



GUIDE
D'APPLICATION DE LA
RÉGLEMENTATION

**La mesure des produits de filiation
du radon en suspension dans l'air
dans les mines d'uranium et les
usines de concentration d'uranium**

G-4

Juin 2003

DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) fonctionne à l'intérieur d'un cadre juridique constitué de la législation et, à l'appui, de documents d'application de la réglementation. Le terme « législation » renvoie à différents instruments légaux exécutoires : des lois, des règlements, des permis et des ordres. Quant aux documents d'application de la réglementation – des politiques, des normes, des guides, des avis, des procédures et des documents d'information –, ils soutiennent et expliquent davantage ces instruments. Les activités de réglementation de la CCSN reposent sur ces instruments et ces documents.

Les documents d'application de la réglementation de la CCSN relèvent des principales classes suivantes :

Politique d'application de la réglementation : un document qui décrit la doctrine, les principes et les facteurs fondamentaux utilisés par la CCSN dans son programme de réglementation.

Norme d'application de la réglementation : un document qui peut servir à une évaluation de conformité et qui décrit les règles, les caractéristiques ou les pratiques que la CCSN accepte comme conformes aux exigences réglementaires.

Guide d'application de la réglementation : un document qui sert de guide ou qui décrit des caractéristiques ou des pratiques recommandées par la CCSN et qui, d'après elle, permettent de respecter les exigences réglementaires ou d'améliorer l'efficacité administrative.

Avis d'application de la réglementation : un document qui contient des conseils et des renseignements propres à un cas donné et qui sert à alerter les titulaires de permis et d'autres personnes à propos d'importantes questions de santé, de sûreté ou de conformité auxquelles il faut donner suite en temps utile.

Procédure d'application de la réglementation : un document qui décrit les modalités de travail qu'utilise la CCSN pour administrer les exigences réglementaires dont elle est responsable.

Les politiques, normes, guides, avis et procédures d'application de la réglementation ne créent pas d'exigences exécutoires; ils servent plutôt à étayer les exigences réglementaires énoncées dans les permis, dans les règlements et dans les autres instruments exécutoires. Néanmoins, le cas échéant, un document d'application de la réglementation peut être transformé en instrument exécutoire par son incorporation dans un permis ou un règlement de la CCSN, ou encore dans un autre instrument exécutoire établi en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.

**GUIDE D'APPLICATION DE LA
RÉGLEMENTATION**

**La mesure des produits de filiation du radon
en suspension dans l'air dans les
mines d'uranium et les
usines de concentration d'uranium**

G-4

**Publié par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Juin 2003**

La mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium.

Guide d'application de la réglementation G-4

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2003

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

N° de cat. CC173-3/2-4F

ISBN 0-662-89231-3

Also published in English as

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills.

Disponibilité du présent document

Les personnes intéressées pourront consulter le présent document sur le site Web de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (www.suretenucleaire.gc.ca) ou en commander des exemplaires, en français ou en anglais, en communiquant avec la :

Direction des communications et de la gestion de l'information
Commission canadienne de sûreté nucléaire
280, rue Slater
Case postale 1046, Succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

Téléphone : (613) 995-5894 ou 1 800 668-5284 (au Canada)

Télécopieur : (613) 992-2915

Courriel : publications@cnsccsn.gc.ca

TABLE DES MATIÈRES

1.0	OBJET.....	1
2.0	PORTÉE	1
3.0	CONTEXTE.....	1
4.0	APERÇU DELA MÉTHODE.....	2
5.0	CHOIX DUMATÉRIEL	3
6.0	PRÉPARATIFS EN VUE DE L'ÉCHANTILLONNAGE.....	3
7.0	CHOIX DES ENDROITS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE	5
8.0	COLLECTE DESÉCHANTILLONS	5
9.0	COMPTAGE DES ÉCHANTILLONS ET CALCUL DES RÉSULTATS.....	6
	GLOSSAIRE.....	8
	OUVRAGES DE RÉFÉRENCE.....	9
	ANNEXES	
A.	Utilisation du test du chi carré pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha.....	10
B.	Méthode servant à déterminer les facteurs de correction pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage.....	12
C.	Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha.....	13
D.	Détermination des facteurs de correction de Kusnetz à employer dans le calcul de la concentration des produits de filiation du radon.....	14

LA MESURE DES PRODUITS DE FILIATION DU RADON EN SUSPENSION DANS L'AIR DANS LES MINES D'URANIUM ET LES USINES DE CONCENTRATION D'URANIUM

1.0 OBJET

Le présent guide d'application de la réglementation a pour but d'aider les utilisateurs à mesurer et à calculer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium.

2.0 PORTÉE

Le présent guide décrit une méthode qu'utilisent les inspecteurs de la Commission canadienne de la sûreté nucléaire (CCSN) pour évaluer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium au Canada. Le titulaire d'un permis visant l'exploitation d'une mine d'uranium ou d'une usine de concentration d'uranium peut avoir recours à cette méthode ou à d'autres méthodes comparables quant à leur exactitude.

3.0 CONTEXTE

Élément chimiquement inerte, le radon 222 est un sous-produit gazeux radioactif d'autres éléments radioactifs présents dans la nature. Le radon gazeux, qui est rejeté dans l'atmosphère par suite de processus naturels ou de l'activité humaine, subit constamment des désintégrations radioactives spontanées. Quatre radionucléides solides à courte période — le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214 — se forment dans le cours de la désintégration du radon 222 en plomb 210. Ces quatre produits à courte période, qui font l'objet du présent guide, sont connus sous le nom de « produits de filiation du radon ».

Pour protéger les travailleurs et se conformer aux exigences fédérales, le titulaire d'un permis visant l'exploitation d'une mine d'uranium ou d'une usine de concentration d'uranium surveille et enregistre le niveau d'exposition des travailleurs aux dangers d'irradiation, y compris à ceux qui sont attribuables aux produits de filiation du radon. En outre, dans de telles mines ou usines, des contrôles de la concentration de radon et de ses produits de filiation sont effectués afin d'appuyer la conception technique et l'aménagement des lieux de travail.

Lors de sa désintégration en plomb 210, le radon gazeux émet des rayonnements alpha, bêta et gamma. De toutes ces formes de rayonnement, ce sont les particules alpha qui posent le plus grand danger pour les travailleurs : l'incidence du cancer du poumon risque en effet de s'accroître avec le temps chez les humains lorsqu'ils inhalent de l'air qui contient une concentration élevée de produits de filiation du radon émettant des particules alpha.

Dans la nature, le radon gazeux et ses produits de filiation se retrouvent habituellement en concentration relativement faible. Toutefois, dans certaines conditions particulières — dont celles qui sont associées aux activités d'extraction et de traitement de l'uranium —, ils peuvent se présenter en concentration plus élevée.

Bien que le radon et ses produits de filiation soient présents dans toutes les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium en exploitation, l'importance des dangers d'irradiation associés à leur présence varie en fonction de divers facteurs propres à chaque situation. Au nombre de ces facteurs, figurent notamment les caractéristiques de la source, les conditions géologiques et climatiques, les techniques et méthodes de production, la conception de l'installation et ses caractéristiques mécaniques, les taux d'échange d'air, les méthodes de travail et les dispositions prises pour protéger le personnel.

Que des mesures de contrôle particulières soient en place ou non, la concentration de radon et de ses produits de filiation dans les lieux de travail des mines d'uranium et des usines de concentration d'uranium peut varier considérablement suivant l'endroit et le moment considérés. Habituellement, la concentration de radon et de ses produits de filiation dans de telles installations est maintenue à un niveau sécuritaire grâce à des techniques qui permettent d'assurer une ventilation appropriée dans les lieux de travail. Tantôt, on évacue du lieu de travail l'air contenant une concentration élevée de radon et de ses produits de filiation, tantôt on y admet de l'air de l'extérieur dont la concentration de rayonnement est inférieure ou se limite au rayonnement de fond.

4.0 APERÇU DE LA MÉTHODE

Dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium au Canada, différentes méthodes sont utilisées pour déterminer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air (références 2, 5, 9, 10, 11 et 12). Les procédures d'échantillonnage, de comptage et de calcul des inspecteurs de la CCSN sont fondées sur la méthode de Kusnetz modifiée.

Pour mesurer avec précision la concentration d'un produit de filiation du radon dans une atmosphère particulière, il convient de prélever d'abord, de façon ponctuelle ou continue, un volume d'air représentatif. Généralement, les prélèvements ponctuels s'effectuent sur un intervalle de temps court et discret, de quelques minutes, et les prélèvements continus, sur un intervalle de temps beaucoup plus long, qui se mesure en heures ou en jours.

La démarche de mesure décrite dans le présent guide comprend :

- le filtrage d'un volume d'air représentatif en vue de recueillir un échantillon de produits de filiation du radon;
- la mesure des particules alpha émises lors de la désintégration des produits de filiation du radon prélevés;
- l'utilisation des résultats d'observations et de données mesurées et connues, ainsi que de formules établies, pour évaluer la concentration atmosphérique des produits de filiation du radon au moment du prélèvement.

Initialement, un échantillon de produits de filiation du radon en suspension dans l'air est recueilli au moyen d'une pompe à prélèvement d'échantillons d'air portative munie d'un filtre à faible porosité. Les produits de filiation du radon présents dans l'air aspiré par la pompe se fixent à la surface du filtre de son tuyau d'entrée. Ces produits de filiation se désintègrent par la suite en émettant des particules alpha et d'autres formes de rayonnement. Pendant ce processus, les particules alpha émises sont détectées et comptées à l'aide d'un instrument — le compteur de particules alpha — précisément conçu et fabriqué à cette fin.

Les résultats du comptage, ainsi que d'autres données et observations pertinentes, sont alors utilisés pour évaluer la concentration (en unités alpha) des produits de filiation du radon en suspension dans l'air présents à l'origine dans l'échantillon d'air. L'unité alpha est définie comme étant la « Concentration, dans 1 m³ d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de $2,08 \times 10^{-5}$ J » [*Règlement sur la radioprotection*, paragraphe 1(1)].

La formule utilisée pour calculer la concentration (en unités alpha) des produits de filiation de radon est décrite à l'alinéa 9e) du présent guide. Cette formule établit une relation mathématique entre les désintégrations alpha par unité alpha sur l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha, le volume d'air échantillonné, l'activité alpha des produits de filiation du radon recueillis et résultants, l'efficacité du compteur de particules alpha et son rayonnement de fond et les caractéristiques d'absorption du filtre utilisé pour l'échantillonnage.

5.0 CHOIX DU MATÉRIEL

Le matériel, les accessoires et les fournitures habituellement utilisés pour déterminer la concentration des produits de filiation du radon en suivant la méthode décrite dans la partie 4 du présent guide comprennent :

- une pompe à prélèvement d'échantillons d'air portative, à piles et à débit constant, offrant une plage de mesure de 0,001 à 5 L/min;
- des tuyaux souples et des raccords de 0,25 po (6,35 mm) de diamètre intérieur pour la pompe;
- des filtres en ester cellulosique ou en fibre de verre de 25 mm de diamètre, dont la porosité est de 0,8 microns;
- des porte-filtres ouverts utilisables avec la pompe, les conduites et les filtres choisis;
- un débitmètre à bulle de gaz ou autre dont la précision est de ± 5 %;
- un compteur de particules alpha constitué d'un détecteur¹ de rayonnement et des composants électroniques connexes;
- une source² d'étalonnage d'américium 241 certifiée d'une précision de ± 5 % et installée sur un disque d'acier inoxydable dont la surface correspond à celle du papier filtre devant servir pour l'échantillonnage;
- un dispositif de chronométrage précis — un chronomètre ou une montre-bracelet numérique, par exemple;
- des pinces fines;
- une calculatrice à piles;
- les fournitures nécessaires pour l'enregistrement — un registre, des crayons et des stylos.

6.0 PRÉPARATIFS EN VUE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

En guise de préparation à la collecte et à l'analyse des échantillons, il conviendra de suivre les étapes suivantes :

- a) Réunir le matériel, les accessoires et les fournitures énumérés dans la section 5 du présent guide.

¹ Il est recommandé d'avoir recours à un détecteur à scintillation utilisant le sulfure de zinc comme luminophore.

² Il est recommandé d'utiliser de l'américium 241 comme source d'étalonnage puisque l'énergie émise par ses particules alpha (5,5 MeV) est semblable à celle qu'émettent les produits de filiation du radon (de 5,5 à 7,7 MeV).

- b) Soumettre la pompe à prélèvement d'échantillons d'air aux vérifications suivantes :
- Vérifier si les piles de la pompe sont chargées.
 - À l'aide du débitmètre à bulle de gaz ou autre, mesurer le débit d'air admis dans l'assemblage — la pompe et le tuyau, ainsi que le porte-filtre avec un filtre non exposé — qui sera utilisé pour l'échantillonnage des produits de filiation du radon. Le débit devrait se situer de façon constante à quelque 2 L/min. Suivre les directives du fabricant pour le débitmètre et pour la pompe. Prendre une lecture de l'indicateur de débit de la pompe et l'enregistrer. Si le débitmètre et la pompe indiquent un débit différent, étalonner de nouveau la pompe en suivant les directives du fabricant. Enregistrer le numéro ou d'autres éléments identificateurs de la pompe, la date et les renseignements détaillés sur son étalonnage, ainsi que le débit d'air mesuré F (en L/min).
- c) Soumettre le compteur de particules alpha aux vérifications suivantes immédiatement avant et après son utilisation quotidienne :
- Effectuer les vérifications pertinentes du compteur de particules alpha recommandées par le fabricant. Vérifier si les piles sont chargées;
 - Déterminer le rayonnement de fond du compteur de particules alpha en mesurant l'activité alpha, en coups par minute (CPM), d'un filtre non exposé. Si l'activité mesurée dépasse 5 CPM, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été nettoyé ou réparé. Enregistrer le taux de comptage du fond naturel de rayonnement.
 - Déterminer si le compteur de particules alpha fonctionne de façon cohérente en procédant à un test du chi carré pour un ensemble de 10 comptages successifs, suivant la méthode décrite à l'annexe A du présent guide. Comparer les écarts entre les résultats de ce comptage et ceux qui sont à prévoir comme caractéristique de la désintégration radioactive. Si le compteur échoue à répétition le test du chi carré, cesser de l'utiliser jusqu'à ce qu'il ait été réparé.
 - Déterminer l'efficacité E du compteur de particules alpha en divisant la moyenne (en CPM d'activité alpha) des résultats des 10 comptages de 1 minute qui ont été effectués lors du test du chi carré par l'activité nominale (en DPM d'activité alpha) de la source d'américium 241 employée pour les 10 comptages. Si le compteur de particules alpha possède un détecteur au sulfure de zinc, l'efficacité calculée E du compteur devrait se situer entre 0,35 et 0,50. Si elle se situe effectivement dans cette plage, l'efficacité du compteur calculée à l'aide de la même source d'américium 241 ne devrait pas varier beaucoup d'un jour à l'autre, dans la mesure où le compteur fonctionne de façon satisfaisante. Par exemple, une différence de 0,02 environ (soit approximativement 1 écart-type) entre l'efficacité calculée du compteur lors de deux jours successifs est jugée acceptable. Quoi qu'il en soit, si l'efficacité calculée se situe en dehors de la plage de valeurs recommandée de 0,35 à 0,50, ou si elle chute rapidement, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été réparé.
 - Lors de la mesure d'échantillons de produits de filiation du radon à concentration élevée, ou encore d'échantillons de produits de filiation du radon ayant été prélevés dans un milieu poussiéreux, vérifier plus fréquemment le rayonnement de fond du compteur de particules alpha, afin de déterminer s'il se contamine.

7.0 CHOIX DES ENDROITS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE

Il conviendra de choisir, pour effectuer l'échantillonnage d'air, des endroits vraiment représentatifs des conditions à évaluer, et d'éviter toute zone de turbulence — les sorties d'évacuation d'air, les emboîtures ou intersections des conduites de ventilation et les portes ou fenêtres, par exemple — ou autre qui risquerait de fausser les résultats de l'échantillonnage.

Au moment de la collecte d'échantillons de produits de filiation du radon servant à évaluer ou à confirmer les doses de rayonnement aux travailleurs, veiller à ce que l'air prélevé corresponde à celui que respirent effectivement les travailleurs considérés. Dans la mesure du possible, les échantillons devraient être prélevés aux postes de travail pertinents pendant une période représentative. Sinon, si les concentrations de produits de filiation du radon en suspension dans l'air sont semblables dans une grande zone, il sera peut-être suffisant de procéder à la collecte d'échantillons représentatifs en se déplaçant dans la zone, ou encore d'effectuer des prélèvements ponctuels dans des endroits stratégiques situés à l'intérieur de la zone. Cette dernière façon de procéder pourrait être particulièrement appropriée dans le cas des usines de traitement d'uranium, ou encore dans celui des voies d'accès ou endroits semblables des mines d'uranium.

Les échantillons destinés à la planification, à l'élaboration et à l'évaluation des travaux d'ingénierie et des procédés de production doivent être représentatifs des conditions qu'ils visent à évaluer, et donc être prélevés dans des endroits appropriés au moment opportun. Ainsi, pour déterminer l'incidence des modifications visant le système de ventilation d'une usine ou d'une mine, ou pour préparer l'installation d'un tel système, il peut être nécessaire de procéder à plusieurs collectes d'échantillons d'air dans divers endroits différents, tant avant et après l'exécution des modifications que dans le cours de telles modifications.

8.0 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

- a) Enregistrer le débit précédemment mesuré F (en L/min) de la pompe à prélèvement d'échantillons d'air, ainsi que l'efficacité précédemment calculée E et le rayonnement de fond (en CPM) précédemment déterminé du compteur de particules alpha qui sera utilisé pour détecter et enregistrer les particules émises.
- b) Réunir le matériel d'échantillonnage en le disposant selon la configuration prévue pour son utilisation. Fixer au porte-filtre un filtre non exposé, en le tenant par les bords sans toucher ses faces. Fixer solidement le porte-filtre au tuyau d'entrée de la pompe.
- c) Enregistrer l'endroit où s'effectue l'échantillonnage, la date et le numéro d'identification du porte-filtre auquel est fixé le papier filtre qui sera utilisé pour l'échantillonnage.
- d) Si l'échantillonnage s'effectue dans un endroit comportant une quantité importante de particules en suspension dans l'air ou dans un milieu très humide, veiller à ce que l'entrée du porte-filtre soit légèrement inclinée vers le bas et maintenir cette inclinaison pendant toute l'opération d'échantillonnage, ce qui contribuera à éviter que de la poussière ou de l'humidité ne se dépose sur la face exposée du filtre du tuyau d'entrée de la pompe, et ne le bloque ou l'endommage.
- e) Mettre en marche la pompe et le dispositif de chronométrage. Enregistrer l'heure du début de l'échantillonnage. Essayer de prélever les échantillons d'air pendant un intervalle à temps

fixe d'exactly 5 minutes. Si la pompe fonctionne pendant plus de 5 minutes et 3 secondes, prolonger la durée du prélèvement et du fonctionnement de la pompe jusqu'à 6 minutes. Observer le débit d'air F durant l'échantillonnage et mettre un terme à l'opération si le débit de la pompe diminue de 20 % ou plus. Vérifier périodiquement le matériel d'échantillonnage pour veiller à ce que le filtre ne soit ni bloqué ni obstrué, et que les tuyaux de la pompe soient toujours bien raccordés et libres de toute obstruction. Enregistrer l'heure de la fin de l'échantillonnage. Enregistrer l'intervalle de temps réel t_s (en minutes) de l'échantillonnage.

- f)* Lorsque l'échantillonnage est terminé, arrêter la pompe et détacher le porte-filtre auquel est fixé le filtre exposé. Ranger soigneusement l'assemblage du filtre exposé dans un contenant de protection. Pendant la manipulation, ne pas toucher la face exposée du filtre et éviter de remuer le filtre lui-même. Si des porte-filtres contenant un filtre exposé doivent être rangés avec des porte-filtres comportant un filtre non exposé dans un même contenant, placer ces derniers dans le boîtier de transport en veillant à ce que la face à exposer du filtre soit orientée vers le haut. Après l'échantillonnage, remettre l'assemblage du porte-filtre dans le boîtier de transport en plaçant la face exposée (admission) vers le bas.
- g)* S'il y a lieu de prélever d'autres échantillons, répéter les étapes *a)* à *f)* décrites ci-dessus.

9.0 COMPTAGE DES ÉCHANTILLONS ET CALCUL DES RÉSULTATS

Pour déterminer la concentration de produits de filiation du radon dans les échantillons d'air, compter les particules alpha émises par le filtre exposé et calculer les résultats, en suivant les étapes suivantes :

- a)* Transférer le filtre exposé de son propre porte-filtre au porte-filtre d'échantillon, fixe ou mobile, du compteur de particules alpha. Tenir le filtre par les bords, en utilisant des pinces fines. Veiller à ce que la face exposée du filtre se trouve du côté scintillant du compteur, en procédant le plus rapidement possible pour faire en sorte que le photomultiplicateur du compteur ne soit pas exposé plus que nécessaire à la lumière.
- b)* Amorcer et achever le comptage alpha du filtre exposé à l'intérieur de limites de temps bien définies. Commencer le comptage dans un délai n'excédant pas 40 minutes après la fin de l'échantillonnage, et veiller à ce que le milieu de l'intervalle de temps du comptage choisi soit atteint au plus tard 90 minutes après la fin du prélèvement de l'échantillon. Déterminer un intervalle de temps de comptage approprié. Cet intervalle correspond au temps pendant lequel les particules alpha émises par le filtre exposé seront mesurées. Cet intervalle est d'une durée de 5 minutes habituellement, mais des facteurs propres au cas considéré — la concentration anticipée des produits de filiation du radon présents dans l'air échantillonné, le volume d'air échantillonné et la précision des résultats du comptage souhaitée notamment — peuvent commander le choix d'un intervalle plus approprié. Pour ce faire, consulter l'annexe C, intitulée « Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha », qui fait état d'un certain nombre de rapports clés. Faire fonctionner le compteur en suivant les directives du fabricant. Observer et enregistrer l'heure du début et de la fin du comptage alpha.

- c) Observer et enregistrer l'intervalle de temps t_c (en minutes) du comptage alpha et le nombre net de coups C enregistrés par le compteur de particules alpha pendant cet intervalle — soit le nombre total de coups moins le nombre de coups imputable au rayonnement de fond du compteur pendant cet intervalle. Calculer et enregistrer l'intervalle de temps t_k (en minutes) qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha.
- d) Consulter l'annexe D ou d'autres références pour déterminer le facteur de correction de Kusnetz K correspondant à t_k , ou le calculer en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$K = 230 - 2t_k, \text{ si } 40 \leq t_k \leq 70$$

ou

$$K = 195 - 1,5t_k, \text{ si } 70 \leq t_k \leq 90$$

- e) Calculer la concentration de produits de filiation du radon en suspension dans l'air au moment de la collecte des échantillons à l'aide de l'équation suivante :

$$WL = \frac{C(1+S)}{F t_s t_c K E}$$

où :

- WL est la concentration d'unités alpha;
 C est le nombre net de coups enregistrés par le compteur de particules alpha pendant l'intervalle de temps t_c (en minutes), soit le nombre total de coups moins le nombre de coups imputable au rayonnement de fond du compteur pendant cet intervalle;
 S est le facteur de correction, selon l'annexe B, nécessaire pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage;
 F est le débit d'air (en L/min) lors de l'échantillonnage;
 t_s est l'intervalle de temps (en minutes) de l'échantillonnage d'air;
 t_c est l'intervalle de temps (en minutes) du comptage alpha;
 K est le facteur de correction de Kusnetz (en désintégrations par minute par litre par unité alpha);
 E est l'efficacité calculée du compteur de particules alpha.

GLOSSAIRE

compteur de particules alpha

Instrument conçu et fabriqué pour détecter et compter les particules alpha émises.

distribution binomiale

Distribution de la fréquence possible de succès d'un événement pour un nombre donné d'essais comportant la même probabilité de réussite.

distribution de Poisson

Distribution discrète de la fréquence probable de succès d'un événement pendant un intervalle de temps fixe, et ainsi baptisée suivant le nom du mathématicien français S. D. Poisson.

méthode de Kusnetz modifiée

Méthode retenue pour déterminer et exprimer, en énergie alpha latent, la concentration atmosphérique des produits de filiation du radon. Exige l'utilisation d'un compteur muni d'une échelle de comptage électronique des particules alpha émises.

produits de filiation du radon

Aux fins du présent guide, les quatre radionucléides solides à courte période — le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214 — qui se forment dans le cours de la désintégration du radon 222 en plomb 210.

test du chi carré

Méthode, décrite à l'annexe A, utilisée pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha.

unités alpha

Concentration, dans 1 m³ d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de $2,08 \times 10^{-5}$ J.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

1. Beckman, R. T., *Calibration Procedures for Radon and Radon Daughter Measurement Equipment*, « U.S. Department of the Interior, Informational Report 1005 », Washington (D. C.), 1975.
2. American National Standards Institute Inc., *Radiation Protection in Uranium Mines*, N13.8, New York, 1973.
3. *Code of Practice on Radiation Protection in the Mining and Milling of Uranium Ores*, Commonwealth Department of Health, Canberra, Australie, 1975.
4. Knoll, Glenn F., *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley and Sons, New York, 1989.
5. Kusnetz, H. L. « Radon Daughters in Mine Atmospheres — A Field Method for Determining Concentrations », *Industrial Hygiene Quarterly*, mars 1956, Alexandria (Virginie), p. 85.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements, *Measurement of Radon and Radon Daughters in Air*, « NCRP Report, n° 97 », 15 novembre 1988, Bethesda (Maryland).
7. Agence pour l'énergie nucléaire, Organisation de coopération et de développement économiques, *Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products*, Paris, 1985.
8. Agence internationale de l'énergie atomique, *Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores*, « Safety Series, n 95 », Vienne, 1989.
9. Rolle, R., « Improved Radon Daughter Monitoring Procedure », *American Industrial Hygiene Association Journal*, mars-avril 1969, American Industrial Hygiene Association, Alexandria (Virginie), p. 153.
10. Rolle, R., « Rapid Working Level Monitoring », *Health Physics*, vol. 22 (mars 1972), Pergamon Press, New York, p. 233.
11. Rolle, R., « Determination of Radon Daughters on Filters by Simple Liquid Scintillation Technique », *American Industrial Hygiene Association Journal*, novembre-décembre 1970, American Industrial Hygiene Association, Alexandria (Virginie), p. 718.
12. Thomas, J. W., « Modification of the Tsivoglou Method for Radon Daughters in Air », *Health Physics*, vol. 19 (novembre 1970), Pergamon Press, New York, p. 691.
13. Agence internationale de l'énergie atomique, *Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills*, « Safety Series, n° 43 », Vienne, 1976.
14. Rock, R. L., R. W. Dalzell et E. J. Harris, *Controlling Employee Exposure to Alpha Radiation in Underground Uranium Mines*, vol. 2, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington (D. C.), 1971.
15. Loysen, P., « Errors in Measurement of Working Level », *Health Physics*, vol. 16 (mai 1969), Pergamon Press, New York, p. 629.
16. McGeath, J. D., *How to Use Statistics*, Canfield Press, San Francisco, 1975.

ANNEXE A

Utilisation du test du chi carré pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha

Contexte

Dans le cas des sources étalons à longue période qui sont habituellement utilisées pour vérifier si un compteur de particules alpha fonctionne correctement, le nombre de transformations qui surviennent est plutôt faible comparativement au nombre d'atomes radioactifs présents dans ces sources étalons.

Statistiquement, lorsque la probabilité que se produise un événement — la désintégration radioactive par émission de particules alpha de la source étalon à longue période utilisée pour vérifier le fonctionnement du compteur de particules alpha, par exemple — est très faible (de beaucoup inférieure à 1), la distribution binomiale s'approche de la distribution de Poisson.

Une série de comptages du nombre de particules alpha émises par une source étalon radioactive permettra de comparer les écarts existant entre les résultats de ce comptage et ceux qui sont à prévoir si la probabilité correspond à celle d'une distribution de Poisson.

Dans l'application décrite ci-dessous, le test du chi carré (χ^2) est utilisé pour comparer les écarts existant entre les résultats de « comptages successifs » obtenus avec un compteur de particules alpha et ceux qui sont à prévoir, suivant une distribution de Poisson, lors du comptage alpha. Cette comparaison vise à relever toute incohérence dans ces écarts qui ne serait pas compatible avec la nature aléatoire de la désintégration radioactive. En effet, si les résultats obtenus avec un compteur pour une série de comptages et pour un échantillon radioactif donné (dans des conditions contrôlées) sont trop uniformes, et ne dénotent dès lors que de faibles écarts, il est alors probable que le compteur ne fonctionne pas de façon appropriée. Et il en va de même si ces écarts sont excessifs.

Méthode

Pour vérifier le rendement d'un compteur électronique à l'aide du test du chi carré, il conviendra de procéder de la façon suivante :

- a) Effectuer, avec le compteur soumis à l'examen, le comptage de l'activité alpha d'une source d'américium 241 dont le taux de désintégration est connu. Effectuer 10 comptages distincts, d'une durée de 1 minute chacun. Observer et enregistrer le nombre total de coups pour chacun des 10 comptages.
- b) Pour calculer le chi carré dans les cas précités :
 - effectuer la sommation du carré de l'écart entre les résultats de comptage observés pour les différents intervalles de 1 minute et la moyenne des résultats pour la période totale de comptage de 10 minutes;
 - diviser la somme ainsi obtenue par la moyenne des résultats pour la période totale de comptage de 10 minutes afin d'établir le chi carré pour le cas soumis à l'examen.

Le chi carré pourra ainsi être calculé en ayant recours à l'équation suivante :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\bar{X}}$$

- c) Si $3,33 \leq \chi^2 \leq 16,92$, les résultats obtenus pour le test du chi carré sont uniformes et le compteur fonctionne de façon cohérente.
- d) Si $\chi^2 < 3,33$ ou $\chi^2 > 16,92$, répéter le test du chi carré. Si les résultats obtenus pour ce test se situent toujours à l'extérieur de ces limites, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été réparé.

ANNEXE B

Méthode servant à déterminer les facteurs de correction pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage

Pour compenser les erreurs dues à l'absorption de particules alpha par le filtre en ester cellulosique ou en fibre de verre, un facteur de correction approprié doit être intégré au calcul de la concentration des produits de filiation du radon. Pour déterminer ce facteur de correction, il conviendra de procéder de la façon suivante :

- a) Prélever un échantillon de produits de filiation du radon, et le laisser se désintégrer pendant au moins 40 minutes, sans toutefois dépasser 90 minutes.
- b) Mesurer et enregistrer l'activité alpha A (en CPM) sur la face exposée du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; enregistrer l'heure de l'opération.
- c) Mesurer et enregistrer l'activité alpha B (en CPM) sur la face non exposée du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; enregistrer l'heure de l'opération.
- d) Au moyen d'un filtre identique non exposé, utilisé à titre d'absorbeur, et placé sur la face du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon, mesurer et enregistrer l'activité alpha C (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.
- e) Répéter l'étape b) pour obtenir la lecture D (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.
- f) Si $D < 0,9A$, répéter l'étape c) pour obtenir la lecture E (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.
- k) Utiliser les lectures A et D pour estimer la lecture F (en CPM) au moment où la lecture C a été obtenue. Utiliser les lectures B et E pour estimer la lecture G au moment où la lecture C a été obtenue.
- l) Calculer le facteur de correction pour l'absorption par le filtre S en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$S = \frac{B - C}{2A + B - C}$$

ou

$$S = \frac{G - C}{2F + G + C}$$

Pour un filtre en ester cellulosique, la valeur de S sera probablement inférieure à 0,02 et, pour un filtre en fibre de verre, elle pourrait être supérieure à 0,10.

ANNEXE C

Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha

Les données présentées dans le tableau suivant sont calculées pour un intervalle de temps t_k de 65 minutes entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha. Pour d'autres valeurs de t_k , les données seront proportionnellement différentes.

Concentration anticipée des produits de filiation du radon (en unités alpha)	Débit d'air échantillonné (en L/min)	Volume d'air échantillonné (en L)	Intervalle de temps (en minutes) du comptage alpha pour une précision des résultats de :		
			±2 %	±5 %	±10 %
0,05	2	10	150	30	6
	5	25	60	10	4
	10	50	30	6	2
0,10	2	10	80	20	4
	5	25	30	6	2
	10	50	20	4	1
0,20	2	10	40	6	2
	5	25	20	4	1
	10	50	10	2	1
0,40	2	10	20	4	1
	5	25	10	2	1
	10	50	4	1	1
0,80	2	10	10	2	1
	5	25	4	1	1
	10	50	2	1	1

Note :

Le tableau de la présente annexe illustre les relations caractéristiques entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, au nombre desquels figurent la concentration de ces produits dans l'air échantillonné, le débit et le volume d'air échantillonné et la précision des résultats selon l'intervalle de temps retenu pour le comptage alpha du filtre. Ainsi, par exemple, l'intervalle de temps de comptage nécessaire pour obtenir des résultats d'une précision semblable est inversement proportionnel au volume d'air échantillonné et à la concentration des produits de filiation du radon dans l'échantillon d'air. Pour des échantillons plus volumineux mais de concentration identique, un intervalle de temps de comptage alpha plus court suffira pour obtenir des résultats d'une précision semblable. Pour raccourcir l'intervalle de temps de comptage nécessaire pour un filtre exposé à une faible concentration de produits de filiation du radon, il conviendra d'avoir recours à une pompe de plus grande capacité, qui permettra d'échantillonner un plus grand volume d'air pour l'intervalle de temps d'échantillonnage précisé. Ou encore, dans le cas du prélèvement d'un échantillon d'air plus petit comportant une concentration plus faible de produits de filiation du radon, la précision des résultats sera accrue si l'intervalle de temps de comptage est plus long. Lorsque la concentration de produits de filiation du radon est de 0,05 unités alpha ou moins, un intervalle de temps de comptage offrant une précision de ±10 % conviendra. Les références 1 et 2 pourront être consultées pour déterminer les débits d'air appropriés pour l'échantillonnage et les intervalles de temps de comptage efficaces selon l'échantillon.

ANNEXE D

Détermination des facteurs de correction de Kusnetz à employer dans le calcul de la concentration des produits de filiation du radon

Intervalle de temps (en minutes)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
Facteur de correction de Kusnetz	150	148	146	144	142	140	138	136	134	132	
Intervalle de temps (en minutes)	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
Facteur de correction de Kusnetz	130	128	126	124	122	120	118	116	114	112	
Intervalle de temps (en minutes)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	
Facteur de correction de Kusnetz	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92	
Intervalle de temps (en minutes)	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	
Facteur de correction de Kusnetz	90	88,5	87	85,5	84	82,5	81	79,5	78	76,5	
Intervalle de temps (en minutes)	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Facteur de correction de Kusnetz	75	73,5	72	70,5	69	67,5	66	64,5	63	61,5	60

Note :

Le facteur de correction de Kusnetz peut être obtenu en consultant le tableau de la présente annexe, ou encore calculé en ayant recours à une équation.

Consultation du tableau

Pour l'intervalle de temps donné (en minutes) entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha, utiliser le facteur de correction de Kusnetz qui lui correspond sous la même colonne.

Par exemple :

- Pour un intervalle de temps de 60 minutes, le facteur de correction de Kusnetz s'établit à 110.
- Pour un intervalle de temps de 68 minutes, le facteur de correction de Kusnetz s'établit à 94.

Calcul du facteur de correction de Kusnetz

Calculer le facteur de correction de Kusnetz K en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$K = 230 - 2t_k, \text{ si } 40 \leq t_k \leq 70$$

ou

$$K = 195 - 1,5t_k, \text{ si } 70 \leq t_k \leq 90$$

où t_k est l'intervalle de temps (en minutes) qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha.