



NORME
D'APPLICATION DE LA
RÉGLEMENTATION

**Exigences techniques et d'assurance de
la qualité pour les services de dosimétrie**

S-106 RÉVISION 1

mai 2006

DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Les documents d'application de la réglementation appuient le cadre de réglementation de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Ils précisent les attentes qui sont formulées en termes généraux dans la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (LSRN)* et ses règlements d'application, et constituent l'un des principaux outils de gestion sur lesquels la CCSN s'appuie pour s'acquitter de ses obligations en vertu de la loi.

Les politiques, les normes et les guides d'application de la réglementation sont les documents de type réglementaire que la CCSN publie le plus souvent. Les politiques d'application de la réglementation ont un caractère plus général; elles orientent les normes et les guides qui servent d'instruments d'intervention. Au besoin, selon l'urgence, la CCSN fait appel à un quatrième type de document, l'avis d'application de la réglementation, dont l'élaboration est plus rapide.

Politique d'application de la réglementation (P) : La politique d'application de la réglementation décrit la philosophie, les principes ou les facteurs fondamentaux sur lesquels se fondent les activités de réglementation associées à un sujet ou à un domaine particulier. Elle explique pourquoi une activité de réglementation est justifiée et, par conséquent, elle apporte plus d'uniformité à l'interprétation des exigences réglementaires.

Norme d'application de la réglementation (S) : La norme d'application de la réglementation précise les attentes de la CCSN sur ce que le titulaire de permis doit faire, et devient une exigence légale lorsqu'elle est mentionnée par renvoi dans un permis ou un autre instrument contraignant. La norme d'application de la réglementation explique en détail les résultats auxquels la CCSN s'attend de la part des titulaires de permis.

Guide d'application de la réglementation (G) : Le guide d'application de la réglementation explique au titulaire de permis la façon dont il doit satisfaire aux exigences et aux attentes de la CCSN, et lui propose une approche à l'égard de certains aspects de ces exigences et les attentes qui s'appliquent à ses activités autorisées.

Avis d'application de la réglementation (N) : L'avis d'application de la réglementation avise les titulaires de permis et les autres parties intéressées des questions importantes qui nécessitent une intervention prompte.

**NORME
D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION**

S-106 révision 1

**EXIGENCES TECHNIQUES ET D'ASSURANCE DE LA
QUALITÉ POUR LES SERVICES DE DOSIMÉTRIE**

Publié par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
mai 2006

Exigences techniques et d'assurance de la qualité pour les services de dosimétrie
Norme d'application de la réglementation S-106 révision 1

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire

© Ministre des travaux publics et services gouvernementaux Canada 2006.

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.

Numéro de catalogue CC173-3/3-106-1F-PDF
ISBN 0-662-71924-7

*This document is also available in English under the title *Technical and Quality Assurance Requirements for Dosimetry Services.**

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 :

Bureau des communications et des affaires réglementaires
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Case postale 1046, Succursale B
280, rue Slater
Ottawa (Ontario) K1P 5S9

Téléphone : (613) 995-5894 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)
Télécopieur : (613) 992-2915
Courriel : publications@cnsccsn.gc.ca

TABLE DE MATIÈRES

1.0	OBJET	1
2.0	PORTÉE.....	1
3.0	LÉGISLATION PERTINENTE.....	1
4.0	EXIGENCES TECHNIQUES	2
4.1	Services de dosimétrie des rayonnements externes.....	2
4.1.1	Grandeurs à mesurer.....	3
4.1.2	Équivalent de dose minimal mesurable.....	4
4.1.3	Normes d'exactitude et limites d'incertitude.....	4
4.1.4	Essais de type.....	5
4.1.5	Essais de fonctionnement.....	6
4.1.6	Essais indépendants.....	7
4.1.7	Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine.....	8
4.2	Services de dosimétrie des rayonnements internes.....	10
4.2.1	Grandeurs à mesurer.....	11
4.2.2	Normes d'exactitude et de précision in vitro.....	13
4.2.3	Essais de fonctionnement pour les mesures in vitro.....	13
4.2.4	Essais indépendants pour les mesures in vitro.....	14
4.2.5	Normes d'exactitude et de précision in vivo.....	14
4.2.6	Essais indépendants pour les mesures in vivo.....	15
4.2.7	Interprétation des données du biodosage.....	16
4.3	Services de dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon.....	16
4.3.1	Grandeurs à mesurer.....	17
4.3.2	Exposition ou concentration minimale mesurable.....	18
4.3.3	Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon.....	18
4.3.4	Essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon.....	19
4.3.5	Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon.....	21
4.3.6	Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon.....	22
4.3.7	Essais de type pour les mesures de l'exposition au radon.....	23
4.3.8	Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon.....	25
4.4	Services de dosimétrie pour les incorporations de matières radioactives en suspension dans l'air.....	25
4.4.1	Grandeurs à mesurer.....	26
4.4.2	Exposition ou concentration minimale mesurable.....	26
4.4.3	Normes d'exactitude pour les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air.....	27
4.4.4	Documentation.....	27
5.0	EXIGENCES EN MATIÈRE D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ	28
5.1	Généralités.....	28
5.2	Exigences du programme d'assurance de la qualité.....	28
5.2.1	Politique de la direction.....	28
5.2.2	Description du programme d'assurance de la qualité.....	28

5.2.3	Revue par la direction	28
5.2.4	Organisation et autorité.....	29
5.2.5	Compétences du personnel.....	29
5.2.6	Approvisionnement	30
5.2.7	Contrôle du travail.....	30
5.2.8	Contrôle des modifications.....	31
5.2.9	Contrôle des documents	31
5.2.10	Étalonnage et entretien.....	32
5.2.11	Vérification	32
5.2.12	Non-conformité.....	33
5.2.13	Mesures correctives.....	33
5.2.14	Enregistrements.....	34
5.2.15	Vérifications indépendantes.....	34
GLOSSAIRE.....		37
RÉFÉRENCES.....		41
ANNEXE A. Exactitude et incertitude en dosimétrie externe		43
ANNEXE B. Normes relatives aux essais de type en dosimétrie externe		59
ANNEXE C. Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie photonique externe		65
ANNEXE D. Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie des extrémités		69
ANNEXE E. Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie neutronique.....		71
ANNEXE F. Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie interne.....		73
ANNEXE G. Normes relatives aux essais indépendants pour la mesure de l'exposition au radon et aux produits de filiation du radon		77
ANNEXE H. Exemples de calculs pour les mesures de la concentration minimale et incertitudes liées au comptage.....		79
ANNEXE I. Normes relatives aux dossiers de doses		83
ANNEXE J. Centres de référence en étalonnage.....		85

EXIGENCES TECHNIQUES ET D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ POUR LES SERVICES DE DOSIMÉTRIE

1.0 OBJET

La présente norme d'application de la réglementation, lorsqu'elle accompagne un permis de service de dosimétrie ou un autre instrument ayant force de loi, a pour objet d'assurer que les services de dosimétrie agréés respectent certaines exigences techniques et mettent en œuvre certaines mesures d'assurance de la qualité, conformément à la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (LSRN).

2.0 PORTÉE

La présente norme d'application de la réglementation établit les exigences techniques ainsi que les exigences en matière d'assurance de la qualité auxquelles tout service de dosimétrie agréé doit satisfaire lorsqu'une condition au permis délivré au service de dosimétrie l'exige.

3.0 LÉGISLATION PERTINENTE

Les dispositions suivantes de la *LSRN* et de ses règlements s'appliquent à la présente norme :

1. Paragraphe 24(4) de la *LSRN*, en vertu duquel « la Commission ne délivre, ne renouvelle, ne modifie ou ne remplace une licence ou un permis que si elle est d'avis que l'auteur de la demande, à la fois, a) est compétent pour exercer les activités visées par la licence ou le permis; b) prendra, dans le cadre de ces activités, les mesures voulues pour préserver la santé et la sécurité des personnes, pour protéger l'environnement, pour maintenir la sécurité nationale et pour respecter les obligations internationales que le Canada a assumées ».
2. Paragraphe 24(5) de la *LSRN*, en vertu duquel « les licences et les permis peuvent être assortis des conditions que la Commission estime nécessaires à l'application de la *Loi* ».
3. Article 18 du *Règlement sur la radioprotection*, qui stipule que « la demande de permis pour exploiter un service de dosimétrie comprend les renseignements suivants, outre ceux exigés par d'autres règlements :
 - a) une description du fonctionnement proposé du service de dosimétrie;
 - b) le programme d'assurance de la qualité, proposé;
 - c) les genres de services de dosimétrie proposés, y compris les types de rayonnement qui seront soumis au contrôle et les gammes d'énergies correspondantes;
 - d) la précision, l'exactitude et la fiabilité des services de dosimétrie proposés;

- e) les qualifications et le programme de formation proposés pour les travailleurs. »
4. Article 19 du *Règlement sur la radioprotection*, qui stipule que « le titulaire de permis qui exploite un service de dosimétrie dépose au Fichier dosimétrique national du ministère de la Santé, à la fréquence prévue dans le permis et sous une forme compatible avec le Fichier, les renseignements suivants à l'égard de chaque travailleur du secteur nucléaire pour qui le service a mesuré et contrôlé une dose de rayonnement :
- a) les prénoms, le nom de famille et tout nom de famille antérieur du travailleur;
 - b) le numéro d'assurance sociale du travailleur;
 - c) le sexe du travailleur;
 - d) la catégorie d'emploi du travailleur;
 - e) la date, la province et le pays de naissance du travailleur;
 - f) le degré d'exposition du travailleur aux produits de filiation du radon;
 - g) la dose efficace et la dose équivalente reçues par le travailleur et engagées à son égard. »
5. Paragraphe 28(1) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, qui stipule que « la personne qui est tenue de conserver un document aux termes de la Loi, de ses règlements ou d'un permis, le fait pour la période indiquée dans le règlement applicable ou, à défaut, pendant une année suivant l'expiration du permis qui autorise l'activité pour laquelle les documents sont conservés ».
6. Paragraphe 28(2) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, qui stipule qu'il « est interdit à quiconque d'aliéner un document mentionné dans la Loi, ses règlements ou un permis à moins :
- a) de ne plus être tenu de le conserver aux termes de la Loi, de ses règlements ou du permis;
 - b) de donner à la Commission un préavis d'au moins 90 jours indiquant la date d'aliénation et la nature du document. »

4.0 EXIGENCES TECHNIQUES

Les exigences techniques énoncées dans la présente section s'appliquent de façon particulière à la dosimétrie externe, à la dosimétrie interne et à la mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon, du radon et des matières radioactives en suspension dans l'air. Ces exigences s'appliquent à la fois aux services commerciaux et non-commerciaux de dosimétrie.

4.1 Services de dosimétrie des rayonnements externes

Tout service de dosimétrie externe doit respecter les exigences suivantes :

1. identifier, à l'étape de la demande de permis, les types de rayonnement et les gammes d'énergie respectives prévues auxquels les dosimètres seront exposés lors de leur utilisation;
2. mesurer la grandeur d'intérêt en respectant les normes d'exactitude et les limites d'incertitude qui s'appliquent à cette grandeur, tel qu'indiqué à la section 4.1.3, « Normes d'exactitude et limites d'incertitude »;
3. prouver qu'il est capable de satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type à l'étape de la demande de permis et lorsque des changements sont apportés, tel qu'indiqué à la section 4.1.4, « Essais de type »;
4. prouver qu'il fonctionne de manière prévisible et cohérente en effectuant des essais de fonctionnement routines et ponctuels, tel qu'indiqué à la section 4.1.5, « Essais de fonctionnement »;
5. soumettre son fonctionnement et l'étalonnage de son système à des essais indépendants, tel qu'indiqué à la section 4.1.6, « Essais indépendants ».
6. aviser immédiatement la CCSN par écrit (format électronique acceptable) en cas d'échec à un de ses essais périodiques (essai de fonctionnement ou essai indépendant);
7. soumettre à la CCSN, dans les trente (30) jours, un rapport écrit détaillé, dans lequel seront précisés la cause et les conséquences de l'échec à un essai périodique, ainsi qu'une description des mesures correctrices qui ont été prises;
8. répéter l'essai manqué le plus tôt possible en consultation avec la CCSN, et présenter les résultats à la CCSN.

Si le service de dosimétrie externe échoue de nouveau, lors d'un deuxième essai consécutif, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

Remarque : Les exigences précisées dans cette section et dans les sections 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 et 4.1.6 ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique. Les exigences applicables aux services de dosimétrie neutronique sont définies dans la section 4.1.7, « Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine ».

4.1.1 Grandeurs à mesurer

4.1.1.1 Torse

La grandeur à mesurer est l'« équivalent de dose individuel » $H_p(d)$ tel que défini dans le rapport 47^[1] de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Les valeurs de « d » diffèrent selon la profondeur des tissus, comme suit:

1. la valeur est de 0,07 mm pour la dose superficielle (ou « à la peau ») ; et
2. la valeur est de 10 mm pour la dose profonde (ou « au corps entier ») .

La valeur conventionnellement vraie de « d » est utilisée comme valeur de référence pour évaluer les erreurs de mesure. Dans les sections qui suivent, $H_{p,c}(d)$ désigne la valeur conventionnellement vraie de la quantité $H_p(d)$. Pour de plus amples renseignements, voir la section A.2 de l'annexe A, « Exactitude et incertitude en dosimétrie externe ».

4.1.1.2 Extrémités

La quantité à mesurer pour une extrémité particulière est l'équivalent de dose à une profondeur de 0,07 mm. Dans le présent document, cette quantité est représentée par H_e ; il s'agit de la profondeur recommandée dans la publication 60 ^[2], de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Dans les sections qui suivent, $H_{e,c}$ désigne la valeur conventionnellement vraie de la grandeur H_e . Pour de plus amples renseignements sur les valeurs conventionnellement vraies, voir la section A.2 de l'annexe A, « Exactitude et incertitude en dosimétrie externe ».

4.1.2 Équivalent de dose minimal mesurable

Le service de dosimétrie doit déterminer les valeurs les plus basses de $H_{p,c}(d)$ et $H_{e,c}$ qu'il peut mesurer avec un niveau de confiance de 95 %. Ces valeurs devront être déterminées dans de bonnes conditions de laboratoire, alors que le rayonnement habituel de référence (étalonnage) est en incidence normale sur le dosimètre.

La méthode utilisée pour déterminer ces valeurs est laissée à la discrétion du service de dosimétrie. Cependant, la référence utilisée devra être indiquée dans la demande de permis.

4.1.3 Normes d'exactitude et limites d'incertitude

Les exigences relatives aux normes d'exactitude et aux limites d'incertitude énoncées dans la présente section ne s'appliquent pas à la dosimétrie neutronique.

Le tableau 1 résume les normes générales d'exactitude et de précision. Les essais de type, décrits dans la section 4.1.4, « Essais de type » et dans l'annexe B « Normes relatives aux essais de type en dosimétrie externe », déterminent la capacité d'un système de dosimétrie de satisfaire à ces normes. Les méthodes de calcul utilisées pour analyser les résultats des essais de type sont décrites dans la section A.3 de l'annexe A, « Exactitude et incertitude en dosimétrie externe ». La section A.4 de l'annexe A fournit des exemples de calcul.

Tableau 1 : Normes d'exactitude et de précision

Grandeur	Dose (mSv)	Normes
$H_{p,c}(10)$	4 à 10 000	-33 % / +50 %
	0,4	-50 % / +100 %
$H_{p,c}(0,07)$	100 à 10 000	-33 % / +50 %
	10	-50 % / +100 %
$H_{e,c}$	100 à 10 000	-67 % / +200 %
	10	-67 % / +200 %

4.1.4 Essais de type

Les exigences énoncées dans la présente section, relatives aux essais de type et à la documentation des essais de type ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique.

Le service de dosimétrie doit respecter les exigences suivantes :

1. démontrer la capacité de son système de dosimétrie de satisfaire aux normes générales en procédant à des essais de type à l'étape de la demande de permis;
2. reprendre les essais de type, lorsque le service de dosimétrie fait des changements¹ susceptibles d'affecter le résultat d'une mesure de dose, de façon à démontrer qu'il continue de satisfaire aux exigences indiquées dans le tableau 1 de la section 4.1.3, « Normes d'exactitude et limites d'incertitude »;
3. présenter à la CCSN les résultats des essais de type qui ont été repris à la suite de changements apportés au système, avec la documentation indiquée dans la section 4.1.4.1, « Documentation », et obtenir l'autorisation de la CCSN avant d'utiliser le système ainsi modifié; et
4. respecter les normes énoncées dans l'annexe B, « Normes relatives aux essais de type en dosimétrie externe ».

4.1.4.1 Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1. les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système qui ont été

¹ Ces changements peuvent être par exemple une modification de la conception du dosimètre, des filtres de l'étui du dosimètre personnel, de l'algorithme de dose ou des cycles de température (pour les dosimètres thermoluminescents, ou DTL).

examinés ainsi que la gamme de leurs valeurs possibles, selon l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;

2. les exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale; et
3. la justification des hypothèses formulées et des techniques utilisées.

4.1.5 Essais de fonctionnement

Les exigences énoncées dans la présente section, relatives aux essais de fonctionnement de routine et aux essais de fonctionnement spéciaux ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique. Les renseignements sur les exigences relatives aux services de dosimétrie neutronique sont indiqués à la section 4.1.7, «Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine».

4.1.5.1 Essais de fonctionnement de routine

Le service de dosimétrie doit effectuer des essais de fonctionnement de routine.

Le service de dosimétrie doit prévoir des essais de fonctionnement de routine pendant chaque période d'utilisation de routine des dosimètres. Pour les services commerciaux de dosimétrie, des essais de fonctionnement mensuels sont acceptables. Pour les dosimètres d'extrémité, on doit effectuer des essais de fonctionnement au moins une fois par trimestre. La fréquence et la nature des essais de fonctionnement spéciaux doivent être précisées dans la demande de permis.

Pour les essais de fonctionnement de routine, le service de dosimétrie doit se conformer aux exigences suivantes :

1. irradier les dosimètres d'essai à des doses connues, généralement dans des conditions types d'exposition (à incidence normale avec le rayonnement d'étalonnage, par exemple);
2. traiter les dosimètres d'essai de la même manière que les dosimètres ordinaires; s'ils doivent faire l'objet d'un traitement, on n'indiquera pas au laboratoire chargé de ce traitement qu'il s'agit de dosimètres d'essai;
3. inclure dans les essais d'irradiations, des doses comparables ou inférieures aux valeurs minimales indiquées dans le tableau 1 de la section 4.1.3, « Normes d'exactitude et limites d'incertitude »; et
4. fixer, en consultation avec le personnel de la CCSN, des limites de contrôle pour les résultats des essais.

Le service de dosimétrie peut tenir constantes les conditions et les doses d'irradiation pour permettre une meilleure analyse des tendances.

4.1.5.2 Essais de fonctionnement spéciaux

Outre les essais de fonctionnement de routine, le service de dosimétrie doit effectuer à l'occasion, des essais de fonctionnement spéciaux pour vérifier si le fonctionnement du système dosimétrique correspond toujours aux résultats obtenus lors des essais de type.

Lors des essais de fonctionnement spéciaux, le service de dosimétrie devra soumettre les dosimètres à un sous-ensemble des grandeurs d'influence jugées significatives à la suite des essais de type, et auxquels la réponse du système aurait pu changé par suite du vieillissement ou du remplacement d'éléments.

4.1.5.3 Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1. les procédures des essais de fonctionnement de routine; et
2. les résultats des essais de fonctionnement de routine et spéciaux.

Le service de dosimétrie doit soumettre les procédures des essais de fonctionnement de routine à la CCSN, afin d'obtenir son approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.1.6 Essais indépendants

Les exigences énoncées dans la présente section, relatives aux essais indépendants ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique.

Les exigences relatives aux essais indépendants sont les suivantes :

1. avant d'obtenir leurs permis, les services de dosimétrie externe sont tenus de réussir les essais indépendants, pour chacun de leurs types de dosimètre ;
2. une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois ;
3. les essais indépendants doivent être effectués par le centre de référence en étalonnage désigné pour la dosimétrie externe au Canada (voir l'annexe J) ;
4. le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe C, « Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie photonique externe », ou l'annexe D, « Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie des extrémités », selon le cas ; et
5. si le service de dosimétrie dispose de dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des DTL, par exemple) et qu'il emploie plus d'une unité de traitement (des lecteurs DTL, par exemple), on doit vérifier chacune de ces unités tous les ans en s'en servant pour traiter au moins un jeu de dosimètres d'essai irradiés par le centre de référence en étalonnage.

Remarque : Néanmoins, si le service de dosimétrie peut apporter une preuve écrite que toutes ses unités de traitement ont une réponse uniforme, il lui suffira de soumettre annuellement l'une d'entre elles à l'essai effectué par le centre de référence en étalonnage. Pour établir, dans ce dernier cas, la cohérence de réponse des unités de traitement, le service de dosimétrie doit démontrer que la réponse moyenne (c'est-à-dire, la dose calculée en moyenne) d'un jeu de dosimètres traités par une unité quelconque se situe à $\pm 5\%$ (au niveau de confiance de 95 %) de la moyenne des réponses obtenues avec toutes les unités de traitement. De plus, le coefficient de variation des dosimètres traités par chaque unité ne doit pas dépasser 0,075 dans le cas des dosimètres de corps entier et 0,2 dans le cas des dosimètres d'extrémités.

4.1.6.1 Normes d'exactitude

Les normes d'exactitude auxquelles le service de dosimétrie doit satisfaire dans chacun des essais indépendants en dosimétrie photonique et bêta sont représentées dans le tableau 2 par la réponse moyenne, \bar{R} , et le coefficient de variation des réponses pour l'ensemble des relevés. Lorsque les dosimètres sont portés sur le torse, la réponse moyenne correspond à l'ensemble des relevés des kermas de l'air (ou expositions) reçus. Lorsque les dosimètres sont portés aux extrémités, la réponse moyenne correspond à l'ensemble des relevés des doses tissulaires délivrées.

Tableau 2 : Normes d'exactitude pour les dosimètres

Dosimètre	Réponse moyenne, \bar{R}	Coefficient de variation
Porté sur le torse	$0,9 \leq \bar{R} \leq 1,1$	$\leq 0,075$
Porté aux extrémités	$0,80 \leq \bar{R} \leq 1,25$	$\leq 0,2$

Remarque : Pour ces essais, la réponse indiquée dans le tableau 2 est définie par rapport à la valeur conventionnellement vraie de la grandeur appropriée.

4.1.7 Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine

Le service de dosimétrie neutronique doit se conformer aux exigences suivantes :

1. veiller à la compatibilité entre ses dosimètres neutroniques et les champs de rayonnement neutronique dans lesquels ils seront utilisés, et, s'il y a lieu, fournir une description des sources de neutrons et des spectres prévus des rayonnements neutroniques auxquels les travailleurs seront exposés;
2. fournir des descriptions techniques détaillées des dosimètres et du matériel connexe;
3. consigner les données et préparer des rapports contenant des renseignements quantitatifs sur le fonctionnement des dosimètres et du service (il n'est pas

tenu d'effectuer des essais de type, sauf pour vérifier que le spectre du rayonnement neutronique est compatible avec les champs auxquels les travailleurs risquent d'être exposés); et

4. assurer la traçabilité de l'étalonnage de son système, directement au centre de référence en étalonnage (voir l'annexe J) ou à un autre laboratoire national ou international agréé, en consultation avec la CCSN.

Les exigences susmentionnées s'appliquent également aux radiamètres à neutrons que le service de dosimétrie pourrait utiliser à la place des dosimètres neutroniques individuels. Dans ce cas, le service de dosimétrie doit également mettre en place un programme d'étalonnage périodique avec le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J) ou tout autre laboratoire national ou international agréé, en consultation avec la CCSN.

4.1.7.1 Documentation

En plus, du contenu du point 3 de la section 4.1.7, les renseignements suivants, doivent être consignés en tant que données et fournies dans des rapports :

1. une description de la source d'étalonnage, du champ d'étalonnage, et une indication du protocole d'étalonnage utilisé;
2. la réponse en énergie des dosimètres en termes d'équivalent de dose;
3. une indication des limitations du système de dosimétrie et une estimation qualitative de son exactitude et de sa précision dans la mesure de $H_{p,c}(10)$, dans les conditions dans lesquelles les dosimètres seront utilisés, y compris une indication de la variabilité associée au traitement;
4. une estimation de la valeur de $H_{p,c}(10)$ la plus faible que le système de dosimétrie est capable de mesurer avec un niveau de confiance de 95 %; et
5. la dose minimale à déclarer.

4.1.7.2 Essais indépendants

Le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants, effectués par le centre de référence en étalonnage (voir l'annexe J), avant d'obtenir son permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, après obtention du permis.

Ces essais permettent au service de dosimétrie de faire la preuve, à intervalles réguliers, qu'il fonctionne de façon uniforme. Les critères d'uniformité sont établis durant l'étape de la demande de permis. Le tableau 3 indique les normes à respecter pour l'ensemble des relevés.

Tableau 3 : Normes d'exactitude pour les dosimètres neutroniques

Dosimètre	Réponse moyenne, \bar{R}	Coefficient de variation des réponses
Tous types	$0,7 \leq \bar{R} \leq 1,5$	$\leq 0,25$

Lorsque des radiamètres à neutrons sont utilisés en dosimétrie, les exigences relatives à un essai annuel indépendant peuvent s'ajouter aux exigences mentionnées à la section 4.1.7, « Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine », pour l'étalonnage périodique. Il suffit d'envoyer un seul radiamètre à neutrons pour le soumettre à un de ces essais, pour autant que tout autre radiamètre à neutrons utilisé par le service de dosimétrie soit étalonné en fonction du radiamètre à neutrons qui a été envoyé au centre de référence en étalonnage.

Le service de dosimétrie doit satisfaire aux normes énoncées dans l'annexe E, « Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie neutronique ».

4.1.7.3 Essais de fonctionnement

Le service de dosimétrie doit satisfaire aux exigences suivantes :

1. mettre en place un programme d'essais de fonctionnement périodiques pour les systèmes de dosimétrie;
2. réaliser des essais de fonctionnement à intervalles réguliers, tel que déterminé en consultation avec la CCSN; et
3. présenter à la CCSN la documentation pertinente, y compris la fréquence des essais, à l'étape de la demande de permis.

4.1.7.4 Documentation

Les doses neutroniques doivent être consignées et déclarées séparément des autres types de dose.

4.2 Services de dosimétrie des rayonnements internes

Tout service de dosimétrie des rayonnements internes doit satisfaire aux exigences suivantes :

1. mesurer les activités et les activités volumiques de certains radionucléides, tel qu'indiqué à la section 4.2.1, « Grandeurs à mesurer »;
2. mesurer la grandeur d'intérêt, avec l'exactitude et la précision prescrites, tel qu'indiqué aux sections 4.2.2, « Normes d'exactitude et de précision in vitro » et 4.2.5, « Normes d'exactitude et de précision in vivo »;

3. prouver que le service de dosimétrie interne fonctionne de manière prévisible et cohérente, en réalisant des essais de fonctionnement, tel qu'indiqué à la section 4.2.3, « Essais de fonctionnement pour les mesures in vitro »;
4. prouver que le service de dosimétrie interne fonctionne de manière fiable en se soumettant à des essais indépendants, tel qu'indiqué aux sections 4.2.4, « Essais indépendants pour les mesures in vitro » et 4.2.6, « Essais indépendants pour les mesures in vivo »;
5. contrôler les doses, tel qu'indiqué à la section 4.2.7, « Interprétation des données du biodosage »;
6. aviser immédiatement la CCSN, par écrit (format électronique acceptable), lorsqu'il échoue à un des ses essais périodiques (essai de fonctionnement ou essai indépendant) ;
7. soumettre à la CCSN, dans les trente (30) jours, un rapport écrit détaillé dans lequel seront précisées la cause et les conséquences de l'échec à un essai périodique ainsi qu'une description des mesures correctives qui ont été prises; et
8. répéter l'essai manqué le plus tôt possible en consultation avec la CCSN et présenter les résultats à la CCSN.

Si le service de dosimétrie interne échoue de nouveau, lors d'un deuxième essai consécutif, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

4.2.1 Grandeurs à mesurer

Les services de dosimétrie des rayonnements internes doivent être capables de mesurer des activités et des activités volumiques² égales aux niveaux minimaux d'essai (NME) indiqués dans le tableau 4³ pour les radionucléides visés par leurs permis. Les valeurs supérieures à celles indiquées dans le tableau 4 peuvent être utilisées comme NME si le service de dosimétrie interne est en mesure de démontrer que la conséquence des doses est peu importante (c.-à-d. inférieure à 1 millisievert (mSv) par année). Cela n'empêche pas les services de dosimétrie de réaliser leurs essais de fonctionnement pour à des niveaux inférieurs aux NME.

Pour simuler les conditions de travail, on pourra introduire des radionucléides autres que ceux indiqués dans le tableau 4 durant les essais indépendants requis, qui sont décrits dans les sections 4.2.4, « Essais indépendants pour les mesures in vitro » et 4.2.6, « Essais indépendants pour les mesures in vivo ». Ces radionucléides ne sont pas considérés comme faisant partie de l'essai; ils sont seulement ajoutés pour provoquer des interférences et mettre ainsi au défi le système d'analyse du service de dosimétrie. Par conséquent, le service de dosimétrie peut très bien réussir l'essai sans identifier ces radionucléides ou

² Les activités et les activités volumiques sont mesurées en becquerels (Bq) et en becquerels par litre (Bq/L).

³ La liste des radionucléides figurant au tableau 4 n'est pas exhaustive pour ce qui est des produits de fission et des produits d'activation, mais elle est représentative pour ce qui est de démontrer l'efficacité des techniques de mesure.

mesurer leur activité. Toutefois, le service de dosimétrie peut échouer à l'essai s'il n'apporte pas les corrections nécessaires pour tenir compte de ces interférences.

Tableau 4 : Niveaux minimaux d'essai (NME)

Radionucléide	Biodosage <i>in vitro</i> de l'urine (Bq/L)	Biodosage <i>in vivo</i> (Bq)
Hydrogène 3 (HTO)	2 000	test non disponible
Carbone 14	2 000	3 x 10 ⁵ (poumon)
Fer 59	test non disponible	2 500
Cobalt 57 ^a	25	2 500
Cobalt 60	25	2 500
Strontium 90	2	test non disponible
Zirconium 95 + Niobium 95	test non disponible	2 000
Antimoine 124	test non disponible	2 000
Iode 125 ^b	20	1 000
Iode 131 ^c	20	1 000
Césium 137	20	2 000
Cérium 144	250	25 000
Radium 226	0,05	5 000
Thorium 230	0,02	test non disponible
Thorium naturel ^d	0,02	150 (poumon)
Uranium naturel ^e	25 µg/L	20 mg (poumon)
Uranium 235	0,02	30 (poumon)
Plutonium 238/239/240	0,01	9 000 (poumon)
Américium 241	0,05	100 (poumon)

Remarque :

- a) Le ⁵⁷Co est utilisé pour remplacer le ¹⁴⁴Ce.
 b) Si l'on utilise du ¹²⁹I pour remplacer le ¹²⁵I, les mêmes NME que ceux du ¹²⁵I s'appliquent.
 c) Si l'on utilise du ¹³³Ba pour remplacer le ¹³¹I, les mêmes NME que ceux du ¹³¹I s'appliquent.
 d) Un gramme de thorium naturel contient des quantités égales de ²³²Th et de ²²⁸Th, soit 4,06 × 10³ Bq. Leur pourcentage massique est respectivement de 99,9999 % pour le ²³²Th et de 1,3 × 10⁻⁸ % pour le ²²⁸Th, alors que l'activité spécifique est de 8,12 × 10³ Bq/gramme (g).
 e) Un gramme d'uranium naturel contient des quantités égales de ²³⁴U et de ²³⁸U, soit 1,26 × 10⁴ Bq, ainsi que 569 Bq de ²³⁵U. Leur pourcentage massique est respectivement de 99,2837 % pour le ²³⁸U, de 0,7110 % pour le ²³⁵U et de 0,0053 % pour le ²³⁴U, alors que l'activité spécifique est de 2,52 × 10⁴ Bq/g.

4.2.2 Normes d'exactitude et de précision *in vitro*

Les normes d'exactitude et de précision *in vitro* pour les essais indépendants et les essais de fonctionnement sont indiquées dans le tableau 5. Pour évaluer le respect des normes d'exactitude, on doit considérer séparément le biais et la précision. Le biais relatif moyen B doit être calculé à partir de relevés répétés, A_i , de chaque activité volumique ou niveau d'activité A . Comme le biais est souvent plus grand à des activités volumiques moindres, proches des seuils de détection, qu'à des activités volumiques élevées, les essais des laboratoires du service de dosimétrie doivent être effectués en prenant en compte plusieurs activités volumiques égales ou supérieures au NME.

Tableau 5 : Normes d'exactitude et de précision

Biais relatif moyen (B)	Précision relative (S_B) (valeur absolue)
$-0,25 \leq B \leq 0,50$	$\leq 0,40$

4.2.3 Essais de fonctionnement pour les mesures *in vitro*

Le service de dosimétrie doit effectuer des essais de fonctionnement périodiques. Il doit prévoir des dispositions relatives à de tels essais pour les biodosages *in vitro*, qui doivent être effectués au moins une fois par trimestre, ou pour les mesures *in vitro* moins fréquentes, à une fréquence déterminée en consultation avec la CCSN.

Pour effectuer les essais de fonctionnement périodiques, le service de dosimétrie doit respecter les exigences suivantes :

1. préparer les échantillons d'essai de manière à obtenir des activités volumiques qui ne sont pas connues de la personne qui analyse l'échantillon;
2. déterminer l'activité volumique des échantillons d'essai;
3. traiter les échantillons d'essai de la même façon, et de telle sorte que l'on ne puisse les distinguer des échantillons de biodosage *in vitro* ordinaires; et
4. inclure dans les essais de fonctionnement les mêmes catégories de radionucléides que celles qui sont incluses dans les essais indépendants auxquels le service de dosimétrie participe.

4.2.3.1 Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1. les procédures des essais de fonctionnement; et

2. les résultats des essais de fonctionnement.

Le service de dosimétrie doit soumettre les procédures des essais de fonctionnement à la CCSN, afin d'obtenir son approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.2.4 Essais indépendants pour les mesures *in vitro*

Avant d'obtenir leurs permis, les services de dosimétrie interne sont tenus de se soumettre à des essais indépendants. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois ou à toute autre fréquence établie en consultation avec la CCSN.

Si le service de dosimétrie utilise plus d'un instrument de mesure (plusieurs compteurs à scintillation liquide pour l'analyse du tritium, par exemple), les instruments qui n'ont pas été utilisés pour l'essai indépendant devront être vérifiés à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, en les comparant à l'instrument de mesure soumis à l'essai indépendant. Le laboratoire est tenu de faire la preuve que tous les autres instruments de mesure satisfont également aux normes d'exactitude et de précision. Les facteurs tels que la récupération chimique, l'extinction, la gamme des activités volumiques et les méthodes de préparation des échantillons devront, le cas échéant, être pris en compte.

Le service de dosimétrie doit faire effectuer les essais indépendants par le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J), à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie. Si le centre de référence en étalonnage approprié n'offre pas l'essai, le service de dosimétrie doit demander à la CCSN l'autorisation de faire appel à un autre organisme.

La capacité d'analyse des services de dosimétrie doit également être vérifié aux niveaux d'activité rencontrés lors du contrôle périodique du personnel, ainsi qu'aux niveaux prévus à la suite d'expositions accidentelles. Les échantillons d'essai seront « ensemencés » d'une quantité connue d'activité traçable qui sera égale ou supérieure au NME. On vérifiera la reproductibilité des mesures en fournissant plusieurs échantillons identiques pour chaque niveau d'activité.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe F, « Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie interne ».

4.2.5 Normes d'exactitude et de précision *in vivo*

Le tableau 6 indique les normes d'exactitude et de précision *in vivo* pour les essais indépendants. Pour évaluer le respect des normes d'exactitude, on doit considérer séparément le biais et la précision. Le biais relatif moyen B doit être calculé à partir des relevés, A_i , de chaque activité volumique ou niveau d'activité A inclus dans l'essai. Comme le biais est souvent plus grand à des activités volumiques moindres, proches des seuils de détection, qu'à des activités volumiques élevées,

les essais des laboratoires du service de dosimétrie seront effectués en prenant en compte plusieurs activités volumiques égales ou supérieures au NME.

Tableau 6 : Normes d'exactitude et de précision *in vivo*

Biais relatif moyen (B)	Précision du biais (P_B) (valeur absolue)
$-0,25 \leq B \leq 0,50$	$\leq 0,40$

4.2.6 Essais indépendants pour les mesures *in vivo*

Le service de dosimétrie interne doit effectuer et réussir des essais indépendants avant de se voir octroyer un permis. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois ou à toute autre fréquence établie en consultation avec la CCSN.

Le service de dosimétrie doit se soumettre aux essais indépendants au moins une fois tous les 12 mois, même si aucun changement n'est apporté au système de mesure, afin de pouvoir démontrer qu'il demeure compétent. Il faut alors tenir compte, le cas échéant, de facteurs comme les variations de la répartition de la source dans le fantôme, les changements dans le rayonnement de fond ambiant et les erreurs de positionnement.

Le service de dosimétrie doit faire effectuer les essais indépendants par le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J), à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie. Si le centre de référence en étalonnage approprié n'offre pas l'essai, le service de dosimétrie doit demander à la CCSN l'autorisation de faire appel à un autre organisme.

Si le service de dosimétrie apporte des modifications aux détecteurs, à la géométrie de comptage ou à l'électronique du système de mesure, susceptibles d'affecter l'étalonnage, de nouveaux essais indépendants devront être effectués. Les fantômes utilisés pour l'étalonnage à des énergies gamma de moins de 100 keV doivent être composés de matériaux équivalents aux tissus organiques et doivent être anthropomorphiques. Dans le cas des énergies gamma supérieures à 100 keV, les fantômes faits d'autres matériaux sont acceptables.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes définies dans l'annexe F, « Normes relatives aux essais indépendants en dosimétrie interne ».

4.2.7 Interprétation des données du biodosage

4.2.7.1 Contrôle de la dose efficace engagée

Les services de dosimétrie interne doivent contrôler et enregistrer la dose efficace engagée reçue par les travailleurs en fonction des types de mesures mentionnées dans le permis, en tenant compte des paramètres humains physiologiques appropriés et d'autres renseignements pertinents sur les conditions d'exposition. La méthode employée pour contrôler la dose doit être présentée à la CCSN en vue d'une approbation.

Au moment de contrôler la dose efficace engagée reçue par un travailleur, les services de dosimétrie doivent tenir compte des paramètres propres au site, à moins que d'autres valeurs (par exemple les valeurs par défaut) ont été antérieurement approuvées par la CCSN. Tous les paramètres clés doivent être documentés.

4.2.7.2 Essais indépendants

Les exigences relatives aux essais indépendants pour l'interprétation des données du biodosage comprennent notamment :

1. les services de dosimétrie interne doivent réaliser des essais indépendants pour l'interprétation des données du biodosage à intervalles réguliers fixés par la CCSN;
2. des essais indépendants doivent être effectués, même si aucun changement n'est apporté aux procédures, afin de pouvoir démontrer que le service de dosimétrie demeure compétent. Le service de dosimétrie contrôle la dose efficace engagée à partir de scénarios d'exposition hypothétiques qui sont pertinents pour les activités réalisées par les titulaires de permis de la CCSN qui ont recours au service de dosimétrie ; et
3. le service de dosimétrie interne doit faire effectuer les essais indépendants par le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J), à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie.

4.2.7.3 Documentation

Le service de dosimétrie interne doit présenter les procédures de contrôle de la dose efficace engagée reçue par les travailleurs à la CCSN en vue d'une approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.3 Services de dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon

Les expositions individuelles au radon et aux ses produits de filiation du radon sont estimées à l'aide d'instruments d'échantillonnage instantané, qui sont joints à des relevés de durée de séjour ou à partir de moniteur individuel.

Le service de dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon doit satisfaire aux exigences suivantes :

1. déterminer la concentration dans l'air ou l'exposition la plus faible que le service de dosimétrie peut mesurer à un niveau de confiance de 95 %, avec l'exactitude globale prescrite, tel qu'indiqué à la section 4.3.2, « Exposition ou concentration minimale mesurable »;
2. mesurer la grandeur concernée en respectant les normes d'exactitude et les limites d'incertitude qui s'appliquent à cette grandeur, tel qu'indiqué aux sections 4.3.3, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon », et 4.3.6, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon »;
3. faire la preuve qu'il est en mesure de satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type, tel qu'indiqué aux sections 4.3.4, « Essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon », et 4.3.7, « Essais de type pour les mesures de l'exposition au radon »; et
4. faire la preuve qu'il fonctionne de manière fiable en se soumettant à des essais indépendants, tel qu'indiqué aux sections 4.3.5, « Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon », et 4.3.8, « Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon ».

4.3.1 Grandeurs à mesurer

Les grandeurs à mesurer comportent les caractéristiques suivantes :

1. la concentration dans l'air d'énergie potentielle alpha venant de produits de filiation du radon à courte période ;
2. l'exposition à ces mêmes produits en suspension dans l'air ; et
3. la concentration de radon dans l'air.

Il existe des unités historiques et des unités SI (Système international d'unités) ou compatibles SI de mesure de la concentration dans l'air de produits de filiation du radon à courte période et de l'exposition à ces produits. Dans la présente section, les unités historiques sont indiquées en premier lieu, avec, entre parenthèses, les unités SI ou compatibles SI.

L'unité alpha (WL) est l'unité historique de mesure de la concentration de produits de filiation du radon dans l'air. L'unité SI correspondante est le joule par mètre cube (J m^{-3}), où :

$$1 \text{ WL} = 20,8 \mu\text{J m}^{-3} \qquad 1 \mu\text{J m}^{-3} = 4,8 \times 10^{-2} \text{ WL}$$

L'unité alpha-mois (WLM) est l'unité historique servant à exprimer l'exposition à ces mêmes produits de filiation. L'unité compatible SI est le joule-heure par mètre cube (J h m^{-3}), où :

$$1 \text{ WLM} = 3,54 \text{ mJ h m}^{-3}$$

$$1 \text{ mJ h m}^{-3} = 0,283 \text{ WLM}$$

Les concentrations de radon dans l'air se mesurent en activité par unité de volume de cette atmosphère (Bq m^{-3}). Pour calculer l'incorporation (Bq) associée à cette concentration, on multiplie la concentration par un rythme respiratoire défini ($1,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) et la durée de séjour (h). On peut également déterminer l'exposition en Bq h m^{-3} ; l'incorporation est alors égale à cette valeur multipliée par le rythme respiratoire.

4.3.2 Exposition ou concentration minimale mesurable

Le service de dosimétrie doit effectuer les tâches suivantes :

1. déterminer et consigner l'exposition ou la concentration dans l'air les plus basses qu'il peut mesurer au niveau de confiance de 95 %, avec des exactitudes globales de +50 %/-33 % ; et
2. l'exposition minimale mesurable est exprimée dans la même unité que la quantité mesurée.

La section H.1 de l'annexe H, « Exemples de calculs pour les mesures de la concentration minimale et incertitudes liées au comptage » fournit des exemples de méthodes statistiques utilisées pour déterminer la concentration volumique minimale mesurable.

4.3.3 Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon

Il existe deux catégories d'instruments pour surveiller les expositions individuelles aux produits de filiation du radon :

1. les moniteurs individuels, qui donnent une estimation directe de l'exposition individuelle; et
2. les instruments, d'échantillonnage instantané qui mesurent la concentration de ces produits en un lieu et à un moment donné et dont les relevés sont utilisés, en combinaison avec les relevés de durée de séjour, pour calculer les expositions individuelles.

Les deux catégories d'instruments doivent satisfaire aux exigences respectives énoncées dans la présente section.

4.3.3.1 Moniteurs individuels

Les relevés effectués avec les moniteurs individuels doivent être réalisés dans un milieu où la concentration est stable et fixe. En fait, 95 % des valeurs obtenues dans ces relevés doivent se situer à l'intérieur des limites de l'intervalle de confiance indiquées au tableau 7.

Tableau 7 : Normes d'exactitude pour la mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon pendant une période de dosimétrie

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
$\geq 0,05$ WLM ($177 \mu\text{J h m}^{-3}$) à $< 0,10$ WLM ($354 \mu\text{J h m}^{-3}$)	+100 % / -50 %
$\geq 0,10$ WLM ($354 \mu\text{J h m}^{-3}$)	+50 % / -33 %

4.3.3.2 Échantillonnage instantané

Dans le cas des essais réalisés par échantillonnage instantané, 95 % des valeurs obtenues lors de ces essais doivent se situer à l'intérieur des limites de l'intervalle de confiance indiquées au tableau 8.

Tableau 8 : Normes d'exactitude pour la mesure de la concentration dans l'air d'énergie potentielle alpha

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
$\geq 0,05$ WL ($1,03 \mu\text{J m}^{-3}$) à $< 0,10$ WL ($2,08 \mu\text{J m}^{-3}$)	+100 % / -50 %
$\geq 0,10$ WL ($2,08 \mu\text{J m}^{-3}$)	+50 % / -33 %

Si l'on procède par échantillonnage instantané, le programme d'essai précisé à la section G.3. de l'annexe G, « Normes relatives aux essais indépendants pour la mesure de l'exposition au radon et aux produits de filiation du radon » peut être utilisé pour évaluer la conformité des appareils avec les normes d'exactitude précisées au tableau 8.

4.3.4 Essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon

Le service de dosimétrie doit démontrer sa capacité à satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type à l'étape de la demande de permis. Les exigences relatives aux essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon sont les suivantes :

1. les essais de type visant les moniteurs individuels doivent permettre de déterminer toutes les sources possibles d'erreurs et de chiffrer leur importance relative dans l'erreur et l'incertitude globales de la mesure de l'exposition individuelle;

2. en plus de permettre d'établir l'exactitude globale d'un moniteur individuel, les essais de type doivent également permettre de connaître les limites de l'instrument, telles que les conditions susceptibles de causer des problèmes de saturation du filtre ou le temps durant lequel l'instrument peut être utilisé de façon fiable sans qu'il soit nécessaire de recharger ses piles ;
3. les essais de type visant les instruments de mesure par échantillonnage instantané doivent permettre de déterminer et de chiffrer toutes les sources possibles qui contribuent à l'erreur et à l'incertitude globales de la mesure des concentrations instantanées de produits de filiation du radon. Les erreurs et incertitudes dans les valeurs de l'exposition individuelle réelle, établies à partir des mesures d'échantillonnage instantané, ne sont pas prises en compte ;
4. lorsque le service de dosimétrie effectue des changements (aux instruments ou aux méthodes utilisés, par exemple) et que ces changements sont susceptibles d'influer sur le fonctionnement des moniteurs individuels et des instruments d'échantillonnage instantané, le service de dosimétrie doit reprendre les essais de type servant à vérifier l'exactitude et la précision des mesures, autant de fois qu'il est nécessaire pour prouver que les instruments continuent de satisfaire aux normes indiquées dans les tableaux 7 et 8 ; et
5. le service de dosimétrie doit présenter à la CCSN les résultats des essais de type qui ont été repris à la suite de changements apportés au système, avec la documentation indiquée dans la section 4.3.4.2, « Documentation » et devra obtenir l'autorisation de la CCSN avant d'utiliser le système ainsi modifié.

4.3.4.1 Grandeurs d'influence pouvant affecter l'exactitude et la précision

Le service de dosimétrie doit tenir compte des grandeurs d'influence énumérées dans les paragraphes suivants, et évaluer celles qui risquent d'avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude. On devra également prendre en considération d'autres grandeurs d'influence qui sont susceptibles de contribuer à l'incertitude globale (en d'autres termes, on tiendra compte de toutes les grandeurs d'influence qui contribuent à l'incertitude de la mesure).

Dans le cas des paramètres d'échantillonnage des moniteurs individuels, on prend en compte les grandeurs suivantes :

1. la durée de fonctionnement aux valeurs nominales et à pleine charge de pile;
2. le débit d'échantillonnage;
3. la variabilité du débit; et
4. l'influence de la répartition granulométrique, et plus particulièrement de la fraction libre de produits de filiation du radon, sur le rendement de l'échantillonnage.

Dans le cas des paramètres de détection et de comptage des moniteurs individuels, on prend en compte les grandeurs suivantes :

1. la géométrie filtre-détecteur;
2. le rendement de détection en fonction de l'énergie;
3. la sensibilité au rayonnement provenant de sources autres que les produits de filiation du radon;
4. la sensibilité aux écarts enregistrés par rapport aux normes de traitement des détecteurs; et
5. la sensibilité à la variabilité dans le temps des concentrations de produits de filiation du radon.

Dans le cas des instruments d'échantillonnage instantané, on prend en compte les grandeurs suivantes :

1. le débit d'échantillonnage;
2. la variabilité du débit;
3. la sensibilité à la répartition granulométrique, et plus particulièrement à la fraction libre de produits de filiation du radon, dans l'atmosphère contrôlée;
4. l'étalonnage et la stabilité des compteurs de particules alpha; et
5. la méthode de calcul de la concentration de produits de filiation du radon.

4.3.4.2 Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1. les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système soumis à l'examen, avec l'intervalle de leurs valeurs possibles, selon l'évaluation du service de dosimétrie en fonction de l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;
2. les exemples de calcul qui montrent comment on a obtenu la réponse moyenne et l'incertitude type globale; et
3. les documents justifiant les hypothèses posées et les techniques utilisées.

4.3.5 Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon

Le service de dosimétrie doit se conformer aux exigences suivantes :

1. se soumettre à des essais indépendants pour faire la preuve qu'il respecte les normes d'exactitude indiquées à la section 4.3.3, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon » ;

2. faire effectuer les essais indépendants par le centre de référence en étalonnage approprié pour le contrôle des produits de filiation du radon au Canada (voir l'annexe J) ;
3. envoyer un échantillon représentatif de ses moniteurs individuels au centre de référence en étalonnage à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, ou à une autre fréquence approuvée par la CCSN, ainsi qu'après tout changement de conception susceptible d'influer sur le fonctionnement des moniteurs ;
4. se conformer aux normes sur l'échantillonnage instantané énoncées dans l'annexe G, « Normes relatives aux essais indépendants pour la mesure de l'exposition au radon et aux produits de filiation du radon » ;
5. aviser immédiatement la CCSN par écrit (format électronique acceptable) en cas d'échec à un essai indépendant ;
6. soumettre à la CCSN, dans les trente (30) jours, un rapport écrit détaillé dans lequel seront précisés la cause et les conséquences de l'échec, ainsi qu'une description des mesures correctrices qui ont été prises ; et
7. répéter immédiatement l'essai manqué, et présenter les résultats à la CCSN.

Si le service de dosimétrie externe échoue de nouveau, lors d'un deuxième essai consécutif, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

4.3.6 Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon

4.3.6.1 Moniteurs individuels

Dans le cas des moniteurs individuels, les essais doivent être réalisés dans un milieu où la concentration est stable et fixe. Quatre-vingt-quinze (95) pour cent des valeurs obtenues doivent se situer à l'intérieur des limites des intervalles de confiance indiqués dans le tableau 9.

Tableau 9 : Normes d'exactitude pour la mesure de l'exposition individuelle au radon pendant une période de dosimétrie

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
$\geq 2,0 \text{ MBq h m}^{-3}$ à $< 4,0 \text{ MBq h m}^{-3}$)	+100 % / -50 %
$\geq 4,0 \text{ MBq h m}^{-3}$	+50 % / -33 %

4.3.6.2 Échantillonnage instantané

Le tableau 10 illustre les normes d'exactitude auxquelles les systèmes de surveillance doivent se conformer dans des conditions d'utilisation prévues.

Tableau 10 : Normes d'exactitude pour la mesure de la concentration du radon dans l'air

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
$\geq 10 \text{ kBq m}^{-3}$ à $< 20 \text{ kBq m}^{-3}$)	+100 % / -50 %
$\geq 20 \text{ kBq m}^{-3}$	+50 % / -33 %

4.3.7 Essais de type pour les mesures de l'exposition au radon

Le service de dosimétrie doit démontrer, à travers des essais de type à l'étape de la demande de permis, sa capacité de satisfaire aux normes globales suivantes :

1. les essais de type visant les instruments de mesure de l'exposition au radon doivent permettre de déterminer toutes les sources possibles d'erreurs et de chiffrer leur importance relative dans l'erreur et l'incertitude globales de la mesure de l'exposition individuelle ; et
2. lorsque des changements sont apportés (détecteur ou filtres différents, étui différent, différents protocoles de mesure, etc.), le service de dosimétrie doit reprendre les essais de type autant de fois qu'il est nécessaire pour établir l'incidence des changements sur l'exactitude et l'incertitude globales.

4.3.7.1 Grandeurs d'influence risquant d'avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude

Le service de dosimétrie doit tenir compte des grandeurs d'influence énumérées dans les paragraphes suivants, et évaluer celles qui risquent d'affecter de façon significative l'exactitude ou l'incertitude. On devra également prendre en considération d'autres grandeurs d'influence qui sont susceptibles d'intervenir dans l'incertitude globale.

Dans le cas des moniteurs individuels utilisés pour le radon, les grandeurs d'influence suivantes doivent être prises en compte :

1. l'efficacité du détecteur;
2. la sensibilité au rayonnement provenant de sources autres que les produits de filiation du radon;
3. la sensibilité aux écarts enregistrés par rapport aux normes de traitement des détecteurs; et
4. la durabilité en regard du milieu de travail.

Dans le cas des instruments utilisés pour l'échantillonnage instantané, les grandeurs d'influence suivantes doivent être prises en compte :

1. le débit d'échantillonnage;
2. la variabilité du débit;
3. l'efficacité du détecteur;
4. la sensibilité au rayonnement provenant de sources autres que le radon;
5. la sensibilité à d'autres agents physiques et chimiques présents dans l'environnement;
6. la saturation; et
7. la durabilité en regard du milieu de travail.

4.3.7.2 Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1. les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système soumis à l'examen, avec l'intervalle de leurs valeurs possibles, selon l'évaluation du service de dosimétrie en fonction de l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;
2. les exemples de calcul qui montrent comment on a obtenu la réponse moyenne et l'incertitude type globale; et
3. les documents justifiant les hypothèses posées et les techniques utilisées.

4.3.8 Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon

Le service de dosimétrie doit se conformer aux exigences suivantes :

1. se soumettre à des essais indépendants pour faire la preuve qu'il respecte les normes d'exactitude indiquées à la section 4.3.6, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon » ;
2. faire effectuer les essais indépendants par le centre de référence en étalonnage approprié pour le contrôle du radon au Canada (voir l'annexe J) ;
3. envoyer un échantillon représentatif de ses moniteurs individuels au centre de référence en étalonnage à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, ou à une autre fréquence approuvée par la CCSN, ainsi qu'après tout changement de conception susceptible d'influer sur le fonctionnement des moniteurs ;
4. se conformer aux normes relatives sur l'échantillonnage instantané énoncées dans l'annexe G, « Normes relatives aux essais indépendants pour la mesure de l'exposition au radon et aux produits de filiation du radon » ;
5. aviser immédiatement la CCSN par écrit (format électronique acceptable) en cas d'échec à un essai indépendant ;
6. soumettre à la CCSN, dans les trente (30) jours, un rapport écrit détaillé dans lequel seront précisés la cause et les conséquences de l'échec, ainsi qu'une description des mesures correctives qui ont été prises ; et
7. répéter immédiatement l'essai manqué et présenter les résultats à la CCSN.

S'il échoue de nouveau, lors d'un deuxième essai consécutif, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

4.4 Services de dosimétrie pour les incorporations de matières radioactives en suspension dans l'air

Les matières radioactives en suspension dans l'air sont les matières radioactives dont les caractéristiques ou les concentrations sont telles qu'il n'existe aucun moyen pratique de contrôler la dose par biodosage. Ces matières comprennent, sans toutefois s'y limiter, l'uranium 238 et ses produits de désintégration (autres que le radon et les produits de filiation du radon), le thorium 232, de même que certains isotopes du plutonium. Les matières radioactives en suspension dans l'air existent sous diverses formes physiques et chimiques, incluant des poussières, des gaz, des émanations ou des vapeurs. La présente section s'applique aux mesures des matières radioactives dans l'air utilisées à des fins de dosimétrie.

La surveillance des matières radioactives en suspension dans l'air facilite l'estimation des doses individuelles ou de l'exposition à ces dangers radiologiques chez les travailleurs des installations de traitement de l'uranium, des installations de recherche, et d'autres installations où l'on trouve des atmosphères chargées de matières radioactives. Ces

estimations s'effectuent grâce à des échantillonnages instantanés conjugués à des relevés de durée de séjour.

4.4.1 Grandeurs à mesurer

Les concentrations de matières radioactives en suspension dans l'air se mesurent en activité ou masse par unité de volume de cette atmosphère (e.g. Bq m⁻³). Pour calculer l'incorporation (e.g. Bq) associée à cette concentration, on multiplie la concentration par un rythme respiratoire défini (e.g. 1,2 m³ h⁻¹) et la durée de séjour (h). On peut également déterminer l'exposition en Bq h m⁻³ ; l'incorporation est alors égale à cette valeur multipliée par le rythme respiratoire.

La concentration de matières radioactives en suspension dans l'air peut également être exprimée en unités LDCA (limite dérivée de concentration dans l'air). La LDCA est la concentration de matières radioactives dans l'air qui est respirée par un travailleur durant 2 000 h et qui donne lieu à une dose efficace engagée de 20 mSv. On suppose que le travailleur a un rythme respiratoire de 1,2 m³/h. De même, l'exposition peut être exprimée en LDCA-heures.

4.4.2 Exposition ou concentration minimale mesurable

Les méthodes, les critères et les installations d'essais de type standardisés, ainsi que les installations d'essais indépendants, ne sont pas disponibles actuellement pour les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air. Par conséquent, la présente norme ne précise aucune exigence particulière pour les essais de type, ni pour les essais indépendants concernant les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air. Cependant, un service de dosimétrie pour les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air doit effectuer les tâches suivantes :

1. mesurer la grandeur d'intérêt en respectant les normes d'exactitude qui s'appliquent à cette grandeur, tel qu'indiqué à la section 4.4.3, « Normes d'exactitude pour les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air »; et
2. déterminer et consigner l'exposition ou la concentration dans l'air les plus basses qu'il peut mesurer au niveau de confiance de 95 %, avec des exactitudes globales de +50 %/-33 %.

La section H.1 de l'annexe H, « Exemples de calculs pour les mesures de la concentration minimale et incertitudes liées au comptage » fournit des exemples de la méthode statistique employée pour déterminer l'activité volumique minimale mesurable. L'exposition minimale mesurable doit être exprimée dans les mêmes unités que la quantité mesurée.

4.4.3 Normes d'exactitude pour les mesures des matières radioactives en suspension dans l'air

La CCSN évaluera l'exactitude des mesures des matières radioactives en suspension dans l'air à partir de la qualité et de la fiabilité de l'échantillonnage et des systèmes de comptage utilisés. Les procédures d'échantillonnage qui sont conformes aux normes d'hygiène du travail⁴ seront également considérées comme étant adéquates pour le prélèvement de matières radioactives en suspension dans l'air.

Le service de dosimétrie doit faire la preuve qu'il suit les normes de bonnes pratiques prévues pour la surveillance courante de l'hygiène du travail, lors des mesures de la concentration des matières radioactives en suspension dans l'air. Plus particulièrement, lorsque des pompes de prélèvement d'échantillons sont utilisés, le débit de prélèvement ne doit pas s'éloigner de plus de cinq pourcent de la valeur utilisée pour calculer la concentration.

Comme tous les radionucléides inhalés, quelle que soit la taille des vecteurs particuliers, contribuent en définitive aux doses engagées, l'efficacité de captage de particules des échantillonneurs d'air doit être, autant que possible, insensible aux valeurs granulométriques. Ceci exclut donc l'utilisation de cyclones pour le captage et la mesure des matières radioactives en suspension dans l'air.

Le service de dosimétrie doit déterminer l'incertitude globale des mesures des matières radioactives en suspension dans l'air à partir de la combinaison de toutes les incertitudes liées à tous les paramètres utilisés pour calculer la concentration des matières radioactives en suspension dans l'air en fonction de l'activité mesurée sur le filtre du moniteur.

La section H.2 de l'annexe H, « Exemples de calculs pour les mesures de la concentration minimale et incertitudes liées au comptage » fournit des exemples de méthode statistique utilisée pour estimer les incertitudes dans le comptage.

4.4.4 Documentation

Le service de dosimétrie doit tenir les registres suivants :

1. les résultats des essais dans un format où sont clairement indiqués tous les exemples de calcul des grandeurs d'influence, illustrant comment on a calculé la réponse moyenne et l'incertitude type global; et
2. la justification des hypothèses formulées et des techniques utilisées.

⁴ Ces références comprennent, sans en exclure d'autres, les publications suivantes : U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration (OSHA), Technical Manual Section II: Chapter 1 Personal Sampling for Air Contaminants ; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Manual of Analytical Methods (NMAM®), 4^e éd., Publication 94-113; Organisation internationale de normalisation, norme ISO 2889:1975 – Principes généraux de l'échantillonnage des matières radioactives en suspension dans l'air, ou des versions plus récentes de ces documents.

5.0 EXIGENCES EN MATIÈRE D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ

5.1 Généralités

L'exactitude et la reproductibilité des mesures de dose déterminent la qualité d'un service de dosimétrie. Le programme d'assurance de la qualité mis en place dans un service de dosimétrie vise à établir un système de gestion qui garantit que les résultats sont exacts, reproductibles, vérifiables et correctement enregistrés et conservés. Les exigences énoncées ci-dessous représentent les exigences minimales que le titulaire de permis doit respecter pour se doter d'un programme d'assurance de la qualité efficace pour son service de dosimétrie.

5.2 Exigences du programme d'assurance de la qualité

5.2.1 Politique de la direction

1. La haute direction doit documenter sa politique en matière de qualité. Cette politique doit convenir à un service de dosimétrie [voir la section 5.1] et doit contenir une déclaration de principe qui engage le service à fonctionner selon son programme d'assurance de la qualité, à examiner périodiquement si ce programme est toujours adéquat et à l'améliorer continuellement.
2. La politique et les objectifs en matière de qualité doivent être communiqués au personnel.

5.2.2 Description du programme d'assurance de la qualité

Le programme d'assurance de la qualité est établi dans une série de documents interdépendants qui, ensemble, fournissent des descriptions claires, exhaustives et précises des éléments d'information suivants :

1. énoncés de la politique et des objectifs en matière de qualité ;
2. modalités, procédures et instructions documentées ;
3. documents dont le service de dosimétrie a besoin pour planifier, exercer et contrôler ses processus de façon efficace ; et
4. documents requis pour faire la preuve que le service de dosimétrie se conforme à son programme d'assurance de la qualité.

Remarque : la documentation peut se présenter sous n'importe quelle forme ou support.

5.2.3 Revue par la direction

1. Les gestionnaires doivent effectuer des autoévaluations continues de leurs responsabilités respectives, afin de déterminer si le service de dosimétrie satisfait aux normes et aux objectifs de qualité, et d'évaluer l'efficacité des

méthodes et processus utilisés. Des mesures de rendement devront être développées et utilisées dans ces autoévaluations.

2. Au moins une fois par an, la haute direction doit procéder à une évaluation formelle afin de vérifier que les processus sont optimisés et maîtrisés et qu'ils donnent des résultats précis conformes aux exigences. Dans le cadre de cette revue, on évaluera les possibilités d'améliorer les processus et la nécessité d'apporter des changements au programme d'assurance de la qualité, notamment à la politique en matière de qualité et aux objectifs. La revue annuelle doit couvrir, au minimum, les sources d'information suivantes :
 - (i) comparaison des normes et des objectifs de qualité par rapport aux résultats obtenus;
 - (ii) analyses des résultats des inspections et des essais;
 - (iii) analyses des cas de non-conformité (fréquence, importance, conséquences, causes et responsabilités), des mesures correctives et préventives correspondantes et des tendances relatives aux défaillances;
 - (iv) analyses des résultats obtenus lors des audits internes;
 - (v) plaintes et problèmes ou erreurs d'exécution;
 - (vi) résultats des autoévaluations effectuées par les gestionnaires; et
 - (vii) analyses de l'efficacité des mesures correctives.
3. Les enregistrements des révisions annuelles devront être conservés.

5.2.4 Organisation et autorité

1. La direction doit définir les responsabilités et les pouvoirs des gestionnaires et du personnel. Les axes de communication interne et externe devront être définis.
2. La direction désignera un responsable des évaluations indépendantes de l'efficacité du programme d'assurance de la qualité, qui relèvera d'un échelon de direction tel qu'il sera suffisamment affranchi des pressions de coût et d'échéancier.

5.2.5 Compétences du personnel

1. Tout le personnel exerçant des activités liées au service de dosimétrie, y compris celles qui sont décrites dans la section 5.2, « Exigences du programme d'assurance de la qualité », doit avoir la formation, les qualités et les compétences nécessaires pour s'acquitter efficacement des tâches qui lui sont confiées.
2. Les normes de formation, de qualification et de compétence doivent être établies par le service de dosimétrie.

5.2.6 Approvisionnement

1. Le service de dosimétrie doit établir les procédures régissant l'achat de l'équipement et du matériel nécessaires pour effectuer une mesure précise des doses ou des expositions.
2. Les procédures d'achat doivent garantir que le matériel est acheté conformément à certaines exigences. Ces exigences comprennent une description claire de l'article, à l'aide d'une norme ou d'une fiche technique qui fait état, entre autres, de l'exactitude de la mesure et de sa reproductibilité, de la traçabilité de l'étalonnage prouvant qu'il a été effectué conformément aux normes nationales, des exigences relatives aux inspections et aux essais, des critères d'acceptation, des exigences du programme d'assurance de la qualité auxquelles le fournisseur doit satisfaire et des exigences en matière d'enregistrement.
3. Les fournisseurs doivent être évalués et choisis en fonction de leur capacité de respecter les exigences.
4. Le matériel et l'équipement achetés doivent être inspectés pour s'assurer qu'ils sont conformes aux exigences.

5.2.7 Contrôle du travail

1. Tout travail ou activité qui peut influencer sur l'attribution de la bonne dose à la bonne personne et sur le maintien d'un système efficace d'enregistrement des doses doit être régi par des procédures établies qui offrent notamment des renseignements détaillés sur les aspects suivants :
 - (i) les méthodes de travail et l'enchaînement des tâches;
 - (ii) le matériel à utiliser et les milieux de travail spéciaux;
 - (iii) les critères d'acceptabilité;
 - (iv) les points d'inspection; et
 - (v) les exigences d'enregistrement.
2. Les procédures de contrôle du travail doivent permettre d'assurer la conservation des données d'identification (marques et numéros de contrôle) des dosimètres, des échantillons, des étalons, des mesures et des registres de doses, ainsi que d'autres données sur lesquelles sont fondées les doses, et de maintenir le lien entre ces données et les personnes contrôlées.
3. Les procédures de contrôle du travail doivent fixer des exigences et des précautions particulières concernant la manipulation, l'entreposage et l'expédition des dosimètres et des échantillons en vue de prévenir toute perte de sensibilité, d'information ou de précision, ainsi que tout dommage ou perte totale. Elles devront en outre faire état de règles régissant la répartition, l'utilisation et la manipulation des dosimètres de contrôle et des échantillons.

4. Les conclusions relatives aux doses attribuées doivent être suffisamment documentées pour que l'on puisse se reporter aux données initiales (données d'identification, mesures et modèles utilisés, par exemple) et démontrer que les normes ont été respectées.
5. La méthode utilisée pour transférer les données sur les doses doit répondre aux exigences énoncées à l'annexe I, « Normes relatives aux registres de doses ».

5.2.8 Contrôle des modifications

1. Les modifications apportées aux processus de dosimétrie et aux dossiers de doses doivent faire l'objet d'un contrôle par le service de dosimétrie.
2. Les modifications doivent être assujetties aux mêmes revues et approbations que les méthodes de dosimétrie et les dossiers de doses originaux.
3. Les modifications proposées doivent être examinées et approuvées par des personnes qualifiées avant d'être mises en œuvre.
4. Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers tous les documents relatifs aux modifications proposées et mises en œuvre.
5. Les procédures doivent prescrire des normes afin de s'assurer que les modifications apportées aux registres de doses sont adéquatement documentées.
6. Toute modification qui entraîne une révision des procédures et directives approuvées doit être conforme aux dispositions de la section 5.2.9, « Contrôle des documents ».

Remarque : Les usagers des services de dosimétrie doivent présenter une demande à la CCSN pour modifier des dossiers de doses conformément aux exigences de la norme d'application de la réglementation S-260 de la CCSN ^[3].

5.2.9 Contrôle des documents

1. Des procédures doivent être établies pour régir l'élaboration, l'examen, l'approbation, la diffusion, la distribution et la révision des documents et procédures. Ce principe vaudra tout particulièrement dans le cas des documents et procédures qui contiennent des normes techniques ou qui font état d'activités qui permettront d'atteindre ou de vérifier de telles normes. Au nombre des documents ou procédures de ce genre figurent tout aussi bien les spécifications techniques, les manuels de dosimétrie, les normes et procédures relatives aux dossiers de doses, les procédures d'exploitation, les logiciels, les techniques d'étalonnage et les méthodes d'analyse ainsi que les procédures du programme d'assurance de la qualité.
2. Les documents doivent être lisibles, accessibles et facilement repérables.
3. Tout document périmé doit être retiré et, s'il est conservé à d'autres fins, il doit porter la mention « périmé », bien en évidence.

5.2.10 Étalonnage et entretien

1. Les appareils, instruments ou étalons d'enregistrement, de mesure, d'essai, d'analyse ou de comptage dont le bon fonctionnement est essentiel à l'exactitude des mesures de dose doivent être identifiés, contrôlés et tenus en bon état.
2. Le type, la sensibilité et l'exactitude de ces appareils, instruments ou étalons doivent satisfaire aux normes minimales appropriées énoncées dans la section 4.0, « Exigences techniques ».
3. Les exigences en matière d'étalonnage et d'entretien périodiques doivent être établies en fonction de l'exactitude requise, du but, du degré d'utilisation, des caractéristiques de stabilité et des autres facteurs influant sur la mesure.
4. Les méthodes d'entretien et d'étalonnage doivent être documentées.
5. L'état de l'étalonnage doit être enregistré et mis à jour et le matériel étalonné doit être marqué de façon claire et indélébile (avec des étiquettes, par exemple). Si le matériel est étalonné avant toute utilisation ou très fréquemment (tous les jours, par exemple), l'enregistrement des étalonnages peut être suffisant.
6. Les appareils non étalonnés, imprécis ou défectueux doivent être retirés.
7. L'équipement servant aux mesures qui a été réparé ou modifié doit être étalonné et l'on doit vérifier sa performance avant de le remettre en service.
8. Des mécanismes doivent être mis en place pour assurer la traçabilité des étalonnages aux étalons de référence nationaux⁵. La traçabilité de l'étalonnage du matériel utilisé comme étalon de transfert, jusqu'aux étalons nationaux, doit également être assurée. Lorsque des étalons de référence sont utilisés comme étalons de transfert pour établir le niveau de référence en fonction duquel les données sont mesurées directement, des méthodes devront être établies pour préserver l'intégrité du processus et des résultats.
9. Si l'on constate que le matériel fournit des mesures inexactes (voir la section 5.2.12, « Non-conformité »), la validité des données ou des résultats doit être vérifiée et des mesures correctives doivent être prises (voir la section 5.2.13, « Mesures correctives »).

5.2.11 Vérification

1. Les vérifications des étapes intermédiaire et finale du travail doivent être définies, planifiées, contrôlées, documentées et effectuées conformément aux critères d'acceptation et de performance établis; les ressources appropriées doivent être affectées à ces vérifications.

⁵ Les étalons de référence nationaux sont traçables aux étalons de n'importe quel organisme d'étalonnage canadien ou international (Conseil national de recherches du Canada (CNRC), National Institute of Standards and Technology (NIST), etc.).

2. La vérification doit être effectuée par des personnes compétentes autres que celles qui ont participé au travail faisant l'objet de la vérification.
3. La méthode, le moment et les résultats de la vérification doivent être enregistrés, de même que l'identité de la personne qui effectue la vérification.
4. Des inspections, des contrôles et des révisions doivent être définis et planifiés pour s'assurer que le travail est exécuté convenablement (voir section 5.2.7, points 1 à 4).
5. L'exploitant du service de dosimétrie doit participer aux essais indépendants décrits dans la section 4.0, « Exigences techniques »; les écarts seront traités selon les exigences énoncées dans les sections 5.2.12, « Non-conformité » et 5.2.13, « Mesures correctives ».

5.2.12 Non-conformité

1. Les cas de non-conformité touchant le matériel, les services et les activités doivent être identifiés, signalés et documentés.
2. Les non-conformités doivent être examinées et des mesures correctives doivent être identifiées, exécutées, vérifiées et consignées. Les répercussions de la non-conformité sur le travail déjà effectué et les effets potentiels sur les doses attribuées doivent être évalués.
3. Le matériel ou les services non conformes doivent faire l'objet d'un suivi afin d'empêcher toute utilisation non autorisée.
4. Le service de dosimétrie doit établir les solutions de rechange qui seront mises en œuvre en cas de défaillances ou d'erreurs attribuables au matériel (ou à d'autres éléments).

Remarque : Les cas de non-conformité peuvent être attribuables, notamment, à des procédures inappropriées, à des défaillances ou à des imprécisions du matériel, à des erreurs de calcul, à de fausses désignations, à des données initiales erronées, à l'utilisation de dosimètres ou d'échantillons inappropriés ou à une manipulation ou un traitement de l'information qui laissent à désirer.

5.2.13 Mesures correctives

1. On doit examiner les cas importants ou répétitifs de non-conformité afin d'en établir la cause et de définir les mesures correctives à prendre pour éviter que la situation ne se reproduise.
2. On doit signaler la cause et les mesures correctives prises à l'échelon de la direction approprié, et effectuer un suivi pour vérifier l'efficacité des mesures correctives.

Remarque : Le cas de non-conformité est important lorsqu'il conduit, ou peut conduire, à une situation dans laquelle une surexposition n'est pas décelée, une

personne se voit attribuer la mauvaise dose ou une dose est attribuée à la mauvaise personne.

5.2.14 Enregistrements

1. L'étiquetage, l'entreposage, la protection, l'extraction et l'élimination des dossiers doivent être contrôlés. Le mode de présentation des enregistrements sera défini par le titulaire du permis.
2. Les dossiers doivent être établis et conservés comme preuves que les activités prévues se sont convenablement déroulées, et que leurs résultats sont acceptables.
3. Des dossiers suffisants doivent être conservés pour que l'on soit en mesure d'étayer les conclusions finales et de démontrer la traçabilité.
4. Il faut établir une documentation et des enregistrements suffisants pendant le travail pour que l'on puisse raisonnablement reproduire et vérifier les résultats à partir des données initiales mises en référence.
5. Une liste des dossiers portant sur les activités autorisées doit être conservée. La conservation et l'aliénation des dossiers doivent être conforme aux exigences formulées à la section 28 du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.
6. Les dossiers doivent rester lisibles, aisément repérables et consultables sur demande.
7. Les dossiers doivent être gérés de façon sûres afin d'empêcher la divulgation de renseignements personnels, conformément à la législation pertinente en vigueur.

5.2.15 Vérifications indépendantes

1. La direction doit se doter d'un programme d'audit interne. Le programme d'audit interne a pour objet de permettre à la direction de déterminer si le programme d'assurance de la qualité est mis en œuvre de façon efficace et si, grâce à ce programme, le service de dosimétrie fonctionne de façon satisfaisante.
2. Le programme d'assurance de la qualité dans son ensemble doit être vérifié chaque année.
3. Les audits internes doivent être planifiées et effectuées par un personnel qualifié n'ayant aucune responsabilité directe à l'égard de l'activité auditée.
4. On doit documenter les résultats des audits et les faire examiner par le gestionnaire responsable de l'activité évaluée. Cette personne doit prendre les mesures qui s'imposent pour corriger les lacunes observées et leurs causes. Les mesures de suivi doivent également faire l'objet d'une évaluation (voir la section 5.2.13, « Mesures correctives »).

Remarque : Pour de plus amples informations, voir la norme CAN/CSA-ISO 19011:03^[5].

GLOSSAIRE

Les définitions ci-dessous s'appliquent au présent document. Les termes statistiques qui sont employés dans le document mais qui ne figurent pas dans la liste sont définis dans la norme N13.30, *Performance Criteria for Radio Bioassay* de la Health Physics Society.

Biais relatif moyen, B

Exactitude relative d'un ensemble de relevés (étroitesse de l'accord entre les relevés et la concentration ou l'activité réelle d'un radionucléide dans les échantillons analysés). Le biais relatif moyen se définit comme suit :

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i$$

où

n = nombre de relevés dans l'ensemble

$$B_i = \text{biais relatif d'un seul relevé} = \frac{A_i - A}{A}$$

où

A_i = valeur d'un seul relevé

A = valeur conventionnellement vraie

Biodosage

Mesure de la quantité ou de la concentration de matière radioactive dans le corps, ou dans une matière biologique excrétée et analysée afin de permettre d'évaluer la quantité de matière radioactive présente dans le corps. Le terme « biodosage » s'applique aux relevés *in vitro* et *in vivo*.

CCSN

Commission canadienne de sûreté nucléaire

CIPR

Commission internationale de protection radiologique

CIUMR

Commission internationale des unités et des mesures radiologiques

Coefficient de variation, C

Mesure de la reproductibilité des relevés, défini comme suit :

$$C = \frac{s}{m}$$

où

s = écart type de l'ensemble des mesures

m = moyenne de l'ensemble des mesures

Concentration minimale mesurable

Plus petite quantité (activité ou masse) d'une substance à analyser qui peut être décelée dans un échantillon. On admet qu'il y a une probabilité « b » que l'on ne détecte pas une certaine quantité de substance à analyser qui est présente (erreur de type II) et une probabilité « a » que l'on décide à tort qu'une quantité positive (non nulle) de substance à analyser est présente (erreur de type I).

DTL

Dosimètre thermoluminescent

Essai de fonctionnement

Essai effectué pour vérifier que le système de dosimétrie fonctionne de manière prévisible et cohérente.

Essai de type

Vaste exercice d'essais effectué pour déterminer toutes les sources éventuelles d'erreur et d'incertitude dans une mesure et pour chiffrer les erreurs et les incertitudes susceptibles de contribuer de façon importante à l'erreur globale ou à l'incertitude type globale.

Essai indépendant

Essais effectués par le centre de référence en étalonnage approprié afin de vérifier les services de dosimétrie autorisés. Les essais indépendants aident le service de dosimétrie à faire la preuve que ses résultats sont fiables et qu'ils satisfont aux exigences réglementaires de la CCSN, y compris aux exigences énoncées dans le présent document.

Extrémités

Terme employé pour désigner les parties du corps humain qui sont les plus éloignées de la tête et du torse et qui présentent la même sensibilité aux rayonnements ionisants. Les extrémités comprennent les parties de l'anatomie allant, inclusivement, des coudes aux bouts des doigts (extrémités supérieures) et des genoux aux bouts des orteils (extrémités inférieures).

FDN

Fichier dosimétrique national.

Grandeur d'influence

Grandeur qui peut influencer sur l'exactitude ou l'incertitude d'une mesure.

Kerma de l'air

Le quotient de dE_{tr} par dm , où dE_{tr} est la somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules chargées, p. ex. les électrons, libérés par des particules non chargées, p. ex. les photons, dans une masse d'air (dm). Unité : $J\ kg^{-1}$, appelé également gray (Gy).

Limite dérivée de concentration dans l'air (LDCA)

Concentration de matières radioactives dans l'air inhalé par un travailleur qui, pour 2000 heures de travail, entraîne une dose efficace engagée de 20 mSv.

Niveau minimal d'essai (NME)

La plus petite quantité de matière radioactive que le service de dosimétrie doit être capable de mesurer dans le cadre du programme d'essais indépendants. Les échantillons ou fantômes fournis aux services de dosimétrie qui veulent obtenir un permis ou aux services autorisés qui se soumettent aux essais indépendants doivent contenir au moins le NME pour être considérés comme faisant partie des essais exigés dans la présente norme d'application de la réglementation.

PMMA

Poly(méthacrylate de méthyle)

Précision du biais, P_B

Mesure de la reproductibilité des résultats d'une série de relevés *in vivo* effectués sur tous les fantômes. La précision du biais se définit comme suit :

$$P_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - B)^2}{n-1}}$$

où

B_i = biais relatif d'un seul relevé;

B = biais relatif moyen; et

n = nombre de relevés effectués sur tous les fantômes.

Précision relative, S_B

Mesure de la reproductibilité d'un relevé. La précision relative se définit comme suit :

$$S_B = \frac{s}{A}$$

où

s = écart type d'une série de relevés d'une variable dont on connaît la valeur réelle A

Produits de filiation du radon

Les produits de filiation du radon à courte période comprennent les radio-isotopes suivants : polonium (^{218}Po), le plomb (^{214}Pb), le bismuth (^{214}Bi) et le ^{214}Po .

PRLP

Poussière radioactive à longue période

Relevé *in vitro*

Mesure visant à établir la présence, ou à estimer la quantité d'une matière radioactive dans les matières excrétées par le corps ou dans toute autre matière biologique extraite du corps.

L'expression « relevé *in vitro* » est synonyme de « biodosage indirect ».

Relevé *in vivo*

Relevé de la présence de matière radioactive dans le corps humain à l'aide d'instruments qui détectent les rayonnements émis par les matières radioactives présentes dans le corps.

L'expression « relevé *in vivo* » est synonyme de « biodosage direct ».

Réponse, R

Résultat d'une mesure de dose effectuée dans des conditions définies, qui a été divisée par la valeur conventionnellement vraie de la dose qui serait reçue dans les mêmes conditions.

Service de dosimétrie

Service, désigné par règlement, assurant la mesure et le contrôle des doses de rayonnement.

SI

Système international d'unités.

Types de dosimétrie

Dosimétrie externe : normalement utilisée pour les photons (rayons X et gamma), mais peut également servir dans le cas des sources de rayons bêta et de neutrons situées à l'extérieur du corps.

Dosimétrie interne : fondée sur des biodosages par surveillance *in vitro* (analyses de l'urine, des fèces, de l'haleine ou d'autres prélèvements biologiques) ou *in vivo* (mesure directe par des détecteurs externes de la charge de radioactivité de l'organisme ou de certains organes), ou une combinaison de ces deux formes de surveillance.

Mesure de l'exposition à des atmosphères radioactives : fait habituellement appel à des techniques de surveillance de l'air et sert généralement à mesurer l'exposition à des produits de filiation du radon et à des poussières radioactives dans les mines d'uranium.

Valeur conventionnellement vraie

Valeur attribuée à une grandeur particulière et acceptée, parfois par convention, comme ayant une incertitude appropriée à une fin donnée. Elle est quelquefois appelée « meilleure estimation », « valeur conventionnelle », et « valeur de référence ». Par exemple, la valeur conventionnellement vraie de $H_p(d)$ est fixée en mesurant le kerma libre-dans-l'air (ou l'exposition) dans un champ bien défini à l'aide d'un instrument étalonné, puis on applique un coefficient de conversion au résultat.

WL (acronyme anglais: working level)

Unité alpha

WLM (acronyme anglais: working level month)

Unité alpha-mois

RÉFÉRENCES

1. Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Rapport 47, *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations*. Bethesda, Maryland, 1992.
2. Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Publication 60, *Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique*. Oxford: Pergamon Press, 1991 (Annales de la CIPR, vol. 21/1-3).
3. Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Norme d'application de la réglementation S-260, *Modification des renseignements sur les doses déposés dans le Fichier dosimétrique national*.
4. *Lignes directrices pour l'audit des systèmes de management de la qualité et/ou de management environnemental*, CAN/CSA-ISO 19011-F03 (ISO 19011:2002). Association canadienne de normalisation, 2002.
5. Health Physics Society (HPS). Norme N13.30-1996, *Performance Criteria for Radiobioassay*, McLean, Virginie.
6. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, 1995.
7. Hirning, C.R. et Yuen, P.S. « Accuracy in External Dosimetry of Ionizing Radiation », *Health Phys.* 75(2):136-146; 1998.
8. CIPR. Publication 75, *General Principles for the Radiation Protection of Workers*. Oxford, Pergamon Press, 1982 (Annales de la CIPR, vol. 27/1).
9. ISO 4037-3:1999 - *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons -- Partie 3 : Étalonnage des dosimètres de zone (ou d'ambiance) et individuels et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence*.
10. Roberson, P.L., Eichner, F.N. et Reece, W.D. « Determination of Photon Conversion Factors Relating Exposure and Dose for Several Extremity Phantom Designs », *Health Phys.* 57: 733-741; 1989.
11. Grosswendt, B. « Angular Dependence Factors and Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for Cylindrical Phantoms Irradiated by Plane-Parallel Extended Monoenergetic Photon Beams », *Radiat. Prot. Dosim.* 59: 165-179; 1995.
12. Grosswendt, B. « Angular Dependence Factors and Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for 1.9 cm Rod and 7.3 cm Pillar Phantoms Irradiated by Extended Monodirectional X Ray Beams », *Radiat. Prot. Dosim.* 59: 181-193; 1995.

13. Grosswendt, B. « Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for Cylindrical Phantoms Irradiated by Extended Plane-Parallel Photon Beams of Oblique Incidence Relative to the Cylinder Main Axis », *Radiat. Prot. Dosim.* 59: 195-203; 1995.
14. ISO 12794:2000. ISO, 1999 - *Énergie nucléaire – Radioprotection – Dosimètres individuels thermoluminescents pour yeux et extrémités.*
15. ISO 4037-1:1996 - *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons -- Partie 1 : Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production.*
16. ISO 6980:1996 - *Rayonnements bêta de référence pour l'étalonnage des dosimètres et débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie bêta* (disponible en anglais seulement).
17. Communauté européenne. Rapport EUR 14852 EN, *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation*, Christensen, P., Julius, H.W. et Marshall, T.O., Luxembourg, Commission européenne, 1994.
18. Strom, D. J. et Stansbury, P. S. « Minimum Detectable Activity When Background Is Counted Longer than the Sample », *Health Phys.* 63(3): 360-361; 1992.
19. Ballot, G. *Application des méthodes statistiques aux problèmes de la mesure de la radioactivité d'un corps*, dans Pannetier R. et Duhamel F. *Vade-mecum du technicien nucléaire*, 2^e éd., Massy, S.C.F. du Bastet, 1982, p. D70-D76.
20. Sumerling, T. J. et Darby, S. C. *Statistical Aspects of the Interpretation of Counting Experiments Designed to Detect Low Levels of Radioactivity*, NRPB-R113. National Radiological Protection Board, 1981.

PUBLICATIONS PERTINENTES

1. Association canadienne de normalisation. CAN/CSA-ISO 9001-00, *Systèmes de management de la qualité – Exigences, 2000.*
2. Dalheimer, A. et Henrichs, K. « Monitoring of Workers Occupationally Exposed to Thorium in Germany », *Radiat. Prot. Dosim.*, 53, 207-209, 1994

ANNEXE A

EXACTITUDE ET INCERTITUDE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE

A.1 Introduction

La présente annexe fournit des informations et des directives sur la façon de démontrer que les exigences en matière d'exactitude et de précision énoncées dans la présente norme d'application de la réglementation peuvent être respectées. Des exemples de calcul illustrent les méthodes employées pour évaluer les diverses grandeurs, à la section A.4, « Exemples de calculs ».

A.2 Valeur conventionnellement vraie

En principe, la dosimétrie individuelle vise à mesurer l'« équivalent de dose individuel » $H_p(d)$ tel que défini dans le rapport 47^[1] de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Les valeurs de « d » sont de 0,07 mm pour la dose superficielle (ou « à la peau ») et de 10 mm pour la dose profonde (ou « au corps entier »). Dans la pratique, on ne peut déterminer la valeur « vraie » d'une grandeur, comme il est expliqué dans la publication de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) intitulée *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*^[6]. On compare plutôt le résultat d'une mesure à la « valeur conventionnellement vraie » de la grandeur mesurée afin d'évaluer les erreurs de mesure.

Même s'il était possible d'effectuer une mesure de $H_p(d)$ parfaite, sa définition établirait des valeurs « vraies » attendues différentes pour les personnes de taille et de morphologie différentes qui sont exposées à un même champ de rayonnement photonique. Il ne s'agit donc pas d'une grandeur qui puisse être utilisée pour définir le fonctionnement et les propriétés d'un dosimètre. La mesure parfaite de $H_p(d)$ est donc remplacée par une valeur conventionnellement vraie. Ainsi, dans le cas d'un rayonnement photonique, pour établir la valeur conventionnellement vraie, on mesure le kerma de l'air libre-dans-l'air (ou l'exposition) dans un champ bien défini à l'aide d'un instrument étalonné, puis on applique un coefficient de conversion au résultat. Un modèle informatique calcule le coefficient de conversion pour simuler l'irradiation d'un fantôme type qui correspond, en gros, au torse humain. On suppose que la valeur conventionnellement vraie ainsi obtenue offre une incertitude négligeable par rapport à celle des relevés dosimétriques habituels, et elle sert donc de valeur de référence pour l'estimation des erreurs de mesure dans ces relevés.

A.3 Exactitude et précision

L'information offerte dans la présente section s'appuie sur la méthode élaborée par C. R. Hirning et P. S. Yuen^[7]. Les normes énoncées à la fin de cette section sont basées sur les recommandations énoncées dans les publications 60^[2] et 75^[8] de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) ainsi que sur l'exigence de la CCSN en vertu de laquelle les services de dosimétrie externe doivent atteindre un rendement qui

corresponde à celui que l'on obtient en ayant recours au matériel et aux méthodes d'exploitation les plus récents.

Lorsqu'on analyse l'incertitude de la réponse d'un dosimètre, on doit commencer par décider du nombre N de grandeurs d'influence dont il convient de tenir compte. Ces grandeurs d'influence seront celles qui influent de manière importante sur la réponse du dosimètre, telles que l'énergie, l'angle d'incidence, la température et l'humidité, entre autres. Chaque grandeur d'influence devrait être traitée comme une variable statistique, représentée par :

$$x_i$$

où

$$i = 1, 2, \dots, N$$

Par exemple, x_2 représente toutes les valeurs comprises entre une limite inférieure et une limite supérieure que la grandeur d'influence numéro 2 peut prendre.

Ensuite, on doit regrouper les N grandeurs d'influence en grandeurs d'influence indépendantes individuelles, composées du premier type, composées du deuxième type ou composées du troisième type, afin que la réponse du dosimètre devienne une fonction séparable de ces grandeurs d'influence indépendantes, que l'on pourra exprimer sous la forme d'un produit de réponses relatives. La fonction est séparable si, pour chaque grandeur d'influence indépendante regroupée, la variation fractionnaire de la réponse relative globale dans des conditions autres que les conditions de référence (voir le glossaire) imputable à une variation de la grandeur d'influence en question est indépendante des autres grandeurs d'influence regroupées ^[7].

A.3.1 Types de grandeurs d'influence

Une *grandeur d'influence indépendante individuelle* x_q consiste en une seule grandeur d'influence, de telle sorte que la réponse relative globale puisse effectivement être représentée par une fonction séparable. La linéarité de la dose d'un dosimètre thermoluminescent (DTL) est un exemple de grandeur d'influence indépendante individuelle. Dans cet exemple, la réponse du DTL tend à augmenter lorsque la dose absorbée dans le dosimètre augmente pour atteindre une valeur élevée de plusieurs grays. L'accroissement de la réponse du dosimètre ne dépend pas de la source de photons (énergie photonique) à l'origine de la dose absorbée ni de quelque autre grandeur d'influence.

Une *grandeur d'influence composée* est constituée d'un sous-ensemble des N grandeurs d'influence. Comme dans le cas d'une grandeur d'influence indépendante individuelle, la variation fractionnaire dans la réponse relative globale dépend seulement de cette grandeur d'influence indépendante composée.

Une *grandeur d'influence composée du premier type* est constituée des grandeurs d'influence x_i et x_j (le nombre peut être supérieur à deux). La réponse relative exprimée sous la forme d'une fonction de x_i et x_j est non séparable et donc, sous forme discrète, cette réponse consiste en une matrice dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. Cependant, la probabilité d'occurrence p_{ij} peut être séparable en fonctions de probabilité indépendantes p_i et p_j . La combinaison de l'énergie photonique et de l'angle d'incidence (« énergie-angle » ou « $E-\theta$ ») constitue un exemple de grandeur d'influence composée du premier type. L'énergie-angle est une grandeur d'influence composée du premier type parce que la réponse relative du dosimètre dépend à la fois de l'énergie et de l'angle et parce qu'elle n'est pas séparable. Dès lors, la réponse relative, sous forme discrète, doit être exprimée sous la forme d'une matrice bidimensionnelle $r_{E\theta}$ dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. Par contre, la fonction de probabilité d'occurrence est séparable en deux fonctions de probabilité indépendantes p_E et p_θ puisqu'il n'y a pas de corrélation entre l'énergie et l'angle.

Une *grandeur d'influence composée du deuxième type* est constituée des grandeurs d'influence x_k et x_l . La réponse relative du dosimètre est représentée par une fonction séparable et, donc, sous forme discrète, elle consiste en deux vecteurs indépendants (par opposition à une matrice), chaque vecteur dépendant de seulement une grandeur d'influence, x_k ou x_l . Cependant, la fonction de probabilité d'occurrence p_{kl} n'est pas séparable. La combinaison de l'humidité et de la température ($H-T$) constitue un exemple de grandeur d'influence composée de deuxième type. La réponse relative du dosimètre est séparable en deux fonctions de réponse relative indépendantes r_H et r_T parce que la variation fractionnaire de la réponse relative imputable à une variation de l'une quelconque des grandeurs d'influence est indépendante de l'autre grandeur. Par contre, la fonction de probabilité d'occurrence n'est pas séparable parce que l'humidité relative dépend de la température. Sous forme discrète, cette fonction est représentée par une matrice p_{HT} .

Une *grandeur d'influence composée du troisième type* est constituée des grandeurs d'influence x_u et x_v de telle sorte que ni la réponse relative r_{uv} ni la fonction de probabilité d'occurrence p_{uv} ne sont séparables. Dès lors, sous forme discrète, aussi bien la réponse relative r_{uv} que la probabilité d'occurrence p_{uv} consistent en une matrice bidimensionnelle dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. Aucun exemple n'est présenté ici, car il est très rare de rencontrer une telle grandeur d'influence composée en dosimétrie externe.

A.3.2 Réponse du dosimètre

On définit la réponse d'un dosimètre R comme le résultat d'une mesure effectuée dans des conditions définies, H_m , divisé par la valeur conventionnellement vraie de la dose qui serait reçue dans les mêmes conditions, H_c :

$$R = \frac{H_m}{H_c} \quad (1)$$

La réponse moyenne \bar{R} d'un dosimètre dans les conditions voulues d'utilisation peut être exprimée sous la forme d'une fonction séparable, représentée par le produit suivant ^[7] :

$$\bar{R} = R_0 \bar{r}_1 \bar{r}_2 \dots \bar{r}_q \dots \bar{r}_{ij} \dots \bar{r}_k \bar{r}_l \dots \bar{r}_{uv} \dots \bar{r}_N \quad (2)$$

où

- R_0 = réponse de référence du dosimètre, obtenue lorsque toutes les grandeurs d'influence sont maintenues aux valeurs correspondant aux conditions de référence (normalement, les conditions dans lesquelles le dosimètre est étalonné). La réponse relative globale r est définie comme étant égale au rapport R/R_0 . On définit la réponse relative r_q applicable à une grandeur d'influence indépendante q comme la réponse relative globale du dosimètre lorsque toutes les grandeurs d'influence, à l'exception de q , sont maintenues aux valeurs correspondant aux conditions de référence;
- N = nombre de grandeurs d'influence qui peuvent influencer sur la réponse (si deux grandeurs d'influence ou plus ne sont pas indépendantes, on peut les combiner en une grandeur d'influence composée indépendante des autres grandeurs d'influence);
- \bar{r}_q = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_q que peut atteindre la $q^{\text{ième}}$ grandeur d'influence indépendante;
- \bar{r}_{ij} = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_i et x_j que peuvent atteindre les $i^{\text{ième}}$ et $j^{\text{ième}}$ grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du premier type introduite lorsque la réponse relative correspondant à cette grandeur d'influence composée indépendante r_{ij} ne peut pas être séparée en réponses relatives indépendantes r_i et r_j , alors que la fonction de probabilité d'occurrence p_{ij} est séparable et exprimée par le produit des fonctions de probabilité individuelles p_i et p_j , qui sont indépendantes l'une de l'autre;

$\overline{r_k r_l}$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_k et x_l que peuvent atteindre les $k^{\text{ième}}$ et $l^{\text{ième}}$ grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du deuxième type introduite lorsque la réponse relative correspondant à cette grandeur d'influence indépendante composée r_{kl} peut être séparée en réponses relatives indépendantes r_k et r_l , alors que la fonction de probabilité d'occurrence p_{ij} n'est pas séparable en fonctions de probabilité indépendantes p_i et p_j ; et

$\overline{r_{uv}}$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_u et x_v que peuvent atteindre les $u^{\text{ième}}$ et $v^{\text{ième}}$ grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du troisième type introduite lorsque ni la réponse relative r_{uv} ni la probabilité d'occurrence p_{uv} correspondant à cette grandeur d'influence composée indépendante ne peuvent être séparées en réponses relatives individuelles r_u et r_v ou en probabilités d'occurrence indépendantes p_u et p_v .

Si l'on connaît l'effet des variations d'une grandeur d'influence sur la réponse relative du dosimètre et que l'on peut mesurer ou estimer la distribution de probabilité de cette grandeur, la réponse relative moyenne attribuable à cette grandeur d'influence peut se calculer à l'aide des techniques statistiques usuelles, comme il est indiqué ci-dessous.

Dans le cas d'une grandeur d'influence indépendante q , la réponse relative moyenne dans l'équation (2) est égale à :

$$\overline{r_q} = \sum_{s=1}^{M_q} r_{q,s} P_{q,s} \quad (3)$$

où

M_q = nombre de réponses relatives mesurées pour la $q^{\text{ième}}$ grandeur d'influence;

$r_{q,s}$ = $s^{\text{ième}}$ de M_q réponses relatives mesurées correspondant au $s^{\text{ième}}$ intervalle dans x_q ;

$p_{q,s}$ = probabilité que x_q prenne une valeur comprise dans le $s^{\text{ième}}$ intervalle.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du premier type, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\bar{r}_{ij} = \sum_{s=1}^{M_i} \sum_{t=1}^{M_j} r_{ij,s,t} p_{i,s} p_{j,t} \quad (4)$$

où

$r_{ij,s,t}$ = matrice réponse qui dépend des $i^{\text{ième}}$ et $j^{\text{ième}}$ grandeurs d'influence, et $p_{i,s}$ et $p_{j,t}$ sont des vecteurs probabilité d'occurrence qui sont indépendants l'un de l'autre.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du deuxième type, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\bar{r}_k r_l = \sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} r_{k,s} r_{l,t} p_{kl,s,t} \quad (5)$$

où

$p_{kl,s,t}$ = matrice probabilité d'occurrence qui dépend des $k^{\text{ième}}$ et $l^{\text{ième}}$ grandeurs d'influence, et $r_{k,s}$ et $r_{l,t}$ sont des vecteurs réponse relative qui sont indépendants l'un de l'autre.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du troisième type, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\bar{r}_{uv} = \sum_{s=1}^{M_u} \sum_{t=1}^{M_v} r_{uv,s,t} p_{uv,s,t} \quad (6)$$

où

$r_{uv,s,t}$ et $p_{uv,s,t}$ = matrices réponse relative et probabilité d'occurrence, respectivement, qui dépendent toutes les deux des grandeurs d'influence u et v .

Les probabilités sont normalisées de telle sorte que :

$$\sum_{s=1}^{M_i} p_{i,s} = 1 \quad \text{et} \quad \sum_{t=1}^{M_j} p_{j,t} = 1$$

et

$$\sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} p_{kl,s,t} = 1 \quad \text{et} \quad \sum_{s=1}^{M_u} \sum_{t=1}^{M_v} p_{uv,s,t} = 1$$

Dans le cas particulier où toutes les valeurs de x_i comprises dans l'intervalle des valeurs possibles $[x_i^{min}, x_i^{max}]$ sont également probables, la probabilité est exactement égale à la largeur de l'intervalle $\Delta x_{i,s}$ divisée par la largeur de l'intervalle :

$$p_{i,s} = \frac{\Delta x_{i,s}}{x_i^{max} - x_i^{min}} \tag{7}$$

On peut également estimer les probabilités de cette façon lorsqu'on ne dispose pas de données sur les probabilités réelles.

La variance u^2 des réponses mesurées par rapport à la réponse moyenne peut aussi être calculée à l'aide des techniques statistiques usuelles; sa racine carrée positive donne l'incertitude type de la réponse du dosimètre, u . L'expression générale de la variance de la réponse est alors la suivante :

$$u^2 = R_0^2 \overline{r_1^2} \overline{r_2^2} \dots \overline{r_q^2} \dots \overline{r_{ij}^2} \dots \overline{r_k^2} \overline{r_l^2} \dots \overline{r_{uv}^2} \dots \overline{r_N^2} - (\overline{R})^2 \tag{8}$$

Dans cette équation, les facteurs liés aux réponses relatives qui dépendent des grandeurs d'influence individuelles sont donnés par l'équation suivante :

$$\overline{r_q^2} = \sum_{s=1}^{M_q} r_{q,s}^2 p_{q,s} \tag{9}$$

Les termes de l'équation (8) qui font intervenir des grandeurs d'influence composées du premier type deviennent alors :

$$\overline{r_{ij}^2} = \sum_{s=1}^{M_i} \sum_{t=1}^{M_j} r_{ij,s,t}^2 p_{i,s} p_{j,t} \quad (10)$$

De même, le terme de l'équation (8) correspondant à la grandeur d'influence composée du deuxième type est égal à :

$$\overline{r_k^2 r_l^2} = \sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} r_{k,s}^2 r_{l,t}^2 p_{kl,s,t} \quad (11)$$

et le terme de l'équation (8) correspondant à la grandeur d'influence composée du troisième type est égal à :

$$\overline{r_{uv}^2} = \sum_{s=1}^{M_u} \sum_{t=1}^{M_v} r_{uv,s,t}^2 p_{uv,s,t} \quad (12)$$

Outre l'incertitude type de la réponse, il existe une incertitude relative statistique u_s imputable aux erreurs aléatoires du procédé de mesure. On détermine la grandeur de cette incertitude par une évaluation du type A ^[6]. L'incertitude type globale d'un même relevé dosimétrique est alors la suivante :

$$u_c = \overline{R} \sqrt{\left(\frac{u}{\overline{R}}\right)^2 + u_s^2} \quad (13)$$

Selon ces définitions, la norme générale d'exactitude et de précision est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{I}{\rho} \leq \overline{R} \pm 2u_c \leq \rho \quad (14)$$

où

$$\begin{aligned} \rho &= 1,5 \text{ pour } d = 10 \text{ mm et } 4 \text{ mSv} < H_{p,c}(10) < 10 \text{ Sv}; \\ &= 2 \text{ pour } d = 10 \text{ mm et } H_{p,c}(10) = 0,4 \text{ mSv}; \\ &= 1,5 \text{ pour } d = 0,07 \text{ mm et } 100 \text{ mSv} < H_{p,c}(0,07) < 10 \text{ Sv}; \end{aligned}$$

- = 2 pour $d = 0,07$ mm et $H_{p,c}(0,07) = 10$ mSv;
- = 3 pour 100 mSv $< H_{e,c} < 10$ Sv; et
- = 3 pour $H_{e,c} = 10$ mSv

L'incertitude type globale u_c est multipliée par un facteur de couverture de 2 pour dégager un intervalle d'incertitude des mesures individuelles de R correspondant à un niveau de confiance d'environ 95 %. La section A.4, « Exemples de calculs » offre un exemple pratique du calcul décrit ci-dessus.

A.4 Exemples de calculs

La présente section donne des exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale à partir de données hypothétiques. Pour simplifier, on suppose que seulement cinq grandeurs d'influence ont un effet important sur la réponse du dosimètre et seuls les champs photoniques sont examinés. Les cinq grandeurs d'influence sont les suivantes : énergie photonique, angle d'incidence des photons, humidité relative, température et dose (linéarité de la dose dans le dosimètre). Les cinq grandeurs d'influence sont regroupées comme suit : une grandeur d'influence individuelle (dose); une grandeur d'influence composée du premier type (énergie-angle) et une grandeur d'influence composée du deuxième type (humidité-température). On suppose que le dosimètre sera utilisé dans une centrale nucléaire.

A.4.1 Énergie photonique et angle d'incidence

La première étape consiste à mesurer la réponse relative pour des gammes d'énergies et d'angles représentatives des gammes auxquelles on peut s'attendre dans la centrale. Les autres grandeurs d'influence demeurent constantes et égales aux valeurs de référence. Les résultats sont présentés sous la forme d'une matrice r_{ij} ou $r_{E\theta}$, comme le montre le tableau A.1.

Tableau A.1 : Réponse relative mesurée (hypothétique) $r_{E\theta,s,t}$ en fonction de l'énergie photonique et de l'angle d'incidence - Conditions de référence : rayonnement gamma émis par le ^{137}Cs à zéro degré

Énergie (E)		Angle (θ)				
		Indice, t				
		1	2	3	4	5
		Valeur (degrés)				
Indice, s	Valeur (keV)	0	20	40	60	80
1	33	0,85	0,84	0,82	0,80	0,75

2	48	0,97	0,97	0,96	0,94	0,89
3	65	1,08	1,08	1,07	1,05	1,00
4	83	1,16	1,16	1,15	1,13	1,09
5	100	1,14	1,14	1,13	1,12	1,08
6	118	1,10	1,10	1,10	1,09	1,05
7	164	1,08	1,08	1,08	1,07	1,03
8	208	1,05	1,05	1,05	1,04	1,00
9	250	1,02	1,02	1,02	1,01	0,98
10	662	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96
11	1250	0,95	0,95	0,95	0,94	0,92

Ensuite, on définit les intervalles d'énergie et d'angle correspondant à chaque point de mesure et on évalue la probabilité d'exposition dans chaque intervalle. Les résultats sont présentés dans les tableaux A.2 et A.3. Il est possible que l'énergie et l'angle d'incidence soient en corrélation en un point particulier et pour une orientation donnée, mais le fait de se déplacer dans le champ aura pour conséquence globale de réduire considérablement toute corrélation; dès lors, les deux grandeurs d'influence peuvent être traitées comme des grandeurs non corrélées.

Tableau A.2 : Intervalles d'énergie et probabilité estimée $p_{E,s}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

Indice, s	E (keV)	Intervalle (keV)	Probabilité $p_{E,s}$
1	33	0-40	0,01
2	48	41-55	0,01
3	65	56-74	0,03
4	83	75-91	0,05
5	100	92-109	0,05
6	118	110-141	0,05
7	164	142-186	0,05
8	208	187-229	0,05
9	250	230-450	0,25
10	662	451-950	0,30
11	1 250	951-1 500	0,15
Somme			1,00

Tableau A.3 : Intervalles d'angle d'incidence et probabilité estimée $p_{\theta,t}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

Indice, t	θ (degrés)	Intervalle (degrés)	Probabilité $p_{\theta,t}$
1	0	0-10	0,20
2	20	11-30	0,30
3	40	31-50	0,30
4	60	51-70	0,10
5	80	71-90	0,10
Somme			1,00

La réponse relative moyenne pour la gamme des énergies-angles considérée est donnée par l'équation (4)¹; elle peut être calculée à partir des réponses relatives indiquées dans le tableau A.1 et des distributions de probabilité données dans les tableaux A.2 et A.3, en utilisant la multiplication matrice. Si l'on remplace i par E , j par θ , M_i par 11 et M_j par 5, l'équation (4) devient :

$$\overline{r_{E\theta}} = \sum_{s=1}^{s=11} \sum_{t=1}^{t=5} r_{E\theta,s,t} P_{E,s} P_{\theta,t} \quad (4A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_{E\theta}} = 1,018$$

De même, lorsqu'on élève au carré les éléments de la matrice réponse, l'équation (10) devient :

$$\overline{r_{E\theta}^2} = \sum_{s=1}^{s=11} \sum_{t=1}^{t=5} r_{E\theta,s,t}^2 P_{E,s} P_{\theta,t} \quad (10A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_{E\theta}^2} = 1,041$$

¹ Les équations mentionnées dans la présente section sont explicitées dans la section A.3 de la présente annexe.

A.4.2 Humidité relative et température

On suppose que ces deux grandeurs d'influence influent sur la réponse du dosimètre de manière indépendante. On peut donc mesurer les réponses relatives pour une série de valeurs de chaque grandeur, tout en maintenant l'autre grandeur constante et égale à sa valeur de référence. Là encore, on définit des intervalles pour chacune des valeurs mesurées, afin de couvrir toute la gamme des valeurs de la grandeur auxquelles le dosimètre peut être exposé. Les points de mesure, les intervalles correspondants et les réponses relatives sont présentés dans les tableaux A.4 et A.5.

Tableau A.4 : Réponse relative mesurée $r_{H,s}$ en fonction de l'humidité relative H, avec une valeur de référence de 50 %

Indice, s	H (%)	Intervalle (%)	Réponse relative $r_{H,s}$
1	40	0-50	1,00
2	60	51-70	0,99
3	80	71-90	0,98
4	95	91-100	0,95

Tableau A.5 : Réponse relative mesurée $r_{T,t}$ en fonction de la température T, avec une valeur de référence de 20 °C

Indice, t	T (°C)	Intervalle (°C)	Réponse relative $r_{T,t}$
1	-10	(-15)-(-5)	1,05
2	0	(-6)-(-5)	1,03
3	10	6-15	1,01
4	20	16-25	1,00
5	30	26-35	0,99
6	40	36-45	0,95
7	50	46-55	0,90

Étant donné que la température et l'humidité relative sont en corrélation dans le milieu de travail, on doit estimer une matrice probabilité p_{HT} , comme il est indiqué dans le tableau A.6.

Tableau A.6 : Probabilité d'occurrence relative estimée $p_{HT,s,t}$ dans le milieu de travail pour chaque combinaison d'intervalles de température et d'humidité relative

		Température							
		Indice, t							
		1	2	3	4	5	6	7	
Humidité		Intervalle (°C)							
Indice, s	Intervalle (%)	(-15)-(-5)	(-6)-(5)	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	Somme
1	0-50	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2	51-70	0,00	0,00	0,11	0,30	0,05	0,00	0,00	0,46
3	71-90	0,00	0,00	0,00	0,25	0,15	0,03	0,00	0,43
4	91-100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,07
									1,00

Lorsqu'on remplace k par H , l par T , M_k par 4 et M_l par 7, l'équation (5) devient :

$$\overline{r_H r_T} = \sum_{s=1}^{s=4} \sum_{t=1}^{t=7} r_{H,s} r_{T,t} p_{HT,s,t} \quad (5A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_H r_T} = 0,980$$

De même, l'équation (11) devient :

$$\overline{r_H^2 r_T^2} = \sum_{s=1}^{s=4} \sum_{t=1}^{t=7} r_{H,s}^2 r_{T,t}^2 p_{HT,s,t} \quad (11A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_H^2 r_T^2} = 0,961$$

A.4.3 Linéarité de la dose

Dans le cas plus simple d'une grandeur d'influence indépendante individuelle, les réponses relatives r_q et les probabilités d'occurrence correspondantes p_q peuvent être représentées par des vecteurs indépendants, comme il est indiqué dans le tableau A.7.

Tableau A.7 : Réponse relative mesurée $r_{D,s}$ à un accroissement de la dose (linéarité) et probabilité estimée $p_{D,s}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

Indice, s	Dose, D (mSv)	Intervalle, q (mSv)	Réponse relative $r_{D,s}$	Probabilité $p_{D,s}$
1	0,1	0-0,2	1,05	0,900
2	0,5	0,2-0,7	1,02	0,050
3	1,0	0,7-2,0	1,00	0,030
4	5,0	2,0-7,0	1,00	0,010
5	10	7-20	1,00	0,009
6	50	20-70	1,00	0,001
7	100	70-200	1,00	0,000
8	500	200-700	1,00	0,000
9	1 000	700-1 500	1,02	0,000
10	2 000	1 500-3 000	1,05	0,000
11	4 000	3 000-5 000	1,08	0,000
12	6 000	5 000-7 000	1,11	0,000
13	8 000	7 000-9 000	1,15	0,000
14	10 000	9 000-11 000	1,20	0,000
			Somme	1,000
Remarque : La valeur de référence est de 10 mSv.				

Dans ce cas, lorsqu'on remplace q par D et M_q par 14, l'équation (3) devient :

$$\bar{r}_D = \sum_{s=1}^{s=14} r_{D,s} p_{D,s} \quad (3A)$$

ce qui donne :

$$\bar{r}_D = 1,046$$

De même, l'équation (9) devient :

$$\overline{r_D^2} = \sum_{s=1}^{s=14} r_{D,s}^2 p_{D,s} \quad (9A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_D^2} = 1,094$$

A.4.4 Réponse moyenne et incertitude globale

Si le dosimètre a été étalonné de manière à ce qu'il indique la valeur conventionnellement vraie de la dose dans les conditions de référence, alors $R_0 = 1$. On peut maintenant exprimer l'équation (2) sous la forme suivante :

$$\overline{R} = I * \overline{r_D} * \overline{r_{E\theta}} * \overline{r_H r_T} \quad (2A)$$

En utilisant cette valeur et les résultats des sections précédentes dans l'équation (2A), on obtient une réponse moyenne égale à :

$$\overline{R} = 1,044$$

La variance de la réponse est donnée par l'équation (8) qui peut être réécrite sous la forme suivante :

$$u^2 = I^2 * \overline{r_D^2} * \overline{r_{E\theta}^2} * \overline{r_H^2 r_T^2} - (\overline{R})^2 \quad (8A)$$

ce qui donne :

$$u^2 = 0,0045$$

Une série de mesures répétées à des doses supérieures à 4 millisieverts (mSv), avec les cinq grandeurs d'influence maintenues constantes et égales aux conditions de référence, présente une incertitude relative statistique u_s de 10 %. Cette incertitude peut être considérée comme une incertitude de type A due aux erreurs aléatoires.

En combinant l'incertitude type de la réponse et l'incertitude relative statistique donnée par l'équation (13), on obtient l'incertitude type globale d'une mesure individuelle suivante :

$$u_c = 1,044 \sqrt{\frac{0,0045}{(1,044)^2} + (0,1)^2}$$

$$u_c = 0,1240$$

Les limites supérieure et inférieure définies par l'équation (14) sont alors de 0,80 et de 1,29; elles se situent bien à l'intérieur des limites exigées de 0,67 et de 1,5, correspondant à $\rho = 1,5$.

Pour une dose de 0,4 mSv, on doit avoir $\rho = 2$. Dans ces conditions, la réponse relative moyenne et l'incertitude de la réponse seront probablement les mêmes que pour des doses plus élevées. L'incertitude imputable aux erreurs aléatoires représente la composante de l'incertitude globale qui risque d'augmenter et elle doit donc être déterminée séparément à cette dose plus faible.

ANNEXE B

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS DE TYPE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE

B.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité », le service de dosimétrie doit procéder à des essais de type, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.4, « Essais de type ». Si les dosimètres couramment utilisés risquent d'être exposés à des conditions autres que celles mentionnées ici, mais qui peuvent influencer sur le résultat d'un relevé de dose, ces conditions doivent être définies et incluses dans les essais de type, en plus de celles qui sont énoncées ci-dessous.

Dans toute la mesure du possible, on doit corriger toute erreur introduite par une grandeur d'influence en appliquant un facteur de correction au calcul de H_m (le résultat d'une mesure dans des conditions définies) de manière à ce que la réponse relative moyenne pour cette grandeur d'influence prenne une valeur qui soit le plus près possible de l'unité. Néanmoins, il peut arriver qu'il soit impossible ou non souhaitable d'appliquer un facteur de correction pour une grandeur d'influence particulière. Dans ce cas, il faudra inclure l'erreur introduite par la grandeur d'influence dans la détermination de la réponse moyenne.

B.2 Grandeurs d'influence et caractéristiques du système

Le service de dosimétrie doit évaluer, parmi les grandeurs d'influence, celles qui peuvent avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude. Lorsqu'on évalue l'importance éventuelle des grandeurs d'influence, on doit tenir compte tant de la conception du système dosimétrique que des conditions prévues d'utilisation.

Les grandeurs d'influence à considérer sont les suivantes :

1. l'angle d'incidence du rayonnement;
2. la distance entre le dosimètre et le fantôme;
3. la dose (c'est-à-dire, la linéarité de la réponse de dose);
4. le débit de dose, y compris dans des champs de rayonnement pulsés;
5. les champs électromagnétiques tant statiques qu'alternatifs;
6. l'énergie des photons et des rayons bêta;
7. l'humidité et les éclaboussures;
8. les rayonnements ionisants autres que ceux que l'on entend mesurer;
9. les chocs mécaniques (chutes et vibrations du dosimètre);
10. les champs de rayonnement mixtes;

11. les variations de température tant progressives qu'abruptes;
12. le temps écoulé entre le pointage à zéro et l'irradiation, ainsi qu'entre l'irradiation et la lecture;
13. le flux de lumière visible et de rayons ultraviolets (effet tant sur le dosimètre que sur le lecteur);
14. la tension d'alimentation au lecteur (surtensions et variations progressives).

Le service de dosimétrie doit également estimer, le cas échéant, les effets des caractéristiques suivantes du système :

1. l'homogénéité des lots;
2. l'incertitude d'étalonnage;
3. la reproductibilité (mesure de la stabilité de la réponse tant du dosimètre que du lecteur);
4. le signal résiduel;
5. l'auto-irradiation;
6. les variations dose-zéro.

S'il est établi qu'une grandeur d'influence ou une caractéristique du système risque de causer une variation importante et soudaine de la dose mesurée, mais avec une faible probabilité, il conviendra de ne pas inclure cette variation dans l'incertitude type globale. On devra plutôt réduire au minimum les probabilités que cette grandeur cause l'effet considéré, soit en modifiant la conception du dosimètre, soit en instaurant des contrôles de procédure. On estimera ensuite les probabilités réduites d'apparition d'un tel effet.

B.3 Fantômes

Pendant l'irradiation, on doit monter les dosimètres sur un fantôme approprié pour effectuer des essais de type des grandeurs d'influence suivantes : l'angle d'incidence du rayonnement, la distance entre le dosimètre et le fantôme et l'énergie des photons et des rayons bêta. Pour les essais d'autres grandeurs d'influence exigeant une irradiation, on peut avoir recours à toute géométrie radiative jugée commode pourvu que l'on connaisse les doses relatives aux dosimètres avec un degré de précision approprié aux essais considérés. Le signal produit par les dosimètres dans ces essais peut être relié à la dose correspondante conventionnellement vraie en utilisant les résultats des irradiations sur fantôme.

Pour les dosimètres qui doivent être portés pendant des irradiations du torse (corps entier), le fantôme des irradiations photoniques est un parallélépipède (« plaque ») à parois de PMMA, c.-à-d. poly(méthacrylate de méthyle), et rempli d'eau^[9]. Les dimensions extérieures sont de 30 cm x 30 cm x 15 cm et l'épaisseur des parois est de 2,5 mm pour la face antérieure (une des parois de 30 cm x 30 cm) et de 10 mm pour les cinq autres parois. On doit construire le fantôme de manière à ce que la face antérieure demeure plate quand on le remplit d'eau. Pour les irradiations bêta, on peut utiliser le

même type de fantôme-plaque rempli d'eau qui vient d'être décrit. On peut également utiliser une plaque pleine en PMMA offrant les mêmes dimensions de parois et une épaisseur supérieure à la moitié du parcours des particules bêta les plus énergiques.

Pour les dosimètres d'extrémités, les fantômes doivent être des représentations appropriées du point de vue radiologique des parties des extrémités où les dosimètres seront portés. Il s'agit habituellement des doigts, des poignets et des chevilles. Les fantômes doivent convenir à la fois à la conception du dosimètre et à l'environnement radiologique dans lequel ils seront utilisés. Deux fantômes possibles sont décrits ci-dessous. Seul le fantôme considéré comme étant le plus représentatif de la partie du corps sur laquelle le dosimètre sera placé le plus fréquemment doit être utilisé dans les essais de type. Le service de dosimétrie doit consulter la CCSN avant d'utiliser d'autres fantômes.

1. *Doigt* : cylindre plein en PMMA de 19 mm de diamètre et 300 mm de longueur [10], [11], [12], [13], [14].
2. *Poignet/cheville* : cylindre en PMMA à charge d'eau présentant un diamètre extérieur de 73 mm, une épaisseur de paroi de 2,5 mm et une longueur de 300 mm [14].

Les ouvrages de référence mentionnés fournissent les coefficients de conversion entre le kerma de l'air et la dose correspondants. On peut également consulter des ouvrages plus récents offrant une information à jour, à mesure qu'ils deviennent disponibles. Toutefois, le service de dosimétrie doit consulter la CCSN avant d'utiliser d'autres ouvrages de référence.

B.4 Angle d'incidence du rayonnement

Pour les dosimètres qui sont irradiés sur le fantôme-plaque décrit ci-dessus, les rayonnements d'essai doivent avoir, sur la face du dosimètre, un angle d'incidence de 0°, 20°, 40° et 60° par rapport à l'incidence normale. Si la conception du dosimètre donne une réponse angulaire à symétrie cylindrique autour de l'axe perpendiculaire à la face antérieure, il suffira d'effectuer les mesures, en un seul sens, dans un même plan (il faudra donc quatre (4) mesures). À défaut de symétrie cylindrique, il sera peut-être nécessaire d'effectuer les mesures, dans les deux sens, dans deux plans perpendiculaires (ce qui pourrait représenter jusqu'à 13 mesures) pour pouvoir caractériser convenablement la réponse angulaire du dosimètre. Dans ce dernier cas, on calculera la réponse moyenne pour chaque angle et cette valeur deviendra la réponse propre à cet angle.

Pour les dosimètres d'extrémités, les rayonnements d'essai doivent avoir, sur la face antérieure du dosimètre, un angle d'incidence de 0°, 30° et 60° par rapport à l'incidence normale dans deux plans perpendiculaires (il faudra donc au moins cinq mesures). Si le dosimètre ne présente pas de symétrie cylindrique, le nombre de mesures peut s'élever à neuf. On calcule la réponse moyenne pour chaque angle et cette valeur devient la réponse propre à cet angle.

B.5 Énergies photoniques

Pour tous les types de dosimètres, les énergies photoniques utilisées pour les irradiations d'essai doivent être conformes à la norme internationale ISO 4037-1^[15]. On a calculé et publié des coefficients de conversion du kerma de l'air (ou de l'exposition) en $H_{p,c}(d)$ pour ces spectres d'énergie (voir la norme ISO 4037-3^[9]). Les calculs sont basés sur un fantôme type de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR), consistant en une plaque en tissu dont les dimensions correspondent à celles du fantôme à charge d'eau qui a été décrit ci-dessus. La différence de rétrodiffusion entre les fantômes en tissu de la CIUMR et les fantômes à charge d'eau est assez faible pour être considérée comme négligeable. On a calculé et publié des coefficients de conversion du kerma de l'air en $H_{e,c}$ sur des fantômes cylindriques^[14]. Dans le cas où l'énergie photonique est élevée, il se peut qu'il soit nécessaire d'ajouter une épaisseur de matériau devant le dosimètre pour mesurer $H_{p,c}(0,07)$ et $H_{e,c}$, afin de maintenir l'équilibre des particules chargées.

B.6 Énergie bêta

On doit utiliser les sources bêta standard indiquées dans le tableau B.1 pour les essais de type des dosimètres servant à mesurer $H_p(0,07)$ et H_e :

Tableau B.1 : Sources bêta standard

Isotope	Énergie bêta maximale (keV)
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	2274
^{85}Kr ou ^{204}Tl	763 ou 687
^{147}Pm	225

Il est à noter que pour les énergies bêta intermédiaires, on utilisera soit du ^{85}Kr ou du ^{204}Tl . La norme ISO 6980^[16] (ou la version la plus récente de cette référence) offre de plus amples renseignements au sujet de ces sources, à l'exception du ^{85}Kr . Le fabricant de la source fournira les renseignements nécessaires au sujet du ^{85}Kr . Ces sources sont disponibles sur le marché avec des étalonnages traçables pour une irradiation à incidence normale. Dans le cas des dosimètres d'extrémités irradiés à des angles d'incidence autres que l'incidence normale, on peut utiliser les facteurs de dépendance angulaire pour un fantôme-plaque équivalent en tissu. Les coefficients de conversion normalisés à 0° pour $H_p(0,07)$ ont été publiés pour d'autres angles d'incidence (voir, par exemple, le rapport de la Communauté européenne intitulé *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation*^[17]).

La mesure précise de $H_p(0,07)$ et H_e pour le rayonnement bêta devient de plus en plus difficile à obtenir au fur et à mesure que diminue l'énergie bêta et qu'augmente l'angle d'incidence. La norme générale indiquée dans la section 4.1.2, « Équivalent de dose

minimal mesurable » et dans le tableau 1 de la, section 4.1.3, « Normes d'exactitudes et limites d'incertitude » s'appliquera donc ainsi :

Pour le rayonnement bêta du $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$:

Les réponses à tous les angles d'incidence indiqués dans la section B.4, « Angle d'incidence du rayonnement » doivent être utilisées dans le calcul de la réponse moyenne.

Pour le rayonnement bêta du ^{85}Kr ou ^{204}Tl :

La réponse à 0° doit être utilisée dans le calcul de la réponse moyenne. Cependant, la réponse doit être mesurée aux autres angles indiqués dans la section B.4, « Angle d'incidence du rayonnement ».

Pour le rayonnement bêta ^{147}Pm :

La réponse doit être mesurée aux angles indiqués dans la section B.4, « Angle d'incidence du rayonnement ». Cependant, les données n'ont pas besoin d'être utilisées dans le calcul de la réponse moyenne.

On établit séparément les réponses relatives moyennes et les incertitudes types pour les photons et les rayons bêta aux fins de comparaison avec les exigences définies par l'équation (14) de la section A.3, « Exactitude et précision » de l'annexe A, « Exactitude et incertitude en dosimétrie externe ».

ANNEXE C

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE PHOTONIQUE EXTERNE

C.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité », des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre des arrangements directement avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J). Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des dosimètres thermoluminescents [DTL], par exemple) doivent suivre le protocole décrit dans la section C.2, « Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement ». Les services de dosimétrie qui utilisent des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) doivent plutôt suivre le protocole décrit dans la section C.3, « Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement ». Bien que, dans la section C.3, décrit spécifiquement l'utilisation des unités de kerma de l'air, les services de dosimétrie peuvent choisir des unités correspondantes d'exposition, s'ils le préfèrent, après avoir consulté le personnel du centre de référence en étalonnage.

C.2 Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement

1. S'il y a lieu, le service de dosimétrie doit établir un facteur de conversion de $H_p(10)$ (selon les mesures de dosimètres sur fantôme) au kerma de l'air libre-dans-l'air (ou à l'exposition libre-dans-l'air) produit par un rayonnement gamma au ^{60}Co . Cette opération est nécessaire, puisque le centre de référence en étalonnage fait des irradiations libres-dans-l'air.
2. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 50 dosimètres désignés par unité de traitement examinée, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Pour chaque unité soumise à des essais, le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en au moins 10 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres à une irradiation libre-dans-l'air, avec un faisceau photonique au ^{60}Co selon des valeurs différentes, mais connues, de kerma de l'air situées entre 1,0 milligray (mGy) et 50 mGy. Le kerma reçu par les dosimètres ne sera pas révélé à ce moment-là au service de dosimétrie.
3. On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service de dosimétrie communiquera alors les résultats en unités de

kerma de l'air au centre de référence en étalonnage, après les avoir corrigés, s'il y a lieu, à l'aide du facteur indiqué dans le paragraphe (1).

4. Le centre de référence en étalonnage comparera les résultats déclarés à ses propres valeurs du kerma de l'air. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN, à l'adresse indiquée ci-dessous, par le centre de référence en étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

C.3 Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement

1. S'il y a lieu, le service de dosimétrie qui utilise des dosimètres n'exigeant pas de traitement doit établir un facteur de conversion de $H_p(10)$ (selon les mesures de dosimètres sur fantôme) au kerma de l'air libre-dans-l'air (ou l'exposition libre-dans-l'air) produit par un rayonnement gamma au ^{60}Co . Cette opération est nécessaire, puisque le centre de référence en étalonnage fait des irradiations libres-dans-l'air.
2. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit envoyer au moins 10 dosimètres désignés au centre de référence en étalonnage. Le centre de référence en étalonnage soumettra au moins 10 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun à une irradiation libre-dans-l'air, avec un faisceau photonique au ^{60}Co selon des valeurs différentes, mais connues, de kerma de l'air situées entre 1,0 mGy et 50 mGy. Les dosimètres de chaque groupe de 5 seront exposés soit au même kerma de l'air soit à des kermas de l'air différents, mais dans un même intervalle de valeurs. Au total, il y aura au moins 50 relevés consignés par le personnel du centre de référence en étalonnage. Du fait du nombre de dosimètres soumis à l'essai, un dosimètre pourra être irradié plusieurs fois.
3. Le personnel du centre de référence en étalonnage corrigera les relevés dosimétriques à l'aide des facteurs de conversion établis en 1) ci-dessus et comparera les résultats aux valeurs de kerma de l'air du centre d'étalonnage. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre d'étalonnage) seront communiqués à la CCSN, à l'adresse indiquée ci-dessous, par le centre de référence en étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront renvoyés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été effectuées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

C.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE D

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE DES EXTRÉMITÉS

D.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité », des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre des arrangements directement avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J). Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des dosimètres thermoluminescents [DTL], par exemple) doivent suivre le protocole décrit dans la section D.2., « Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement ». Les services de dosimétrie qui utilisent des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) doivent plutôt suivre le protocole décrit dans la section D.3, « Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement ».

D.2 Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement

1. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 25 dosimètres d'extrémités désignés par unité de traitement examinée, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Pour chaque unité soumise à des essais, le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en au moins 5 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres à une irradiation correspondant à une dose absorbée par un tissu mou située entre 10 mGy et 90 mGy, à une profondeur de 7 mg/cm², à l'aide de sa source ⁹⁰Sr-⁹⁰Y. Les doses appliquées aux dosimètres ne seront pas révélées à ce moment-là au service de dosimétrie.
2. On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service de dosimétrie communiquera alors les résultats en unités de dose absorbée au centre de référence en étalonnage.
3. Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse à la section D4, « Rapport » ci-dessous) par le centre de référence, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

D.3 Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement

1. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au moins 10 dosimètres au centre de référence en étalonnage. Le centre de référence en étalonnage soumettra les dosimètres à des irradiations correspondant à des doses absorbées par un tissu mou différentes mais connues, situées entre 10 mGy et 90,0 mGy, à une profondeur de 7 mg/cm^2 , à l'aide de sa source ^{90}Sr - ^{90}Y .
2. Le centre de référence en étalonnage comparera les résultats aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre de référence, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront renvoyés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été effectuées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6, « Essais indépendants ».

D.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE E

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE

E.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité » des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.7.2, « Essais indépendants ».

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre des arrangements directement avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié. Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des détecteurs de traces nucléaires, par exemple) devront suivre le protocole décrit dans la section E.2, « Protocole relatif aux dosimètres individuels devant faire l'objet d'un traitement ». Ceux qui emploient des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) appliqueront plutôt le protocole figurant dans la section E.3, « Protocole relatif aux dosimètres individuels n'exigeant pas de traitement ».

E.2 Protocole relatif aux dosimètres individuels devant faire l'objet d'un traitement

1. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 10 dosimètres désignés, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en 2 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres placés dans un champ neutronique $^{241}\text{Am-Be}$ à des valeurs différentes mais connues de $H_p(10)$ dues aux neutrons situées entre 1 mSv et 10 mSv. Les valeurs des doses appliquées ne seront pas révélées à ce moment-là au service de dosimétrie.
2. On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service communiquera alors les résultats au centre de référence en étalonnage.
3. Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre d'étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.7, « Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine ».

E.3 Protocole relatif aux dosimètres individuels n'exigeant pas de traitement

1. Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers d'au moins une fois tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage un échantillon représentatif des dosimètres désignés. Le personnel du centre d'étalonnage soumettra chacun de ces dosimètres placés dans un champ neutronique Am-Be à deux valeurs différentes mais connues de $H_p(10)$ dues aux neutrons situées entre 1 mSv et 10 mSv.
2. Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (incluant les valeurs du service de dosimétrie et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre d'étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront retournés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été effectuées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.7, « Exigences pour les services de dosimétrie neutronique de routine ».

E.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE F

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE INTERNE

F.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité », des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans les sections 4.2.4, « Essais indépendants pour les mesures in vitro » et 4.2.6, « Essais indépendants pour les mesures in vivo ».

Les services de dosimétrie doivent prendre des arrangements directement avec le centre de référence en étalonnage compétent pour participer à ces essais indépendants.

Lorsque les essais sont terminés et que leurs résultats ont été analysés, le personnel du centre de référence en étalonnage fait parvenir à la CCSN un rapport contenant l'identité de chacun des services de dosimétrie participants et les résultats obtenus par chacun de ces services correspondants. Lorsque le centre de référence en étalonnage constate qu'un service de dosimétrie interne agréé a échoué à un essai indépendant, il en avise la CCSN et le service de dosimétrie impliqué. Le centre de référence en étalonnage remet également à chaque laboratoire participant un rapport sur les résultats des essais, dans lequel les laboratoires participants sont désignés par un code.

F.2 Essais indépendants relatifs aux relevés in vitro

Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers d'au moins une fois à tous les 12 mois, ou à toute autre fréquence déterminée en consultation avec la CCSN, le centre de référence en étalonnage remet à chaque laboratoire participant des échantillons réels et à blanc appropriés. (Les services de dosimétrie sont mis à contribution pour chacun des radionucléides d'intérêt.) Le service de dosimétrie analyse les échantillons selon un calendrier fourni par le centre de référence en étalonnage. Les résultats sont consignés sur un formulaire de déclaration type et renvoyés au centre de référence en étalonnage. Lorsque les réponses de tous les laboratoires ont été reçues, le centre de référence en étalonnage analyse les résultats et produit un rapport dans lequel chaque laboratoire est désigné par un code. Le centre de référence en étalonnage informe chaque laboratoire de son propre code et transmet à la CCSN une liste des codes de tous les services de dosimétrie (titulaires et demandeurs de permis).

On peut obtenir d'autres détails sur les essais indépendants et la méthode d'analyse en s'adressant au centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie doivent se soumettre à ces essais indépendants et obtenir la note de passage avant de recevoir un permis de la CCSN. Par la suite, ils s'acquitteront de cette obligation au moins une fois par an, ou à toute autre fréquence déterminée en consultation avec la CCSN, pour démontrer qu'ils sont toujours capables de produire des résultats satisfaisants. La procédure devra être reprise si des modifications sont apportées au matériel ou à la

méthode de mesure, lorsque ces modifications sont susceptibles d'avoir une incidence négative sur la précision, l'exactitude et la fiabilité des mesures.

Les essais indépendants relatifs au biodosage *in vitro* devront respecter les exigences suivantes :

1. Chaque laboratoire reçoit jusqu'à cinq aliquotes de chaque échantillon traité (ensemencé d'une quantité connue d'activité) aussi bien qu'un échantillon à blanc d'urine à partir duquel les échantillons ont été préparés;
2. L'extinction de couleur peut être renforcée pour certains échantillons;
3. les essais indépendants pour les mesures *in vitro* des produits de fission/d'activation, peuvent inclure jusqu'à trois radionucléides, qui peuvent varier d'une année à l'autre;
4. Pour un essai donné, les aliquotes des mêmes échantillons sont envoyées à tous les laboratoires participants; et
5. Les instructions pour les analyses d'échantillons ainsi que la date de l'ensemencement sont fournies avec les échantillons.

F.3 Essais indépendants relatifs aux relevés *in vivo*

Le centre de référence en étalonnage dispose de fantômes fabriqués dans un matériau équivalent au tissu organique pour une diversité de radionucléides dans les poumons, de fantômes cervicaux pour le ^{125}I et le ^{131}I dans la thyroïde et de fantômes BOMAB (Bottle MANikin ABSorption) remplis d'eau et de taille variable pour les énergies photoniques supérieures.

Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois tous les 12 mois, ou à toute autre fréquence autorisée par la CCSN, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants afin de démontrer qu'il est toujours capable de produire des résultats satisfaisants. Si, des modifications importantes sont apportées au matériel ou à la méthode de mesure, pouvant avoir une incidence négative sur la précision, l'exactitude et la fiabilité des mesures, après que le service de dosimétrie a reçu son permis, la méthode ou le matériel de biodosage concernés doivent être soumis à un essai indépendant et le rapport doit avoir été approuvé par la CCSN avant que le titulaire du permis puisse mettre en œuvre ces modifications importantes.

Les essais indépendants relatifs au biodosage *in vivo* devront respecter les exigences suivantes :

1. Les mélanges de radionucléides utilisés pour les mesures sur les fantômes sont limités à trois radionucléides choisis parmi ceux donnés dans le Tableau 4 de la section 4.2, « Services de dosimétrie des rayonnements internes », ^{40}K étant exclu.
2. L'emplacement de l'activité dans les fantômes est réaliste (dans les poumons ou la région gastrointestinale, par exemple).

3. Les radionucléides utilisés dans les essais *in vivo* peuvent varier d'un essai à un autre.
4. Les fantômes BOMAB remplis d'eau qui sont utilisés dans les essais *in vivo* contiennent tous du ^{40}K et couvrent l'éventail suivant :
 - a) fantôme féminin de référence,
 - b) fantôme masculin, 5^e percentile,
 - c) fantôme masculin de référence,
 - d) fantôme masculin, 95^e percentile.

Par ailleurs, afin que les essais soient représentatifs de l'épaisseur de la paroi de la cage thoracique des individus en milieu de travail, il convient d'utiliser des plaques de recouvrement dans les essais *in vivo*.

F.4 Essais indépendants relatifs au contrôle de la dose efficace engagée

Le centre de référence en étalonnage fournit à chaque laboratoire participant des scénarios d'exposition hypothétiques à une fréquence déterminée par la CCSN. Le service de dosimétrie évalue la dose efficace engagée à partir de scénarios d'exposition hypothétiques qui sont pertinents pour les activités réalisées par les titulaires de permis de la CCSN qui ont recours au service de dosimétrie. Lorsque tous les laboratoires ont répondu, le centre de référence en étalonnage analyse les résultats et publie un rapport dans lequel chaque laboratoire est identifié seulement par un code. Le centre de référence en étalonnage informe chaque laboratoire de son propre code et communique à la CCSN le code de tous les services de dosimétrie (titulaires et demandeurs de permis).

De plus amples détails sur les essais indépendants peuvent être obtenus auprès du centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie doivent participer à ces essais indépendants afin de démontrer qu'ils sont toujours capables de produire des résultats satisfaisants.

F.5 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE G

NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS POUR LA MESURE DE L'EXPOSITION AU RADON ET AUX PRODUITS DE FILIATION DU RADON

G.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, « Exigences en matière d'assurance de la qualité », des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans les sections 4.3.5, « Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon » et 4.3.8, « Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon ».

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre des arrangements directement avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J).

G.2 Protocole relatif aux moniteurs individuels

Les appareils envoyés doivent être propres, exempts de contamination et en bon état de marche. Le fonctionnement général d'un système doit être conforme, sur le plan de l'exactitude, aux normes indiquées dans le tableau 7 de la section 4.3.3, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon », pour les produits de filiation du radon, et dans le tableau 9 de la section 4.3.6, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon », pour le radon. Le service de dosimétrie doit effectuer les arrangements nécessaires avec le centre de référence en étalonnage avant d'y envoyer ses appareils.

G.3 Échantillonnage instantané

Des essais indépendants sont également exigés pour les services de dosimétrie qui ont recours à l'échantillonnage instantané pour déterminer l'exposition des travailleurs aux produits de filiation du radon et au radon. L'échantillonnage instantané visant à déterminer l'exposition au radon est réalisé dans les cas où les concentrations de radon dans l'air sont élevées, mais où il n'y a pas de présence simultanée de produits de filiation du radon (c'est-à-dire que le gaz n'a pas le temps de se désintégrer de manière significative). Dans les cas où le radon a le temps de se désintégrer, on suppose que l'air sera échantillonné en vue de déterminer les produits de filiation du radon.

La détermination de l'exposition aux produits de filiation du radon par échantillonnage instantané comporte plusieurs étapes. Il faut tout d'abord recueillir les aérosols sur un filtre, pendant une courte période de temps, puis mesurer la radioactivité des aérosols, et enfin calculer le rayonnement alpha potentiel [unité alpha (WL), ou $\mu\text{J}/\text{m}^3$] dû aux produits de filiation du radon à courte période. Il faut également procéder à l'étalonnage de la ligne de prélèvement des échantillons d'air et du système de comptage. La

détermination est une opération complexe et sujette à des erreurs associées aux appareils et à des variations dans la mise en œuvre de la méthode de collecte par les techniciens qui effectuent la détermination.

Il se peut qu'il ne soit pas possible de mettre en œuvre un programme d'essais indépendants classique pour vérifier le rendement des systèmes de mesure parce qu'un tel programme exigerait que les systèmes de mesure et toutes les méthodes employées par les différents techniciens soient vérifiés périodiquement au centre de référence en étalonnage de la CCSN. À titre de mesure de remplacement, la CCSN désignera un inspecteur dont les compétences en matière de mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon seront vérifiées une fois par an par le centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie pourront faire vérifier le rendement de leurs techniciens, une fois par an, selon l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

1. L'inspecteur de la CCSN désigné évalue tous les techniciens de chaque service de dosimétrie; ou
2. La CCSN évalue un technicien désigné représentant le service de dosimétrie, dans la méthode décrite ci-dessus, et autorise ce technicien à évaluer à son tour tous les autres techniciens de ce service qui effectuent des échantillonnages instantanés à des fins de dosimétrie des produits de filiation du radon. Les résultats des évaluations doivent être consignés et conservés par le service de dosimétrie.

Les évaluations décrites ci-dessus exigent un minimum de 10 échantillons. Les écarts entre les résultats du rendement global des appareils et des techniciens chargés de l'échantillonnage doivent permettre au service de dosimétrie d'être conforme aux normes d'exactitude indiquées dans le tableau 8 de la section 4.3.3, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon » et dans le tableau 10 de la section 4.3.6, « Normes d'exactitude pour les mesures de l'exposition au radon ».

Les questions relatives à l'évaluation directe des techniciens au sein du centre de référence en étalonnage doivent être adressées au centre de référence en étalonnage.

G.4 Rapport

Dans le cas des moniteurs individuels, le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

Si la deuxième méthode est utilisée pour l'échantillonnage instantané, le technicien désigné par le titulaire de permis doit signaler les résultats à la CCSN à l'adresse indiquée précédemment.

ANNEXE H

EXEMPLES DE CALCULS POUR LES MESURES DE LA CONCENTRATION MINIMALE ET INCERTITUDES LIÉES AU COMPTAGE

H.1 Exemple de calcul pour la détermination de la concentration minimale mesurable

L'activité volumique minimale mesurable, ou concentration minimale mesurable (MMC, de l'anglais *Minimum Measurable Concentration*) dans l'air varie selon les paramètres du système de comptage et le volume de l'échantillon. L'équation suivante, établie par Strom et Stansbury^[18], fait en sorte que la probabilité de ne pas déceler l'activité volumique est inférieure à 5 %. D'autres équations peuvent être acceptables, selon la situation.

$$MMC = \frac{2,71 + 4,65 \sqrt{C_b}}{T_c} * \frac{1}{E * V}$$

où

C_b = compte du fond naturel de rayonnement fourni par le détecteur

T_c = temps de comptage en secondes

E = efficacité du détecteur en « coups » par seconde par Bq

V = volume de l'échantillon en m³

On peut obtenir une MMC de 0,05 Bq/m³ en faisant varier les paramètres de l'équation. Par exemple, si le comptage du fond de rayonnement est de 250, le temps de comptage, de 3 600 secondes, l'efficacité du détecteur, de 0,35, et le volume de l'échantillon, de 1,2 m³, la valeur de MMC est alors :

$$MMC = \frac{2,71 + 4,65 \sqrt{250}}{3600} * \frac{1}{0,35 * 1,2}$$

$$MMC = 0,05 \text{ Bq/m}^3$$

ce qui est une valeur acceptable.

Remarque : le volume de l'échantillon dépend à la fois du débit de la pompe à prélèvement d'échantillons d'air et de la durée de l'échantillonnage.

H.2 Exemple de calcul de l'incertitude

Si la différence de taux de comptage, exprimée en « coups » par minute (cpm), est de 2 ou plus, et que le nombre total de « coups » (échantillon, plus fond naturel de rayonnement) est supérieur à 40, les équations suivantes peuvent être utilisées pour calculer les limites où se situe le compte réel (inconnu) 95 fois sur 100. ^{[19], [20]}

$$\text{Limite inférieure} = (C_t - C_b) - 1,96\sqrt{C_t + C_b}$$

$$\text{Limite supérieure} = (C_t - C_b) + 1,96\sqrt{C_t + C_b}$$

où

C_b = compte du fond naturel de rayonnement pour le temps de comptage de l'échantillon

C_t = compte total

$C_t - C_b$ = compte net

Par exemple, avec

1. une valeur implicite de LAI de 3 190 Bq pour les poussières uranifères et, par conséquent, une valeur implicite de LDCA de 1,33 Bq m⁻³,
2. 2 000 h de travail par an et un rythme respiratoire de 1,2 m³/h;
3. un taux d'échantillonnage de 2,5 L min⁻¹ (2,5 x 10⁻³ m³ min⁻¹);
4. une durée d'échantillonnage de 6 heures;
5. un rendement de comptage de 0,4;
6. un taux de comptage du fond naturel de rayonnement de 1 cpm; et
7. la concentration de matières radioactives en suspension est de 1/10 de la valeur implicite de la LDCA (0,133 Bq m⁻³),

l'activité captée sur le filtre est

$$0,133 \text{ Bq m}^{-3} \times 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \times 60 \text{ min h}^{-1} \times 6 \text{ h} = 0,120 \text{ Bq}$$

et le taux de comptage total (échantillon, plus fond naturel de rayonnement) est

$$1 \text{ cpm} + (60 \text{ s min}^{-1} \times 0,120 \text{ Bq} \times 0,4) = 3,87 \text{ cpm.}$$

Si le comptage du fond naturel de rayonnement et de l'échantillon dure 20 minutes, le compte du fond naturel de rayonnement est alors de 20 et le compte d'échantillon (compte total) est

$$20 \times 3,87 = 77 \text{ (valeur arrondie au nombre entier le plus proche)}$$

Si on résout les équations précédentes avec les valeurs précitées ($C_b = 20$ et $C_t = 77$), on obtient :

38 à la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 95 %;

76 à la limite supérieure de l'intervalle de confiance de 95 %.

Ainsi, les probabilités sont de 95 % que le comptage réel soit supérieur à 38 et inférieur à 76.

Étant donné que 57 est la meilleure valeur estimative du comptage réel, les probabilités sont de 95 % que la mesure de la concentration de matières radioactives en suspension dans l'air se situe entre $-(57 - 38)/57$ et $+(76 - 57)/57$, soit entre ± 33 %.

ANNEXE I

NORMES RELATIVES AUX DOSSIERS DE DOSES

I.1 Introduction

Tous les services de dosimétrie doivent soumettre leurs données sur les doses au Fichier dosimétrique national (FDN), à intervalles réguliers précisés dans le permis. Les exploitants de ces services doivent veiller à ce que les données à transmettre au FDN soient sous une forme compatible avec le FDN.

I.2 Identification individuelle

L'identification individuelle doit être sans ambiguïté, ce qui mène nécessairement à une certaine redondance. L'information doit, au minimum, comporter les éléments suivants :

1. le numéro d'assurance sociale (N. A. S.);
2. les noms de famille actuels et antérieurs;
3. le premier prénom (officiel, pas un surnom);
4. le deuxième prénom (officiel, pas un surnom);
5. le sexe;
6. la date de naissance (année, mois, jour);
7. le lieu de naissance (province si l'intéressé est né au Canada ou pays s'il est né à l'étranger); et
8. le code de profession ou la catégorie professionnelle.

I.3 Données sur les doses

I.3.1 Doses de sources externes

Les relevés de $H_p(10)$ correspondent à la dose effective. Les relevés de $H_p(0,07)$ correspondent à la dose équivalente à la peau. Les relevés des doses aux extrémités ou au cristallin correspondent aux équivalents de dose à ces tissus.

I.3.2 Doses de sources internes

On doit communiquer au Fichier dosimétrique national les estimations de doses de sources internes autres que celles qui sont mentionnées dans la section 4.2, « Services de dosimétrie des rayonnements internes », sans omettre d'indiquer le radionucléide en cause et la dose efficace engagée associée.

I.3.3 Exposition au radon et aux produits de filiation du radon et incorporation de matières radioactives en suspension dans l'air

On doit indiquer les expositions aux produits de filiation du radon en unités alpha-mois (WLM) et les incorporations de radon et de matières radioactives en suspension dans l'air en millisieverts (mSv).

I.4 Renseignements à l'appui

Outre les données sur les doses, les services de dosimétrie doivent conserver toutes les données pertinentes utilisées pour obtenir la valeur totale, selon le cas, de la dose, de l'exposition ou de la concentration, telles que :

1. les relevés de dosimètres individuels et les autres données de mesure des rayonnements de source externe;
2. les mesures de l'activité d'organes;
3. les estimations des incorporations de substances réglementées;
4. la méthode de mesure des concentrations dans les échantillons de biodosage;
5. les formes chimiques;
6. les modèles dosimétriques utilisés;
7. les mesures de l'exposition au radon et aux produits de filiation du radon;
8. les mesures de la concentration du radon et des produits de filiation du radon dans l'air; et
9. la durée du séjour des gens dans les lieux précis d'une mine.

On doit également conserver tout rapport d'enquête sur une surexposition ou sur toute autre dose inhabituelle.

ANNEXE J

CENTRES DE RÉFÉRENCE EN ÉTALONNAGE⁷

Les organismes suivants sont agréés par la CCSN comme centres de référence en étalonnage pour les types de dosimétrie indiqués.

J.1 Essais indépendants en dosimétrie externe : dosimétrie photonique, dosimétrie des extrémités et dosimétrie neutronique

Conseil national de recherches du Canada

Personne-ressource :

Chef, Section des étalons de rayonnements ionisants
Institut des étalons nationaux de mesure
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0R6
Canada
Téléphone : (613) 993-2715

J.2 Essais indépendants pour les mesures *in vitro*, les mesures *in vivo* et l'interprétation des biodosages

Centre national de référence pour les essais biologiques et la surveillance *in vivo*, Santé Canada

Personne-ressource :

Chef, Division des dangers des rayonnements du milieu
Santé Canada
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1
Canada
Téléphone : (613) 954-6672

⁷ Dernière mise à jour le 25 juin 2004

J.3 Essais indépendants en dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon

Bowser Morner

Personne-ressource :

Director, Radiological Services Division
Bowser Morner
4518 Taylorsville Road
P.O. Box 51
Dayton, OH 45401-0051
U.S.A
Téléphone : (937) 236-8805