

4.4 Épreuve d'étanchéité pour les colis du type B

Cette section devrait décrire les taux de fuite qui sont employés pour montrer que le colis respecte les exigences du 10 CFR 71.51 ou du paragraphe 656 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1. Ceux-ci peuvent comprendre :

35. l'épreuve d'étanchéité lors de la fabrication;
36. l'épreuve d'étanchéité lors de l'entretien;
37. l'épreuve d'étanchéité périodique;
38. l'épreuve d'étanchéité avant l'expédition.

Les épreuves d'étanchéité réalisées lors de la fabrication et de l'entretien, ainsi que les épreuves périodiques devraient être incluses dans le chapitre 8, *Épreuves d'acceptation et programme d'entretien*, de la demande. L'épreuve d'étanchéité avant l'expédition pour la vérification de l'assemblage devrait être incluse dans le chapitre 7, *Mode d'emploi de l'emballage*.

La norme NUREG/CR-6487 "Containment Analysis for Type B Packages Used to Transport Various Contents"⁴ montre des exemples d'analyses visant à déterminer les critères de confinement pour les colis du type B. Si ces analyses sont utilisées, on doit démontrer que les hypothèses du NUREG/CR-6487 sont applicables au colis au besoin.

Les méthodes relatives aux épreuves d'étanchéité de tous les joints et les ouvertures de l'enveloppe de confinement, y compris les ouvertures de drainage et d'aération devraient être décrites. Si les ouvertures de remplissage, de drainage ou d'essai utilisent des vannes à déconnexion rapide, on devrait démontrer que celles-ci n'empêchent pas l'épreuve d'étanchéité des joints de confinement. Le taux de fuite maximal admissible et la sensibilité minimale à l'épreuve devraient être précisés pour chaque type d'essai, c'est-à-dire fabrication, entretien, essais périodiques et essais avant l'expédition.

Une méthode visant à déterminer le taux de fuite volumétrique maximal admissible basé sur les taux de rejet réglementaires admissibles à la fois dans des conditions normales et dans des conditions d'accident hypothétique de transport est contenue dans la norme ANSI N14.5. Le plus faible de ces taux de fuite d'air est défini comme étant le taux de fuite d'air de référence. La norme ISO 12807 présente également un moyen de calculer le taux de rejet.

4.5 Annexe

L'annexe devrait comprendre une liste des références, des pages applicables tirées des documents mentionnés en référence, les renseignements et les analyses à l'appui, les résultats des essais et d'autres renseignements additionnels appropriés.

5.0 ÉVALUATION DU BLINDAGE

Cette section de la demande devrait identifier, décrire, examiner et analyser la principale conception du blindage contre le rayonnement du colis, des composants et des systèmes importants sur le plan de la sûreté. Cette section devrait examiner les exigences réglementaires du 10 CFR 71.47 et 71.51(a)(1) et (2) ou des paragraphes 526, 530, 531 et 532 du TS-R-1 qui sont référencés à la section 16(4) du RETSN, du paragraphe 572 du TS-R-1 qui est référencé à la section 15(5) du RETSN, et des paragraphes 645, 646(b) et 656(b)(ii)(i) du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1.

5.1 Description du blindage

5.1.1 Caractéristiques de conception

Cette section devrait décrire les caractéristiques de conception du blindage contre le rayonnement du colis. Les caractéristiques de conception importantes pour le blindage comprennent notamment :

39. les dimensions, tolérances et masses volumiques du matériau pour le blindage contre les neutrons et les rayons gamma, y compris les composants du colis examinés dans l'évaluation du blindage;
40. la masse volumique, la densité atomique ou la masse surfacique des matériaux employés comme absorbeurs de neutrons;
41. les méthodes employées pour déterminer l'uniformité des absorbeurs ainsi que les références à l'appui des données;
42. les composants structuraux qui maintiennent le contenu dans une position fixe à l'intérieur du colis;
43. les dimensions du véhicule de transport qui sont examinées dans l'évaluation du blindage.

Le texte, les tableaux et les figures décrivant les caractéristiques de conception du blindage devraient être conformes aux dessins techniques et aux modèles utilisés dans l'évaluation du blindage.

5.1.2 Tableau sommaire de l'intensité de rayonnement maximale

Cette section devrait présenter les débits de dose maximums à la fois pour les conditions normales de transport et les conditions d'accident hypothétique aux endroits appropriés pour les expéditions à utilisation non exclusive et à utilisation exclusive, suivant le cas. Les tableaux 5-1 et 5-2 précisent les limites réglementaires et les renseignements à fournir pour les colis transportés dans des véhicules sous utilisation non exclusive et dans des véhicules sous utilisation exclusive. Ces tableaux représentent un format approprié pour la présentation de l'information portant sur le rayonnement externe spécifique à un colis et son contenu à inclure dans ce chapitre de la demande.

Dans le cas des colis contenant du combustible nucléaire irradié (CNI), la spécification du combustible irradié (p. ex. taux de combustion nucléaire, enrichissement et temps de refroidissement) à laquelle l'intensité de rayonnement individuel s'applique devrait être indiquée dans le tableau, étant donné que les contributions gamma et neutronique pourraient être les plus élevées à des spécifications de combustible différentes.

**Table 5-1 : Tableau sommaire de l'intensité de rayonnement externe
(utilisation non exclusive)**

	Surface du colis mSv/h (mrem/h)			1 mètre de la surface du colis mSv/h (mrem/h)		
	Dessus	Côté	Fond	Dessus	Côté	Fond
Conditions normales de transport						
Gamma						
Neutron						
Total						
10 CFR 71.47(a) ou paragraphes 530 et 531 du TS-R-1	2 (200)	2 (200)	2 (200)	0.1 (10)*	0.1 (10)*	0.1 (10)*
Conditions d'accident hypothétique						
Gamma						
Neutron						
Total						
Limite, 10 CFR 71.51(a)(2) ou 656(b)(ii)(i) du TS-R-1				10 (1000)	10 (1000)	10 (1000)

* L'indice de transport ne doit pas dépasser 10.

**Table 5-2 Tableau sommaire de l'intensité de rayonnement externe
(utilisation exclusive)***

	Surface du colis (ou du conteneur de fret) mSv/h (mrem/h)			2 mètres de la surface extérieure du véhicule mSv/h (mrem/h)		
	Dessus	Côté	Fond	Dessus	Côté	Fond
Conditions normales de transport						
Gamma						
Neutron						
Total						
Limite, 10 CFR 71.47(b) ou paragraphe 572 du TS-R-1	10 (1000)**	10 (1000)**	10 (1000)**	0.1 (10)	0.1 (10)	0.1 (10)
	Surface du véhicule mSv/h (mrem/h)			Position occupée mSv/h (mrem/h)		
Conditions normales de transport	Dessus	Côté	Dessous			
Gamma						
Neutron						
Total						
Limite, 10 CFR 71.47(b) ou paragraphe 572 du TS-R-1	2 (200)	2 (200)	2 (200)	0.02 (2)		
Conditions d'accident hypothétique				1 mètre de la surface du colis mSv/h (mrem/h)		
Gamma						
Neutron						
Total						
Limite, 10 CFR 71.51(a)(2) ou 656(b)(ii)(i) du TS-R-1				10 (1000)	10 (1000)	10 (1000)

*Pour les colis transportés par route, par voie ferrée et par bateau

**Pour les colis transportés dans des véhicules fermés autrement, 2(200)

5.2 Spécification de la source

Cette section devrait décrire le contenu, ainsi que les termes sources gamma et les termes sources neutron employés dans l'analyse du blindage. Toute augmentation dans les termes sources au fil du temps devrait être examinée. Dans le cas des colis conçus pour des contenus multiples, le contenu produisant le débit de dose externe le plus élevé à chaque endroit devrait être clairement identifié et évalué. Dans le cas des colis conçus pour transporter du combustible irradié, cette section devrait également préciser le type de combustible, son taux de combustion, son temps de refroidissement et son enrichissement initial. Dans le cas des évaluations du blindage des colis contenant du combustible irradié, le terme source neutron augmente considérablement à mesure que l'enrichissement initial diminue et lorsque la combustion est constante. Par conséquent, en identifiant le terme source limitatif, l'enrichissement initial minimal devrait être spécifié. À noter que la section efficace appropriée pour le taux de combustion du combustible irradié correspondant devrait être utilisée.

5.2.1 Source gamma

Cette section devrait préciser la quantité de matières radioactives incluses comme contenus, et présenter sous forme de tableau l'intensité de la source de désintégration gamma (MeV/s et photons/s) en fonction de l'énergie des photons. Une description détaillée de la méthode utilisée pour déterminer l'intensité de la source gamma et sa distribution devrait être fournie.

Pour les contenus de colis autres que le CNI, l'intensité maximale de la source gamma et le spectre devraient être calculés à l'aide d'une méthode appropriée (p. ex. programmes informatiques standard ou calcul à la main). La contribution à la source des produits de filiation radioactifs devrait être incluse si les débits de dose produits sont plus élevés que le contenu sans désintégration. Si les nucléides radioactifs et le spectre gamma sont calculés à l'aide d'un programme informatique, on devrait décrire les paramètres clés dans la demande ou les indiquer dans le fichier d'entrée. La production de rayons gamma secondaires (p. ex. suite à des réactions (n, γ) dans le matériau de blindage) devrait être calculée dans le cadre de l'évaluation du blindage (voir section 5.4) ou autrement incluse dans le terme source.

Les résultats de la détermination du terme source devraient être présentés sous forme de liste des rayons gamma par seconde, ou des MeV par seconde, en fonction de l'énergie. L'activité (ou la masse) de chaque nucléide qui contribue de manière importante au terme source devrait également être fournie à titre de renseignements à l'appui.

Dans le cas où le contenu est du CNI, les termes sources gamma devraient être précisés en fonction de l'énergie à la fois pour le CNI et le matériel devenu radioactif. Si la structure du groupe énergétique dans le calcul du terme source diffère de celle de la section efficace du calcul du blindage, le demandeur peut également y inclure les photons. De façon générale, seuls les rayons gamma ayant une énergie d'environ 0,8 à 2,5 MeV contribueront de manière importante à l'intensité du rayonnement externe, alors le fait de regrouper les rayons gamma qui se situent à l'extérieur de cette plage n'a pas de conséquence importante. On devrait utiliser une unité uniforme de terme source (p. ex. par assemblage, par nombre total d'assemblages ou par tonne métrique) dans le calcul du blindage.

La détermination des termes sources pour le matériel de l'assemblage combustible n'est généralement pas aussi facile à déterminer que pour le CNI. L'activation du matériel d'assemblage dépend des impuretés (p. ex. cobalt 59) initialement présentes et de la variation spatiale et énergétique du flux de neutron pendant la combustion. Si le colis est destiné à transporter d'autres matériaux, comme les assemblages de commande ou des enveloppes, les termes sources de ces composants devraient être inclus.

Selon la conception du colis, les interactions avec les neutrons peuvent résulter de la production de rayons gamma énergétiques près de la surface du colis. Si cette source n'est pas traitée par le programme d'analyse du blindage, d'autres moyens appropriés devraient être utilisés pour la déterminer.

5.2.2 Source de neutrons

Cette section devrait préciser la quantité de matières radioactives incluses dans le contenu et présenter sous forme de tableau l'intensité de la source de neutrons (neutron/s) en fonction de l'énergie. Une description détaillée de la méthode employée pour déterminer l'intensité de la source de neutrons et sa distribution devrait être fournie.

La méthode devrait tenir compte, s'il y a lieu, des neutrons issus de la fission spontanée et des réactions (α,n). Selon les méthodes utilisées pour calculer ces termes sources, le demandeur peut déterminer la structure du groupe énergétique indépendamment. On y parvient souvent en choisissant le nucléide possédant la contribution prédominante à la fission spontanée (p. ex. curium 244) et en utilisant ce spectre pour tous les neutrons, étant donné que la contribution de la réaction (α,n) est généralement faible. Si l'une de ces contributions à la source est supposée être négligeable, une justification appropriée devrait être fournie.

La production de neutrons suite à une multiplication sous critique devrait être soit calculée dans le cadre de l'évaluation du blindage (voir section 5.4) ou incluse de manière prudente et justifiée dans le terme source.

Les résultats du calcul du terme source, s'il y a lieu, devraient être présentés sous forme de liste de neutrons par seconde en fonction de l'énergie. La contribution de la fission spontanée et de la réaction (α,n) devraient être identifiées séparément, avec les actinides ou les noyaux légers importants dans le procédé. Dans le cas de la contribution à la fission spontanée, une liste des nucléides importants devrait également être présentée.

5.3 Modèle de blindage

5.3.1 Configuration de la source et du blindage

Cette section devrait fournir une description détaillée du modèle employé dans l'évaluation du blindage. Les effets des épreuves sur le colis et son contenu dans des conditions normales de transport et des conditions d'accident hypothétique devraient être évalués. Les modèles employés dans le calcul du blindage devraient être conformes à ces effets.

La section devrait comprendre des illustrations (mises à l'échelle) et les dimensions des matériaux de blindage radial et axial. Les dimensions du véhicule de transport et l'emplacement du colis dans le cas des expéditions sous utilisation exclusive devraient être inclus afin de déterminer l'intensité du rayonnement à 2 mètres du véhicule et à l'endroit occupé normalement par le conducteur. L'analyse est basée sur les limites du rayonnement indiquées dans le 10 CFR 71.47(b) ou au paragraphe 572 du TS-R-1 qui est référencé à la section 15(5) du RETSN.

Les emplacements ponctuels de la dose dans le modèle de blindage, y compris tous les emplacements prescrits par le 10 CFR 71.47(a) ou 71.47(b) et le 10 CFR 71.51(a)(2) ou les paragraphes 530 et 531 du TS-R-1 qui sont référencés à la section 16(4) du RETSN

ou le paragraphe 572 du TS-R-1 qui est référencé à la section 15(5) du RETSN et l'alinéa 656(b)(ii)(i) du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1, devraient être identifiés. Ces emplacements devraient être choisis de manière à identifier les emplacements où l'intensité du rayonnement est maximale. Les pics de rayonnement se produisent souvent près des bords du blindage externe contre les neutrons et des limiteurs d'impact dans le cas des colis contenant du CNI. Les vides ou les voies de canalisation ainsi que les géométries irrégulières du modèle devraient être inclus ou traités de manière prudente.

Si le contenu peut être positionné à différents endroits ou si sa densité est répartie de manière inégale, l'emplacement et les propriétés physiques du contenu utilisé dans l'évaluation devraient être ceux qui donnent lieu à l'intensité de rayonnement externe maximal. Par exemple, la configuration de source qui maximise l'intensité du rayonnement sur les côtés du colis n'est peut-être pas la même configuration de source que celle qui maximise l'intensité du rayonnement sur le dessus ou au fond. Tout changement de configuration (p. ex. déplacement de la source ou du blindage, réduction du blindage) résultant des conditions normales de transport ou des conditions d'accident hypothétique devrait être inclus, s'il y a lieu.

Dans le cas des colis contenant du CNI, l'emplacement du terme source à la fois pour le CNI et les régions de support de la structure de l'assemblage de combustible devraient être modélisés adéquatement. De façon générale, au moins trois régions de source (combustible et matériel d'assemblage dessus/fond) sont nécessaires. Dans la région du CNI, les matériaux du combustible peuvent généralement être homogénéisés pour faciliter les calculs du blindage. Dans certains cas, le panier d'élément combustible peut également être homogénéisé. Cependant, l'homogénéisation peut ne pas être appropriée dans certains cas, lorsqu'elle modifie le taux de multiplication des neutrons ou lorsque l'effet de canalisation du rayonnement se produit entre les composants du panier. En outre, la configuration de source présumée devrait limiter les conditions d'endommagement des assemblages de combustible irradié si des combustibles endommagés doivent être transportés dans le colis.

En raison du profil de combustion nucléaire du CNI, une distribution de source uniforme est généralement prudente pour les points de dose du dessus et du fond, mais pas pour le centre axial, à moins que l'intensité de la source soit ajustée en conséquence. Les pics de rayonnement importants devraient être adressés de façon adéquate. Les régions d'appui de la structure de l'assemblage (p. ex. les pièces d'extrémité du dessus et du fond, et la chambre réservoir) devraient avoir leur position corrigée en fonction du CNI. Ces régions d'appui peuvent être homogénéisées individuellement.

5.3.2 Propriétés des matériaux

Cette section devrait décrire les propriétés des matériaux (p. ex. la masse volumique et la densité atomique) dans les modèles du blindage des colis et de leur contenu. Les changements résultant de conditions de transport normales ou de conditions d'accident hypothétique devraient être inclus, suivant le cas. Les sources de données pour des matériaux peu communs devraient être mentionnées. Les matériaux peu communs

devraient être contrôlés adéquatement pour atteindre leur masse volumique nominale. Des renseignements spécifiques sur les mesures de contrôle devraient être inclus dans le chapitre 8, *Épreuves d'acceptation et programme d'entretien*, de la demande.

Les propriétés de blindage des matériaux ne devraient pas se détériorer pendant la durée de vie en service du colis (p. ex. détérioration de la mousse ou déshydratation des matériaux hydrogénés). Des contrôles devraient être en place pour assurer l'efficacité du blindage à long terme, suivant le cas. Les matériaux de blindage sensibles à la température ne devraient pas être assujettis à des températures correspondant à leur limite de conception ou dépassant ces limites pendant les conditions normales ou les conditions d'accident. Le demandeur devrait examiner de manière appropriée le risque que les matériaux de blindage subissent des changements de masse volumique à des températures extrêmes. Par exemple, les températures élevées peuvent réduire la teneur en hydrogène par perte de liaison ou suite à l'infiltration d'eau libre dans les matériaux de blindage contenant de l'hydrogène. En outre, les températures qui pourraient entraîner un changement dans la forme physique du matériel de blindage, telle que la fusion du plomb, ne sont pas acceptables.

Si le modèle de blindage simule une région de source homogène (plutôt qu'un modèle hétérogène détaillé du contenu), une telle démarche devrait être justifiée et l'on devrait démontrer que la masse volumique homogénéisée est correcte pour des conditions de transport normales et des conditions d'accident hypothétique. La densité atomique devrait également être confirmée si elle est utilisée comme donnée d'entrée dans les calculs du blindage.

5.4 Évaluation du blindage

5.4.1 Méthodes

Cette section devrait contenir une description générale de la méthode fondamentale utilisée pour déterminer les débits de dose gamma et les débits de dose de neutron à des points choisis à l'extérieur du colis pour des conditions de transport normales et des conditions d'accident. Elle devrait comprendre une description de la distribution spatiale de la source et de tout programme informatique utilisé, avec la documentation de référence. Cette section devrait également comprendre une description détaillée des paramètres d'entrée fondamentaux, ainsi que les bases ayant servi à choisir le programme, l'atténuation et la section efficace d'élimination, ainsi que les facteurs d'accumulation.

Les programmes informatiques peuvent utiliser la méthode de transport de type Monte Carlo, de transport déterministe, ou la méthode des noyaux ponctuels. Cette dernière est généralement appropriée seulement aux rayons gamma. Dans le cas des programmes informatiques qui ne sont pas bien reconnus dans le domaine public, la demande devrait décrire la méthode de solution, les résultats repères, la procédure de validation et les pratiques d'assurance de la qualité.

Les dimensions de la modélisation et du programme (1d, 2d, ou 3d) devraient être appropriées à la complexité du colis et de son contenu. De façon générale, pour un colis contenant du CNI, des calculs à deux dimensions ou à trois dimensions sont nécessaires. Les programmes à une dimension fournissent peu d'information concernant les emplacements en dehors de l'axe et les voies de canalisation du rayonnement. Même dans le cas des intensités de rayonnement aux extrémités du colis, les programmes à une dimension nécessitent une correction du flambage qui doit être justifié; le fait d'utiliser le diamètre de la cavité du colis peut sous-estimer l'intensité du rayonnement (surestimation de la fuite radiale).

La bibliothèque de sections efficaces utilisée par le programme devrait être applicable aux calculs du blindage. Le programme devrait tenir compte de la multiplication sous-critique et de la production de rayons gamma secondaire, à moins que ces conditions aient été examinées de manière appropriée (p. ex. dans la spécification du terme source).

5.4.2 Données d'entrée et de sortie

Cette section devrait préciser les données d'entrée clés pour les calculs du blindage, et devrait montrer que cette information est entrée correctement dans le programme. Selon le type de programme informatique (à noyaux ponctuels, déterministe, Monte Carlo, etc.), les données d'entrée clés devraient comprendre le terme source, les matériaux, les dimensions du colis, les critères de convergence, la taille des mailles du réseau, les neutrons par génération, le nombre de générations, etc. Au moins un fichier d'entrée et un fichier de sortie représentatifs, ou des sections clés de ces fichiers, devraient être inclus. Cette section devrait montrer que le programme atteint une convergence adéquate.

5.4.3 Conversion du flux au débit de dose

Cette section devrait comprendre un tableau comportant les facteurs de conversion du flux au débit de dose en fonction de l'énergie, et l'on devrait mentionner les références appropriées pour appuyer les données. Les facteurs de conversion du flux à la dose de la norme ANSI/ANS 6.1.1-1977, *American National Standard for Neutron and Gamma-Ray Flux to Dose Factors* [5], devraient être utilisés pour calculer les débits de dose.

5.4.4 Intensité du rayonnement externe

Cette section devrait décrire les résultats des analyses du rayonnement en détail. Les résultats devraient être conformes aux tableaux sommaires de la section 5.1.2 et respecter les limites précisées dans 10 CFR 71.47(a) ou 10 CFR 71.47(b), suivant le cas et 10 CFR 71.51(a)(2), ou les paragraphes 526, 530, 531 et 532 du TS-R-1 qui sont référencés à la section 16(4) du RETSN, le paragraphe 572 du TS-R-1 qui est référencé à la section 15(5) du RETSN, et des paragraphes 645, 646 et 656(b)(ii)(i) du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1. L'emplacement du débit de dose maximal pour l'analyse devrait être identifié, et l'on devrait fournir suffisamment de données pour montrer que l'intensité du rayonnement est raisonnable et que ses écarts en fonction de l'emplacement sont conformes à la géométrie

et au blindage du colis. Les résultats devraient tenir compte des conditions normales et des conditions d'accident.

L'analyse devrait montrer que les emplacements choisis sont ceux où le débit de dose est maximal. Pour déterminer le débit de dose maximal, on devrait faire une moyenne de l'intensité du rayonnement pour toute l'aire de la section transversale d'une sonde de taille raisonnable (NUREG/CR-5569, *Averaging of Radiation Levels Over the Detector Probe Area* [15]). Dans le cas des colis où l'on observe des effets de canalisation du rayonnement ou des vides, la moyenne ne devrait pas être utilisée pour réduire l'intensité du rayonnement résultant de ces caractéristiques.

L'intensité du rayonnement externe devrait être raisonnable et ses écarts en fonction de l'emplacement devraient être conformes à la géométrie et au blindage du colis. Aux fins du 10 CFR 71.47(b) ou du paragraphe 572 du TS-R-1, la surface externe est considérée comme la partie du colis qui est illustrée dans les dessins, et que l'on a démontré qui demeurera en place dans des conditions normales de transport. Les barrières antipersonnel et les dispositifs semblables qui sont fixés au moyen de transport, plutôt qu'au colis, peuvent permettre, cependant, de qualifier le véhicule comme étant un véhicule fermé.

L'évaluation devrait tenir compte des dommages causés au blindage dans des conditions normales de transport et dans des conditions d'accident hypothétique. On devrait vérifier que tout dommage causé dans des conditions normales de transport ne donne pas lieu à une augmentation importante des débits de dose externe, tel que précisé dans le 71.43(f) et 71.51(a)(1) ou au paragraphe 646(b) du TS-R-1. Toute augmentation devrait être expliquée et justifiée comme étant négligeable.

5.5 Annexe

L'annexe devrait comprendre une liste des références, les pages applicables des documents mentionnés en référence, la justification des hypothèses ou des procédures d'analyse, les résultats des essais, les photographies, les descriptions des programmes informatiques, les fichiers d'entrée et de sortie et d'autres renseignements additionnels.

6.0 ÉVALUATION DE LA CRITICITÉ

Cette section de la demande devrait identifier, décrire, examiner et analyser la conception principale de sûreté-criticité du colis, ces composants et les systèmes importants sur le plan de la sûreté, et décrire comment le colis se conforme aux exigences du 10 CFR 71.15, *Exemption from Classification as Fissile Material*, 10 CFR 71.55 et 10 CFR 71.59 et du paragraphe 528 du TS-R-1 qui est référencé à la section 1(1) du RETSN, du paragraphe 671 du TS-R-1 tel qu'incorporé au paragraphe 7(1)a) du RETSN par référence au paragraphe 813 du TS-R-1, du paragraphe 672 du TS-R-1 qui est référencé à la section 1(1) de RETSN, et des paragraphes 673 à 682 du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1.

Exceptions des prescriptions concernant les colis contenant des matières fissiles

Les exigences concernant les exceptions visant les colis contenant des matières fissiles dans le 10 CFR 71.15 et le paragraphe 672 du TS-R-1 sont différentes. Le demandeur devrait se conformer aux exigences les plus restrictives des deux règlements, en ce qui a trait aux exceptions concernant les matières fissiles. Dans le cas des colis qui contiennent des matières fissiles et qui respectent les exigences du 10 CFR 71.15 et du paragraphe 672 du TS-R-1, le colis est exempté des exigences du 10 CFR 71.55 et 71.59 et des paragraphes 528, 671 et 673 à 682 du TS-R-1. Les matières fissiles devraient respecter les dispositions précisées dans le 10 CFR 71.15 et au paragraphe 672 du TS-R-1, comme suit :

2. l'une des exigences du 10 CFR 71.15 (a) à (f) ; et
3. l'une des dispositions des paragraphes 672 (a) à (d) du TS-R-1.

Cette section devrait tenir compte des effets sur la structure du colis et sur son contenu et des effets thermiques sur ces derniers dans des conditions normales et des conditions d'accident hypothétique en ce qui a trait aux changements dans les matériaux et dans la géométrie et aux effets subséquents sur la sûreté-criticité. Toute exigence relative à l'emploi, à la fabrication et à l'entretien en ce qui a trait à l'importance de la sûreté-criticité du colis devrait être incluse dans le chapitre 7, *Mode d'emploi*, et dans le chapitre 8, *Épreuves d'acceptation et programme d'entretien*, de la demande.

6.1 Description de la conception de criticité

Cette section devrait comprendre une description de la conception de criticité, qui devrait inclure les dispositions du 10 CFR 71.31, *Contents of Application*, et 10 CFR 71.33 et des paragraphes 807 et 813 du TS-R-1 qui sont référencés au paragraphe 7(1)(a) du RETSN.

6.1.1 Caractéristiques de conception

Cette section devrait décrire les caractéristiques de conception du colis qui sont importantes sur le plan du contrôle de la criticité. Les caractéristiques de conception importantes du colis sur le plan de la criticité comprennent notamment :

44. les dimensions et les tolérances de l'enveloppe de confinement, en ce qui a trait à la matière fissile;
45. les composants de la structure qui maintiennent la matière fissile et les poisons neutroniques dans une position fixe à l'intérieur du colis et dans une position fixe les uns par rapport aux autres;
46. l'emplacement, les dimensions et la concentration des absorbeurs et des modérateurs de neutrons, y compris les poisons neutroniques et les matériaux de blindage;

47. les dimensions et les tolérances des vides inondables et des pièges à flux à l'intérieur du colis;
48. les dimensions et les tolérances de l'ensemble du colis qui ont une incidence sur la séparation physique entre les matières fissiles et l'agencement de colis;
49. les renseignements sur l'assemblage de barres de combustible, les enveloppes, ou les autres composants de l'assemblage de combustible accompagnant le combustible nucléaire neuf ou irradié, selon le cas dans l'évaluation de la criticité.

Tous les renseignements présentés dans le texte, les dessins, les figures et les tableaux devraient être conformes les uns aux autres et conformes à ceux employés dans l'évaluation de la criticité. Les dessins sont la source faisant autorité pour ce qui est des dimensions, des tolérances et de la composition matérielle des composants importants sur le plan de la sûreté-criticité.

6.1.2 Tableau sommaire de l'évaluation de la criticité

Cette section devrait comprendre un tableau sommaire des résultats de l'analyse de la criticité pour le colis, dans les cas suivants, tel qu'indiqué aux sections 6.4 à 6.6 :

50. colis considéré isolément, aux termes du 10 CFR 71.55(b), (d) et (e) ou des paragraphes 677, 678 et 679 du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1;
51. agencement de colis non endommagés, aux termes du 10 CFR 71.59(a)(1), ou du paragraphe 681 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1;
52. agencement de colis endommagés, aux termes du 10 CFR 71.59(a)(2) ou du paragraphe 682 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1.

La valeur maximale du facteur de multiplication effectif des neutrons (k_{eff}), toute incertitude stochastique, le biais et les incertitudes s'y rapportant, ainsi que le nombre de colis évalués dans l'agencement devraient être précisés dans le tableau. Le tableau devrait également montrer que la somme de k_{eff} , des deux écarts-types et du biais, compte tenu de leur ajustement des incertitudes, ne doit pas dépasser 0,95 dans chacun des cas. Par conséquent, un colis est considéré comme étant sous-critique, aux termes des conditions réglementaires, s'il respecte l'équation suivante :

$$k_{\text{eff}} + 2\sigma + \Delta k_u \leq 1 - \Delta k_m \quad \text{Eq. 6-1}$$

Où :

- k_{eff} = valeur calculée obtenue pour le colis ou l'agencement de colis
- σ = écart-type de la valeur de k_{eff} obtenue dans l'analyse Monte Carlo (la valeur de ce paramètre est réglée à zéro si une méthode déterministe est employée)
- Δk_u = tolérance pour le biais du calcul et l'incertitude, tel que discuté à la section 6.8
- Δk_m = marge de sous-criticité requise (valeur minimale de 0,05, selon la sensibilité de k_{eff} aux incertitudes des paramètres du système)

Par conséquent, l'équation 6-1 peut être réécrite comme suit :

$$k_{\text{eff}} + 2\sigma + \Delta k_u \leq 0.95 \quad \text{Eq. 6-2}$$

6.1.3 Indice de sûreté-criticité

Cette section devrait décrire l'indice de sûreté-criticité (ISC) dont il est question au 10 CFR 71.59(b) ou au paragraphe 528 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN, d'après le nombre de colis évalués dans l'agencement, et l'on devrait montrer comment il a été calculé.

L'ISC devrait être conforme à celui indiqué dans la section sur les renseignements généraux de la demande (chapitre 1). La valeur de N, que représente la quantité de colis permise dans une expédition, devrait être précisée.

6.2 Contenu constitué de matière fissile

Cette section devrait décrire de manière détaillée les matières fissiles autorisées dans le colis, selon le 10 CFR 71.33 ou les paragraphes 807 et 813 du TS-R-1 qui sont référencés au paragraphe 7(1)(a) du RETSN, et l'on devrait décrire en détail la matière fissile contenue dans le colis.

Les spécifications relatives au contenu employé dans l'évaluation de la criticité devraient être conformes à celles précisées dans le chapitre 1, *Renseignements généraux*, et à l'ensemble de la demande (blindage, caractéristique thermique, confinement, etc.). Les spécifications relatives à l'évaluation de la criticité devraient comprendre la masse de matière fissile, les dimensions, l'enrichissement, la composition physique et chimique, la masse volumique, la teneur en humidité et les autres caractéristiques de la matière selon le contenu spécifique. Toute différence dans les spécifications présentées dans le chapitre 1 ou dans d'autres sections devrait être clairement identifiée et justifiée. Étant donné qu'un conteneur partiellement rempli peut laisser place à des modérateurs (p. ex. de l'eau), le cas le plus réactif peut être celui où la masse de matière fissile est inférieure au

contenu maximal admissible. Par conséquent, il pourrait être nécessaire de préciser une masse minimale.

Si le colis est conçu pour contenir des contenus multiples, la demande devrait comprendre une évaluation distincte de la criticité et proposer différents contrôles de la criticité pour chacun des types de contenu. Toute hypothèse à l'effet que certains contenus n'ont pas à être évalués en raison du fait qu'ils sont moins réactifs que le contenu évalué devrait également être justifiée adéquatement.

Dans le cas du combustible nucléaire irradié, les spécifications pertinentes pour l'évaluation de la criticité devraient comprendre :

53. le type d'assemblage de combustible, les plaques ou les barres (p. ex. REP/REB) et le fournisseur/modèle, suivant le cas;
54. les dimensions du combustible (y compris celles des pastilles annulaires) et de la gaine, l'espace entre le combustible et la gaine, le pas entre les éléments combustibles et la longueur de la barre;
55. le nombre de barres ou de plaques par assemblage et l'emplacement des tubes guides ainsi que des poisons consommables;
56. les matériaux et les masses volumiques;
57. la longueur du combustible radioactive
58. l'enrichissement (les variations par barre, s'il y a lieu) avant l'irradiation;
59. la forme chimique et physique;
60. la masse de métal lourd initial par assemblage ou par barre;
61. le nombre d'assemblages de combustible ou de barres par colis;
62. d'autres composants inclus dans l'analyse de la criticité, ou qui ont un effet non négligeable sur k_{eff} .

L'état des assemblages de combustible nucléaire irradié, y compris les barres de combustible manquantes ou de remplacement, devrait être décrit. De façon générale, la description du contenu devrait être suffisante pour permettre une évaluation détaillée de la criticité pour chaque type ou pour appuyer la conclusion que certains types sont limités par les évaluations réalisées. Si le contenu comprend du combustible endommagé, l'ampleur des dommages devrait être précisée. Tout récipient ou conteneur utilisé comme faisant partie du contenu du colis devrait être décrit.

6.3 Observations d'ordre général

Cette section devrait comprendre des observations générales utilisées pour évaluer la criticité du colis. Celles-ci peuvent s'appliquer aux évaluations de la criticité d'un colis considéré isolément ou d'un agencement de colis à la fois pour les conditions normales de transport et les conditions d'accident hypothétique.

6.3.1 Configuration du modèle

Cette section devrait décrire le modèle de calcul et comporter des illustrations de ce modèle. Les illustrations devraient préciser les matériaux utilisés dans toutes les régions du modèle. Toute différence entre le modèle et la configuration réelle du colis devrait être identifiée et une justification à l'effet que le modèle est conservateur devrait être fournie. En outre, les différences entre le modèle des conditions normales de transport et celui des conditions d'accident devraient être clairement identifiées et justifiées.

À l'intérieur de la plage de tolérance spécifiée, les dimensions devraient être choisies de manière à correspondre à la réactivité la plus élevée. Par exemple, les dimensions de la cavité et l'épaisseur de poison devraient être examinées, de manière à maximiser la réactivité.

Les écarts par rapport à la configuration de la conception nominale devraient être examinés. Par exemple, le contenu d'un colis qui se présente sous forme de poudre peut être positionné à divers endroits et suivant des masses volumiques variables; l'assemblage de combustible peut ne pas toujours être au centre des paniers; et les paniers peuvent ne pas toujours être exactement au centre du colis de combustible irradié. L'emplacement relatif et les propriétés physiques du contenu à l'intérieur du colis devraient être justifiés, de même que ceux qui donnent lieu au facteur de multiplication maximal.

Dans le cas des colis comportant des assemblages de combustible, le scénario d'immersion complète devrait tenir compte de l'inondation préférentielle ainsi que de l'inondation des espaces entre le combustible et la gaine. En outre, la masse volumique variable de l'eau devrait être examinée afin de tenir compte des pics possibles de réactivité du système.

Étant donné que les programmes informatiques modernes sont plus performants, la modélisation homogénéisée ne devrait pas être utilisée. Si l'on utilise l'homogénéisation dans le modèle, on devrait démontrer qu'elle est appliquée correctement ou de manière prudente.

6.3.2 Propriétés des matériaux

Cette section devrait fournir la masse volumique et la densité atomique des matériaux utilisés dans les modèles représentant le colis et son contenu. Les propriétés des matériaux devraient être conformes à celles observées pour le colis lors des épreuves précisées dans le 10 CFR 71.71 et 71.73 ou aux paragraphes 719 à 724 et 726 à 729 du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(4) du RETSN par référence au paragraphe 716 du TS-R-1. Les matériaux sur lesquels repose le contrôle de la criticité doivent demeurer en place et être efficaces.

On ne devrait pas considérer plus de 75 % de la concentration de poison neutronique minimale spécifiée dans l'évaluation de la criticité, à moins qu'un pourcentage plus élevé soit justifié.

Les différences entre l'état des matériaux dans des conditions normales de transport et dans des conditions d'accident hypothétique devraient être clairement identifiées. Les matériaux pertinents pour la conception de la criticité, comme les poisons, les mousses, les plastiques et autres hydrocarbures devraient être examinés.

Les absorbeurs et modérateurs de neutrons (p. ex. les poisons et le blindage contre les neutrons) devraient être contrôlés adéquatement durant la fabrication afin que leurs propriétés soient optimales. Les renseignements à ce sujet devraient être examinés de manière plus détaillée dans le chapitre 8, *Épreuves d'acceptation et programme d'entretien*, de la demande.

Les matériaux ne devraient pas se détériorer pendant la durée de vie en service du colis au point où ils auraient des effets néfastes sur la performance du colis. Des contrôles spécifiques devraient être en place pour assurer l'efficacité du colis pendant sa durée de vie. Ces renseignements devraient également être examinés de manière plus détaillée dans le chapitre 8 de la demande.

6.3.3 Programmes informatiques et bibliothèques de sections efficaces

Cette section devrait décrire les méthodes fondamentales employées pour calculer la constante de multiplication effective des neutrons pour le colis, afin de démontrer la conformité avec les normes d'emballage des matières fissiles. Cela devrait comprendre notamment :

63. une description du programme informatique et des sections efficaces d'absorption des neutrons utilisées;
64. les fondements du choix du programme et des sections efficaces;
65. les données d'entrée clés pour les calculs de la criticité, comme les neutrons par génération, le nombre de générations, les critères de convergence, le choix du maillage du réseau, etc.

Au moins un dossier d'entrée et un dossier de sortie représentatifs (ou des sections clés de ces fichiers) pour un colis considéré isolément, un agencement non endommagé et un agencement endommagé devraient être inclus dans la demande. Le calcul devrait converger adéquatement et les facteurs de multiplication calculés à partir des fichiers de sortie devraient être conformes à ceux de l'évaluation.

6.3.4 Démonstration de la réactivité maximale

Cette section devrait comprendre une démonstration à l'effet que la configuration la plus réactive de chaque cas énuméré aux sections 6.4 à 6.6 (colis considéré isolément, agencements de colis non endommagés et agencements de colis endommagés) a été évaluée. Toutes les hypothèses et approximations devraient être clairement identifiées et justifiées.

Dans le cas des colis qui comportent plusieurs types d'assemblage de combustible nucléaire irradié en ce qui a trait au contenu, tous les types d'assemblage devraient être analysés, ou le type d'assemblage de combustible limitatif devrait être justifié et analysé.

Cette section devrait identifier la combinaison optimale de substances modératrices internes (à l'intérieur du colis) et de substances modératrices intercalées (entre les colis), suivant le cas. Les cas suivants devraient être examinés :

66. la modulation par l'eau et par tout matériau hydrogéné comme le polyéthylène;
67. le noyage préférentiel des différentes régions à l'intérieur du colis;
68. les charges partielles (p. ex. masses fissiles inférieures à la masse maximale admissible).

6.3.5 Crédit associé à la combustion pour les colis contenant du combustible irradié

Lors de la conception du système de contrôle de la criticité pour les colis contenant du combustible irradié, si le demandeur s'appuie sur la réactivité réduite des assemblages de combustible à cause de l'appauvrissement des matières fissiles et de la production d'isotopes absorbeurs de neutrons, il devrait déterminer le biais et les incertitudes dans la prévision de l'inventaire isotopique et de la réactivité des assemblages de combustible irradié dans les colis, tel qu'expliqué à la section 6.8. L'importance de l'irradiation nécessaire, en ce qui a trait à la réactivité, pour charger le combustible dans les colis devrait être présentée en fonction de l'enrichissement initial et de toute restriction relative aux conditions durant l'irradiation. En outre, une mesure de vérification du taux de combustion final indépendante devrait être réalisée avant le chargement des assemblages de combustible irradié dans les colis en vue de l'expédition.

La section 10 CFR 71.83 de la réglementation américaine, *Assumptions as to Unknown Properties*, et le paragraphe 673 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1 exigent tous deux que, lorsque les paramètres de la matière fissile ne sont pas connus, l'on assigne à chaque paramètre non connu la valeur qui correspond à la multiplication maximale des neutrons.

En outre, le paragraphe 674 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1 exige que

69. les évaluations doivent reposer sur une composition isotopique dont il est prouvé qu'elle correspond à la multiplication maximale des neutrons tout au long de l'irradiation; et
70. avant une expédition, une mesure doit être effectuée pour confirmer que l'hypothèse concernant la composition isotopique est prudente.

Le demandeur devrait inclure des descriptions des expériences de référence effectuées pour établir le biais et les incertitudes associés à l'appauvrissement et au modèle de la criticité employé pour le combustible irradié dans les colis, les valeurs limites des

paramètres tout au long de l'irradiation, et il devrait décrire la méthode de mesure de vérification du taux de combustion.

6.4 Évaluation des colis considérés isolément

6.4.1 Configuration

Cette section devrait démontrer que, selon le 10 CFR 71.55(b) ou le paragraphe 677 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, il faut supposer que la configuration nominale d'un colis considéré isolément est sous-critique dans des conditions normales ou des conditions d'accident, soit la situation où la matière est la plus réactive des deux, en posant les hypothèses suivantes :

71. la matière fissile se trouve dans la configuration crédible la plus réactive, conformément à l'état du colis et à la forme chimique et physique du contenu;
72. la modération par l'eau associée à la configuration crédible la plus réactive, y compris l'infiltration d'eau dans l'enveloppe de confinement, tel que précisé dans le 10 CFR 71.55(b) ou au paragraphe 677 du TS-R-1;
73. il y a réflexion totale par l'eau sur tous les côtés de l'enveloppe de confinement, tel que précisé dans le 10 CFR 71.55(b)(3) ou au paragraphe 678 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, ou il y a réflexion par les matériaux constituant le colis, soit celle des deux qui présente la réactivité maximale.

Le 10 CFR 71.55(c) prévoit une exception au 10 CFR 71.55(b), lorsque le colis comporte des « caractéristiques spéciales » permettant de s'assurer qu'aucune erreur dans la configuration des colis considérés isolément ne permet les infiltrations d'eau.

Le paragraphe 677 du TS-R-1 autorise des approbations de routine des conceptions de colis sans supposer qu'il y ait infiltration d'eau, en autant que la conception comprenne des caractéristiques spéciales permettant d'éviter l'infiltration d'eau. Le paragraphe 677(a) définit les « caractéristiques spéciales » comme étant « des barrières étanches multiples de haute qualité ».

En raison de cette différence entre les deux réglementations, le présent guide n'examine pas les conceptions mentionnées au 71.55(c) ou au paragraphe 677(a) du TS-R-1. Par conséquent, dans le cas des colis considérés isolément, l'infiltration de l'eau doit être présumée être en tout temps présente à l'intérieur de l'enveloppe de confinement ou autour de celle-ci et de la matière fissile, soit la configuration la plus réactive des deux.

Selon le paragraphe 678 du TS-R-1, pour le « système d'isolement », il faut supposer une réflexion totale par au moins 20 cm d'eau ou toute autre réflexion plus grande qui pourrait être apportée complémentirement par les matériaux de l'emballage voisins. Le

« système d'isolement » comprend les composants du colis qui maintiennent la configuration géométrique des matières fissiles, en ce qui a trait à la sûreté-criticité, à l'intérieur du colis. En outre, 20 cm d'eau est considéré comme étant l'équivalent de la « réflexion totale » mentionné au 10 CFR 71.55(b)(3). Cependant, si une couche d'eau d'une épaisseur supérieure à 20 cm rend le système plus réactif, l'épaisseur d'eau plus importante sera utilisée comme faisant partie de la conception nominale.

En outre, cette section de la demande devrait également démontrer que, selon le 10 CFR 71.55(d) ou l'alinéa 679(b) du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, le colis doit être sous-critique lorsqu'il est assujetti à des conditions normales de transport.

De plus, cette section devrait également démontrer que, selon le 10 CFR 71.55(e) ou l'alinéa 679(c) du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, le contenu du colis doit être sous-critique lorsqu'il est assujetti aux conditions d'accident de transport.

6.4.2 Résultats

Cette section devrait présenter les résultats de l'évaluation des colis considérés isolément et devrait également examiner les spécifications additionnelles des paragraphes 10 CFR 71.55(d)(2) à (d)(4) ou du paragraphe 679 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, dans des conditions normales de transport.

Les résultats pour le cas le plus réactif de l'analyse des colis considérés isolément devraient être conformes aux renseignements présentés dans le tableau sommaire de la section 6.1.2. Lorsque le colis peut être considéré comme étant sous-critique par référence à une norme, la norme devrait être appliquée aux conditions du colis.

6.5 Évaluation des colis en nombre dans des conditions normales de transport

6.5.1 Configuration

Cette section devrait évaluer, selon le 10 CFR 71.59(a)(1) ou le paragraphe 681 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, un agencement de 5N colis dans des conditions normales de transport. L'évaluation devrait examiner les conditions suivantes :

74. la configuration de l'agencement la plus réactive (espace entre les colis et orientation des colis) sans qu'il n'y ait rien entre les colis;
75. l'état des colis et de leur contenu considéré comme étant la configuration crédible la plus réactive dans des conditions normales de transport (si l'épreuve d'aspersion d'eau a démontré que l'eau ne s'infiltrera pas dans le colis, il n'est pas nécessaire de supposer qu'il y a infiltration d'eau dans ce cas);

76. la réflexion totale de l'eau par tous les côtés d'un agencement fini.

6.5.2 Résultats

Cette section devrait présenter les résultats des analyses relatives aux agencements de colis, et préciser les conditions les plus réactives. Les résultats de l'analyse devraient être conformes à l'information présentée dans le tableau sommaire de la section 6.1.2.

La valeur de N appropriée devrait être utilisée pour déterminer l'indice de sûreté-criticité (ISC). La valeur de N appropriée devrait être la valeur la plus petite assurant la sous-criticité de 5N colis dans des conditions normales de transport, ou de 2N colis dans des conditions d'accident hypothétique, comme nous le verrons dans la section suivante.

6.6 Agencements de colis dans des conditions d'accident hypothétique

6.6.1 Configuration

Cette section devrait évaluer, en vertu du 10 CFR 71.59(a)(2) ou du paragraphe 682 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1, un agencement de 2N colis dans des conditions d'accident hypothétique.

L'évaluation devrait tenir compte des facteurs suivants :

77. la configuration la plus réactive de l'agencement (p. ex. le « pas » ou l'espace entre les colis, l'orientation des colis et la modération interne des neutrons);
78. la modération par un matériau hydrogénétique;
79. la configuration crédible la plus réactive du colis et de son contenu, dans des conditions d'accident hypothétique, y compris les infiltrations d'eau;
80. la réflexion totale de l'eau sur tous les côtés d'un agencement fini.

6.6.2 Résultats

Cette section devrait présenter les résultats des analyses relatives aux agencements de colis, et identifier les conditions les plus réactives. Les résultats de l'analyse devraient être conformes aux renseignements présentés dans le tableau sommaire de la section 6.1.2.

La valeur de N appropriée devrait être utilisée pour déterminer l'indice de sûreté-criticité (ISC). La valeur de N appropriée devrait être la valeur la plus petite permettant d'assurer la sous-criticité de 5N colis dans des conditions normales de transport, ou de 2N colis dans des conditions d'accident hypothétique.

6.7 Colis contenant des matières fissiles transportés par voie aérienne

6.7.1 Configuration

Cette section devrait évaluer un colis considéré isolément dans des conditions d'accident élargies précisées au 10 CFR 71.55(f) ou au paragraphe 680 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 672 du TS-R-1. L'évaluation devrait tenir compte des facteurs suivants :

81. la configuration la plus réactive du contenu et du colis dans des conditions d'accident élargies;
82. la réflexion totale de l'eau;
83. aucune infiltration d'eau.

6.7.2 Résultats

Cette section devrait présenter les résultats des analyses pour des colis considérés isolément et identifier les conditions les plus réactives pour le contenu et le colis. Les résultats de l'analyse devraient être conformes aux renseignements présentés dans le tableau sommaire de la section 6.1.2.

6.8 Évaluations de référence

Cette section devrait comprendre une description des méthodes employées pour référencer les calculs de criticité. Les programmes informatiques utilisés pour les calculs de la criticité devraient être référencés par rapport à des expériences critiques. On devrait utiliser le même programme informatique, le même matériel, la même méthode de modélisation et la même bibliothèque des sections efficaces pour les expériences de référence que ceux utilisés pour calculer le facteur de multiplication effectif des colis. Cette section devrait présenter les résultats des calculs pour des expériences de référence critiques choisies afin de justifier la validité de la méthode de calcul et des valeurs de la section efficace d'absorption de neutrons utilisées dans l'analyse.

Le *International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments* [13] permet de bien choisir les expériences critiques applicables dans l'établissement de références dans les programmes informatiques et les sections efficaces utilisées pour concevoir les colis.

6.8.1 Applicabilité des expériences de référence

Cette section devrait décrire les expériences de référence critiques choisies qui ont été analysées à l'aide de la méthode et des sections efficaces mentionnées à la section 6.3. On devrait montrer l'applicabilité des références en rapport avec le colis et son contenu, en notant toutes les similitudes et en résolvant toutes les différences. Les expériences de référence devraient comporter, dans la mesure du possible, les mêmes matériaux, le

même spectre de neutron et la même configuration que pour les évaluations du colis. Les paramètres clés du colis qui devraient être comparés à ceux des expériences de référence comprennent le type de matière fissile, l'enrichissement, le rapport H/X (qui dépend largement de l'espace entre les barres et du diamètre des assemblages de combustible), l'empoisonnement, les matériaux réfléchissants et la configuration. On devrait fournir les références qui comprennent la documentation complète sur ces expériences. Des programmes informatiques, comme TSUNAMI (de l'anglais *Tools for Sensitivity and Uncertainty Methodology Implementation*) qui est un outil de sensibilité et de mise en œuvre des incertitudes mis au point par le Laboratoire national d'Oak Ridge pour le colis SCALE 5.1 [12], peuvent être utilisés pour évaluer les similitudes entre les colis, et les systèmes critiques à des fins de référence.

La qualité globale des expériences de référence et toute incertitude dans les données expérimentales devraient être examinées. Les incertitudes devraient être traitées de manière prudente. Les résultats des calculs de référence, ainsi que les paramètres d'entrée nucléaires et géométriques réels employés pour ces calculs devraient être fournis.

6.8.2 Détermination du biais

Cette section devrait présenter les résultats des calculs de référence ainsi que la méthode employée pour tenir compte du biais et des incertitudes dans les calculs (p. ex. Δk_u dans l'équation 6-2), ainsi que la contribution des incertitudes aux données expérimentales. Cette section devrait comporter un nombre suffisant d'expériences de référence appropriées et devrait également montrer que les résultats des calculs de référence étaient appropriés pour déterminer le biais dans les calculs relatifs au colis. Dans la recherche des biais, certains paramètres comme le diamètre pas/barre, l'espace séparant l'assemblage et les absorbeurs de neutrons devraient être examinés. Les incertitudes relatives aux statistiques et à la convergence devraient également être examinées. Seuls les biais négatifs (résultats qui entraînent une sous-prévision de k_{eff}) devraient être examinés, les biais positifs étant considérés comme étant des biais nuls.

Lors de la quantification de Δk_u pour les programmes informatiques et les sections efficaces employés dans la conception des colis de combustible irradié (crédit pour la combustion), les biais et les incertitudes associés à la fois à l'appauvrissement et à la criticité dans les programmes informatiques devraient être inclus. En outre, le biais dû aux écarts axiaux et horizontaux de la combustion à l'intérieur d'un assemblage de combustible irradié devrait être examiné. En outre, les effets des antécédents en matière d'exploitation du réacteur sur la réactivité des assemblages de combustible irradié déchargés du cœur devraient être examinés.

6.9 Annexe

L'annexe devrait comprendre une liste des références, les pages applicables des documents mentionnés en référence, la justification des hypothèses ou des procédures d'analyse, les résultats des essais, les photographies, les descriptions des programmes informatiques, les fichiers d'entrée et de sortie et d'autres renseignements additionnels.

Les fichiers d'entrée relatifs aux cas représentatifs ou « les plus limitatifs » pour un colis considéré isolément ou un agencement de colis endommagés et non endommagés devraient être inclus.

7.0 MODE D'EMPLOI DE L'EMBALLAGE

Cette section de la demande devrait décrire le mode d'emploi, tel qu'exigé par le 10 CFR 71, (71.31(c), 71.35(c), 71.43(g), 71.47(b) à (d), 71.87, 71.89) et l'alinéa 807(d) du TS-R-1 qui est référencé au paragraphe 7(1)(a) du RETSN, relatif au chargement du colis et à sa préparation en vue du transport, en présentant les étapes séquentielles dans l'ordre réel où elles seront effectuées. Le mode d'emploi devrait décrire les étapes fondamentales requises pour s'assurer que le colis est préparé adéquatement en vue du transport, conformément à l'évaluation du colis aux chapitres 2 à 6 de la demande. Les exigences réglementaires à respecter concernant le mode d'emploi du colis sont le 10 CFR 71.87 et le paragraphe 502 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN.

Le colis devrait être utilisé conformément à des procédures écrites détaillées qui sont fondées sur le mode d'emploi décrit dans la présente section de la demande et qui s'y conforment. Le mode d'emploi du colis devrait permettre de maintenir les expositions au rayonnement en milieu de travail au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (ALARA), tel que requis par la section *Standards for Protection Against Radiation* du 10 CFR 20.1101(b) ou par le paragraphe 302 du TS-R-1.

Le mode d'emploi du colis présenté dans la demande ne devrait pas être constitué de procédures détaillées qui seraient mises en œuvre telles quelles. Le mode d'emploi du colis devrait plutôt ressembler à un aperçu qui porte essentiellement sur les étapes importantes pour s'assurer que le colis est utilisé de manière conforme à son évaluation en vue de l'approbation. La conformité au mode d'emploi du colis présenté dans la demande sera incluse à titre de condition d'approbation dans le certificat d'homologation. Les procédures détaillées qui ne sont pas importantes sur le plan de la sûreté n'ont pas à être incluses dans la demande. Les étapes relatives au mode d'emploi devraient normalement être présentées en ordre séquentiel, suivant le cas. Une orientation sur la préparation des procédures détaillées et du mode d'emploi du colis compris dans la demande peut être consultée dans le NUREG/CR-4775, *Guide for Preparing Operating Procedures for Shipping Packages* [24].

7.1 Chargement du colis

Cette section devrait décrire la préparation, les épreuves et les inspections du colis se rapportant au chargement, y compris les inspections effectuées avant le chargement du colis afin de déterminer si le colis n'est pas endommagé, et si l'intensité du rayonnement et la contamination de surface respectent les limites admissibles présentées dans la réglementation.

7.1.1 Préparation en vue du chargement

Les opérations relatives à la préparation du colis en vue du chargement devraient permettre à tout le moins, de s'assurer que :

84. le colis est chargé et fermé conformément aux instructions écrites;
85. le contenu est autorisé par le certificat d'homologation, incluant l'utilisation d'un conteneur ou d'une enveloppe de confinement secondaire, suivant le cas;
86. l'emploi du colis est conforme aux conditions d'approbation dans le certificat d'homologation, y compris la vérification que le colis respecte la conception mentionnée dans l'approbation et que l'entretien requis a été effectué;
87. le colis est dans un état physique intact;
88. dans le cas d'un envoi de matière fissile, tout contrôle ou toute précaution spéciale pour le transport, le chargement, le déchargement et la manutention, ainsi que toute mesure appropriée en cas d'accident ou de retard sont fournis au transporteur ou au destinataire;
89. toute précaution spéciale ou tout contrôle proposé pour la manutention du colis est fourni;
90. tout modérateur ou tout absorbeur de neutron est présent et en bon état, en conformité totale avec la conception de colis approuvée;
91. le colis est étiqueté adéquatement.

En outre, les opérations devraient décrire l'inspection des joints, les critères de remplacement et les processus de réparation, s'il y a lieu, ainsi que l'inspection de chaque mécanisme de fermeture et les critères de remplacement.

7.1.2 Chargement du contenu

Au minimum, les opérations de chargement du contenu devraient décrire comment le contenu est chargé et comment le colis est fermé. Les opérations de chargement devraient permettre de s'assurer que :

92. tout équipement de manutention spécial requis pour le chargement et le déchargement est fourni;
93. toute précaution spéciale ou tout contrôle proposé pour le chargement et la manutention du colis est fourni;
94. tout modérateur ou tout absorbeur de neutron, s'il est spécifié, est présent et en bon état;
95. le colis a été chargé et fermé de manière appropriée, conformément aux séquences du couple de serrage et de serrement des boulons;
96. s'il y a lieu, les méthodes de drainage et d'assèchement du colis sont décrites, l'efficacité des méthodes proposées est examinée et les critères d'assèchement sous vide sont spécifiés;

97. dans le cas des colis transportant du combustible irradié, les précautions spéciales et les contrôles concernant le combustible endommagé sont fournis;
98. chaque mécanisme de fermeture du colis, y compris les joints spécifiés, est installé adéquatement, bien maintenu en place et exempt de défaut.

Dans le cas des colis transportant du combustible nucléaire irradié, lorsque le demandeur a conçu le système de contrôle de la criticité du colis d'après la réactivité réduite des assemblages de combustible nucléaire irradié en raison de la combustion, une description des étapes de mesure pour vérifier indépendamment le taux de combustion du combustible nucléaire irradié devrait être fourni dans cette section. La description devrait comprendre la technique de mesure, le type de dispositif, les paramètres mesurés, le nombre de mesures et le critère de la marge d'erreur acceptable relative aux dispositifs de mesure.

7.1.3 Préparation en vue du transport

Les opérations de préparation du colis en vue du transport devraient tenir compte des contrôles du rayonnement et de la contamination du colis, des épreuves d'étanchéité du colis, des mesures de la température de surface du colis, de l'arrimage, et de l'application de dispositifs inviolables et du marquage et de l'étiquetage appropriés. Au minimum, la préparation en vue du transport devrait comprendre les opérations suivantes :

99. le niveau de contamination radioactive non fixée (enlevable) sur les surfaces externes de chaque colis destiné à l'expédition respecte le niveau ALARA, et se situe à l'intérieur des limites précisées dans la réglementation Américaine du DOT, soit le 49 CFR 173.443, ou le paragraphe 508 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN;
100. les exigences relatives au contrôle du rayonnement sur l'extérieur du colis sont décrites afin de s'assurer que les limites précisées dans le 10 CFR 71.47 ou le paragraphe 531 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN et le paragraphe 572 du TS-R-1 qui est référencé à la section 15(5) du RETSN sont respectées;
101. La température de l'extérieur du colis est à l'intérieur des limites spécifiées dans le 10 CFR 71.43(g) ou aux paragraphes 617, 652 et 662 du TS-R-1 tels qu'incorporés à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1;
102. Pour les colis de type B pour des matériaux radioactifs qui ne sont pas sous forme spéciale, les épreuves d'étanchéité du colis respectent les exigences de l'épreuve d'étanchéité pour la vérification de l'assemblage précisée dans les normes ANSI N14.5 ou ISO 12807. Ce test est non quantitatif et est utilisé afin de démontrer qu'aucune fuite n'est présente à un niveau spécifique de sensibilité.
103. un dispositif inviolable est intégré et indique que le colis n'a pas été ouvert par des personnes non autorisées lorsqu'il est intact;

104. tout système servant à contenir du liquide est adéquatement scellé et possède un espace adéquat destiné à accueillir l'expansion du liquide, ou un autre dispositif spécifié;
105. une vérification est faite pour s'assurer que les dispositifs de décompression fonctionnent bien et qu'ils sont bien installés;
106. tout élément de structure du colis qui pourrait être utilisé pour lever ou pour arrimer le colis durant le transport est rendu inutilisable à cette fin, à moins qu'il ne respecte les exigences de conception relatives au levage ou à l'arrimage du colis, tel que requis par le 10 CFR 71.45 ou le paragraphe 608 du TS-R-1 tel qu'incorporé à la section 1(1) du RETSN par référence au paragraphe 650 du TS-R-1.
107. tout contrôle ou toute précaution spéciale proposée en vue du transport, ou de la manutention, ou tout contrôle spécial proposé en cas d'accident ou de retard est précisé;
108. le marquage et l'étiquetage du colis est effectué conformément au 49 CFR 172.310 et 172.403 ou aux paragraphes 535 à 540 et 542 à 546 du TS-R-1 qui sont référencés à la section 16(4) du RETSN;
109. des instructions écrites sont fournies au transporteur dans le cas des colis qui doivent être transportés sous utilisation exclusive, en raison de l'intensité du rayonnement externe;
110. avant la livraison d'un colis à un transporteur en vue du transport, le titulaire de permis envoi ou met à la disposition du destinataire toutes les instructions spéciales requises pour ouvrir le colis en toute sûreté.

7.2 Déchargement du colis

Cette section devrait comprendre les inspections, les essais et les préparations spéciales du colis en vue du déchargement. S'il y a lieu, cette section devrait également décrire les opérations permettant d'assurer l'évacuation sûre des gaz de fission, du caloporteur contaminé et des contaminants solides.

7.2.1 Réception des colis amenés par le transporteur

La procédure de réception du colis devrait comprendre des contrôles du rayonnement et de la contamination, ainsi que des inspections du mécanisme inviolable. Cette section devrait également décrire tout contrôle ou toute précaution spéciale proposée pour manipuler et décharger les colis.

La réglementation américaine exige du destinataire qu'il effectue un contrôle du rayonnement et de la contamination des colis, conformément au 10 CFR 20.1906, *Procedures for Receiving and Opening Packages*. Le paragraphe 21(3) du *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires* (RETSN) exige que le destinataire s'assure que le colis n'est pas endommagé, qu'il ne porte aucune trace d'altération, qu'aucune partie de la matière fissile ne se trouve à l'extérieur du système d'isolement, et qu'aucune partie du contenu ne se trouve à l'extérieur de l'enveloppe de

confinement. (Le règlement RETSN peut être consulté à l'adresse suivante : <http://www.nuclearsafety.gc.ca/fr/resource/regulations>)

Les opérations devraient être présentées de manière séquentielle dans l'ordre où les étapes seront suivies pour la réception du colis amené par le transporteur. Au minimum, les opérations de réception devraient permettre de s'assurer que :

111. les exigences du 10 CFR 20.1906 ou du RETSN, paragraphe 21(3), sont respectées;
112. le colis est examiné afin de déterminer s'il y a des dommages externes visibles;
113. les étapes permettant de définir les mesures à prendre lorsque le dispositif inviolable est brisé, ou que le niveau de contamination de surface ou l'intensité du rayonnement mesurée lors d'un contrôle est trop élevé, sont fournies;
114. une liste de tout l'équipement de manutention spéciale requis pour décharger et manipuler le colis est fournie;
115. Tous les contrôles et précautions spéciales proposées pour le déchargement et la manutention du colis sont fournis;
116. les procédures de contrôle des limites relatives à l'intensité du rayonnement au moment des opérations de déchargement sont fournies;
117. les procédures d'évacuation sûre des gaz de fission, des caloporteurs contaminés et des contaminants solides sont fournies, s'il y a lieu.

7.2.2 Retrait du contenu

Cette section devrait décrire les opérations et méthodes appropriées pour ouvrir le colis et en retirer le contenu. Les opérations devraient être présentées de manière séquentielle dans l'ordre où elles seront réalisées pour enlever le contenu après réception du colis. Au minimum, les opérations devraient permettre de s'assurer que :

118. le dispositif de fermeture est enlevé de manière appropriée;
119. le contenu est retiré de manière appropriée;
120. une vérification est faite à l'effet que le contenu a été complètement enlevé.

7.3 Préparation pour le transport des emballages vides

Cette section devrait décrire les inspections, les épreuves et les préparations spéciales qui sont requises pour s'assurer que l'emballage est vide, qu'il est fermé de manière sûre et que les intensités de rayonnement et de contamination respectent les limites admissibles. En outre, cette section devrait décrire les exigences appropriées du 49 CFR 173.428, *Empty Class 7 (Radioactive) Materials Packaging*, ou les exigences du paragraphe 520 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN.

Les opérations devraient permettre de s'assurer que :

121. l'emballage est vide;
122. les inspections et épreuves appropriées du colis sont réalisées avant le transport, afin de s'assurer que les exigences du 10 CFR 71.87(i) ou du paragraphe 508 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN sont respectées;
123. les préparations spéciales de l'emballage, visant à s'assurer que l'intérieur de l'emballage est décontaminé adéquatement et fermé conformément aux exigences du 49 CFR 173.428 ou du paragraphe 520 du TS-R-1, sont décrites.

7.4 Autres opérations

Cette section devrait comprendre les dispositions relatives aux contrôles opérationnels spéciaux (p. ex. trajet, conditions météorologiques, restrictions relatives à la durée de l'expédition, etc.).

7.5 Annexe

L'annexe devrait comprendre une liste des références, des pages applicables des documents mentionnés en référence, des descriptions détaillées et des analyses des procédés ou protocoles, des présentations graphiques, les résultats des essais et d'autres renseignements additionnels.

8.0 ÉPREUVES D'ACCEPTATION ET PROGRAMME D'ENTRETIEN

Cette section de la demande devrait décrire les épreuves d'acceptation et le programme d'entretien, tel qu'exigé par l'alinéa 807(d) du TS-R-1 qui est référencé au paragraphe 7(1)(a) du RETSN, à appliquer pour le colis, conformément à la sous-partie G du 10 CFR 71 et au paragraphe 501 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN. Les épreuves d'acceptation et le programme d'entretien seront inclus dans le certificat d'homologation, sous forme d'une condition d'approbation.

8.1 Épreuves d'acceptation

Cette section devrait décrire les épreuves, telles que requises par le 10 CFR 71.85 et le paragraphe 501 du TS-R-1 qui est référencé à la section 16(4) du RETSN, qui doivent être réalisées avant la première utilisation de l'emballage. Chaque épreuve ainsi que ses critères d'acceptation devraient être décrits. Les épreuves d'acceptation devraient confirmer que chaque emballage est fabriqué conformément aux dessins mentionnés en référence dans l'approbation du colis. La spécificité de l'information fournie concernant les épreuves d'acceptation devrait être suffisamment détaillée pour vérifier le caractère adéquat du colis.

Combustible nucléaire irradié (CNI)

Combustible de réacteur nucléaire irradié au point où il ne peut plus soutenir une réaction en chaîne parce que les isotopes fissionnables qu'il contient ont été partiellement détruits par la réaction, et que des poisons issus de la fission s'y sont accumulés.

CSA

Association canadienne de normalisation

DOT

Department of Transportation des États-Unis

Flambage

Déformation courbe d'un mur trop mince, d'une longue pièce de charpente ou d'un poteau de trop faible section, lorsqu'ils sont soumis à une charge longitudinale excessive, ou dont l'application est décentrée, où la charge en question est inférieure à la charge longitudinale ultime que le matériau est capable de supporter.

GWj

Gigawatt-jour

H/X

Rapport atomique hydrogène-matière fissile

Impact secondaire

Deuxième choc subi par un colis, consécutif à premier impact sur un coin ou une arête.

Indice de sûreté-criticité (ISC)

Valeur attribuée à un colis, un suremballage ou un conteneur de transport contenant des matières fissiles et qui limite l'accumulation de ces colis, suremballages ou conteneurs.

ISO

Organisation internationale de normalisation

 k_{eff}

facteur de multiplication effectif des neutrons

kPa

Kilopascals

Matière fissile

Se dit de l'uranium 233, l'uranium 235, le plutonium 239, le plutonium 241, ou de toute combinaison de ces radionucléides, à l'exception de :

- l'uranium naturel ou appauvri qui n'a pas été irradié,
- l'uranium naturel ou appauvri qui n'a été irradié que dans des réacteurs thermiques.

MeV

Megaélectronvolts

mrem

Millirem

MRFD

Matières radioactives à faible dispersion

MTU

Tonne métrique d'uranium

NRC

Nuclear Regulatory Commission des États-Unis

OACI

Organisation de l'aviation civile internationale

Pyrophoricité

Propriété d'une matière qui s'enflamme spontanément au contact de l'air, sous l'effet d'un choc ou par frottement.

REB

Réacteur à eau bouillante

REP

Réacteur à eau sous pression

RETSN

Règlement sur l'emballage et de transport des substances nucléaires

Sv

Seivert

SI

Système international d'unités

TBq

Terabecquerel

Technique des noyaux ponctuels

Technique fondée sur une solution analytique de source ponctuelle, dans laquelle le flux non atténué pour toute distance r de la source est proportionnel au débit de la source divisé par $4\pi r^2$. Les atténuations sont approximées par des coefficients d'atténuation prédéfinis et des facteurs d'accumulation.

TS-R-1

Norme de sûreté de l'AIEA, *Règlement de transport des matières radioactives*, No. TS-R-1, Édition de 1996 (Revisée). Vienne, 2000

RÉFÉRENCES

1. American National Standards Institute, *American National Standard for Radioactive Materials-Leakage Tests on Packages for Shipment*. ANSI N14.5-1997. New York, 1997.
2. - - -. *Characterizing Damaged Spent Nuclear Fuel for the Purpose of Storage and Transport*. ANSI N14.33-2005. New York, 2005.
3. - - -. *Special Lifting Devices for Shipping Containers Weighing 10000 Pounds (4500 kg) or More*. ANSI N14.6-1993. New York, 1980.
4. American National Standards Institute, American Society of Mechanical Engineers. *Quality Assurance Program Requirements for Nuclear Power Facilities*. ANSI/ASME NQA-1-1983. New York, 1983.
5. American Nuclear Society. *American National Standard for Neutron and Gamma-Ray Flux to Dose Factors*. ANSI/ANS 6.1.1. La Grange Park, Illinois, 1977.
6. American Society of Mechanical Engineers. *Boiler and Pressure Vessel Code Section III-Rules for Construction of Nuclear Facility Components-Div 3 Containments for Transportation & Storage of Spent Nuclear Fuel & High Level Radioactive Materials & Waste*. BPVC-III-3-2007. New York, 2007.
7. Gouvernement du Canada; *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires*. Gazette du Canada, Partie II, Vol. 134, N°.13. Ottawa, 2000.
8. Agence internationale de l'énergie atomique. *Quality Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material*, Collection Sécurité No. 113. Vienne, 1994.
9. - - Norme de sûreté de l'AIEA, *Règlement de transport des matières radioactives*, No. TS-R-1, Édition de 1996 (Revisée). Vienne, 2000.
10. International Organization for Standardization. *Quality Management Systems*. ISO 9000 :2005. Third Edition. Geneva, 2005.
11. - - -. *Safe Transport of Radioactive Material - Leakage Testing of Packages*. ISO 12807 :1996(E). Geneva, 1996.
12. Oak Ridge National Laboratory. *Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation (SCALE), Tools for Sensitivity and Uncertainty Methodology Implementation (TSUNAMI)*. Revision 5.1. December, 2005.
13. Organization for Economic Cooperation and Development. *International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments*. NEA/NSC/DOC (95)03, Vols. I-VIII, OECD. September, 2005.

14. United Nations, United Nations Economic and Social Committee. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Model Regulations, Volumes I and II*. 13th Revised Edition. Geneva, 2003.
15. United States Nuclear Regulatory Commission. *Averaging of Radiation Levels Over the Detector Probe Area, HPPOS-13, in Health Physics Positions Data Base*. NUREG/CR-5569, Rev. 1, 1992.
16. - - -. *Classification of Transportation Packaging and Dry Spent Fuel Storage System Components According to Importance to Safety*. NUREG/CR-6407. Washington, DC, 1996.
17. - - -. *Containment Analysis for Type B Packages Used to Transport Various Contents*. NUREG/CR-6487. 1996.
18. - - -. *Control of Heavy Loads at Nuclear Power Plants*. NUREG-0612. 1980.
19. - - -. *Design Criteria for the Structural Analysis of Shipping Cask Containment Vessels*. Regulatory Guide 7.6. 1978.
20. - - -. *Engineering Drawings for 10 CFR Part 71 Package Approvals*. NUREG/CR-5502. 1998.
21. - - -. *Fabrication Criteria for Shipping Containers*. NUREG/CR-3854. 1985.
22. - - -. *Fracture Toughness Criteria of Base Material for Ferritic Steel Shipping Cask Containment Vessels with a Maximum Wall Thickness of 4 Inches (0.1 m)*. Regulatory Guide 7.11. 1991.
23. - - -. *Fracture Toughness Criteria of Base Material for Ferritic Steel Shipping Cask Containment Vessels with a Maximum Wall Thickness of 4 Inches (0.1 m), But not Exceeding 12 inches (.3m)*. Regulatory Guide 7.12. 1991.
24. - - -. *Guide for Preparing Operating Procedures for Shipping Packages*. NUREG/CR-4775. December 1988.
25. - - -. *Load Combinations for the Structural Analysis of Shipping Casks for Radioactive Material*. Regulatory Guide 7.8. 1989.
26. - - -. *Packaging and Transportation of Radioactive Material*. Title 10, Part 71 of the Code of Federal Regulations, (10 CFR Part 71).
27. - - -. *Recommended Welding Criteria for Use in the Fabrication of Shipping Containers for Radioactive Materials*. NUREG/CR-3019. 1985.

ANNEXE A

CORRESPONDANCE ENTRE LE RETSN ET LE RÈGLEMENT TS-R-1 DE L'AIEA

Le tableau suivant démontre la correspondance entre le RETSN et les paragraphes du TS-R-1 qui sont référencés dans le document.

Section du Document RD-364	Section du RETSN correspondant au(x) paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)	Paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)
1.0	RETSN 1(4)	Section VI
	RETSN 16(1)(a)(viii)	816
	RETSN 16(1)(a)(viii)	817
1.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	681
1.2	RETSN 7(1)(a)	807
	RETSN 7(1)(a)	813
1.2.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	634
	Définition utilisée dans le Paragraphe 660 du TS-R-1 qui est inclus à la section (1) du RETSN par référence aux Paragraphes 665 and 667 du TS-R-1 et au paragraphe 7(1)(a) du RETSN par référence au Paragraphe 810 du TS-R-1	228
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	635
1.3	RETSN 7(1)(a)	807(h)
2.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	613
2.4	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	634
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	635
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	639
2.5.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	607
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	608
2.5.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	636
2.6	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	646
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(a)
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	719-724
2.6.3	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	643
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	619
2.6.4	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	615
2.6.5	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	612
2.6.8	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	722
2.6.9	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	723
2.7	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	726-729
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	664
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	727
2.7.4	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	728
2.7.5	RETSN 7(1)(a) par référence au Paragraphe 813 du TS-R-1	671
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	731-733
2.7.6	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	729

Section du Document RD-364	Section du RETSN correspondant au(x) paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)	Paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)
2.7.7	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 667 du TS-R-1	670
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	730
2.9	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	680
2.10	RETSN 1(1)	603
2.10	RETSN 1(1) par référence au Paragraphes 602-604 du TS-R-1	704-711
3.0	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	642
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	651
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	652
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	653
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	654
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	655
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	660
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	661
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	662
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	728
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	736
3.1.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	651
3.4.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	652
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	662
3.4.3	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	660
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	661
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	642
3.5	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	726-729
3.5.2	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	728
3.5.6	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	736
4.0	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	646
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	658
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	659
4.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	659
4.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(a)
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	646
4.3	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)
4.4	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656
5.0	RETSN 16(4)	526
	RETSN 16(4)	530
	RETSN 16(4)	531
	RETSN 16(4)	532
	RETSN 15(5)	572
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	645
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	646(b)
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)(ii)(i)

Section du Document RD-364	Section du RETSN correspondant au(x) paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)	Paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)
5.1.2, Table 5.1	RETSN 16(4)	530
	RETSN 16(4)	531
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)(ii)(i)
5.1.2, Table 5.2	RETSN 15(5)	572
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)(ii)(i)
5.3.1	RETSN 15(5)	572
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)(ii)(i)
	RETSN 16(4)	530
5.3.1	RETSN 16(4)	531
5.4.4	RETSN 16(4)	526
	RETSN 16(4)	530
	RETSN 16(4)	531
	RETSN 16(4)	532
	RETSN 15(5)	572
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	645
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	646 (b)
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	656(b)(ii)(i)
6.0	Paragraphe 671 : RETSN 7(1)(a) par référence au Paragraphe 813 du TS-R-1 Paragraphe 672 : RETSN 1(1) Paragraphs 673-682 : RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	671-682
	RETSN 16(4)	528
6.1	RETSN 7(1)(a)	807
	RETSN 7(1)(a)	813
6.1.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	677
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	678
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	679
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	681
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	682
6.1.3	RETSN 16(4)	528
6.2	RETSN 7(1)(a)	807
	RETSN 7(1)(a)	813
6.3.2	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	719-724
	RETSN 1(4) par référence au Paragraphe 716 du TS-R-1	726-729
6.3.5	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	673
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	674
6.4.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	677
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	678
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	679 (b)
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	679 (c)
6.4.2	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	679
6.5.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	681
6.6.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	682
6.7.1	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 672 du TS-R-1	680

Section du Document RD-364	Section du RETSN correspondant au(x) paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)	Paragraphe(s) du TS-R-1 référencé(s)
7.0	RETSN 7(1)a)	807 (d)
	RETSN 16(4)	502
	Explication du principe « ALARA »	302
7.1.3	RETSN 16(4)	508
	RETSN 16(4)	531
	RETSN 15(5)	572
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	617
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	652
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	662
	RETSN 1(1) par référence au Paragraphe 650 du TS-R-1	608
	RETSN 16(4)	535-540
	RETSN 16(4)	542-546
7.3	RETSN 16(4)	520
	RETSN 16(4)	508
8.0	RETSN 7(1)(a)	807 (d)
	RETSN 16(4)	501
8.1	RETSN 16(4)	501
8.1.3	RETSN 16(4)	501 (a)
8.2	RETSN 13(a)	310 (b)
	RETSN 7(1)(a)	807 (d)
9.0	RETSN 13(a)	310
9.2	RETSN 13(a)	310