



La science de la sûreté

Rapport de recherche de la CCSN
2014-2015



Novembre 2015



La science de la sûreté : Rapport de recherche de la CCSN 2014-2015

© Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) 2015
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: CCSN Research Report 2014–15.

Disponibilité du document

Les personnes intéressées peuvent consulter le document sur le site Web de la CCSN à suretenucleaire.gc.ca ou l'obtenir, en français ou en anglais, en communiquant avec la :

Commission canadienne de sûreté nucléaire
280, rue Slater
C.P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1A 0A3
CANADA

Tél. : 613-995-5894 ou 1-800-668-5284 (au Canada seulement)

Télééc. : 613-995-5086

Courriel : info@cnsccsn.gc.ca

Site Web : suretenucleaire.gc.ca

Facebook : facebook.com/Commissioncanadiennesuretenucleaire

YouTube : youtube.com/ccsnsc

Twitter : [@CCSN_CNSC](https://twitter.com/CCSN_CNSC)

Historique de publication

Septembre 2014 Édition 1.0

Novembre 2015 Édition 2.0

Table des matières

Message du président.....	1
Introduction.....	2
But du rapport	2
Recherche dans le domaine de la réglementation	2
Notre univers de recherche	2
Assurer la sûreté des centrales nucléaires	3
Protection des travailleurs.....	7
Protection de l'environnement.....	9
Le laboratoire de la CCSN.....	11
Pleins feux sur le personnel de recherche	13
Réglementation des installations de gestion des déchets radioactifs	14
Perspectives en matière de réglementation	17
Collaboration internationale continue.....	20
Renforcement de la prochaine génération.....	24
La recherche à la CCSN au cours des prochaines années	29
Glossaire	30
Annexe – Documents, présentations et articles techniques de la CCSN	32

Message du président

J'ai le plaisir de vous présenter le deuxième rapport de recherche annuel de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Comme elle le fait depuis de nombreuses années, la CCSN a réalisé un large éventail de recherches scientifiques afin de remplir son mandat qui consiste à préserver la santé et la sécurité des Canadiens, à protéger l'environnement et à respecter les engagements internationaux du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

Je crois que pour remplir notre mandat, nous devons nous efforcer d'être ouverts et transparents dans toutes nos activités. Nous ne devons ménager aucun effort pour fournir aux Canadiens une information crédible et indépendante, et démontrer que nos décisions réglementaires sont solidement fondées sur des principes scientifiques et robustes. Je crois aussi que le Canada se situe maintenant à l'avant-garde des nombreuses nations qui cherchent à faire de la réglementation de l'énergie nucléaire une activité ouverte et accessible au public.

Le présent rapport fait partie de nos efforts continus pour veiller à ce que les Canadiens aient accès à la science sur laquelle s'appuie notre travail. Les lecteurs remarqueront que tous nos rapports de recherche sont disponibles sur notre site Web, et ce, dans le format présenté par les auteurs. J'encourage tous les lecteurs intéressés à lire ces rapports.

C'est ça, la science de la sûreté.

Michael Binder

Introduction

But du rapport

La CCSN effectue divers travaux de recherche afin d'exécuter son mandat. Cette recherche, hautement spécialisée et souvent décrite dans un langage scientifique et technique, est mise à la disposition du public sur le site Web de la CCSN ou par l'intermédiaire de sa bibliothèque. Le présent rapport vise à résumer à l'intention du grand public la recherche et les activités connexes accomplies par la CCSN au cours du dernier exercice financier. Pour faciliter la compréhension de certains des termes techniques utilisés, un glossaire est inclus en fin de document. Les mots soulignés sont définis dans le glossaire.

Recherche dans le domaine de la réglementation

Notre recherche soutient des décisions et des jugements en matière de réglementation pris en temps opportun et basés sur des données scientifiques. Elle aide à cerner des problèmes qui peuvent entraîner des risques pour la santé, la sûreté, la sécurité et l'environnement. La recherche dans le domaine de la réglementation sert à valider la suffisance des marges de sûreté et peut mener à des améliorations de la sûreté, le cas échéant. Nous étudions le rendement à long terme des installations de gestion des déchets et nous incorporons les plus récentes données scientifiques dans la modélisation de l'évaluation des risques pour les humains et l'environnement. La recherche réalisée par la CCSN – qui va de la sûreté des déchets à la protection de l'environnement – permet de mettre au point des outils et des techniques en vue de résoudre les problèmes potentiels, et elle contribue à l'élaboration de normes de sûreté.

Le programme de recherche de la CCSN vise notamment à :

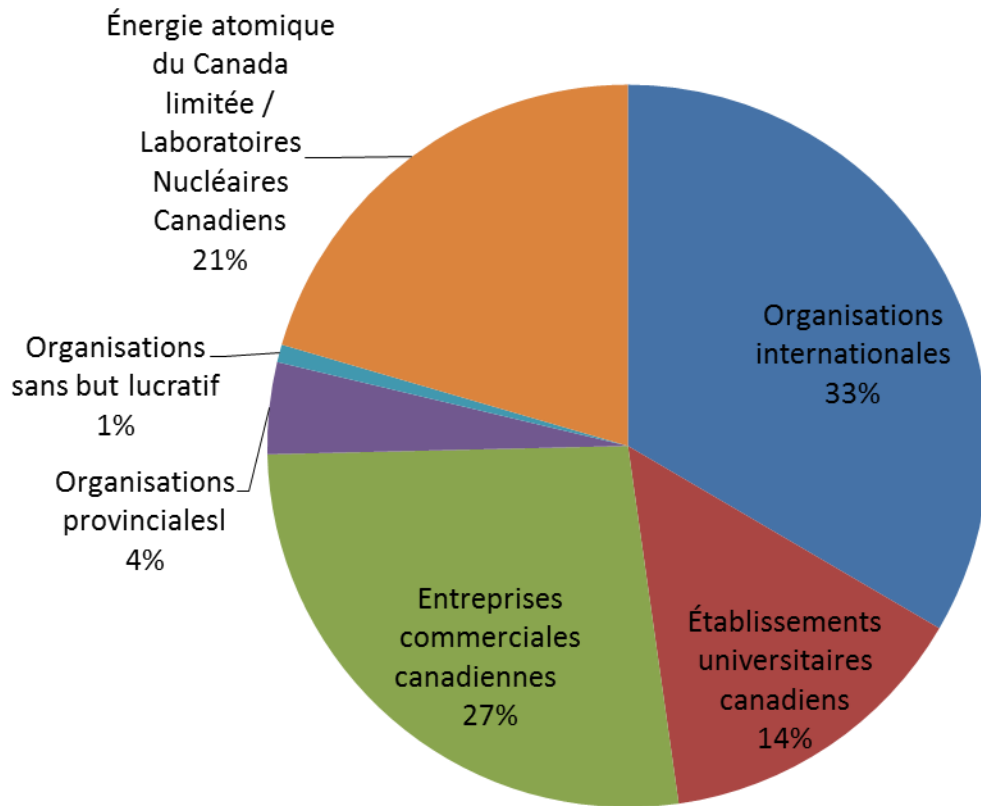
- obtenir des avis indépendants à l'appui des décisions réglementaires
- aider à la mise au point d'outils permettant de régler des problèmes touchant la santé, la sûreté, la sécurité et l'environnement
- appuyer l'élaboration des normes de sûreté nucléaire

Dans les chapitres qui suivent, vous trouverez une brève description des projets de recherche et des autres efforts de collaboration accomplis entre le 1^{er} avril 2014 et le 31 mars 2015. La réalisation de la plupart de ces projets a demandé plusieurs années. Même si bon nombre d'entre eux étaient liés à la réglementation des centrales nucléaires, nous nous intéressons à tous les aspects du secteur nucléaire réglementés par la CCSN, allant des mines et des usines de concentration d'uranium aux appareils médicaux contribuant à la survie des patients et aux substances radioactives utilisées dans la vie de tous les jours, en passant par les dépôts de déchets.

Notre univers de recherche

Le programme de recherche de la CCSN finance des travaux dans le secteur privé, les établissements universitaires et les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux au Canada et à l'étranger. Pour la majeure partie de ses travaux, la CCSN s'appuie sur un processus concurrentiel d'attribution des marchés. Par ailleurs, la CCSN effectue plusieurs de ses travaux en collaboration avec des partenaires nationaux ou internationaux afin de partager les coûts et l'information.

Pourcentage des projets de la CCSN par organisation de recherche



La majeure partie de nos partenaires de recherche sont des établissements d'enseignement supérieur : l'Université Carleton, l'Université McMaster, l'Université de Toronto, l'Université du Manitoba, l'Institut universitaire de technologie de l'Ontario, l'Université Queen's et le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire. La CCSN collabore avec de nombreux partenaires internationaux, dont l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'Agence pour l'énergie nucléaire et la Nuclear Regulatory Commission des États-Unis.

La CCSN dispose aussi d'un petit budget de subventions qui sert à faciliter la communication d'information liée à son mandat, à encourager les activités de sensibilisation et à financer de petits projets de recherche. Dans la suite du rapport, nous présentons plusieurs projets ainsi subventionnés. En plus des travaux exécutés à contrat et avec subventions dans le cadre du programme de recherche de la CCSN, notre personnel publie des articles scientifiques sur des sujets liés aux activités du programme. La liste de ces articles se trouve à l'annexe A.

Assurer la sûreté des centrales nucléaires

Une centrale nucléaire est un système complexe constitué de nombreux composants qui doivent résister à l'exposition à une chaleur et à une irradiation intenses pendant des années. En veillant à ce que l'exploitation de ces installations soit sécuritaire à long terme, nous protégeons les collectivités près desquelles il y a production d'énergie nucléaire. Une partie importante de la recherche de la CCSN en matière de réglementation vise à s'assurer que les systèmes et les composants des centrales nucléaires conviennent à la tâche. Les paragraphes qui suivent présentent un résumé des projets de recherche entrepris par la CCSN afin d'évaluer la sûreté et la fiabilité continues des systèmes et de l'équipement des centrales nucléaires.

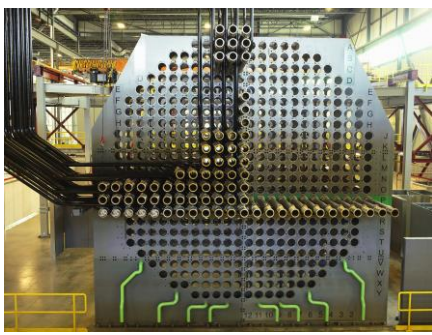


Photographie aérienne de la centrale nucléaire de Darlington, située près de Bowmanville (Ontario)

Au Canada, chaque centrale nucléaire dispose de nombreux systèmes de sûreté qui ont été conçus pour prévenir les accidents et en réduire les conséquences, si jamais un accident se produisait. Tous ces systèmes sont entretenus et inspectés régulièrement, afin que les centrales respectent ou dépassent les normes de sûreté rigoureuses établies par la CCSN.

Le saviez-vous? La durée de vie cible des réacteurs CANDU (sigle anglais signifiant CANada Deuterium Uranium) avait été prévue initialement à 30 ans environ. Grâce aux résultats des recherches actuelles, aux méthodes améliorées d'exploitation des installations et aux travaux de remise à neuf à mi-vie, les centrales pourraient être exploitées bien au-delà de 30 ans.

Marges de sûreté en cas d'accident d'un réacteur CANDU



Modèle grandeur nature de calandre, à l'installation de formation de la centrale nucléaire de Darlington (Ontario).

La calandre contient le combustible, lequel est entouré du liquide caloporteur qui éloigne la chaleur des tubes de force. Les exploitants doivent démontrer que les systèmes de sûreté des centrales empêcheront la fusion du combustible en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire.

Bien que la défaillance complète d'un tuyau de grand diamètre dans une centrale nucléaire soit très peu probable, on doit mieux comprendre les probabilités et les conséquences d'une telle défaillance. Le Groupe des propriétaires de centrales CANDU a élaboré un logiciel appelé PRAISE-CANDU, qui permet d'obtenir les données initiales en vue d'évaluer les marges de sûreté associées aux accidents de perte de réfrigérant primaire dus à une grosse brèche. Le projet visait à obtenir une évaluation technique indépendante par un tiers du processus de développement du programme PRAISE-CANDU, et à déterminer son acceptabilité pour l'analyse des marges de sûreté. À cette fin, on a également procédé à un examen de la littérature portant sur l'acceptation des codes probabilistes de la mécanique des fractures aux fins de décision réglementaire, dans d'autres pays. Les résultats indiquent que les modèles PRAISE-CANDU sont à jour et polyvalents, et qu'ils devraient être adéquats pour soutenir les applications décisionnelles qui tiennent compte du risque, sous réserve d'activités ultérieures de vérification et de validation.

Vous trouverez sur le site Web de la CCSN le rapport final, intitulé [Third Party Review of PRAISE-CANDU Probabilistic Fracture Mechanics Code](#) (en anglais seulement).

Intégration des effets du vieillissement dans les applications de l'étude probabiliste de sûreté

Pour assurer la sûreté et le bon rendement des systèmes, structures et composants vieillissants, il faut comprendre les changements qui surviennent au fil du temps et avec l'utilisation dans les centrales. La méthode dite d'étude probabiliste de la sûreté (EPS) est l'un des outils les plus efficaces utilisés pour comprendre en profondeur la fiabilité des systèmes, des structures et des composants. Une EPS offre des informations essentielles pour la prise de décisions tenant compte du risque. Ce projet de recherche, réalisé par ENCONET Consulting, compte parmi les toutes premières tentatives visant à incorporer les effets du vieillissement dans des modèles d'EPS propres à une centrale nucléaire, et pour observer leurs répercussions sur les résultats de l'évaluation globale. Le projet visait à établir une méthode et une approche réglementaire appropriée afin de traiter les effets du vieillissement.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [Incorporating Ageing Effects into PSA Applications](#) (en anglais seulement).

Mise à l'essai de l'intégrité des tubes de générateur de vapeur

Si une conduite de vapeur principale dans une centrale nucléaire CANDU venait à se rompre, l'eau chauffée sous pression dans le générateur de vapeur serait soudainement exposée aux conditions atmosphériques ambiantes. Cette réduction rapide de pression provoquerait l'ébullition de l'eau, produisant ainsi ce que l'on appelle une « purge ». Ce projet de recherche visait à mieux comprendre le processus physique en cause pendant une purge, et à assurer l'intégrité des générateurs de vapeur pendant un tel événement.

Une installation expérimentale a été modélisée et construite à l'Université McMaster pour étudier les effets d'un accident hypothétique de rupture d'une conduite de vapeur principale, pour prévenir les défaillances des tubes dans les générateurs de vapeur industriels et pour prédire la défaillance des tubes structuraux dans une plage de conditions. Le rapport final comprend un ensemble de données expérimentales originales, une analyse des résultats du projet expérimental à ce jour et une discussion de la stratégie proposée afin d'élaborer une méthode permettant de prévoir la charge sur le faisceau de tubes dans l'environnement simulé. D'autres expériences sont prévues pour aider à l'élaboration de formulations théoriques et d'outils de calcul qui permettront d'évaluer la charge sur les tubes et leur intégrité structurale dans des conditions d'accident hypothétique.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [Loading of Steam Generator Tubes during Main Steam Line Break](#) (en anglais seulement).

Comment l'électricité d'origine nucléaire est-elle produite?

Toutes les centrales nucléaires au Canada sont dotées de réacteurs de type CANDU, une technologie sûre et fiable. Les réacteurs CANDU génèrent de l'électricité grâce au processus de la fission. La fission est un mécanisme qui scinde les noyaux des atomes d'uranium naturel à l'intérieur d'un réacteur, ce qui produit du rayonnement et de la chaleur. La chaleur dégagée par le cœur du réacteur est transportée et transférée vers un générateur de vapeur, par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur. La vapeur monte verticalement dans les générateurs de vapeur, parallèlement aux tubes, jusqu'à ce qu'elle atteigne une région courbe en U, où elle est acheminée vers la turbine. La chaleur produite par le réacteur vaporise l'eau dans les générateurs de vapeur, ce qui crée une force qui fait tourner les turbines et les génératrices, lesquelles produisent de l'électricité.

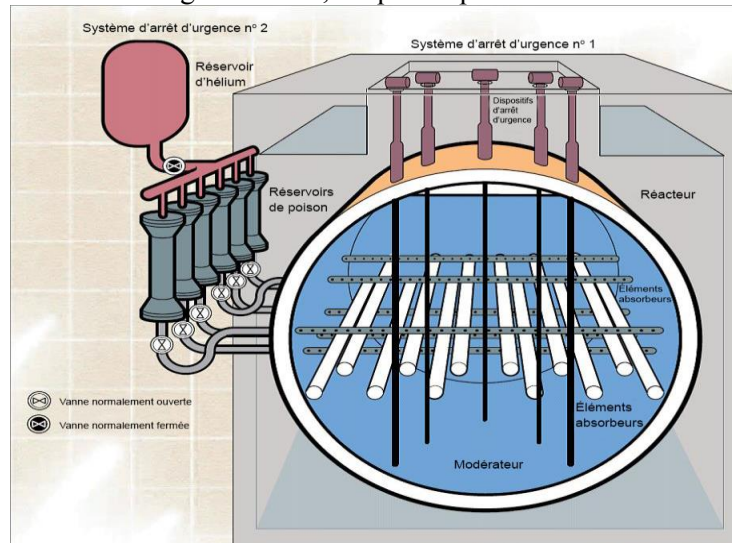


Schéma de la voûte et de l'assemblage d'un réacteur CANDU. Les réacteurs canadiens sont tenus de disposer de deux systèmes indépendants, à action rapide et aussi efficaces l'un que l'autre pour arrêter tout le réacteur au besoin. C'est un exemple de redondance, ce qui assure qu'aucune ligne de défaillance unique ne peut mener à un résultat inacceptable et démontre de nouveau l'engagement du Canada envers la sûreté nucléaire.

Protection des travailleurs

La CCSN limite la quantité de rayonnement que les travailleurs canadiens de l'industrie nucléaire peuvent recevoir. Nous faisons en sorte que la contamination et les doses de rayonnement reçues soient surveillées, contrôlées et maintenues au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA). Notre recherche nous aide à protéger les travailleurs qui sont sur la ligne de front dans le secteur nucléaire canadien, et nos travaux s'appuient sur les données les plus solides et les plus récentes.



Tunnels souterrains à Cigar Lake, dans le Nord de la Saskatchewan. Ces tunnels sont renforcés avec du béton afin d'assurer un milieu de travail sécuritaire. La CCSN dispose à Saskatoon et à Ottawa d'un personnel à plein temps qui effectue des inspections périodiques afin d'évaluer les opérations et de vérifier le respect des exigences réglementaires et des conditions de permis.

Le saviez-vous? Quelque 40 000 personnes travaillent dans le secteur nucléaire au Canada. Dans le monde, on compte plus de 800 000 travailleurs dans ce secteur, ainsi que 2 millions de personnes dans le secteur de la santé qui travaillent de façon sécuritaire avec le rayonnement chaque jour.

Évaluation actualisée de la santé des travailleurs dans les mines d'uranium

La désintégration radioactive de l'uranium produit du radon, un gaz dont les produits de désintégration peuvent se fixer à la poussière ou aux particules en suspension dans l'air, lesquelles peuvent être inhalées ou ingérées. Chez les travailleurs des mines d'uranium, on croit que cela peut contribuer au risque de développer un cancer du poumon. La CCSN a octroyé un contrat au Centre de recherche sur le cancer professionnel (Action Cancer Ontario) pour une étude sur l'incidence du cancer du poumon et la mortalité subséquente, par rapport à l'exposition professionnelle au radon chez les travailleurs de mines d'uranium en Ontario. Les résultats de cette étude permettront de mieux comprendre les effets sur la santé associés à l'exposition au radon grâce à l'examen de 25 années de données additionnelles depuis la dernière analyse, en plus de l'examen d'une cohorte élargie, ce qui augmente le nombre d'observations incluses dans l'analyse statistique.

Les résultats suggèrent une forte relation entre l'exposition et l'incidence du cancer du poumon et la mortalité subséquente. Même si d'autres formes de cancers ont été examinées, aucune relation dose-réponse nette n'a été observée. Le projet fournit des estimations actualisées des risques de cancer associés à l'exposition professionnelle au radon et au rayonnement gamma.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [Ontario Uranium Miners Cohort Study](#) (en anglais seulement).

Qu'est-ce que le radon?

Le radon est un gaz radioactif inodore et incolore naturellement présent dans l'environnement. Il provient de la désintégration de l'uranium. À mesure que l'uranium se désintègre, il émet divers types de rayonnement (alpha, bêta et gamma), ainsi que divers produits, dont le radon. À son tour, le radon se désintègre en quatre produits de désintégration radioactive de très courte durée de vie, sous forme de substances solides, électriquement chargées et appelées produits de filiation du radon : le polonium 218, le polonium 214, le plomb 214 et le bismuth 214. Le polonium 218 et le polonium 214 sont les deux substances qui présentent un risque pour la santé.



Vue aérienne de la mine d'uranium de Cigar Lake de Cameco. Dès le début des années 1950, on a commencé à réglementer les produits de désintégration du radon dans les mines d'uranium en Ontario, par des directives suggérées par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (qui est devenue plus tard la Commission canadienne de sûreté nucléaire). Les concentrations des produits de désintégration du radon dans l'air des mines d'uranium sont assujetties à des contrôles rigoureux et doivent être surveillées en tout temps pour que l'on puisse protéger les travailleurs.

Protection de l'environnement

Une des pierres angulaires du mandat de la CCSN est de s'assurer de réduire au minimum les dommages à l'environnement dans chaque segment du secteur nucléaire, des mines d'uranium aux centrales nucléaires, en passant par les sites de stockage de déchets nucléaires. La CCSN contrôle tous les rejets de substances radioactives dans l'environnement qui découlent des activités autorisées. Nous évaluons les enjeux de la sûreté à long terme associés à la gestion des déchets radioactifs dans des roches cristallines et sédimentaires, et nous examinons la modélisation de l'évaluation des risques environnementaux.



Travailleur du secteur nucléaire évaluant un échantillon d'eau prélevé dans l'environnement afin de surveiller les niveaux de contamination. Pour compléter les activités existantes et continues de vérification de la conformité, la CCSN a mis en œuvre un Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE) dans le but de vérifier que le public et l'environnement se trouvant à proximité des installations nucléaires réglementées par la CCSN ne subissent pas d'incidences négatives provenant des rejets dans l'environnement. Pour ce faire, la CCSN a recours à un processus indépendant d'échantillonnage et d'analyse.

Le saviez-vous? Le rayonnement naturel a toujours été présent autour de nous, et il représente environ 60 % de notre dose annuelle. Ce rayonnement provient de l'espace, du sol, des aliments que nous consommons, et même de l'intérieur de notre propre corps, et c'est ce que l'on appelle le « rayonnement de fond ».

Définition des lignes directrices pour la qualité des milieux aquatiques

La CCSN s'assure que les effluents liquides provenant des mines d'uranium font l'objet d'un contrôle afin de déterminer leurs effets sur le milieu aquatique. Les milieux aquatiques en aval des installations d'extraction et de concentration de l'uranium dans le Nord de la Saskatchewan sont exposés à une variété de perturbations chimiques et physiques. Les effets individuels et combinés des contaminants rejetés sur les organismes d'eau douce ont rarement été analysés dans la littérature scientifique. Dans la présente étude, on a utilisé l'approche des conditions de référence pour prévoir les communautés d'invertébrés benthiques que l'on devrait trouver dans le bassin d'Athabasca, dans le Nord de la Saskatchewan, afin de consigner par des données récentes les effets de l'extraction et de la concentration de l'uranium sur les milieux d'eau douce. Dans cette approche, on emploie les conditions de référence prévues en l'absence d'influences humaines afin de déterminer les communautés touchées qui présentent des différences importantes par rapport à la composition naturelle dans la région.

Les résultats de cette étude sont en voie d'être incorporés dans un manuscrit qui sera soumis à une revue scientifique avec comité de lecture et sera disponible sur le site Web de la CCSN lorsqu'il sera publié.

Surveillance de la santé et de la capacité de reproduction du biote

Certains types de rayonnement sont suffisamment énergétiques pour expulser les électrons de leur orbite, ce qui donne aux atomes une charge positive. Ce type de rayonnement est appelé « rayonnement ionisant ». Le rayonnement alpha est un type de rayonnement ionisant. Du fait de leur taille et de leur charge, les particules alpha peuvent à peine pénétrer dans la peau et sont complètement stoppées par une feuille de papier. Cependant, elles peuvent être dangereuses si elles sont ingérées ou absorbées dans l'organisme. L'étude permet de mieux comprendre les effets du rayonnement alpha à de faibles niveaux d'exposition, en évaluant la santé, la croissance et la capacité de reproduction des poissons et des mammifères exposés à des radionucléides émetteurs de rayonnement alpha.



Vue aérienne des Laboratoires Nucléaires Canadiens, à Chalk River (auparavant appelés Énergie atomique du Canada limitée)

L'objectif de l'étude était d'évaluer si l'exposition à long terme au rayonnement ionisant peut avoir un effet préjudiciable sur la santé et la reproduction des poissons et des mammifères. L'Université McMaster et Énergie atomique du Canada limitée ont fourni des données pour le projet de recherche. Les résultats ne montrent aucun effet important sur la croissance, l'état physique ou la capacité de reproduction des poissons et des petits mammifères. Cette étude devrait améliorer la capacité d'évaluer les risques écologiques associés au rejet de radionucléides émetteurs de rayonnement alpha et éclairer les politiques actuelles sur l'extraction et la concentration d'uranium au Canada.

Les rapports finaux sont disponibles sur le site Web de la CCSN : *Effects of Chronic Exposure to Alpha-Emitting Radionuclides on Health and Reproductive*

Fitness of Biota : [rapport sur les mammifères](#), [rapport sur les études sur les poissons](#) (rapports en anglais seulement).

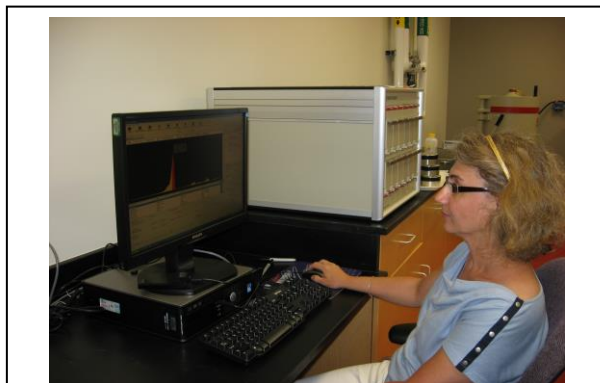
Le laboratoire de la CCSN

Le laboratoire de la CCSN a été conçu pour permettre l'étalonnage des instruments de détection du rayonnement et offrir divers services d'analyse d'échantillons à la CCSN. Le laboratoire a depuis élargi sa capacité de travail, et il réalise maintenant des projets de recherche et offre des cours de formation et des conseils experts dans certains domaines, comme l'échantillonnage sur le terrain et les instruments de mesure du rayonnement. Le laboratoire de la CCSN participe à plusieurs activités de recherche, souvent en collaboration avec d'autres organisations.

Transport du tritium dans les milieux terrestres

En 2012, la CCSN a entrepris des travaux de recherche en collaboration avec l'Université d'Ottawa sur la dispersion dans l'environnement du tritium rejeté dans l'air par l'usine de traitement du tritium à Pembroke. Les résultats de l'étude permettront de mieux comprendre les incertitudes associées à la transformation des espèces de tritium dans l'atmosphère (sous forme de retombées humides et sèches) en tritium organiquement lié dans les aliments, les sols et les plantes. À la suite du projet de recherche, les services de laboratoire de la CCSN ont mis en place des techniques de pointe pour mesurer différentes espèces de tritium dans l'air, les plantes, les aliments et les sols. Depuis l'acquisition de cette capacité, le laboratoire de la CCSN a réalisé plus de 3 000 analyses de tritium. Certains résultats seront publiés dans une revue avec comité de lecture, et on prépare actuellement un deuxième manuscrit.

Facteurs influant sur le rejet du radium 226 présent dans des résidus de mine d'uranium submergés



Une analyste principale du laboratoire de la CCSN vérifie un échantillon de résidus miniers contenant du radium, par spectrométrie alpha.

La CCSN a entrepris un projet de recherche conjoint avec CANMET (Ressources naturelles Canada) afin d'accroître la prévisibilité des rejets de radium 226 par les résidus de mine d'uranium, sur une longue période. Les résultats de ce travail permettront à la CCSN d'étayer ses décisions d'autorisation visant l'assainissement des mines d'uranium héritées et le transfert de ces installations sous contrôle institutionnel. Dans le cadre de l'étude, on a employé des méthodes de laboratoire conçues pour différencier les mécanismes de fixation du radium et le rejet subséquent dans les résidus de mine d'uranium, en utilisant des échantillons prélevés sur le terrain à deux endroits : le site de la mine Denison (Elliot Lake, en Ontario) et le site de la mine Gunnar (Saskatchewan). L'objectif principal était la mise au

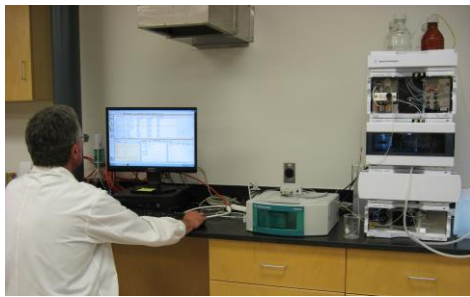
point d'outils permettant de cerner et de différencier les mécanismes d'atténuation du radium et les mécanismes de rejet qui ont évolué sur ces sites miniers hérités. La compréhension de ces mécanismes permettra d'établir diverses options d'assainissement afin de réduire les incertitudes associées aux décisions d'autorisation, en particulier dans le cas des options coûteuses d'assainissement des sites hérités.

Exercice d'intercomparaison des matériaux de référence contenant de l'uranium

Le laboratoire de la CCSN a participé à un exercice d'intercomparaison organisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) avec cinq autres laboratoires ayant été invités à quantifier 69 impuretés dans deux matériaux d'uranium. Les résultats ont permis de démontrer l'état actuel de la

pratique et ont abouti à des valeurs consensuelles pour les deux matériaux analysés. Ces résultats sont utilisables pour les étalons de laboratoire afin de combler partiellement une lacune qui existait dans la disponibilité de matériaux de référence d'uranium caractérisés en termes d'impuretés.

Détermination de l'hydrazine dans les rejets ponctuels des centrales nucléaires en Ontario



Un technologue principal de la CCSN utilise un chromatographe en phase liquide à haute résolution, relié à un détecteur ampérométrique, pour déterminer les concentrations d'hydrazine.

Afin de renforcer la capacité de la CCSN à vérifier la conformité aux recommandations fédérales proposées pour la qualité de l'eau, le laboratoire de la CCSN a mis au point une méthode d'analyse permettant de déterminer la quantité d'hydrazine dans des échantillons d'eau douce. En collaboration avec Environnement Canada, cette méthode, élaborée et validée avec succès, a été appliquée pour mesurer les concentrations d'hydrazine dans des échantillons d'eau prélevés à des points de rejet dans le lac Huron près de la centrale nucléaire de Bruce, et dans le lac Ontario près des centrales de Pickering et de Darlington. Les concentrations d'hydrazine mesurées dans les échantillons d'eau de lac ont été jugées comparables aux concentrations de fond.

Programme indépendant de surveillance environnementale

La CCSN a mis en œuvre le Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE) afin de vérifier que les membres du public et l'environnement se trouvant à proximité des installations nucléaires autorisées sont protégés. Il s'agit d'un programme distinct qui complète les activités permanentes de vérification de la conformité de la CCSN, comme les examens des rapports de conformité et les inspections régulières. Ce programme de surveillance est harmonisé avec ceux d'autres organismes nationaux et internationaux de réglementation. Le programme est aussi mis en œuvre dans les installations couvrant tous les segments du cycle du combustible nucléaire : les mines et les usines de concentration d'uranium, les installations de traitement de l'uranium et des substances nucléaires, les centrales nucléaires, les installations de recherche et de production d'isotopes médicaux, et les installations de gestion des déchets.



Une technicienne du laboratoire de la CCSN prépare un lot d'échantillons environnementaux, au moyen d'un dispositif de lyophilisation.

Le PISE consiste à prélever des échantillons dans des lieux publics à proximité des installations autorisées, et à mesurer et analyser la quantité de substances radiologiques (nucléaires) et non radiologiques (dangereuses) dans ces échantillons. Le personnel de la CCSN prélève des échantillons d'air, d'eau, de sol, de sédiments, de végétation (p. ex. pelouses et mauvaises herbes) et de certains aliments (p. ex. viandes, fruits et légumes) dans des lieux accessibles au public comme les parcs, les collectivités résidentielles et les plages. Les échantillons sont préparés et analysés au laboratoire de la CCSN à Ottawa. Les résultats sont publiés dans le [tableau interactif du PISE](#), sur le site

Web de la CCSN.



Patsy Thompson (Ph.D.) est directrice générale de la Direction de l'évaluation et de la protection environnementales et radiologiques à la CCSN depuis 2006.

Pleins feux sur le personnel de recherche

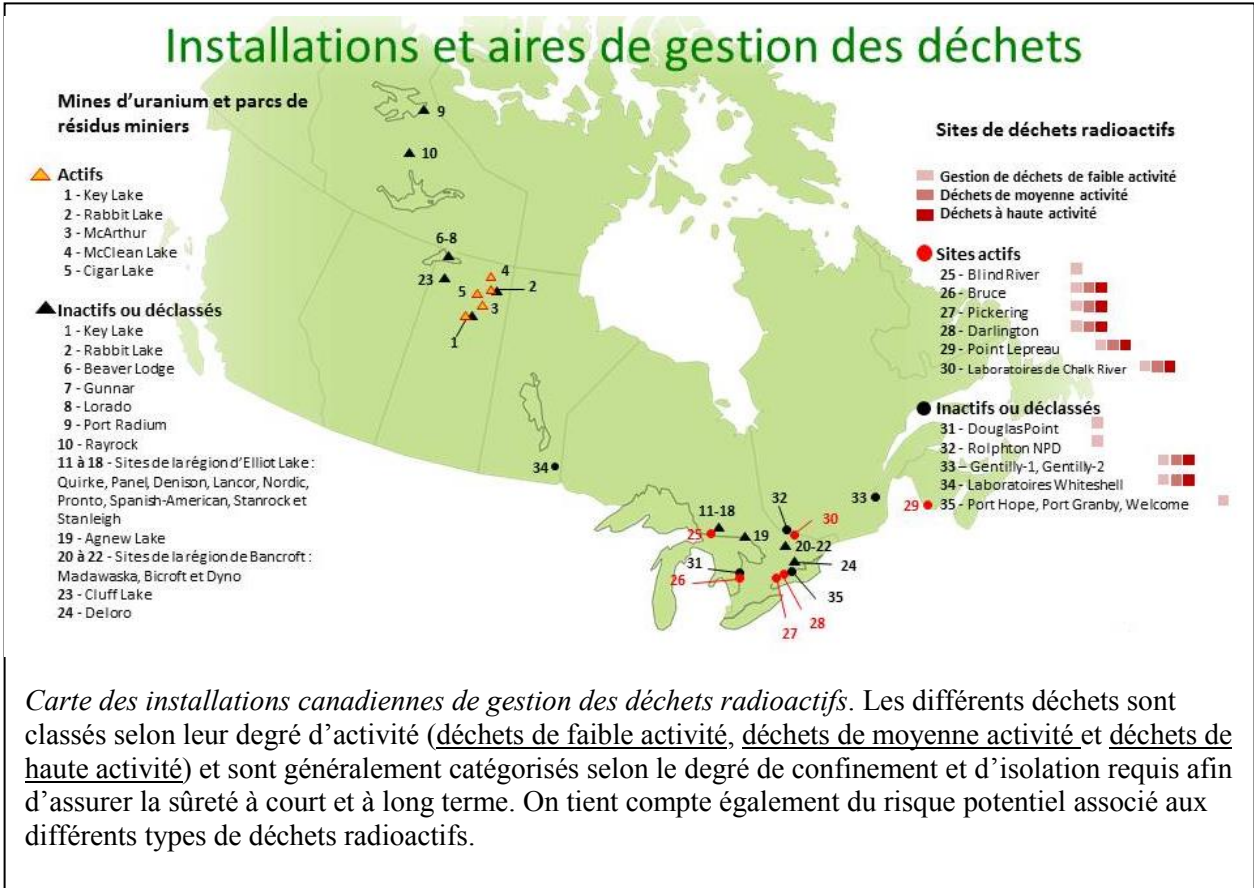
La CCSN compte sur un large bassin de spécialistes techniques participant à la recherche, y compris des scientifiques en radioprotection, des ingénieurs nucléaires et des experts en environnement. L'importance des apports scientifiques de Patsy Thompson, de la CCSN, a été reconnue pendant toute sa carrière scientifique. Elle a obtenu un doctorat en sciences aquatiques (toxicologie) en 1990 et a été stagiaire postdoctorale au Conseil national de recherches du Canada de 1991 à 1993. Ses recherches portaient sur les réponses physiologiques et l'adaptation à un stress toxique en cas d'exposition à des contaminants dans l'environnement (métaux traces, substances organiques).

M^{me} Thompson travaille à la Commission canadienne de sûreté nucléaire (auparavant la Commission de contrôle de l'énergie atomique) depuis 1993. Elle s'est intéressée initialement à l'élaboration et à l'application de méthodes d'évaluation et de recherche sur les incidences environnementales et les effets sur le biote des rejets radioactifs des installations nucléaires. Plus récemment, son travail a porté sur la recherche et l'évaluation des risques sanitaires de l'exposition aux rayonnements ionisants. M^{me} Thompson a publié plus de 30 articles dans

des revues scientifiques avec comité de lecture et a donné 29 présentations à des conférences scientifiques internationales. Elle a participé à des comités techniques, coordonné des projets de recherche et des missions de coopération technique de l'AIEA, été présidente du sous-comité sur la génotoxicité du Groupe intergouvernemental sur la toxicité aquatique, et été membre du Groupe de travail sur la protection de l'environnement de la Commission internationale de protection radiologique. Elle a également agi à titre de conseillère experte auprès de divers gouvernements au sujet du devenir et des effets environnementaux de la radioactivité. M^{me} Thompson a également été nommée conseillère scientifique auprès du Conseil scientifique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire en 2009. Elle est la représentante du Canada auprès du Comité des normes de radioprotection de l'AIEA depuis 2009, et elle représente le Canada auprès du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants depuis 2014.

Réglementation des installations de gestion des déchets radioactifs

La CCSN autorise, réglemente et surveille les installations de gestion des déchets radioactifs au Canada afin de s’assurer que leur exploitation est sécuritaire. Les déchets radioactifs produits au Canada sont gérés dans des installations conçues expressément à cette fin. À l’heure actuelle, tout le combustible nucléaire usé au Canada est stocké sur le site des centrales nucléaires dans des installations provisoires de stockage en surface, qui sont sous la responsabilité de l’exploitant de la centrale nucléaire. Comme pour toute autre installation nucléaire, la CCSN impose des exigences rigoureuses touchant l’exploitation des installations de gestion des déchets radioactifs et veille à leur conformité aux exigences de sûreté établies au moyen d’inspections et de vérifications.



Le saviez-vous? L’engagement de la CCSN à appliquer les normes internationales et les meilleures pratiques lui permet de s’assurer que la gestion des déchets radioactifs au Canada répond aux plus hautes exigences en matière de santé, de sûreté, de sécurité et de protection de l’environnement. Grâce à la participation aux tribunes internationales, la CCSN se tient informée des meilleures pratiques en matière de gestion des déchets radioactifs. La CCSN s’assure que des mesures de sécurité appropriées sont en place pour les installations nucléaires, et que la santé des travailleurs du secteur nucléaire est protégée.

Recherche de la CCSN en matière de réglementation au sujet des dépôts en formations géologiques profondes

À titre d'organisme de réglementation nucléaire du Canada, la CCSN est responsable de la délivrance des permis requis pour les dépôts géologiques destinés à assurer la gestion à long terme des déchets radioactifs. La CCSN s'appuie sur un cadre d'autorisation complet qui porte sur toute la durée de vie utile du dépôt géologique : préparation de l'emplacement, construction, exploitation, déclassement (fermeture et post-fermeture) et abandon final (libération de permis). Un dépôt en formations géologiques profondes est habituellement construit à une profondeur de plusieurs centaines de mètres ou plus sous la surface, dans une formation rocheuse hôte stable. Au Canada, à l'heure actuelle, deux initiatives de gestion à long terme des déchets radioactifs susceptibles de mener à la construction de dépôts géologiques sont en cours.

- La première est le dépôt en formations géologiques profondes d'Ontario Power Generation pour les déchets radioactifs de faible et de moyenne activité produits aux centrales nucléaires de Bruce, de Pickering et de Darlington. Des exemples de ces types de déchets radioactifs sont les vêtements contaminés provenant des centrales nucléaires (faible activité) et les composants usés du cœur du réacteur (moyenne activité). Ces déchets ne comprennent pas le combustible nucléaire. Cette initiative fait actuellement l'objet d'un examen réglementaire, et aucune décision réglementaire n'a encore été prise.
- La deuxième initiative est le projet de gestion adaptative progressive de la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) pour la gestion à long terme du combustible usé du Canada. Ce projet vise à confiner et à isoler le combustible nucléaire usé dans un dépôt en formations géologiques profondes dans une collectivité offrant des formations géologiques appropriées disposée à accueillir le projet. À l'heure actuelle, aucune demande de permis n'a été présentée par la SGDN à la CCSN au sujet de ce projet.

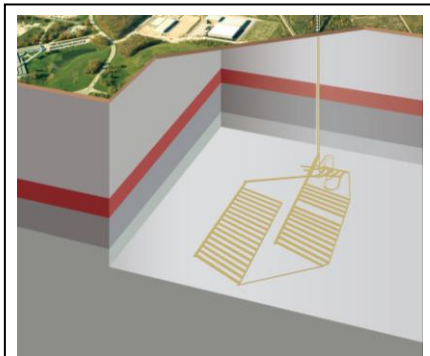


Schéma du projet de dépôt dans des formations géologiques profondes d'Ontario Power Generation

Le programme de recherche de la CCSN, axé sur la sûreté, étudie plusieurs aspects à long terme de la sûreté des dépôts en formations géologiques profondes (DFGP). Les résultats de cette recherche ont servi à l'examen réglementaire des documents soumis par OPG au sujet d'un DFGP pour ses déchets de faible et de moyenne activité. Les résultats pourraient aussi être utilisés pour de futures demandes de permis. Les activités de recherche de la CCSN ne visent pas à effectuer en double les recherches réalisées par le promoteur du projet, mais bien à relever les lacunes dans les informations et à vérifier les principaux aspects de la sûreté liés aux dépôts en formations géologiques profondes.

Depuis 1978, la CCSN a participé à des activités indépendantes et internationales de recherche concertée sur la gestion sûre et à long terme du combustible usé dans des dépôts en formations géologiques profondes. Les premiers travaux de recherche étaient

axés sur le caractère adéquat des formations rocheuses granitiques du Bouclier canadien pour ce type de dépôts géologiques. Cependant, la SGDN est actuellement à la recherche d'une collectivité disposée à accueillir le dépôt et offrant un site techniquement acceptable, soit dans des formations rocheuses granitiques du Bouclier canadien, soit dans des formations de roches sédimentaires. En parallèle, Ontario Power Generation a entrepris une initiative au Canada visant à établir un dépôt dans des formations géologiques profondes pour ses déchets de faible et de moyenne activité, à environ 680 mètres de profondeur dans une formation sédimentaire. En réponse à ces deux initiatives, la CCSN a élargi son

expertise technique au sujet des roches granitiques, afin d'avoir les connaissances et la compréhension des dépôts en formations géologiques profondes qui ont été proposés dans la roche sédimentaire.

Par conséquent, la CCSN réalise un programme de recherches afin d'évaluer les questions de sûreté à long terme associées aux dépôts en formations géologiques profondes pour les déchets radioactifs et le combustible nucléaire usé dans les roches sédimentaires, en vertu du Programme d'évaluation et de recherche coordonnées (PERC). Ce programme comprend des recherches scientifiques indépendantes effectuées par le personnel de la CCSN en collaboration avec des organisations et des experts nationaux et internationaux. En plus de réaliser les projets de recherche susmentionnés, le PERC évalue et examine les avancées scientifiques de pointe et participe à des tribunes internationales d'échange d'information et de connaissances sur les dépôts dans des formations géologiques.

Domaines d'intérêt

Les dépôts géologiques dépendent de multiples barrières pour le confinement et l'isolation à long terme des déchets nucléaires. De telles barrières comprennent la roche encaissante, les barrières artificielles, les types de déchets, les conteneurs de déchets et d'autres facteurs. Depuis 2008, les travaux de recherche de la CCSN ont mis l'accent sur la roche hôte, notamment sur le rendement de la roche sédimentaire comme barrière contre la migration des contaminants. Ces projets, réalisés en collaboration avec certaines universités canadiennes, le service géologique allemand, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) de la France et le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), ont fourni au personnel de la CCSN des données expérimentales inestimables. Les résultats de ces projets ont été présentés dans des revues scientifiques avec comité de lecture, des résumés de conférences, des articles et des ateliers. Les deux exemples qui suivent présentent des projets d'étude et de recherche terminés et en cours.

Exemple 1 – Rendement à long terme des barrières artificielles



Emplacement du modèle grandeur nature d'un conteneur de déchets dans une cellule d'élimination expérimentale au Laboratoire souterrain de recherche de Tournemire, en France

Le Canada continue de collaborer avec d'autres organismes de réglementation et de soutien technique. L'IRSN, en France, réalise une série d'expériences visant à évaluer le rendement à long terme de matériaux d'étanchéité à base de bentonite, qui permettraient d'assurer l'étanchéité des galeries et des puits excavés dans le substratum rocheux, après que les déchets auront été placés dans un dépôt en formations géologiques profondes. Le rendement des matériaux d'étanchéité à long terme (c.-à-d. sur 1 million d'années) dépend de plusieurs facteurs. Par exemple, ces expériences visaient entre autres à étudier comment les matériaux d'étanchéité répondront à la resaturation attribuable aux eaux souterraines environnantes. C'est l'un des nombreux sujets abordés dans cette collaboration. Le personnel de la CCSN a produit plusieurs modèles numériques du rendement de la bentonite à long terme. Ces modèles ont été utilisés et continueront de l'être afin d'évaluer les documents techniques portant sur les dépôts en formations géologiques profondes.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [Constitutive Modelling of Tournemire Shale](#) (en anglais seulement).

Exemple 2 – Analogues naturels

Un des défis techniques les plus difficiles concernant la gestion à long terme des déchets radioactifs dans un dépôt en formations géologiques profondes est la nécessité de faire les évaluations de sûreté sur de très longues périodes. Dans le cas du projet de dépôt en formations géologiques profondes d'Ontario Power Generation, la période couverte par l'évaluation de la sûreté est d'un million d'années, une période qui va bien au-delà de tout ce qui est envisageable d'un point de vue expérimental (voir l'exemple 1). Les analogues naturels fournissent des informations à des échelles de temps et d'espace qui sont pertinentes pour l'élaboration d'un dossier de sûreté à long terme, qui ne peut être évalué que par des expériences et des modèles numériques. En collaboration avec l'Université du Manitoba, une revue de la littérature géoscientifique actuelle a été réalisée afin d'évaluer et d'obtenir les données et les informations qui seraient utiles pour le dossier de sûreté d'un dépôt en formations géologiques profondes au Canada. Plusieurs recommandations sont attendues au sujet de l'utilisation d'analogues naturels pour soutenir le dossier de sûreté. Le rapport final sera disponible sur le site Web de la CCSN lorsqu'il sera terminé.

Perspectives en matière de réglementation

On constate un intérêt grandissant dans le monde à l'endroit du développement de la technologie des réacteurs nucléaires. La CCSN s'assure que les nouvelles technologies répondent aux exigences réglementaires canadiennes. Nous examinons les activités qui ont une incidence sur la capacité des systèmes, des structures et des composants à respecter et à maintenir leur dimensionnement, compte tenu des informations nouvelles et de l'évolution de l'environnement externe.

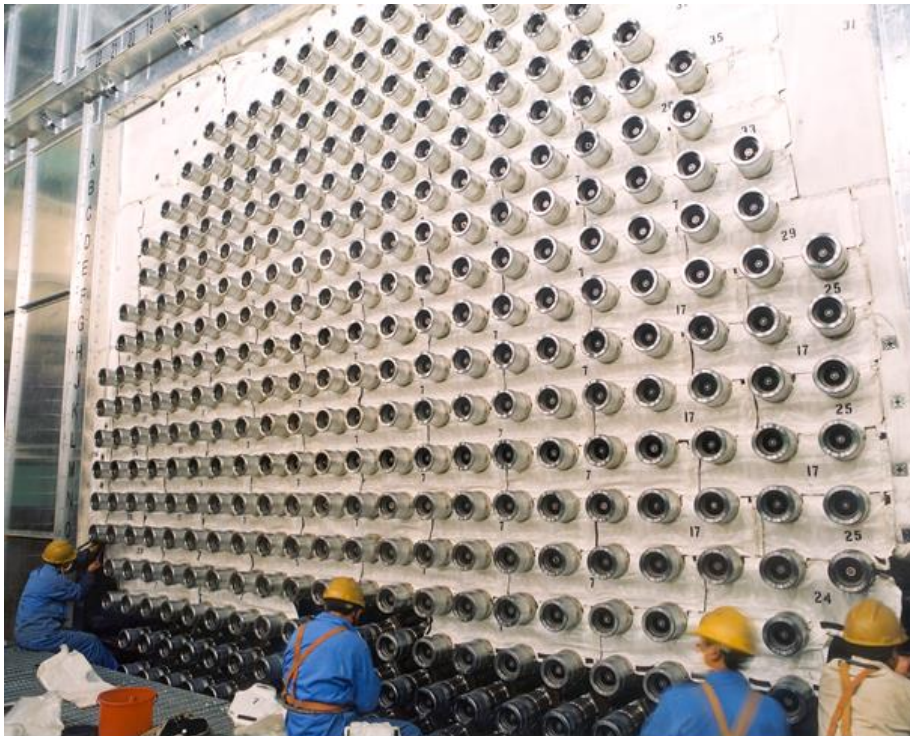


Image d'une calandre, un composant d'un réacteur. La calandre est une cuve en acier inoxydable, cylindrique et non pressurisée, qui renferme le modérateur et le combustible du réacteur CANDU. Ces réacteurs emploient l'uranium naturel comme combustible et l'eau lourde comme caloporteur et modérateur.

Le saviez-vous? Les utilisations des réacteurs nucléaires sont très variées, allant de la recherche et des essais sur les matériaux aux applications médicales et, bien sûr, à la production d'électricité. La CCSN réglemente les activités associées à toutes ces utilisations.

Préparation en vue de la réglementation des activités réalisées au moyen de nouvelles technologies de réacteur

Partout dans le monde, les premières centrales nucléaires, comme celle de Douglas Point, étaient petites et avaient une capacité de production semblable à celle des centrales à combustible fossile, soit de l'ordre de 250 mégawatts. Au cours des dernières décennies, les technologies dans le domaine des réacteurs nucléaires ont progressivement accru la puissance de sortie pour tirer profit des économies d'échelle. Au Canada, la réglementation des activités relatives à l'utilisation de l'énergie nucléaire s'est continuellement adaptée à l'évolution des technologies. En raison des propositions relativement récentes de construction de nouveaux réacteurs au Canada, la CCSN a recentré ses activités en présentant des directives et des exigences neutres sur le plan technologique aux promoteurs qui envisagent d'utiliser des technologies différentes de la technologie CANDU, laquelle représente 100 % du parc nucléaire canadien actuel. L'innovation technologique dans ce secteur industriel progresse à un rythme accéléré, ce qui oblige la CCSN à comprendre les répercussions de ces innovations sur la réglementation.

On constate un intérêt international croissant pour le développement de technologies plus efficaces de réacteurs à fission offrant des caractéristiques de sûreté améliorées. Cet intérêt va au-delà de la seule production d'électricité comme par le passé, et couvre des domaines tels que la purification de l'eau et la production de vapeur de haute qualité pour les opérations industrielles énergivores. Dans certains cas, l'industrie conçoit des réacteurs plus petits qui permettraient d'offrir ces avantages dans les endroits où la production d'énergie est très coûteuse et très difficile, par exemple dans le Nord canadien.

Quelques exemples de nouvelles technologies :

- les centrales nucléaires classiques de troisième génération, qui sont basées sur l'évolution technologique des réacteurs antérieurs, et qui sont en cours de construction dans de nombreux pays
- les technologies de réacteur de quatrième génération – ces réacteurs ne sont pas encore déployés, mais des travaux importants de recherche se poursuivent et, dans de nombreux cas, des ébauches de prototypes ont été construites et exploitées il y a plusieurs décennies; on revoit maintenant ces technologies pour utiliser des matériaux novateurs et des concepts avancés de combustible afin d'améliorer davantage l'efficacité
- les réacteurs modulaires de petite taille – ce sont des versions plus petites des réacteurs décrits ci-dessus, avec des caractéristiques additionnelles qui en permettent l'utilisation dans des lieux ne pouvant recevoir de grosses installations; de plus, on cherche à normaliser davantage ces technologies, et certaines versions sont en cours de construction dans quelques pays



Image produite par ordinateur d'un réacteur à eau pressurisée Westinghouse AP-1000 en cours de construction en Chine et aux États-Unis.

Partout dans le monde, les organismes de réglementation, y compris la CCSN, reçoivent des questions au sujet du processus d'autorisation et de leur capacité à autoriser ces technologies. Au Canada, un des principaux enjeux est l'applicabilité des exigences réglementaires aux nouvelles technologies, car certaines évolutions technologiques peuvent mettre en question l'interprétation et l'application des exigences.

Exigences réglementaires concernant les nouveaux petits réacteurs

Au cours des dernières années, le personnel de la CCSN a étudié les conséquences des nouvelles technologies, et nous nous sommes demandé si les exigences actuelles demeureront valides dans le cadre de notre approche fondée sur le risque, ou s'il y a de nouvelles lacunes dont nous devons tenir compte. Nous continuons également de participer au programme multinational d'évaluation des conceptions (PMEC), qui offre aux organismes de réglementation nucléaire la possibilité de faire part de leurs connaissances collectives dans les domaines du cadre de réglementation, des inspections des fournisseurs et de l'examen de la conception de nouvelles centrales nucléaires potentielles.

Parmi ses nombreuses autres activités de recherche, la CCSN a octroyé un contrat à Hatch Limited afin de réaliser une analyse de la conception des petits réacteurs modulaires. En outre, on a examiné le cadre canadien de réglementation nucléaire afin de déterminer si les documents d'application de la réglementation actuels et proposés prennent en compte adéquatement les problèmes posés par l'octroi de permis pour les petits réacteurs modulaires. La conception des petits réacteurs modulaires et les façons dont ils intègrent des caractéristiques de sûreté inhérentes et passives sont résumées dans le rapport subséquent. Bien que le rapport, terminé en 2014, indique que le cadre de réglementation existant est en général adéquat, il contient plusieurs recommandations visant à tenir compte des exigences et des directives supplémentaires relatives aux caractéristiques de sûreté passives et inhérentes des nouveaux concepts. La CCSN travaille à appliquer ces recommandations.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [Survey of Design and Regulatory Requirements for New Small Reactors](#) (en anglais seulement).

Étude des pratiques internationales en matière de déclasserement



Image de la centrale nucléaire de Douglas Point, maintenant déclassée

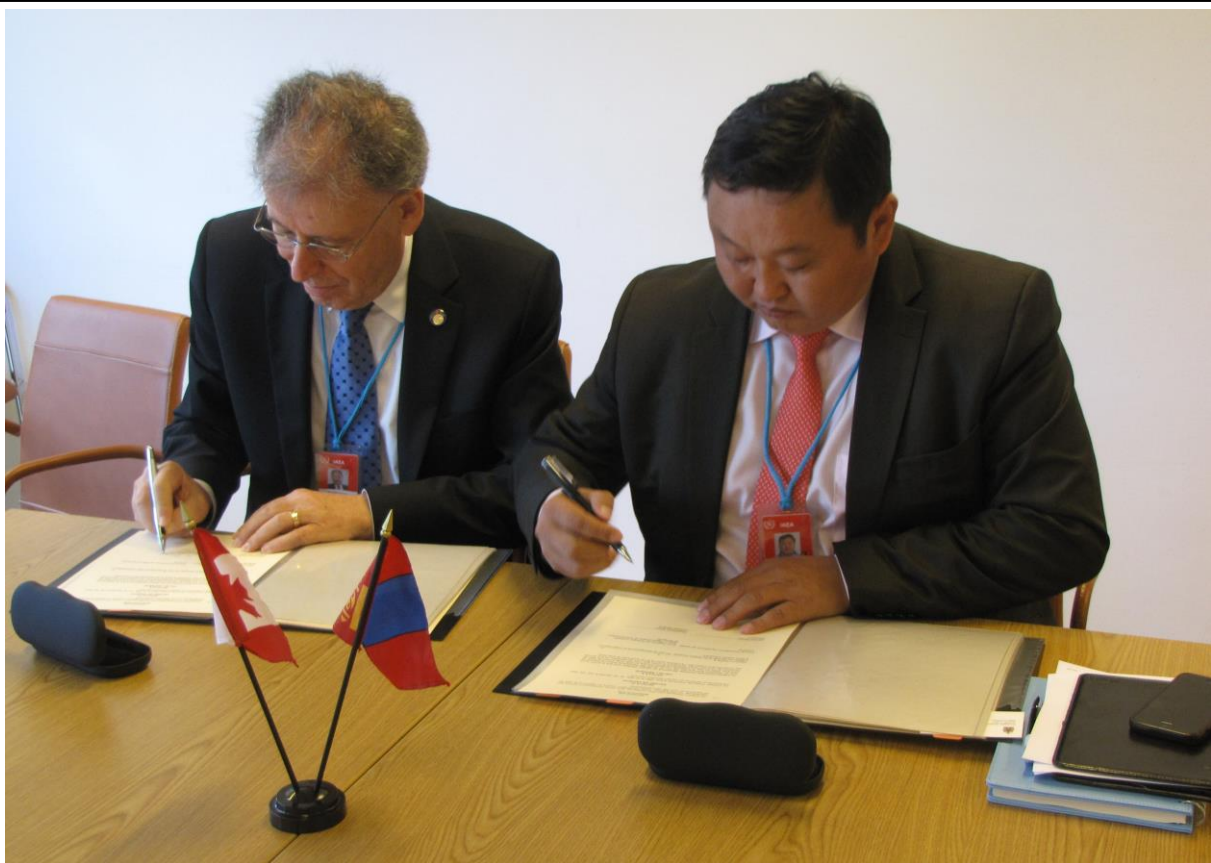
Ce projet visait à examiner la littérature afin de comparer les pratiques utilisées dans d'autres pays en matière de déclasserement. Il s'agissait particulièrement d'examiner les leçons apprises du déclasserement d'installations nucléaires afin de déterminer les lacunes entre les cadres de réglementation actuels au Canada et à l'étranger. L'approche réglementaire canadienne en matière de déclasserement est similaire à celle qui est adoptée dans la plupart des autres pays examinés au cours de cette étude. On a relevé certaines pratiques en Finlande, en France, en Allemagne, en Italie, en Suède, au Royaume-Uni et aux États-Unis dont le Canada pourrait tirer profit. Le personnel de la CCSN examine actuellement la meilleure façon de mettre en œuvre ces pratiques.

Le rapport contient également des recommandations permettant de tenir compte des lacunes relevées.

Le rapport final est disponible sur le site Web de la CCSN : [International Benchmarking on Decommissioning Strategies](#) (en anglais seulement).

Collaboration internationale continue

La CCSN étudie les besoins communs en recherche à l'échelle internationale afin d'assurer qu'elle profite des ressources disponibles. À cette fin, la CCSN travaille avec d'autres pays qui utilisent la technologie CANDU et avec d'autres organismes de réglementation afin de veiller à ce que les connaissances découlant de la recherche puissent être utilisées de manière uniforme. La CCSN collabore ainsi dans le cadre d'ententes bilatérales et multilatérales avec des partenaires du monde entier. La CCSN appuie des recherches par l'intermédiaire de l'Agence pour l'énergie nucléaire, de la Nuclear Regulatory Commission des États-Unis et de l'AIEA.



Le président de la CCSN, Michael Binder, signe un protocole d'entente avec Norov Tegshbayar, directeur général de l'agence de réglementation de l'énergie nucléaire de la Mongolie. Du 22 au 26 septembre 2014, la CCSN a signé des protocoles d'entente sur la collaboration et l'échange de renseignements en matière de réglementation nucléaire avec l'agence de l'énergie nucléaire de la Mongolie, l'autorité suédoise de sûreté radiologique et l'agence nationale de l'énergie atomique de la Pologne.

« Je suis heureux d'avoir conclu de telles ententes avec les homologues de la CCSN », a affirmé Michael Binder, président de la CCSN. « Les partenariats internationaux font partie intégrante de l'engagement continu de la CCSN envers les pratiques exemplaires internationales. Cela va dans les deux sens : nous échangeons notre savoir-faire avec les organismes de réglementation d'autres pays et nous tirons profit de l'expérience des autres », a-t-il ajouté.

Soutien des garanties internationales

Les « garanties » désignent un système d'inspections internationales et d'autres activités réalisées par l'AIEA. Ce système évalue la conformité du Canada et des autres nations à l'égard de leurs obligations relatives à l'utilisation pacifique des matières nucléaires. Par l'intermédiaire du Programme canadien à l'appui des garanties, la CCSN est l'un des États membres qui soutiennent l'AIEA dans ses travaux visant à instaurer des mécanismes plus adaptables et souples d'évaluation des garanties. En 2014-2015, le Canada a envoyé deux experts techniques à l'AIEA. Le premier, provenant de la Direction de la gestion et de la technologie de l'information, travaillera à la conception d'une voie de communication électronique et sécuritaire. Cela permettra le téléchargement des rapports officiels des États et d'autres communications sécurisées avec l'AIEA, et facilitera la livraison sécuritaire des rapports sur les garanties à l'AIEA. Le deuxième expert, provenant de Recherche et développement pour la défense Canada, a été détaché auprès de l'AIEA pour travailler sur l'intégration complète de l'utilisation du radar à synthèse d'ouverture aux fins des garanties. L'utilisation de l'imagerie radar permettra d'accroître la confiance de l'AIEA en vue de tirer des conclusions efficaces et efficientes relatives aux garanties pour les États membres, et contribuera au mandat de la CCSN à l'égard des obligations internationales du Canada relatives à l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques.



Symposium de 2014 sur les garanties internationales : Lien entre les stratégies, la mise en œuvre et les gens. Les participants de la CCSN ont fait d'importantes contributions au symposium, y compris le rôle très visible de Karen Owen-Whitred, de la CCSN, à titre de rapporteur spécial (deuxième à partir de la droite sur la photographie ci-dessus). Les représentants de la CCSN ont également présenté les projets canadiens en matière de garanties et ont contribué aux différentes séances à titre de conférenciers et de présidents.

Comptabilisation et déclaration des matières nucléaires

Un des principaux domaines de recherche en matière de garanties porte sur la caractérisation des matières au début du cycle du combustible. Les titulaires de permis qui possèdent des matières nucléaires (uranium, thorium et plutonium) sont tenus de déclarer à la CCSN leurs inventaires et toute modification de ceux-ci. La CCSN utilise ces rapports pour établir un système national de comptabilisation des matières nucléaires. Ce système de comptabilisation permet au Canada de remplir ses obligations en vertu des accords relatifs aux garanties avec l'AIEA et des accords bilatéraux de coopération nucléaire du Canada.

La CCSN a réalisé deux projets de recherche portant sur les aspects problématiques de la mesure des matières nucléaires dans deux grandes installations canadiennes de manutention en vrac. Le premier projet visait à accroître la validité de l'analyse, par la CCSN, des pratiques de comptabilisation des matières par Cameco. Une tierce partie experte, RadSci Research, a examiné les incertitudes de mesure déclarées par Cameco pour ce qui est du contenu en uranium de conteneurs de procédés propres à l'usine de conversion de Port Hope. Le projet a comporté une visite de l'usine, au cours de laquelle Cameco a fourni aux entrepreneurs les données requises pour leur analyse. RadSci Research a produit un rapport décrivant son évaluation du système de mesure de l'installation et présentant des recommandations d'amélioration. La CCSN utilisera l'information contenue dans le rapport pour évaluer les calculs, faits par l'usine, de son bilan matières, et travaillera avec l'usine afin d'examiner les possibilités d'améliorer son système de mesure.

Le deuxième projet visait à vérifier la balance de comptabilisation des bacs de manutention de trioxyde d'uranium (UO_3) à la raffinerie de Blind River de Cameco et qui, selon les mesures de l'AIEA, aurait pu être biaisée. Au cours de l'examen, on a constaté que la balance de la raffinerie de Blind River présentait un biais d'environ 70 kg pour chaque bac de manutention rempli de 13 tonnes d' UO_3 . Ce biais contribue aux erreurs de l'évaluation du bilan matières annuelle requis pour la comptabilisation aux fins des garanties. Cameco a pris des mesures afin de corriger ce biais, et la CCSN évalue la pertinence de ces mesures.

Le saviez-vous? Cameco Corporation est propriétaire de la raffinerie de Blind River, à Blind River (Ontario) et dispose d'un permis d'exploitation. La raffinerie de Blind River raffine des concentrés d'uranium (yellow cake) provenant de mines d'uranium du monde entier pour produire du trioxyde d'uranium (UO_3), un produit intermédiaire du cycle du combustible nucléaire.

L' UO_3 est ensuite expédié de la raffinerie à l'installation de conversion de Port Hope en vue d'un traitement ultérieur. L'installation de conversion transforme l' UO_3 en dioxyde d'uranium (UO_2), lequel sert à fabriquer le combustible pour les centrales nucléaires au Canada, et de l'hexafluorure d'uranium (UF_6) qui est exporté vers des entreprises dans d'autres pays, aux fins d'enrichissement et de fabrication de combustible.

Orientation sur la mise en œuvre des garanties et les technologies en matière de garanties

La CCSN a utilisé sa vaste expérience dans le domaine des garanties afin de contribuer aux nombreuses initiatives de l'AIEA visant à fournir des orientations au sujet de la mise en œuvre des garanties, à l'intention des États membres. Divers instruments de garantie, comme le système de surveillance du combustible intégré VXI et le dispositif de visualisation numérique Cerenkov, ont été mis au point pour la surveillance des installations CANDU et la vérification du combustible usé. La CCSN appuie l'AIEA en assurant la formation des inspecteurs qui utilisent ces instruments, lesquels aident les inspecteurs de l'AIEA à faire des évaluations de conformité crédibles de tout État membre qui exploite des réacteurs CANDU. La CCSN a également fourni un soutien financier et a participé à des essais d'acceptation par l'utilisateur du logiciel intégré SPRICS 2.0, mis au point par l'AIEA, qui facilite la gestion des tâches appuyées par les programmes de soutien aux États membres, en consolidant toute l'information relative aux tâches.

La CCSN a pu faire part de ses réussites dans la mise en œuvre des « garanties intégrées à la conception » en jouant un rôle important dans l'élaboration des documents d'orientation de l'AIEA sur les garanties intégrées à la conception à l'intention des concepteurs et des exploitants de nouvelles installations nucléaires. Les garanties intégrées à la conception désignent la prise en compte des garanties internationales dans toutes les phases du cycle de vie d'une installation nucléaire : de la conception initiale jusqu'au déclassement, en passant par la construction et l'exploitation de l'installation et les modifications de la conception. La CCSN, en collaboration avec onze autres États membres, a également aidé l'AIEA à préparer quatre guides d'orientation sur la mise en œuvre des garanties. Deux de ces guides ont été rédigés en 2013 et publiés en décembre 2014 et février 2015, respectivement. L'AIEA procède maintenant à un examen interne des deux autres guides et prévoit les publier d'ici la fin de 2015. Les deux guides déjà publiés, ainsi que de nombreux autres documents utiles, sont disponibles sur le [site Web de l'AIEA](#).

Application des garanties aux dépôts géologiques



Raoul Awad, de la CCSN, donne une présentation sur la sûreté et les garanties pour la gestion des déchets nucléaires à la 58^e Conférence générale de l'AIEA, à Vienne (Autriche).

La CCSN a pu représenter le Canada à l'occasion de deux réunions récentes du groupe Application de garanties aux formations géologiques (ASTOR), à Oskarshamn (Suède) en mai 2014, et à Gyeongju (Corée du Sud) en avril 2015. Le groupe ASTOR étudie les façons d'appliquer les garanties de l'AIEA aux dépôts de matières visées par les garanties, l'accent étant mis sur les dépôts de combustible usé dans des formations géologiques profondes. Ces réunions ont permis à la CCSN d'assurer la participation du Canada à l'élaboration de garanties pour ces dépôts, ainsi que l'avancement de la technologie canadienne afin de régler les questions de garanties pour ces dépôts. La CCSN prévoit participer, à titre de représentant du Canada, à la réunion de 2016 du groupe ASTOR, qui aura lieu à Washington, DC.

Renforcement de la prochaine génération

Notre recherche renforce la prochaine génération de scientifiques. L'établissement de la capacité scientifique future du Canada est la clé pour maintenir un secteur nucléaire sûr, solide et novateur. La CCSN s'est engagée à rejoindre les jeunes Canadiens et à susciter leur intérêt dès le début de leur carrière scientifique.



Étudiants de la CCSN dans une salle des turbines pendant un arrêt planifié pour entretien. Des inspecteurs de la CCSN s'assurent que tous les employés dans la salle des turbines portent leur dosimètre et un badge d'autorisation approprié. Les inspecteurs vérifient les niveaux de rayonnement gamma, et s'assurent que les panneaux de rayonnement et de mise en garde sont affichés aux endroits appropriés et que les moniteurs de comptage du corps entier interzone fonctionnent correctement.

Le saviez-vous? Les centrales électriques, qu'elles soient au charbon, au gaz, au mazout ou à l'énergie nucléaire, fonctionnent toutes à peu près de la même façon. De la chaleur est requise pour transformer l'eau en vapeur. La vapeur fait tourner de grandes turbines, lesquelles font tourner des turbogénérateurs qui produisent l'électricité. Dans une centrale nucléaire, le générateur de vapeur a le même rôle qu'une chaudière dans une centrale au charbon, au gaz ou au mazout; il utilise le combustible nucléaire pour faire bouillir l'eau.

Les étudiants mis en valeur



La gagnante du premier prix des affiches d'étudiants, de l'Université Western, avec la présidente du REUGN, Basma Shalaby.

La CCSN soutient de façon importante le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire (REUGN). Le REUGN est une organisation sans but lucratif qui regroupe des universités canadiennes, des services publics nucléaires et des organismes de recherche et de réglementation afin de soutenir l'éducation dans le secteur nucléaire, ainsi que les capacités de recherche et de développement dans les universités canadiennes. Parmi ses nombreuses activités, le REUGN tient à l'intention des étudiants un atelier annuel qui leur permet de présenter leurs travaux sur affiches. Cet atelier attire des étudiants diplômés provenant d'universités de partout au Canada et leur offre une excellente occasion de montrer leurs travaux de recherche à l'industrie et à des représentants de la CCSN. La CCSN continue de soutenir cet événement annuel de présentations de travaux d'étudiants sur affiches en accordant une subvention à cette fin. Veuillez consulter le [site Web du REUGN](#) pour de plus amples renseignements.

Validation des codes de prévention des incendies

La CCSN a fourni un financement au département de génie mécanique et de mécatronique de l'Université de Waterloo pour valider des modèles d'incendie. Dans ce projet, on emploie une série de données expérimentales sur les incendies et la propagation de la fumée, obtenues dans une installation spécialisée dans le cadre du projet PRISME de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Les résultats à ce jour ont été publiés et présentés à divers auditoires : à la section canadienne du Combustion Institute à Saskatoon (Canada), à un atelier sur la modélisation des incendies de FM Global FireFoam à Norwood (États-Unis) et à une réunion technique internationale sur la protection-incendie et les préparatifs d'urgence dans le secteur nucléaire à Mississauga (Canada).

Le saviez-vous? Dans le cas peu probable d'un accident dans une grande installation nucléaire, comme une centrale nucléaire, de nombreux groupes différents pourraient intervenir. La CCSN exige des exploitants de centrale nucléaire qu'ils aient des moyens de lutte contre l'incendie et une équipe de sécurité afin de répondre aux divers incidents qui pourraient se produire sur le site.

En plus des plans et des procédures d'urgence, les titulaires de permis doivent également avoir sur place des installations et de l'équipement dédiés à l'intervention en cas d'urgence, ainsi qu'une organisation d'intervention d'urgence composée de personnes compétentes et adéquatement formées.



Un étudiant coop de la CCSN, dans un camion d'incendie acheté comme équipement d'atténuation en cas d'urgence pour une centrale nucléaire

Sensibilisation à l'énergie nucléaire

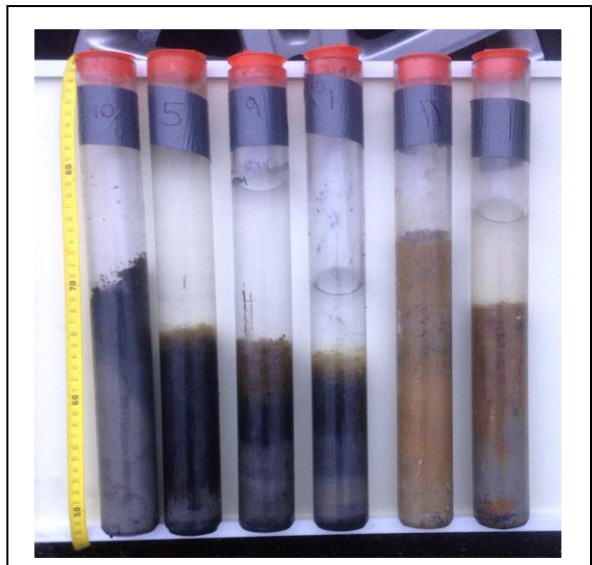
L'organisation mondiale sans but lucratif « Student Energy » vise à créer un mouvement de jeunes leaders voués à assurer un avenir énergétique durable dans le monde. L'organisation offre une série de programmes sur l'énergie et prévoit élargir son programme de sensibilisation afin d'inclure l'éducation sur l'énergie nucléaire et les mesures de sûreté mises en place par l'industrie nucléaire. La CCSN a fourni à Student Energy une subvention afin de l'aider à élargir ses programmes de sensibilisation nucléaire, en augmentant son offre de matériel éducatif sur l'énergie nucléaire.

Recherche sur l'évolution à long terme des résidus d'uranium

Ce projet porte sur les caractéristiques géochimiques et minéralogiques des résidus des mines d'uranium dans la zone de gestion des résidus miniers de la mine Denison à Elliot Lake. Il s'agit d'un projet de collaboration avec l'Université de Toronto et le sujet d'une thèse de maîtrise qui sera terminée en août 2015 et co-supervisée par le personnel de la CCSN. Les résultats analytiques sont en train d'être corrélés avec un projet de recherche antérieur de la CCSN sur la présence de radium dans les échantillons de la mine Denison. La corrélation des résultats analytiques, les observations et les diagrammes de phase calculés sont utilisés pour élaborer des modèles géochimiques de l'évolution des résidus. Cette étude contribuera à établir des stratégies appropriées pour la gestion des résidus d'uranium à long terme, à l'appui des décisions d'autorisation réglementaire sur la surveillance et le déclassement des mines d'uranium au Canada.



Étudiante à la maîtrise de l'Université de Toronto recueillant des données en octobre 2014



Échantillons obtenus par carottage par gravité dans la zone de gestion des résidus miniers de Denison, à Elliot Lake

Soutien au programme d'été de l'Académie des sciences de Deep River



Participants au programme d'été de 2014 de l'Académie des sciences de Deep River. Dans le cadre de ce programme, les étudiants ont participé à plusieurs événements parascolaires, notamment une série d'exposés en soirée présentés par le chapitre de Chalk River de la Société Nucléaire Canadienne, une randonnée dans le parc Algonquin et une visite du Parlement.

L'Académie des sciences de Deep River offre aux élèves du secondaire l'expérience pratique de la recherche scientifique sous le mentorat d'un tuteur de niveau universitaire et d'un scientifique ou d'un ingénieur professionnel. Les travaux incluent la préparation d'expériences, la collecte et l'analyse de données, la rédaction de rapports techniques et des présentations sur les constatations scientifiques. La CCSN appuie depuis longtemps l'Académie des sciences de Deep River en accordant une subvention pour son programme d'été. Les étudiants de l'Académie effectuent des travaux de recherche, la plupart étant réalisés aux Laboratoires de Chalk River, dans le domaine nucléaire. La CCSN soutient cette occasion donnée aux jeunes de réaliser des projets dans un environnement de recherche.

La CCSN a également fourni un financement au projet de modélisation George Laurence réalisé par l'Académie des sciences de Deep River. Dans le cadre de ce projet, deux étudiants ont été encadrés pour réaliser la modélisation physique de la première réaction en chaîne artificielle réalisée au Canada par George Laurence. Après la découverte de la réaction de fission nucléaire en chaîne en 1939, le physicien nucléaire canadien George Laurence s'était intéressé à l'énergie que pourraient fournir ces réactions. Monsieur Laurence a alors réalisé des expériences d'avant-garde pour tester la possibilité d'une réaction de fission nucléaire en chaîne dans un dispositif carbone-uranium (que l'on appelait alors « pile » dans la terminologie embryonnaire de la fission nucléaire). Les deux étudiants du secondaire ont travaillé sous la direction d'un assistant de recherche/tuteur afin d'élaborer des modèles virtuels qui reproduisent de près les résultats obtenus par George Laurence avec sa pile à uranium. Ce projet a été réalisé avec l'appui d'Énergie atomique du Canada limitée (maintenant les Laboratoires Nucléaires Canadiens), et s'appuyait sur l'utilisation d'un logiciel moderne pouvant modéliser l'énergie produite par un réacteur. Les étudiants ont effectué des recherches dans les documents historiques et les articles écrits par George Laurence et d'autres pour déterminer à quoi aurait pu « ressembler » la pile à uranium, ou encore comment elle avait été construite. Après avoir élaboré plusieurs modèles, ils les ont entrés dans le logiciel pour voir s'ils pouvaient reproduire les résultats obtenus par George Laurence au cours des années 1940. Veuillez consulter le [site Web de l'Académie des sciences de Deep River](#) pour de plus amples renseignements.

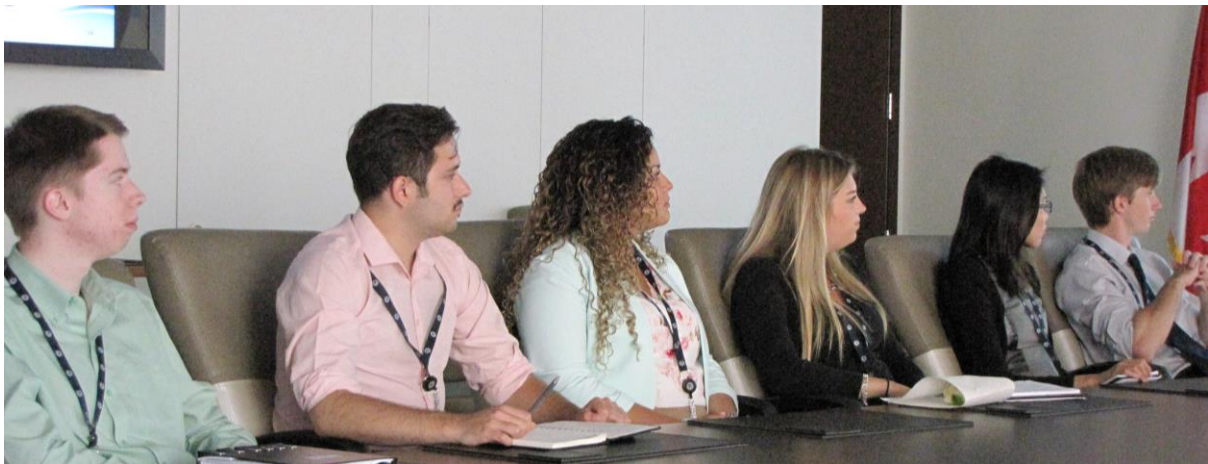
Programme d'enseignement coopératif (coop) de la CCSN

La CCSN offre un programme unique d'enseignement coopératif pour les étudiants qui envisagent une carrière en sciences ou en génie. Pendant 15 mois, les étudiants sont assignés à quatre divisions différentes, où ils ont la possibilité de travailler et d'apprendre avec certains des meilleurs spécialistes au



Étudiants participant au programme coop de 2014-2015 avec le gestionnaire du programme, Peter Gilmour

monde en science, en génie et en environnement. Les étudiants sont exposés au secteur nucléaire en participant à des inspections d'installations et de sites, à des réunions avec les titulaires de permis, à des conférences et à divers cours de formation. Le programme coopératif n'a cessé de croître en envergure et intéresse maintenant de nombreux établissements universitaires au Canada. Des spécialistes techniques aux agents de projet, en passant par les professionnels en science nucléaire et en administration, la CCSN est toujours à la recherche de personnes talentueuses qui sont dévouées, curieuses et disposées à apprendre.



*Étudiants en science et en génie participant aux présentations à la fin du stage coop. Sur la photo, on voit Chantal Yacoub (troisième à partir de la gauche), principale auteure de *La science de la sûreté*, et le co-auteur Kyle Cormier (deuxième à partir de la gauche). Après chaque rotation, les étudiants coop sont tenus de présenter un aperçu de leur travail de stage. Les étudiants ont ainsi l'occasion d'améliorer leurs techniques de présentation en situation réelle.*

La recherche à la CCSN au cours des prochaines années

Des recherches exhaustives sont requises afin d'assurer l'exploitation sûre et continue du parc vieillissant de réacteurs CANDU au Canada. Les projets continus de remise à neuf du parc actuel de réacteurs CANDU seront un axe majeur de l'industrie au cours des 15 prochaines années, ce qui offrira diverses possibilités de recherche. La recherche à la CCSN continuera de faire progresser les connaissances en matière d'évaluation des marges de sûreté pour les tubes de force des réacteurs, des générateurs de vapeur et des autres principaux composants, en tenant compte de leur dégradation due au vieillissement. L'étude probabiliste est également en train de s'imposer comme méthode importante pour l'évaluation du risque et de l'incertitude. La recherche dans ce domaine continuera d'accroître la confiance dans l'utilisation des études probabilistes de sûreté pour la prise de décisions tenant compte du risque. Cette recherche soutient également les examens réglementaires de l'utilisation, par les titulaires de permis, d'approches statistiques avancées pour évaluer, entre autres, les accidents graves et les seuils de déclenchement de l'arrêt des réacteurs.

La CCSN continuera de collaborer avec d'autres organismes de réglementation nucléaire afin d'échanger l'information et les meilleures pratiques pour assurer la gestion sûre à long terme des déchets radioactifs. Grâce au Programme d'évaluation et de recherche coordonnées de la CCSN, la recherche en matière de réglementation visera à faire progresser les connaissances sur la pertinence à long terme du stockage souterrain des déchets radioactifs en réponse aux projets de dépôts dans des formations géologiques profondes. On prévoit que la recherche dans ce domaine ira en croissant à mesure que l'industrie élaborera de nouvelles solutions pour les installations de gestion des déchets.

La CCSN continuera d'effectuer des recherches en matière de réglementation afin de soutenir son personnel, et fera connaître les besoins en recherche au sein du gouvernement du Canada. Elle continuera toujours d'axer ses travaux de recherche en matière de réglementation sur la santé, la sûreté, la sécurité et l'environnement. Enfin, la CCSN continuera de remplir son mandat consistant à informer objectivement le public sur les plans scientifique ou technique ou en ce qui concerne la réglementation.

Glossaire

accident de perte de réfrigérant primaire : Type d'accident dans un réacteur qui se traduit par la perte de réfrigérant en raison d'une rupture dans le circuit caloporteur primaire.

approche des conditions de référence : Méthode statistique dans laquelle on compare la communauté biologique dans un site potentiellement touché avec des communautés biologiques dans divers sites non touchés, c'est-à-dire des sites de « référence ».

bentonite : Type d'argile absorbante ayant des propriétés de gonflement et couramment utilisée comme matière de remplissage et d'étanchéité.

calandre : Cuve cylindrique en acier inoxydable et non pressurisée qui contient le modérateur d'un réacteur CANDU. Des tubes de force contenant le combustible et le caloporteur relient les deux plaques d'extrémité de la calandre.

cohorte : Groupe de personnes pouvant faire l'objet d'une analyse statistique.

communauté d'invertébrés benthiques : Ensemble des petits organismes aquatiques appartenant à des espèces différentes et vivant dans les sédiments d'un lac, d'un cours d'eau ou d'une rivière; les espèces présentes et leurs quantités relatives constituent un indicateur biologique de la santé générale du milieu aquatique.

déchets de faible activité : Déchets contenant des matières dont la radioactivité dépasse les valeurs permises par les niveaux de libération et les quantités d'exemption.

déchets de haute activité: Déchets radioactifs consistant essentiellement en combustible nucléaire usé. Ce type de déchets comprend également de petites quantités de déchets radioactifs provenant de la production d'isotopes médicaux et d'autres applications qui produisent beaucoup de chaleur par l'intermédiaire de la désintégration radioactive.

déchets de moyenne activité : Déchets qui ont été exposés à un rayonnement alpha, ou qui contiennent suffisamment de radionucléides à longue vie pour nécessiter l'isolation et le confinement.

déchets radioactifs : Tout liquide, gaz ou solide qui contient une substance radioactive et qui a été déclaré comme déchet.

déclassement : Processus d'élimination sécuritaire des risques radiologiques d'une installation.

dépôt en formations géologiques profondes : Installation souterraine servant à la gestion et au stockage à long terme des déchets radioactifs.

dispositif de visualisation numérique Cerenkov : Dispositif portable qui amplifie le rayonnement Cerenkov émis par le combustible usé sous l'eau, et qui permet aux inspecteurs de vérifier les inventaires de combustible enrichi usé.

électron : Particule élémentaire stable ayant une charge électrique négative de $1,6 \times 10^{-19}$ coulomb et une masse de $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

étude probabiliste de la sûreté : Étude de la probabilité, de la progression et des conséquences des défaillances de l'équipement ou des conditions transitoires, visant à obtenir des estimations numériques qui fournissent une mesure de sûreté cohérente.

évaluation du bilan matières : Activité visant à déterminer si les inventaires consignés de matières correspondent aux inventaires physiques de matières. Les écarts d'inventaire dans un bilan matières peuvent être attribuables aux incertitudes de mesure ou à d'autres causes.

hydrazine : Substance chimique non réactive utilisée pour réduire la corrosion.

marge de sûreté : Marge attribuée à la valeur d'une variable de sûreté d'une barrière ou d'un système, et à laquelle des dommages ou des pertes pourraient se produire. Des marges de sûreté sont prises en compte pour les systèmes et barrières dont la défaillance est susceptible de contribuer à des rejets radioactifs.

modérateur : Matériau utilisé pour ralentir ou « modérer » les neutrons produits par le combustible nucléaire. Le modérateur réduit l'énergie des neutrons, afin de les ralentir à une vitesse plus susceptible de provoquer la fission et ainsi générer une réaction en chaîne puissante.

produits de filiation du radon : Produits de la désintégration du radon qui émettent un rayonnement dangereux pour la santé des personnes lorsqu'il est inhalé.

radar à synthèse d'ouverture : Dispositif de télédétection à haute résolution permettant d'obtenir des images lorsque cela est difficile ou impossible avec des dispositifs optiques. Le radar à synthèse d'ouverture est installé sur un satellite ou un aéronef et il génère des images en utilisant la trajectoire de vol pour simuler électroniquement une antenne de grandes dimensions, d'où l'expression « synthèse d'ouverture ».

radionucléide : Noyau d'un atome qui possède des propriétés de désintégration spontanée. Un radionucléide est identifié par sa masse et son numéro atomique. Ce terme est souvent utilisé comme synonyme de radio-isotope.

rayonnement ionisant : Rayonnement capable d'ajouter ou de retrancher des électrons en traversant la matière (p. ex. air, eau ou tissus vivants). Les particules alpha, les rayons gamma, les rayons X et les neutrons sont des exemples de rayonnement ionisant.

Annexe – Documents, présentations et articles techniques de la CCSN

Les compétences de la CCSN sont bien reconnues par ses homologues, comme en font foi les articles publiés dans des revues scientifiques, et sa participation à des conférences, des ateliers et des réunions de l'Agence pour l'énergie nucléaire et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). La CCSN a soumis et présenté deux articles à l'occasion du 13^e congrès de la Société internationale de mécanique des roches à Montréal. Parmi les 475 articles évalués par un comité de lecture et publiés dans les actes du Congrès, un article de la CCSN a été retenu parmi les 10 meilleurs articles du symposium. Cet article, écrit par M. Son Nguyen de la CCSN, porte sur les dommages causés par l'excavation dans les formations rocheuses pour les dépôts en formations géologiques profondes.

Voici la liste des 42 documents techniques, exposés et articles publiés ou présentés par le personnel de la CCSN au cours du dernier exercice.

Sujet	Revue / réunion / conférence	Date	Éditeur ou lieu de présentation	Auteurs	Type
Étude en laboratoire du comportement mécanique de l'argilite de Tournemire	Revue canadienne de géotechnique	Mars 2015	Presses scientifiques du CNRC	H. Abdi, D. Labrie, T.S. Nguyen, J.D. Barnichon, G. Su, E. Evgin, R. Simon et M. Fall	Article avec comité de lecture
L'évaluation des facteurs humains – Pourquoi? Quoi? Quand?	9 ^e Réunion spécialisée internationale de l'American Nuclear Society sur l'instrumentation, le contrôle et la technologie d'interface humain-machine des centrales nucléaires	22–26 février 2015	Charlotte (Caroline du Nord), États-Unis	Alice Salway	Résumé de document technique
Impact de la dureté chimique de nature environnementale sur la spéciation de l'uranium et la toxicité chez six espèces aquatiques	Environmental Toxicology and Chemistry, 34(3):562-574	2015	Elsevier	Goulet R.R.; P.A. Thompson; K.C.Serben; C.V. Eickoff	Journal scientifique en libre accès avec comité de lecture
Approche fondée sur le rendement de la sécurité des sources scellées radioactives : une perspective canadienne	The Journal of Physical Security, Volume 7(3), 2014	11 novembre 2014	Argonne National Laboratory	Raphael Duguay	Article avec comité de lecture
Évaluation des effets de l'exploitation de l'uranium sur les communautés d'invertébrés benthiques dans le bassin d'Athabasca dans le nord de la Saskatchewan	35 ^e Réunion annuelle nord-américaine de la Society for Environmental Toxicology and Chemistry	9–13 novembre 2014	Vancouver (C.-B.)	Kilgour, B.W., M. McKee et B. Dowsley	Exposé à une conférence et affiche
Établir et mettre de l'avant les applications électroniques de comptabilisation des matières nucléaires : une perspective canadienne	Symposium de l'AIEA sur les garanties internationales : Lien entre les stratégies, la mise en œuvre et les gens	20–24 octobre 2014	Vienne (Autriche)	Jennifer Sample	Résumé d'une présentation technique

Sujet	Revue / réunion / conférence	Date	Éditeur ou lieu de présentation	Auteurs	Type
Applicabilité de méthodes simplifiées d'analyse de la fiabilité humaine dans le cas d'accidents graves	7 ^e Conférence internationale sur la modélisation et la simulation en science et en génie nucléaires	18–21 octobre 2015	Sans objet	G. Banaseanu	Résumé
Radioprotection pendant le déclassement des installations nucléaires au Canada	Réunion technique sur la radioprotection en milieu professionnel	29 septembre 2014	Vienne (Autriche)	N. Gadbois	Présentation en atelier
Analyse du transfert thermique entre les grappes de combustible nucléaire dans les piscines de combustible usé à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	C.J. Krasnaj / W. Grant	Résumé d'une présentation technique
Une approche stochastique-déterministe pour l'évaluation de l'incertitude touchant l'enthalpie maximale prévue des grappes de combustible pendant un APRPGB hypothétique dans un réacteur CANDU – Article 319	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	D. Serghiuta / J. Thoammakkil	Résumé
Une approche stylisée de l'évaluation du changement progressif de la probabilité de défaillance fonctionnelle du déclenchement de la mise à l'arrêt par le système ROP/NOP du réacteur CANDU dans des conditions de vieillissement – Article 318	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	D. Serghiuta / J. Thoammakkil	Résumé
Fondements pour l'élaboration d'objectifs en matière de sûreté et nouveaux défis	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	S. Yalaoui – présentateurs additionnels	Résumé
Cybersécurité aux fins de surveillance et de commande à distance de petits réacteurs	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	C.H. Jung	Résumé
Analyse par éléments finis du transfert de chaleur entre les grappes de combustible CANDU usé dans les piscines de stockage de combustible usé	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	Cody Krasnaj – présentateurs additionnels	Résumé
Test et qualification de la confiance dans des procédures statistiques	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	D. Serghiuta, J. Tholammakkil, N. Hammouda; A. O'Hagan – R.-U.	Résumé de document technique
Comprendre et vérifier les mesures d'atténuation des accidents graves	19 ^e Conférence nucléaire du bassin du Pacifique (CNBP 2014)	24–28 août 2014	Vancouver (C.-B.)	Q. Lei – présentateurs additionnels	Résumé

Sujet	Revue / réunion / conférence	Date	Éditeur ou lieu de présentation	Auteurs	Type
Établir et mettre de l'avant les applications électroniques de comptabilisation des matières nucléaires : Une perspective canadienne	55 ^e réunion annuelle de l'Institute of Nuclear Materials Management	22 juillet 2014	Atlanta, Géorgie (États-Unis)	Jennifer Sample	Résumé d'une présentation technique
Test de procédures statistiques destinées à l'optimisation de réacteurs en cours de vieillissement	22 ^e Conférence internationale sur le génie nucléaire (ICONE22)	7–11 juillet 2014	Prague (République tchèque)	D. Serghiuta, J. Tholammakkil, N. Hammouda; A. O'Hagan – UK	Résumé d'une présentation technique
Analyse statistique des événements de défaillance attribuables à une cause commune à l'aide des données de l'ICDE	PSAM12	22–27 juin 2014	Sans objet	S. Yalaoui	Résumé
Conception équilibrée d'une centrale nucléaire CANDU 6 : Données découlant de modèles simplifiés et complets d'EPS	Séminaire de 2014 sur la sûreté des réacteurs à eau lourde sous pression (RELP) / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	A. Patel, Y. Akl, G. Banaseanu, R. Gheorghe	Résumé
Évaluation des mesures d'atténuation des accidents graves au moyen de la simulation	Séminaire de 2014 sur la sûreté des RELP / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	Q. Lei, C. French, P. Devitt et A. Viktorov (CCSN)	Résumé d'une présentation technique
Prévision numérique de la déformation des tubes de transfert thermique et des tubes de force/de calandre durant un essai d'ébullition avec contact	Séminaire de 2014 sur la sûreté des RELP / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	A. Tanase, A. Delja, A. Oussoren, J. Szymanski	Résumé d'une présentation technique
Aperçu de la R-D en matière de sûreté des réacteurs CANDU au Canada	Séminaire de 2014 sur la sûreté des RELP / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	W. Shen	Résumé
Évaluation réglementaire des activités de recherche et de développement à l'appui de la sûreté nucléaire	Séminaire de 2014 sur la sûreté des RELP / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	A. Viktorov	Résumé d'une présentation technique
Perspective réglementaire sur la gestion de la durée de vie des conduites d'alimentation des réacteurs CANDU	Séminaire de 2014 sur la sûreté des RELP / CANSAS 2014	23–26 juin 2014	Ottawa (Ontario)	S. Liu, S. Eom et J. Jin	Résumé
Répercussions de l'accident de Fukushima sur l'étude probabiliste de sûreté et sur l'autorisation des centrales nucléaires au Canada	Conférence sur la gestion et l'étude probabiliste de sûreté (PSAM 12)	22–24 juin 2014	Honolulu (Hawaii), États-Unis.	Y. Akl, S. Yalaoui	Résumé
Aperçu des méthodes de la CCSN concernant l'évaluation et la mortalité des poissons causée par l'exploitation des centrales nucléaires du Canada	Réunion annuelle de 2014 de l'American Fisheries Society	17–18 juin 2014	Québec (Québec)	K. Ji	Exposé à une conférence

Sujet	Revue / réunion / conférence	Date	Éditeur ou lieu de présentation	Auteurs	Type
Formation et exercices en matière de radioprotection, dans le cadre de la gestion des accidents graves	Atelier international de l'EG-SAM sur la radioprotection en milieu professionnel dans le cadre de la gestion des accidents graves – Partage des pratiques et des expériences	17–18 juin 2014	NEI, Washington DC (États-Unis)	S. Djeflal	Présentation en atelier
Mécanique des roches argileuses litées – l'expérience HG-A à Mont Terri	Séminaire en géosciences de la SGDN	9–11 juin 2014	Collingwood (Ontario)	T.S. Nguyen et Le D.A.	Présentation en atelier
Recherche dans le domaine de la réglementation des dépôts géologiques de déchets radioactifs	Séminaire en géosciences de la SGDN	9–11 juin 2014	Collingwood (Ontario)	T.S. Nguyen et K. Lange	Présentation en atelier
Accident nucléaire de Fukushima Daiichi : Répercussions sur la santé	Conférence annuelle de l'Association canadienne de radioprotection, Vancouver (Colombie-Britannique)	27 mai 2014	Vancouver (C.-B.)	Julie Burt (présentateur), Rachel Lane	Exposé à une conférence
Amélioration de la réglementation et de la surveillance en matière d'entretien	10 ^e Conférence internationale sur l'entretien des réacteurs CANDU	25–27 mai 2014	Toronto (Ontario)	Y.C. Liu	Résumé
Aperçu du programme canadien de recherche sur la réglementation des dépôts en formations géologiques profondes	Association géologique du Canada – Association minéralogique du Canada, mai 2014	22 mai 2014	GACMAC	J.L. Brown, S. Nguyen, G. Su, K. Lange	Exposé à une conférence
Améliorations aux sources froides des CANDU à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi – « Perspective de l'organisme de réglementation »	ENC 2014, le Forum européen pour échanger sur les enjeux, les possibilités et les défis relatifs à la technologie nucléaire	11–15 mai 2014	Marseille, France	N. Mesmous et C. Harwood (CCSN)	Résumé d'une présentation technique
Cadre de réglementation et enseignements tirés de l'EPS incendie aux centrales nucléaires canadiennes	Atelier international de l'AEN/OCDE sur l'EPS incendie	28–30 avril 2014	Garching (Allemagne)	U. Menon	Résumé d'une présentation technique
Recherche et développement sur la sûreté des CANDU au Canada : Progrès accomplis et défis à relever	Conférence 2014 Canada-Chine sur le développement du réacteur avancé (CCCARD-2014)	27–30 avril 2014	Niagara Falls (Ontario)	W. Shen (CCSN), F. Doyle (Groupe des propriétaires de CANDU)	Résumé d'une présentation technique
Écoulement simultané de gaz et d'eau dans une formation argileuse en strates susceptible d'être endommagée	Revue canadienne de géotechnique, 10.1139/cgj-2013-0457	17 avril 2014	Presses scientifiques du CNRC	T.S. Nguyen (CCSN) et A.D. Le	Article avec comité de lecture

Sujet	Revue / réunion / conférence	Date	Éditeur ou lieu de présentation	Auteurs	Type
Équipement d'atténuation en cas d'urgence – mesures prises après l'accident de Fukushima relatives aux sources d'alimentation en c.a. portables dans les centrales nucléaires au Canada	Atelier international du CSIN sur la robustesse des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires à la suite de l'accident à la centrale de Fukushima Daiichi	1–3 avril 2014	France	Jasmina Vucetic, Ram Kameswaran et Krishnan Ramaswamy (CCSN))	Résumé d'une présentation technique
Modèle hydromécanique couplé pour la simulation de la migration des gaz dans les roches sédimentaires hôtes à l'égard des dépôts de déchets nucléaires	Geology, Vol. 17, p. 24-44	25 mars 2014	Presses scientifiques du CNRC	Son Nguyen (CCSN)	Article avec comité de lecture
Réponse hydromécanique d'une formation argileuse en strates à l'excavation et à l'injection d'eau	Revue canadienne de géotechnique, 10.1139/cgj-2013-0324	25 mars 2014	Presses scientifiques du CNRC	A.D. Le et T.S. Nguyen	Article avec comité de lecture
Taux de mortalité (1950-1999) et taux d'incidence (1969-1999) de la leucémie, du lymphome et du myélome multiple dans la cohorte de travailleurs des mines d'uranium Eldorado	Recherche environnementale	1 ^{er} mars 2014	Elsevier	Lydia B. Zablotska, Rachel S.D. Lane, Stanley E. Frost, Patsy A. Thompson	Article avec comité de lecture
Réglementation et surveillance en matière d'entretien pour les centrales nucléaires canadiennes	Atelier 2014 sur la Règle d'entretien de l'EPRI	5–6 février 2014	Charlotte (Caroline du Nord), États-Unis.	Yong Chang Liu	Résumé d'une présentation technique