



# La science de la sûreté

Rapport de recherche de la CCSN

2015-2016



## **La science de la sûreté : Rapport de recherche de la CCSN 2015-2016**

© Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) 2016  
Numéro de catalogue de TPSGC CC171-24E-PDF  
ISSN 2369-4351

La reproduction d'extraits du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition d'en citer la source en entier. Toutefois, la reproduction du document 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.

*Also available in English under the title: The Science of Safety: CNSC Research Report 2015-16.*

### **Disponibilité du document**

Les personnes intéressées peuvent consulter le document sur le site Web de la CCSN à la page [suretenucleaire.gc.ca](http://suretenucleaire.gc.ca). Pour obtenir un exemplaire du document en français ou en anglais, veuillez communiquer avec la CCSN:

Commission canadienne de sûreté nucléaire  
280, rue Slater  
C.P. 1046, succursale B  
Ottawa (Ontario)  
K1P 5S9  
Canada

Téléphone : 613-995-5894 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)  
Télécopieur : 613-995-5086  
Courriel : [ensc.information.ccsn@canada.ca](mailto:ensc.information.ccsn@canada.ca)  
Site Web : [suretenucleaire.gc.ca](http://suretenucleaire.gc.ca)  
Facebook : [facebook.com/Commissioncanadiennedesuretenucleaire](https://facebook.com/Commissioncanadiennedesuretenucleaire)  
YouTube : [youtube.com/ccsnensc](https://youtube.com/ccsnensc)  
Twitter : [@CCSN\\_CCSN](https://twitter.com/CCSN_CCSN)

### **Historique de publication**

Décembre 2016                      Édition 1.0

## Table des matières

Message du président.....	2
Introduction.....	3
Assurer la sûreté des centrales nucléaires .....	6
Protection des travailleurs.....	15
Protection de l'environnement.....	18
Pleins feux sur le personnel de recherche : Andrei Blahoianu.....	23
Pleins feux sur le personnel de recherche : Michel Couture.....	24
Progrès des perspectives en matière de réglementation.....	25
Engagements internationaux.....	27
Renforcement de la prochaine génération.....	41
Futures activités de recherche de la CCSN.....	45
Glossaire .....	46
Annexe : Documents, présentations et articles techniques de la CCSN .....	49



## Message du président

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a le mandat de préserver la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens, de protéger l'environnement, de respecter les engagements internationaux du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, et d'informer objectivement le public sur les plans scientifique ou technique ou en ce qui concerne la réglementation du domaine de l'énergie nucléaire. La recherche en réglementation que nous réalisons est essentielle au respect de ce mandat et nous permet d'acquérir les connaissances objectives qui sont à la base de décisions réglementaires sûres et sécuritaires.

Voici le troisième rapport de recherche annuel de la CCSN, qui résume les divers projets de recherche que nous avons financés et réalisés au cours de l'exercice 2015-2016. En faisant preuve de transparence dans le cadre de nos activités et en communiquant les résultats des recherches que nous réalisons dans l'ensemble du secteur nucléaire, tant au Canada qu'à l'étranger, nous veillons à ce que tous les Canadiens soient bien informés sur nos activités de réglementation.

Sauf avis contraire, tous les renseignements contenus dans le présent rapport sont diffusés publiquement sur notre site Web. Nous invitons tous les lecteurs, qu'ils aient une formation technique ou non, à lire les résumés contenus dans le rapport et, s'ils le souhaitent, à suivre les liens connexes afin de connaître les résultats détaillés de la recherche.

C'est ça, la science de la sûreté.

A handwritten signature in black ink that reads "M. Binder". The signature is written in a cursive, flowing style.

**Michael Binder**  
Président et premier dirigeant,  
Commission canadienne de sûreté nucléaire

## Introduction

### Objet du présent rapport

Une partie du mandat de la CCSN est de fournir au grand public de l'information scientifique, technique et réglementaire. Bien que les renseignements relatifs à la recherche et aux projets connexes de la CCSN soient rendus publics sur son site Web, les documents de recherche associés contiennent souvent une terminologie très technique et scientifique. Par conséquent, la CCSN publie chaque année son rapport intitulé *La science de la sûreté* afin de résumer les projets de recherche et d'en rendre les résultats plus accessibles au grand public. Un glossaire est inclus afin de permettre aux lecteurs de mieux saisir la terminologie technique utilisée. Les mots soulignés renferment un hyperlien menant à leur définition dans le glossaire.

### Recherche en réglementation

Nos activités de recherche en réglementation ont de nombreuses utilités. Elles appuient nos décisions réglementaires. Elles nous aident à préserver la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens et à protéger l'environnement en repérant des problèmes pouvant représenter des dangers ainsi qu'à mettre au point des outils et des techniques permettant de régler ces problèmes. Elles permettent également d'élaborer des normes de sûreté plus rigoureuses qui protègent à la fois le secteur nucléaire et le grand public.

Les trois principaux objectifs du programme de recherche de la CCSN sont les suivants :

- obtenir des conseils indépendants pour faciliter la prise de décisions réglementaires
- mettre au point des outils permettant de régler des problèmes touchant la santé, la sûreté et la sécurité ainsi que l'environnement
- élaborer des normes de sûreté pour le secteur nucléaire

Ces objectifs sont déclinés en dix buts principaux, soit les suivants :

- renforcer la délivrance de permis, la conformité et le cadre de réglementation de la CCSN en vue de l'exploitation à long terme et des activités d'exploitation post-réfection des centrales nucléaires canadiennes
- renforcer la capacité de la CCSN à évaluer de façon indépendante les dangers (en particulier les dangers naturels) ainsi qu'à analyser les accidents graves dans un réacteur et à intervenir
- soutenir le personnel de la CCSN dans l'élaboration et la réalisation d'examen de la conception du fournisseur
- aider la CCSN à mieux comprendre le déplacement dans l'environnement et le comportement des substances nucléaires ou dangereuses ainsi que les expositions environnementales connexes
- approfondir les connaissances de la CCSN en matière de radioprotection afin de refléter les meilleures données scientifiques existantes sur la protection des travailleurs et du public
- appuyer le personnel de la CCSN dans le cadre de l'évaluation des demandes de permis ou de toute autre demande liée au stockage de déchets
- aider la CCSN à mieux comprendre le comportement à long terme des déchets issus de l'extraction et de la concentration de l'uranium
- appuyer l'actualisation du cadre de réglementation de la CCSN afin de refléter les approches modernes en matière de performance humaine

- soutenir les engagements du Canada et influencer sur les efforts internationaux en matière de garanties
- renforcer les capacités canadiennes en analyse nucléo-légale

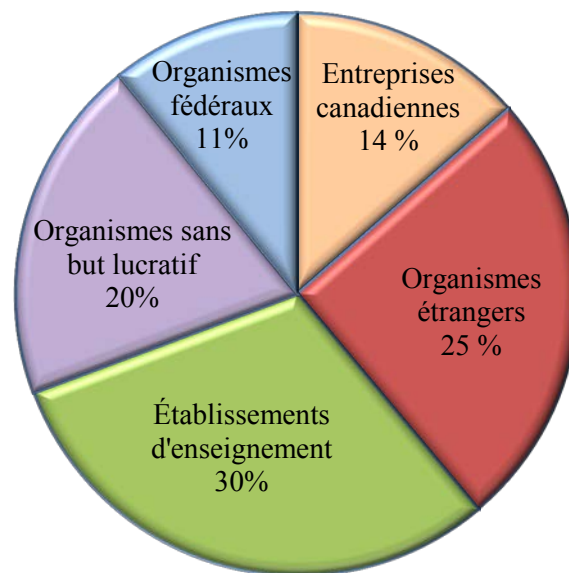
Le présent rapport ventile nos activités de recherche en trois grandes catégories : assurer la sûreté des centrales nucléaires, protéger les travailleurs et protéger l’environnement.

Chaque chapitre comprend un résumé de tous les projets de recherche et travaux semblables réalisés par la CCSN du 1<sup>er</sup> avril 2015 au 31 mars 2016. Tous les projets ne visent pas la production commerciale d’énergie nucléaire; ils sont nombreux et portent sur tous les aspects du secteur nucléaire canadien qui sont réglementés par la CCSN, y compris l’exploitation de l’uranium et les installations de recherche nucléaire.

### Notre environnement de recherche

La CCSN finance les activités de recherche du secteur privé, d’universités, d’organismes gouvernementaux et d’organisations non gouvernementales principalement au moyen de processus concurrentiels de passation de marchés. Le financement n’est pas réservé à des institutions canadiennes, mais peut également être octroyé à des organismes étrangers. Notre programme de recherche partage les coûts avec ses partenaires nationaux et internationaux et leur communique de l’information.

### Financement de la recherche par la CCSN selon le type d'organisme



Type d'organisme de recherche	Pourcentage du financement (%)
Organismes fédéraux	11
Entreprises canadiennes	14
Organismes sans but lucratif	20
Établissements d'enseignement	30
Organismes étrangers	25

Cette année, nos principaux partenaires de recherche ont été les établissements d’enseignement, qui représentent jusqu’à 30 % des dépenses en recherche, par rapport à 14 % en 2014-2015. Parmi ces

établissements, mentionnons l'Université Carleton, l'Université du Manitoba, l'Université McMaster, l'Université d'Ottawa, l'Université Queen's, l'Université de Calgary et l'Université de Toronto ainsi que le Réseau universitaire d'excellence en génie nucléaire. Les ententes avec les organismes sans but lucratif ont également connu une croissance, représentant 20 % du financement de la recherche destiné aux organismes comme le groupe CSA, la Société Nucléaire Canadienne et l'Académie des sciences de Deep River, soit une augmentation par rapport à seulement 1 % en 2014-2015. De plus, la CCSN a collaboré de manière considérable avec des fournisseurs étrangers (comme elle le fait chaque année), y compris des gouvernements et des consultants étrangers, comme l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) et Areva.



## Assurer la sûreté des centrales nucléaires

Quatre centrales nucléaires sont exploitées au Canada. Dans le cadre de la mission et du mandat de la CCSN, l'utilisation de l'énergie nucléaire doit être bien réglementée afin de protéger la population et l'environnement à proximité. Nos activités de recherche constituent un élément essentiel du soutien de la réglementation de l'énergie nucléaire : elles permettent notamment de s'assurer que les divers systèmes, structures et composants d'une centrale fonctionnent bien et continueront de le faire pour toute la durée de vie de l'installation nucléaire. Les paragraphes qui suivent résument chaque projet de recherche qui a été réalisé cette année et qui s'inscrivait dans le cadre de la sûreté et de la responsabilité des centrales nucléaires canadiennes.

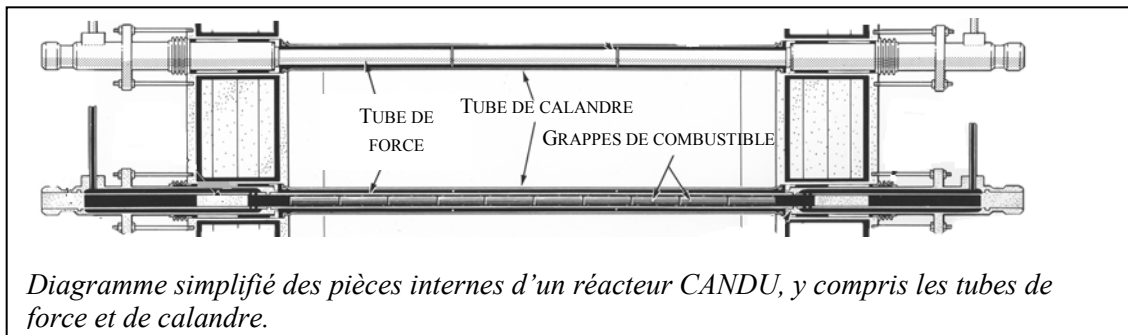


*Photographie aérienne de la centrale nucléaire de Pickering, à Pickering (Ontario)*

La centrale nucléaire de Pickering d'Ontario Power Generation compte huit tranches (dont seulement six sont en exploitation et deux sont en état d'arrêt garanti). La centrale de Pickering peut générer plus de 3 000 MW d'électricité et alimenter entièrement une ville comptant environ 1,5 million de personnes.

## Examen par des experts de l'étude probabiliste de la susceptibilité aux cloques

Le secteur nucléaire canadien a toujours fondé sur la probabilité son analyse du contact potentiel entre le tube de force et le tube de calandre : deux pièces internes d'un réacteur dont la différence de température pourrait causer la formation d'une cloque et, en fin de compte, la défaillance du tube de force. En général, le processus permettant de prévoir le contact entre les tubes consistait, par le passé, à saisir plusieurs variables d'entrée dotées de marges de sûreté plus grandes que nécessaire, en particulier pour ce qui est du [rapport de fluage](#) du tube de force et des [pentes d'extrémité](#). Le secteur nucléaire canadien a mis au point une nouvelle méthode visant à estimer la fréquence des contacts entre les tubes et des défaillances en fonction de l'écart mesuré entre le tube de force et le tube de calandre (plutôt que d'une estimation) afin d'en déterminer le rapport de fluage et les pentes d'extrémité.



Le personnel de la CCSN a déterminé que cette méthode est fondée sur de nouvelles techniques. Il a donc fait appel à un expert indépendant pour l'examiner et évaluer son exactitude technique. L'expert a conclu que la méthode est fondée sur plusieurs hypothèses offrant peu d'éléments de preuve; toutefois, l'industrie est en mesure d'atténuer ces préoccupations et de renforcer la méthode en vue de l'utiliser.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Examen par des experts sur le fondement technique pour les évaluations probabilistes de la susceptibilité des tubes de force au contact avec les tubes de calandre et aux boursoufflures](#) (en anglais seulement)

## Application de la méthode de Bayes pour évaluer les seuils de déclenchement en cas de surpuissance neutronique

La CCSN a entrepris un projet de recherche en plusieurs étapes visant à mettre au point un logiciel et un cadre statistique [bayésien](#) afin d'optimiser l'évaluation de la valeur des seuils de [déclenchement de protection contre la surpuissance neutronique](#) (PSN) établis par ses titulaires de permis. (Si le [flux neutronique](#) à l'intérieur du réacteur atteint le seuil de déclenchement de PSN, le réacteur sera automatiquement mis à l'arrêt.) Le cadre et le logiciel serviront à évaluer la fréquence des défaillances du système de PSN et à calculer l'incertitude associée à la valeur actuelle du seuil de déclenchement d'un titulaire de permis.

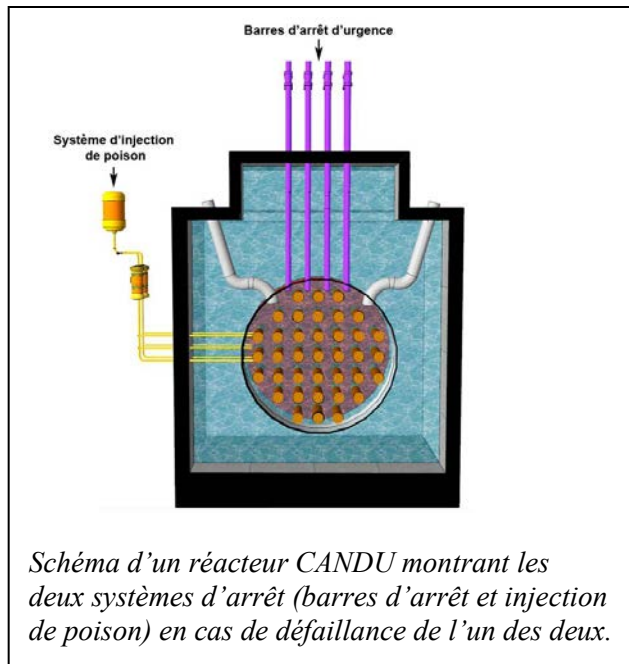
Le rapport de recherche complet comprend la théorie et le modèle associés au cadre statistique bayésien proposé, les caractéristiques logicielles ainsi que les lignes directrices de l'élaboration et du choix des critères de rendement liés aux essais et à la qualification. Le logiciel fondé sur le cadre proposé sera développé au cours de la deuxième étape du projet.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Application de la méthode de Bayes à l'évaluation du seuil de déclenchement des systèmes ROP/NOF](#) (en anglais seulement).

## Application du critère de défaillance unique

Le critère de défaillance unique est une exigence de sûreté généralement appliquée aux systèmes de sûreté des centrales nucléaires. Il établit que, en cas de défaillance unique d'un composant ou d'un système, les dispositifs de sûreté doivent demeurer capables d'accomplir leurs fonctions. Le projet avait pour but de recommander des exigences réglementaires relatives au critère de défaillance unique pour les nouveaux réacteurs en fonction des pratiques exemplaires internationales en la matière.

Les exigences actuelles de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) relatives au critère de défaillance unique, celles de la Western European Nuclear Regulators Association et de l'European Utility Requirements ainsi que celles des organismes de réglementation nucléaire des États-Unis, du Royaume-Uni, de la Russie, de la Corée, du Japon, de la Chine et de la Finlande ont été examinées et comparées aux exigences canadiennes.



Le rapport formule des recommandations exhaustives en vue de la modification future du cadre de réglementation de la CCSN à l'égard du critère de défaillance unique. En résumé, la CCSN devrait respecter les exigences et les approches plus communes énoncées dans les documents de l'AIEA, intégrer des références tirées des documents de la Western European Nuclear Regulators Association, et élaborer d'autres documents d'orientation sur les applications en ce qui a trait à la durée permise des arrêts ainsi qu'à la démonstration de l'efficacité de l'entretien.

Bien que le document d'application de la réglementation REGDOC 2.5.2, *Conception d'installations dotées de réacteurs : Centrales nucléaires* formule une orientation et des exigences relatives au critère de défaillance unique, des précisions sont nécessaires en vue de

veiller à ce que les titulaires de permis canadiens adoptent les approches internationales de pointe. Ces recommandations seront prises en compte dans le contexte de la modification du cadre de réglementation à l'avenir.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Examen des exigences réglementaires et des lignes directrices liées au critère de défaillance unique](#) (en anglais seulement).

**Le saviez-vous?** Le critère de défaillance unique prévoit que chaque groupe de sûreté doit pouvoir exécuter, en cas d'événement, toutes les fonctions de sûreté nécessaires advenant toute défaillance d'un composant unique et en présence de ce qui suit :

- toute défaillance causée par cette défaillance unique
- toutes les défaillances identifiables, mais non détectables, y compris celles des composants non mis à l'essai
- toutes les défaillances et les actions de systèmes qui sont causées par l'événement ou qui le provoquent

## Évaluation sismique et interaction sol–structure dans les centrales nucléaires

L'étude des conséquences des séismes sur les installations nucléaires constitue un volet important d'une évaluation de la sûreté. La CCSN a réalisé deux projets de recherche en vue de renforcer la capacité de prévoir l'incidence des événements sismiques, en tenant compte de l'interaction d'une structure avec le sol sur lequel elle est bâtie.

La simulation du mouvement du sol durant un séisme doit être fondée sur une compréhension rigoureuse des phénomènes à la base du mouvement ondulatoire d'un séisme et du processus d'intervention de la centrale nucléaire. Le premier projet de recherche sur la mise au point d'outils analytiques destinés à l'analyse sol-structure visait à élaborer les fondements techniques et les données sur les mouvements synthétiques nécessaires pour simuler des événements sismiques réalistes. À l'aide des données sur les mouvements découlant du premier projet, le deuxième projet a permis de simuler des interactions sol-structure réalistes dans le contexte d'un séisme, ce qui a mené à la mise au point de nouvelles méthodes de modélisation et de simulation d'interactions sol-structure dans le contexte d'un séisme dans les centrales nucléaires ainsi qu'à l'amélioration des méthodes existantes.



*Le personnel de la CCSN et les membres de divers organismes de réglementation nucléaire à l'occasion d'une réunion du Centre international de sûreté sismique de l'AIEA visant à discuter de l'interaction sol-structure durant les événements sismiques.*

Ces projets d'avant-garde ont suscité un intérêt international considérable, ayant notamment mené à l'élaboration, par le département de l'Énergie des États-Unis, d'un projet d'envergure fondé sur leurs résultats.

En fin de compte, ces activités de recherche visent à mettre au point une approche de la réglementation qui permettra d'évaluer les interactions sol-structure dans le contexte d'un séisme. La CCSN dirige actuellement l'équipe chargée de la rédaction d'un document technique de l'AIEA ([TECDOC](#)) lié à l'interaction sol-structure en cas de séisme qui comprendra les conclusions de ces projets de recherche.

Les rapports finaux se trouvent sur le site Web de la CCSN : [Mise au point d'outils analytiques pour l'analyse sol-structure](#) (en anglais seulement) et [Interfaçage de la description sismologique des mouvements terrestres importants avec l'analyse technique de l'interaction sol-structure dans les centrales nucléaires](#) (en anglais seulement).



### **Essais d'ébullition avec contact**

Dans les réacteurs CANDU, le modérateur sert de source froide et permet d'empêcher la défaillance du canal de combustible si un tube de force entre en contact avec un tube de calandre advenant un accident. Étant donné que la température du modérateur doit être suffisamment faible pour qu'il exécute sa fonction, les titulaires de permis ont mis au point un modèle analytique permettant de déterminer la température minimale du modérateur. Ce modèle a été validé au moyen de séries d'essais d'ébullition avec contact.

À la suite d'un examen réalisé par la CCSN, on a déterminé qu'il était nécessaire de procéder à d'autres essais afin de corroborer certains aspects du modèle ainsi que le critère d'acceptation établi par les titulaires de permis. C'est pourquoi la CCSN a appuyé la réalisation de six autres essais d'ébullition avec contact aux Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC), anciennement appelés Laboratoires de Chalk River. Les résultats de ces essais appuyaient le critère d'acceptation du titulaire de permis et ont révélé la mesure dans laquelle il est probable que des facteurs liés à la valeur limitative du critère mènent à des incidents désastreux.

En général, les activités de recherche de la CCSN permettent d'ajouter à la base de données expérimentale existante de l'industrie des renseignements supplémentaires utiles pouvant mieux appuyer la modélisation à l'avenir. De plus, les nouveaux renseignements recueillis permettront à la CCSN de poursuivre son évaluation efficace des dossiers de sûreté des réacteurs CANDU.

La CCSN ne peut diffuser les livrables de ce projet (comme le rapport final) puisque les renseignements qu'ils contiennent sont assujettis à des restrictions d'accès.



*Vue de l'extérieur de la centrale nucléaire de Point Lepreau*

La centrale nucléaire de Point Lepreau est dotée de réacteurs CANDU 6 dont les murs, d'une épaisseur de 1,1 m, sont faits de béton armé et précontraint et recouverts d'époxy, qui en assure l'étanchéité. Grâce à cette conception, l'enceinte de confinement peut résister à des pressions générées par des scénarios d'accident grave, y compris un accident de perte de réfrigérant primaire combiné à la perte hypothétique du système de refroidissement d'urgence du cœur du réacteur.

## Évaluation des risques d'inondation dans les installations nucléaires au Canada

À la suite de l'accident nucléaire survenu en 2011 à Fukushima Daiichi, au Japon, la CCSN a décidé de demander aux titulaires de permis d'examiner et, le cas échéant, d'actualiser leurs procédures de protection contre les inondations. Elle a également déterminé que, avant d'entamer son examen du cadre de réglementation sur la protection contre les inondations, il était nécessaire de réaliser un examen des pratiques exemplaires nationales et internationales et des approches de l'évaluation des risques d'inondation adoptées par les titulaires de permis canadiens.

La CCSN a fait appel à un entrepreneur externe pour réaliser un examen des documents internationaux liés aux approches avant-gardistes de l'évaluation des risques d'inondation ainsi qu'une analyse de l'écart entre ces approches et les pratiques des titulaires de permis canadiens. L'entrepreneur a conclu que les documents des titulaires de permis sont très différents et que les documents d'application de la réglementation de la CCSN n'offrent pas d'orientation quant à la façon d'évaluer les risques d'inondation. Il a recommandé à la CCSN d'élaborer une orientation sur l'évaluation des risques d'inondation afin d'aider les titulaires de permis à se conformer à la réglementation.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Évaluation des dangers d'inondation aux centrales nucléaires au Canada](#) (en anglais seulement).



*Une barrière de protection contre l'inondation récemment installée à la centrale nucléaire de Darlington*

**Le saviez-vous?** À la suite de l'accident survenu à Fukushima, la CCSN a pris plus de 50 mesures visant à renforcer la défense en profondeur dans les grandes installations nucléaires au Canada, à accroître la préparation aux situations d'urgence, à favoriser la collaboration internationale, à améliorer la consultation du public et la communication avec ce dernier ainsi qu'à renforcer les processus et les cadres de réglementation.

## Élaboration d'un ensemble de TICPPC relatif à un accident grave dans une piscine de stockage du combustible irradié

À la suite de l'accident de Fukushima, la CCSN a déterminé qu'il serait utile de mettre au point de nouveaux codes informatiques permettant de modéliser et de simuler des accidents hypothétiques survenant dans des piscines de combustible usé. Ce projet de recherche visait principalement à créer un ensemble de [tableaux d'identification et de classement de phénomènes et de paramètres clés](#) (TICPPC) lequel constituerait la principale source de renseignements pour un groupe d'experts réalisant une étude sur la progression attendue d'un accident hypothétique survenant dans la piscine de combustible usé d'un réacteur CANDU. Les résultats du groupe d'experts serviront à élaborer des modèles qui permettront de mieux comprendre de tels accidents et, par conséquent, d'améliorer et de renforcer les stratégies d'atténuation actuelles.

L'ensemble de TICPPC définitif comprenait un éventail considérable de documents canadiens et internationaux, dont des rapports classifiés ainsi que des renseignements propres aux accidents survenant dans des piscines de combustible usé et impliquant des réacteurs à eau légère. En tout, plus de 100 documents ont été recueillis et classés en fonction de la source et du sujet. Cet ensemble appuiera les efforts déployés par la CCSN à l'avenir en vue de créer un outil permettant d'estimer les termes sources et de prévoir la progression d'accidents hypothétiques survenant dans des piscines de combustible usé.

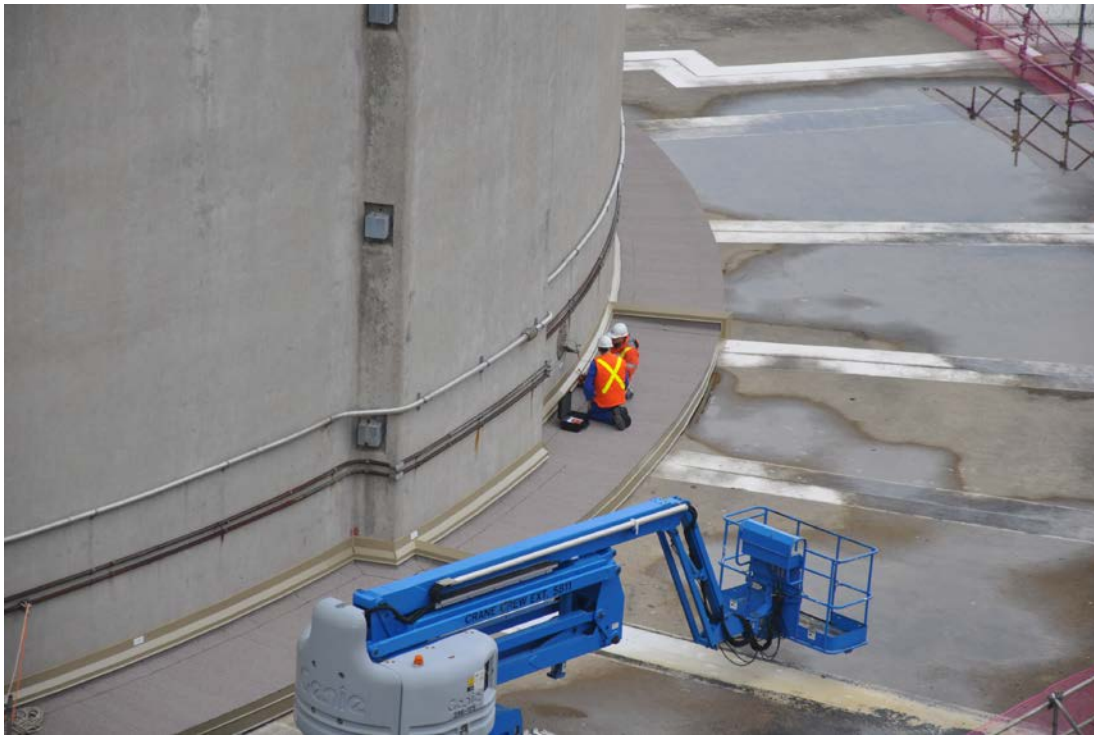
La CCSN ne peut diffuser les livrables du projet (comme le rapport final) puisqu'ils contiennent des renseignements classifiés assujettis à des restrictions d'accès.

### **Examen par des experts du comportement des radionucléides soumis au confinement**

Lors de certains accidents graves dans les centrales nucléaires, des [produits de fission](#) radioactifs peuvent s'échapper du combustible et être transportés dans la structure de confinement (c.-à-d. le bâtiment du réacteur). Pour évaluer la quantité de radioactivité pouvant être rejetée de l'enceinte de confinement dans l'environnement et calculer la dose potentielle reçue par la population, il faut connaître le comportement des [radionucléides](#) à l'intérieur de l'enceinte.

Les titulaires de permis utilisent actuellement trois codes informatiques différents pour effectuer l'analyse de sûreté du système de confinement. L'un de ces codes, le programme Simple Model for Activity Removal and Transport (SMART), a récemment été mis à jour, ce qui a incité la CCSN à réaliser un examen de sa nouvelle version. Le projet a permis de conclure que la version actualisée du code est adéquate en cas d'accidents de dimensionnement et concorde avec les autres codes. À la lumière de ces conclusions, la CCSN peut fournir une rétroaction aux titulaires de permis quant à l'acceptabilité de ce nouveau code et mettre à jour ses positions réglementaires relatives au calcul de la dose reçue par la population.

La CCSN ne peut diffuser les livrables du projet (comme le rapport final) puisqu'ils contiennent des renseignements classifiés assujettis à des restrictions d'accès.



*Les employés de la CCSN inspectent l'enceinte de confinement de Bruce Power.*

## Faisabilité d'un cadre d'incertitude destiné aux simulations des paramètres physiques d'un réacteur

Le REGDOC-2.4.1, *Analyse déterministe de la sûreté* permet l'utilisation de la simulation d'analyse du réacteur présentant la « meilleure estimation » en tenant compte des incertitudes. (Le terme « meilleure estimation » renvoie à l'estimation fondée sur les méthodes et les hypothèses les plus exactes connues à un moment donné.) La compréhension et la mesure des sources d'incertitude constituent une exigence essentielle d'une analyse fondée sur la meilleure estimation, étant donné qu'elles permettent d'évaluer la fiabilité des prévisions générées par la simulation. Il serait beaucoup plus simple de vérifier l'exactitude des prévisions d'une simulation en comparant les mesures anticipées aux mesures connues, mais en réalité, la valeur d'une simulation visant à établir la meilleure estimation nous permet d'analyser les conditions de réacteur pour lesquelles il n'existe pas de mesures. Par conséquent, il est nécessaire de caractériser toutes les sources d'incertitude afin d'assurer la fiabilité des résultats des calculs fondés sur la meilleure estimation des divers aspects de la conception, de l'exploitation et de la sûreté d'un réacteur.

En vue de se préparer à son examen technique réglementaire des dossiers de sûreté à l'aide de la meilleure estimation tenant compte des incertitudes, la CCSN a entrepris une étude de faisabilité de l'élaboration d'un cadre intégré qui permettrait d'effectuer avec exactitude la [caractérisation des incertitudes](#) (en mettant particulièrement l'accent sur les incertitudes des calculs de [neutronique](#) des réacteurs CANDU). Cette étude vise à élaborer une méthode justifiable sur le plan scientifique en vue de la caractérisation des incertitudes dans le contexte de tous les calculs d'analyse du réacteur fondée sur la meilleure estimation, garantissant ainsi l'obtention de prévisions exactes et sûres. Cette méthode permettrait ensuite la vérification indépendante des dossiers de sûreté des titulaires de permis. La première étape du projet est terminée, et on compte passer à la deuxième étape au cours des prochaines années.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Étude de faisabilité d'un cadre intégré pour la caractérisation des incertitudes s'appliquant à des cas de simulation des paramètres physiques d'un réacteur CANDU à l'état stable et transitoire](#) (en anglais seulement).

**Le saviez-vous?** L'Université Queen's a achevé un projet d'une valeur de 17,5 millions de dollars visant à bâtir son nouveau laboratoire d'essai des matériaux de réacteur. Cette installation comprend un accélérateur de protons qui peut simuler les effets d'un réacteur sur des échantillons de matériaux. Cette nouvelle capacité permettra aux chercheurs d'étudier la façon dont des matériaux réagissent à l'intérieur d'un réacteur et générera des renseignements utiles qui favoriseront une meilleure compréhension de la dégradation et de la corrosion de ces matériaux.

Pour en apprendre davantage, veuillez consulter la [page Web du Laboratoire d'essai des matériaux de réacteur](#).



## Examen des exigences réglementaires et des pratiques exemplaires permettant de garantir un effectif minimal

L'[effectif minimal](#) est le nombre minimal de travailleurs qualifiés qui doivent être présents en tout temps pour assurer l'exploitation sûre d'une l'installation nucléaire. Le personnel de la CCSN utilise le guide d'application de la réglementation G-323, *Assurer la présence d'un nombre suffisant d'employés qualifiés aux installations nucléaires de catégorie I – Effectif minimal* afin d'évaluer le caractère adéquat de l'effectif minimal dans les installations des titulaires de permis.

Avant d'examiner et, le cas échéant, d'actualiser le G-323, la CCSN a entrepris un projet de recherche visant à examiner les exigences réglementaires, les pratiques exemplaires et les documents scientifiques liés à l'effectif minimal, non seulement dans le contexte du secteur nucléaire, mais aussi au sein des secteurs de l'aviation, de la marine et des produits chimiques, notamment. Des entrevues ont également été réalisées auprès de parties intéressées internes et externes afin de solliciter des commentaires sur leur expérience de l'application du document G-323.

L'examen de la documentation a aidé la CCSN à cerner les points forts actuels ainsi que les améliorations possibles à apporter au document G-323. Par exemple, le recours à la simulation est prometteur pour le secteur nucléaire dans le contexte d'une approche systématique de l'établissement et de la validation des niveaux de dotation. Les autres points forts du document G-323 sont notamment l'orientation à l'intention des titulaires et des demandeurs de permis à l'égard de l'effectif minimal et la façon dont il aborde clairement des sujets comme les bilans périodiques, les demandes de changement ainsi que les travailleurs certifiés et non certifiés.

La rétroaction obtenue à l'occasion des entrevues auprès des parties intéressées permet de conclure que l'effectif minimal constitue une importante mesure de prévention des accidents et que le document G-323 favorise une approche plus rigoureuse et fondée sur des faits scientifiques de l'établissement et de la gestion de l'effectif minimal.

Le rapport final formule plus de 50 pratiques exemplaires et recommandations qui seront prises en compte durant le prochain examen du document G-323.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Effectif minimal : Un examen des exigences réglementaires, des pratiques de l'industrie, de la littérature scientifique et de l'expérience des parties intéressées](#) (en anglais seulement).



*Un travailleur à la centrale nucléaire de Bruce utilise le simulateur de salle de commande.*

## Protection des travailleurs



À la centrale nucléaire de Bruce, un inspecteur de la CCSN vérifie les mesures des champs de rayonnement du titulaire de permis.

Les niveaux de contamination et les doses de rayonnement dans les installations nucléaires constituent une source de danger permanente. La CCSN veille à ce que les doses reçues soient au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre afin que les titulaires de permis puissent se conformer aux programmes de radioprotection, qui sont essentiels à la protection des travailleurs.

La CCSN est responsable de réglementer le secteur nucléaire canadien afin de veiller à ce que les travailleurs soient protégés de toutes les sources potentielles de blessures et de dangers professionnelles. Qu'il s'agisse de dangers classiques, comme un incendie ou une décharge électrique, ou de dangers associés au rayonnement, comme la dose de rayonnement, la CCSN surveille ces événements et veille à ce que l'industrie s'efforce constamment de protéger la santé des travailleurs. Les activités de recherche de la CCSN constituent le fondement de la protection des travailleurs en permettant d'appuyer par des preuves solides tous les choix liés à la protection des travailleurs et d'informer l'ensemble de l'industrie des faits nouveaux.

### Caractérisation des dangers liés aux rayons alpha

Dans le cadre des activités d'entretien, les travailleurs des installations dotées de réacteurs CANDU peuvent être exposés à de petites doses d'aérosols comportant des [radionucléides](#) émettant des rayons alpha,

comme le plutonium ou l'américium. Toutefois, étant donné que les doses sont très petites, on ne peut pas utiliser les méthodes traditionnelles d'[essais biologiques](#) pour détecter les niveaux d'incorporation correspondant à la dose. À l'heure actuelle, le processus permettant de déterminer la dose interne provenant de ces sources consiste à mesurer un radionucléide important (comme le plutonium) présent dans les [excrétas](#) et à estimer la quantité d'autres radionucléides en fonction du ratio de ce radionucléide par rapport au plutonium contenu dans l'aérosol inhalé. Malheureusement, cette méthode est fondée sur l'hypothèse selon laquelle le taux d'absorption de tous les radionucléides par les poumons est le même, malgré l'absence d'études corroborant cette hypothèse.

Le projet de recherche a permis de déterminer que la [combustion dans le réacteur](#) a une incidence considérable sur la biosolubilité des radionucléides dans les poumons, que les radionucléides émettant des rayons alpha affichent la dose interne la plus élevée (sans égard à la masse ou à l'activité) et que la solubilité globale est différente d'un radionucléide à un autre. Les résultats obtenus permettront de renforcer les programmes de radioprotection canadiens en favorisant l'établissement d'une meilleure estimation de la dose interne générée par les radionucléides émettant des rayons alpha. Ils aideront également la CCSN à mieux évaluer les méthodes utilisées par le titulaire de permis afin de déterminer les doses de ces radionucléides reçues par les travailleurs.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Caractérisation des risques liés aux rayons alpha : la biosolubilité des radionucléides dans les aérosols des réacteurs CANDU et les conséquences pour la dosimétrie interne](#) (en anglais seulement).

## Risques de mortalité tirés de l'analyse de données regroupée sur des travailleurs canadiens et allemands œuvrant dans le domaine du traitement de l'uranium

De nombreuses études ont été réalisées à l'égard des effets du [radon](#) et de l'exposition aux rayons gamma sur les travailleurs des mines d'uranium et d'autres installations du secteur nucléaire, mais peu d'entre elles ont plus particulièrement examiné les risques pour la santé des travailleurs des installations de traitement de l'uranium. Ces travailleurs sont exposés à un vaste éventail de substances radioactives et chimiques provenant de la [poussière de minerai](#), mais, en comparaison avec les travailleurs des mines d'uranium, ils reçoivent des doses plus faibles des produits radioactifs de sa désintégration.

Le rapport de recherche présentait les résultats de l'étude d'une cohorte commune de 7 431 travailleurs de l'uranium des installations de Port Hope (Canada) et de Wismut (Allemagne) qui ont commencé à y travailler entre 1932 et 1989. Elle a élargi l'ensemble des données de la CCSN de manière à mieux comprendre les risques pour la santé des travailleurs des installations de traitement de l'uranium.



*L'intérieur de la raffinerie de Blind River (Ontario)*

L'installation de Blind River est la raffinerie d'uranium commerciale la plus vaste et moderne au monde. Elle est entrée en service en 1983, et son permis est valide jusqu'en 2022. Elle raffine le yellowcake en provenance du monde entier.

L'étude des effets des doses reçues par les anciens travailleurs est essentielle en vue de comprendre les effets néfastes sur la santé et le risque de mortalité ainsi que d'améliorer constamment les programmes de radioprotection de manière à protéger la santé des travailleurs. Le suivi continu ainsi que l'inclusion de données provenant d'autres travailleurs ont été recommandés dans le cadre d'études futures.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Risques de mortalité tirés de l'analyse de données regroupée sur des travailleurs canadiens et allemands œuvrant dans le domaine du traitement de l'uranium](#) (en anglais seulement).

**Le saviez-vous?** Au Canada, il existe actuellement cinq installations autorisées de traitement de l'uranium et de fabrication du combustible, toutes situées en Ontario. Chaque installation fait l'objet d'une inspection périodique réalisée par le personnel de la CCSN, qui en évalue les activités et vérifie la conformité aux exigences réglementaires et aux conditions de permis.



## Études sur la toxicité du tritium

Le rapport de 2010 intitulé *Tritium : Effets sur la santé, dosimétrie et radioprotection* ([INFO-0799](#)) fait partie des nombreuses études que la CCSN a entreprises pour approfondir ses connaissances sur le [tritium](#) et de renforcer la surveillance réglementaire actuelle des activités liées au tritium au Canada. L'une des recommandations formulées dans le rapport consistait à réaliser d'autres études sur les effets stochastiques de l'exposition au tritium (c.-à-d. les effets qui se produisent de façon aléatoire et qui ne peuvent pas faire l'objet de prévisions précises, comme le cancer).

Un nouveau projet de recherche a été lancé afin de mettre en œuvre cette recommandation. Le projet a été divisé en plusieurs tâches visant à examiner différents aspects de l'exposition au tritium, notamment la toxicité relative des rayons bêta et gamma de faible énergie ainsi que les modèles [biocinétiques](#) pour l'incorporation d'[eau tritiée](#) et de [tritium lié aux composés organiques](#). L'étude réalisée sur des souris a permis d'observer les points saillants suivants : la période de rétention dans l'organisme est plus longue pour le tritium lié aux composés organiques que pour l'eau tritiée, et la toxicité physiologique est légèrement supérieure dans divers organes exposés au tritium lié aux composés organiques par rapport aux organes exposés à l'eau tritiée.

Cette étude a été entreprise par la CCSN en collaboration avec l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et le Groupe des propriétaires des réacteurs CANDU. Les résultats du projet nécessitent un examen et une interprétation approfondis avant d'être publiés sous forme d'articles avec comité de lecture dans plusieurs revues scientifiques. Pour cette raison, le rapport final sera versé dans le site Web de la CCSN à une date ultérieure.



*Les employés de la CCSN analysent l'air à l'extérieur de SRB Technologies à Pembroke (Ontario) afin d'y détecter du [tritium](#).*

SRB Technologies est titulaire d'un permis délivré par la CCSN et utilise du tritium pour fabriquer des produits, notamment des enseignes autolumineuses d'issues de secours, des marqueurs de mines, des cadrans de montre et d'autres produits de sécurité qui n'ont pas besoin de pile ou de source d'alimentation externe.

## Protection de l'environnement

La protection de l'environnement constitue un aspect essentiel de la mission et du mandat de la CCSN. Afin de respecter notre engagement en la matière, nous surveillons toutes les installations du secteur nucléaire canadien. Qu'il s'agisse de l'évaluation environnementale d'un nouveau site de mine ou d'usine de concentration d'uranium, d'un rejet imprévu dans l'environnement provenant d'une centrale nucléaire ou d'un plan visant à éliminer des déchets nucléaires, nous participons à toutes les étapes du processus afin de veiller à la protection de l'environnement. Nos activités de recherche appuient cet objectif en permettant de maintenir le personnel de la CCSN et l'industrie informé des faits nouveaux sur le plan de la science de l'environnement, de l'évaluation du risque et de la gestion des déchets.



*Des employés de la CCSN analysent un échantillon d'eau sur la rive du lac Ontario, tout juste à l'ouest de la centrale nucléaire de Pickering (en arrière-plan).*

L'échantillonnage environnemental est réalisé régulièrement à proximité des installations nucléaires canadiennes dans le cadre du Programme indépendant de surveillance environnementale de la CCSN. Pour ce faire, le personnel prélève des échantillons d'eau, d'air, de sol, de sédiments, de végétation et d'aliments locaux afin d'en vérifier la concentration des contaminants et de veiller à ce que cette concentration soit conforme aux niveaux prescrits.

## Programme d'évaluation et de recherche coordonnées

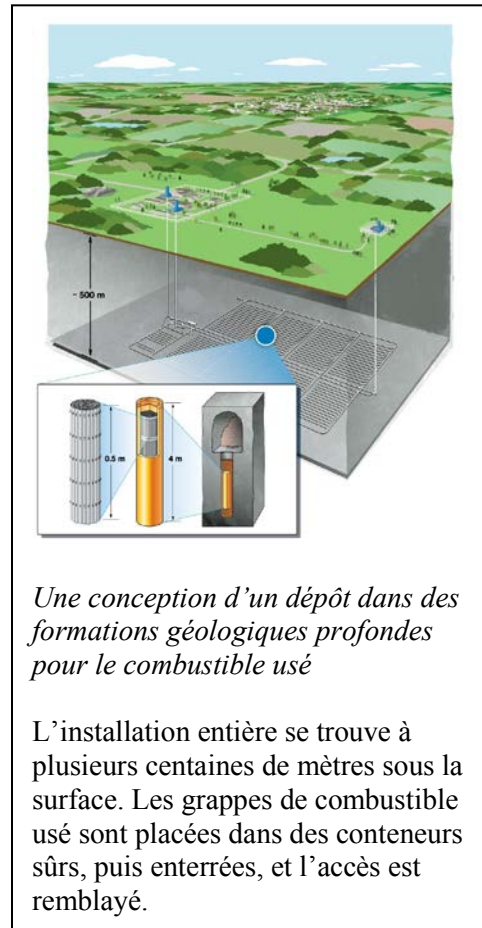
Le Programme d'évaluation et de recherche coordonnées (PERC) de la CCSN a été créé en 2007 afin d'examiner les problèmes potentiels de sûreté à long terme liés aux [dépôts géologiques en profondeur](#). Il appuie des activités de recherche indépendantes en collaboration avec divers experts du monde entier en plus de communiquer les renseignements sur les dépôts géologiques. Au cours de la dernière année, trois projets ont été réalisés dans le cadre du PERC.

### *Analogues naturels et anthropiques*

La plupart des études définissent les analogues comme étant des systèmes soit naturellement présents, soit anthropiques (c.-à-d. créés par les humains). Ce projet était axé plus particulièrement sur les différences entre ces deux types d'analogues naturels et la façon dont ils peuvent contribuer au dossier de sûreté des projets de dépôts dans des formations géologiques profondes. Le rapport conclut que les analogues anthropiques fournissent généralement un aperçu non technique ou anecdotique des concepts et des processus visant le dossier de sûreté, alors que les analogues naturels peuvent fournir des renseignements techniques et quantitatifs. De plus, les analogues naturels peuvent fournir des renseignements selon des échelles géologiques temporelles (millions d'années) et spatiales (kilomètres) énormes, alors que les renseignements que fournissent les analogues anthropiques ne couvrent qu'une échelle temporelle beaucoup plus restreinte (centaines ou milliers d'années). Étant donné que le dossier de sûreté pour un dépôt dans des formations géologiques profondes exige des renseignements scientifiques visant une évaluation de la sûreté à long terme (un million d'années ou plus), les analogues naturels peuvent fournir des renseignements et des données selon des échelles géologiques temporelles et spatiales qui ne peuvent être extrapolées à partir d'essais en laboratoire. Ces renseignements permettront de présenter des éléments de preuve qui renforceront la confiance à l'égard de l'élimination géologique sécuritaire de déchets radioactifs de haute activité.

L'une des principales recommandations de ce projet est le déploiement d'efforts concertés pour garantir le transfert des données des études complexes d'analogues naturels sur le terrain aux modèles simplifiés qui sont employés par nécessité dans les évaluations du rendement. Les études sur le terrain devraient être planifiées de façon à être compatibles avec les essais en laboratoire et, en fin de compte, avec les essais sur le terrain lorsque le site définitif du dépôt est sélectionné. Cela permettra une meilleure utilisation quantitative des données d'analogues naturels à l'appui de la conception de dépôt dans des formations géologiques profondes.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Examen des analogues naturels et anthropiques pour les dépôts de déchets nucléaires de haute activité](#) (en anglais seulement).



*Une conception d'un dépôt dans des formations géologiques profondes pour le combustible usé*

L'installation entière se trouve à plusieurs centaines de mètres sous la surface. Les grappes de combustible usé sont placées dans des conteneurs sûrs, puis enterrées, et l'accès est remblayé.

**Le saviez-vous?** Il existe de nombreux exemples d'analogues naturels et anthropiques. Les analogues naturels comprennent des dépôts naturels d'uranium, des minéraux argileux ou des grottes souterraines tandis que les analogues anthropiques comprennent des objets fabriqués par l'humain, comme des clous de la Rome antique, le pilier de fer de Delhi ou le mur d'Hadrien.



### ***Code d'évaluation de la sûreté***

Dans le cadre de l'évaluation de la sûreté des [dépôts dans des formations géologiques profondes](#), on utilise la modélisation par ordinateur, c'est-à-dire que la vérification et la validation de codes informatiques constituent un élément essentiel d'une évaluation de la sûreté. On peut notamment vérifier et valider un code informatique en comparant les résultats à ceux d'autres codes indépendants. Au Canada, la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) a réalisé la modélisation de l'écoulement des eaux souterraines, du transport de contaminants et de la dose reçue par la population dans le cadre d'une étude de cas portant sur un dépôt dans des formations géologiques profondes générique. Ce projet de la CCSN visait à comparer les résultats de l'évaluation de la sûreté de la SGDN à ceux du modèle d'étude des options et d'analyse des risques (SOAR) élaboré par la Nuclear Regulatory Commission (NRC) des États-Unis. De manière générale, les résultats des deux modèles se ressemblaient. Le projet a permis de conclure que le SOAR constitue un outil d'étude des options efficace, convivial et flexible pouvant être mis à profit par le personnel de la CCSN, pourvu qu'on y apporte certaines modifications, en vue d'examiner les évaluations de la sûreté des demandes de permis relatives aux dépôts dans des formations géologiques profondes.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Examen des codes d'évaluation de la sûreté pour les installations d'évacuation de combustible usé](#) (en anglais seulement).

### ***Essais triaxiaux***

L'excavation des galeries et des puits d'un [dépôt dans des formations géologiques profondes](#) peut causer des dommages à la roche environnante, comme des fractures et microfissures. Cette roche endommagée est appelée « zone endommagée par l'excavation » et présente une [perméabilité](#) supérieure, ce qui signifie qu'elle pourrait faciliter la migration des [radionucléides](#). Le projet était particulièrement axé sur les roches sédimentaires, comme le calcaire et l'argilite (en particulier le calcaire de Cobourg et l'argilite de Tournemire), et visait à confirmer leur comportement hydromécanique lorsqu'elles sont intactes et lorsqu'elles sont endommagées.



*Une travailleuse de la CCSN recueille des échantillons de végétation à Bruce Power afin d'en vérifier la contamination.*

L'installation destinée à l'étude de la dynamique des fractures des roches (Rock Fracture Dynamic Facility) de l'Université de Toronto a permis de déterminer de manière expérimentale le comportement hydromécanique des deux types de roches. Des essais [triaxiaux](#) et de perméabilité ont été effectués sur les échantillons de roche afin d'obtenir leurs propriétés et leurs réponses mécaniques et hydrauliques, et d'autres méthodes géophysiques ont servi à détecter les dommages causés aux échantillons. En général, la mesure de la perméabilité du calcaire endommagé est de deux à trois fois supérieure à celle d'une roche intacte. Autrement dit, la roche sédimentaire endommagée laissera vraisemblablement passer plus de liquide et de gaz que la roche sédimentaire intacte. Les données recueillies dans le contexte de ces essais serviront à élaborer un modèle mathématique de la roche hôte et à évaluer le rendement à long terme des dépôts.

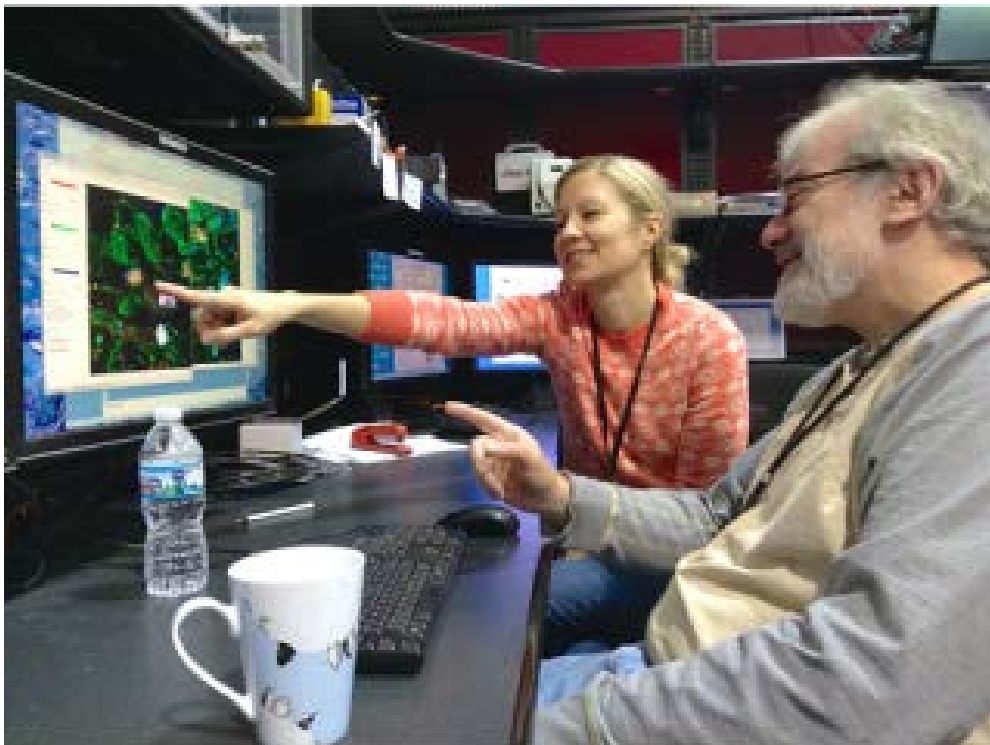
Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Essais triaxiaux et de perméabilité en laboratoire sur le calcaire de Cobourg et l'argilite de Tournemire](#) (en anglais seulement).

**Le saviez-vous?** Le calcaire de Cobourg est l'un des types de roche envisagés pour un projet de [dépôt dans des formations géologiques profondes](#) au Canada. L'argilite de Tournemire provient du laboratoire de recherche souterrain de Tournemire, en France.

### Détection du radium 226 dans les résidus miniers uranifères

La compréhension du comportement des [radionucléides](#) de longue période dans les [résidus](#) d'uranium constitue un élément clé de la surveillance par la CCSN du comportement à long terme des installations de gestion des résidus afin de protéger l'environnement. Dans le cadre du projet, des échantillons de résidus ont été prélevés à l'installation de gestion des résidus de McClean Lake et analysés au moyen de techniques [synchrotron](#) servant à déterminer la structure et les formes de l'uranium présent dans les résidus (ce qui détermine le comportement et la mobilité des radionucléides). Le projet a permis de démontrer que les techniques synchrotron peuvent constituer une source d'information à l'égard de la géochimie et de la minéralogie de l'uranium dans les résidus. Les résultats renforceront les stratégies de gestion des résidus et faciliteront directement la prise de décisions réglementaires à l'égard des mines d'uranium canadiennes.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Microspectroscopie synchrotronique à rayons X visant à détecter le radium 226 et ses produits de filiation dans les résidus et les déchets de la concentration d'uranium découlant des activités d'exploitation de l'uranium](#) (en anglais seulement).



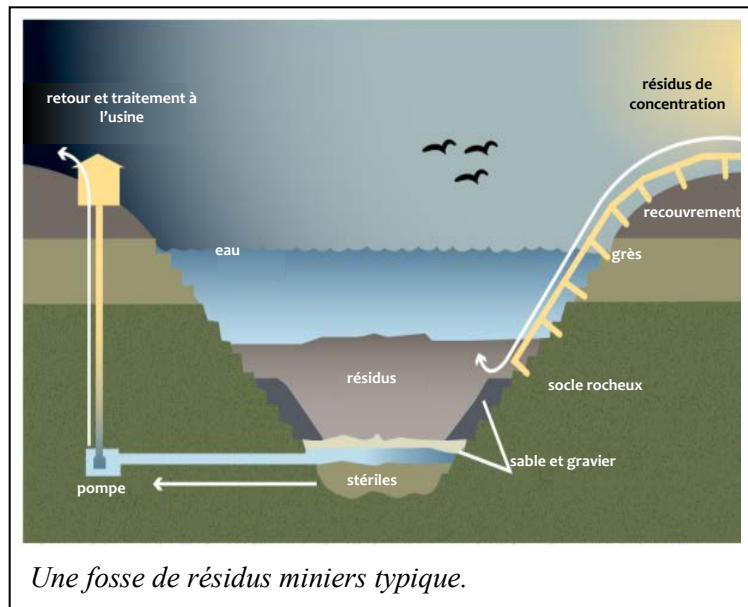
*Karina Lange (CCSN), Ph.D., en compagnie de Tony Lanzirotti, Ph.D., au Center for Advanced Radiation Sources de l'Argonne National Laboratory, signale la détection d'uranium dans un échantillon de résidus.*

**Le saviez-vous?** Les [résidus](#) sont des déchets découlant de l'exploitation et de la concentration de l'uranium après le broyage du minerai et l'élimination par des moyens chimiques de la majeure partie de l'uranium. Les installations de gestion des résidus sont conçues pour empêcher le contact entre les résidus et l'environnement pendant des milliers d'années.



## Dégradation du pergélisol en raison de perturbations par l'exploitation minière

L'exploitation de l'uranium génère des déchets sous forme de [résidus](#) miniers et de stériles, qu'il faut gérer de manière adéquate afin de protéger l'environnement. La CCSN a reçu une proposition de projet visant une installation d'exploitation et de concentration de l'uranium qui, si elle obtenait un permis en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*, serait la première en son genre à être située dans une [zone de pergélisol continu](#) du Canada. Le dégel potentiel du pergélisol pourrait nuire à l'intégrité des installations de gestion des résidus. Il est important de bien prévoir la dégradation du pergélisol durant le cycle de vie du projet afin d'assurer l'exactitude de l'évaluation environnementale et de faciliter la prise de décisions à l'égard des permis.



Le projet de recherche visait à examiner les effets de la mine sur le pergélisol tant au cours de l'exploitation qu'après le déclassement. Il a permis de conclure que, durant l'exploitation, la dégradation du pergélisol à proximité des fosses à ciel ouvert et des installations de gestion des résidus serait limitée et ne compromettrait pas leur intégrité. Le comportement thermique à long terme du pergélisol à proximité des installations de gestion des résidus a été examiné en fonction de différents scénarios liés aux changements climatiques. Dans le contexte du scénario ne présentant aucun changement climatique, l'épaisseur de la couche de pergélisol diminuerait légèrement. Dans le contexte du scénario présentant une hausse de température de 5°C au cours des 100 prochaines années, le pergélisol à proximité des installations de gestion des résidus diminuerait considérablement à long terme. Toutefois, une couche de pergélisol d'environ 35 mètres d'épaisseur serait créée au-dessus des installations de gestion des résidus, ce qui empêcherait la migration des eaux interstitielles des résidus vers la surface. Dans le contexte du scénario présentant une hausse de température de 7°C au cours des 100 prochaines années, toute la couche de pergélisol dégèlerait en fin de compte. Toutefois, le niveau des eaux souterraines autour des installations de gestion des résidus miniers se trouverait environ à 35 mètres sous la surface, ce qui signifie que les eaux interstitielles des résidus ne seraient vraisemblablement pas en mesure de migrer vers le haut et d'atteindre la surface, même après le dégel complet du pergélisol.

Par conséquent, avec une conception et un plan de déclassement appropriés, le [stockage](#) des résidus à l'installation de gestion des résidus transformée n'entraînerait vraisemblablement pas de conséquences considérables pour l'environnement en surface à proximité des installations de gestion des résidus déclassées.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Dégradation du pergélisol dans les zones de pergélisol permanent attribuable aux perturbations de l'activité minière dans les régions nordiques du Canada](#) (en anglais seulement).

**Le saviez-vous?** Les mines d'uranium sont différentes des mines traditionnelles, car elles génèrent davantage d'éléments radioactifs (comme le thorium, le radium et d'autres produits de désintégration) sous forme de déchets. Par conséquent, elles doivent être surveillées continuellement par le personnel de la CCSN.

## Pleins feux sur le personnel de recherche : Andrei Blahoianu

Dans le contexte de ses activités de recherche en réglementation, la CCSN a recours aux connaissances et à l'expertise de nombreux experts, comme Andrei Blahoianu. Ingénieur pendant plus de 45 ans et titulaire d'un diplôme en génie mécanique, M. Blahoianu a travaillé à la conception et à la réglementation d'installations nucléaires. Au sein de la CCSN, il a occupé le poste de directeur de la Division de l'évaluation de la conception technique, dans le cadre duquel il a dirigé des activités de réglementation sur les composants sous pression, le génie civil, la protection contre l'incendie, la gestion du vieillissement ainsi que la protection des structures, systèmes et composants contre les chocs. En sa capacité de directeur d'une division dotée d'un mandat technique très vaste, M. Blahoianu utilisait efficacement le programme de recherche de la CCSN et optimisait la participation gratuite de la CCSN à divers projets internationaux liés à la sûreté nucléaire, lesquels portaient sur différents sujets, dont la protection au moyen du génie contre les catastrophes naturelles (p. ex. séismes) et les dangers d'origine humaine (p. ex. missiles), la protection contre l'incendie ainsi que la gestion du vieillissement des enceintes en béton. Il se fiait beaucoup aux compétences techniques et au leadership de son personnel expert afin d'entreprendre et de mener à bien ces projets de recherche.



*Andrei Blahoianu, ancien directeur de la Division de l'évaluation de la conception technique de la CCSN*

M. Blahoianu représentait également la CCSN au sein de divers comités du Groupe CSA (anciennement l'Association canadienne de normalisation), notamment pour ce qui est de la norme N287 visant les exigences relatives au confinement, de la norme N289 visant les exigences de qualification parasismique et de la norme N291 visant les exigences relatives aux enceintes. M. Blahoianu a assumé le rôle de vice-président des comités techniques du Groupe CSA chargés des composants sous pression, de la qualification parasismique, des enceintes de confinement en béton et des enceintes de génie civil des centrales dotées de réacteurs CANDU.

M. Blahoianu ne participait pas seulement aux activités de génie nucléaire canadiennes. En effet, de 2006 à 2012, il a présidé le Groupe de travail sur l'intégrité et le vieillissement des composants et des structures de l'AEN et a fait partie de plusieurs groupes et comités internationaux, notamment les suivants : le conseil consultatif de l'International Association for Structural Mechanics in Reactor Technology, le comité directeur international de l'International Forum for Reactor Aging Management, le groupe de travail de l'AEN sur les agressions externes de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ainsi que le Centre international de sûreté sismique de l'AIEA. Dans le cadre de son travail au sein du Centre international de sûreté sismique, l'une de ses grandes réalisations a été d'assurer l'accès à un système de notification en cas de séisme, lequel fournit aux installations nucléaires des données sur les secousses sismiques quelques minutes seulement après un séisme.

En outre, M. Blahoianu a collaboré à la rédaction d'articles publiés dans diverses revues internationales, il a présidé des événements internationaux au Canada, en Chine, en Finlande, en France, au Japon, en Inde, en Norvège, en Pologne et aux États-Unis, et il a participé à plusieurs missions d'experts de l'AIEA. Ses efforts et son leadership lui ont valu l'Ordre du mérite de l'Association canadienne de normalisation en 2012.

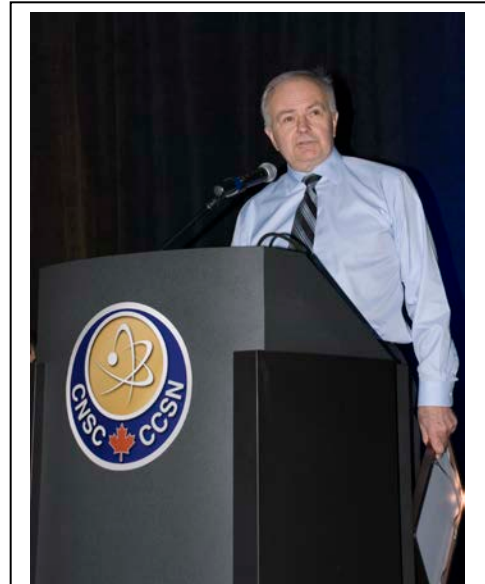
## Pleins feux sur le personnel de recherche : Michel Couture

Le programme de recherche de la CCSN a considérablement bénéficié des connaissances et de l'expertise de Michel Couture, Ph.D., dont les solides antécédents l'ont bien préparé aux problèmes techniques complexes auxquels il serait confronté à la CCSN. Il a obtenu un baccalauréat en physique du Collège militaire royal de Saint-Jean en 1971 ainsi qu'une maîtrise et un doctorat en physique théorique de l'Université McGill en 1975 et en 1981, respectivement. Il a reçu plusieurs distinctions, dont la médaille du gouverneur général du Canada pour l'excellence universitaire (1969), la bourse d'études du centenaire du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (1971) ainsi qu'une bourse postdoctorale du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada aux Laboratoires de Chalk River (de 1980 à 1982).

M. Couture s'est joint à la Division de la physique et du combustible de la CCSN en 1999, où il a occupé le poste de spécialiste du combustible jusqu'à ce qu'il devienne le directeur de la Division en 2007. À ce titre, il a dirigé jusqu'en 2016 les activités techniques de réglementation liées à la physique des réacteurs, au combustible nucléaire (y compris la thermohydraulique de combustible) et à la sûreté-criticité nucléaire hors cœur. Sa division a également contribué à l'analyse déterministe de sûreté pour les réacteurs nucléaires et les installations du cycle du combustible nucléaire.

La Division de la physique et du combustible a toujours joué un rôle important dans le cadre du programme de recherche de la CCSN. À titre de directeur, M. Couture était un fervent défenseur de la participation de son personnel au programme. Il appuyait rigoureusement la coopération internationale qui, selon lui, apportait des avantages et constituait un bon moyen de renforcer l'expertise technique du personnel et de contribuer à la sûreté nucléaire à l'échelle mondiale. C'est pourquoi il a également favorisé la participation de son personnel à de nombreux groupes de travail internationaux.

Avant de se joindre à la CCSN, M. Couture a travaillé au sein de la division de la physique théorique (de 1980 à 1996) et de la division de la sûreté du combustible (de 1996 à 1999) aux Laboratoires de Chalk River. Ses activités de recherche au cours de cette période portaient notamment sur la modélisation du combustible nucléaire, la physique des accélérateurs (électromagnétique computationnelle), la physique de la matière condensée et la physique mathématique. Il a collaboré à divers projets de recherche avec des chercheurs provenant du Canada, des États-Unis, de la Chine et de l'ancienne Tchécoslovaquie. M. Couture est également l'auteur ou le coauteur de plus de 35 publications parues dans des revues scientifiques et des travaux de conférences.



*Michel Couture, Ph.D., ancien directeur de la Division de la physique et du combustible de la CCSN, reçoit le Prix de leadership de la CCSN en 2011.*

## Progrès des perspectives en matière de réglementation

Étant donné que les perspectives en matière de réglementation sont constamment modifiées, la CCSN doit collaborer étroitement avec les organismes de réglementation nucléaire du monde entier afin de demeurer à l'affût de ces perspectives et de les diffuser. La collaboration avec les organismes de réglementation étrangers est importante, car elle nous permet de communiquer et de recueillir de l'information à l'égard des avancées sur le plan de la technologie nucléaire, comme l'élaboration de nouvelles conceptions de réacteurs, ainsi que les leçons apprises par les autres organismes de réglementation afin de veiller à ce que le cadre de réglementation nucléaire du Canada demeure rigoureux.

### Groupe de travail de l'AIEA sur les petits réacteurs modulaires

Les États membres de l'AIEA ont exprimé le besoin de créer un forum destiné aux organismes de réglementation afin de faciliter la communication et la coopération en cas de problèmes découlant de la mise au point d'installations de petit réacteur modulaire (PRM). L'AIEA a convenu de faire un essai et d'offrir, durant deux ans, des services de secrétariat et un lieu de réunion à cette fin, afin de faciliter la diffusion des connaissances et des expériences entre les États membres et de favoriser la prise de décisions réglementaires mieux étayées à l'égard des petits réacteurs modulaires. Par l'intermédiaire de ce forum, la CCSN peut contribuer à améliorer la qualité des examens de la conception du fournisseur et des évaluations techniques en vue de l'attribution de permis pour des projets visant les conceptions de petits réacteurs modulaires.



*Le personnel de la CCSN en compagnie d'autres représentants des États membres de l'AIEA à l'occasion du Forum des organismes de réglementation sur les petits réacteurs modulaires*

**Le saviez-vous?** Selon l'industrie, l'exploitation commerciale des petits réacteurs modulaires est moins dispendieuse et leur entrée en service est plus rapide. On dit également qu'ils sont plus faciles à utiliser dans les petits réseaux électriques, notamment dans les régions éloignées, par exemple dans le Nord du Canada. Parmi les conceptions actuellement mises au point, mentionnons les réacteurs refroidis à l'eau, les réacteurs à haute température refroidis au gaz et les réacteurs refroidis au métal liquide.



### **Programme multinational d'évaluation des conceptions**

Établi en 2006, le Programme multinational d'évaluation des conceptions (PMEC) regroupe les ressources et les connaissances des 15 organismes de réglementation nationaux participants, y compris la CCSN, ainsi que d'autres parties intéressées au profit de l'examen des conceptions de nouveaux réacteurs nucléaires et de l'harmonisation des approches de la réglementation dans le contexte de domaines d'intérêt commun, comme de nouvelles conceptions d'instruments et de contrôles, la coopération dans le cadre des inspections des fournisseurs ainsi que les codes et les normes. Il vise à favoriser la collaboration dans le contexte de cadres de réglementation divers en mettant en commun les ressources et en encourageant la convergence multinationale des codes et des normes de réglementation. À ce jour, le PMEC a organisé trois conférences, soit en 2009, en 2011 et en 2014, et il a également diffusé des communiqués visant à informer le public de ses principales activités et réalisations.

### **Soutien aux normes établies par le Groupe CSA pour le secteur nucléaire**

Le Groupe CSA est un organisme sans but lucratif canadien qui publie les normes de plusieurs industries, y compris le secteur nucléaire, dont bon nombre sont citées en référence dans la réglementation de la CCSN. Cette dernière appuie le Groupe CSA et son programme de normes au moyen d'une entente de contribution approfondie. La CCSN a contribué aux activités d'élaboration de normes du Groupe CSA en mettant à profit les leçons apprises dans le contexte de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi et elle a offert son appui au Programme de normes de sûreté nucléaire, à la plateforme Web à l'intention des communautés d'intérêts afin de faciliter l'accès aux normes nucléaires ainsi qu'à la conférence annuelle et à la semaine du comité de la CSA.



*Le personnel de la CCSN et les membres des organismes de réglementation nationaux des pays propriétaires de centrales dotées de réacteurs CANDU participent à la réunion annuelle des cadres supérieurs des organismes de réglementation des réacteurs CANDU à Toronto (Ontario).*

La réunion annuelle des cadres supérieurs des organismes de réglementation des réacteurs CANDU constitue pour ces organismes une tribune permettant de communiquer les expériences et les pratiques liées aux réacteurs CANDU en vue de renforcer dans l'ensemble la sûreté et l'efficacité de la réglementation.

## Engagements internationaux

Le programme de recherche de la CCSN ne restreint pas ses activités au Canada, mais vise également un vaste éventail d'efforts concertés à l'échelle internationale. Nous collaborons avec des organisations comme la NRC des États-Unis, l'AEN de l'OCDE ainsi que l'AIEA. Nous continuons d'appuyer ces dernières en participant à des initiatives internationales, comme le projet sur les leçons génériques retenues de l'expérience internationale sur le vieillissement (IGALL) et le comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN). De plus, des protocoles d'entente conclus entre la CCSN et d'autres organismes de réglementation nucléaire permettent la communication et la diffusion dans le monde entier des connaissances découlant de nos activités de recherche.



*Divers délégués discutent à l'occasion de la 59<sup>e</sup> conférence générale de l'AIEA, avant la présentation des leçons tirées du rapport sur l'accident de Fukushima Daiichi.*

Le Canada étant membre de l'AIEA, la CCSN et son personnel participent souvent à ses activités, comme la conférence générale. En 2015, Ramzi Jammal, premier vice-président et chef de la réglementation des opérations de la CCSN, a présenté une description et a établi le contexte de l'accident de Fukushima Daiichi. La CCSN a directement contribué au rapport du directeur général de l'AIEA sur l'accident et à ses cinq volumes techniques. Veuillez consulter la présentation sur notre [site Web](#).

**Le saviez-vous?** Un protocole d'entente constitue un accord entre des parties qui établit une sorte de partenariat ou d'effort de coopération officiel. La CCSN a conclu avec d'autres organismes de réglementation plus de 15 protocoles d'entente (et de nombreux autres accords) qui portent souvent sur la communication d'information liée à l'énergie nucléaire.

### **Accord avec la Commission européenne**

La CCSN et la Commission européenne ont conclu un accord de collaboration en vue de soutenir l'initiative du réseau durable d'expertise technique indépendante pour la gestion des déchets radioactifs (SITEX) II et le projet FASTNET (FAST Nuclear Emergency Tools) visant l'intervention en cas d'urgence. Ces deux projets s'inscrivent dans le cadre de l'initiative Horizon 2020, qui vise à éliminer les obstacles et à établir un marché unique des connaissances et de l'innovation en matière de recherche.

L'initiative SITEX II est un projet de deux ans qui vise à régler tout problème sur le plan de la sûreté lié à la gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité découlant de l'utilisation du combustible nucléaire. Il vise essentiellement à renforcer le processus d'attribution de permis et les exigences relatives aux dépôts géologiques ou à apporter les modifications nécessaires pour les améliorer. FASTNET est un projet de quatre ans qui a pour but de vérifier une méthode d'intervention progressive, laquelle serait fondée sur de multiples outils en vue de faciliter l'analyse de la progression d'accidents graves et la prévision des conséquences possibles pour les centrales nucléaires ou les installations de piscines de combustible usé en Europe. La CCSN participera à quatre des six séries d'activités de FASTNET.

La participation de la CCSN à ces deux projets permettra d'établir des relations où les expériences et les connaissances peuvent être communiquées entre les partenaires et d'autres organismes de réglementation internationaux, ce qui favorisera la croissance globale du secteur nucléaire à l'échelle mondiale et mènera au renforcement de la sûreté et de l'efficacité de cette dernière. Cette occasion permet également d'établir une collaboration en vue de futurs projets de recherche.



*Les membres internationaux du projet SITEX (y compris le personnel de la CCSN) participant à la première assemblée plénière du projet SITEX II, qui a eu lieu à Millau, en France, sont rassemblés devant le laboratoire de recherche souterrain de Tournemire.*



## Initiatives de l'Agence pour l'Énergie Nucléaire de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique

L'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) constitue un forum dans le cadre duquel 34 pays collaborent afin de comprendre les difficultés liées à l'économie, à l'environnement et au vieillissement de la population et d'aider les gouvernements à résoudre ces problèmes.

L'Agence pour l'Énergie Nucléaire (AEN) est une division particulière de l'OCDE : il s'agit du seul organisme intergouvernemental qui regroupe des pays de l'Amérique du Nord, de l'Europe et de l'Asie-Pacifique dans un milieu apolitique afin de favoriser la coopération et la communication des faits nouveaux en matière de technologie nucléaire. Le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN), qui s'inscrit dans le cadre de l'AEN, regroupe des organismes de réglementation ainsi que des experts scientifiques et du génie responsables de technologies et programmes de recherches liés à la sûreté. À titre de membre actif du CSIN, la CCSN s'efforce d'approfondir les connaissances scientifiques et techniques afin de faciliter l'évaluation des volets de sûreté des réacteurs nucléaires et des installations du cycle du combustible.



*Le personnel de la CCSN et les représentants d'autres pays membres de l'AEN participent à la réunion inaugurale du Programme sur l'expérience opérationnelle, la dégradation et le vieillissement des composants (CODAP).*

Le Programme sur l'expérience opérationnelle, la dégradation et le vieillissement des composants (CODAP) combine les activités de suivi du Projet d'échange de données sur la défaillance des conduites et le volet portant sur la fissuration par corrosion sous contrainte du Programme sur la fissuration par corrosion sous contrainte et le vieillissement des câbles. Ces deux projets ont été regroupés étant donné leur pertinence dans le contexte de la gestion du vieillissement d'une centrale.



## North American Technical Center – Système d’information sur l’exposition professionnelle

En 1992, l’AEN a créé le Système d’information sur l’exposition professionnelle en vue d’améliorer la gestion des cas d’exposition professionnelle aux rayonnements et, par conséquent, la sûreté des travailleurs, en permettant aux professionnels de la radioprotection de communiquer l’information liée aux doses et l’expérience opérationnelle connexe. En 2014, la CCSN a conclu une entente de trois ans avec l’Université de l’Illinois, qui exploite le North American Technical Center. Elle utilise les données du Système d’information sur l’exposition professionnelle pour faciliter l’élaboration de son cadre de réglementation et améliorer l’orientation qu’elle fournit aux titulaires de permis. L’accès à la base de données a permis au personnel de la CCSN de mieux comprendre les initiatives, les expériences, les pratiques exemplaires et les défis en matière de radioprotection, ce qui les aide à examiner et à évaluer les programmes de radioprotection des titulaires de permis.

Veillez consulter le site Web de l’[Organisation de Coopération et de Développement Économique](#) ou celui du [Système d’information sur l’Exposition professionnelle](#) (en anglais seulement) pour obtenir de plus amples renseignements.

## Projet d’échange de données sur les registres d’incendies

La CCSN a participé à la phase IV du Projet d’échange de données sur les registres d’incendies (FIRE) de l’OCDE. Ce projet vise à établir une plateforme de collaboration et de communication de données tirées des incendies survenus dans les centrales nucléaires des pays membres. L’étape IV avait notamment pour but d’étayer la base de données, de regrouper les événements et d’analyser les tendances des incendies afin de mieux en comprendre les causes fondamentales ainsi que d’approfondir les analyses de manière à estimer la fréquence des incendies. Grâce aux connaissances acquises dans le contexte de cette initiative, la CCSN renforcera son cadre de réglementation, ce qui pourrait comprendre le prochain examen et la tenue à jour de la norme du Groupe CSA N293, *Protection contre l’incendie dans les centrales nucléaires*. La réussite de ce projet est telle que la CCSN souhaite poursuivre sa participation dans le cadre de la phase V.



*L’équipe d’intervention en cas d’incendie de la centrale nucléaire de Point Lepreau inspecte un nouveau camion d’incendie.*

### Projet relatif aux événements de défaut d'arc de haute intensité

Un défaut d'arc de haute intensité est une décharge électrique massive qui peut survenir dans des composants de commutation électrique et être causée par de mauvais raccords électriques, certaines conditions environnementales (p. ex. corrosion) ou l'introduction d'un corps étranger conducteur (p. ex. une clé). En 2012, l'OCDE a entrepris le projet High Energy Arcing Fault Events (projet relatif aux événements de défaut d'arc de haute intensité), dans le cadre duquel elle réalise des essais afin de déterminer les mécanismes de dommages, l'ampleur des régions touchées, les méthodes de protection des systèmes, des structures et des composants ainsi que les méthodes de calcul possibles en vue de modéliser les événements de défaut d'arc de haute intensité dans le contexte de la protection contre l'incendie dans les centrales nucléaires. Les essais à l'aide d'équipement pleine grandeur sont terminés, et les données ont été communiquées aux participants au projet. À l'étape actuelle, on procède à l'analyse des données.

Les résultats de ce projet pourraient être intégrés dans le prochain examen de la norme du Groupe CSA N293, *Protection contre l'incendie dans les centrales nucléaires*. Ils pourraient également faciliter l'élaboration par la CCSN d'un document d'application de la réglementation sur la protection contre l'incendie ainsi que la réalisation d'analyses déterministes de sûreté sur les incendies (ce qui est important étant donné que les événements de défaut d'arc de haute intensité ont causé plusieurs incendies dans le passé) et favoriser le repérage de faiblesses potentielles dans les conceptions de défense en profondeur des centrales.

Veillez consulter le [site Web de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique](#) (en anglais seulement) pour obtenir de plus amples renseignements.

### Initiatives de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) est une organisation qui collabore avec ses États membres, y compris le Canada par l'intermédiaire de la CCSN, et d'autres partenaires du monde entier afin de vérifier la non-prolifération des substances et des installations nucléaires. La CCSN collabore avec elle dans le cadre de plusieurs projets, y compris le Projet sur les leçons génériques retenues de l'expérience internationale sur le vieillissement (IGALL) et le Centre international de sûreté sismique.



*Michael Binder, président de la CCSN (au milieu), et Ramzi Jammal, premier vice-président et chef de la réglementation des opérations (à gauche), accueillent Yukiya Amano (à droite), directeur général de l'AIEA.*

### **Centre international de sûreté sismique**

Le Centre international de sûreté sismique a été créé en 2008 afin d'aider le secteur nucléaire mondial à assurer la sûreté de ses installations lors de catastrophes naturelles ou de dangers artificiels extrêmes. Il renforce la capacité des États membres de l'AIEA de gérer et d'accroître la sûreté nucléaire en fournissant de meilleurs renseignements en vue du choix et de l'évaluation du site d'une installation nucléaire, du renforcement des conceptions techniques des nouvelles installations ainsi que de la modification des installations existantes, de l'amélioration des évaluations de sûreté et de l'acquisition d'expérience et de leçons apprises des événements externes extrêmes survenus antérieurement.

La CCSN aide le Centre international de sûreté sismique au moyen de contributions, de la participation de son personnel dans certains domaines de travail et de la diffusion des résultats de ses activités de recherche. Elle tire profit de la communication d'information avec des experts du monde entier, ce qui permet de veiller à ce que la réglementation canadienne soit à jour en tout temps. Par exemple, le Système de notification en cas de séisme de l'AIEA est un système Web qui envoie automatiquement aux utilisateurs inscrits, lorsque survient un événement sismique n'importe où au monde, une notification qui comprend une description et les coordonnées du lieu, la magnitude de l'événement ainsi que la distance par rapport aux installations nucléaires les plus proches. Ces renseignements peuvent permettre d'élaborer de meilleurs scénarios en vue d'estimer les dommages potentiels de séismes hypothétiques sur des installations nucléaires.

### **Projet sur les leçons génériques retenues de l'expérience internationale sur le vieillissement**

La base de données du projet Leçons Génériques Retenues de l'Expérience Internationale sur le Vieillessement (IGALL) constitue une plateforme internationale favorisant la discussion entre des organismes de réglementation et des fournisseurs de services publics sur la mise en œuvre de programmes acceptables de gestion du vieillissement. L'AIEA en est actuellement à la troisième étape du projet, qui consiste à mettre en œuvre le projet IGALL dans les centrales nucléaires ainsi qu'à étayer davantage la base de données. L'AIEA compte mettre à jour cette dernière en 2016.



*Le personnel de la CCSN et les membres du comité du projet IGALL à l'occasion de la réunion du groupe directeur du projet à Vienne*



## Autres activités internationales

### *Nuclear Regulatory Commission des États-Unis – Programme d’entretien et d’application des codes de thermohydraulique*

La CCSN demeure membre du Programme d’entretien et d’application des codes de thermohydraulique (CAMP) de la NRC des États-Unis (NRC). Cette dernière et ses partenaires internationaux ont établi le CAMP afin de communiquer l’information et l’expérience sur les problèmes de sûreté en matière de [thermohydraulique](#) relatifs aux systèmes des réacteurs et des centrales, y compris les erreurs de code et les anomalies. De plus, elle favorise notamment la coopération en vue de corriger les déficiences et de communiquer l’expérience utilisateur en matière de modélisation des installations et d’évaluation des codes. La participation à ce programme permet à la CCSN d’accéder aux codes informatiques du CAMP et, par conséquent, à des capacités modernes, indépendantes et, à bien des égards, accrues sur le plan des codes informatiques aux fins d’analyse de sûreté.



*Des délégués à l’école d’hiver de 2015 de l’Organisation canadienne des médecins médicaux à Kelowna (Colombie-Britannique)*

**Le saviez-vous?** L’Organisation canadienne des médecins médicaux constitue le principal ordre professionnel des médecins traitants au Canada. Chaque année, elle organise l’école d’hiver sur la qualité et la sûreté de la radio-[oncologie](#), avec l’appui de la CCSN. L’année dernière, près de 100 délégués provenant du Canada, des États-Unis, du Royaume-Uni, de l’Irlande et de l’Australie y ont participé. Parmi les délégués figuraient des médecins, des radiothérapeutes, des radio-oncologues et des administrateurs, ainsi que des représentants des organismes de réglementation et de l’industrie. L’école d’hiver représente quatre jours d’exposés sur des sujets comme les outils nécessaires pour apporter les améliorations à la sûreté et à la qualité de la radio-oncologie, des renseignements détaillés sur des outils comme le contrôle statistique des processus, les facteurs humains, les systèmes de gestion de la sûreté, la dosimétrie *in vivo* et la gestion du changement ainsi que la voie à suivre pour la médecine des rayonnements. Grâce à l’école d’hiver, les professeurs et les délégués acquerront de nouvelles connaissances qui leur permettront d’améliorer la qualité et la sûreté du traitement des patients.

### ***Initiatives du Programme canadien à l'appui des garanties***

L'AIEA est responsable de veiller à ce que la matière et les installations nucléaires ne soient utilisées qu'à des fins pacifiques, ce qu'elle réalise en mettant en œuvre des mesures de vérification communément appelées « garanties ». Le Programme canadien à l'appui des garanties (PCAG), l'un des premiers programmes d'appui aux garanties des États membres, a été créé en 1977 afin d'aider l'AIEA à produire l'équipement et les processus nécessaires à ces garanties. Le PCAG appuie la mise en œuvre des garanties et soutient l'AIEA en offrant une aide et des ressources techniques, notamment en mettant au point de l'équipement et des technologies nucléaires liés aux garanties. Par cet appui, le Canada démontre son engagement à l'égard de la non-prolifération nucléaire. Voici le résumé de quelques réalisations du PCAG au cours de l'exercice 2015-2016.

#### ***Soutien technique pour le prototype d'appareil portable de spectroscopie sur plasma induit par laser***

La [spectroscopie](#) sur plasma induit par laser excite et examine, à l'aide d'un laser pulsé, un échantillon de matière nucléaire. L'appareil est muni d'un logiciel spécialisé permettant d'analyser le rayonnement émis et de cerner ainsi non seulement les éléments, mais aussi les composés. Plus particulièrement, la spectroscopie sur plasma induit par laser permet de cerner diverses matières nucléaires qui ont une incidence sur les garanties. Cette technique au moyen d'équipement de laboratoire est bien établie, mais la mise au point d'un appareil portable destiné aux inspecteurs de l'AIEA sur le terrain s'est avérée difficile.

Le Conseil national de recherches du Canada, grâce au financement du PCAG, met au point un appareil portable de spectroscopie sur plasma induit par laser et le logiciel connexe d'analyse de la [chimie](#). Cet appareil sera en mesure d'identifier différents types de [concentré de minerai d'uranium](#) (aussi appelé « yellowcake ») et d'évaluer d'autres indicateurs non radioactifs du [cycle du combustible nucléaire](#). Il a été présenté à l'AIEA à l'été 2016 aux fins d'évaluation approfondie. L'AIEA utilisera ensuite cet appareil portable en tant que référence pour l'évaluation des dispositifs laser portatifs commerciaux. En définitive, l'appareil vise à permettre aux inspecteurs de l'AIEA de procéder à l'essai d'échantillons sur le terrain, réduisant ainsi le nombre d'échantillons devant être envoyés au laboratoire de l'AIEA aux fins d'analyse.



*Un appareil portable de spectroscopie sur plasma induit par laser*

L'AIEA utilisera cet appareil portable en tant que référence pour l'évaluation des dispositifs laser portatifs commerciaux.

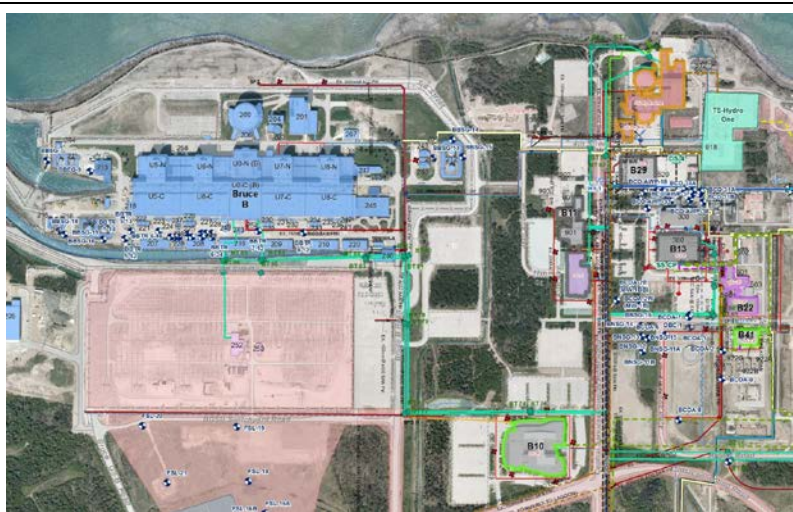
### ***Élaboration de modèles prédictifs approfondis d'émissions de rayonnement Cerenkov dans le combustible usé***

Les responsables du PCAG collaborent avec ceux du programme suédois à l'appui des garanties dans le cadre d'activités de recherche sur l'utilisation des émissions de [rayonnement Cerenkov](#) en vue de caractériser le combustible nucléaire usé. À cette fin, l'AIEA a demandé de l'aide afin d'acquérir la capacité d'estimer avec précision l'émission lumineuse de rayonnement Cerenkov produit par le combustible usé provenant de toute conception tout en tenant compte de la composition initiale du combustible, des antécédents de radioexposition et de la conception du combustible.

Ce projet vise à renforcer, au moyen de la technologie canadienne (plus particulièrement, l'appareil de visualisation numérique Cerenkov), la capacité de vérifier et de repérer le détournement du combustible usé stocké en piscine. Le PCAG a favorisé la mise au point de l'appareil de visualisation numérique Cerenkov depuis sa création, et ce projet vise à continuer dans la même veine.

### ***Déclaration au moyen de cartes de site numériques***

Bien que les cartes de site soient obligatoires dans le cadre des [déclarations en vertu du Protocole additionnel \(PA\)](#) des États membres de l'AIEA, la plupart sont présentées en format papier. L'installation de Bruce Power s'est portée volontaire dans le cadre d'un projet pilote (coordonné dans son ensemble par la CCSN) visant à aider l'AIEA à élaborer un format et une méthode normalisés de présentation des cartes de site numériques dans les systèmes d'information existants et dynamiques de l'AIEA. La présentation de cartes de site numériques permettra de renforcer considérablement la capacité de l'AIEA d'élaborer et de tenir à jour des cartes de site fiables afin d'orienter ses activités de vérification.



*Une carte de site numérique intégrée destinée aux déclarations en vertu du Protocole additionnel de l'AIEA*

Au moyen d'efforts de consultations et de perfectionnement continu déployés durant trois ans, l'AIEA a élaboré un document-cadre fournissant une orientation à ses États membres en ce qui a trait à la présentation de cartes numériques aux fins de déclarations en vertu du PA. En fonction de ce cadre, Bruce Power a présenté une carte numérique à l'AIEA dans le contexte de sa déclaration pour 2015.

Une étude concertée à cet égard, élaborée conjointement par la CCSN, Bruce Power et l'AIEA, a été présentée en 2016 à l'occasion de la réunion annuelle de l'Institute of Nuclear Materials Management qui a eu lieu à Atlanta (Géorgie).



### ***Élaboration du module Autonome d'Acquisition des Données de prochaine génération***

La vérification du chargement et du déchargement du combustible des réacteurs CANDU représentait pour l'AIEA un problème sur le plan de la vérification des garanties. Le système de surveillance intégrée du combustible VIX (SICV) a été mis au point dans le cadre du PCAG afin de résoudre ce problème et sert à garantir les réacteurs CANDU au Canada et à l'étranger. Afin de fournir à l'AIEA de l'information en temps réel, le système de SICV dépend du module autonome d'acquisition des données (ADAM). Le module ADAM de prochaine génération (NGAM) en cours d'élaboration remplace le matériel informatique existant et intègre de nouvelles capacités sur le plan du stockage de données et de la connectivité.

En 2015-2016, l'AIEA a établi définitivement les exigences de la deuxième étape de la mise au point du NGAM. Conformément à ces exigences, huit tâches ont été réalisées par l'entrepreneur choisi, Bot Engineering. Les résultats de ces tâches font actuellement l'objet d'un examen et d'une évaluation par l'AIEA.

### ***Application des garanties aux dépôts géologiques***

Le projet d'application des garanties aux dépôts géologiques (ASTOR) vise à permettre la communication entre les États membres de l'AIEA et les chercheurs des faits nouveaux sur le plan de l'application des garanties à un dépôt géologique en vue du confinement à long terme du combustible nucléaire usé. Dans le cadre de ce projet, la CCSN a participé et a contribué à la réunion de 2015 sur l'ASTOR qui a eu lieu à Gyeongju, en Corée du Sud. À cette occasion, un représentant de chaque État membre a présenté un exposé sur l'état d'avancement des programmes nationaux de son pays, et les concepteurs d'équipement ainsi que les chercheurs ont fait des exposés sur diverses nouvelles technologies et techniques qui pourraient être appliquées à la garantie du combustible usé dans un dépôt géologique.

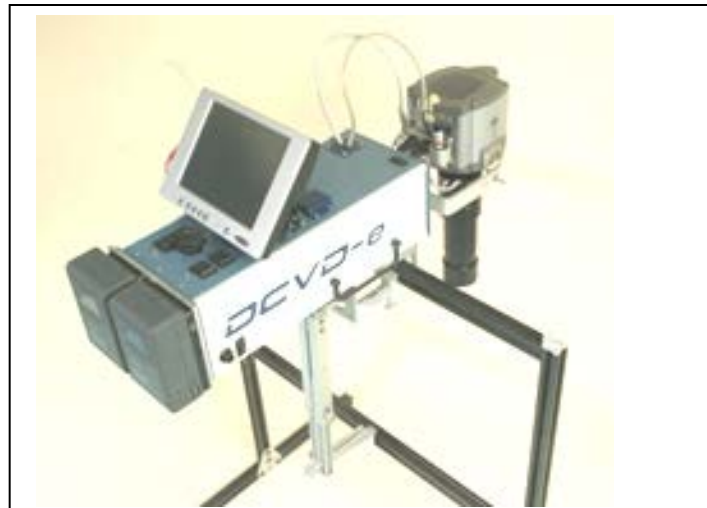


*Ramzi Jammal, premier vice-président et chef de la réglementation des opérations de la CCSN, prononce une allocution à l'occasion de la septième réunion d'examen de la Convention sur la sûreté nucléaire à Vienne.*

### ***Formation des inspecteurs de l'AIEA***

Le système de SICV, qui permet à l'AIEA de surveiller à distance la décharge du combustible des réacteurs CANDU, a été mis au point dans le cadre du PCAG, et son utilisation par l'AIEA est répandue dans les installations dotées de réacteurs CANDU du monde entier. Le projet visait essentiellement à offrir aux inspecteurs de l'AIEA une formation sur le système de surveillance du combustible. Le cours portait sur l'architecture, la fonction et l'application du système de SICV, la surveillance des données, l'analyse et l'interprétation ainsi que l'importance de la continuité des connaissances. À la fin du cours, les inspecteurs de l'AIEA auront acquis des connaissances qui serviront à appuyer la mise en œuvre d'inspections efficaces des garanties dans les installations dotées de réacteurs CANDU par l'AIEA. En février 2016, Eton Systems a livré le cours actualisé.

De plus, le Canada a établi un partenariat avec la Suède et la Finlande pour élaborer en 2015-2016 deux formations à l'intention des inspecteurs de l'AIEA : l'une sur la vérification des défauts partiels de l'appareil de visualisation numérique Cerenkov (DCVD) et l'autre sur la vérification du combustible usé (SFV). L'AIEA a demandé l'élaboration de ses cours afin de transmettre aux inspecteurs les vastes connaissances et compétences dont ils ont besoin pour vérifier le combustible usé aux fins de garanties. Le volet théorique des deux cours portant sur la SFV et le DCVD ont principalement été donnés par un instructeur canadien au siège social de l'AIEA en novembre 2015. Le volet pratique (ateliers et exercices sur le terrain) a été donné en Suède en mars 2016. Douze personnes ont assisté à la formation sur le SFV, et huit à celle sur le DCVD. Selon la rétroaction, ces cours ont été accueillis favorablement et ont atteint leurs objectifs.



*Appareil de visualisation numérique  
Cerenkov (DCVD)*

Un DCVD peut servir de méthode non intrusive d'inspection et de vérification du combustible nucléaire usé grâce à une meilleure détection des défauts partiels (p. ex. aiguilles de combustible manquantes).



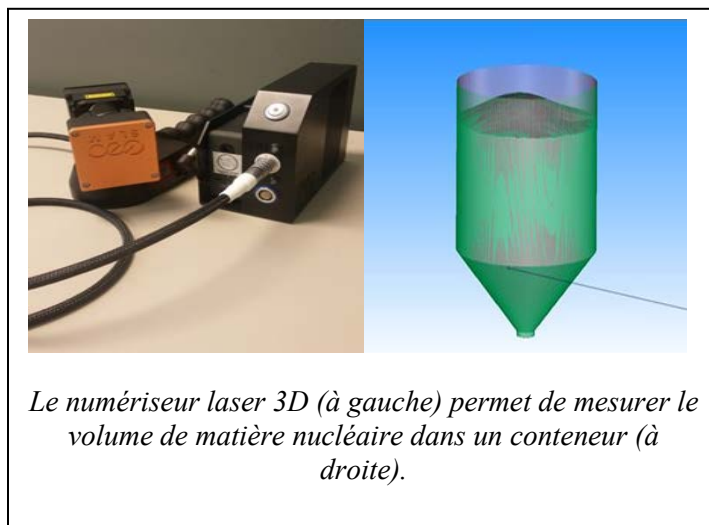
### ***Experts à titre gracieux : communications protégées et imagerie par satellite***

Un expert à titre gracieux est une personne dotée de compétences spécialisées qui travaille pour l'AIEA, mais dont le salaire est versé par l'État membre qui la parraine. Le PCAG a permis de financer deux experts à titre gracieux en 2015-2016 :

- Un expert provenant de la Direction de la gestion et de la technologie de l'information de la CCSN a participé à la mise à niveau de l'infrastructure des TI du département des garanties de l'AIEA afin de fournir une voie de communication sécurisée pour le téléchargement des rapports officiels et d'autres communications de nature délicate à l'intention de l'AIEA. Ces efforts facilitent la présentation par la CCSN de rapports sur les garanties à l'AIEA par l'intermédiaire d'un système automatisé.
- Un expert de Recherche et développement pour la défense Canada participe à l'intégration du [radar à synthèse d'ouverture](#) (RSO) au sein de l'équipe de l'AIEA chargée de l'imagerie par satellite. Cet expert à titre gracieux donne également une formation sur l'application du RSO aux analystes des garanties à l'AIEA. L'utilisation de l'imagerie radar renforcera la capacité de l'AIEA de tirer des conclusions efficaces et efficaces relatives aux garanties pour les États membres, ce qui contribue au mandat de la CCSN à l'égard des obligations internationales du Canada relatives à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

### ***Évaluation du numériseur laser 3D aux fins de mesure de matière sous forme de poudre dans de grands conteneurs***

Afin d'améliorer la prise d'inventaire du stock physique dans les installations de traitement de l'uranium, on examine de nouvelles technologies en vue d'évaluer la quantité de poudre contenant de l'uranium dans de grands conteneurs. L'incertitude des techniques conventionnelles sur le plan des mesures est vaste, ce qui complique le processus d'évaluation du bilan matières, lequel est essentiel pour que l'AIEA et la CCSN mènent à bien la mise en œuvre des garanties. Durant l'exercice 2015-2016, le PCAG a financé un projet visant à faire l'acquisition d'équipement de numérisation laser 3D en vue d'établir une méthode qui permettrait de mesurer exactement le volume de poudre en vrac dans les grands conteneurs d'uranium, renforçant ainsi la confiance à l'égard des déclarations canadiennes d'inventaires de matières nucléaires. En 2016, le personnel de la CCSN utilisera l'équipement de numérisation laser 3D à l'occasion des processus d'inventaire du stock physique dans les grandes installations de traitement de l'uranium.



*Le numériseur laser 3D (à gauche) permet de mesurer le volume de matière nucléaire dans un conteneur (à droite).*

### ***Sensibilisation à l'égard des garanties***

Par l'intermédiaire de cette initiative, la CCSN sensibilise les institutions de recherche et les entreprises canadiennes à l'égard des garanties et des obligations connexes, notamment l'exigence en matière d'établissement de rapports sur les matières nucléaires et la recherche liée au cycle du combustible nucléaire au Canada. Les activités de sensibilisation ont été financées aux termes du mandat du PCAG visant le renforcement du régime de garanties au Canada. Huit titulaires de permis ont été choisis dans le contexte de l'activité de sensibilisation initiale, y compris des universités et des organismes du secteur privé. On s'attend à ce que tous les sites visités soient en mesure d'améliorer la qualité de leurs rapports sur les garanties grâce à ces activités de sensibilisation.

### ***Formation des inspecteurs sur la protection contre les chutes et l'ajustement des appareils respiratoires***

Les inspecteurs de l'AIEA doivent obtenir une attestation avant de travailler en hauteur dans les installations nucléaires canadiennes. Étant donné que chaque installation canadienne est dotée de ses propres exigences en matière d'attestation, les inspecteurs doivent suivre de multiples cours qui prennent beaucoup de temps, et l'établissement de l'horaire des inspecteurs est assujéti à de nombreuses contraintes. Par conséquent, l'AIEA a demandé à la CCSN de trouver une façon d'uniformiser l'approche de la formation sur la protection contre les chutes. Après avoir examiné certaines possibilités ainsi que les exigences de différentes compétences provinciales, la CCSN a déterminé que l'approche la plus rentable consisterait à donner la formation à Vienne avant l'arrivée des inspecteurs de l'AIEA au Canada.

En mars 2016, le PCAG a permis de financer la formation de 24 inspecteurs de l'AIEA, ce qui a mené à leur attestation pour trois ans dans toutes les installations nucléaires au Canada qui exigent d'avoir suivi la formation sur la protection contre les chutes, à l'exception d'une seule. Cette dernière installation s'est engagée à uniformiser la formation des inspecteurs.



*Terry Jamieson, vice-président de la Direction générale du soutien technique de la CCSN, prononce un discours à l'occasion de la mission du Service consultatif international sur la protection physique (SCIPP) au Canada en 2015.*

L'AIEA a créé la mission du SCIPP pour aider les États membres à renforcer leur régime national de sécurité nucléaire. Le système de protection physique de la CCSN a été examiné dans le cadre de cette mission et a été jugé satisfaisant.

### ***Évaluation des détecteurs de neutrons***

À l'automne 2015, on a procédé à l'évaluation du signal de neutrons provenant du [laitier](#) riche en uranium et des matières historiques à Port Hope (Ontario). Cette évaluation s'inscrivait dans le cadre d'une étude examinant l'efficacité d'une proposition de l'AIEA visant à quantifier, au moyen de détecteurs de neutrons, le volume de matières nucléaires assujetties aux garanties qui sera stocké à l'installation de gestion à long terme des déchets située à proximité de Port Hope. L'entrepreneur a présenté un rapport exhaustif des mesures prises sur deux jours. Les échantillons des matières ont également été envoyés au laboratoire de la CCSN aux fins d'analyse. Cette analyse a permis de conclure qu'il était possible de détecter un signal de neutrons provenant des matières en question, ce qui soutient la possibilité pour l'AIEA d'utiliser des détecteurs de neutrons pour vérifier de telles matières avant le stockage final à l'installation de gestion à long terme des déchets.

### ***Variation de la densité de la poudre en fonction de la hauteur de remplissage et de la géométrie du conteneur***

Dans le cadre des efforts déployés par la CCSN en vue d'améliorer l'évaluation du bilan des matières nucléaires dans les installations de traitement de l'uranium au moment de l'inventaire du stock physique, il est également important d'améliorer l'évaluation des volumes, de la densité et de la teneur en uranium des poudres qui en contiennent stockées dans les installations. Afin de mieux comprendre la manière dont la densité varie et de déterminer quels facteurs sont importants, le PCAG a retenu les services d'une tierce partie afin de procéder à un examen de la documentation à cet égard. En mars 2016, la CCSN a fait l'acquisition d'équipement de numérisation laser 3D pour améliorer la mesure du volume ou de la poudre d'uranium dans les grands conteneurs. L'évaluation de l'équipement aura lieu en 2016 à l'occasion de l'inventaire du stock physique dans certaines installations de traitement de l'uranium. On prévoit également d'examiner les variations sur le plan de la densité des matières dans ces grands conteneurs et son incidence sur la détermination de la masse de l'uranium.



*Un employé de la CCSN mesure les niveaux de rayonnement à l'extérieur d'un camion de transport des déchets.*

Les déchets radioactifs ne peuvent être éliminés au moyen des mêmes méthodes que les déchets normaux. Ils doivent être adéquatement scellés et stockés afin qu'aucun rayonnement ne soit rejeté dans l'environnement et que le public n'y soit pas exposé.

## Renforcement de la prochaine génération

La participation à des activités de relations externes aide la CCSN à atteindre l'un des principaux objectifs de son mandat, soit d'informer objectivement le public sur les plans scientifique ou technique ou de la réglementation. Ces activités permettent aussi à la CCSN de montrer son dévouement à l'égard du maintien de la sûreté et de la confiance du public ainsi que de renforcer la prochaine génération. Elle y parvient notamment en appuyant les activités au moyen de diverses contributions et bourses destinées aux universités et aux organismes sans but lucratif. La CCSN participe également à des activités visant à sensibiliser les élèves du primaire, à des programmes d'enseignement coopératif universitaires ainsi qu'à des activités publiques. La CCSN estime que, en renforçant la prochaine génération, elle aidera les chercheurs, les ingénieurs et les spécialistes techniques de demain à devenir de bons leaders d'activités de recherche et à atteindre les objectifs de son programme de recherche.



*Les employés de la CCSN sensibilisent des enfants à l'occasion de l'activité « Samedi science et frissons » de 2016.*



## Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire

Chaque année, la CCSN contribue au Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire (UNENE), un partenariat entre le secteur nucléaire et les universités, les institutions de recherche et les organismes de réglementation du Canada. Établi en 2002, l'UNENE compte trois principaux objectifs : former du personnel hautement qualifié et le perfectionner au moyen d'activités de recherche et de formation; créer un bassin d'experts scientifiques aux fins de consultations par le gouvernement et l'industrie; soutenir et financer les activités de recherche nucléaire dans les universités. L'UNENE permet à des professionnels d'obtenir une maîtrise en génie au terme d'un programme visant à renforcer les connaissances des étudiants. La CCSN fait partie de divers comités de l'UNENE, y compris le conseil d'administration et le comité consultatif sur la recherche.



*La lauréate du premier prix de l'atelier de l'UNENE destiné aux étudiants de 2015, en compagnie de la présidente de l'UNENE, Basma Shalaby, Ph.D.*

Chaque année, l'UNENE organise un atelier destiné aux étudiants et une séance de présentations sur affiches lors de laquelle des étudiants universitaires des cycles supérieurs de l'ensemble du pays ont l'occasion de présenter aux membres du secteur nucléaire les résultats de leurs activités de recherche. À cette occasion, trois gagnants sont choisis; les efforts déployés par le lauréat du premier prix de l'atelier de l'année dernière étaient axés sur la corrosion de l'acier au carbone lorsque les déchets de combustible nucléaire usé sont stockés dans des dépôts en formations géologiques profondes.

Visitez le site Web de [l'UNENE](#) (en anglais seulement) pour obtenir de plus amples renseignements.

## Parlons sciences

Parlons sciences est un organisme sans but lucratif qui se sert de divers services et programmes d'apprentissage axés sur la science pour encourager les jeunes Canadiens à faire carrière dans les sciences, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques. Au cours de la dernière année, Parlons sciences a mobilisé plus d'un million de jeunes et 15 000 enseignants dans 1 500 collectivités de l'ensemble du pays.

La CCSN contribue à Parlons sciences afin de sensibiliser des étudiants et des enseignants à la technologie nucléaire. À cette fin, Parlons sciences a créé des occasions de mobilisation pour le personnel de la CCSN, a rédigé des articles mettant en valeur les différents secteurs de l'industrie nucléaire, a publié des vidéos (dont certains ont été produits par la CCSN), a élaboré une étude de cas sur la technologie nucléaire, a compris de l'information sur l'imagerie nucléaire et l'énergie nucléaire lors d'activités à l'intention d'étudiants, a ajouté la technologie nucléaire à sa trousse de sensibilisation et a inclus la science nucléaire aux symposiums qu'elle présente dans les écoles secondaires. Parlons sciences compte également faire appel à davantage de bénévoles dotés d'expertise en science et technologie nucléaires et continuera de mettre en valeur la collaboration avec la CCSN en vue de sensibiliser le public au domaine nucléaire.

Visitez le [site Web de Parlons sciences](#) pour obtenir de plus amples renseignements.

## Renouvellement de l'effectif de la CCSN

Afin de contrer la perte d'expertise technique lors du départ à la retraite de ses employés, la CCSN a mis en œuvre un programme visant à attirer davantage de diplômés universitaires au sein du secteur nucléaire. Plus de 70 nouveaux employés, soit environ 10 % de l'effectif actuel de la CCSN, ont été intégrés à l'organisation par l'intermédiaire de ce programme depuis 2014. Ces nouveaux diplômés, qui occupent des postes dans l'ensemble de la CCSN, mais plus particulièrement dans les domaines de la science et du génie, ont l'occasion d'accepter tour à tour diverses affectations au sein de l'organisation et de perfectionner ainsi leurs compétences, ce qui crée par le fait même un bassin de talents diversifiés qui pourra soutenir la CCSN au cours des prochaines années. Bon nombre de ces nouveaux diplômés participeront à des concours afin de pourvoir des postes à l'interne et pourraient devenir ultérieurement des leaders de la recherche à la CCSN.

### *Programme d'enseignement coopératif de la CCSN*



*Des étudiants du programme d'enseignement coopératif de la CCSN provenant de l'Institut de technologie de l'Université de l'Ontario.*

La CCSN a embauché huit étudiants au programme d'enseignement coopératif en 2015 et cinq étudiants de plus en 2016. Dans le cadre de ce programme de 15 mois, les étudiants font des stages de quatre mois dans différentes divisions de la CCSN et, à la fin de chaque stage, présentent les résultats de leur travail.



*Harishan Manoharan, étudiant du programme d'enseignement coopératif et coauteur du présent rapport, à l'occasion d'une visite des Laboratoires Nucléaires Canadiens.*

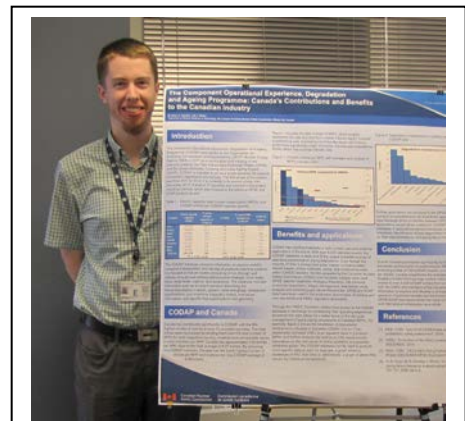
Dans le cadre du programme d'enseignement coopératif de la CCSN, les étudiants ont l'occasion d'acquérir de l'expérience pratique en visitant des installations nucléaires.

Chaque année, la CCSN embauche des étudiants universitaires dans le cadre d'un programme d'enseignement coopératif de 15 mois, leur faisant faire des stages dans quatre divisions différentes de la CCSN afin de leur permettre d'acquérir de l'expérience professionnelle et pratique au sein du secteur nucléaire. Dans le contexte du programme d'enseignement coopératif de la CCSN, les étudiants profitent souvent de possibilités de voyager ou de participer à des activités professionnelles à l'extérieur des bureaux d'Ottawa, notamment des inspections d'installations comme des centrales nucléaires ou des mines d'uranium, des réunions techniques avec des titulaires de permis, des séances de formation et diverses conférences de l'industrie.

En 2015, huit étudiants sont entrés au service de la CCSN par l'intermédiaire du programme d'enseignement coopératif. En tout, 46 étudiants ont participé à ce programme d'enseignement coopératif depuis sa création en 2006, et 52 % d'entre eux ont été embauchés à temps plein au terme de leurs stages. Parmi ces derniers, 88 % demeurent au sein de l'organisation. La CCSN est constamment à la recherche de personnes compétentes qui sont engagées, curieuses et disposées à apprendre.

### **Participation d'étudiants de la CCSN à la conférence annuelle de la Société nucléaire canadienne**

Par l'intermédiaire du programme d'enseignement coopératif de la CCSN, certains étudiants ont l'occasion de participer à des conférences et d'y présenter leurs travaux. L'un des étudiants de la CCSN a participé à la conférence annuelle de 2016 de la Société nucléaire canadienne afin d'y présenter ses travaux sur un projet de recherche de la CCSN lié au Programme de l'AEN sur l'expérience opérationnelle, la dégradation et le vieillissement des composants (CODAP) : une base de données internationales sur la dégradation et la défaillance des composants passifs axée sur les systèmes sous pression. Le Canada participe au CODAP depuis sa création en 2011 et participait déjà à ses deux projets précurseurs. Les travaux présentés à l'occasion de la conférence de la Société nucléaire canadienne ont permis de présenter le projet, de comparer la participation du Canada à celle des autres pays membres et d'en expliquer les avantages et applications potentiels.



*Michael Rivet, étudiant du programme d'enseignement coopératif et coauteur du présent rapport, présente ses travaux à la 36<sup>e</sup> conférence annuelle de la Société nucléaire canadienne.*

## **Futures activités de recherche de la CCSN**

La recherche en réglementation demeure essentielle à l'acquisition de connaissances et d'information à l'appui de la mission du personnel de la CCSN en la matière.

Au cours des prochaines années, les principaux domaines de recherche de la CCSN demeureront la gestion du vieillissement des installations dotées de réacteurs, la gestion des déchets en vue du stockage potentiel de déchets ainsi que la recherche de nouvelles technologies, comme celle des petits réacteurs modulaires. La CCSN maintiendra le dynamisme de son programme de recherche afin de veiller à ce que son personnel soit en mesure d'acquérir les renseignements scientifiques de pointe lui permettant d'enrichir ses capacités d'évaluation.

La collaboration avec les parties intéressées nationales et internationales en vue de communiquer l'information et les pratiques exemplaires continuera de faire partie intégrante du programme de recherche de la CCSN. La coopération avec des organisations comme l'AIEA, le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire et Énergie atomique du Canada Limitée ainsi qu'avec les responsables du programme fédéral en science et technologie nucléaires de RNCan permettra de veiller à ce que le secteur nucléaire mondial continue d'adopter les pratiques exemplaires les plus sûres possible.

Enfin, la CCSN continuera de publier le présent rapport annuel en vue de diffuser l'information à l'égard de ses projets de recherche et de sa participation aux activités du secteur nucléaire dans le but de respecter son mandat d'informer objectivement le public sur les plans technique et de la réglementation.



## Glossaire

**Biocinétique** : Étude scientifique des changements et des mouvements de la croissance qui se produisent au cours du développement des organismes.

**Caractérisation des incertitudes** : Caractérisation de situations dans lesquelles il est impossible de décrire exactement soit l'état actuel, soit un ou plusieurs résultats possibles à l'avenir.

**Chimimétrie** : Approche méthodique de l'analyse chimique.

**Combustion dans le réacteur** : Mesure de la quantité d'énergie produite par une source principale de combustible dans un réacteur.

**Concentré de minerai d'uranium (yellowcake)** : Type de poudre de concentré d'uranium qui représente une étape intermédiaire du processus de traitement de l'uranium à la suite de son extraction minière.

**Cycle du combustible nucléaire** : Ensemble des processus industriels qui s'inscrivent dans le cadre de la production d'électricité à partir d'uranium dans les centrales nucléaires.

**Déclarations en vertu du Protocole additionnel** : Document juridique qui confère à l'AIEA le pouvoir de vérifier la conformité de ses États membres à leurs obligations en matière de garanties.

**Déclenchement** : Mise à l'arrêt automatique ou manuelle d'une centrale nucléaire.

**Dépôt dans des formations géologiques profondes** : Dépôt de déchets nucléaires profondément excavé dans un environnement géologique stable.

**Eau tritiée** : Forme radioactive de l'eau, c'est-à-dire que les atomes d'hydrogène habituellement présents dans l'eau sont remplacés par du tritium.

**Effectif minimal** : Nombre minimal de travailleurs qualifiés qui doivent être présents en tout temps pour assurer l'exploitation sûre d'une installation nucléaire. Le nombre d'employés de l'effectif minimal et leurs qualifications doivent être adéquats pour mener à bien une intervention en cas d'événements crédibles, y compris les conditions exigeant un maximum de ressources, et ce, dans tous les états de fonctionnement.

**Essai biologique** : Type d'essai scientifique réalisé au moyen de cellules ou de tissus vivants afin de déterminer l'activité biologique d'une substance.

**Excréta** : Déchets éliminés par le corps, notamment les matières fécales et l'urine.

**Flux neutronique** : Débit des neutrons (c.-à-d. le nombre de neutrons passant dans une unité d'aire pour une durée donnée).

**Laitier** : Déchets séparés des métaux pendant la fusion ou le raffinage d'un minerai.

**Méthode de Bayes (bayésienne)** : Méthode statistique qui attribue des probabilités ou des distributions à des événements ou à des paramètres en fonction d'expériences antérieures ou de la meilleure estimation.

**Neutronique** : Étude des caractéristiques et de la distribution des populations de neutrons dans un système.

**Oncologie** : Étude et traitement des tumeurs.

**Pentes d'extrémité :** Angle formé par l'intersection entre l'axe du tube de force, à la position du raccord d'extrémité, et la droite s'étendant d'un bout à l'autre du tube.

**Perméabilité :** Mesure dans laquelle une substance magnétisable peut modifier le flux d'un champ magnétique.

**Poussière de minerai :** Poussière provenant d'une matière naturelle de laquelle un métal ou un minéral utile peut être extrait de façon rentable.

**Produit de fission :** Noyau atomique plus léger produit par la fission d'un noyau plus lourd.

**Protection contre la surpuissance neutronique (locale) :** Système constitué d'un détecteur et situé dans le cœur d'un réacteur d'une centrale nucléaire ayant pour but de déclencher l'arrêt du réacteur lorsque le flux neutronique, à tout endroit dans le cœur du réacteur, dépasse le seuil de déclenchement établi.

**Radar à synthèse d'ouverture :** Dispositif de télédétection à haute résolution permettant d'obtenir des images.

**Radionucléide :** Atome rendu instable par un surplus d'énergie nucléaire.

**Radon :** Gaz radioactif naturel produit par la décomposition de l'uranium dans la terre, dans la roche ou dans l'eau.

**Rapport de fluage :** Indice de fluage par rapport à l'indice de compression.

**Rayonnement Cerenkov :** Rayonnement électromagnétique émis lorsqu'une particule chargée traverse un milieu diélectrique à une vitesse plus rapide que la vitesse de phase de la lumière dans ce milieu.

**Résidus :** Matières restantes lorsque la portion utile d'un minerai est séparée de la portion sans valeur économique.

**Spectroscopie :** Étude de l'interaction entre la matière et le rayonnement électromagnétique.

**Stockage :** Action de stocker quelque chose sur une surface ou dans une zone au cours d'une période donnée.

**Synchrotron :** Cyclotron dans lequel la force du champ magnétique s'accroît en fonction de l'énergie des particules afin d'en maintenir le rayon orbital.

**Tableaux d'identification et de classement de phénomènes et de paramètres clés :** Méthode systématique visant à recueillir des renseignements provenant d'experts sur un sujet donné, puis à accorder une note à l'importance de ces renseignements afin de faciliter l'atteinte d'un objectif dans le contexte d'un processus décisionnel.

**TECDOC :** Documents d'orientation technique aidant les organismes de réglementation, les concepteurs, les fournisseurs et les exploitants à comprendre les exigences de sûreté de l'AIEA.

**Thermohydraulique :** Étude du flux hydraulique des fluides thermiques.

**Triaxial :** Le fait d'être doté de trois axes.

**Tritium :** Isotope de l'hydrogène formé de deux neutrons et d'un proton.

**Tritium lié aux composés organiques :** Tritium lié à du carbone.

**Zone de pergélisol continu :** Zone où plus de 80 % de la surface du sol repose sur du pergélisol.

## Annexe : Documents, présentations et articles techniques de la CCSN

La CCSN est bien reconnue par ses homologues, ce qu'elle parvient à accomplir au moyen de la publication d'articles dans des revues scientifiques et de la présentation d'exposés à l'occasion de conférences, d'ateliers et de réunions de l'AEN et de l'AIEA.

Le tableau suivant comprend une liste de documents techniques, d'exposés et d'articles publiés ou présentés par le personnel de la CCSN au cours de l'exercice 2015-2016.

Sujet	Type	Événement / publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
<a href="#">Détermination de la teneur en hydrazine des rejets des centrales nucléaires de l'Ontario</a> (en anglais seulement)	Article avec comité de lecture	<i>Analytical Methods</i> , 7, 9825–9834	Octobre 2015	Royal Society of Chemistry	S. Jovanovic T. Zakharov H. Mulye D. Kim K. Fagan
<a href="#">Mesure <i>in situ</i> du flux par évapotranspiration du tritium (<sup>3</sup>H-EC) au-dessus de l'herbe et du sol. par les méthodes expérimentales du gradient et de la covariance des turbulences et par le modèle FAO-56</a> (en anglais seulement)	Article avec comité de lecture	<i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 148	Octobre 2015	Elsevier	O. Connan D. Maro D. Hebert L. Solier P. Caldeira Ideas P. Laguionie N. St-Amant
<a href="#">Exercice concerté d'analyse du tritium lié aux composés organiques par les laboratoires canadiens</a> (en anglais seulement)	Article avec comité de lecture	<i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 150	Décembre 2015	Elsevier	S.B. Kim J. Olfert N. Baglan N. St-Amant B. Carter I. Clark C. Bucur
<a href="#">Étude sur les niveaux de radioactivité dans des échantillons de poisson prélevés dans la région des lacs expérimentaux, en Ontario (Canada)</a> (en anglais seulement)	Article avec comité de lecture	<i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 153	Mars 2016	Elsevier	J. Chen M.D. Rennie B. Sadi W. Zhang N. St-Amant



Sujet	Type	Événement / publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
<a href="#">Faut-il ignorer la contribution des produits de filiation d'U-235 à la dose?</a> (en anglais seulement)	Article avec comité de lecture	<i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 151, 114-125	Septembre 2015	Elsevier	K. Beaugelin-Seiller R.R. Goulet S. Mihok N.A. Beresford
<a href="#">Impact de la dureté chimique de nature environnementale sur la spéciation de l'uranium et la toxicité chez six espèces aquatiques</a> (en anglais seulement)	Journal scientifique en libre accès avec comité de lecture	<i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> , 34(3), 562-574	2015	Elsevier	R.R. Goulet P.A. Thompson K.C. Serben C.V. Eickoff
<a href="#">Comportement du tritium dans le sol et les végétaux en fonction de trois régimes d'irrigation sur le site d'une installation de traitement du tritium canadienne</a>	Article avec comité de lecture	<i>Journal of Environmental Radioactivity</i> , 153, 176-187	Mars 2016	Elsevier	N-O.A. Kwamena S. Mihok M. Wilk A. Lapp N. St-Amant I. Clark
<a href="#">Effets non ciblés et cancers causés par le rayonnement : un examen</a> (en anglais seulement)	Journal scientifique en libre accès avec comité de lecture	<i>Journal of Radiological Protection</i>	Le 24 février 2016	IOP Publishing	J.J. Burt P.A. Thompson R.M. Lafrenie
<a href="#">Le recours à l'état d'arrêt garanti à l'aide de barres dans les réacteurs CANDU</a>	Résumé d'un document technique	Congrès international de 2015 sur les progrès des centrales nucléaires	Du 3 au 6 mai 2015	Nice, France	D. Serghiuta J. Tholammakkil
<a href="#">Aspects de l'évaluation de la puissance de canal critique et de l'incertitude connexe dans l'analyse des incidents de perte lente de régulation dans un réacteur CANDU</a>	Résumé d'un document technique	16 <sup>e</sup> Réunion internationale sur la thermohydraulique des réacteurs nucléaires	Du 30 août au 4 septembre 2015	Chicago (Illinois)	Y. Guo N. Hammouda

Sujet	Type	Événement / publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
<a href="#">Progression d'accident grave sans intervention de l'opérateur</a>	Résumé d'un document technique	Aucune mention	Le 7 octobre 2015	Ottawa (Ontario)	Personnel de la CCSN
<a href="#">État de préparation des centrales nucléaires canadiennes en vue de l'exploitation à long terme</a>	Résumé d'une présentation technique	Conférence internationale sur la sûreté de l'exploitation	De 23 au 26 juin 2015	Vienne, Autriche	A. Blahoianu
<a href="#">Approche actuelle en matière de réglementation pour la protection-incendie aux installations nucléaires du Canada</a>	Résumé d'une présentation technique	1 <sup>re</sup> réunion technique sur la sécurité-incendie et la préparation aux situations d'urgence au sein du secteur nucléaire, Société Nucléaire Canadienne	Du 17 au 19 juin 2015	Mississauga (Ontario)	A. Bounagui I. Bolliger A. Blahoianu
<a href="#">Facteurs réglementaires concernant les articles à long délai de livraison pour les installations dotées de réacteurs nucléaires</a>	Résumé d'un document technique	15 <sup>e</sup> Symposium sur les problèmes de contrôle de l'information dans la fabrication	Du 11 au 13 mai 2015	Ottawa (Ontario)	D. Mroz N. Shykinov G. Schwarz M. de Vos
<a href="#">Capacité des vannes de décharge du condenseur de purge/dégazeur des centrales CANDU en exploitation à atténuer adéquatement les conséquences d'un accident de perte totale des sources froides</a>	Résumé d'un document technique	Aucune mention	Aucune mention	Ottawa (Ontario)	Personnel de la CCSN
<a href="#">Systèmes d'alimentation électrique de secours des centrales nucléaires du Canada, y compris les sources d'alimentation en courant alternatif portables</a>	Résumé d'une présentation technique	Symposium sur les systèmes d'alimentation électrique de secours des centrales nucléaires	Les 23 et 24 avril 2015	Munich, Allemagne	J. Vucetic N. El Dabaghi