article 3 du RMD (une poussière par exemple).

4. La LQE est disponible à cette adresse : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/Q-2>.

Les récipients (sacs, barils, réservoirs) vides contaminés par une matière dangereuse radioactive, mais non toxique (article 3 du RMD), peuvent également être assimilés à des matières dangereuses selon les conditions décrites dans l'article 4, paragraphe 3° b) ou c) du RMD. Par exemple, un baril vide de 220 litres avec un dépôt de plus de 2,5 cm d'une matière radioactive ou contenant cette matière à plus de 3 % (v/v) du baril est assimilé à une matière dangereuse.

4. Définition de matière radioactive

La définition de « matière radioactive » en application de l'article 3 du RMD est identique à celle d'une « quantité réglementaire » dans la *Loi [fédérale] sur le contrôle de l'énergie atomique*, qui a été remplacée par la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.

L'article 3 du RMD ne s'applique pas aux matières visées par l'article 2 de ce règlement (voir la section 2 de la présente fiche), c'est-à-dire celles qui ne constituent pas des matières dangereuses.

En résumé, une « matière radioactive » est celle pour laquelle le résultat « S » de l'équation suivante est supérieur à 1 :

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \frac{C_n}{A_n}$$

« C₁, C₂, C₃, ... C_n » représente l'activité de cette matière pour chaque radionucléide « n » qu'elle contient, exprimée en kBq/kg ou kBq/L.

« A₁, A₂, A₃, ... A_n » représente l'activité (massique ou volumique) maximale mentionnée dans l'annexe 1 du RMD pour chacun des radionucléides « n ». Les activités maximales des radionucléides qui ne sont pas nommés dans l'annexe 1 sont déterminées de la façon expliquée à la fin de cette annexe. Ces activités maximales correspondent aux valeurs arrondies des « quantités réglementaires » de la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*.

Lorsque la matière ne contient qu'un seul radionucléide, la norme à respecter correspond directement à la valeur de « A ».

Si la matière contient plus d'un radionucléide, le respect de la norme est vérifié en calculant la valeur de « S ».

5. Comment vérifier si une matière correspond à la définition de « matière radioactive » de l'article 3 du RMD?

Pour une meilleure compréhension du reste de la fiche, il est recommandé de prendre d'abord connaissance des informations suivantes :

- La section 1 et le tableau 1.1 des « [Lignes directrices canadiennes pour la gestion des matières radioactives naturelles](#) ».
- Les sections 1 et 2 du document [Radionucléides recommandés pour l'analyse de la radioactivité dans les matrices environnementales](#).

5.1 Évaluer la radioactivité naturelle en application du RMD

Les appareils portatifs utilisés sur le terrain comptent le nombre de désintégrations radioactives par unité de temps (exemple: coups par seconde, cps, mesurés par un compteur Geiger-Muller) ou mesurent un débit de dose à laquelle les gens peuvent être exposés (exemple : sieverts par heure, Sv/h, mesurés par un radiamètre). Certains de ces appareils peuvent également reconnaître les radionucléides présents. Lors d'une évaluation préliminaire, ils permettent de détecter la présence de radioactivité et de cibler les endroits où elle est relativement plus élevée. Cependant, les mesures obtenues ne permettent pas de vérifier si la matière correspond ou non à la définition de « matière radioactive » selon l'article 3 du RMD.

Pour ce faire, il faut calculer, mesurer ou estimer les activités radioactives exprimées en kilobecquerels/kilogramme (kBq/kg) ou en kilobecquerels/litre (kBq/L) de matière. Les radionucléides dans les chaînes de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232 sont habituellement utilisés puisqu'il s'agit des chaînes de désintégration les plus importantes pour la radioactivité naturelle. Les apports de la chaîne de désintégration de l'uranium-235 et du potassium-40 peuvent généralement être négligés. Cependant, lorsque des données sont disponibles pour tenir compte de leur apport, il convient de le faire.

5.1.1 Activités calculées ou mesurées

Il est possible de calculer les activités d'isotopes de l'uranium ou du thorium à partir des concentrations d'uranium ou de thorium naturels dans la matière. Les exemples 1 et 2 en annexe expliquent comment effectuer un tel calcul.

Selon le radionucléide, l'activité radioactive peut être mesurée par activation neutronique ou par spectrométrie alpha, bêta ou gamma, en fonction du rayonnement émis lors de la désintégration du radionucléide. Le plus souvent, on mesure des activités qui provoquent une émission de rayonnements gamma. Ce choix devrait être discuté avec le laboratoire en fonction des méthodes d'analyse offertes. Le document disponible à l'adresse suivante fournit plus de détails quant au choix des radionucléides dont l'activité est mesurée :

<http://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/documents/radionucleides-analyse-radioactivite.pdf>.

Selon l'article 18 du RMD, les analyses déterminant les propriétés de dangerosité doivent être effectuées par un laboratoire accrédité par le ministre en vertu de l'article 118.6 de la LQE, exception faite des analyses déterminant la radioactivité. Il est recommandé que les échantillons prélevés soient transmis à un laboratoire accrédité à la norme ISO/CEI 17025, intitulée « Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais » par un organisme d'accréditation signataire de l'accord mutuel de reconnaissance d'International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Avec les activités calculées ou mesurées, on peut estimer les activités manquantes dans la chaîne de désintégration en posant l'hypothèse d'un équilibre radioactif, comme il est expliqué à la section suivante.

5.1.2 Activités estimées

Pour les radionucléides dont l'activité n'a pas été calculée ou mesurée, il est possible de l'estimer en posant l'hypothèse qu'il existe un équilibre ou des sous-équilibres respectivement sur toute ou sur des parties de la chaîne de désintégration.

Un équilibre est présent lorsque les activités des radionucléides dans une chaîne de désintégration sont à peu près égales. Cela se produit lorsque la demi-vie du radionucléide parent est beaucoup plus longue (de l'ordre de 10^4 fois) que celles de ses descendants. Ainsi, l'activité d'un radionucléide peut être estimée égale à celle qui est calculée ou mesurée pour un autre radionucléide à l'équilibre.

Les activités peuvent être à l'équilibre sur l'ensemble de la chaîne de désintégration. Cependant, des déséquilibres dans la chaîne peuvent naturellement être causés par la migration des radionucléides plus solubles ou volatils, comme le radium et le radon respectivement.

De plus, dans le cas de matières remaniées ou altérées par des procédés industriels physiques ou chimiques, il est probable que des déséquilibres se forment parce que des radionucléides sont concentrés ou, au contraire, parce qu'ils sont extraits. Des sous-équilibres peuvent alors se reformer sur des parties de la chaîne. Le tableau 1 en annexe fournit des informations quant au choix des radionucléides dont l'activité est calculée, mesurée ou estimée. Les méthodes de mesure de l'activité des radionucléides y sont également expliquées.

De plus, le tableau 1 résume l'information relative aux chaînes de désintégration et illustre, à l'aide de couleurs, les sous-équilibres dans ces chaînes.

L'annexe contient ensuite des exemples avec des activités calculées, mesurées ou estimées.

Pour faciliter l'obtention de la valeur de « S », un feuillet de calcul a été préparé. Il suffit d'entrer les activités « C » mesurées ou estimées et le calcul de « S » se fait automatiquement :

[Feuille pour le calcul de la radioactivité en format Excel](#)

5.2 Les limites de rejets dérivées inconditionnelles

Une matière radioactive qui respecte les limites de rejets dérivées inconditionnelles pour les matières diffuses des Lignes directrices canadiennes pour la gestion des matières radioactives naturelles⁵ respecte aussi la norme qui définit la propriété de « matière radioactive » à l'article 3 du RMD.

6. Gestion des matières dangereuses résiduelles et radioactives

Les matières qui correspondent à la définition de « matière radioactive » de l'article 3 du RMD ne peuvent pas être admises dans un lieu visé par le *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (REIMR). Il n'existe pas de lieu d'élimination autorisé au Québec pour les matières qui correspondent à la définition de « matière radioactive » au sens de l'article 3 du RMD. De tels lieux sont situés dans l'Ouest canadien. De l'information supplémentaire est disponible à l'adresse suivante, sous la rubrique « Comment évacuer les matières radioactives naturelles? » :

<http://www.suretenucleaire.gc.ca/fra/resources/fact-sheets/naturally-occurring-radioactive-material.cfm>.

Afin d'empêcher l'élimination de matières dangereuses radioactives au sens du RMD, l'article 38 du REIMR prévoit un contrôle radiologique à la réception d'un lieu d'enfouissement technique (LET). Des notes explicatives sur l'article 38 sont fournies dans le guide d'application du REIMR accessible avec cet hyperlien :

<http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/reglement/Guide-application-REIMR.pdf>.

5. https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/contaminants/norm-mrn/norm-mrn-fra.pdf.

ANNEXE

Tableau 1 : Radionucléides dont l'activité est mesurée, calculée ou estimée et méthodes de mesure ou de calcul de l'activité

	Sous-équilibres (en couleur*) dans la chaîne de désintégration	Radionucléides dont l'activité est mesurée (M), calculée (C) ou estimée (E**)	Méthodes de mesure ou de calcul de l'activité
Chaîne de désintégration de l'uranium-238			
Uranium-238	Uranium-238	M, C	Activation neutronique ou calculée à partir de la concentration d'uranium naturel ou spectrométrie alpha
Thorium-234	Thorium-234	M, E	Spectrométrie gamma
Protactinium-234	Protactinium-234	E	
Uranium-234	Uranium-234	M, C, E	Calculée à partir de la concentration d'uranium naturel ou à partir de l'activité de l'U-238 ou mesurée par spectrométrie alpha
Thorium-230	Thorium-230	M, E	Spectrométries alpha ou gamma (limite de détection élevée pour cette dernière)
Radium-226	Radium-226	M	Spectrométrie gamma, spectrométrie de masse, scintillation liquide pour les liquides
Radon-222	Radon-222	M, E	Scintillation liquide pour les liquides
Polonium-218	Polonium-218	E	
Plomb-214	Plomb-214	M, E	Spectrométrie gamma
Bismuth-214	Bismuth-214	M, E	Spectrométrie gamma
Polonium-214	Polonium-214	E	
Plomb-210	Plomb-210	M	Spectrométrie gamma, comptage proportionnel pour les liquides
Bismuth-210	Bismuth-210	E	
Polonium-210	Polonium-210	M, E	Spectrométrie alpha
Chaîne de désintégration de l'uranium-235			
Uranium-235	Uranium-235	M, C, facultatif	Calculée à partir de la concentration d'uranium naturel ou à partir de l'activité de l'U-238 ou mesurée par spectrométries gamma ou alpha
Thorium-231	Thorium-231	E	

	Sous-équilibres (en couleur*) dans la chaîne de désintégration	Radionucléides dont l'activité est mesurée (M), calculée (C) ou estimée (E**)	Méthodes de mesure ou de calcul de l'activité
Protactinium-231	Protactinium-231	E	
Actinium-227	Actinium-227	E	
Thorium-227	Thorium-227	M, facultatif	Spectrométrie gamma
Radium-223	Radium-223	M, facultatif	Spectrométrie gamma
Radon-219	Radon-219	E	
Polonium-215	Polonium-215	E	
Plomb-211	Plomb-211	E	
Bismuth-211	Bismuth-211	E	
Thalium-207	Thalium-207	E	
Chaîne de désintégration du thorium-232			
Thorium-232		M, C	Activation neutronique, spectrométrie de masse ou spectrométrie alpha, ou calculée à partir de la concentration de thorium naturel
Radium-228	Radium-228	M, E	Spectrométrie bêta
Actinium-228	Actinium-228	M, E	Spectrométrie gamma
Thorium-228	Thorium-228	M, E	Spectrométries gamma ou alpha
Radium-224	Radium-224	E	
Radon-220	Radon-220	E	
Polonium-216	Polonium-216	E	
Plomb-212	Plomb-212	M, E	Spectrométrie gamma
Bismuth-212	Bismuth-212	C, E	
Polonium-212	Polonium-212	C	
Thalium-208	Thalium-208	M, C	Spectrométrie gamma
Potassium-40		M, C, facultatif	Spectrométrie gamma ou calculée à partir de la concentration de potassium naturel dans la matière

* La colonne illustre, à l'aide de couleurs choisies arbitrairement, les sous-équilibres dans les chaînes de désintégration.

** S'il y a équilibre radioactif sur l'ensemble d'une chaîne de désintégration, les activités des radionucléides peuvent être estimées à partir de la mesure ou du calcul de l'activité d'un seul de ceux-ci.

EXEMPLES DE CALCULS POUR L'APPLICATION DE LA DÉFINITION DE « MATIÈRE RADIOACTIVE » À L'ARTICLE 3 DU RMD

Ces calculs s'appliquent à des matières qui ne sont pas exclues à l'article 2 du RMD.

Exemple 1 en lien avec la section 5.1.1 de la fiche : Activités calculées puis estimées pour une matière contenant 57 mg/kg d'uranium naturel, mais qui ne contient pas de thorium ou de potassium.

Il faut d'abord calculer la valeur de « C » pour l'uranium-238, l'uranium-235 et l'uranium-234, afin de l'appliquer ultérieurement dans l'équation suivante (voir la section 4) :

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \frac{C_n}{A_n}$$

C_n : activité massique du radionucléide n

A_n : activité (massique ou volumique) maximale. Dans l'annexe 1 du RMD, c'est la norme réglementaire d'activité applicable au radionucléide « n ». Pour les radionucléides qui ne sont pas listés dans l'annexe 1 et dont le numéro atomique est supérieur à 89, l'activité est de 4 kBq/kg ou kBq/L. Si leur numéro atomique est inférieur ou égal à 89, l'activité est de 40 kBq/kg ou KBq/L.

L'uranium naturel contient 99,275 % d'uranium-238, 0,719 % d'uranium-235 et 0,0057 % d'uranium-234. Pour l'uranium-234, on retrouve aussi dans la littérature une abondance de 0,0055 %, cette valeur est acceptable.

Leurs activités radioactives sont les suivantes :

1,24 × 10⁴ Bq par g d'U-238;

8,00 × 10⁴ Bq par g d'U-235;

2,30 × 10⁸ Bq par g d'U-234.

(Voir la [Fiche radionucléide – Uranium naturel et environnement.](#))

Les unités de concentration d'uranium naturel par masse de matière sont d'abord converties de mg/kg en g/g.

$$\frac{57 \text{ mg Unat}}{\text{kg matière}} \times \frac{1 \text{ kg matière}}{1000 \text{ g matière}} \times \frac{1 \text{ g Unat}}{1000 \text{ mg Unat}} = \frac{5,7 \times 10^{-5} \text{ g Unat}}{\text{g matière}}$$

Les activités radioactives « C » de l'uranium-238, de l'uranium-235 et de l'uranium-234 sont ensuite calculées comme suit :

$$C_{U-238} = \frac{5,7 \times 10^{-5} \text{ g Unat}}{\text{g matière}} \times 0,99275 \times \frac{1,24 \times 10^4 \text{ Bq}}{\text{g U-238}} = \frac{0,70 \text{ Bq U-238}}{\text{g matière}}$$

$$C_{U-235} = \frac{5,7 \times 10^{-5} \text{ g Unat}}{\text{g matière}} \times 0,00719 \times \frac{8,00 \times 10^4 \text{ Bq}}{\text{g U-235}} = \frac{3,3 \times 10^{-2} \text{ Bq U-235}}{\text{g matière}}$$

$$C_{U-234} = \frac{5,7 \times 10^{-5} \text{ g Unat}}{\text{g matière}} \times 0,000057 \times \frac{2,30 \times 10^8 \text{ Bq}}{\text{g U-234}} = \frac{0,75 \text{ Bq U-234}}{\text{g matière}}$$

La contribution de l'uranium-235 à l'activité de la matière peut être négligeable. Les calculs montrent en effet que son activité massique (Bq/g) représente environ 5 % de celle de l'uranium-238 ou de l'uranium-234.

Puisque, dans cet exemple, nous disposons seulement des activités calculées des isotopes de l'uranium, pour calculer la valeur de « S », nous devons assumer qu'il y a un équilibre radioactif sur l'ensemble de la chaîne de désintégration. Les activités des radionucléides descendants dans la chaîne de désintégration de l'uranium-238 peuvent être estimées en assumant un équilibre dans l'ensemble de la chaîne. En posant cette hypothèse, il est donc estimé que les activités des radionucléides sont égales à celles qui sont calculées pour l'uranium-238 et l'uranium-234.

Comme le montre le tableau 2, la valeur de « S » ainsi calculée est égale à 1,7 en appliquant l'équation suivante :

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \frac{C_n}{A_n}$$

C_n : activité massique du radionucléide n

A_n : dans l'annexe 1 du RMD, c'est la norme réglementaire d'activité applicable au radionucléide « n ». Pour les radionucléides qui ne sont pas listés dans l'annexe 1 et dont le numéro atomique est supérieur à 89, l'activité est de 4 kBq/kg ou kBq/L. Si leur numéro atomique est inférieur ou égal à 89, l'activité est de 40 kBq/kg ou kBq/L.

Tableau 2

Radionucléides	Activités C (Bq/g)	Normes réglementaires A (Bq/g)	Rapports C/A
Uranium-238	0,70	4	0,2
Thorium-234	<i>0,70</i>	4	0,2
Protactinium-234	<i>0,70</i>	4	0,2
Uranium-234	0,75	4	0,2
Thorium-230	<i>0,75</i>	4	0,2
Radium-226	<i>0,75</i>	4	0,2
Radon-222	<i>0,75</i>	40	0,019
Polonium-218	<i>0,75</i>	40	0,019
Plomb-214	<i>0,75</i>	40	0,019
Bismuth-214	<i>0,75</i>	40	0,019
Polonium-214	<i>0,75</i>	40	0,019
Plomb-210	<i>0,75</i>	4	0,2
Bismuth-210	<i>0,75</i>	40	0,019
Polonium-210	<i>0,75</i>	4	0,2
S = TOTAL			1,7

Les activités estimées sont en italique dans la deuxième colonne. Les calculs tiennent compte des chiffres significatifs.

Il s'agit donc d'une matière radioactive selon l'article 3 du RMD car la valeur de « S » est supérieure à 1.

Si l'on désire obtenir une meilleure exactitude de la valeur de « S », il faudrait mesurer, en plus de la concentration d'uranium naturel dans la matière, les activités de certains radionucléides descendants de l'uranium-238 dans la chaîne de désintégration radioactive. Ces mesures supplémentaires permettraient aussi de vérifier si l'hypothèse d'un équilibre radioactif est avérée ou non. L'exemple 3 représente une telle situation.

Exemple 2 en lien avec la section 5.1.1 de la fiche : Activité calculée pour une matière contenant 2 % de thorium, sans ses radionucléides descendants.

Le thorium naturel est composé de 100 % de thorium-232.

2 % de thorium naturel équivaut donc à 20 000 mg de thorium-232 par kilogramme de matière.

L'activité radioactive du thorium-232 est de $4,06 \times 10^3$ Bq par gramme de thorium-232.
(Voir la [Fiche radionucléide – Thorium-232 et environnement.](#))

L'activité radioactive « C » de la matière en question est donc calculée de la façon suivante :

$$\frac{1 \text{ kg matière}}{1000 \text{ g matière}} \times \frac{1 \text{ g Th} - 232}{1000 \text{ mg Th} - 232} \times \frac{20\,000 \text{ mg Th} - 232}{\text{kg matière}} \times \frac{4,06 \times 10^3 \text{ Bq}}{\text{g Th} - 232} = \frac{81,2 \text{ Bq}}{\text{g matière}}$$

Pour l'application de la définition de « matière radioactive » dans l'article 3 du RMD, l'activité maximale « A » du thorium-232 est de 4 Bq/g de matière (annexe 1 du RMD). La contribution du thorium-232 à la valeur de « S » est calculée comme suit :

$$S = \frac{C_{\text{Th-232}}}{A_{\text{Th-232}}} = \frac{\frac{81,2 \text{ Bq}}{\text{g matière}}}{\frac{4 \text{ Bq}}{\text{g matière}}} = 20$$

On remarque que cette équation est la même que celle de l'exemple 1, mais elle est appliquée ici à un seul radionucléide.

Puisque « S » est supérieur à 1, on peut conclure qu'il s'agit d'une « matière radioactive » au sens de l'article 3 du RMD.

Exemple 3 en lien avec les sections 5.1.1 et 5.1.2 de la fiche : Application de la définition de « matière radioactive » dans l'article 3 du RMD à partir d'activités mesurées en laboratoire, calculées ou estimées.

Les matières suivantes sont des exemples de matières auxquelles l'exemple 3 pourrait s'appliquer (ou une démarche similaire) :

- Les briques ou céramiques réfractaires;
- Le phosphogypse provenant de la production d'acide phosphorique à partir de roches phosphatées;
- Une couche mince d'une matière contenant notamment du plomb-210 dans les équipements d'extraction ou de transport du gaz naturel;
- Les cendres de combustion d'une fonderie.

Il s'agit, comme dans les autres exemples, d'appliquer l'équation suivante (voir la section 4) :

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \frac{C_n}{A_n}$$

C_n : activité massique du radionucléide n

A_n : dans l'annexe 1 du RMD, c'est la norme réglementaire d'activité applicable au radionucléide « n ». Pour les radionucléides qui ne sont pas listés dans l'annexe 1 et dont le numéro atomique est supérieur à 89, l'activité est de 4 kBq/kg ou kBq/L. Si leur numéro atomique est inférieur ou égal à 89, l'activité est de 40 kBq/kg ou kBq/L.

Pour ce faire, on peut calculer les valeurs de « C » pour certains radionucléides. On peut aussi estimer ces valeurs pour des radionucléides à partir des valeurs « C » calculées ou mesurées en laboratoire pour d'autres radionucléides. Toutes ces situations (activités mesurées, calculées ou estimées) sont décrites plus bas.

Activités mesurées

Un laboratoire a mesuré l'activité radioactive « C » des radionucléides dans une matière solide. Les résultats sont reportés dans le tableau 3 :

Tableau 3

Radionucléides	Activités rapportées par le laboratoire (Bq/g)
Chaîne de désintégration de l'uranium-238	
Uranium-238	0,18
Thorium-234	0,10
Protactinium-234	
Uranium-234	
Thorium-230	
Radium-226	0,23
Radon-222	
Polonium-218	
Plomb-214	0,16
Bismuth-214	0,17
Polonium-214	
Plomb-210	0,12
Bismuth-210	
Polonium-210	
Chaîne de désintégration du thorium-232	
Thorium-232	0,69
Radium-228	
Actinium-228	0,85
Thorium-228	
Radium-224	
Radon-220	
Polonium-216	
Plomb-212	0,79
Bismuth-212	
Polonium-212	
Thallium-208	0,27
Chaîne de désintégration de l'uranium-235	
Uranium-235	
Thorium-231	
Protactinium-231	
Actinium-227	
Thorium-227	
Radium-223	
Radon-219	
Polonium-215	
Plomb-211	
Bismuth-211	
Thallium-207	
Potassium-40	<1,0

Activités calculées

Uranium-234

Dans cet exemple, nous n'avons pas d'activité mesurée pour l'uranium-234 dans la chaîne de désintégration de l'uranium-238.

L'uranium naturel contient 99,275 % d'uranium-238, 0,0057 % d'uranium-234. Pour l'uranium-234, on retrouve aussi dans la littérature une abondance de 0,0055 %; cette valeur est acceptable.

Leurs activités radioactives sont les suivantes :

$1,24 \times 10^4$ Bq par gramme de U-238;

$2,30 \times 10^8$ Bq par gramme de U-234.

(Voir la [Fiche radionucléide – Uranium naturel et environnement.](#))

L'activité « C » de l'uranium-234 a été calculée à partir de celle de l'uranium-238 de la façon suivante :

$$\frac{0,18 \text{ Bq}}{1,24 \times 10^4 \text{ Bq}} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ g U} - 238$$

$$\frac{0,0057 \%}{99,275 \%} \times 1,5 \times 10^{-5} \text{ g U} - 238 = 8,6 \times 10^{-10} \text{ g U} - 234$$

$$8,6 \times 10^{-10} \text{ g U} - 234 \times \frac{2,30 \times 10^8 \text{ Bq}}{\text{g U} - 234} = 0,20 \text{ Bq}$$

Activités estimées

À l'examen du tableau 3, on constate que les activités mesurées sont à peu près les mêmes; on aurait donc pu assumer que l'activité radioactive est à l'équilibre dans l'ensemble des chaînes de désintégration. Ce cas serait alors similaire à celui de l'exemple 1 où l'on reproduit l'activité mesurée en tête de chaîne sur l'ensemble de cette chaîne. Cependant, puisque nous avons des activités mesurées à divers endroits dans les chaînes de désintégration, il est possible d'obtenir une valeur plus réaliste de « S » en estimant les activités à l'intérieur des sous-équilibres qui peuvent se former dans les chaînes de désintégration.

Les couleurs dans le tableau 4 indiquent les parties des chaînes de désintégration où des sous-équilibres peuvent se former. En posant l'hypothèse qu'il y a des sous-équilibres radioactifs, l'activité « C » des radionucléides n'ayant pas été mesurée ou calculée est estimée égale à celle du radionucléide qui précède ou qui suit dans les parties des chaînes de désintégration ayant les mêmes couleurs.

Chaîne de désintégration de l'uranium-238

L'activité du protactinium-234 est estimée égale à celle qui est mesurée pour le thorium-234 (0,10 Bq/g). Les activités du bismuth-210 et du polonium-210 sont estimées égales à la mesure de l'activité du plomb-210 (0,12 Bq/g).

À noter que, dans la sous-chaîne ayant en tête le radium-226, la baisse de l'activité pour le radon-222 et ses descendants pourrait être attribuable à la volatilisation du radon. Cette volatilisation se produit dans la nature, mais elle peut aussi être causée par des manipulations lors de l'échantillonnage, lors de la préparation de l'échantillon ou de son analyse. Les activités « C » du radon-222 et du polonium-218 auraient pu être estimées égales à la mesure du plomb-214 (0,16 Bq/g), mais, compte tenu de ce qui précède, nous avons plutôt choisi de les estimer à partir de l'activité mesurée du radium-226 (0,23 Bq/g). Dans le présent exemple, ce choix n'a pas d'incidence sur le calcul de la valeur de « S ». L'activité du polonium-214 a ensuite été estimée à partir de la mesure de l'activité du bismuth-214 (0,17 Bq/g).

Par ailleurs, même si le thorium-230 et l'uranium-234 ne sont pas dans une même partie de chaîne en sous-équilibre, l'activité « C » du thorium-230 a été estimée égale à celle de l'uranium-234 calculée précédemment.

Chaîne de désintégration du thorium-232

L'activité du radium-228 a été estimée à partir de la mesure de l'activité de l'actinium-228.

Dans la sous-chaîne ayant en tête le thorium-228, les activités « C » du thorium-228, radium-224, radon-220, polonium-216 et bismuth-212 ont été estimées égales à la mesure de l'activité « C » de 0,79 Bq/g du plomb-212.

L'activité du polonium-212 a ensuite été calculée, sachant qu'elle représente 64 % de celle du bismuth-212 (<https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/Documents/sante/Th232SAN.pdf>).

L'activité « C » du polonium-212 aurait pu être calculée à partir de la mesure de l'activité du thallium-208 (0,27 Bq/g) sachant que les activités du polonium-212 et du thallium-208 représentent en théorie 64 % et 36 % de celle du bismuth-212. En pratique, ces pourcentages varient un peu lorsqu'il y a rupture de l'équilibre radioactif.

$$0,27 \text{ Bq Tl} - 208 \times \frac{64}{36} = 0,48 \text{ Bq Po} - 212$$

De la même manière, il serait aussi possible de calculer l'activité du bismuth-212 à partir de la mesure de l'activité du thallium-208. On obtiendrait ainsi 0,75 Bq/g pour le bismuth-212.

Le tableau 4 liste les activités mesurées, calculées ou estimées dans les chaînes de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232 à des fins de calcul de la valeur de « S ».

À l'examen du tableau 4, on constate qu'utiliser pour les estimations et les calculs l'activité mesurée du plomb-212 est un peu plus conservateur qu'utiliser l'activité mesurée du thallium-208. C'est pourquoi on privilégie d'estimer les activités du bismuth-212 et du polonium-212 à partir de celle qui est mesurée pour le plomb-212 qui les précède dans la chaîne de désintégration. Dans le présent exemple, ce choix n'a pas d'incidence sur le calcul de la valeur de « S ».

Tableau 4

Radionucléides	Activités mesurées (M), estimées (E) ou calculées (C)
	(Bq/g)
Chaîne de désintégration de l'uranium-238	
Uranium-238	0,18 (M)
Thorium-234	0,10 (M)
Protactinium-234	0,10 (E)
Uranium-234	0,20 (C)
Thorium-230	0,20 (E)
Radium-226	0,23 (M)
Radon-222	0,23 (E)
Polonium-218	0,23 (E)
Plomb-214	0,16 (M)
Bismuth-214	0,17 (M)
Polonium-214	0,17 (E)
Plomb-210	0,12 (M)
Bismuth-210	0,12 (E)
Polonium-210	0,12 (E)
Chaîne de désintégration du thorium-232	
Thorium-232	0,69 (M)
Radium-228	0,85 (E)
Actinium-228	0,85 (M)
Thorium-228	0,79 (E)
Radium-224	0,79 (E)
Radon-220	0,79 (E)
Polonium-216	0,79 (E)
Plomb-212	0,79 (M)
Bismuth-212	0,79 (E)
Polonium-212	0,51 (C)
Thallium-208	0,27 (M)

Uranium-235

Dans cet exemple, la contribution de l'uranium-235 et de ses descendants peut être considérée comme négligeable sur la base du calcul suivant.

L'uranium naturel contient 99,275 % d'uranium-238 et 0,719 % d'uranium-235. Leurs activités radioactives sont les suivantes :

1,24 × 10⁴ Bq par gramme de U-238;

8,00 × 10⁴ Bq par gramme de U-235.

(Voir la [Fiche radionucléide – Uranium naturel et environnement.](#))

$$\frac{0,18 \text{ Bq}}{1,24 \times 10^4 \text{ Bq}} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ g U - 238}$$

$$\frac{0,719 \%}{99,275 \%} \times 1,5 \times 10^{-5} \text{ g U - 238} = 1,1 \times 10^{-7} \text{ g U - 235}$$

$$1,1 \times 10^{-7} \text{ g U - 235} \times \frac{8 \times 10^4 \text{ Bq}}{\text{g U - 235}} = 0,009 \text{ Bq}$$

En assumant qu'il y a un équilibre sur l'ensemble de la chaîne de désintégration, l'activité de chacun des radionucléides descendants de l'uranium-235 est considérée comme égale à 0,009 Bq. À l'examen du tableau 5, on constate que la contribution de la chaîne de désintégration de l'uranium-235 est négligeable (0,013) en comparaison avec les activités radioactives des chaînes de l'uranium-238 (0,34) et du thorium-232 (0,5). C'est pourquoi on ne tient généralement pas compte de cette contribution pour le calcul de la valeur de « S », à moins qu'une activité mesurée dans la chaîne de désintégration de l'uranium-235 soit rapportée.

Potassium-40

De même, la contribution à la valeur de « S » de l'activité du potassium-40 est jugée négligeable (0,0025), en assumant que son activité est égale à la limite de détection, c'est-à-dire 1 Bq/g. C'est pourquoi on n'en tient généralement pas compte pour le calcul de « S », à moins qu'une activité du potassium-40 ait été mesurée au-dessus de la limite de détection.

Calcul de la valeur de « S »

Avec ces informations en main, on peut finalement calculer la valeur de « S », qui correspond à la somme des quotients des activités « C » sur les normes applicables à chaque radionucléide « A » (annexe 1 du RMD), comme détaillé dans le tableau 5.

$$S = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} + \frac{C_3}{A_3} + \frac{C_n}{A_n}$$

C_n : activité massique du radionucléide n

A_n : dans l'annexe 1 du RMD, c'est la norme réglementaire d'activité applicable au radionucléide « n ». Pour les radionucléides qui ne sont pas listés dans l'annexe 1 et dont le numéro atomique est supérieur à 89, l'activité est de 4 kBq/kg ou kBq/L. Si leur numéro atomique est inférieur ou égal à 89, l'activité est de 40 kBq/kg ou kBq/L.

Dans le présent exemple, $S = 0,8$; il ne s'agit donc pas d'une « matière radioactive » en application de l'article 3 du RMD car la valeur de « S » est inférieure ou égale à 1. Une telle matière peut être éliminée dans un lieu d'enfouissement technique si elle ne possède pas une autre propriété de danger décrite dans l'article 3 du RMD, si elle n'est pas assimilée à une matière dangereuse selon l'article 4 du RMD, et sous réserve d'autres dispositions applicables du REIMR.

Tableau 5

Radionucléides	Activités	Norme réglementaire ¹	Rapport ²
	Bq/g	Bq/g	activité/norme
Chaîne de désintégration de l'uranium-238			
Uranium-238	0,18	4	0,05
Thorium-234	0,10	4	0,03
Protactinium-234	0,10	4	0,03
Uranium-234	0,20	4	0,05
Thorium-230	0,20	4	0,05
Radium-226	0,23	4	0,06
Radon-222	0,23	40	0,0058
Polonium-218	0,23	40	0,0058
Plomb-214	0,16	40	0,0040
Bismuth-214	0,17	40	0,0043
Polonium-214	0,17	40	0,0043
Plomb-210	0,12	4	0,03
Bismuth-210	0,12	40	0,0030
Polonium-210	0,12	4	0,03
Sous-total			0,34
Chaîne de désintégration du thorium-232			
Thorium-232	0,69	4	0,2
Radium-228	0,85	40	0,021
Actinium-228	0,85	40	0,021
Thorium-228	0,79	4	0,2
Radium-224	0,79	40	0,020
Radon-220	0,79	40	0,020
Polonium-216	0,79	40	0,020
Plomb-212	0,79	40	0,020
Bismuth-212	0,79	40	0,020
Polonium-212 (64 % de Bi-212)	0,51	40	0,013
Thallium-208	0,27	40	0,0068
Sous-total			0,5
Chaîne de désintégration de l'uranium-235			
Uranium-235	0,009	4	0,002
Thorium-231	0,009	4	0,002
Protactinium-231	0,009	4	0,002
Actinium-227	0,009	4	0,002
Thorium-227	0,009	4	0,002
Radium-223	0,009	40	0,0002
Radon-219	0,009	40	0,0002
Polonium-215	0,009	40	0,0002
Plomb-211	0,009	40	0,0002
Bismuth-211	0,009	40	0,0002
Thallium-207	0,009	40	0,0002
Sous-total			0,013
Potassium-40	1,0	400	0,0025
Total des rapports = S			0,8

1. Les normes sont celles du *Règlement sur les matières dangereuses* (RMD).

2. Si le total des rapports (valeur S) dépasse 1, la matière est radioactive selon le RMD.

Les calculs tiennent compte des chiffres significatifs.

Les contributions de l'uranium-235 et du potassium-40 n'ont pas été prises en compte parce qu'elles sont négligeables dans ce cas.