



Sûreté en matière de criticité nucléaire

RD-327

Décembre 2010



Sûreté en matière de criticité nucléaire
Document d'application de la réglementation RD-327

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2010

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 CC172-63/2010F-PDF
ISBN 978-1-100-96186-6

This document is also available in English under the title RD-327, *Nuclear Criticality Safety*.

Disponibilité du présent document

On peut consulter le document sur le site web de la CCSN à www.suretenucleaire.gc.ca. Pour obtenir un exemplaire du document en anglais ou en français, veuillez communiquer avec :

Commission canadienne de sûreté nucléaire
C.P. 1046, Succursale B
280, rue Slater
Ottawa, Ontario CANADA K1P 5S9
Téléphone : 613-947-3981 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)
Télécopieur : 613-995-5086
Courriel : info@cnscccsn.gc.ca

Historique de publication :

Décembre 2010 Édition 1.0
Décembre 2009 Version provisoire pour consultation publique

Préface

Le document d'application de la réglementation RD-327, *Sûreté en matière de criticité nucléaire* décrit les exigences permettant d'éviter que surviennent des accidents de criticité lors de la manutention, du stockage, du traitement et du transport des matières fissiles et de la gestion à long terme des déchets nucléaires. Il clarifie les contraintes et les limites physiques des matières fissiles que les titulaires de permis doivent prendre en considération afin d'assurer la sûreté en matière de criticité nucléaire pendant la construction, l'exploitation, le déclassé ou l'abandon d'une installation autorisée. Le présent document établit aussi les exigences relatives aux alarmes et au blindage afin de minimiser les doses en cas d'accident lié à la criticité.

Le document présente aussi les exigences de la CCSN concernant la sûreté en matière de criticité nucléaire. Le document d'orientation connexe, GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire*, explique comment respecter ces exigences.

Ce document d'application de la réglementation s'applique aux installations disposant de matière fissile à l'extérieur de réacteurs nucléaires, sauf pour l'assemblage de telle matière dans des conditions contrôlées (comme dans les expériences sur la criticité).

Les principes et éléments clés utilisés dans l'élaboration du présent document et les directives connexes sont conformes aux normes nationales et internationales.

Aucune information contenue dans ce document ne doit être interprétée comme libérant le titulaire de permis de ses obligations. Il incombe au titulaire de permis de déterminer et de se conformer à tous les règlements et conditions de permis applicables.

S'il existe des écarts entre le présent document d'application de la réglementation et le document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire*, l'information contenue dans le présent document, RD-327, *Sûreté en matière de criticité nucléaire*, a préséance.

Table des matières

1.0	Introduction.....	1
1.1	Objet.....	1
1.2	Portée	1
1.3	Dispositions législatives applicables.....	1
1.4	Normes nationales et internationales	3
2.0	Sûreté en matière de criticité nucléaire des activités comportant des matières fissiles hors réacteurs	4
2.1	Introduction.....	4
2.2	Portée	4
2.3	Pratiques en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire	4
2.3.1	Catégorisation des activités comportant des matières fissiles	4
2.3.1.1	Quantités d'exemption de matières fissiles.....	4
2.3.1.2	Petite quantité de matières fissiles	5
2.3.1.3	Quantité importante de matières fissiles.....	5
2.3.1.4	Lien entre le programme de sûreté en matière de criticité nucléaire et la catégorisation	5
2.3.2	Pratiques en matière de gestion de programme	6
2.3.2.1	Responsabilités	6
2.3.2.2	Analyse de procédé.....	6
2.3.2.3	Procédures écrites	7
2.3.2.4	Contrôle des matières.....	7
2.3.2.5	Contrôle de l'équipement.....	8
2.3.2.6	Programme de gestion de la qualité	8
2.3.2.7	Contrôle opérationnel.....	8
2.3.2.8	Examens opérationnels	8
2.3.2.9	Procédures d'urgence.....	8
2.3.3	Pratiques techniques.....	9
2.3.3.1	Paramètres contrôlés	9
2.3.3.2	Disponibilité et fiabilité	9
2.3.3.3	Contrôle de la géométrie.....	9
2.3.3.4	Limite de sous-criticité	10
2.3.3.5	Réflecteurs de neutrons.....	10
2.3.3.6	Interaction des neutrons	10
2.3.4	Validation d'une méthode de calcul	10
2.3.4.1	Établissement du biais.....	10
2.3.4.2	Incertitudes liées au biais	11
2.3.4.3	Dépendance face aux programmes informatiques	11
2.3.4.4	Rapport de validation	11
2.4	Limites à un seul paramètre ou à paramètres multiples pour les nucléides fissiles.....	11
3.0	Système d'alarme d'accident de criticité	12
3.1	Introduction.....	12
3.2	Portée	12

3.3	Principes généraux	12
3.3.1	Généralités	12
3.3.2	Considérations.....	12
3.3.2.1	Évaluation des systèmes d’alarme de criticité	12
3.3.2.2	Installation de systèmes d’alarme de criticité	13
3.3.2.3	Détection des accidents de criticité.....	13
3.3.3	Alarme de criticité.....	13
3.3.4	Fiabilité	14
3.4	Critères de conception des systèmes.....	14
3.4.1	Fiabilité	14
3.4.2	Temps de réponse	14
3.4.3	Critère de détection.....	15
3.4.4	Sensibilité.....	15
3.4.5	Emplacement des détecteurs.....	15
3.5	Essais.....	15
3.5.1	Essais initiaux	15
3.5.2	Essais spéciaux.....	15
3.5.3	Réponse au rayonnement	15
3.5.4	Essais périodiques.....	16
3.5.5	Mesures correctives	16
3.5.6	Procédures d’essai.....	16
3.5.7	Registres.....	16
3.5.8	Hors d’usage	16
3.6	Familiarisation des employés.....	16
3.6.1	Instructions affichées	16
4.0	Utilisation d’anneaux de Raschig en verre borosilicate comme d’absorbants de neutrons dans des solutions de matière fissile	17
5.0	Sûreté dans la mesure <i>in situ</i> de la multiplication des neutrons sous-critiques	18
6.0	Sûreté en matière de criticité nucléaire dans le stockage des matières fissiles.....	18
7.0	Critères relatifs aux contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire dans les activités avec blindage et confinement.....	18
8.0	Contrôle de la criticité nucléaire et sûreté des mélanges de combustible de plutonium et d’uranium à l’extérieur des réacteurs.....	19
9.0	Utilisation d’absorbants de neutrons solubles dans des installations nucléaires à l’extérieur des réacteurs.....	19
10.0	Contrôle de la criticité nucléaire des nucléides d’actinides spéciaux.....	20
11.0	Critères de sûreté en matière de criticité pour la manutention, le transport, le stockage et la gestion des déchets à long terme hors réacteur du combustible des réacteurs	20
12.0	Pratiques administratives en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire.....	21
12.1	Introduction.....	21
12.2	Portée	21

12.3	Responsabilités	21
12.3.1	Responsabilités des gestionnaires	21
12.3.2	Responsabilités des superviseurs	22
12.3.3	Responsabilités du personnel associé à la sûreté en matière de criticité nucléaire.....	22
12.4	Procédures d'exploitation	23
12.5	Évaluation de procédé pour la sûreté en matière de criticité nucléaire (évaluation de la sûreté en matière de criticité nucléaire).....	24
12.6	Contrôle des matières.....	24
12.7	Intervention prévue en cas d'accident de criticité nucléaire.....	24
12.8	Contenu du programme de sûreté en matière de criticité nucléaire.....	25
13.0	Formation relative à la sûreté en matière de criticité nucléaire.....	26
14.0	Utilisation d'absorbeurs de neutrons fixes dans des installations nucléaires hors réacteurs.....	26
15.0	Sûreté en matière de criticité nucléaire en limitant et en contrôlant des modérateurs	27
16.0	Planification et intervention d'urgence en cas d'accident de criticité nucléaire.....	27
Annexe A	Conditions normales et anormales crédibles	29
Annexe B	Établissement de la limite supérieure de sous-criticité	31
Abréviations		33
Glossaire		35
Références		41

RD-327, *Sûreté en matière de criticité nucléaire*

1.0 Introduction

1.1 Objet

Ce document d'application de la réglementation décrit les exigences permettant d'éviter que surviennent des accidents de criticité lors de la manutention, du stockage, du traitement et du transport des matières fissiles et la gestion à long terme des déchets nucléaires.

Le document précise les contraintes physiques et les limites relatives aux matières fissiles que les titulaires de permis doivent prendre en considération afin d'assurer la sûreté en matière de criticité nucléaire durant la construction, l'exploitation, le déclassement ou l'abandon de l'installation autorisée. Le présent document établit aussi les exigences relatives aux alarmes et au blindage afin de minimiser les doses en cas d'accident lié à la criticité.

1.2 Portée

Le présent document d'application de la réglementation décrit les exigences de la CCSN concernant la sûreté en matière de criticité nucléaire. Le document d'orientation connexe, GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1], explique comment respecter ces exigences.

Le présent document s'applique aux installations disposant de matière fissile à l'extérieur de réacteurs nucléaires, sauf pour l'assemblage de telle matière dans des conditions contrôlées (comme dans les expériences sur la criticité).

S'il existe des écarts entre le présent document d'application de la réglementation et le document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire*, l'information contenue dans le présent document, RD-327, *Sûreté en matière de criticité nucléaire*, a préséance.

1.3 Dispositions législatives applicables

Les dispositions législatives de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (LSRN) et des règlements pris en vertu de celle-ci qui sont applicables au présent document sont les suivants :

- le paragraphe 24(4) de la LSRN stipule que « 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 »

- le paragraphe 24(5) de la LSRN stipule que « Les licences et les permis peuvent être assortis des conditions que la Commission estime nécessaires à l'application de la présente loi »
- les alinéas 3(1)*i*) et *j*) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires* stipulent que « La demande de permis comprend les renseignements suivants :
 - i*) une description et les résultats des épreuves, analyses ou calculs effectués pour corroborer les renseignements compris dans la demande
 - j*) le nom, la quantité, la forme, l'origine et le volume des déchets radioactifs ou des déchets dangereux que l'activité visée par la demande peut produire, y compris les déchets qui peuvent être stockés provisoirement ou en permanence, gérés, traités, évacués ou éliminés sur les lieux de l'activité, et la méthode proposée pour les gérer et les stocker en permanence, les évacuer ou les éliminer »
- l'alinéa 12(1)*f*) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires* stipule que « Le titulaire de permis : *f*) prend toutes les précautions raisonnables pour contrôler le rejet de substances nucléaires radioactives ou de substances dangereuses que l'activité autorisée peut entraîner là où elle est exercée et dans l'environnement »
- le paragraphe 13(1) du *Règlement sur la radioprotection* stipule que « Le titulaire de permis veille à ce que la dose efficace qui est reçue par une personne visée à la colonne 1 du tableau du présent paragraphe, et engagée à son égard au cours de la période prévue à la colonne 2 ne dépasse pas la dose efficace figurant à la colonne 3 »
- l'alinéa 5)*i*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I* stipule que « La demande de permis pour construire une installation nucléaire de catégorie I comprend les renseignements suivants ... : *i*) les effets sur l'environnement ainsi que sur la santé et la sécurité des personnes que peuvent avoir la construction, l'exploitation et le déclassement de l'installation nucléaire... »
- l'alinéa 6)*h*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I* stipule que « La demande de permis pour exploiter une installation nucléaire de catégorie I comprend les renseignements suivants ... : *h*) les effets sur l'environnement ainsi que sur la santé et la sécurité des personnes que peuvent avoir l'exploitation et le déclassement de l'installation nucléaire... »
- l'alinéa 7)*f*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I* stipule que « La demande de permis pour déclasser une installation nucléaire de catégorie I comprend les renseignements suivants ... : *f*) les effets que les travaux de déclassement peuvent avoir sur l'environnement ainsi que sur la santé et la sécurité des personnes »
- les alinéas 14(3)*c*) et *d*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I* stipulent que « Le titulaire de permis qui déclasser une installation nucléaire de catégorie I tient un document sur :
 - c*) la façon dont les déchets nucléaires ou dangereux sont gérés, stockés de façon provisoire ou permanente, évacués, éliminés ou transférés ;
 - d*) le nom et la quantité des substances nucléaires radioactives, des substances

dangereuses et des rayonnements qui subsistent à l'installation nucléaire après les travaux de déclassement »

- le paragraphe 2(1) du *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires* stipule que « Le présent règlement s'applique à l'emballage et au transport des substances nucléaires, y compris la conception, la production, l'utilisation, l'inspection, l'entretien et la réparation de l'emballage et des colis, ainsi qu'à la préparation, à l'envoi, à la manutention, au chargement, à l'acheminement, au stockage en cours de transport, à la réception au point de destination finale et au déchargement des colis. »

La *Loi sur les déchets de combustible nucléaire* et la *Loi sur la responsabilité nucléaire* peuvent aussi s'appliquer aux activités comprenant sur des matières fissiles.

1.4 Normes nationales et internationales

Les principes et les éléments clés utilisés dans l'élaboration du présent document d'application de la réglementation sont conformes aux normes nationales et internationales.

Certaines sections du présent document sont tirées des normes énumérées ci-dessous de l'American National Standards Institute (ANSI), avec la permission de l'éditeur, l'American Nuclear Society (ANS). Au besoin, le texte a été adapté dans le but de le rendre applicable aux obligations auxquelles souscrit le Canada envers l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et en conformité aux exigences réglementaires de la CCSN.

1. ANSI/ANS-8.1-1998 (rééditée en 2007), *Nuclear Criticality Safety in Operations with Fissionable Materials Outside Reactors*;
2. ANSI/ANS-8.3-1997 (rééditée en 2003), *Criticality Accident Alarm System*;
3. ANSI/ANS-8.19-1996, *Administrative Practices for Nuclear Criticality Safety* (révisée en 2005).

Le présent document d'application de la réglementation est conforme aux normes suivantes :

1. Norme de sûreté de l'AIEA, *Safety of Conversion Facilities and Uranium Enrichment Facilities*, IAEA SSG-5, 2010 ;
2. Norme de sûreté de l'AIEA, *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities Safety Requirements*, IAEA NS-R-5, janvier 2009 [2];
3. Norme de sûreté de l'AIEA, *Safety of Uranium Fuel Fabrication Facilities*, IAEA SSG-6, 2010 [3];
4. Norme de sûreté de l'AIEA GS-R-2, *Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, Exigences relatives à la sûreté*, 2002 [4];
5. Santé Canada, *Lignes directrices canadiennes sur les interventions en situation d'urgence nucléaire*, H46-2/03-326E, 2003 [5];

6. Association canadienne de normalisation (CSA) Norme N292.2-07, *Entreposage à sec provisoire du combustible irradié* [6];
7. CSA Norme N292.3-2008, *Gestion des déchets radioactifs de faible et de moyenne activité* [7];
8. ISO Standard 1709, *Nuclear energy—Fissile materials—Principles of criticality safety in storing, handling, and processing*, 1995 [8];
9. ISO Standard 7753, *Nuclear energy—Performance and testing requirements for criticality detection and alarm systems*, 1987 [9];
10. ISO Standard 14943, *Nuclear fuel technology—Administrative criteria related to nuclear criticality safety*, 2004 [10];
11. CEI Norme 860, *Équipement de signalisation des accidents de criticité*, 1987 [11].

2.0 Sûreté en matière de criticité nucléaire des activités comportant des matières fissiles hors réacteurs

2.1 Introduction

Les activités qui mettent en jeu certaines matières fissiles présentent un risque d'accident de criticité donnant lieu à un rejet de radioactivité pouvant être mortel pour les personnes se trouvant à proximité. Cependant, l'expérience montre que des activités prolongées peuvent être réalisées de manière sûre et rentable lorsque les précautions adéquates sont prises.

2.2 Portée

Les critères fondamentaux sont présentés et les limites sont spécifiées pour les matières suivantes : ^{233}U , ^{235}U et ^{239}Pu .

La présente section ne comprend pas les détails des contrôles administratifs, la conception des procédés ou de l'équipement, la description des instruments pour le contrôle de procédé, ni les critères détaillés à respecter dans le transport des matières fissiles.

2.3 Pratiques en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire

Les activités comportant des matières fissiles doivent respecter les exigences du présent document d'application de la réglementation.

2.3.1 Catégorisation des activités comportant des matières fissiles

2.3.1.1 Quantités d'exemption de matières fissiles

Une quantité d'exemption de matières fissiles dans une installation autorisée est définie comme un inventaire de matières fissiles, comme suit :

12. Moins de 100 g de ^{233}U ou de ^{235}U ou de ^{239}Pu , ou n'importe quelle combinaison de ces trois isotopes sous forme de matières fissiles, combinés dans n'importe quelle proportion;

13. Une quantité illimitée d'uranium naturel ou appauvri ou de thorium naturel, si aucune autre matière fissile ou quantité importante de graphite, d'eau lourde, de béryllium ou d'un autre modérateur plus efficace que l'eau légère n'est permise dans l'installation autorisée;
14. Moins de 200 kg au total d'uranium naturel ou appauvri ou de thorium naturel, si certaines autres matières fissiles sont présentes dans l'installation autorisée, mais la quantité totale de nucléides fissiles contenue dans ces matières fissiles est inférieure à 100 g.

Les installations autorisées qui utilisent des quantités d'exemption de matières fissiles sont exemptées des exigences du présent document d'application de la réglementation.

2.3.1.2 *Petite quantité de matières fissiles*

Une petite quantité de matières fissiles dans une installation autorisée est définie comme un inventaire de matières fissiles, qui :

1. Dépasse les limites d'exemption précisées à la section 2.3.1.1; mais
2. Ne dépasse pas les limites suivantes :
 - 500 g de ^{233}U , ou 700 g de ^{235}U , ou 450 g de ^{239}Pu , ou 450 g de n'importe quelle combinaison de ces trois isotopes. Ces limites s'appliquent aux installations détenant du plutonium, de l' ^{233}U , ou de l'uranium enrichi en ^{233}U ou de l' ^{235}U . Ces limites ne s'appliquent pas si des quantités importantes de graphite, d'eau lourde, de béryllium ou d'un autre modérateur plus efficace que l'eau légère n'est présent ou
 - 80 % de la masse critique appropriée la plus faible.

Le présent document d'application de la réglementation est partiellement applicable, tel que précisé à la section 2.3.1.4, aux installations qui utilisent de petites quantités de matières fissiles.

2.3.1.3 *Quantité importante de matières fissiles*

Une quantité importante de matières fissiles dans une installation autorisée est définie comme un inventaire de matières fissiles qui dépasse les limites précisées à la section 2.3.1.2.

Le présent document s'applique aux installations autorisées utilisant des quantités importantes de matières fissiles.

Il est à noter qu'une installation autorisée détenant une grande quantité de matières fissiles peut être assujettie à la *Loi sur la responsabilité nucléaire*.

2.3.1.4 *Lien entre le programme de sûreté en matière de criticité nucléaire et la catégorisation*

Un programme de sûreté en matière de criticité nucléaire doit être élaboré et tenu à jour dans l'installation autorisée afin de satisfaire aux exigences de la CCSN en matière de criticité nucléaire et d'appuyer son exploitation sécuritaire. L'étendue du programme dépend de la catégorie des activités comportant des matières fissiles :

1. Les installations autorisées effectuant des activités comportant de petites quantités de matières fissiles, tel qu'indiqué à la section 2.3.1.2, doivent élaborer et tenir à jour un programme à portée réduite basé sur les sections applicables du présent document, en tenant compte du fait que les exigences des sections 2.3.2.2, 2.3.2.9, 3.0, 11.0, 12.5, et 12.7 ne sont pas applicables. Le programme doit permettre de s'assurer que le processus entier demeure sous-critique afin qu'un état de criticité accidentel ne puisse survenir.
2. Les installations autorisées effectuant des activités comportant de grandes quantités de matières fissiles, telles que définies à la section 2.3.1.3, doivent élaborer et tenir à jour un programme intégral basé sur les sections applicables du présent document et sur les exigences de la CCSN. Les caractéristiques du programme intégral sont décrites à la section 12.8.

2.3.2 Pratiques en matière de gestion de programme

2.3.2.1 Responsabilités

La direction doit établir clairement les responsabilités en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire. Les superviseurs devraient être autant responsables de la sûreté en matière de criticité nucléaire qu'ils le sont de la production, du développement, de la recherche ou d'autres fonctions. Chaque employé, peu importe son poste, doit être conscient du fait que la sûreté en matière de criticité nucléaire dans son domaine de travail est ultimement sa responsabilité. Cela peut se traduire par de la formation et du perfectionnement périodique de tout le personnel d'exploitation et de soutien.

La direction doit embaucher du personnel ayant des habiletés dans l'interprétation des données pertinentes pour la sûreté en matière de criticité nucléaire et qui est familier avec les opérations, afin de conseiller les superviseurs. Ces spécialistes devraient être, dans la mesure du possible, indépendants des superviseurs de procédé sur le plan administratif.

La direction doit établir les critères qui doivent être respectés en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire. On doit faire une distinction entre les installations blindées et non blindées et les critères peuvent être moins rigoureux s'il y a en place des dispositifs de blindage ou de confinement assurant la protection du personnel.

2.3.2.2 Analyse de procédé

Avant de débiter une nouvelle activité comportant des matières fissiles, ou avant de modifier une activité existante, on doit déterminer que le processus entier sera sous-critique à la fois dans des conditions normales et des conditions anormales crédibles dont la fréquence est égale ou supérieure à 10^{-6} par an [6, 7]. Des exemples de ces conditions sont donnés à l'annexe A.

1. Une limite supérieure de sous-criticité (LSSC) adéquate doit être établie et justifiée de façon à ce que :
 - Si les méthodes de calcul sont appliquées à la prévision des facteurs de multiplication des neutrons pour l'évaluation de la sûreté :
 - La LSSC est calculée à l'aide des formules présentées à l'annexe B;

- Une marge administrative de sous-criticité, telle que présentée dans les formules de calcul de la LSSC, correspond à 5 % du facteur de multiplication des neutrons [6, 7].
 - Si les méthodes de calcul ne sont pas appliquées pour prévoir les facteurs de multiplication des neutrons pour l'évaluation de la sûreté :
 - La LSSC est 500 g de ²³³U ou 700 g de ²³⁵U ou 450 g de ²³⁹Pu ou 450 g de n'importe quelle combinaison de ces trois isotopes; ces limites doivent être appliquées seulement lorsqu'on peut démontrer que les matières environnantes, y compris les autres matières fissiles, ne font pas augmenter le facteur de multiplication effectif (k_{eff}) plus que si l'unité était contenue par une couche ininterrompue d'eau d'une épaisseur illimitée;
 - Autrement, la marge administrative de sous-criticité qui est équivalente à 20 % de la masse critique [6, 7].
2. La LSSC adéquate établie doit être maintenue dans toutes les conditions normales et anormales crédibles, et :
- Toutes les conditions anormales crédibles dont la fréquence est égale ou supérieure à 10^{-6} /an soient identifiées et évaluées;
 - La fréquence des conditions anormales crédibles identifiées soit clairement démontrée à l'aide de méthodes quantitatives ou semi-quantitatives (voir GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1], Annexe G.
3. On doit démontrer que des mesures d'atténuation adéquates sont en place, de sorte que les conséquences d'un accident de criticité hors site, telles que calculées au début de l'accident, ne contreviennent pas aux critères établis comme facteurs de déclenchement nécessitant une évacuation temporaire du public conformément aux normes internationales et nationales suivantes [6, 7]:
- Norme de sûreté n° GS-R-2 de l'AIEA, intitulée : *Préparation et intervention en cas d'urgence nucléaire ou radiologique*, annexe III, sous-section III-2 [4];
 - Santé Canada, *Canadian Guidelines for Intervention during a Nuclear Emergency*, H46-2/03-326E [5].

2.3.2.3 Procédures écrites

Les activités pour lesquelles la sûreté en matière de criticité nucléaire est pertinente doivent être régies par des procédures écrites.

Toutes les personnes qui participent à ces activités doivent comprendre et être familières avec les procédures.

Les procédures doivent spécifier tous les paramètres qu'elles ont pour but de contrôler. Elles doivent être telles qu'aucune dérogation unique faite par inadvertance par rapport à une procédure ne puisse causer d'accident de criticité.

2.3.2.4 Contrôle des matières

Le déplacement des matières fissiles doit être contrôlé. On aura recours à un étiquetage approprié des matières, à des panneaux et à la pose d'affiches dans la zone pour préciser de quelle matière il s'agit et toutes les limites des paramètres assujettis au contrôle.

2.3.2.5 *Contrôle de l'équipement*

Avant d'utiliser un processus ou une chaîne de traitement nouveau ou modifié, on doit s'assurer que tout l'équipement est conforme en ce qui a trait aux dimensions et aux matériaux, et aux hypothèses posées pour assurer la sous-criticité [8].

2.3.2.6 *Programme de gestion de la qualité*

Un programme de gestion de la qualité (GQ) qui respecte les exigences applicables des normes ANSI/ASME NQA-1-2008, *Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications* [12], et N286-05 de la CSA, *Exigences relatives au système de gestion des centrales nucléaires* [13], ou l'équivalent, doit être élaboré pour mettre en œuvre les activités spécifiées dans le présent document d'application de la réglementation.

Des registres doivent être tenus dans le cadre du programme de GQ pour démontrer que l'installation autorisée et l'équipement qu'elle contient ont été construits conformément aux normes de conception. Le titulaire de permis doit définir une procédure officielle de modifications de la conception dans le cadre de son programme de GQ, de manière à ce que toutes les modifications apportées à l'installation autorisée ou à ses procédés ou procédures durant toutes les étapes du cycle de vie de cette dernière soient enregistrées avec exactitude et que leur impact soit évalué sur le plan de la sûreté en matière de criticité nucléaire [2]. Ces mesures de GQ devraient constituer une partie intégrante de l'ensemble du programme de GQ.

2.3.2.7 *Contrôle opérationnel*

Les écarts par rapport aux procédures et les changements imprévus dans les conditions qui ont une incidence sur la sûreté en matière de criticité nucléaire doivent être signalés à la direction et faire rapidement l'objet d'une enquête. Lorsqu'elle est disponible, l'information sur les incidents et les événements dans d'autres installations du même type doit également être examinés et les leçons tirées de ces événements doivent être considérées. On doit examiner les améliorations possibles à apporter aux pratiques de sûreté en matière de criticité ou à l'équipement et des mesures doivent être prises afin d'éviter que la situation se produise à nouveau [2, 8].

2.3.2.8 *Examens opérationnels*

Les activités doivent être examinées fréquemment (au moins une fois par année) afin de s'assurer que les procédures sont suivies et que les conditions de procédé n'ont pas été modifiées d'une façon qui pourrait avoir une incidence sur l'évaluation applicable de la sûreté en matière de criticité nucléaire (ESCN). Ces examens doivent être réalisés en consultation avec le personnel d'exploitation, par des personnes qui connaissent bien la sûreté en matière de criticité nucléaire et qui, dans la mesure du possible, ne sont pas directement responsables de l'opération.

2.3.2.9 *Procédures d'urgence*

Des procédures d'urgence doivent être préparées et approuvées par la direction. Les organisations sur le site et hors site qui pourraient avoir à intervenir en cas d'urgence

doivent être mises au courant des conditions auxquelles elles pourraient faire face et on doit leur fournir de l'aide dans la préparation de procédures adéquates relatives à leur intervention.

2.3.3 Pratiques techniques

2.3.3.1 Paramètres contrôlés

Tous les paramètres contrôlés ainsi que leurs limites doivent être spécifiés. L'influence des variations sur le k_{eff} du système doit être comprise dans ces paramètres.

2.3.3.2 Disponibilité et fiabilité

Le titulaire de permis doit s'assurer que les niveaux nécessaires de disponibilité et de fiabilité sont maintenus pour les contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire, tels qu'ils sont établis par l'analyse de procédé pour les conditions normales et anormales crédibles.

Les principes suivants doivent être intégrés correctement afin d'assurer la disponibilité et la fiabilité requises des contrôles techniques de sûreté en matière de criticité nucléaire [2].

Principe de la contingence double

La conception de procédé doit intégrer suffisamment de facteurs de sûreté pour nécessiter au moins deux modifications improbables, indépendantes et simultanées dans les conditions de procédé avant qu'un accident de criticité puisse se produire.

Testabilité

Tous les contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire doivent être conçus et arrangés de sorte que :

1. Leur fonction de sûreté puisse être inspectée adéquatement et mise à l'essai; et
2. Les contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire peuvent être facilement entretenus, au besoin, avant leur mise en service et à intervalles réguliers ou convenables par la suite, selon leur importance sur le plan de la sûreté.

S'il s'avère peu pratique d'assurer la testabilité adéquate d'un composant, l'analyse de sûreté devrait tenir compte de la possibilité qu'il y ait des défaillances non détectées de ce genre d'équipement [2].

2.3.3.3 Contrôle de la géométrie

Lorsque cela est possible, la fiabilité devrait reposer sur la conception d'équipements dont les dimensions sont limitées, plutôt que sur des contrôles administratifs. On peut tirer parti de n'importe quelle caractéristique nucléaire du matériel et de l'équipement de procédé. Toutes les dimensions et propriétés nucléaires sur lesquelles repose la fiabilité doivent être vérifiées avant de débiter les opérations, et un contrôle doit être exercé pour les maintenir.

2.3.3.4 Limite de sous-criticité

Lorsque les données applicables sont disponibles, des limites de sous-criticité doivent être établies en se fondant sur des expériences, et en appliquant une tolérance adéquate pour tenir compte des incertitudes dans les données. En l'absence de mesures expérimentales directement applicables, les limites peuvent être dérivées de calculs réalisés grâce à une méthode démontrée valide en la comparant à des données expérimentales, conformément à la section 2.3.4.

2.3.3.5 Réflecteurs de neutrons

Si les conditions le permettent, la réflexion des neutrons doit être envisagée comme paramètre de contrôle de la criticité. Le réflecteur de neutrons le plus efficace et fréquent que l'on rencontre fréquemment dans la manutention et le traitement des matières fissionnables est une épaisseur d'eau suffisante pour assurer la réactivité nucléaire maximale. Cependant, il faut examiner avec soin les systèmes comportant des épaisseurs importantes d'autres matériaux structuraux courants (p. ex. le bois, le béton ou l'acier), qui pourraient être des réflecteurs de neutrons plus efficaces que l'eau. Dans certains cas, la quantité de neutrons réfléchis par le personnel peut être importante [8] (les constituants du corps humain peuvent avoir une grande capacité de modération [se reporter au document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1], annexe F]).

2.3.3.6 Interaction des neutrons

On doit tenir compte de l'interaction des neutrons entre les unités lorsqu'au moins deux unités contenant des matières fissionnables sont présentes. Il est possible de réduire l'interaction des neutrons à des proportions acceptables, soit en les espaçant, en insérant des modérateurs ou des absorbeurs de neutrons entre les unités, ou en combinant ces méthodes [8].

2.3.4 Validation d'une méthode de calcul

Des méthodes de calcul convenables pour déterminer l'état de sous-criticité d'un système doivent être sélectionnées et justifiées conformément à une norme d'assurance de la qualité pertinente. Les méthodes varient considérablement quant à leur fondement et leur forme, et chacune trouve une application dans la vaste gamme des situations qui se présentent en ce qui a trait à la sûreté en matière de criticité nucléaire. Cependant, la procédure générale à suivre dans l'établissement de la validité est commune à toutes. Pour un exemple de validation d'une méthode de calcul, se reporter au document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1], annexe C.

2.3.4.1 Établissement du biais

Le biais doit être établi en corrélant les résultats d'expériences critiques et d'expériences exponentielles avec les résultats obtenus pour ces mêmes systèmes grâce à la méthode de calcul validée.

Dans les cas où aucune donnée expérimentale n'est disponible, l'établissement du biais pour une méthode de calcul est impossible et les exigences de la présente sous-section ne peuvent être respectées. La validation d'une méthode de calcul en comparant les résultats avec ceux d'une autre méthode de calcul, par exemple, est inacceptable.

2.3.4.2 Incertitudes liées au biais

Les incertitudes liées au biais doivent contenir des tolérances liées aux incertitudes dans les conditions expérimentales, des tolérances pour le manque d'exactitude et de précision dans la méthode de calcul et des tolérances pour l'élargissement du domaine (ou des domaines) d'applicabilité. Après avoir établi les tolérances pour l'exactitude et la précision de la méthode et pour le biais et les incertitudes, une marge relativement au k_{eff} ou à un autre paramètre de corrélation doit être appliquée. Celle-ci doit être suffisamment grande pour s'assurer que les conditions (calculées par la méthode et considérées sous-critiques par la valeur de cette marge) seront réellement sous-critiques. Comme le biais et ses incertitudes, cette marge peut varier en fonction de la composition et d'autres variables.

2.3.4.3 Dépendance face aux programmes informatiques

Si la méthode de calcul utilise un programme informatique, des vérifications doivent être faites pour confirmer que les opérations mathématiques sont exécutées tel que prévu. Tout changement dans le programme informatique doit être suivi d'une nouvelle confirmation précisant que les opérations mathématiques sont réalisées comme prévu.

2.3.4.4 Rapport de validation

Un rapport de validation écrit doit être préparé. Ce rapport doit :

1. Décrire la méthode avec suffisamment de détails, de clarté et sans ambiguïté, pour permettre une reproduction indépendante des résultats;
2. Identifier les données expérimentales et énumérer les paramètres dérivés des données afin de les utiliser dans la validation de la méthode;
3. Préciser le domaine (ou les domaines) d'applicabilité;
4. Énoncer le biais et les incertitudes pour le domaine (ou les domaines) d'applicabilité;
5. Préciser la marge de sous-criticité pour le domaine (ou les domaines) d'applicabilité, y compris la justification de la pertinence de la marge de sous-criticité;
6. Préciser la limite supérieure de sous-criticité (voir l'annexe B pour les renseignements détaillés).

2.4 Limites à un seul paramètre ou à paramètres multiples pour les nucléides fissiles

Si les limites à un paramètre ou à plusieurs paramètres s'appliquant aux quantités de ^{233}U , de ^{235}U et de plutonium indiquées aux sections 2.4 et 2.5 du document GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1] sont utilisées, une marge administrative adéquate s'appliquera à la sous-criticité pour assurer la conformité avec la section 2.3.2.2.

3.0 Système d'alarme d'accident de criticité

3.1 Introduction

Les activités touchant certaines matières fissiles présentent un risque d'accident de criticité donnant lieu à un rejet de radioactivité pouvant être léthal pour les personnes se trouvant à proximité. Cependant, l'expérience montre que des activités prolongées peuvent être réalisées de manière sûre et rentable lorsque les précautions adéquates sont prises.

3.2 Portée

Les exigences y sont formulées pour l'établissement de la validité et des domaines d'applicabilité de n'importe quelle méthode de calcul utilisée pour évaluer la sûreté en matière de criticité nucléaire.

3.3 Principes généraux

3.3.1 Généralités

Le but d'un système d'alarme est de réduire le risque pour le personnel. L'évaluation du risque global doit tenir compte du fait que les dangers peuvent résulter de fausses alarmes et de l'interruption soudaine subséquente des activités, et du déplacement du personnel.

Sous réserve de l'évaluation du risque global ci-dessus, un système d'alarme de criticité respectant les exigences du présent document doit être installé dans les lieux où :

1. Il peut y avoir une situation de criticité par inadvertance;
2. Une exposition excessive du personnel au rayonnement est crédible, en cas de criticité par inadvertance.

Lorsque des systèmes d'alarme sont installés, des procédures d'urgence doivent être mises en place et maintenues à jour. Des renseignements sur la préparation des plans d'urgence sont fournies à la section 16.

3.3.2 Considérations

3.3.2.1 Évaluation des systèmes d'alarme de criticité

Compte tenu des exigences du point 1 de la liste de la section 3.3.1, on doit évaluer la nécessité de disposer de systèmes d'alarme de criticité :

1. Pour toutes les activités mettant en cause du ^{233}U , ^{235}U et ^{239}Pu , au cours desquelles l'inventaire de matières fissiles (contenant n'importe lequel de ces trois isotopes) dépasse 500 g de ^{233}U , 700 g de ^{235}U , 450 g de ^{239}Pu , ou 450 g de n'importe quelle combinaison de ces trois isotopes.
2. Pour toutes les activités avec des matières fissiles au cours desquelles des modérateurs ou des réflecteurs de neutrons plus efficaces que l'eau légère sont présents, ou qui comportent des configurations de matière unique, de telle sorte que les exigences relatives à la masse critique peuvent être inférieures aux limites de masse sous-critique mentionnées précédemment;

3. Pour toutes les activités au cours desquelles l'inventaire des matières fissiles dépasse 80 % de la masse critique appropriée, si les limites de la masse sous-critique mentionnées précédemment ne sont pas applicables, ou pas appropriées.

Cette évaluation doit être réalisée pour toutes les activités au cours desquelles l'inventaire de matières fissiles dans des zones individuelles non liées dépasse les limites de masse sous-critique mentionnées précédemment.

Pour cette évaluation, les zones individuelles peuvent être considérées non liées lorsque les frontières entre les zones sont telles qu'il ne peut pas y avoir de transfert de matières entre elles [9], que la séparation minimale entre les matières dans des zones adjacentes est de 10 cm et que la densité surfacique de la matière fissile pour chaque zone individuelle est en moyenne inférieure à 50 g/m². Cette prescription s'applique seulement aux isotopes ²³³U, ²³⁵U et ²³⁹Pu.

3.3.2.2 *Installation de systèmes d'alarme de criticité*

Un système d'alarme de criticité respectant les exigences de la présente section doit être installé dans les zones où le personnel risque de recevoir une dose de rayonnement excessive. À cette fin, le rendement de fission maximal intégré sur toute la durée de l'accident peut être présumé ne pas dépasser $2,0 \times 10^{19}$ fissions. Le fondement pour un rendement de fission maximal différent doit être documenté.

Si un accident de criticité de magnitude moindre que l'accident préoccupant le moins grave indiqué à la section 3.4.3 est en cause, alors d'autres méthodes de détection (p. ex. un dosimètre sonore individuel) devraient être considérées. On ne considère pas ces autres méthodes de détection comme des systèmes d'alarme de criticité et elles ne sont donc pas visées par la section 3 du présent document.

3.3.2.3 *Détection des accidents de criticité*

Dans les zones où un système d'alarme de criticité est requis, un dispositif pour détecter les accidents de criticité et les signaler doit être en place de manière à ce que des mesures de protection soient rapidement appliquées.

3.3.3 *Alarme de criticité*

Les signaux d'alarme de criticité doivent être utilisés pour assurer une évacuation rapide ou d'autres mesures de protection. Les signaux d'alarme de criticité doivent être uniformes dans l'ensemble du système. Ces signaux doivent être différents des autres signaux ou alarmes qui nécessitent une réponse différente de la réponse nécessaire en cas d'accident de criticité.

Le générateur de signaux doit être déclenché automatiquement et rapidement lors de la détection d'un accident de criticité.

Après le déclenchement, les générateurs de signaux doivent continuer à fonctionner au besoin, tel qu'indiqué par les procédures d'urgence, même si le rayonnement diminue en deçà du point d'alarme, et suffisamment longtemps pour que les personnes puissent atteindre les points de rassemblement après évacuation et appliquer les procédures de

comptabilisation du personnel. Des systèmes de réinitialisation manuels, à accès limité, doivent être en place à l'extérieur des zones nécessitant une évacuation [9].

On peut prévoir un moyen de déclenchement manuel de l'alarme de criticité.

Dans toutes les zones occupées où une mesure de protection du personnel est requise en cas de détection d'accident de criticité, le nombre et l'emplacement des générateurs de signaux d'alarme de criticité doivent être tels que les signaux permettent d'aviser rapidement le personnel de ces zones.

3.3.4 Fiabilité

Les fausses alarmes doivent être évitées autant que possible. On peut éviter cette situation en utilisant des détecteurs à canal unique fiables ou en se servant du signal de deux détecteurs ou plus pour initier l'alarme.

Dans les systèmes redondants, la défaillance d'un canal unique ne doit pas empêcher la conformité aux critères de détection spécifiés à la section 3.4.3.

Lorsqu'on utilise des instruments portatifs pour se conformer à la section 3 du présent document, l'utilisation doit être évaluée pour déterminer si les critères appropriés sont respectés. Les critères relatifs à l'utilisation des instruments portatifs doivent être spécifiés dans les procédures.

Les zones de procédé dans lesquelles des activités se poursuivront pendant les pannes d'électricité doivent être dotées d'alimentation de secours pour ce qui est des systèmes d'alarme, ou encore ces activités doivent être surveillées de manière continue à l'aide d'instruments portatifs.

La sensibilité adéquate du système d'alarme en cas d'accidents considérés comme étant les moins graves est examinée à la section 3.4.4.

Les détecteurs soumis à un rayonnement intense dépassant 1000 Gy/h doivent pouvoir déclencher une alarme. On peut démontrer la conformité à cette disposition par un essai de détecteur échantillonné ou en suivant les essais précisés par le fabricant pour des échantillons de production [9].

3.4 Critères de conception des systèmes

3.4.1 Fiabilité

Le système doit être conçu de manière à faire preuve d'une fiabilité élevée et doit utiliser des composants qui ne nécessitent pas d'entretien fréquent (comme de la lubrification ou un nettoyage).

3.4.2 Temps de réponse

Le système doit être conçu pour produire un signal d'alarme de criticité dans la demi-seconde (0,5 seconde) suivant la détection d'un accident de criticité par le détecteur.

3.4.3 Critère de détection

Les systèmes d'alarme de criticité doivent être conçus de manière à répondre immédiatement à l'« accident préoccupant le moins grave ». Dans les cas où on ne dispose que du blindage nominal, on devrait utiliser la définition de l'« accident préoccupant le moins grave » trouvée dans le glossaire en fin de document. Toute référence à une autre définition devra être documentée.

3.4.4 Sensibilité

Les systèmes d'alarme de criticité doivent être conçus de manière à ce que le déclenchement de l'alarme se produise lors de l'état transitoire le plus court. On peut supposer que la durée minimale de l'émission de rayonnement lors d'un état transitoire est d'une milliseconde (1 ms).

Le seuil de déclenchement de l'alarme doit être réglé à un niveau suffisamment bas pour détecter l'accident préoccupant le moins grave. Le seuil de déclenchement de l'alarme devrait être également suffisamment élevé pour réduire au minimum le risque de déclenchement de l'alarme par des causes autres que la criticité.

3.4.5 Emplacement des détecteurs

L'espacement entre les détecteurs doit être conforme au seuil de déclenchement d'alarme choisi et aux critères de détection.

3.5 Essais

3.5.1 Essais initiaux

Des essais initiaux, des inspections et des vérifications du système doivent permettre de s'assurer que la fabrication et l'installation ont été réalisées conformément au plan et aux spécifications de conception.

3.5.2 Essais spéciaux

À la suite de modifications ou de réparations, ou encore d'événements remettant en question le rendement du système, il doit y avoir des essais et des inspections pertinents pour démontrer que le système fonctionne correctement.

3.5.3 Réponse au rayonnement

La réponse du système au rayonnement doit être mesurée périodiquement pour confirmer le rendement continu de l'instrument. L'intervalle entre les essais doit être déterminé d'après l'expérience. En l'absence d'expérience, les essais devraient être effectués au moins une fois par mois.

Des registres des essais doivent être conservés. La conception du système peut intégrer des caractéristiques d'autovérification afin d'automatiser des parties de ces essais.

3.5.4 Essais périodiques

Le système d'alarme complet doit être testé périodiquement. Chaque générateur de signaux doit être testé au moins une fois par année. Des observations sur le terrain doivent établir si les signaux d'alarme de criticité fonctionnent bien dans toutes les zones où le personnel pourrait recevoir une dose de rayonnement excessive. Tout le personnel des zones concernées doit être avisé avant les essais des signaux d'alarme de criticité.

3.5.5 Mesures correctives

Lorsque des essais révèlent un rendement inadéquat, des mesures correctives doivent être prises le plus rapidement possible. Si l'on utilise des instruments portatifs, il faut respecter les critères de la section 3.3.4.

3.5.6 Procédures d'essai

Les procédures d'essai du système doivent permettre de réduire au minimum le taux de fausses alarmes et de déclenchement intempestif des mesures d'urgence. Les procédures doivent exiger que les systèmes soient ramenés à un fonctionnement normal immédiatement après les essais.

La norme CEI 860, *Équipement de signalisation des accidents de criticité* [11], contient des renseignements utiles concernant les caractéristiques électriques et les procédures d'essai de l'équipement d'alarme. Cette norme peut être utilisée comme guide dans ce domaine.

3.5.7 Registres

Des registres des essais et des mesures correctives pour chaque système doivent être conservés.

3.5.8 Hors d'usage

Le titulaire de permis doit élaborer et mettre en œuvre des critères relatifs à la mise hors d'usage du système d'alarme de criticité nucléaire.

Si le système est retiré du service en raison d'un problème imprévu, le titulaire de permis doit en informer immédiatement la CCSN en précisant la cause du retrait et sa durée prévue.

3.6 Familiarisation des employés

3.6.1 Instructions affichées

Des instructions à l'intention des employés concernant la réponse aux signaux d'alarme de criticité doivent être affichées à des endroits stratégiques dans les zones visées par l'alarme.

4.0 Utilisation d'anneaux de Raschig en verre borosilicate comme d'absorbeurs de neutrons dans des solutions de matière fissile

Le rôle des anneaux de Raschig dans les applications de sûreté en matière de criticité est d'assurer la sous-criticité dans des conditions normales et anormales crédibles pendant la durée de vie d'une colonne. Les exigences générales pour l'utilisation des anneaux de Raschig à des fins de contrôle de la criticité sont :

1. Les critères de sûreté en matière de criticité nucléaire de la section 2 doivent être appliqués.
2. Les propriétés physiques et chimiques des anneaux de Raschig spécifiés dans le document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1] doivent être vérifiées avant leur utilisation initiale dans le contrôle de la criticité.
3. À la suite de leur utilisation initiale, une vérification périodique doit permettre de s'assurer que toutes les propriétés physiques et chimiques des anneaux de Raschig sont maintenues.
4. L'importance et la fréquence de la vérification des propriétés physiques et chimiques peuvent être déterminées à partir d'un historique documenté des tendances des propriétés propres aux anneaux de Raschig, dans le milieu particulier où ils sont utilisés. Autrement, l'intervalle initial d'inspection des anneaux ne doit pas dépasser 13 mois dans le cas des anneaux qui ne sont pas soumis à une agitation ou 7 mois pour les anneaux soumis à une agitation.
5. Les méthodes de mesure des propriétés des anneaux de Raschig doivent être documentées et examinées par du personnel qualifié afin de déterminer leur applicabilité et leur validité technique.
6. Les anneaux de Raschig doivent être compatibles avec le milieu chimique et les conditions physiques des solutions dans lesquelles ils seront immergés.
7. L'utilisation d'anneaux de Raschig dans des applications de sûreté en matière de criticité autres que celles visées par le présent document d'application de la réglementation devrait être évaluée au cas par cas.

Pour plus de renseignements et pour des directives concernant l'utilisation des anneaux de Raschig en verre borosilicate comme d'absorbeurs de neutrons pour le contrôle de la criticité dans des colonnes garnies contenant des solutions de ^{235}U , ^{239}Pu ou ^{233}U , il faut se reporter à la section 4 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

5.0 Sûreté dans la mesure *in situ* de la multiplication des neutrons sous-critiques

La protection du personnel durant les expériences *in situ* dépend de la nature de l'accident de criticité à éviter. On doit suivre les critères de sûreté et les bonnes pratiques pour réaliser de telles expériences.

Pour plus de renseignements et pour des directives relatives à la sûreté, en vue de la réalisation de mesures de la multiplication des neutrons dans des conditions sous-critiques lorsque le personnel n'a pas de protection physique contre les conséquences d'un accident de criticité, il faut se reporter à la section 5 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

6.0 Sûreté en matière de criticité nucléaire dans le stockage des matières fissiles

Toutes les activités touchant des matières fissiles, y compris le stockage, doivent être réalisées conformément à la section 2. Si les limites précisées à la section 6 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1] sont utilisées, on doit appliquer une marge administrative de sous-criticité pour assurer la conformité avec la section 2.3.2.2.

Pour plus de renseignements et pour des directives relatives aux critères de stockage généraux basés sur des calculs validés, il faut se reporter à la section 6 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1]. Ainsi, le GD-327 présente certaines pratiques techniques et administratives appropriées au stockage des matières fissiles.

7.0 Critères relatifs aux contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire dans les activités avec blindage et confinement

Dans le cas où il existe un blindage contre le rayonnement et un confinement des matières radioactives qui sont adéquats, les dangers normalement associés à la criticité dans une installation autorisée où il n'existe pas de blindage ni de confinement sont réduits au minimum.

La présente section s'applique aux activités comportant du ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu et d'autres matières fissiles et fissionnables à l'extérieur des réacteurs nucléaires, et où le blindage et le confinement sont présents pour assurer la protection du personnel et du public, à l'exception des assemblages de ces matières dans des conditions contrôlées, comme les expériences de criticité. Des critères de contrôle de la criticité dans ces conditions doivent être fournis pour :

1. La prévention des accidents de criticité nucléaire dans les installations dotées de blindage et de confinement;
2. La pertinence du blindage et du confinement requis.

La présente section ne s'applique pas aux activités exigeant l'accès du personnel à l'intérieur des zones de procédé blindées où des matières fissiles et fissiles se trouvent. Cette section n'inclut pas non plus de spécifications techniques pour la conception du blindage ou pour établir s'il est adéquat. La présente section ne doit pas être interprétée comme décourageant l'utilisation de caractéristiques de sûreté additionnelles qu'il peut être pratique d'intégrer.

La présente section n'inclut pas de procédures administratives détaillées pour le contrôle (qui est considéré comme étant une prérogative de la direction) ou de renseignements détaillés concernant la conception des procédés et de l'équipement ou des descriptions d'instruments destinés au contrôle de procédé.

Pour plus de renseignements et pour des directives relatives à la sûreté, il faut se reporter à la section 7 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

8.0 Contrôle de la criticité nucléaire et sûreté des mélanges de combustible de plutonium et d'uranium à l'extérieur des réacteurs

La présente section s'applique aux activités comportant des oxydes mixtes d'uranium et de plutonium hors réacteurs, à l'exception de l'assemblage de ces matières dans des conditions contrôlées, comme dans le cas d'expériences de criticité.

Les activités visées par la présente section doivent être réalisées conformément à la section 2. Si les limites pour les mélanges d'uranium et de plutonium précisées à la section 8 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1] sont utilisées, on doit appliquer une marge administrative de sous-criticité pour assurer la conformité avec la section 2.3.2.2. Une attention spéciale doit être accordée aux conditions anormales crédibles, comme celles figurant à l'annexe A.

Les pratiques administratives et techniques en matière de sûreté et de contrôle de la criticité indiquées à la section 12 sont applicables ici.

Pour des directives additionnelles, il faut se reporter à la section 8 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

9.0 Utilisation d'absorbeurs de neutrons solubles dans des installations nucléaires à l'extérieur des réacteurs

L'utilisation d'absorbeurs de neutrons solubles dans le but d'éviter les accidents de criticité doit être effectuée conformément à la section 2.

Pour des directives additionnelles applicables à l'utilisation d'absorbeurs de neutrons solubles à des fins de contrôle de la criticité, le choix d'un absorbeur de neutrons, la conception et la modification des systèmes, les évaluations de la sûreté et les programmes d'assurance de la qualité, il faut se reporter à la section 9 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

10.0 Contrôle de la criticité nucléaire des nucléides d'actinides spéciaux

La présente section s'applique aux activités comportant les éléments suivants : $^{237}_{93}\text{Np}$, $^{238}_{94}\text{Pu}$, $^{240}_{94}\text{Pu}$, $^{241}_{94}\text{Pu}$, $^{242}_{94}\text{Pu}$, $^{241}_{95}\text{Am}$, $^{242\text{m}}_{95}\text{Am}$, $^{243}_{95}\text{Am}$, $^{243}_{96}\text{Cm}$, $^{244}_{96}\text{Cm}$, $^{245}_{96}\text{Cm}$, $^{247}_{96}\text{Cm}$, $^{249}_{98}\text{Cf}$ et $^{251}_{98}\text{Cf}$.

Les activités décrites dans la présente section doivent être réalisées conformément à la section 2. Si les limites précisées à la section 10 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1] sont utilisées, on doit appliquer une marge administrative de sous-criticité pour assurer la conformité avec la section 2.3.2.2. On doit accorder une attention particulière aux conditions anormales crédibles, comme celle figurant à l'annexe A.

Les pratiques administratives et techniques relatives à la sûreté-criticité et au contrôle, telles que décrites à la section 12 sont applicables ici.

Pour des directives additionnelles, il faut se reporter à la section 10 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

11.0 Critères de sûreté en matière de criticité pour la manutention, le transport, le stockage et la gestion des déchets à long terme hors réacteur du combustible des réacteurs

La manutention, le transport, le stockage et gestion des déchets à long terme du combustible des réacteurs nucléaires présentent un risque pour la santé et la sécurité du personnel participant à ces activités, ainsi que pour le public en général. Dans les limites de l'installation autorisée, la conception appropriée de l'équipement et des installations, les procédures de manutention et la formation du personnel peuvent réduire ces risques au minimum.

Les opérations décrites dans la présente section doivent être réalisées conformément à la section 2.

Pour obtenir des renseignements sur le transport des matières fissiles à l'extérieur des limites de l'installation autorisée, il faut se reporter au *Règlement sur l'emballage et le transport des substances nucléaires*, au *Règlement de transport des matières radioactives* de l'AIEA (TS-R-1) [14], au document connexe *Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* (TS-G-1.1)[15], et au document d'application de la réglementation RD-364 *Guide d'approbation des colis de transport du Type B(U) et des colis transportant des matières fissiles Canada-États-Unis* [16].

Pour des directives additionnelles applicables à la manutention, au transport, au stockage et à la gestion des déchets à long terme du combustible des réacteurs à n'importe quelle étape du cycle du combustible, à l'extérieur du cœur du réacteur et à l'intérieur des limites de l'installation autorisée, il faut se reporter à la section 11 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

12.0 Pratiques administratives en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire

12.1 Introduction

Bien que l'ampleur et la complexité des activités liées à la sûreté peuvent varier considérablement selon l'importance et le type d'activité avec des matières fissionnables, certains éléments de sûreté sont communs. La présente section représente une codification de ces éléments de sûreté en matière de criticité.

12.2 Portée

La présente section contient des critères relatifs à l'administration d'un programme de sûreté en matière de criticité nucléaire pour les activités hors réacteurs au cours desquelles il existe un risque d'accident de criticité.

Les responsabilités des gestionnaires, des superviseurs et du personnel associé à la sûreté en matière de criticité nucléaire y sont traitées. Les objectifs et les caractéristiques des procédures d'exploitation et des procédures d'urgence sont inclus.

Les exigences générales en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire sont données à la section 2.

12.3 Responsabilités

12.3.1 Responsabilités des gestionnaires

La Direction doit :

1. prendre l'entière responsabilité de la sûreté des activités et assurer une supervision régulière et systématique;
2. élaborer une politique de sûreté en matière de criticité nucléaire et la faire connaître à tous les employés participant aux activités comportant des matières fissionnables. On peut faire une distinction entre les installations blindées et les installations non blindées, et préciser les contrôles de criticité appropriés dans chaque cas;
3. attribuer des responsabilités et déléguer l'autorité adéquate afin de mettre en œuvre la politique établie. La responsabilité en matière de sûreté liée à la criticité nucléaire devrait être assignée de manière compatible avec les autres disciplines de sûreté. Chaque personne, peu importe son poste, doit être au courant du fait que la sûreté en matière de criticité nucléaire associée à son domaine de travail demeure sa responsabilité;
4. doter leurs installations de personnel familier avec la physique de la criticité nucléaire et avec les pratiques de sûreté connexes, afin que le personnel puisse fournir au besoin des conseils techniques relatifs à la portée des activités. Cette fonction devrait être indépendante des activités sur le plan administratif, dans la mesure du possible;
5. établir une méthode de surveillance du programme de sûreté en matière de criticité nucléaire;

6. participer périodiquement à la vérification de l'efficacité globale du programme de sûreté en matière de criticité nucléaire;
7. établir un processus et des procédures définis pour le contrôle des modifications à l'équipement [10] ;
8. établir des procédures d'exploitation ainsi qu'un processus relatif à la modification de ces procédures [10].

La Direction peut avoir recours à des conseillers ou spécialistes et à des comités de sûreté en matière de criticité nucléaire pour atteindre les objectifs du programme.

12.3.2 Responsabilités des superviseurs

Chaque superviseur doit :

1. endosser la responsabilité de la sûreté des activités qu'il a à contrôler;
2. bien connaître les aspects de la sûreté en matière de criticité nucléaire se rapportant aux activités à contrôler. La formation et l'aide devraient être obtenues auprès du personnel associé à la sûreté en matière de criticité nucléaire;
3. donner de la formation et exiger que le personnel sous sa supervision comprenne bien les procédures et les considérations de sûreté, de manière à ce qu'il puisse accomplir ses fonctions sans risque inacceptable. Les programmes de sûreté liée à la criticité nucléaire sont examinés à la section 13. Des registres des activités de formation et de la vérification des connaissances du personnel doivent être conservés;
4. élaborer ou participer à l'élaboration de procédures écrites applicables aux activités qu'ils ont à contrôler. La mise à jour de ces procédures dans le but de refléter les changements dans les activités relève du superviseur;
5. veiller à la conformité en appliquant les bonnes pratiques de sûreté, y compris l'identification claire des matières fissionnables et une gestion adéquate.

12.3.3 Responsabilités du personnel associé à la sûreté en matière de criticité nucléaire

Le personnel associé à la sûreté en matière de criticité nucléaire (personnel de SCN) doit :

1. assumer, et accepter la responsabilité relative à, l'orientation technique dans la conception de l'équipement et des procédés, ainsi que pour le développement des procédures d'exploitation [10] ;
2. demeurer familier avec les développements récents relatifs aux normes, aux guides et aux codes de sûreté en matière de criticité nucléaire. La connaissance d'une information à jour sur la criticité nucléaire devrait être maintenue. Le personnel de SCN devrait consulter des personnes possédant des connaissances dans ce domaine dans le but d'obtenir l'aide technique nécessaire;
3. demeurer familier avec toutes les activités au sein de l'organisation nécessitant des contrôles de sûreté en matière de criticité nucléaire;
4. aider le superviseur dans la formation du personnel, lorsqu'il le demande;

5. réaliser ou participer à des vérifications des pratiques de sûreté en matière de criticité et assurer la conformité avec les procédures, tel que demandé par la Direction ;
6. examiner les rapports sur les infractions aux procédures et sur d'autres lacunes en vue d'améliorer les pratiques de sûreté et les exigences procédurales, et doit documenter les résultats dans le cadre de rapports présentés à la Direction ;
7. sur demande, participer à la vérification de la conformité en tenant compte des spécifications de sûreté en matière de criticité nucléaire, pour l'équipement ou les procédés neufs ou modifiés [10].

12.4 Procédures d'exploitation

Le but des procédures d'exploitation écrites est de faciliter et de documenter la conduite sécuritaire et efficace des activités. Les procédures devraient être organisées de manière pratique pour les opérateurs et doivent être facilement accessibles. Elles ne devraient pas contenir de matériel inapproprié. Les procédures écrites applicables devraient être affichées ou disponibles dans les zones d'exploitation [8].

Les procédures doivent comprendre des contrôles et des limites importantes sur le plan de la sûreté en matière de criticité nucléaire. Les procédures devraient faire en sorte qu'une seule dérogation survenue par inadvertance ne puisse causer un accident de criticité.

Il convient de faciliter l'amélioration et la révision des procédures, lorsque des améliorations s'avèrent souhaitables.

Les procédures d'exploitation doivent être examinées périodiquement par les superviseurs.

Les procédures nouvelles ou révisées qui ont une incidence sur la sûreté en matière de criticité nucléaire doivent être examinées par le personnel de SCN et par les superviseurs, et elles doivent être approuvées par la Direction [10].

Toute dérogation aux procédures d'exploitation et les changements non prévus aux conditions de procédé ayant une incidence sur la sûreté en matière de criticité nucléaire doivent être signalés à la Direction, faire l'objet d'une enquête dans les plus brefs délais et être corrigés selon les besoins, et documentés. Des mesures doivent être prises afin d'éviter que la situation ne se produise à nouveau.

Les activités doivent être révisées fréquemment (au moins une fois par année) afin de déterminer si les procédures sont suivies et si les conditions de procédé n'ont pas été modifiées de manière à avoir une incidence sur l'évaluation de la sûreté en matière de criticité nucléaire (ESCN). Ces examens doivent être effectués en consultation avec le personnel d'exploitation, par des personnes qui s'y connaissent en sûreté liée à la criticité et qui, dans la mesure du possible, ne sont pas directement responsables de l'activité.

12.5 Évaluation de procédé pour la sûreté en matière de criticité nucléaire (évaluation de la sûreté en matière de criticité nucléaire)

Avant de débiter une nouvelle activité comportant des matières fissionnables, ou avant de modifier une activité existante, il convient de déterminer et de documenter le processus dans son ensemble afin de déterminer s'il est sous-critique à la fois dans des conditions normales et anormales crédibles.

L'ESCN doit permettre de déterminer et d'identifier explicitement les paramètres contrôlés et leurs limites connexes sur lesquelles repose la sûreté en matière de criticité nucléaire. L'effet des changements dans ces paramètres, ou dans les conditions auxquelles ils s'appliquent, doit être compris.

L'ESCN doit être documentée de façon suffisamment détaillée, claire et sans ambiguïté, afin de permettre un jugement indépendant des résultats.

Avant de débiter l'activité, on doit procéder à une évaluation indépendante confirmant que l'ESCN est adéquate.

12.6 Contrôle des matières

Le déplacement des matières fissionnables doit être contrôlé tel qu'indiqué dans les procédures. Le transport des matières fissionnables dans le domaine public doit se conformer à la réglementation nationale et internationale [10,14,15,16].

L'étiquetage approprié des matières et la pose d'affiches doivent être maintenus, et doivent spécifier la nature des matières et toutes les limites relatives aux paramètres qui sont assujettis au contrôle procédural de la criticité.

Lorsqu'on se fie aux absorbeurs de neutrons qui sont intégrés dans les matériaux ou l'équipement de procédé pour le contrôle de la criticité, il faut appliquer un contrôle procédural afin de maintenir leur présence continue dans les distributions et les concentrations prévues.

L'accès aux zones où des matières fissionnables sont manipulées, traitées ou entreposées doit être contrôlé.

Le contrôle de l'espacement, de la masse, de la masse volumique et de la géométrie des matières fissionnables doit être effectué afin d'assurer la sous-criticité dans des conditions normales et anormales crédibles—cette exigence ne s'applique pas aux activités comportant une petite quantité de matière fissionnable.

12.7 Intervention prévue en cas d'accident de criticité nucléaire

Des systèmes d'alarme d'accident de criticité nucléaire sont présentés à la section 3. La planification et l'intervention en cas d'urgence sont traitées à la section 16.

Des procédures d'urgence doivent être préparées et doivent être approuvées par la Direction. Les organisations sur le site et à l'extérieur du site, dont on s'attend qu'elles devraient fournir de l'aide en cas d'urgence, doivent être informées des conditions potentielles. On devrait les aider à préparer des procédures d'intervention en cas d'urgence adéquates.

Les procédures d'urgence doivent clairement identifier des itinéraires d'évacuation. L'évacuation devrait utiliser les itinéraires les plus rapides et les plus directs possibles. Ces itinéraires doivent être clairement identifiés et devraient éviter les zones reconnues comme étant plus à risque.

Des stations de rassemblement, à l'extérieur des zones à évacuer, doivent être désignées. Des moyens de comptabiliser le personnel doivent être établis.

Le personnel qui se trouve dans la zone à évacuer doit avoir reçu une formation sur les méthodes d'évacuation et être informé des itinéraires d'évacuation et de l'emplacement des stations de rassemblement. On doit prévoir l'évacuation du personnel passager. Des exercices doivent être effectués au moins une fois par année afin que le personnel demeure familier avec les procédures d'urgence. Les exercices doivent être annoncés à l'avance.

On doit prendre des dispositions à l'avance pour les soins et le traitement des blessés et des personnes exposées. Le risque de contamination du personnel par des matières radioactives doit être envisagé.

La planification doit comprendre un programme relatif à l'identification immédiate des personnes exposées ainsi que la dosimétrie du personnel. Des directives relatives à la dosimétrie figurent dans la publication N13.3-1969 de l'ANSI, intitulée *Dosimetry for Criticality Accidents* [17].

Des instruments et des procédures doivent être fournis pour déterminer l'intensité du rayonnement dans la zone de rassemblement et dans la zone évacuée suite à l'accident de criticité. Les informations devraient être corrélées dans un point de contrôle central.

Les procédures d'urgence doivent comporter des procédures de réintégration et identifier la composition des équipes d'intervention.

Les procédures d'urgence doivent prévoir la mise à l'arrêt de la ventilation, afin d'éviter le rejet de produits de fission à l'extérieur de la zone visée. On devrait tenir compte du fait que la ventilation ne fonctionne pas, afin de ne pas ajouter d'autres risques pour la sécurité.

12.8 Contenu du programme de sûreté en matière de criticité nucléaire

Le programme de sûreté en matière de criticité nucléaire doit :

1. Identifier les normes et les lignes directrices en matière de sûreté-criticité, ainsi que les exigences de la CCSN (y compris les sections pertinentes du présent document d'application de la réglementation);
2. Énumérer les exigences qui doivent être respectées pour se conformer aux normes, lignes directrices et exigences de la CCSN applicables;
3. Définir un modèle pour la mise en œuvre de ces exigences;
4. Identifier les responsabilités découlant de ces exigences;
5. Décrire la manière dont le programme respecte les exigences de sûreté liée à la criticité nucléaire dans chaque catégorie fonctionnelle (comme l'administration,

- l'ESCN, le système d'alarme de criticité, la conception technique, les procédures, le contrôle des matières, la formation, les mesures d'urgence, la surveillance continue);
6. Identifier la marge administrative de sous-criticité (selon qu'elle est basée sur le k_{eff} ou sur les limites de masse, ou les deux, ou d'autres paramètres), identifier la méthode employée pour déterminer la marge de sous-criticité pour la sûreté et les limites supérieures de sous-criticité;
 7. Identifier la méthode d'évaluation des risques qui sera utilisée pour démontrer que la limite supérieure de sous-criticité ne sera pas dépassée dans tous les procédés nucléaires (hors réacteurs) dans des conditions normales et anormales crédibles; c'est-à-dire lors des accidents ou des séquences d'accident dont la fréquence est égale ou supérieure à 10^{-6} par année.

Pour un exemple de programme de sûreté en matière de criticité nucléaire, il faut se reporter à l'annexe G du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

13.0 Formation relative à la sûreté en matière de criticité nucléaire

Les employés qui manipulent des matières fissiles hors réacteurs et comportant un risque d'accident de criticité doivent suivre une formation appropriée à cet égard.

Pour des directives additionnelles sur la formation concernant la sûreté en matière de criticité nucléaire, il faut se reporter à la section 13 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

14.0 Utilisation d'absorbeurs de neutrons fixes dans des installations nucléaires hors réacteurs

Le but des absorbeurs de neutrons fixes dans les applications de contrôle de la criticité est d'assurer la sous-criticité pour des conditions normales et anormales crédibles pendant la durée de vie de l'installation ou de l'équipement. Aux fins du présent document, les absorbeurs de neutrons fixes sont des matériaux :

1. Qui font partie intégrante d'une installation, de l'équipement ou des composants du combustible;
2. Qui possèdent des propriétés d'absorption des neutrons;
3. Qui sont intégrés à la conception, afin d'assurer les marges de sous-criticité requises pour les opérations normales et anormales.

L'utilisation d'absorbeurs de neutrons fixes pour le contrôle de la sûreté en matière de criticité doit se faire conformément à la section 2. La vérification des absorbeurs et de leur efficacité pour capturer des neutrons doit être effectuée avant l'utilisation des matériaux. Après l'installation, il doit y avoir une vérification, afin de s'assurer que le système d'absorbeurs de neutrons est en place tel que prévu.

Pour des directives additionnelles détaillées sur l'utilisation des absorbeurs de neutrons fixes dans la conception, la construction et l'exploitation des installations nucléaires hors

réacteurs, il faut se reporter à la section 14 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

15.0 Sûreté en matière de criticité nucléaire en limitant et en contrôlant des modérateurs

Pour de nombreuses activités, la sûreté en matière de criticité est atteinte en limitant certains paramètres comme la géométrie, la masse, l'enrichissement et l'espacement entre les matières fissionnables. La quantité de matières fissionnables pouvant être manipulées, stockées ou traitées de manière sécuritaire à un moment donné peut également dépendre de la gamme possible de modulation des neutrons. La modulation optimale, par définition, donne lieu à la masse critique de matières fissionnables la plus faible, les autres conditions demeurant inchangées.

Les activités visées par la présente section doivent être réalisées conformément à la section 2. Les critères et pratiques de sûreté pour l'atteinte de la sûreté en matière de criticité en limitant et en contrôlant des modérateurs, allant de la modulation nulle à la modulation optimale pour les matières fissionnables doivent être documentés et suivis.

Pour des directives additionnelles, il faut se reporter à la section 15 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

16.0 Planification et intervention d'urgence en cas d'accident de criticité nucléaire

Les programmes de sûreté en matière de criticité nucléaire dans les installations qui utilisent des matières fissionnables ont pour l'objectif ultime l'évitement des accidents de criticité nucléaires. Cependant, la possibilité que de tels événements surviennent existe et leurs conséquences peuvent mettre la vie en danger. Cette possibilité nécessite la mise en place de pratiques de planification des mesures d'urgence prévues et la vérification de l'état de préparation.

Des procédures de planification des mesures d'urgence et des procédures d'intervention doivent être tenues à jour pour toute installation où un système d'alarme d'accident de criticité est utilisé, tel que spécifié à la section 3. Les dispositions de la présente section peuvent être considérées dans la planification des mesures d'urgence en vigueur dans les centrales nucléaires et dans les réacteurs de recherche. La présente section ne s'applique pas aux accidents survenant à l'extérieur du site, ou à la planification des mesures d'urgence et de l'intervention à l'extérieur du site.

Pour des directives additionnelles visant à réduire au minimum les risques pour le personnel durant l'intervention en cas d'urgence lors d'un accident de criticité nucléaire hors réacteurs, il faut se reporter à la section 16 du document d'orientation GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire* [1].

Annexe A

Conditions normales et anormales crédibles

Pour déterminer si un procédé sera sous-critique dans des conditions normales et des conditions anormales crédibles, il faut l'étudier de manière attentive. Les accidents de criticité qui se sont produits chez des exploitants industriels dépendaient surtout de l'incapacité à anticiper les conditions qui pourraient se produire; aucun accident n'a été causé par des calculs erronés du k_{eff} .

Les contrôles techniques de sûreté en matière de criticité nucléaire devraient être conçus de manière à résister aux effets des charges extrêmes et des conditions environnementales (p. ex. températures extrêmes, humidité, pression ou rayonnement) associés aux conditions initiales suivantes et à d'autres conditions ayant un effet direct sur la sûreté en matière de criticité nucléaire [2] :

1. Événements déclencheurs externes hypothétiques :
 - Phénomènes naturels
 - Conditions météorologiques exceptionnelles (précipitations : pluie, grêle, neige, glace, frasil; vents : tornades, ouragans, cyclones, tempêtes de poussière ou tempêtes de sable; éclairs; températures élevées ou basses; humidité)
 - Inondations
 - Séismes et éruptions volcaniques
 - Feux d'origine naturelle
 - Effets de la flore et de la faune terrestre et aquatique (obstruction des prises d'eau et des exutoires, dommages causés aux structures)
 - Phénomènes causés par l'homme
 - Incendie, explosion ou rejet de substances corrosives ou dangereuses (provenant d'installations industrielles et militaires avoisinantes, ou de l'infrastructure de transport)
 - Écrasement d'avion
 - Projectiles provenant de défaillances mécaniques ou structurales dans des installations avoisinantes
 - Inondations (rupture d'un barrage, blocage d'une rivière)
 - Perte d'alimentation électrique et perte possible d'alimentation électrique
2. Événements internes hypothétiques :
 - Perte d'énergie et de fluide (alimentation électrique, air et air sous pression, vide, eau ou vapeur surchauffée, caloporteur, réactifs chimiques et ventilation)
 - Utilisation d'électricité ou de produits chimiques
 - Défaillance mécanique, y compris chute de charge, rupture (appareils sous pression), fuites (corrosion), obturation
 - Instrumentation et contrôle, erreurs humaines
 - Incendies et explosions (production de gaz, dangers liés au procédé)
 - Inondation, débordement de cuve

- Ajout d'un solvant organique à une solution aqueuse (ou inversement) entraînant potentiellement une concentration inattendue de composés fissiles dans la solution résultante

Voici des exemples courants de variation des conditions de procédé qui devraient être examinés :

1. Changement dans la forme ou les dimensions prévues résultant du renflement, de la corrosion ou de l'éclatement d'un contenant, ou du non-respect des spécifications du fabricant;
2. Augmentation de la masse de matière fissile dans un emplacement, par suite d'une erreur opérationnelle, d'un étiquetage inadéquat, de la défaillance de l'équipement ou d'erreurs dans les techniques d'analyse;
3. Changement dans le rapport du modérateur aux matières fissiles, résultant des causes suivantes :
 - Erreurs de précision dans les instruments ou les analyses chimiques
 - Inondation, pulvérisation ou fourniture aux appareils ou groupes d'appareils d'eau, d'huile, de neige (p. ex. eau à faible masse volumique), de carton, de bois ou d'autres matériaux de modération
 - Modérateur qui s'évapore ou se déplace
 - Précipitation des matières fissiles en solution
 - Dilution de solutions concentrées avec du modérateur additionnel
 - Introduction de bulles d'air entre les rangées d'assemblage de combustible dans un bassin de stockage;
4. Changement dans la fraction de la population de neutrons perdus par absorption résultant de :
 - La perte d'absorbeur solide par corrosion ou par lixiviation
 - La perte de modérateur
 - La redistribution de l'absorbeur et des matières fissiles par précipitation d'un seul d'entre eux dans une solution
 - La redistribution de l'absorbeur solide dans une matrice de modérateur ou de solution par agglutination
 - L'incapacité à ajouter la quantité prévue d'absorbeur à une solution, ou l'incapacité à ajouter cette quantité en respectant la distribution prévue
 - L'incapacité de la technique d'analyse à déterminer les concentrations adéquates;
5. Changement dans l'importance de la réflexion des neutrons résultant de :
 - Une augmentation de l'épaisseur du réflecteur occasionnée par la présence de matériaux additionnels (p. ex. eau ou personnel)
 - Changement dans la composition du réflecteur, comme la perte d'absorbeur (p. ex. par corrosion de l'enveloppe extérieure de l'absorbeur);
6. Changement dans l'interaction entre les unités et les réflecteurs résultant de :
 - L'ajout d'unités ou de réflecteurs additionnels (p. ex. personnel)
 - La mise en place inadéquate des unités
 - La perte de modérateur et d'absorbeur entre les unités
 - L'effondrement d'une structure servant à espacer les unités;
7. Augmentation de la masse volumique de la matière fissile.

Annexe B

Établissement de la limite supérieure de sous-criticité

Lorsque les méthodes de calcul servant à l'analyse sont appliquées à la prévision des facteurs de multiplication des neutrons à des fins d'évaluation de la sûreté, le facteur de multiplication calculé, k_p , pour cette application, en plus des incertitudes s'y rapportant, $|\Delta k_p|$, ne doit pas dépasser une valeur admissible établie, soit la limite supérieure de sous-criticité (LSSC) pour le facteur de multiplication des neutrons pour toutes les conditions normales et anormales crédibles, qui se calcule comme suit :

$$k_p + |\Delta k_p| \leq \text{LSSC}$$

Dans ces calculs, LSSC est le résultat du processus de validation et peut s'exprimer comme suit :

$$\text{LSSC} = k_c - |\Delta k_c| - |\Delta k_m|$$

où :

k_c = valeur moyenne du k_{eff} , qui résulte du calcul des expériences de référence pour la criticité en utilisant une méthode de calcul particulière.

Si les facteurs de multiplication calculés par les expériences de criticité laissent entrevoir une tendance particulière pour un paramètre, alors k_c doit être déterminé en fonction de l'ajustement optimal avec les valeurs calculées. Les expériences de référence pour le calcul de k_c doivent avoir des compositions matérielles (matières fissiles, absorbeurs de neutrons et modérateurs), des compositions géométriques, des spectres d'énergie des neutrons et des caractéristiques nucléaires (y compris les réflecteurs) semblables à celles du système évalué. La différence entre la valeur du k_{eff} mesurée expérimentalement et k_c est définie comme le biais. Ce biais est sensé être une fonction de la composition et d'autres variables, et doit être pris en compte dans les tendances.

Δk_c = une marge pour le biais de k_c et les incertitudes liées au biais, qui comprennent des tolérances pour :

- les incertitudes dans les expériences de criticité
- les incertitudes statistiques ou les incertitudes liées à la convergence, ou les deux, dans le calcul de k_c
- les incertitudes dues à l'extrapolation de k_c à l'extérieur de la plage des données expérimentales
- les incertitudes dues aux limites dans les représentations géométriques ou les représentations matérielles employées dans la méthode de calcul

Δk_m = une marge administrative minimale de 50 mk pour assurer la sous-criticité de LSSC.

k_p = le facteur de multiplication calculé, k_{eff} , du système évalué pour des conditions normales et anormales crédibles.

Δk_p = une tolérance pour :

- les incertitudes statistiques ou les incertitudes liées à la convergence, ou les deux, dans le calcul de k_p
- les incertitudes dues aux limites dans les représentations géométriques ou les représentations matérielles employées dans la méthode de calcul

Les différentes incertitudes peuvent être combinées statistiquement si elles sont indépendantes (un exemple figure dans le document [18]). Les incertitudes corrélées doivent être combinées par addition.

Les méthodes ne permettant pas d'obtenir directement k_{eff} , mais dont la validité a été établie conformément à la section 2, peuvent être utilisées pour assurer la sous-criticité.

Des données d'expérience appropriées ou des données dérivées des expériences, avec une tolérance adéquate pour assurer la sous-criticité, peuvent être utilisées directement.

Les mesures *in situ* réalisées conformément à la section 5 peuvent être utilisées pour confirmer la sous-criticité.

Exemple

Pour toutes les conditions normales et anormales crédibles, il faut démontrer que la condition suivante est satisfaite :

$$k_p + 2\sigma \leq LSSC$$

où k_p est le facteur de multiplication calculé, σ est son incertitude statistique ou de convergence et LSSC est la limite supérieure de sous-criticité établie.

Abréviations

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ANS	American Nuclear Society
ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CSA	Association canadienne de normalisation
CSC	Contrôle de sûreté en matière de criticité nucléaire
ESCN	Évaluation de sûreté en matière de criticité nucléaire
GQ	Gestion de la qualité
LSSC	Limite supérieure de sous-criticité
Personnel de SCN	Personnel de sûreté en matière de criticité nucléaire
SCN	Sûreté en matière de criticité nucléaire

Glossaire

absorbeur de neutrons

Matière servant à la capture neutronique également appelée poison neutronique.

absorbeur de neutrons fixe

Absorbeurs de neutrons dans des solides présentant une relation géométrique établie par rapport aux emplacements occupés par la matière fissile.

absorbeur de neutrons soluble

Tout poison neutronique pouvant être facilement dispersé sous forme de liquide, de solution ou en suspension, utilisé spécifiquement pour réduire la réactivité d'un système et pour lequel on crédite la réactivité dans l'évaluation de sûreté en matière de criticité nucléaire (ESCN) du système.

accident de criticité

Libération d'énergie résultant de la production accidentelle d'une réaction en chaîne de neutrons auto-entretenue (critique) ou divergente (surcritique).

accident préoccupant le moins grave

Un accident résultant en une dose de 0,20 Gy (20 rad) dans l'air libre au cours de la première minute, à une distance de 2 mètres de la matière réactive. Cette définition est limitée de par sa nature au sens applicable aux fins du présent document.

accidents ou séquences d'accident

Événements ou séquences d'événement, y compris des *événements externes*, qui mènent à une violation de la marge de sous-criticité (c.-à-d., à un dépassement de la LSSC). Cette définition est limitée de par sa nature au sens applicable aux fins du présent document.

activités comportant des matières fissiles

Toute activité touchant la manutention, l'utilisation, le traitement, le mouvement et le stockage de matières fissiles dans des installations nucléaires et la gestion à long terme des déchets nucléaires contenant de la matière fissile.

anneau de Raschig

Petit cylindre creux en verre borosilicate, de longueur et de diamètre à peu près égaux.

biais

Mesure des différences systématiques entre les résultats de méthodes de calcul et les données expérimentales.

colonne (ou réservoir)

Contenant conçu pour recevoir une solution. Ceci comprend tout volume dans lequel le contrôle de la criticité est assuré par des anneaux de Raschig.

conditions anormales crédibles

Accidents ou séquences d'accident dont la fréquence est égale ou supérieure à un sur un million d'années.

contrôle de sûreté en matière de criticité (CSC)

Structures, systèmes, équipement, composants et activités du personnel sur lesquels on compte pour prévenir les accidents potentiels à une installation autorisée ou en atténuer les conséquences possibles. Ceci n'empêche pas le titulaire de permis d'identifier des structures, des systèmes, de l'équipement, des composants ou des activités additionnels du personnel (c.-à-d. au-delà de l'ensemble minimal requis pour répondre aux exigences de rendement) en tant qu'éléments requis pour la sûreté. Tous les contrôles de sûreté, tels qu'ils sont définis dans le présent document (contrôle technique actif, contrôle technique passif, contrôle administratif simple et contrôle administratif amélioré) sont des CSC. Également appelé *contrôle de sûreté en matière de criticité nucléaire (CSC)*.

contrôle de sûreté en matière de criticité nucléaire (CSC)

Voir *contrôle de sûreté en matière de criticité (CSC)*.

criticité nucléaire

Relatif à un système qui soutient une réaction de fission en chaîne.

densité surfacique

Produit de l'épaisseur d'une dalle uniforme et de la masse volumique de la matière fissionnable à l'intérieur de la dalle; il s'agit donc de la masse de la matière fissionnable par unité de surface de la dalle. Pour les boues non uniformes, les limites de densité surfacique sont valides pour une dalle horizontale soumise à un tassement à la condition que les restrictions applicables aux boues uniformes soient entièrement satisfaites.

dose de rayonnement excessive

Toute dose à laquelle le personnel est exposée qui correspond à une dose absorbée de neutrons et de rayons gamma égale ou supérieure à 0,12 Gy (12 rad) en atmosphère libre.

évaluation de procédé

Document qui détermine et définit tous les problèmes de sûreté en matière de criticité connus, documente les hypothèses, les exigences, les limites et les contrôles de sûreté en matière de criticité, et démontre la sous-criticité. L'évaluation de procédé est souvent appelée évaluation de sûreté en matière de criticité nucléaire (ESCN).

événement externe

Événement dont la probabilité ne peut pas être modifiée par des changements à l'installation réglementée ou à son fonctionnement. Ceci inclut tous les *phénomènes naturels*, ainsi que les écrasements d'avion, les explosions, les rejets toxiques, les incendies, etc., se produisant près du site nucléaire ou à ce dernier.

exercice de simulation

Instruction supervisée visant à mettre à l'essai, acquérir, maintenir et pratiquer les habiletés requises au cours d'une activité donnée d'intervention d'urgence. Une simulation peut être une composante d'un exercice régulier.

exigences de sûreté en matière de criticité nucléaire de la CCSN

Des exigences réglementaires et des critères de réussite dérivés énumérés dans les permis d'exploitation ou dans d'autres documents ayant force de loi. Cette définition est limitée de par sa nature au sens applicable aux fins du présent document.

expérience *in situ*

Mesure de détermination de la multiplication neutronique ou autre mesure de détermination de la réactivité nucléaire sur un assemblage fissile sous-critique où la protection du personnel contre les conséquences d'un accident de criticité n'est pas assurée.

facteur de multiplication effectif (k_{eff})

Physiquement, le rapport entre le nombre total de neutrons produits au cours d'un intervalle de temps (à l'exclusion des neutrons produits par des sources dont les forces ne sont pas une fonction du taux de fission) et le nombre total de neutrons perdus par absorption et fuite au cours du même intervalle. Mathématiquement, la valeur propre qui, lorsqu'elle est divisée par le nombre moyen réel de neutrons émis par fission dans un assemblage de matières, rendrait critique le résultat calculé de la réaction en chaîne nucléaire de cet assemblage.

fissionnable

Susceptible de subir une fission.

formation

Méthode d'instruction qui permet l'acquisition des connaissances et des compétences nécessaires à un rendement au travail sécuritaire et efficace.

gestion à long terme des déchets nucléaires (gestion à long terme des déchets)

La gestion à long terme, par stockage ou élimination, ce qui comprend la manipulation, le traitement, le conditionnement ou le transport aux fins de stockage ou d'élimination.

gestion de la qualité (GQ)

Ensemble planifié et systématique de tous les moyens et actions visant à fournir une confiance adéquate que les éléments ou les services satisfont aux exigences spécifiées et fonctionneront de façon satisfaisante en service.

incertitude liée au biais

Mesure de l'exactitude et de la précision des calculs, et de l'incertitude des données expérimentales.

intervention d'urgence

Mesures prises à partir du moment où un accident de criticité est suspecté, est imminent ou réel jusqu'à la stabilisation de l'événement. Ces mesures incluent l'hypothèse qu'un accident s'est produit, la réponse à l'urgence et les mesures pour débiter les opérations de rétablissement subséquentes.

 k_{eff}

Voir *facteur de multiplication effectif (k_{eff})*.

limite de sous-criticité

Valeur limitative assignée à un paramètre contrôlé qui mène à un système sous-critique dans des conditions données. La limite de sous-criticité tient compte des incertitudes dans les calculs et les données expérimentales utilisées pour la dériver, mais pas des contingences; p. ex. capacité doublée ou inexactitudes dans les analyses.

limite supérieure de sous-criticité (LSSC)

Valeur maximale permise du k_{eff} calculé ou limite de sous-criticité à un seul paramètre, dans des conditions normales et anormales crédibles, en tenant compte du biais, de l'incertitude et d'une marge administrative de sous-criticité.

matière fissile

Matière, autre que l'uranium naturel, capable de soutenir une réaction en chaîne neutronique thermique.

méthode de calcul

Procédures de calcul—équations mathématiques, approximations, hypothèses, paramètres numériques connexes (p. ex. sections efficaces)—qui produisent les résultats calculés.

modérateur

Matière qui réduit l'énergie neutronique par diffusion sans capture appréciable. Les matières qui présentent un intérêt crucial sont celles qui contiennent des noyaux légers présentant de grandes sections efficaces de diffusion et des sections efficaces d'absorption relativement faibles.

modération

Processus de diminution de l'énergie neutronique par collisions successives avec des noyaux modérateurs sans capture appréciable.

nucléide fissile

Nucléide capable de subir une fission par interaction avec des neutrons lents à condition que la section efficace de production des neutrons thermiques $\nu\sigma_f$, dépasse la section efficace d'absorption des neutrons thermiques σ_a . La plupart des actinides contenant un nombre pair de neutrons sont non fissiles, mais il peut y avoir des exceptions, comme le ^{232}U et le ^{236}Pu (qui ont des nombres pairs de neutrons et des sections efficaces de capture des neutrons thermiques et de fission à peu près égales), qui peuvent être rendus critiques au moyen de neutrons lents.

Inversement, considérant le fait que la plupart des nucléides à nombre impair de neutrons sont fissiles, le ^{237}U (qui est un nucléide à nombre impair de neutrons possédant une très petite section efficace de fission - neutrons thermiques) ne peut pas être rendu critique au moyen de neutrons thermiques.

paramètre contrôlé

Paramètre qui est maintenu dans des limites spécifiées et qui, lorsqu'il varie, a un impact sur la marge de sous-criticité.

personnel de sûreté en matière de criticité

Voir *personnel de sûreté en matière de criticité nucléaire*.

personnel de sûreté en matière de criticité nucléaire (personnel de SCN)

Spécialistes des techniques d'évaluation de la sûreté en matière de criticité nucléaire et familiers avec les activités des installations ayant une indépendance administrative, dans la mesure du possible, vis-à-vis de la supervision des procédés; également appelé *personnel de sûreté en matière de criticité*.

phénomène naturel

Séismes, inondations, tornades, tsunamis, ouragans et autres événements qui surviennent dans l'environnement naturel et qui pourraient compromettre la sûreté. Les *phénomènes naturels* peuvent être crédibles ou non, selon leur probabilité d'occurrence.

principe de contingence double

Caractéristique ou attribut d'un procédé qui intègre suffisamment de facteurs de sûreté pour qu'au moins deux changements concurrents, indépendants et improbables dans les conditions du procédé soient requis avant qu'un accident de criticité nucléaire soit possible.

réactivité

Quantité $(k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$, où k_{eff} est le facteur de multiplication effectif des neutrons. La réactivité d'un assemblage sous-critique est une quantité négative qui indique le degré de sous-criticité. La réactivité d'un assemblage critique est de zéro.

site

Zone définie qui renferme une ou plusieurs installations.

solution

Liquide contenant une matière dissoute, ou un liquide contenant cette matière en suspension. Ceci comprend les solutions aqueuses (à base d'eau), mais exclut les solutions où l'hydrogène est remplacé par du deutérium ou du tritium.

sûreté en matière de criticité nucléaire

Protection contre les conséquences d'un accident de criticité, préférablement par évitement de l'accident.

système absorbeur de neutrons

Toute combinaison d'absorbeurs de neutrons fixes, de modérateurs fixes et d'autres matières auxquelles une fonction de sûreté en matière de criticité est assignée.

unité de combustible

Élément de base manipulé, stocké ou transporté. Peut consister en un assemblage de barres de combustible, de combustible épuisé en conteneur ou de barres de combustible consolidé.

uranium naturel

Lorsque l'on fait références à l'uranium naturel dans le présent document, il faut l'interpréter comme signifiant de l'uranium dans lequel la concentration de l'isotope ^{235}U est égale ou inférieure à 0,71 % en poids.

vérification

Confirmer qu'un programme informatique installé effectue correctement les calculs numériques prévus.

Références

1. Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire*. Ottawa, Canada, 2010.
2. Norme de sûreté de l'AIEA, *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities Safety Requirements*, IAEA NS-R-5, Vienne, Autriche, novembre 2008.
3. Norme de sûreté de l'AIEA, *Safety of Uranium Fuel Fabrication Facilities*, IAEA SSG-6, Vienne, Autriche, 2010.
4. Normes de sécurité de l'AIEA, n° GS-R-2, *Préparation et intervention en cas de situation d'urgence nucléaire ou radiologique, Exigences relatives à la sûreté*, AIEA, Vienne, Autriche, 2002.
5. Santé Canada, *Lignes directrices canadiennes sur les interventions en situation d'urgence nucléaire*, H46-2/03-326E, Ottawa, Canada, novembre 2003.
6. CSA Association canadienne de normalisation, Norme N292.2-07, *Entreposage à sec provisoire du combustible irradié*.
7. CSA, Norme N292.3-2008, *Gestion des déchets radioactifs de faible et de moyenne activité*.
8. Organisation internationale de normalisation, *Nuclear energy—Fissile materials—Principles of criticality safety in storing, handling, and processing*, ISO 1709:1995(E).
9. Organisation internationale de normalisation, *Nuclear energy – Performance and testing requirements for criticality detection and alarm systems*, ISO 7753:1987(E).
10. Organisation internationale de normalisation, *Nuclear fuel technology - Administrative criteria related to nuclear criticality safety*, ISO 14943:2004(E).
11. Commission électrotechnique internationale (CEI), CEI Norme 860, *Équipement de signalisation des accidents de criticité*, Genève, 1987.
12. American Society of Mechanical Engineers, ANSI/ASME NQA-1-2008, *Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications*, mars 2008.
13. CSA, Norme N286-F05, *Exigences relatives au système de gestion des centrales nucléaires*, Association canadienne de normalisation, 2005.
14. Normes de sécurité de l'AIEA, n° TS-R-1, *Règlement de transport des matières radioactives*, Vienne, Autriche, 2009.
15. Normes de sécurité de l'AIEA, n° TS-G-1.1 (Rev. 1), *Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*, Vienne, Autriche, 2008.
16. CCSN, RD-364 *Guide d'approbation des colis de transport du Type B(U) et des colis transportant des matières fissiles Canada—États-Unis*, mars 2009.

17. American National Standards, *Dosimetry for Criticality Accidents*, ANSI N13.3-1969 (R1981)
18. Nucl. Sci. Eng., 80, 230 (1982).