



GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Critères d'acceptation des paramètres de déclenchement aux fins de l'analyse de sûreté des centrales nucléaires CANDU

G-144

Mai 2006

GENRES DE DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

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

Les *politiques, normes et guides d'application de la réglementation* sont les documents réglementaires que la CCSN publie le plus souvent. Les politiques réglementaires ont un caractère plus général; elles orientent les normes et les guides réglementaires qui servent d'instruments d'intervention. Au besoin, lorsqu'une question doit être portée rapidement à l'attention de parties intéressées, la CCSN fait appel à un quatrième type de document d'élaboration plus rapide, l'*avis d'application de la réglementation*.

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

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

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

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

GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

G-144

**CRITÈRES D'ACCEPTATION DES PARAMÈTRES DE
DÉCLENCHEMENT AUX FINS DE L'ANALYSE DE SÛRETÉ
DES CENTRALES NUCLÉAIRES CANDU**

Publié par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Mai 2006

Critères d'acceptation des paramètres de déclenchement aux fins de l'analyse de sûreté des centrales nucléaires CANDU

Guide d'application de la réglementation G-144

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire

© Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada 2006

La reproduction d'extraits de ce 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 d'autres fins nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Numéro de catalogue CC172-39/2006F-PDF
ISBN 0-662-71926-3

This document is also available in English under the title Trip Parameter Acceptance Criteria for the Safety Analysis of CANDU Nuclear Power Plants.

Disponibilité du document

Le présent document peut être consulté sur le site Web de la CCSN à <http://www.suretenucleaire.gc.ca>. On peut également en commander un exemplaire, en français ou en anglais, en s'adressant à :

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

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

TABLE DES MATIÈRES

1.0	BUT	1
2.0	PORTÉE.....	1
3.0	DISPOSITIONS LÉGISLATIVES	2
4.0	CONTEXTE.....	2
4.1	Conséquences possibles	3
4.2	Assèchement de la gaine de combustible.....	3
4.3	Méthodologie pour l'analyse de sûreté.....	3
5.0	CRITÈRES D'ACCEPTATION DES PARAMÈTRES DE DÉCLENCHEMENT ...	3
5.1	Révisions des critères d'acceptation	4
6.0	CONDITIONS D'ACCIDENTS POSTULÉS	5
	GLOSSAIRE	6
	RÉFÉRENCES.....	9

CRITÈRES D'ACCEPTATION DES PARAMÈTRES DE DÉCLENCHEMENT AUX FINS DE L'ANALYSE DE SÛRETÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES CANDU

1.0 BUT

Le but du présent guide d'application de la réglementation, dans le respect des objectifs visés par la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (LSRN)*, consiste à donner aux titulaires de permis qui exploitent des centrales nucléaires CANDU des conseils concernant les paramètres de déclenchement qui permettront d'éviter des défaillances du combustible ou toute rupture consécutive des tubes de force.

2.0 PORTÉE

Le présent guide d'application de la réglementation donne les critères d'acceptation des paramètres de déclenchement qui devraient être suivis pour tous les accidents de référence postulés autres que les scénarios d'accidents suivants :

1. Perte de caloporteur majeure (PERCA majeure);
2. Perte très lente de contrôle de la réactivité;
3. Perte rapide de contrôle de la réactivité;
4. Accident associé à la machine de chargement de combustible;
5. Accident dû à un seul canal¹;
6. Accident survenu dans la travée de stockage du combustible épuisé.

Les critères d'acceptation décrits dans le présent guide doivent être utilisés dans l'analyse de sûreté en ce qui concerne les grappes de combustible pour lesquelles on dispose de données expérimentales postérieures à l'assèchement (« post-dryout ») portant sur le transfert de chaleur et ayant une température de gaine de combustible relativement basse après l'assèchement. Dans le cas des accidents postulés mettant en cause un réacteur de centrale, les données expérimentales utilisées dans l'analyse pour le transfert de chaleur pendant l'assèchement et postérieures à l'assèchement devraient couvrir une gamme de conditions et de phénomènes qui tiennent compte de façon raisonnable et crédible des conditions réelles du cœur.

¹ L'analyse limitative actuelle, portant sur l'enveloppe limite d'exploitation (ELE), suppose *a priori* une défaillance du combustible.

3.0 DISPOSITIONS LÉGISLATIVES

Les dispositions législatives et règlements de la *LSRN* applicables au présent guide d'application de la réglementation sont les suivants :

1. l'alinéa 3a) de la *LSRN*, qui stipule que la *LSRN* a pour objet « la limitation, à un niveau acceptable, des risques liés au développement, à la production et à l'utilisation de l'énergie nucléaire, ainsi qu'à la production, la possession et l'utilisation des substances nucléaires, de l'équipement réglementé et des renseignements réglementés, tant pour la préservation de la santé et de la sécurité des personnes et la protection de l'environnement que pour le maintien de la sécurité nationale, et le respect par le Canada de ses obligations internationales »;
2. le paragraphe 24(4) de la *LSRN*, qui 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 nationales que le Canada a assumées »;
3. le paragraphe 24(5) de la *LSRN*, qui précise que « les licences et les permis peuvent être assortis des conditions que la Commission estime nécessaires à l'application de la présente loi, notamment le versement d'une garantie financière sous une forme que la Commission juge acceptable »;
4. l'alinéa 12(1)c) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, qui stipule que le titulaire de permis « prend toutes les précautions raisonnables pour protéger l'environnement, préserver la santé et la sécurité des personnes et maintenir la sécurité »; et
5. l'alinéa 12(1)f) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, qui stipule que le titulaire de permis « 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 ».

4.0 CONTEXTE

Les exigences relatives à la performance des systèmes d'arrêt d'urgence pour tous les accidents de référence sont telles qu'elles devraient éviter que l'intégrité du combustible² et du circuit caloporteur primaire soit compromise. L'évitement de l'assèchement de la gaine de combustible comme condition pour éviter la défaillance du combustible et la défaillance subséquente des tubes de force constitue une approche acceptable.

² Cette exigence ne s'applique pas aux PERCA majeures ni aux événements mettant en cause un seul canal. Des défaillances du combustible sont prévues lors de ces événements.

4.1 Conséquences possibles

L'assèchement de la gaine peut avoir diverses conséquences. Il peut, entre autres, provoquer une défaillance du combustible, une défaillance du combustible et du tube de force, ou une défaillance du tube de force seulement. Ces conséquences peuvent être évitées en limitant le fonctionnement après l'assèchement. Le taux d'échauffement de la gaine de combustible et l'ampleur de la déformation du combustible peuvent avoir des conséquences néfastes importantes sur le plan de la sûreté à la suite d'un assèchement (en conditions « post-dryout »). Les conséquences relatives à la sûreté seraient bénignes si le taux et l'ampleur de la déformation du combustible sont peu importants. Réciproquement, si le taux d'échauffement et l'ampleur de la déformation du combustible sont importants, il peut y avoir rupture du tube de force en raison du réchauffement localisé du tube de force. Le réchauffement localisé peut être imputable soit au combustible défectueux ou au contact des éléments de combustible avec le tube de force

4.2 Assèchement de la gaine de combustible

Les renseignements dont nous disposons (voir référence 3) indiquent qu'un assèchement de la gaine de combustible de courte durée, conjugué à un réchauffement graduel, n'est guère susceptible de provoquer une rupture de gaine. Si la température maximale de la gaine est inférieure à 600° C et que la durée de fonctionnement après l'assèchement est inférieure à 60 secondes, la déformation du combustible devrait être faible, et les éléments combustibles ne risquent pas d'entrer en contact avec le tube de force et de provoquer sa rupture.

4.3 Méthodologie pour l'analyse de sûreté

Le choix de la méthode d'analyse de sûreté pour démontrer la sûreté de la centrale incombe au titulaire de permis. L'analyse peut être effectuée à la limite de l'enveloppe d'exploitation ou à l'aide de la méthode d'analyse de la meilleure estimation et des incertitudes (connue sous le nom de méthode *BEAU*, de l'anglais *Best Estimate And Uncertainty*). Si la méthode *BEAU* est utilisée, les critères d'acceptation doivent être respectés avec un certain niveau de probabilités et une limite de confiance proportionnelle au risque posé par l'événement postulé.

5.0 CRITÈRES D'ACCEPTATION DES PARAMÈTRES DE DÉCLENCHEMENT

Dans les centrales nucléaires, des systèmes permettent de mesurer et de surveiller les valeurs des paramètres importants de la centrale (comme la pression, la température, le flux neutronique, etc.). Ces paramètres, dont les valeurs sont mesurées par le système d'arrêt et utilisées pour mettre le réacteur à l'arrêt, sont appelés paramètres de déclenchement.

En conditions transitoires ou accidentelles, les valeurs de certains de ces paramètres risquent de dépasser les limites prescrites. Le système d'arrêt d'urgence mesure continuellement les valeurs de ces paramètres importants et déclenche un arrêt du réacteur lorsque les valeurs mesurées dépassent les limites prescrites.

Un titulaire de permis peut adopter les critères d'acceptation suivants dans l'analyse de sûreté pour démontrer que les défaillances directes ou consécutives du combustible ou des tubes de force dues à des défaillances de combustible sont évitées.

Les critères d'acceptation des paramètres de déclenchement sont les suivants :

1. La limite prédéfinie des paramètres de déclenchement primaires pour chaque système d'arrêt d'urgence doit être choisie de manière à ce que l'on évite le début de l'assèchement intermittent de la gaine de combustible; et
2. La limite prédéfinie des paramètres de déclenchement secondaires (« backup trip parameters ») pour chaque système d'arrêt d'urgence doit être choisie de manière à éviter que :
 - a) la température de la gaine de combustible ne dépasse 600° C;
 - b) la durée de fonctionnement après l'assèchement ne dépasse 60 secondes.

5.1 Révisions des critères d'acceptation

Les critères d'acceptation des paramètres de déclenchement précisés à la section 5.0 peuvent être révisés par la CCSN si la base de données expérimentale relative aux grappes de combustible est étendue en vue d'inclure des données à des températures significativement plus élevées, au-delà des valeurs actuelles sur le transfert de chaleur après l'assèchement. Les données expérimentales doivent clairement démontrer³ que la géométrie de combustible nominale et que l'intégrité de la gaine de combustible sont maintenues lorsque soumis à des conditions comparables aux conditions d'accident du réacteur, en s'assurant que l'intégrité des tubes de force n'est pas compromise dans ces conditions.

³ Les données expérimentales doivent clairement démontrer un niveau élevé de confiance tout en tenant compte de toutes les incertitudes. Cela comprend les écarts par rapport aux valeurs de conception pour la gaine de combustible, les pastilles et les grappes (déformation des grappes).

6.0 CONDITIONS D'ACCIDENTS POSTULÉS

Les critères d'acceptation des paramètres de déclenchement décrits à la section 5.0 seront utilisés par le personnel de la CCSN afin d'évaluer l'acceptabilité des paramètres de déclenchement pour tous les accidents de dimensionnement postulés⁴ (à l'exception de ceux mentionnés à la section 2.0) pour lesquels les deux conditions suivantes sont respectées :

- 1) $0 < t_{ASS} < t_{FAC}$;
- 2) $(t_{FAC} - t_{ASS}) \geq (x + y)$ secondes

où t_{ASS} = Délai d'assèchement de la gaine de combustible, en secondes

t_{FAC} = Délai de fusion de l'axe du combustible, en secondes

$x = 60$ secondes

$y =$ Exigence relative au taux d'insertion des barres d'arrêt⁵, en secondes.

⁴ Ce sont des événements dont la fréquence est de 10^{-2} /an ou plus, à part quelques exceptions.

⁵ Habituellement, le critère de réussite des paramètres de déclenchement pour les pertes rapides de contrôle de la réactivité et les PERCA majeures est $t_{FAC} - 1,5$ seconde. En cas de PERCA majeure et de perte rapide de contrôle de la réactivité, on suppose qu'une action rapide du système d'arrêt d'urgence pour l'insertion complète des barres d'arrêt (BA) en 1,5 seconde juste avant le délai de fusion de l'axe du combustible (FAC) permettra d'éviter la FAC. Cela représente le dépôt d'énergie intégré sur le combustible entre le temps zéro (début de l'événement déclencheur) et le moment de l'insertion complète des BA dans le coeur. Cette énergie intégrée serait inférieure à l'énergie correspondant à la température FAC. À noter que cette exigence est dérivée du taux de dépôt d'énergie dans le combustible (propre à l'accident), et que la valeur acceptable la plus récente doit remplacer « y ».

GLOSSAIRE

accident de référence

Conditions d'accident pour lesquelles une centrale nucléaire est conçue, selon ses critères de conception bien établis, et pour lesquelles les dommages causés au combustible et les rejets de matières radioactives sont maintenus à l'intérieur des limites autorisées.

assèchement de la gaine de combustible

Dans des conditions d'exploitation normales, les éléments de combustible sont refroidis par un débit de caloporteur liquide qui s'écoule sur le combustible. Dans certaines conditions d'accident, le caloporteur liquide peut entrer en ébullition et former une couche de vapeur au-dessus de la gaine de combustible. Ce phénomène porte le nom d'assèchement de la gaine de combustible.

L'assèchement de la gaine de combustible entraîne une élévation de température du combustible (et de la gaine) et la formation de vapeur additionnelle qui, à son tour, fait monter la température du combustible.

BA (barres d'arrêt)

Dans les centrales nucléaires, au cours de n'importe quel incident ou accident, il y a des systèmes de détection automatiques équipés de barres métalliques solides absorbant des neutrons qui sont insérées dans le cœur du réacteur pour arrêter la réaction nucléaire (mettre le réacteur à l'arrêt). Ces barres métalliques sont appelées barres d'arrêt.

centrale nucléaire

Toute installation comportant un réacteur de fission ayant été construit dans le but de produire de l'électricité à l'échelle commerciale. Une centrale nucléaire est une installation nucléaire de catégorie IA, telle que définie dans le *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I*.

conséquences

Dans l'industrie du nucléaire, le terme « conséquences » laisse supposer des résultats non souhaitables, par exemple le rejet de produits de fission radioactifs dans le bâtiment réacteur ou la libération de produits radioactifs dans l'environnement.

déformation du combustible

Changement dans la géométrie de la grappe de combustible causé par la déformation d'un ou de plusieurs éléments de la grappe de combustible ou la déformation de la grappe entière.

enveloppe limite d'exploitation (ELE)

Cette expression est utilisée pour une analyse déterministe de sûreté qui suppose que, avant l'accident postulé, la centrale était exploitée pendant que certains des paramètres d'exploitation importants étaient à leur limite de sûreté, alors que certains modèles utilisés pour décrire l'événement peuvent être prudents. L'adjectif « déterministe » qui est utilisé pour qualifier le terme analyse, signifie que l'analyse est réalisée à l'aide d'hypothèses réglementées et perçues comme étant prudentes afin de tenir compte des incertitudes dans les modèles, les programmes, les corrélations, les conditions initiales et les conditions frontières de la centrale.

L'enveloppe limite d'exploitation ne signifie pas nécessairement qu'il s'agit d'un état de fonctionnement de centrale impossible. Cependant, selon le nombre et la nature des hypothèses prudentes posées dans l'analyse de l'événement, cet événement peut devenir hautement improbable, si ce n'est physiquement impossible.

fonctionnement après assèchement

Dans des conditions transitoires ou des conditions d'exploitation anormales de centrale, la gaine du combustible peut s'assécher (voir assèchement de la gaine de combustible). Si l'action de l'opérateur ou le système de régulation du réacteur ne sont pas efficaces, le système d'arrêt d'urgence automatique peut mettre à l'arrêt le réacteur. À partir du moment où le premier indice d'assèchement de la gaine de combustible se produit, jusqu'au moment où le réacteur est mis à l'arrêt, l'exploitation continue à puissance élevée est appelée fonctionnement après assèchement.

méthode de la meilleure estimation et des incertitudes (BEAU)

Analyse réalisée à l'aide des modèles permettant de décrire de manière réaliste les processus physiques qui surviennent dans un réacteur nucléaire en quantifiant et en tenant compte des incertitudes dans la prévision des paramètres clés de la centrale. Une notion clé de toute méthode de la meilleure estimation et des incertitudes est la capacité de prévoir de manière réaliste le comportement de la centrale et les paramètres importants.

Afin de satisfaire aux critères d'acceptation de sûreté dérivés en respectant une probabilité et un niveau de confiance réglementés, toutes les incertitudes dues à la modélisation, à la programmation, aux corrélations et aux conditions initiales de centrale ainsi qu'aux conditions frontières doivent être considérées explicitement et contenues dans les simulations des transitoires de centrale.

paramètre de déclenchement primaire ou secondaire

La désignation d'un paramètre de déclenchement comme étant le paramètre de déclenchement primaire ou secondaire est établie à partir d'une analyse de sûreté. Par définition, le paramètre de déclenchement qui est prévu survenir le plus tôt pour chaque système d'arrêt d'urgence est le paramètre de déclenchement primaire. De même, le paramètre de déclenchement qui est prévu survenir après le paramètre de déclenchement primaire (pour chaque système d'arrêt d'urgence) est appelé paramètre de déclenchement secondaire.

perte de caloporteur majeure (PERCA majeure)

Catégorie d'analyses d'accidents mettant en cause la sûreté du réacteur en raison d'une perte de réfrigérant provenant du circuit caloporteur primaire. Une perte de caloporteur majeure résulte d'une rupture importante du circuit caloporteur primaire.

perte rapide de contrôle de la réactivité

Dans les réacteurs nucléaires, on trouve des dispositifs de mesure, de contrôle et de maintien de la réactivité en insérant ou retirant des dispositifs de contrôle de la réactivité. L'un des accidents hypothétiques potentiels contre lesquels un réacteur nucléaire devrait être protégé (par sa conception) est la perte de cette fonction de contrôle. Seuls les pertes de contrôle de la réactivité qui donnent lieu à une augmentation de la puissance du réacteur constituent une préoccupation en matière de sûreté.

perte très lente de contrôle de la réactivité

Les abréviations utilisées dans l'industrie pour représenter la perte très lente de contrôle de la réactivité sont NOP (de l'anglais Neutron Over Power, qui signifie la surpuissance neutronique) et ROP (de l'anglais Regional Over Power qui signifie la surpuissance régionale). Les accidents du type NOP/ROP font partie d'une catégorie plus vaste des accidents graves de perte de contrôle de la réactivité qui ont toujours été analysés séparément à l'aide d'une méthode de la meilleure estimation avec une approche statistique pour les exigences de prévention de l'assèchement de la gaine de combustible. Le paramètre de déclenchement pour ce type d'accident postulé porte le nom de paramètre de déclenchement NOP (ou ROP). Il s'agit d'un accident de référence hautement stylisé qui traditionnellement n'est couvert que par un seul paramètre de déclenchement.

taux de chauffe

Cette expression est utilisée en référence à la source d'énergie (c'est-à-dire le combustible) qui fournit de l'énergie (par la réaction nucléaire) de manière contrôlée, et pour laquelle la température du combustible est maintenue constante dans des conditions de fonctionnement normales. Cependant, dans des conditions d'accident, la production d'énergie dépasse l'évacuation d'énergie (provenant du combustible), ce qui donne lieu à une élévation de température. Le taux d'accroissement de l'énergie est le taux de chauffe.

RÉFÉRENCES

1. *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, L.C. 1997, c. 9.
2. *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, DORS/2000-202.
3. Leung, A., Segel, A.W.L. et Merlo, E.E., Atlantis Engineering. *Assessment of Bundle Deformation under Post-Dryout Condition*. Ottawa : Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1994. Rapport préparé pour la CCEA (projet de recherche n° 2.304.1).
4. *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I*, SOR/2000-204.