



La science de la sûreté

Rapport de recherche de la CCSN

2016-2017



La science de la sûreté : Rapport de recherche de la CCSN 2016-2017

© Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) 2018
N° de catalogue CC171-24E-PDF
ISSN 2369-4351

La reproduction d'extraits de ce document à des fins personnelles est autorisée à condition que la source soit indiquée en entier. Pour reproduire ce rapport en totalité ou en partie à des fins commerciales ou de redistribution, il faut toutefois obtenir au préalable une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Also available in English under the title: The Science of Safety: CNSC Research Report 2016–17

Disponibilité du document

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

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

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

Télécopieur : 613-995-5086

Courriel : cnsccnsc@ccsn.gc.ca

Site Web : suretenucleaire.gc.ca

Facebook : [facebook.com/Commissioncanadiennesuretenucleaire](https://www.facebook.com/Commissioncanadiennesuretenucleaire)

YouTube : [youtube.com/ccsnccnsc](https://www.youtube.com/ccsnccnsc)

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

Historique de publication

Juin 2018

Édition 1.0

Table des matières

Message du président.....	1
Introduction.....	2
Assurer la sûreté des centrales nucléaires	6
Protection des travailleurs.....	14
Protection de l'environnement.....	17
Pleins feux sur le personnel de la CCSN	23
Terry Jamieson, MAsC, ing.	23
Steve Mihok, PhD.....	25
Progrès des perspectives en matière de réglementation.....	27
Engagements internationaux.....	37
Donner des moyens à la prochaine génération.....	43
Activités de recherche futures à la CCSN.....	50
Glossaire	51
Annexe : Documents, présentations et articles techniques de la CCSN	55

Message du président

J'ai le plaisir de vous présenter le quatrième rapport de recherche annuel de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), qui résume les divers projets de recherche et initiatives que nous avons appuyés et menés à bien au cours de l'exercice 2016-2017. La recherche sur la réglementation décrite dans le présent rapport joue un rôle essentiel dans la réalisation de notre mandat, qui consiste à protéger la santé, la sûreté, la sécurité et l'environnement, à respecter les engagements internationaux du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire et à diffuser au grand public de l'information scientifique, technique et réglementaire objective.

Des documents techniques affichés sur notre site Web se rattachent à un grand nombre des projets et des activités décrits dans le présent rapport, dans le format soumis à l'origine par leur auteur. Quel que soit le niveau de vos connaissances ou de votre savoir-faire techniques, je vous invite à lire le présent rapport et, si vous souhaitez explorer plus à fond une des recherches, à télécharger les documents plus détaillés auxquels le sommaire vous renvoie par un lien.

Comme mon mandat de président et de premier dirigeant de la CCSN tire à sa fin, c'est le dernier rapport de recherche annuel qui paraîtra sous ma direction. Je suis très fier de la variété accrue des travaux effectués par notre programme de recherche et de la versatilité que ce dernier a acquise au cours des quatre dernières années. Je suis aussi très fier de l'évolution de ces rapports, qui font maintenant connaître clairement au public le travail important effectué par notre programme de recherche – et je m'attends à ce qu'ils continuent de le faire pendant de nombreuses années encore.

C'est ça, la science de la sûreté.



Michael Binder
Président

Introduction

Objet du présent rapport

Le mandat de la CCSN consiste en partie à fournir au public de l'information scientifique, technique et réglementaire. Les renseignements relatifs à la recherche et aux projets connexes de la CCSN sont rendus publics sur son site Web, mais les documents de recherche connexes utilisent souvent une terminologie très technique et scientifique. La CCSN publie donc chaque année son rapport intitulé *La science de la sûreté*, afin de résumer les projets de recherche et d'en rendre les résultats plus accessibles au grand public. Le glossaire à la fin du document doit permettre aux lecteurs de mieux saisir la terminologie technique utilisée dans le rapport. Les mots soulignés contiennent un lien qui mène à leur définition dans le glossaire.

Recherche en réglementation

Les activités de recherche de la CCSN servent à de nombreuses fins. Elles appuient nos décisions réglementaires. Elles contribuent à préserver la santé, la sûreté et la sécurité des Canadiens et à protéger l'environnement en décelant les problèmes qui peuvent aboutir à des dangers, ainsi qu'à la mise au point des outils et des techniques qui serviront à les régler. Elles servent aussi à élaborer des normes de sûreté plus rigoureuses qui protègent à la fois l'industrie nucléaire et le grand public.

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

- obtenir des conseils indépendants pour faciliter la prise de décisions réglementaires
- mettre au point des outils qui permettront de remédier aux problèmes visant la santé, la sûreté, la sécurité et l'environnement
- élaborer des normes de sûreté pour le secteur nucléaire

Ces objectifs forment ensuite 10 buts principaux qui sont les suivants :

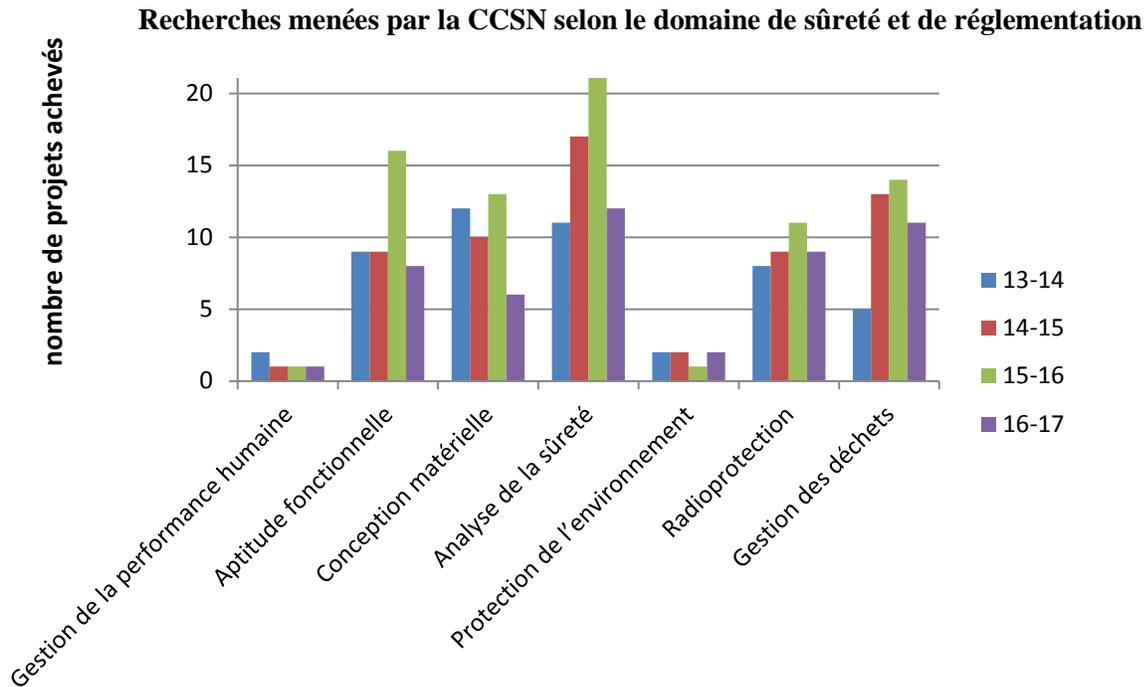
- renforcer la délivrance de permis, la conformité et le cadre de réglementation de la CCSN en vue des activités d'exploitation à long terme/après la remise en état des centrales nucléaires canadiennes
- renforcer la capacité de la CCSN à évaluer les dangers de façon indépendante, à analyser les accidents graves dans le réacteur et à intervenir
- aider le personnel de la CCSN à élaborer et à réaliser des examens de la conception du fournisseur
- aider la CCSN à mieux comprendre le comportement et le déplacement dans l'environnement des substances nucléaires/dangereuses, ainsi que les expositions environnementales connexes
- ajouter à la base des connaissances en radioprotection de la CCSN afin qu'elles reflètent les meilleures données scientifiques existantes sur la protection des travailleurs et du public
- appuyer le personnel de la CCSN dans le cadre de l'évaluation des demandes de permis ou de toute autre demande liée au stockage de déchets
- améliorer la compréhension de la CCSN à l'égard du comportement à long terme des déchets issus de l'extraction et de la concentration de l'uranium
- appuyer l'actualisation du cadre de réglementation de la CCSN afin qu'il reflète les approches modernes du rendement humain
- soutenir les engagements du Canada et agir sur les efforts internationaux en matière de garanties

- renforcer les capacités canadiennes en analyse nucléo-légale

Les projets de recherche réalisés ou appuyés par la CCSN sont classés en fonction des 14 domaines de sûreté et de réglementation de la CCSN. En évaluant dans quelle mesure les titulaires de permis se conforment à leurs exigences réglementaires et aux normes de rendement en matière de sûreté dans chacun de ces 14 domaines, la CCSN a pu orienter ses recherches vers les secteurs auxquels il peut être nécessaire d'accorder plus d'attention, plus précisément les suivants :

- Gestion de la performance humaine
- Aptitude fonctionnelle
- Conception matérielle
- Analyse de la sûreté
- Protection de l'environnement
- Radioprotection
- Gestion des déchets
- Garanties

En classant ainsi les activités de recherche par catégorie, il est possible de faire connaître rapidement et généralement l'orientation d'un projet donné. Cette catégorisation permet aussi de suivre les principaux thèmes de l'ensemble de la recherche. Le graphique et le tableau qui suivent illustrent les huit domaines de sûreté et de réglementation dans lesquels la CCSN effectue des recherches, ainsi que le nombre de projets réalisés dans chaque domaine au cours des quatre derniers exercices.



Domaine de sûreté et de réglementation	Exercice financier			
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Gestion de la performance humaine	2	1	1	1
Aptitude fonctionnelle	9	9	16	8
Conception matérielle	12	10	13	6
Analyse de la sûreté	11	17	22	12
Protection de l'environnement	2	2	1	2
Radioprotection	8	9	11	9
Gestion des déchets	5	13	14	11
Garanties	0	1	1	3

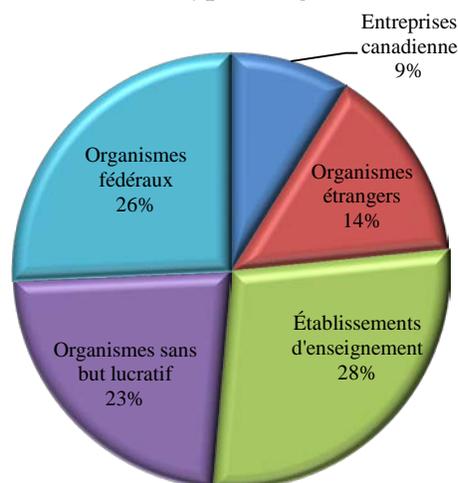
Le [site Web de la CCSN](#) offre davantage d'information sur les domaines de sûreté et de réglementation. Les liens vers les projets de recherche terminés auparavant par la CCSN sont classés en fonction du domaine dans lequel les projets ont été catégorisés sur la [page Web « Information scientifique et technique » de la CCSN](#), qui contient aussi des liens vers les rapports de recherche annuels des exercices précédents.

Chaque chapitre comprend un résumé de tous les projets de recherche et travaux semblables réalisés par la CCSN du 1^{er} avril 2016 au 31 mars 2017. Les projets ne se limitent pas à la production commerciale d'énergie nucléaire : ils sont nombreux et portent sur tous les aspects de l'industrie nucléaire canadienne qui sont réglementés par la CCSN, y compris les installations de gestion des déchets, et les installations de recherche nucléaire.

L'univers de recherche de la CCSN

La CCSN finance des activités de recherche du secteur privé, d'universités, d'organismes gouvernementaux et d'organisations non gouvernementales, principalement au moyen de processus concurrentiels de passation de marchés. Le financement n'est pas réservé à des institutions canadiennes; des organismes étrangers peuvent aussi en bénéficier. Le programme de recherche de la CCSN partage certains coûts et échange de l'information avec des partenaires nationaux et internationaux.

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



Type d'organisme de recherche	Pourcentage de financement (%)
Organismes fédéraux	26
Entreprises canadiennes	9
Organismes sans but lucratif	23
Établissements d'enseignement	28
Organismes étrangers	14

Comme au cours des exercices précédents, les principaux partenaires de recherche de la CCSN étaient de nouveau les établissements d'enseignement. Du financement a été accordé à 10 établissements, y compris l'Université McMaster, l'Université McGill, l'Université d'Ottawa et l'Université de Toronto, et le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire. Cet appui joue un rôle important dans le développement des capacités en recherche nucléaire dans les universités du Canada. Les organismes sans but lucratif sont aussi demeurés parmi les plus importants bénéficiaires des dépenses en recherche de la CCSN en 2016-2017. En appuyant des organismes sans but lucratif comme Parlons sciences et la Société Nucléaire Canadienne, la CCSN peut participer à un vaste éventail de travaux, allant de l'éducation et du développement des jeunes aux conférences techniques. Des organismes fédéraux comme Énergie atomique du Canada limitée (EACL) et Santé Canada ont aussi reçu du financement important pour la recherche. Certaines des installations et des possibilités de recherche disponibles par l'intermédiaire d'EACL n'existent nulle part ailleurs dans le monde, ce qui donne une grande valeur aux travaux que la CCSN effectue avec EACL.

Assurer la sûreté des centrales nucléaires

Il y a actuellement 19 réacteurs commerciaux en service à quatre centrales nucléaires au Canada. Il y a aussi des réacteurs de recherche en service à divers établissements d'enseignement et centres de recherche spécialisés au Canada. La délivrance des permis, la réglementation et l'inspection des centrales sont des aspects importants du rôle de la CCSN en matière de sûreté nucléaire pour garantir le bien-être des travailleurs, de la population et de l'environnement. Les recherches effectuées par la CCSN jouent un rôle crucial car c'est grâce à elle qu'il est possible de surveiller de façon sécuritaire les réacteurs et les installations nucléaires pendant toute leur durée utile. La section suivante résume brièvement les recherches effectuées au cours du dernier exercice qui portaient sur l'assurance de la qualité de toutes les installations nucléaires du Canada.



Photographie aérienne des Laboratoires de Chalk River, vers 1945.



Photographie aérienne des Laboratoires de Chalk River, vers 2007.

Les Laboratoires de Chalk River (LCR) de l'Ontario ont accueilli le premier réacteur de recherche expérimental du Canada, entré en service en 1945. Énergie atomique du Canada limitée (EACL) a géré l'installation de 1952 jusqu'en 2015, date à laquelle elle a été reprise par un partenaire « OGEE ». Elle est maintenant exploitée par les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC). Les LCR ont été pendant plus de 70 ans un des laboratoires les plus complexes du Canada, hébergeant des recherches dans divers domaines, y compris les applications nucléaires.

Le saviez-vous? « OGEE » veut dire « organisme gouvernemental exploité par un entrepreneur » et constitue un modèle de partenariat courant en Amérique du Nord. Le modèle permet à chaque membre du partenariat de se concentrer sur les fonctions qui lui conviennent le mieux : le gouvernement détermine les éléments de la mission tandis que l'entrepreneur se charge de la gestion et de l'exploitation des installations. Dans le cas des LCR, le site appartient à EACL, société d'État fédérale, mais il est exploité par les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC).

Élaboration et mise à l'épreuve d'exigences réglementaires relatives aux structures en béton renforcé de plaques d'acier

La construction composite en béton et plaques d'acier, où l'on verse le béton dans un « sandwich » de plaques d'acier préfabriquées, est à la fois plus rapide et moins coûteuse que la construction traditionnelle en béton armé. C'est pourquoi on propose couramment des structures composites pour divers aspects de la conception des nouvelles centrales nucléaires, y compris le bâtiment de blindage des réacteurs et les structures internes des réacteurs. Toutefois, aucune exigence réglementaire n'est encore en vigueur pour les structures modulaires en béton renforcé de plaques d'acier dans les nouveaux concepts de réacteur.

Afin de guider l'élaboration du cadre de réglementation régissant l'utilisation de cette méthode de construction, la CCSN a collaboré avec l'Université de Buffalo et les Laboratoires Bowen de l'Université Purdue pour examiner les effets de contrainte combinée [dans le plan et hors du plan](#) sur les piliers des murs en béton renforcé de plaques d'acier. On a procédé à la fois à des tests physiques et à des simulations de différentes configurations de chargement et contraintes pour analyser le comportement et la capacité structurelle des piliers des murs. Les analyses ont révélé que les contraintes combinées dans le plan et hors du plan réduisaient considérablement la capacité structurelle des murs modulaires en béton renforcé de plaques d'acier – ces constatations joueront un rôle essentiel dans l'établissement de conseils à jour pour la conception de nouveaux réacteurs.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Testing and Development of Regulatory Requirements for Steel-Plate Concrete Structures](#) (Élaboration et mise à l'épreuve d'exigences réglementaires relatives aux structures en béton renforcé de plaques d'acier)

Essais sur des dalles en béton précontraint soumises à un essai de souffle

Le béton précontraint est un matériau de construction utilisé couramment dans les structures de confinement nucléaire dans le monde entier. En soumettant le béton à des contraintes de compression avant son entrée en service, le phénomène de précontrainte donne à la structure obtenue les forces combinées de l'acier et du béton. Les normes CSA S850-12 (canadienne) et ASCE 59-11 (américaine), qui précisent les exigences relatives aux structures soumises à des essais de souffle, présentent une partie des normes de construction qui s'appliquent aux membres en béton précontraint. Les dispositions normalisées appliquées aux structures en béton précontraint sont actuellement beaucoup plus rigoureuses que celles qui s'appliquent aux structures en béton armé traditionnel, même si le béton précontraint peut en théorie mieux résister aux essais de souffle. Si c'est le cas, il serait approprié et bénéfique pour les fournisseurs, les concepteurs et les organismes de réglementation d'adopter des critères plus réalistes d'acceptation des structures en béton précontraint.



Pour mettre cette théorie à l'essai, l'American Society of Mechanical Engineers (ASME), avec l'aide financière de plusieurs partenaires internationaux (y compris la CCSN) a soumis des dalles en béton précontraint à une série de huit essais de souffle en plein air. La réponse réelle des structures à l'essai se situait entre la limite théorique inférieure et la limite normative supérieure. Cela signifie qu'il serait possible de rajuster les normes actuelles, mais qu'il faut pousser la recherche avant qu'il soit possible de modifier les normes en vigueur. Cette recherche devrait porter sur d'autres réactions de dalles en béton représentatives, comme les réactions contrôlées au désengagement et à l'écrasement du béton.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Bonded Pre-Stressed Concrete Slabs Open-Air Blast Testing](#) (Essai de souffle en plein air sur des dalles de béton adhérentes précontraintes)

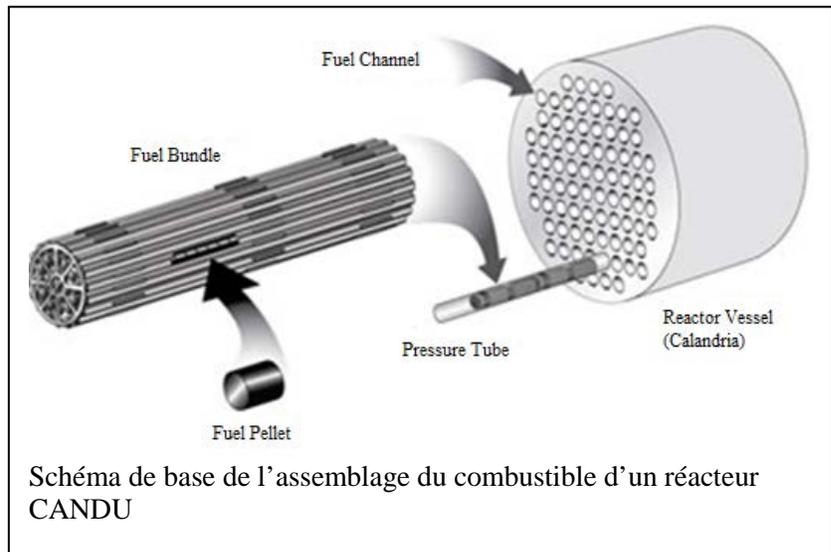
Évaluation des méthodes probabilistes dites de fuite avant rupture pour les tubes de force CANDU

Lorsqu'on prévoit des phénomènes physiques dans un système de réacteur, on peut fonder les prévisions sur des modèles mathématiques déterministes ou probabilistes. Dans un modèle déterministe, certains intrants produiront un seul résultat prédéterminé concluant. Dans un modèle probabiliste, certains intrants produiront de multiples résultats possibles dont chacun comportera une probabilité d'occurrence distincte. On utilise avec succès depuis des décennies des évaluations déterministes dites de [fuite avant rupture](#) comme élément de la stratégie de [défense en profondeur](#) dans le cas des tubes de force des réacteurs CANDU. Toutefois, les concentrations d'hydrogène à la hausse qui font leur apparition vers la fin de la durée utile des tubes ont remis en question ces évaluations. La présence d'hydrogène dans les tubes de force entraîne la production d'[hydrures](#) qui peuvent en retour causer une dégradation des matériaux, et l'apparition et l'expansion de fissures causées par la [fissuration par hydruration retardée](#).

Face aux limites des évaluations déterministes dites de fuite avant rupture, l'industrie CANDU a proposé deux nouvelles méthodologies probabilistes en 2013. Ces méthodologies devaient satisfaire aux exigences de la norme CSA N285.8-10, *Technical requirements for in-service evaluation of zirconium alloy pressure tubes in CANDU reactors*.

La CCSN a entrepris un examen par un tiers afin d'évaluer les deux méthodologies pour déterminer si elles sont adéquates sur le plan technique et conformes aux connaissances et aux meilleures pratiques d'ingénierie courantes. La portée du projet consistait à utiliser ces méthodologies pour procéder à des évaluations indépendantes d'un seul tube de force, ainsi que du cœur complet d'un réacteur. On a en outre créé un programme informatique indépendant basé sur une des méthodologies probabilistes dites de fuite avant rupture pour vérifier la méthodologie proposée par l'industrie.

La CCSN ne peut diffuser les livrables de ce projet (comme le rapport final), car ils contiennent des renseignements de nature exclusive assujettis à des restrictions d'accès.

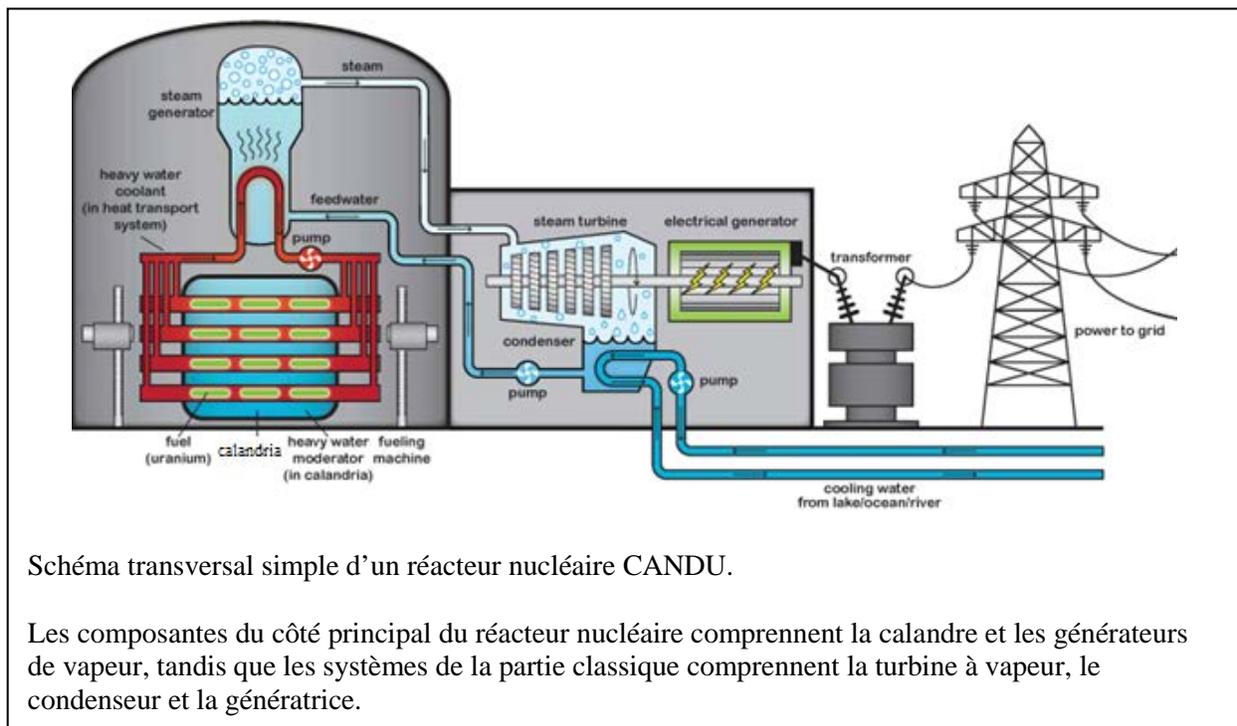


Le saviez-vous? Dans l'assemblage combustible d'un réacteur CANDU, les pastilles de combustible constituées de dioxyde d'uranium (UO_2) sont retenues dans une grappe. Chaque canal de combustible de la [calandre](#) se trouve un tube de force qui contient 12 grappes de combustible. Le nombre de canaux de combustible dans une calandre dépend du type de réacteur CANDU : par exemple, le CANDU 6 en contient 380 et le CANDU 9, 480.

Étude des pratiques recommandées de surveillance et de gestion de la corrosion accélérée par l'écoulement

La [corrosion accélérée par l'écoulement](#) est une forme de dégradation des matériaux souvent observée dans les réseaux de canalisations en acier au carbone et à faible teneur en alliage, et qui peut causer un amincissement important des parois des canalisations et, finalement, des ruptures. Beaucoup de cas de dommages (y compris plusieurs défaillances importantes) se sont produits dans les réseaux de canalisations [de la partie classique](#) d'un réacteur à eau sous pression à cause de ce genre de corrosion. C'est pourquoi l'Electric Power Research Institute (EPRI) a établi des pratiques recommandées pour les programmes de surveillance et de gestion de la corrosion accélérée par l'écoulement.

Au Canada, les pratiques de l'EPRI ont été adoptées pour l'entretien des systèmes de la partie classique des centrales CANDU, ainsi que pour les canalisations de plus grand diamètre du [côté primaire](#) du réacteur CANDU. Les réseaux de canalisations du côté primaire du réacteur CANDU sont aussi constitués d'acier au carbone, mais la chimie de l'eau et les conditions de fonctionnement y diffèrent de celles des systèmes de la partie classique que les pratiques recommandées par l'EPRI visaient à l'origine. Comme les réacteurs CANDU arrivent à des périodes d'exploitation prolongée, les évaluations de la durée restante et les stratégies de gestion du vieillissement des canalisations de plus grand diamètre du côté primaire doivent tenir compte de l'amincissement possible des parois des canalisations causé par la corrosion accélérée par l'écoulement. C'est pourquoi le personnel de la CCSN a commandé un examen technique de la possibilité d'appliquer les pratiques recommandées par l'EPRI aux réseaux de canalisations du côté primaire des réacteurs CANDU. Il convient de signaler que cet examen ne s'appliquait pas à la corrosion des conduites d'alimentation de plus petit diamètre utilisées dans le concept du réacteur CANDU, question abordée plutôt dans le cadre de [plans de gestion du vieillissement](#) propres à des composantes (aussi appelés plans de gestion du cycle de vie).



Les résultats de cette recherche ont confirmé qu'en général, il est possible d'appliquer efficacement les pratiques courantes aux réseaux de canalisations à la fois de la partie classique et du côté primaire des centrales CANDU. L'orientation donnée portait sur des thèmes possibles propres au réseau de canalisations du côté primaire des réacteurs CANDU, ce dont le personnel de la CCSN pourrait tenir compte dans l'évaluation des stratégies de gestion du vieillissement des titulaires de permis et dans les évaluations de l'aptitude fonctionnelle portant sur la corrosion accélérée par l'écoulement.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [*Review of EPRI Recommendations for an Effective Flow Accelerated Corrosion Program and their Applicability to CANDU Reactors.*](#) (Examen de l'applicabilité des recommandations de l'EPRI concernant un programme de gestion de la corrosion accélérée par l'écoulement à l'égard des réseaux de canalisation des centrales CANDU)

Évaluation de la corrosion des pieux d'acier en H des centrales nucléaires

Les titulaires de permis de centrales nucléaires doivent démontrer que les structures de soutien de leurs installations peuvent résister à des charges nominales pendant toute la durée d'un site. Les pieux d'acier en H, poutres en métal enfoncées profondément dans le sol, sont l'une des structures de soutien présentes dans les sites de centrales nucléaires. Ces poutres supportent les structures civiles dans des conditions de fonctionnement normal ainsi qu'au cours d'événements extrêmes comme des tremblements de terre.

La corrosion est couramment la source des dommages subis par ces poutres. La vitesse à laquelle cela arrive dépend de facteurs comme le type de sol et son contenu, les concentrations d'eau et d'oxygène et la [résistivité](#) du sol. Il peut être difficile de surveiller ces dommages, car les pieux sont enfoncés trop profondément dans le sol pour qu'on puisse les examiner visuellement, et procéder à des échantillonnages du sol directement au site d'un pieu peut en compromettre la stabilité. Cette recherche visait à permettre au personnel de la CCSN de déterminer s'il est possible d'effectuer des estimations représentatives des dommages causés aux pieux d'acier en H par la corrosion en appliquant la norme R27 de l'[American Association of State Highway and Transportation Officials \(AASHTO\)](#), *Standard of Practice for Assessment of Corrosion of Steel Piling for Non-Marine Applications*. Selon cette norme, il est possible d'utiliser une évaluation de la résistivité du sol dans des échantillons représentatifs pour établir des estimations utiles de la corrosion des pieux d'acier.

À partir des données produites par un examen indépendant du site de la centrale nucléaire de Pickering, on a conclu qu'il est possible d'effectuer avec succès une évaluation prudente de la corrosion des pieux au moyen d'un cadre basé sur la norme R27 de l'AASHTO. Dans le cas de la centrale de Pickering, on a recommandé en outre de procéder à une analyse systématique des conditions du sol à au moins 12 sites représentatifs entourant les pieux d'acier en H afin d'en évaluer la stabilité.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [*Corrosion of steel H-piles at nuclear generating stations.*](#) (Corrosion de l'acier – Pieux en H des centrales nucléaires)



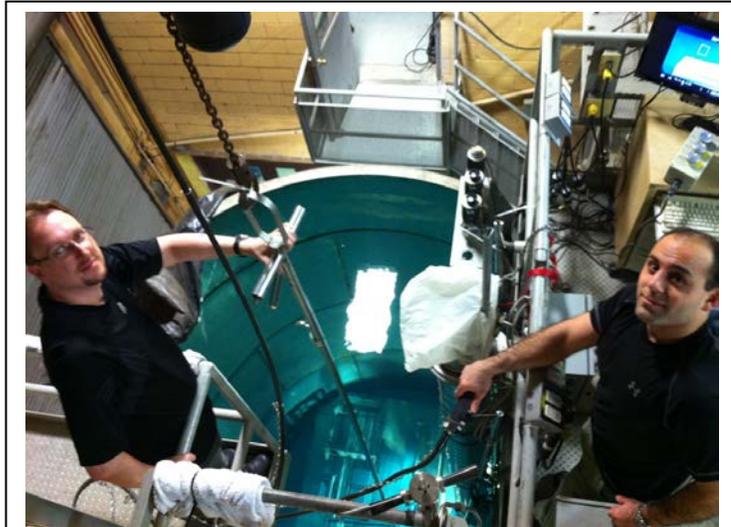
Photo récente de la centrale nucléaire de Pickering, propriété d'Ontario Power Generation située à Pickering (Ontario).

La CCSN a des bureaux et du personnel à temps plein dans toutes les centrales nucléaires en service au Canada. Ses employés y effectuent des inspections pour évaluer les opérations et vérifier la conformité aux exigences de la réglementation et aux conditions des permis. La CCSN compte aussi des bureaux régionaux partout au Canada, notamment en Ontario, au Québec, en Saskatchewan et en Alberta.

Élaboration d'un ensemble TICPPC pour l'analyse d'accidents graves survenus dans une piscine de stockage du combustible irradié

Depuis l'accident de Fukushima Daiichi survenu au mois de mars 2011, la CCSN cherche à élaborer de nouveaux codes informatiques permettant de modéliser et de simuler les accidents possibles dans une piscine de stockage du combustible. Dans une centrale nucléaire, la piscine de stockage du combustible irradié est un secteur qui contient une piscine remplie d'eau qui assure normalement le stockage sécuritaire et à court terme du combustible nucléaire usé sorti du réacteur. Comme il n'existe actuellement aucun code informatique permettant de modéliser l'évolution d'un accident grave dans une piscine de stockage du combustible irradié, il est difficile de définir des marges de sûreté pour atténuer les conséquences d'événements extrêmes survenant dans ce secteur.

Les phénomènes et les paramètres clés associés à un accident grave hypothétique survenu dans la piscine de stockage du combustible irradié d'un réacteur CANDU ont été identifiés et analysés ([au moyen de l'ensemble de tableaux d'identification et de classement de phénomènes et de paramètres clés \(TICPPC\)](#) mis au point au cours des travaux effectués dans le cadre de ce projet lors de l'exercice précédent) par un groupe d'experts indépendants à la fois de la CCSN et de l'industrie. Grâce au travail commandité par la CCSN et les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC), qui comportait une étude documentaire ouverte portant sur presque 70 sources, on a dégagé au total 86 phénomènes, que le groupe a classé en fonction de leur importance et des connaissances actuelles. Sur les phénomènes identifiés, 58 ont été jugés d'importance moyenne ou plus grande. On a en outre déterminé qu'il fallait pousser la recherche plus loin sur 18 de ces phénomènes afin d'augmenter la base de connaissances existantes. Cette information fera partie du matériel de référence servant à l'élaboration future de code par le personnel de la CCSN et pourra servir en outre d'intrant pour les phases de définition du problème, d'établissement du contexte théorique et de définition des besoins du processus de création de code.



Wade Grant (à gauche), spécialiste technique à la Division de la physique et du combustible, et Ali El-Jaby (à droite), conseiller technique principal à la Direction de la sécurité et des garanties, tous deux employés de la CCSN, en visite au Laboratoire Stern à Hamilton (Ontario), alors qu'ils démontent une maquette de grappe de combustible dans le cadre d'un cours de formation d'inspecteur de combustible.

La CCSN ne peut diffuser les livrables de ce projet (comme le rapport final), car ils contiennent des renseignements de nature exclusive assujettis à des restrictions d'accès.

Le saviez-vous? Dans le contexte d'un accident, il est crucial de pouvoir prédire et comprendre les conditions du réacteur et les phénomènes qui en découlent, pour surveiller efficacement le système et veiller à ce que ces paramètres ne dépassent pas les marges de sûreté.

Validation du code RELAP5 pour la modélisation de la circulation naturelle dans le système CANDU

Un des concepts fondamentaux de la sûreté des réacteurs nucléaires est que le refroidissement du combustible doit être maintenu en tout temps. On y parvient normalement en pompant le caloporteur à travers le réacteur au moyen du circuit caloporteur primaire. Même dans certaines conditions d'accident où les systèmes de pompage tombent en panne, le système du réacteur est conçu de façon à permettre au caloporteur de circuler naturellement.

En cas de panne du système de pompage, il est crucial de pouvoir prédire et comprendre le comportement [thermohydraulique](#) du système. Même s'il existe des codes de modélisation du comportement thermohydraulique propre au CANDU, le code de l'industrie le plus répandu internationalement est le Programme d'analyse des excursions et des fuites de réacteurs (RELAP5). Comme ce code a été produit aux États-Unis, il est basé sur un type de réacteur différent du CANDU, plus précisément en ce qui concerne l'orientation du cœur du réacteur (voir la photo à droite). Cette recherche réalisée par l'Université McMaster devait déterminer la précision du code RELAP5 en fonction de la modélisation des conditions en mode de circulation naturelle dans les réacteurs CANDU.

Le rapport produit par l'Université McMaster comprenait des données tirées de l'utilisation du code RELAP5 pour modéliser et simuler un système en particulier. Le système modélisé devait présenter des conditions correspondant à celles d'une expérience réelle réalisée à l'Installation d'essais d'injection d'eau froide de Hamilton (Ontario). En comparant les résultats expérimentaux et ceux de la simulation, les membres du personnel de la CCSN ont déterminé que le code RELAP5 pouvait certainement modéliser et prédire de façon générale les phénomènes et comportements pertinents du système CANDU en mode de circulation naturelle. Cela dit, des degrés de surestimation et de sous-estimation ont été observés au niveau de certains paramètres clés, en particulier ceux qui ont trait à la libération de vapeur des canaux de combustible horizontaux. C'est pourquoi il faut pousser la recherche sur l'utilisation du code RELAP5 et le modifier pour le rendre entièrement applicable aux systèmes CANDU.



Photo d'un travailleur à proximité de la calandre détachée d'un réacteur CANDU.

Le combustible d'un réacteur nucléaire est contenu dans des tubes de force logés dans les canaux d'un vaste cœur cylindrique appelé calandre. Dans le réacteur de type CANDU, la calandre et les tubes de force sont horizontaux. Dans d'autres types de réacteurs courants dans le monde, comme les réacteurs à eau bouillante, ils sont verticaux.

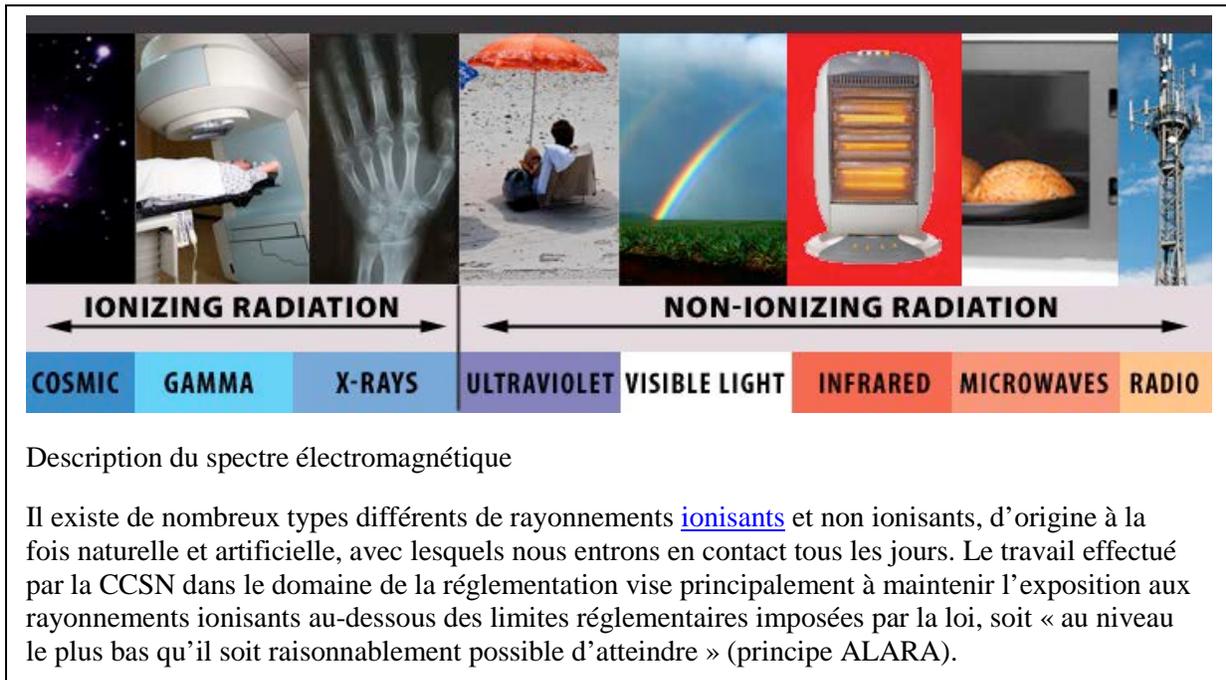
Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Assessment of RELAP5 for Natural Circulation](#). (Évaluation de RELAP5 pour la circulation naturelle)

Le saviez-vous? Dans tous les types de réacteurs nucléaires, trois concepts fondamentaux de sûreté (appelés les « 3 C », en anglais) régissent l'exploitation d'une centrale :

- refroidissement du combustible
- contrôle du réacteur
- confinement des rayonnements

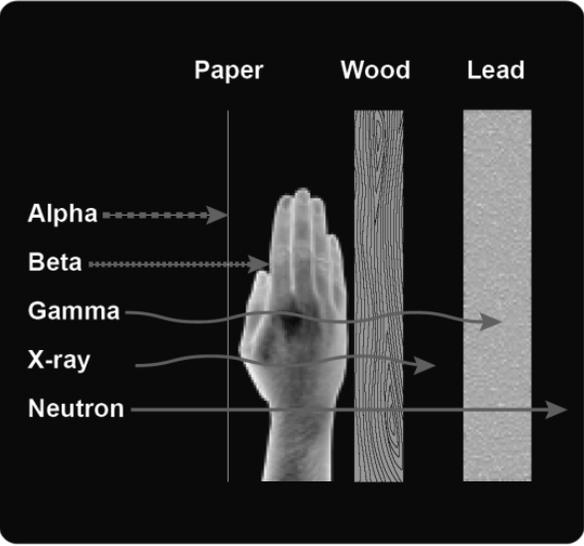
Protection des travailleurs

Dans le monde, quelque trois millions de travailleurs sont exposés, souvent tous les jours, à des rayonnements d'origine professionnelle. Environ 800 000 personnes œuvrent dans le secteur nucléaire, dont 40 000 au Canada. Les recherches effectuées par la CCSN servent à garantir que les normes de santé et sécurité des travailleurs du secteur nucléaire, les pratiques et les limites reposent sur des éléments de preuve solides et sont conçues pour réduire au minimum le nombre des lésions professionnelles.



Étude sur les capacités de blindage des lunettes protectrices

Le cristallin de l'œil est l'un des tissus du corps humain les plus [sensibles aux rayonnements](#), et pour prévenir l'apparition de cataractes causées par les rayonnements, les organismes de réglementation nucléaire du monde entier ont fixé des limites de dose au cristallin. Au Canada, le *Règlement sur la radioprotection* prescrit les limites de dose à la fois pour les travailleurs du secteur nucléaire et pour le public. Les limites de dose prescrites sont actuellement établies à 150 [millisieverts \(mSv\)](#) par période de dosimétrie d'un an pour les travailleurs du secteur nucléaire et à 15 mSv par année civile pour les membres du public. Des études récentes indiquent toutefois que l'apparition de cataractes pourrait être causée par une exposition à des doses de rayonnements ionisants beaucoup plus faibles qu'on le croyait



Atténuation des particules de rayonnements ionisants par différents milieux.

Dans les activités réglementées du secteur nucléaire, les préoccupations visant la santé des travailleurs portent habituellement sur le blocage de quatre types de rayonnements ionisants : [alpha](#), [bêta](#), photoniques ([gamma](#) et [rayons-X](#)) et [neutroniques](#). Pour assurer une bonne protection, il faut recourir à différentes barrières selon le type de rayonnement. Une simple feuille de papier peut bloquer complètement les particules alpha et le plastique peut arrêter les particules beta. Par contre, il est impossible de bloquer entièrement les particules photoniques et neutroniques – mais des barrières au plomb et à l'eau respectivement peuvent les réduire considérablement.

auparavant. Pour donner suite à ces constatations et conformément aux recommandations formulées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), la CCSN propose de modifier les limites de dose annuelle au cristallin et de mettre en œuvre une nouvelle limite par période de dosimétrie de cinq ans pour les travailleurs du secteur nucléaire.

Afin de mieux comprendre le rôle de la protection des yeux dans le contexte de l'exposition aux rayonnements, des études expérimentales et théoriques sur les facteurs de blindage de six différents types de lunettes facilement disponibles au Canada et de trois différents matériaux de lentilles ont été menées. De multiples études portant sur différentes géométries expérimentales ont été effectuées, et les données de mesure ont été comparées à des simulations détaillées pour vérifier la validité des données expérimentales obtenues. On a aussi évalué les facteurs de blindage tant pour les rayons-X que pour les faisceaux de rayons bêta typiques des activités nucléaires réglementées par la CCSN. L'étude a révélé que les lunettes protégeaient peu contre les rayons-X, mais protégeaient davantage contre les rayons bêta. Aucune différence importante au niveau des caractéristiques de protection des trois matériaux analysés ne fut observée. Ce travail sert de base aux travaux futurs qui viseront à déterminer des coefficients de blindage plus réalistes compte tenu de différentes sources de rayons bêta.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Review of Eye Protection Provided by Eyewear](#). (Examen de la protection des yeux assurée par les lunettes protectrices)

Le saviez-vous? L'efficacité biologique des rayons absorbés est indiquée en sievert (Sv), unité du Système international d'unités. Le sievert tient compte à la fois du type de rayonnement, et du type de tissu exposé (comme le cristallin de l'œil) pour décrire l'effet biologique d'un accident d'exposition. Les quantités sont souvent indiquées en millisieverts (mSv), où 1 Sv équivaut à 1 000 mSv.

La CCSN appuie la 63^e session annuelle de l'UNSCEAR

Le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) fournit l'assise scientifique nécessaire à l'évaluation des risques d'exposition aux rayonnements et des techniques utilisées pour les atténuer. Des gouvernements et des organisations du monde entier considèrent que les évaluations de l'UNSCEAR font autorité et s'en servent comme lignes directrices dans l'établissement de procédures nationales de radioprotection.

Au cours de la 63^e session de l'UNSCEAR, la délégation canadienne comptait des représentants de la CCSN et de Santé Canada. La CCSN a aussi retenu les services de M. Ed Waller (président de RadSci Research Inc. et professeur à l'Institut de technologie de l'Université de l'Ontario) pour compléter la délégation canadienne. Dans le cadre de travaux précédents, M. Waller a joué un rôle dans l'élaboration de deux documents importants de l'UNSCEAR :

- *Methodology for estimating public exposures due to radioactive discharges* (Méthodologie pour l'estimation des expositions humaines découlant de rejets radioactifs)
- *Radiation exposures from electricity generation* (Exposition aux rayonnements provenant de la production d'électricité)

Ces deux documents ont été terminés au cours de la 63^e session de l'UNSCEAR, qui les a inclus par la suite dans son rapport de 2016 à l'Assemblée générale des Nations Unies.

Le rapport final se trouve sur le site Web de l'UNSCEAR : [Sources, effects and risks of ionizing radiation; UNSCEAR 2016.](#)

Le saviez-vous? L'UNSCEAR regroupe 27 États désignés du monde entier. Chaque année, le comité tient une session au cours de laquelle les États membres examinent les aspects techniques des travaux produits par l'UNSCEAR.

Pour en savoir davantage au sujet de l'UNSCEAR et pour trouver une liste complète de ses États membres, visitez le [site Web officiel de l'UNSCEAR.](#)

Protection de l'environnement

La protection de l'environnement contre les torts causés par l'activité radiologique ou nucléaire constitue un des éléments fondamentaux de la mission de la CCSN. La recherche sur l'environnement permet à la CCSN de tenir sa base de connaissances à jour afin de pouvoir guider plus efficacement la surveillance et la protection de l'environnement.

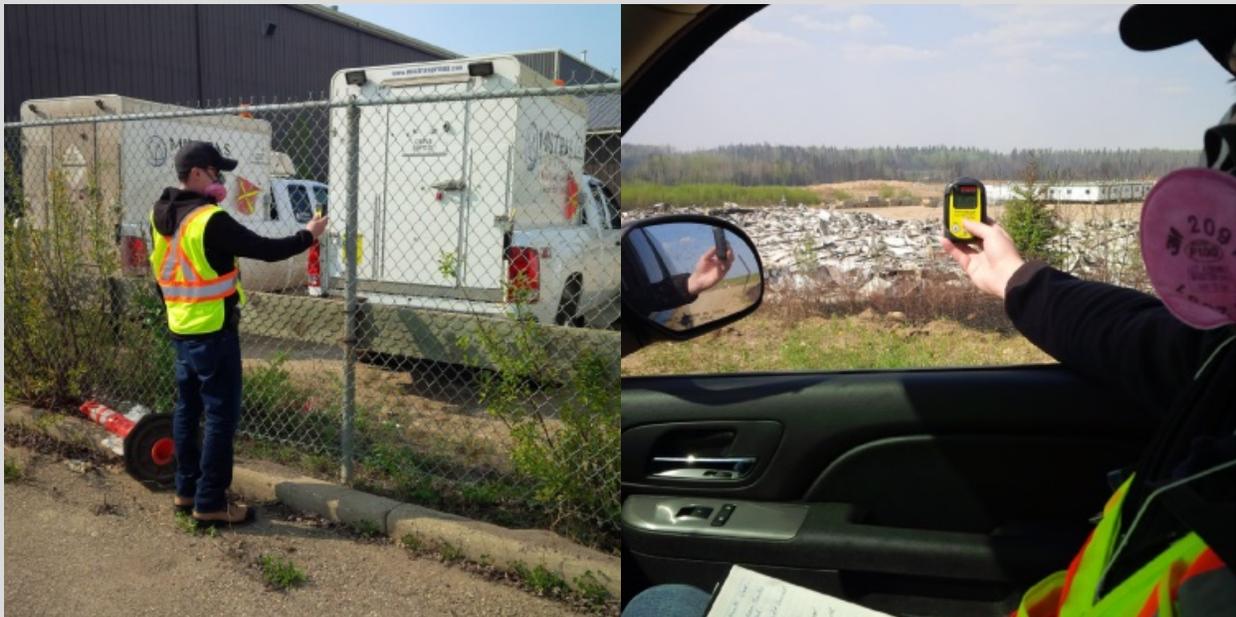
Les connaissances tirées de la recherche environnementale sont essentielles pour vérifier que les titulaires de permis se conforment aux exigences des programmes de surveillance environnementale que leur impose la loi. Elles renforcent aussi le Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE) mis en œuvre par la CCSN, qui effectue des prélèvements d'échantillons indépendants dans des endroits publics voisins d'installations nucléaires et en analyse le contenu radiologique ou dangereux (non radiologique), complétant ainsi les activités de vérification de la conformité effectuées périodiquement et de façon continue par la Commission.



Des membres du personnel du PISE prélèvent des échantillons d'eau à proximité du site de la mine Deloro en Ontario.

L'eau, les végétaux, l'air, le sol, les sédiments, les produits agricoles et d'autres denrées alimentaires naturelles sont tous des échantillons environnementaux. Le PISE est appliqué à tous les segments du cycle du combustible nucléaire : mines d'uranium et usines de traitement, installations de traitement de l'uranium et de matières nucléaires, centrales nucléaires, installations de recherche et de production d'isotopes médicaux et installations de gestion des déchets.

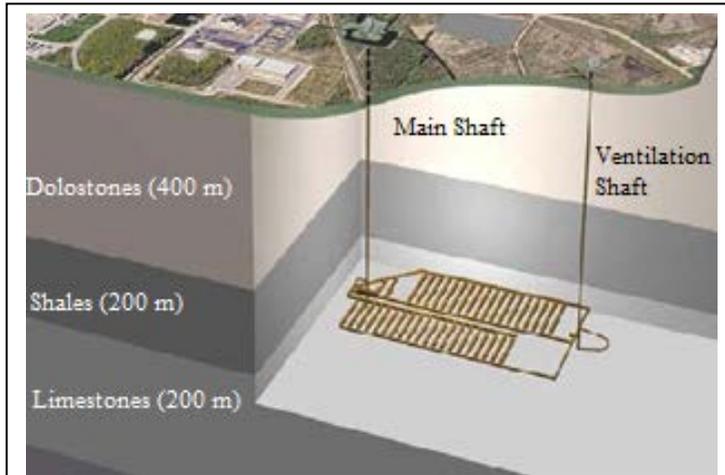
Le saviez-vous? Dans les premières semaines suivant les feux de forêt dévastateurs qui ont frappé la région de Fort McMurray (Alberta), des membres du personnel de la CCSN étaient sur place et en communication avec des titulaires de permis de l'Alberta et de la Colombie-Britannique afin de vérifier l'emplacement et l'intégrité de leurs sources de rayonnements et appareils à rayonnements. Le feu s'est déclaré le 1er mai 2016 et, le 6 mai, des membres du personnel de la CCSN avaient commencé à collaborer avec les titulaires de permis touchés par le feu pour veiller à ce que tous les stocks soient entreposés de façon sécuritaire et pour vérifier le statut de toute matière et de tout dispositif nucléaires. Une voie de communication entre la CCSN et les premiers intervenants a été établie, également, la CCSN fournissant de l'information sur les risques radiologiques au Centre canadien d'urgence transport et au Centre provincial des opérations de l'Alberta. Le 12 mai, deux spécialistes de la CCSN avaient été affectés au secteur et avaient terminé les inspections sur le terrain, confirmant que le feu n'avait touché aucun appareil ni aucune source et qu'il n'y avait aucune fuite de rayonnements susceptible de mettre en danger le public ou l'environnement.



Des spécialistes de la CCSN inspectent un site à Fort McMurray pour s'assurer que les appareils autorisés n'ont pas laissé fuir de rayonnements. Les spécialistes mesurent les niveaux de rayonnement du secteur au moyen d'un dosimètre personnel (détecteur de rayonnement). Beaucoup de dispositifs nucléaires (comme les caméras de gammagraphie ou les jauges nucléaires) contiennent de puissantes sources de rayonnements, mais ces sources sont confinées dans des capsules extrêmement durables de façon à assurer que les dispositifs ne représentent aucune menace pour les travailleurs, le public ou l'environnement. Par exemple, les sources de rayons gamma dans les caméras de radiographie sont blindées par de l'uranium épuisé, contenu dans une double capsule d'acier inoxydable et doivent réussir une épreuve de combustion à 800°C d'une durée de 30 minutes dans le contexte de l'homologation de leur sûreté.

Recherches indépendantes de la CCSN sur les dépôts géologiques

Un dépôt géologique en profondeur (DGP) est construit sous terre, habituellement à une profondeur de



Légende : Dolostones = Dolomie; Shales = Schiste; Limestones = Calcaire; Main Shaft = Puits principal; Ventilation Shaft = Puits de ventilation

Diagramme conceptuel d'un dépôt géologique en profondeur pour les déchets de faible et de moyenne activité dans le sud de l'Ontario.

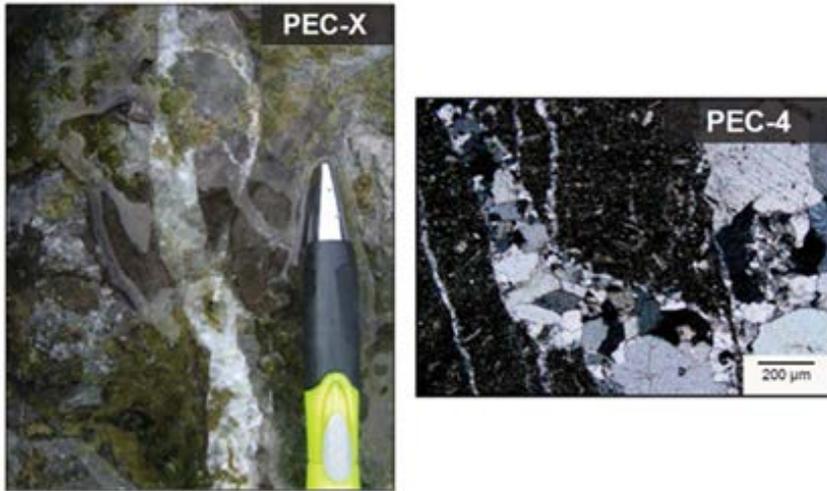
Un dépôt géologique en profondeur est construit sous terre, habituellement à une profondeur de plusieurs centaines de mètres. Une fois que les déchets radioactifs ont été mis en place, les tunnels et les puits excavés sont remblayés.

plusieurs centaines de mètres ou plus sous la surface dans de la roche hôte stable. Les dépôts géologiques dépendent de multiples barrières (par exemple, la sorte de déchets, les conteneurs, les dispositifs mécaniques d'étanchéité et la roche hôte) pour le confinement et l'isolation à long terme des déchets radioactifs.

La CCSN participe à des travaux de recherche indépendants à l'échelle internationale qui portent sur les questions de sûreté à long terme en lien avec le stockage définitif des déchets radioactifs, y compris le combustible utilisé dans des formations de roche cristalline et de roche sédimentaire. Ces recherches contribuent à l'élaboration et à la mise à jour de documents d'application de la réglementation, qui sont à la base des recommandations du personnel de la CCSN à la Commission sur les DGP et les demandes de permis.

La stabilité à long terme de la roche du sud de l'Ontario est pertinente pour les régions proposées actuellement pour accueillir un DGP (pour les déchets de faible et de moyenne activité). Une

étude sur le terrain a été réalisée pour déterminer la stabilité de la géosphère, plus particulièrement le potentiel de réactivation des failles dans le sud de l'Ontario. L'étude visait également la fracturation et la précipitation secondaire des minéraux dans ces fractures (calcite).



Photos de fractures remplies de calcaire prises dans le cadre de cette étude, du dans le comté de Prince Edward (Ontario).
 PEC-X : photo sur le terrain. PEC-4 : photomicrographie

Cette recherche a été dirigée par un professeur et un étudiant de deuxième cycle du Département des sciences de la terre et de l'environnement de l'Université d'Ottawa. En consultation avec le personnel de la CCSN, les chercheurs ont choisi un site où des failles étaient préservées dans la roche sédimentaire de type et d'âge semblables à celle pour le site de DGP proposé dans le sud de l'Ontario. Pour étudier les causes possibles et l'âge de la réactivation des failles, ils ont procédé à des analyses structurelles des failles et des fractures et à la [datation radiométrique](#) de minéraux d'obturation des fractures. L'une des grandes conclusions du projet est que les fluides précipités dans le remblai de calcite étaient mobilisés il y a environ 100 millions d'années par des joints issus de structures dans le socle précambrien sous-jacent, probablement à cause de bouleversements tectoniques en champ lointain à cette époque. Cette recherche fournit à la CCSN de l'information sur des sites [stratigraphiquement](#) semblables, ainsi que des informations clés sur les méthodes de détermination de la stabilité tectonique et l'adéquation géologique d'une région. Ces connaissances pourront servir lors de l'autorisation et de la réglementation futures des DGP au Canada.

Le rapport final se trouve sur le site Web de la CCSN : [Coordinated Assessment and Research Program \(CARP\): Age-dating fracture infill minerals](#). (Programme d'évaluation et de recherche coordonnées : Datation des minéraux d'obturation des fractures)

Le saviez-vous? Les déchets radioactifs de centrales nucléaires ont une activité faible, moyenne ou élevée. Ces paramètres décrivent les niveaux de radioactivité émis par les déchets, ce qui indique en retour comment il faudrait en disposer de la façon la plus sécuritaire possible. Les déchets de faible activité, comme des produits de nettoyage utilisés dans une installation nucléaire, contiennent des substances nucléaires faiblement radioactives. Ces déchets nécessitent peu ou pas d'isolation. Les déchets de moyenne activité contiennent de grandes quantités de matières radioactives nécessitant une isolation quelconque, tandis que les déchets de haute activité, qui incluent le combustible irradié de centrales nucléaires, doivent être isolés et confinés à long terme afin de protéger les travailleurs et l'environnement.

Appui de la CCSN au Groupe consultatif indépendant sur les dépôts géologiques en profondeur

En 2007, le gouvernement du Canada a choisi la stratégie de Gestion adaptative progressive comme plan de gestion sécuritaire et à long terme du combustible nucléaire usé. C'est la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) qui étudie la construction d'un dépôt géologique en profondeur pour la gestion à long terme du combustible nucléaire usé du Canada, qui met en œuvre ce plan.

Conformément à la pratique exemplaire internationale, l'organisme de réglementation participe aux phases du début et précédant la délivrance de permis d'un nouveau projet nucléaire. Cette participation tôt dans le processus aide à créer les connaissances scientifiques indépendantes nécessaires pour étudier les demandes futures qui auront trait au projet. C'est pourquoi la CCSN se prépare à étudier une demande de permis de la SGDN portant sur une installation de gestion à long terme du combustible nucléaire usé.

Afin d'appuyer ce processus, le Groupe consultatif indépendant (GCI) mis sur pied a été chargé de fournir au personnel de la CCSN des avis objectifs et indépendants sur les aspects scientifiques d'un dépôt géologique en profondeur. Dirigé par l'Université Carleton, le GCI regroupe des géoscientifiques et des ingénieurs de l'Université Carleton, de l'Université Queen's, de l'Université McMaster, de l'Université du Manitoba et de la Commission géologique du Canada. Le GCI a été chargé de repérer toute lacune dans la recherche ou la méthodologie qu'il faudra combler avant de présenter une demande de permis. À cette fin, le GCI a notamment :

- examiné les programmes de recherche de la SGDN, ses rapports annuels et certains documents techniques;
- examiné le programme de recherche de la CCSN, formulé des conseils sur son efficacité et recommandé des domaines de recherche à venir;
- indiqué comment le programme de recherche de la SGDN se compare aux recherches sur les dépôts menées sur la scène internationale.

Le GCI produit un rapport annuel pour documenter ses activités et présenter des recommandations. Le rapport de 2015-2016 se trouve sur le site Web de la CCSN : *Rapport annuel du GCI à la CCSN, avril 2016*.



Les membres du GCI en 2016-2017. De gauche à droite : Paul Van Geel, Université Carleton; John Percival, Ressources naturelles Canada; Victoria Remenda, Université Queen's; Stan Pietruszczak, Université McMaster et Mostafa Fayek, Université du Manitoba.

Atelier de la CCSN visant la recherche sur le tritium

Le [tritium](#) est une forme radioactive de l'hydrogène, produite naturellement par les interactions entre les rayons cosmiques de la haute atmosphère et artificiellement en tant que sous-produit des réacteurs nucléaires CANDU et des installations de traitement du tritium. Comme le tritium contribue beaucoup aux doses de rayonnements reçues par le public, la CCSN réglemente et surveille attentivement les rejets de tritium provenant d'installations nucléaires afin de protéger la santé et la sécurité de la population canadienne et de l'environnement.

Du 25 au 27 avril 2016, la CCSN a tenu, à son siège social, un atelier visant à cerner les nouvelles orientations et de nouveaux sujets de recherche sur le tritium. L'atelier réunissait des représentants de la CCSN, des Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC), de l'Institut de radioprotection et sûreté nucléaire (IRSN) et de l'Université d'Ottawa. Cet événement de trois jours comportait des exposés sur des recherches antérieures ou en cours, une discussion sur les lacunes de la recherche courante, et une discussion sur la voie à suivre pour des projets de recherche et des collaborations futures entre les participants. Parmi les principaux thèmes cernés pour des recherches futures, on trouvait notamment une meilleure caractérisation des concentrations naturelles de tritium à des sites non influencés par les installations nucléaires; la recherche sur la présence d'autres formes de tritium dans l'environnement (p. ex. en aérosol); et l'amélioration des méthodologies d'échantillonnage et d'analyse du [tritium lié à des composés organiques](#) dans des échantillons environnementaux, en particulier pour les sols et à de faibles concentrations de tritium.



Dans cette photo, des membres du personnel de la Direction de l'évaluation de la protection environnementale et radiologique de la CCSN effectuent des expériences pour mesurer la teneur en tritium lié à des composés organiques contenus dans des barils de plantes.

En 2007, le personnel de la CCSN a lancé une série de projets de recherche afin de mieux éclairer la surveillance réglementaire de la transformation et des rejets de tritium au Canada. Au cours des années qui ont suivi, la CCSN a publié sept rapports portant sur des sujets comme le devenir environnemental du tritium dans l'atmosphère, le sol et la végétation, les effets du tritium sur la santé et la protection radiologique, et les évaluations des recommandations sur le contenu de l'eau potable et les rejets annuels de tritium.

Ces rapports et d'autres renseignements sur le rôle du tritium dans l'environnement et l'industrie nucléaire du Canada se trouvent sur le [site Web officiel de la CCSN](#).



Le saviez-vous? Le tritium a de nombreuses applications dans la vie de tous les jours. L'une des plus courantes est son utilisation dans l'éclairage et l'affichage lumineux. En combinant le tritium gazeux à du phosphore, il est possible de produire une lumière qui n'exige aucune source d'énergie électrique – ce qui est idéal pour assurer que les indicateurs de sortie et d'urgence continuent de briller même en cas de panne de courant.

Pleins feux sur le personnel de la CCSN

Terry Jamieson, MAsc, ing.

Terry Jamieson compte plus de 35 ans d'expérience dans le secteur nucléaire, de la sûreté et de l'environnement au Canada et il a occupé des postes techniques et de gestion dans les domaines de la radioprotection, de la protection de l'environnement, de la sécurité nucléaire, de l'évaluation des garanties et de la sûreté. Son baccalauréat et sa maîtrise en génie, tous deux de l'Université de Toronto, et sa spécialisation dans les applications nucléaires, ont constitué les assises de sa carrière.

Avant son départ à la retraite cette année, M. Jamieson a été pendant les dix dernières années vice-président de la Direction générale du soutien technique de la CCSN (chargée de la sécurité et des garanties, de l'évaluation et de l'analyse, de la protection et de l'évaluation de l'environnement et de la radioprotection, ainsi que de la gestion de la sûreté), où il dirigeait un effectif d'environ 300 personnes. Outre ses responsabilités officielles, il faisait aussi fonction d'autorité capable de fournir conseils et surveillance portant sur toute question scientifique ou technique. Au cours de sa carrière à la CCSN, M. Jamieson a activement participé à des travaux de recherche (principalement à l'appui de la Direction générale du soutien technique) et a présenté plus de 30 exposés à des auditoires locaux et internationaux. Il a aussi présidé des tribunes de premier plan, notamment en siégeant au Groupe des politiques du Programme multinational d'évaluation des conceptions (PMEC) de la CCSN. Au cours des trois dernières années, il a été vice-président du Forum des organisations de soutien technique et scientifique de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

Avant son arrivée à la CCSN, M. Jamieson a passé 18 ans à la Science Applications International Corporation (SAIC Canada), où son travail portait avant tout sur l'analyse de la sûreté des réacteurs CANDU, la planification des interventions d'urgence, la détection et la mesure des rayonnements, le génie nucléaire et radiologique, ainsi que sur le comportement de confinement des réacteurs et les voies de rejet. M. Jamieson est devenu chef de l'exploitation, vice-président et directeur de division à SAIC Canada, où il était chargé des opérations nationales de l'entreprise.

M. Jamieson a commencé sa carrière comme ingénieur en conception nucléaire à Hydro Ontario. Il est ensuite devenu chercheur à la Division des sciences et de la technologie du Service de recherche de la Bibliothèque du Parlement, où il s'est spécialisé notamment en énergie nucléaire, sûreté nucléaire et haute technologie, particulièrement dans le domaine de l'énergie. M. Jamieson est ensuite devenu ingénieur nucléaire principal à ECS Power Systems, où il était chargé de la conception de petits réacteurs nucléaires mobiles pouvant servir dans un sous-marin de recherche. Durant cette période, il a détenu avec plusieurs collègues un brevet sur un nouveau concept de petit réacteur.

Tout au long de sa carrière, M. Jamieson a participé à de nombreux groupes et projets variés, recevant de nombreux éloges pour son travail. En 2010, il a été nommé compagnon de l'Institut canadien des ingénieurs. En 2000, la Société Nucléaire Canadienne a décerné à M. Jamieson le Prix de travail d'équipe J.S. Hewitt pour la conceptualisation créatrice et l'application innovatrice d'un système d'activation de neutrons thermiques destiné à détecter des mines terrestres non métalliques, qui permet de détecter et d'éliminer ces dispositifs mortels plus efficacement. Au début de sa carrière, dans ses temps libres, M. Jamieson a mis au point un moteur analytique pour alimenter les codes de projection des interventions



Terry Jamieson, ancien vice-président de la Direction générale du soutien technique de la CCSN.

d'urgence CANDU que l'industrie nucléaire utilise depuis 1985. Il est aussi l'auteur de nombreuses publications techniques et a reçu le prix de la meilleure communication de l'American Nuclear Society en 1996 pour une communication dont il est le coauteur et qui s'intitule *Assessment of the Cosmic Radiation Field at Jet Altitude*.

Steve Mihok, PhD

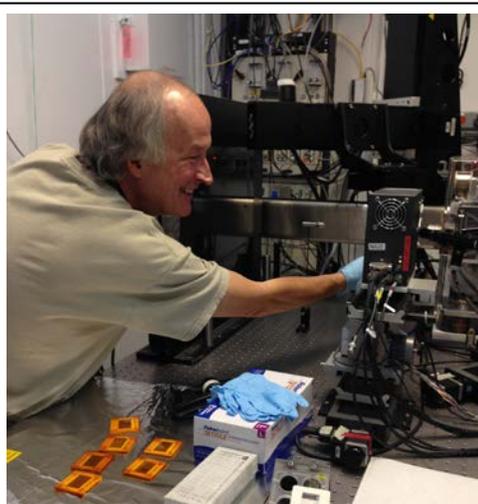
Le travail et les recherches qu'effectue la CCSN reposent sur le vaste savoir-faire de ses spécialistes techniques et scientifiques. Avant son départ à la retraite cette année, ce soutien incluait celui de Steve Mihok, depuis 17 ans. Au cours d'une carrière de 42 ans en sciences, M. Mihok a travaillé dans des organismes de réglementation gouvernementaux, comme scientifique chercheur, biologiste/gestionnaire en développement international, agent des affaires publiques et chargé de cours à l'université. Il a commencé sa carrière en recherche sur le terrain dans l'Arctique en 1975, ce qui s'est traduit par un doctorat en écologie du comportement des petits mammifères de l'Université de l'Alberta en 1979.

Dès son arrivée à la CCSN en 2000, M. Mihok a travaillé comme spécialiste de l'évaluation des risques environnementaux dans plusieurs divisions et directions, y compris, récemment, à la Division de l'évaluation des risques environnementaux. Son travail comportait des activités d'évaluation et de conformité visant à assurer la protection du public et de l'environnement. À ses débuts à la CCSN, il a effectué des recherches sur le molybdène

comme contaminant préoccupant dans les mines d'uranium, ce qui a abouti à son inclusion dans les stratégies de traitement des effluents. Comme biologiste principal, il s'est spécialisé en radioécologie et modélisation environnementale, faisant souvent office de passerelle entre les spécialistes de la protection de l'environnement et ceux de la protection des personnes. Il a aussi contribué à de nombreuses activités externes, échangeant avec l'AIEA, la CIPR et l'UNSCEAR et il a présenté régulièrement de l'information sur les activités scientifiques et réglementaires de la CCSN et la protection de l'environnement au cours de réunions, de conférences et d'ateliers tenus sur la scène internationale. Il a aussi été proactif dans le cadre du Programme de recherche et de soutien de la CCSN, en mettant sur pied un projet de recherche et des ateliers innovateurs portant sur des sujets comme les effets des rayons alpha sur le poisson et les mammifères, la science environnementale du tritium et la caractérisation de l'uranium dans les résidus miniers au moyen du synchrotron.

Avant son arrivée à la CCSN, M. Mihok a occupé divers postes de responsabilité au Canada et en Afrique. Après avoir obtenu son doctorat, il a enseigné brièvement l'écologie de la faune et la statistique à l'Université de Dar es Salaam en Tanzanie. Il est ensuite revenu au Canada pour travailler à la Direction générale de la recherche environnementale d'EACL, aux Laboratoires de Whiteshell au Manitoba, jusqu'en 1988. Il y a effectué des recherches sur la santé et l'écologie des petits mammifères soumis à une exposition chronique à des rayons gamma dans des conditions naturelles. Jusqu'à maintenant, il demeure un des très rares scientifiques à avoir effectué des études expérimentales de cette nature sur le terrain.

M. Mihok est ensuite retourné travailler en Afrique pendant 10 ans comme scientifique chercheur au Centre international de la physiologie et de l'écologie des insectes (CIPEI), au Kenya, où il a effectué des recherches et mené, partout en Afrique, des activités d'approche portant sur les maladies à transmission vectorielle chez les humains, la faune et le bétail dans le contexte du développement durable. Il a formé quelque 150 vétérinaires et biologistes en lutte contre la mouche [tsé-tsé](#) et il a été responsable technique d'un nouveau programme de gestion des vecteurs de maladie. Au CIPEI, il a inventé le piège Nzi, dispositif maintenant répandu pour capturer des mouches tsé-tsé et d'autres mouches piqueuses.



Steve Mihok à l'Argonne National Laboratory, déposant un échantillon de résidu de mine d'uranium dans un synchrotron pour microanalyse.

M. Mihok a contribué à une centaine de publications pendant sa longue carrière variée, y compris 86 articles scientifiques parus surtout dans des revues à comité de lecture, 10 documents d'information ou portant sur la réglementation de la CCSN et trois documents techniques de l'AIEA. Il a aussi été critique d'articles et de chapitres de livres pour 37 éditeurs et a étudié des demandes de recherche pour le compte de cinq organismes. Durant tout son travail à la CCSN, M. Mihok a été reconnu par de nombreux prix qui reflètent sa contribution aux activités de délivrance de permis, d'évaluation, de recherche et d'approche.

Progrès des perspectives en matière de réglementation

Afin de garantir la surveillance sécuritaire des technologies et des applications nucléaires, les perspectives en matière de réglementation doivent évoluer, à la fois en fonction des avancées dans les technologies nouvelles et en fonction de notre compréhension des technologies courantes. Chaque année, la CCSN participe aux travaux de groupes de recherche et d'échange de connaissances et à des activités qui portent avant tout sur l'évolution des perspectives en matière de réglementation.



Discussions en groupe au cours de l'atelier sur les communications et les perceptions en matière de risques radiologiques organisé par la CCSN en novembre 2016. Participaient notamment à l'atelier la CCSN, l'Université de Nagasaki, la Nuclear Regulatory Commission des États-Unis, Santé Canada et d'autres parties canadiennes et étrangères.

La CCSN organise chaque année toutes sortes d'ateliers locaux et internationaux visant à améliorer les optiques réglementaires des participants et y agit aussi comme participant.

Sommet mondial des organismes de réglementation de l'énergie

Les organismes de réglementation nucléaire doivent relever des défis qui transcendent les frontières géographiques, et notamment fournir des évaluations exactes et opportunes des risques environnementaux, sociaux et politiques liés à la protection, au transport et la distribution d'énergie – tout en suscitant la confiance du public dans leurs activités. En 2015, M. Cary Coglianese a été chargé par l'organisme de réglementation de l'énergie de l'Alberta d'effectuer une étude et de produire un rapport sur la façon dont les organismes de réglementation du monde abordent ces enjeux. En septembre 2015, il a publié un rapport traitant de sujets comme la confiance du public et l'évaluation des risques, qui cherchait aussi à répondre à la question de l'excellence en matière de réglementation.

La question de l'excellence en matière de réglementation a été étudiée plus à fond au cours du dernier exercice dans le cadre d'un consortium canadien organisé par le Forum des politiques publiques qui a réuni la CCSN, l'Alberta Energy Regulator, l'Office national de l'énergie et Ernst & Young. Au cours de trois événements distincts, des organismes de réglementation de l'énergie fédéraux, provinciaux, territoriaux et étrangers ont examiné le travail présenté dans le rapport de M. Coglianese. Les exposés présentés par le président de la CCSN, Michael Binder, et par le vice-président et premier dirigeant des communications de la Direction générale des affaires réglementaires, Jason Cameron, ont permis à la CCSN de démontrer que le Canada applique des régimes de réglementation de premier plan.

Le saviez-vous? En 2017, le monde comptait presque 450 réacteurs commerciaux exploitables. Les réacteurs sont situés dans 48 pays et sur chaque continent, sauf en Australie et dans l'Antarctique.

Groupe CSA

La CCSN collabore depuis longtemps avec le Groupe CSA (auparavant appelé Association canadienne de normalisation), organisme tiers indépendant qui offre un processus structuré et agréé d'élaboration de normes. La CCSN est un participant de premier plan au Programme des normes nucléaires du Groupe CSA (qui élabore, examine, modifie et publie des normes destinées à l'industrie de l'énergie nucléaire) depuis sa création au cours des années 1970, en raison de son vif intérêt envers l'élaboration de normes de sûreté pour l'industrie nucléaire. Les normes élaborées dans le cadre de ce programme font partie intégrante du cadre de réglementation de la CCSN et sont mentionnées dans des textes réglementaires comme les permis, des guides sur les conditions de permis et des documents de réglementation et d'orientation.

Les contributions de la CCSN au Groupe CSA continuent d'appuyer son Programme de normes de sûreté nucléaire, ainsi que le congrès annuel et la semaine des comités du Groupe. Cet appui facilite aussi pour le public l'accès aux normes nucléaires de la CSA, grâce au portail en ligne gratuit des collectifs d'intérêt et à des communications coordonnées entre la CCSN et le Groupe CSA qui invitent le public à examiner les projets de normes nucléaires et à formuler des commentaires. Ce travail joue un rôle important car il garantit que la consultation relative aux normes du Groupe CSA se déroule avec la même transparence que celle que le Groupe CSA maintient dans l'élaboration de normes que dans le cas d'autres documents réglementaires de la CCSN.

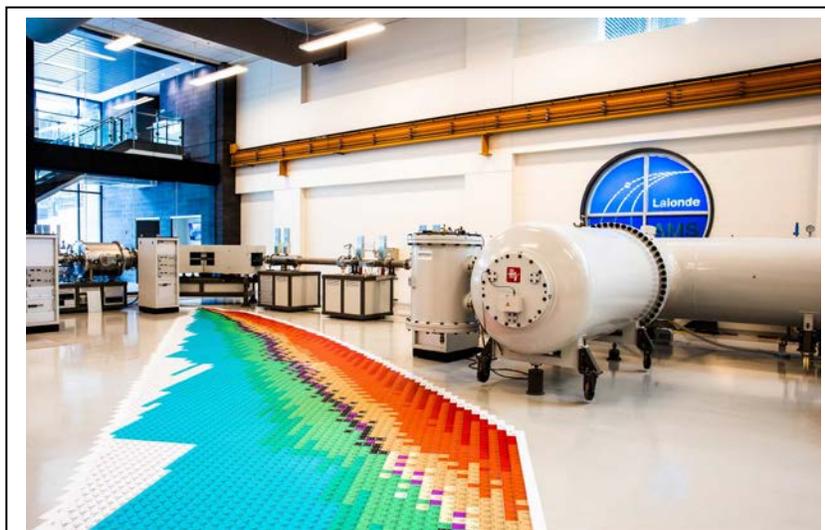
La CCSN participe à des réunions de comités techniques au cours desquelles les membres discutent de la rédaction, de l'examen, de la modification et de l'élaboration scientifique des normes de la CSA. Au cours de l'exercice 2016-2017, la CCSN a participé à de nombreuses réunions de comités techniques, à l'examen de sept documents de la CSA, à deux réunions du Comité directeur stratégique nucléaire et à une réunion de comité portant sur la mise à jour d'un programme d'agrément de préposés à l'utilisation d'appareils d'exposition.

Accroître les capacités nucléo-légales du Canada

L'analyse nucléo-légale est l'analyse scientifique de matières radioactives ou nucléaires (ou d'éléments de preuve contaminés par de telles matières) aux fins d'enquêtes plus vastes sur des événements touchant à la sécurité nucléaire. Il s'agit d'un processus itératif qui se fonde sur des identificateurs de suivi administratif et les signatures isotopiques, chimiques et physiques des matières nucléaires et qui permet d'établir le lien entre ces matières et des personnes, des lieux ou des événements.

Depuis 2013, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) a participé à plusieurs initiatives pangouvernementales visant à accroître et à étendre les capacités nucléo-légales au pays. On a notamment mis en place la Bibliothèque médicolégal nucléaire du Canada (BMLNC), un vaste dépôt de données répertoriant les signatures des matières et livrant d'autres renseignements sur les matières radioactives ou nucléaires faisant l'objet d'un contrôle réglementaire au Canada. La CCSN est l'organisme fédéral responsable de l'élaboration, de la mise à jour et de l'exploitation de la BMLNC au nom du gouvernement du Canada. Il s'agit d'un outil aidant à mener des évaluations et des études comparatives aux fins d'enquêtes plus générales sur des menaces ou des incidents mettant en cause des matières radioactives ou nucléaires. Sa principale fonction est de faciliter l'attribution de ces matières si on constate qu'elles sont soustraites à tout contrôle réglementaire.

Dans un souci d'améliorer les capacités d'attribution de la BMLNC, on a lancé une initiative de recherche pour mesurer la teneur en U-236 d'échantillons de [concentré de minerai d'uranium](#) dans les stocks actuels de la CCSN. Cet [isotope](#) de l'uranium peut donner une signature hautement discriminante et, comme les empreintes digitales, permettrait à la BMLNC d'être en mesure d'établir l'origine géologique d'échantillons de provenance inconnue. Des mesures portant sur l'U-236 ont eu lieu au Laboratoire André E. Lalonde de spectrométrie de masse par accélérateur au Complexe de recherche avancée de l'Université d'Ottawa. Une évaluation de cet isotope comme signature à la fois indépendante et complémentaire est en cours en collaboration avec le Conseil national de recherches du Canada.



Laboratoire André E. Lalonde de spectrométrie de masse par accélérateur au Complexe de recherche avancée de l'Université d'Ottawa. Ce laboratoire abrite divers appareils perfectionnés, dont un grand spectromètre de masse (à droite), qui permet la détection et l'analyse de faibles concentrations d'isotopes dans des échantillons naturels.

(Source : <https://media.uottawa.ca/news/CFI-AMS>)

Avancement des méthodes d'analyse d'échantillons au laboratoire de la CCSN

La spectrométrie de masse à plasma induit (SM-PI) est une technique d'analyse servant à détecter et à quantifier certains éléments d'échantillons aqueux. Pour analyser des échantillons solides (comme les pastilles de combustible de dioxyde d'uranium ou UO_2), il faut dissoudre l'échantillon à l'aide d'acides concentrés. Comme autre moyen, le laboratoire de la CCSN a mis au point de nouvelles techniques d'[ablation par laser](#) (AL) qui, avec la SM-PI, éliminent le besoin de dissoudre les échantillons. Dans cette ablation, on concentre un rayon laser sur la surface d'un échantillon pour produire de petites particules qui pourront ensuite être analysées par SM-PI. Comme il n'y a pas de dissolution, la technique SM-PI-AL simplifie grandement la préparation des échantillons et réduit les quantités de déchets acides en laboratoire.

Cette technique a été étudiée dans deux projets du Programme canadien pour la sûreté et la sécurité, à savoir le projet d'établissement de la signature des matières nucléaires et des capacités de détermination de leur provenance et le projet national de renforcement des capacités en analyse nucléo-légale. Les méthodes d'analyse récemment mises au point qui font appel à la SM-PI-AL aideront à analyser les concentrations d'éléments traces dans les concentrés d'uranium, à mesurer les rapports entre isotopes d'uranium dans les échantillons riches (UO_2 , trioxyde d'uranium, etc.) et à soumettre des objets solides à des analyses de surface (pastilles de combustible UO_2 , par exemple). Ajoutons que le laboratoire de la CCSN a conçu et validé la méthode SM-PI-AL pour la détermination des dates de purification des matières riches en uranium, cette importante signature permettant d'établir l'origine d'une matière nucléaire dans une enquête nucléo-légale.

En 2016, la CCSN a représenté le Canada dans le cadre de l'exercice collaboratif sur les matériaux organisé par le groupe de travail technique international en matière d'analyse nucléo-légale. La technique SM-PI-AL a servi à examiner les surfaces de deux pastilles d' UO_2 et à établir leur date de purification et leur enrichissement. Le laboratoire de la CCSN était le seul à utiliser cette technique dont les résultats concordaient parfaitement avec ceux de techniques bien plus coûteuses et spécialisées.



Matériel SM-PI-AL du laboratoire de la CCSN.

Le principe à la base de la détection SM-PI est qu'une source de [plasma induit](#) à haute température sert à convertir les atomes des éléments d'un échantillon en leurs [ions](#), lesquels sont ensuite séparés et détectés par [spectrométrie de masse](#).

Le saviez-vous? En 2016, le laboratoire de la CCSN a reçu l'accréditation ISO 17025 du Conseil canadien des normes pour l'étalonnage de radiamètres gamma. Outre l'étalonnage, l'entretien et l'entreposage d'appareils de détection de rayonnement (radiamètres, identificateurs d'isotopes, etc.), le laboratoire a aussi pour rôle la collecte et l'analyse d'échantillons venant de l'environnement et la recherche.

La CCSN a deux bureaux centraux et une installation de laboratoire spécialisée dans la région d'Ottawa.

Activités de recherche comme préparation à la réglementation des nouvelles technologies de réacteur

L'intérêt pour l'utilisation possible des nouvelles technologies de réacteur s'est accru ces dernières années. Il s'agit de technologies comme les plans de conception de grosses centrales nucléaires de troisième ou quatrième génération, ainsi que de projets de centrales de moindre taille, c'est-à-dire les petits réacteurs modulaires (PRM).

Au nombre des caractéristiques technologiques que présentent ces nouveaux plans de conception, on compte l'utilisation de caloporteurs de réacteur qui surpassent en rendement l'eau et ses propriétés réfrigérantes, le recours à des pratiques de construction modulaire et l'utilisation accrue de l'automatisation et des fonctions passives ou qualités inhérentes en matière de sûreté nucléaire.

Ces caractéristiques sont de nature à grandement améliorer le rendement en matière de sûreté et l'efficacité de l'exploitation, certes, mais il importe que le personnel de la CCSN comprenne l'état de la science et de la technologie qui sous-tend ces progrès. (À titre d'exemple, les nouveaux types de caloporteurs pourraient poser des problèmes d'ordre chimique importants dans l'exploitation à long terme d'une centrale nucléaire.) Il est également important d'établir comment ces caractéristiques et les types de réacteurs seront réglementés, surtout s'ils n'ont jamais été exploités ni même construits jusqu'ici.

Le programme de recherche réglementaire de la CCSN est employé stratégiquement, de pair avec d'autres activités (comme les examens de la conception du fournisseur préalables à l'autorisation) pour fournir au personnel de la Commission des renseignements supplémentaires :

- qui aident à interpréter et à clarifier les exigences et les recommandations réglementaires
- qui éclairent les évaluations techniques aux fins de l'autorisation
- qui permettent d'établir des programmes de conformité pour les activités proposées par les demandeurs de permis

Le saviez-vous? Le terme « petit réacteur modulaire » reçoit bien des interprétations dans le monde, mais on entend généralement par là une centrale nucléaire dont la production est inférieure à celle des centrales classiques (production d'électricité de 700 à 1 650 MWé) et qui présente les caractéristiques suivantes en tout ou en partie :

- un PRM s'appuie sur des modes de fabrication et de construction modulaires pour réduire les délais de construction
- pour compenser la perte des économies d'échelle que permettent les réacteurs de plus grande taille, un PRM comporte généralement un plus grand nombre de fonctions technologiques pouvant diminuer les charges d'immobilisation, d'exploitation et d'entretien
- un PRM peut être formé d'un ou de plusieurs réacteurs autonomes mis en séquence selon l'accroissement de la demande d'énergie nucléaire

On parle ici de petits réacteurs modulaires, mais l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) emploie le terme « petits et moyens réacteurs »; un petit réacteur produit moins de 300 MWé et un réacteur moyen, jusqu'à 700.

Programme multinational d'évaluation des conceptions

L'Agence pour l'énergie nucléaire a créé en 2006 le Programme multinational d'évaluation des conceptions (MDEP) pour tirer parti des ressources et des connaissances des autorités réglementaires qui, dans le monde, ont pour tâche d'examiner les nouvelles conceptions de réacteurs nucléaires. Les organismes de réglementation nucléaire de 15 pays participent au MDEP, lequel comprend cinq groupes de travail sur la conception et trois groupes de travail sur des questions spécifiques. Les premiers s'attachent aux plans de conception de réacteurs; ils sont formés lorsque trois pays ou plus expriment le désir d'examiner une conception en collaboration. Les seconds ont pour tâche d'étudier certaines questions relevant des processus techniques et réglementaires.

La CCSN prend une part active aux activités du Groupe de travail AP1000 et du Groupe de travail sur les codes et les normes à orientation spécifique, et fait partie de deux groupes de travail sur des questions spécifiques (Groupe de travail sur l'inspection des fournisseurs et Groupe de travail sur l'instrumentation et le contrôle numériques). De plus, elle fait partie du Groupe des politiques du MDEP et du Comité de pilotage technique qui ont pour responsabilité de surveiller l'ensemble du programme.

La CCSN a récemment prolongé d'un an son entente de participation. Cela permettra d'assurer une transition de direction harmonieuse entre le Groupe de travail sur les codes et les normes et le Comité sur les activités nucléaires réglementaires. La CCSN continuera aussi à faire partie du Groupe de travail AP1000, d'où la possibilité d'utiliser avec profit les données acquises pendant la mise en service initiale du réacteur de conception AP1000.



Réunion du Groupe des politiques du MDEP à Paris, en France.

Forum des organismes de réglementation des petits et moyens réacteurs de l'AIEA

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a créé en 2015 le Forum des organismes de réglementation des petits et moyens réacteurs, dont le rôle est de cerner et de comprendre les grands enjeux se dégageant des discussions réglementaires sur ces réacteurs. Ses membres sont le Canada, la Chine, la Finlande, la France, la Corée, la Russie, le Royaume-Uni et les États-Unis. L'AIEA joue le rôle de secrétaire scientifique, donnant accès aux membres du Forum à ses propres compétences selon les besoins.

En 2015, on a lancé un projet pilote sur deux ans afin de mieux comprendre les vues des divers membres sur les questions réglementaires d'intérêt commun. En recensant les pratiques exemplaires internationales dans ce domaine, le projet permettra aux organismes de réglementation de disposer de l'information nécessaire pour changer au besoin leurs exigences et leurs pratiques en matière réglementaire. Dans ce projet pilote, le rôle de la CCSN a consisté à apporter une compétence technique aux groupes de travail du Forum sur les zones de planification d'urgence, l'application de la défense en profondeur et l'adoption d'une démarche graduée de décision réglementaire sur les nouvelles technologies proposées par les concepteurs de petits et moyens réacteurs.



Réunion du Forum des organismes de réglementation des petits et moyens réacteurs de l'AIEA au début de 2016.

La CCSN a participé aux réunions du comité directeur et des groupes de travail tenues par l'AIEA dans le dernier exercice. Ces rencontres étaient l'occasion non seulement de jauger les progrès des trois groupes de travail du Forum, mais aussi de discuter des domaines de travail futurs dans le cadre de la réalisation et de l'intégration des activités de ces groupes aux fins de la délivrance de permis par les États membres de l'AIEA.

Le Forum produit actuellement un rapport sur le projet pilote qui rendra compte des conclusions et des recommandations des trois groupes de travail, ainsi que des recommandations pour le programme de travaux qui doit suivre de 2017 à 2020. Le document sera publié comme un des nombreux documents techniques de l'AIEA que le public peut consulter sur le [site Web de cet organisme](#).

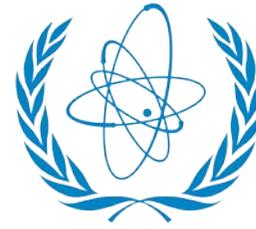
Compte tenu de l'intérêt accru pour les petits réacteurs modulaires dans le monde et la nécessité d'accroître la coopération réglementaire en ce qui concerne les technologies pertinentes, le personnel de la CCSN a recommandé de renouveler l'accord de contribution conclu avec le Forum pour accroître davantage les échanges internationaux sur les pratiques exemplaires.

Étude de l'AIEA sur l'applicabilité des exigences SSR-2/1 aux petits réacteurs

Depuis sa première publication en 1958 dans le cadre de la Série sur la sûreté nucléaire, l'AIEA s'est attachée à produire des ensembles intégrés, cohérents et complets de normes à jour et faciles d'application en matière de sûreté nucléaire. Ces documents visent à harmoniser, à l'échelle mondiale, les normes de protection des humains et de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Au nombre de ces normes, on compte les exigences SSR-2/1, *Safety of Nuclear Power Plants: Design*; il s'agit de 82 exigences sur des sujets aussi divers que la gestion de la sûreté de la conception et les plans généraux et spécifiques de conception de centrales. Ces exigences ont vu le jour principalement pour les grandes centrales terrestres ayant des réacteurs refroidis à l'eau, mais on peut aussi les appliquer judicieusement à d'autres types de réacteurs, pour déterminer les exigences devant entrer en ligne de compte dans l'élaboration de ces plans.

Comme l'intérêt croît pour les technologies PRM, l'AIEA a lancé un projet visant à confirmer l'applicabilité des normes SSR-2/1 aux petits réacteurs modulaires ou petits et moyens réacteurs. En première étape, on a demandé à un certain nombre de fournisseurs et d'organismes de conception d'examiner et de commenter les exigences SSR-2/1 pour deux modes de conception en particulier, à savoir les réacteurs refroidis à l'eau légère et les réacteurs refroidis au gaz à haute température. Les participants se sont vu remettre une liste d'exigences et ont été priés de livrer leurs interprétations et leurs observations, de se prononcer sur l'applicabilité prévue et de proposer des modifications.

Le participant de la CCSN à ce projet était un spécialiste technique de la Division de l'intégration des évaluations, qui a livré ses commentaires sur des thèmes comme la défense en profondeur et les conditions de confinement dans le cas des PRM refroidis au gaz à haute température. Ce travail a atteint son point culminant lors d'une rencontre d'experts-conseils au siège de l'AIEA à Vienne, en Autriche, en février 2017. À cette occasion, les commentaires réunis ont été examinés par tous les participants en vue d'acquérir une compréhension commune de l'applicabilité actuelle de chaque exigence aux deux modes de conception en question. D'autres réunions de travail sont prévues dans ce projet de l'AIEA en juin et septembre 2017, ce qui permettra de discuter des enjeux reconnus et de décider du sort de chaque exigence.



IAEA

International Atomic Energy Agency

Les documents des normes de sûreté nucléaire de l'AIEA énoncent des principes et des objectifs fondamentaux en matière de sûreté, c'est-à-dire des exigences destinées à assurer la sécurité des humains et de l'environnement avec des recommandations pour le respect de ces exigences.

Le saviez-vous? Le personnel de la CCSN examine, dans le cadre du processus d'examen de la conception des fournisseurs, les plans de conception de PRM dont la production va de 3 à 200 MWé. Des fournisseurs ont mis au point des conceptions plus modestes pouvant fournir assez d'énergie pour le chauffage et l'alimentation en électricité de petits villages sans accès au réseau électrique. Des plans un peu plus ambitieux sont mis au point pour le chauffage et l'alimentation électrique de projets miniers en région nordique. Certains fournisseurs conçoivent aussi des PRM de plus grande taille destinés à remplacer les centrales à combustibles fossiles dans des réseaux qui ne peuvent exploiter une grande centrale nucléaire classique.

On trouvera sur le [site Web de la CCSN, à la section des réacteurs](#), des renseignements supplémentaires sur les examens de la conception du fournisseur préalables à l'autorisation et sur les examens en cours.

Document de travail de la CCSN sur les exigences et les recommandations relatives aux PRM

Parmi les grandes questions dont doivent traiter les organismes de réglementation nucléaire (comme la CCSN) avec les fournisseurs et les autres intervenants, est celle de savoir ce qu'impliquent les PRM sur le plan de la réglementation et de la délivrance de permis. En ce qui concerne les mesures réglementaires et les permis au Canada, la Commission considère que la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* convient déjà à l'activité réglementaire portant sur les technologies PRM, la délivrance de permis étant axée sur les risques et indépendante de la technologie ou de la taille des réacteurs (mais la Commission est désireuse de voir où des améliorations pourraient être apportées). Autre aspect, les demandes de permis pour des activités ou des phases de projet bien précises peuvent être examinées en série ou en parallèle selon les besoins et l'état de préparation des demandeurs.

Même avec la souplesse de la CCSN en matière de délivrance de permis, les caractéristiques novatrices des nouvelles technologies de réacteur peuvent poser un problème sur le plan tant de l'interprétation que de l'application des exigences réglementaires. Ces dernières années, le personnel de la CCSN a examiné des enjeux clés concernant des technologies en émergence comme celle des PRM. En 2016, la Commission a produit un document de travail qui donne un aperçu des enjeux liés aux PRM. Dans certains cas, elle a confirmé que les exigences existantes demeurent valables et utiles. Dans d'autres, elle a jugé qu'un complément d'examen permettrait de confirmer si des exigences ou des recommandations devraient s'ajouter à celles qui existent déjà. Pour ces enjeux, on a établi des aspects à examiner à l'avenir – dans certains cas à l'aide des outils et des processus réglementaires actuels.

Le saviez-vous? Quoique les PRM soient une technologie émergente, on en construit déjà dans des pays comme la Chine, l'Argentine et la Russie. En Russie, par exemple, le réacteur KLT-40S est conçu comme une centrale flottante destinée à produire 35 MWé pour des installations à terre et jusqu'à 35 MW de chaleur pour le dessalement et le chauffage régional. L'établissement en question attend aujourd'hui son permis d'exploitation en Russie.



Le réacteur russe KLT-40S est maintenant intégré à une centrale nucléaire flottante.

Les données de ce document de travail ont permis de clarifier la réglementation au besoin avec les intervenants et les participants à des forums technologiques. Le document a été affiché pour consultation publique sur le site Web de la CCSN pendant 120 jours et plus de 430 commentaires ont été reçus d'organismes comme Ontario Power Generation, Bruce Power, StarCore Nuclear, Moltex Energy, le ministère de l'Énergie de l'Ontario et l'Association nucléaire canadienne. Les auteurs des commentaires ont ensuite été invités au siège de la CCSN à Ottawa en vue d'un atelier de suivi qui, en septembre 2016, a permis de répondre à toutes les questions restantes des intervenants de l'industrie et du public.

On peut consulter le rapport définitif sur le site Web de la CCSN : [DIS-16-04, Petits réacteurs modulaires : Stratégie, approches et défis en matière de réglementation.](#)

4^e Réunion technique internationale sur les petits réacteurs

Depuis 2010, la CCSN a tenu, en collaboration avec les Laboratoires de Chalk River, quatre rencontres techniques internationales sur les petits réacteurs; la plus récente a eu lieu en novembre 2016 à Ottawa. Ces réunions sont l'occasion de réunir divers intervenants de l'industrie et des sphères de la réglementation et des politiques pour faire connaître les questions importantes de conception et d'utilisation des nouvelles technologies de réacteur et en débattre.

À la réunion de 2016, le personnel de la CCSN a fait plusieurs exposés sur des questions d'intérêt réglementaire. Dans sa communication, Marcel de Vos, de la Division de l'autorisation des nouvelles installations nucléaires majeures, a décrit comment les demandeurs de permis de PRM peuvent se servir du cadre réglementaire de la Commission pour s'assurer que leurs plans de conception respectent les exigences de la réglementation dans tous les domaines de sûreté et de réglementation. Kevin Lee, de la Division d'analyse des politiques réglementaires, a présenté le cadre réglementaire canadien et livré de l'information sur la teneur du document de travail de l'organisme sur les PRM. Enfin, l'ex-vice-président de la Direction générale du soutien technique, Terry Jamieson, a présenté et examiné l'orientation de l'organisme dans l'examen des programmes de recherche-développement aux fins des examens réglementaires de PRM.

Cette réunion a aussi été l'occasion pour le personnel de la CCSN de recevoir les communications d'autres organismes et d'examiner des questions diverses : petits réacteurs non refroidis à l'eau, installations souterraines et hors réseau électrique, sûreté passive et inhérente, combustibles à tolérance aux accidents, autorisation de PRM de prototypage et de démonstration, etc.



Le saviez-vous?

L'énergie produite par une centrale nucléaire s'exprime habituellement en mégawatts d'électricité (MWé) ou d'énergie thermique ([MWth](#)). Dans le premier cas, il s'agit de la production d'électricité dans une centrale et, dans le second, de l'énergie thermique produite par un système avant sa conversion en électricité.

Engagements internationaux

Un aspect primordial de l'optimisation de la sûreté nucléaire est le fait d'assurer une collaboration et des échanges d'information entre la CCSN et les autres instances de réglementation et centres de recherches dans le monde. Le maintien de la collaboration entre la Commission et des organismes comme l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE) et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives de la France garantit l'accès de la Commission à un solide réseau d'entraide internationale.



Photo prise à l'occasion d'une visite du directeur général adjoint du secteur des garanties de l'AIEA à la CCSN, en mai 2016. La réunion était parrainée par Raoul Awad, directeur général de la Direction de l'amélioration de la réglementation et de la gestion des projets majeurs de la CCSN.

Poursuite du travail avec la Commission européenne

Avec son mouvement Horizon 2020, la Commission européenne vise à promouvoir la recherche scientifique en créant un marché unique accessible à tous, pour le financement et le soutien de la recherche, du savoir et de l'innovation. Depuis deux ans, la CCSN participe à deux projets Horizon 2020, à savoir le Sustainable Network for Independent Technical Expertise for Radioactive Waste Disposal (SITEX II) et FAST Nuclear Emergency Tools (FASTNET).

FASTNET est un projet sur quatre ans qui a débuté en 2015 comme collaboration internationale de 21 organismes à vocation nucléaire dans le monde sous la direction de la Swedish Radiation Safety Authority et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) de la France. Les résultats du projet FASTRUN de l'Agence pour l'énergie nucléaire (dirigé par la CCSN) ont indiqué que les organismes d'intervention d'urgence avaient du mal à évaluer les conséquences des plans de conception de réacteurs peu familiers. Le projet FASTNET s'est donc donné pour but de concevoir un cadre commun d'évaluation des accidents. Il s'agirait de faire connaître à la communauté internationale un cadre commun comprenant plusieurs outils de diagnostic des accidents graves dans leur progression et leurs conséquences possibles, pour différentes conceptions de réacteurs. La participation de la Commission à ce projet au cours du dernier exercice a consisté à prêter un soutien financier et à envoyer des participants à des ateliers et à des réunions administratives. En novembre 2016, le comité directeur FASTNET s'est réuni à Bologne, en Italie, pour examiner l'avancement des volets du programme de travaux FASTNET. Par la suite, un atelier des utilisateurs finaux de FASTNET s'est attaqué à la question de la diffusion de l'information sur les différentes méthodes qu'emploient les organismes nationaux pour jauger les conséquences des incidents nucléaires. Une réunion de suivi a eu lieu en janvier 2017 à Stockholm. Elle a permis d'examiner l'état d'avancement d'une base de données en chantier sur les conséquences des accidents pour différents types de réacteurs (c'est là une des réalisations attendues des groupes de travail FASTNET). Des membres du personnel de la CCSN étaient présents à ces trois rencontres.



De gauche à droite : Centrales nucléaires à Wolsong (Corée du Sud), Calder Hall (Royaume-Uni) et Atucha (Argentine).

SITEX II est coordonné par l'IRSN comme projet faisant suite à une première initiative SITEX. Un groupe formé principalement de représentants des organismes de réglementation nucléaire et de soutien technique examine diverses questions : stockage géologique des déchets radioactifs, sûreté de ce mode d'évacuation des déchets, attentes réglementaires, interactions et recherches parmi les intervenants. La participation de la CCSN à SITEX II en 2016-2017 a consisté notamment en réunions avec les autres membres du projet où on a examiné l'avancement des volets du programme des travaux. Il y a eu deux séances plénières à Bruxelles (Belgique) en mai et novembre et une réunion de travail à Prague (République tchèque) préalablement à la première réunion plénière.

On trouvera plus de renseignements concernant ces deux projets sur les sites Web de [SITEX](#) et de [FASTNET](#).

Programme international IGALL

Comme les réacteurs nucléaires commerciaux sont nombreux à avoir dépassé leur durée utile prévue, la question de la gestion du vieillissement des centrales domine aujourd'hui au sein de l'industrie nucléaire mondiale. En 2013, l'AIEA a lancé le programme IGALL (International Generic Ageing Lessons Learned), une plateforme internationale destinée aux organismes de réglementation et aux services publics de l'énergie nucléaire pour la création de principes techniques et de recommandations pratiques reconnus internationalement pour la gestion du vieillissement des structures, des systèmes et des composants des centrales nucléaires. La CCSN et ses titulaires de permis se servent du programme IGALL pour appuyer la mise en œuvre des documents REGDOC-2.6.3, *Aptitude fonctionnelle : Gestion du vieillissement* et REGDOC-2.3.3, *Bilans périodiques de la sûreté* de la CCSN.

La CCSN prête un soutien financier permanent à l'élaboration du programme IGALL qui comprend des bases de données et des collections d'études, de mécanismes, de cadres et de processus en gestion du vieillissement. Au cours du dernier exercice, elle a participé aux réunions techniques en groupe de travail sur la troisième étape de ce programme. Ces rencontres ont permis d'examiner la situation quant aux réalisations attendues des trois groupes de travail du programme qui, individuellement, s'emploient à recueillir et à assembler des données techniques bien précises sur les composantes et les structures mécaniques et électriques. Ces réunions visent souvent aussi à mettre à jour la base de données IGALL et à en accroître l'exactitude et l'exhaustivité.



Membres du programme IGALL à la réunion de septembre 2016 à Ottawa, l'une des rencontres qui ont eu lieu cette année-là.

Le saviez-vous? Certains réacteurs du parc CANDU entrent maintenant en période d'exploitation prolongée. Ces installations sont assujetties à des contrôles de conformité plus fréquents pour s'assurer que tous les systèmes demeurent dans leurs marges de sûreté. Il y a aussi beaucoup de recherches sur l'évaluation du cycle de vie, les stratégies de vieillissement et les mesures d'atténuation d'urgence, le but étant d'étudier les questions nouvelles susceptibles de poser problème, et les moyens de prévenir ou de résoudre tout problème.

Projet de l'OCDE sur les incidents de défaut d'arc à haute énergie

Les incidents de défaut d'arc à haute énergie (HEAF), qui se définissent généralement comme des décharges électriques massives qui se produisent dans l'appareillage de commutation de centrales nucléaires, sont un phénomène reconnu dans les centrales du monde entier. Importante source de dégagement d'énergie, ils peuvent causer de vastes pannes et risquent de provoquer un incendie dans d'autres composants des centrales. Sur les 415 incendies de centrales recensés dans le monde entre 1979 et 2012 selon la base de données FIRE de l'OCDE, 48 étaient imputables à un défaut d'arc. Notons aussi que ces types d'incidents se sont multipliés ces dernières années, peut-être en raison du vieillissement de l'infrastructure et de la montée de la demande d'énergie.

C'est en réaction à cette situation que le projet HEAF a été organisé par l'Agence pour l'énergie nucléaire (organisme de l'OCDE) comme projet de collaboration internationale avec 13 pays membres et 19 organismes, dont la CCSN pour le Canada. Cette activité vise globalement à étudier et caractériser le phénomène du défaut d'arc à l'aide de données scientifiques sur les incendies obtenues par voie expérimentale. Cette information servira ensuite de base à l'adoption d'une définition technique de ce phénomène, ainsi qu'à l'élaboration de modèles simples et de critères déterministes permettant de prévoir et d'analyser les scénarios éventuels dans ce domaine.



Membres des projets FIRE et HEAF réunis à Yuseong, Daejeon, République de Corée, le 13 octobre 2016.

Au cours de l'exercice 2016-2017, on s'est employé dans ce projet à analyser les données expérimentales acquises pendant la période d'essai 2014-2015. Les essais consistaient principalement à expérimenter l'appareillage de commutation et les composantes d'interconnexion par bus et à obtenir des enregistrements vidéo à haute définition et à grande vitesse de ces essais. On a réuni dans un rapport provisoire les diverses analyses expérimentales des partenaires du projet. Des rencontres internationales qui ont eu lieu en 2016, entre autres en France et en République de Corée, furent l'occasion pour les pays membres de discuter de l'avancement de leurs propres activités dans ce domaine et d'examiner le projet de rapport le plus récent.

Projets PRISME de l'OCDE sur la protection incendie

De 2006 à 2016, les projets de recherche PRISME et PRISME 2 de l'OCDE ont permis d'étudier divers modes de propagation de la chaleur et de la fumée (par les portes ou les gaines de ventilation, par exemple) de manière à améliorer le contrôle réglementaire en matière de protection incendie. Ces projets ont représenté une collaboration de 12 pays membres – dont le Canada avec la CCSN –, le tout organisé par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, et comprenant une suite d'expériences réalisées au Centre de Cadarache de l'IRSN en France.

Les résultats expérimentaux des projets PRISME ont aussi permis de mieux comprendre la façon dont un incendie s'amorce et se propage dans les grands compartiments confinés et ventilés des installations nucléaires. Les données ainsi obtenues serviront à repousser les limites inhérentes aux capacités actuelles de modélisation d'incendie et à valider les codes de simulation dans ce domaine. À la fin, nous aurons acquis des connaissances de première importance au sujet des effets de la chaleur et de la fumée sur les systèmes critiques en matière de sûreté, ce qui facilitera le contrôle réglementaire de la protection incendie en fonction des risques.

Le saviez-vous? Le Centre de Cadarache de l'IRSN en France est l'un des plus grands centres de recherche européens sur les technologies et le développement énergétiques. On y réalise actuellement une foule de projets de recherche pour le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives de la France, ainsi qu'une expérience internationale en collaboration sur la fusion nucléaire (projet ITER).

Visite d'une délégation coréenne à Bruce Power

Une délégation de la République de Corée composée de représentants de sa Commission de sûreté et de sécurité nucléaire (NSSC), de l'Institut de Corée pour la non-prolifération et le contrôle des armes nucléaires (KINAC) et de la Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP), a visité le Canada en juin 2016 et tenu plusieurs séances avec la CCSN. Les meilleures pratiques de la CCSN en matière de sûreté nucléaire y ont fait l'objet de discussions, et les spécialistes de l'organisme et les représentants de Bruce Power ont échangé de l'information sur l'élaboration d'un programme de contrôle de rendement.

Des réunions semblables entre la CCSN et une délégation de représentants de la NSSC, de KINAC, de KHNP et de la Korean Radiation Safety Foundation ont également eu lieu en février et décembre 2016. On y a discuté de manière informelle de questions comme celles des activités après Fukushima et des installations souterraines de niveau intermédiaire d'évacuation des déchets radioactifs. Ces rencontres sont l'occasion pour la CCSN et d'autres organismes de tirer des enseignements de l'expérience et des pratiques des uns et des autres, et de faire avancer l'optimisation de la sûreté nucléaire dans le monde.



La délégation coréenne en visite au Canada en juin 2016 était accompagnée d'employés de la Division de la sécurité nucléaire de la CCSN.

Commission internationale de protection radiologique

La CIPR est un organisme consultatif international indépendant dont l'objectif est de faire avancer la science de la radioprotection en ce qui concerne les rayonnements ionisants et leurs effets biologiques. Elle présente des recommandations et des guides sur l'élaboration et l'application de normes, de lois et de pratiques de radioprotection. L'effectif de la commission est formé de plus de 200 bénévoles, spécialistes de différents aspects de la protection radiologique et provenant de partout dans le monde.

La CCSN apporte une contribution financière à la CIPR, ainsi que des bureaux et des services administratifs à son secrétariat scientifique. Depuis 2012, elle destine en outre à ce secrétariat des étudiants stagiaires à plein temps dont l'affectation est entièrement financée par son programme coopératif. Ce soutien intégré permet au secrétariat de travailler plus efficacement, tout en procurant une expérience d'apprentissage précieuse aux jeunes professionnels qui feront bientôt leur entrée dans le domaine nucléaire.

La CCSN a aussi soutenu des congrès organisés par la CIPR réunissant des experts et des organismes sur divers thèmes relevant du domaine de la radioprotection. En 2017 par exemple, les fonds fournis par la CCSN iront en partie au 4^e Symposium international biennal sur le système de radioprotection qui se tiendra à Paris en France. Cette conférence donnera la possibilité à plus de 600 professionnels, experts et chercheurs de toutes les régions du monde de se concerter et d'échanger sur leurs préoccupations, les défis et les perspectives d'avenir dans le domaine de la radioprotection.



Alex Komosa, un étudiant du programme coopératif d'alternance travail-études de l'Institut universitaire de technologie de l'Ontario (à gauche sur la photo), participe à une séance en groupe de travail sur l'accident du réacteur de Fukushima Daiichi pendant son affectation à la CIPR.

Donner des moyens à la prochaine génération

Une des principales missions de la CCSN consiste à diffuser de l'information scientifique, technique et réglementaire sur ce qu'elle fait et sur ce que fait chacun des joueurs de l'industrie nucléaire. Il peut s'agir de renseignements sur les effets radiologiques sur l'environnement, la santé et la sécurité du public et des travailleurs, ou sur la mise au point, le fonctionnement, le transport ou la réglementation de matières, de technologies et d'applications nucléaires. Cette diffusion se fait au moyen de projets comme le présent rapport, le contenu présenté sur son site Web et un grand nombre de programmes de vulgarisation. En travaillant avec divers organismes universitaires et sans but lucratif pour offrir des possibilités de stage coopératif et mettre en œuvre des programmes tels que Samedi science et frissons, la CCSN peut avoir une influence sur la littératie nucléaire des élèves et des étudiants, de l'école primaire à l'université, et jouer un rôle énorme pour ce qui est d'encourager la prochaine génération de scientifiques, de spécialistes et d'experts, et de contribuer à sa formation.



Des employés de la CCSN à l'occasion de l'activité « Samedi science et frissons » dans la petite collectivité de Hornepayne, dans le nord-ouest de l'Ontario.

Présentations par affiches et atelier annuels des étudiants de l'UNENE

La CCSN appuie depuis longtemps le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire (University Network of Excellence in Nuclear Engineering – UNENE), qui effectue de la recherche nucléaire dans les universités canadiennes et vise à augmenter l'expertise scientifique par la formation des étudiants diplômés. Ce sont les objectifs centraux du partenariat de l'UNENE entre les universités canadiennes, l'industrie nucléaire et les organismes de recherche et de réglementation depuis la formation de ce réseau en 2002.

Le financement offert par les membres de l'industrie et des organisations comme la CCSN permet à l'UNENE d'offrir des postes de chaire de recherche industrielle à des professeurs d'université afin de soutenir leurs recherches dans des domaines comme la radioprotection et la sécurité environnementale, la gestion du cycle de vie fondée sur le risque, les matières nucléaires de pointe ou autres. Ces fonds permettent aussi à l'UNENE d'offrir des subventions en recherche et développement effectuée en collaboration. Plus de 25 subventions de recherche ciblées ont été accordées dans le cadre de ce programme depuis 2005, dont 13 pour lesquelles du travail est encore en cours.

Une partie du financement de la CCSN est aussi affectée à l'atelier annuel des étudiants avec présentations par affiches tenu par l'UNENE. Cet événement donne aux étudiants diplômés la possibilité d'effectuer leurs propres recherches, puis de présenter leurs conclusions aux professionnels de l'industrie. Les première, deuxième et troisième places y sont décernées. En 2016, la première place est revenue à Mi Li, de l'Université Western, dont la recherche portait sur les effets du rayonnement sur la cinématique de la corrosion sur les soudures de métal composées de métaux différents.



Mi Li (à droite), qui a mérité la première place à l'atelier des étudiants de 2016 de l'UNENE, en compagnie du président de l'UNENE, Jerry Hopwood.

Le saviez-vous? Grâce à son partenariat avec six universités canadiennes, l'UNENE offre à ceux qui travaillent déjà dans l'industrie nucléaire la possibilité d'obtenir une maîtrise en génie ainsi qu'un diplôme spécialisé en génie nucléaire. Ce programme vise globalement à assurer la formation de professionnels et de scientifiques de l'énergie nucléaire qualifiés afin de renforcer l'industrie nucléaire canadienne.

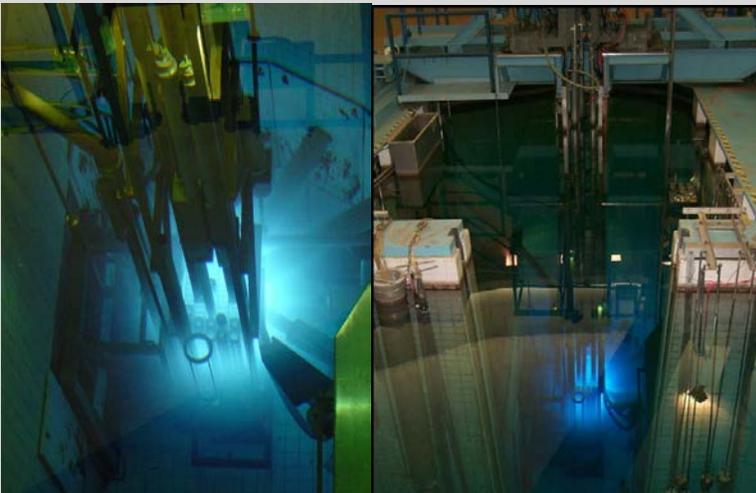
Projet NEUDOSE de l'Université McMaster

Au début de 2015, un groupe de 30 étudiants de l'Université McMaster, dirigés par Andrei Hanu, un récent diplômé maintenant chercheur au Goddard Space Flight Center de la NASA, a commencé à collaborer à la conception, à la construction et à la mise en orbite d'un satellite miniature, le CubeSat. Le CubeSat renfermera de l'équipement spécialisé pouvant enregistrer le rayonnement ionisant propre au milieu spatial et communiquer ses observations. Connu sous le nom de mission Neutron Dosimetry and Exploration (exploration et dosimétrie neutroniques – NEUDOSE), le projet permettra aux chercheurs de classer et de caractériser les dangers radiologiques présents en orbite basse terrestre. Il représente aussi une expérience d'apprentissage vraiment unique pour les étudiants de McMaster, qui jouent un rôle à chacune de ses étapes, depuis la conception jusqu'au lancement et à l'étude des résultats. En 2016-2017, la CCSN a financé directement ce projet en raison des résultats de recherche qu'il produira et de l'apprentissage et de l'expérience qu'il apporte aux étudiants qui y participent.



Le président de la CCSN, Michael Binder (à gauche), en compagnie d'Erica Dao, étudiante diplômée en sciences du rayonnement à l'Université McMaster et membre de l'équipe de la mission NEUDOSE. Ils tiennent le CubeSat à la conférence de l'Association nucléaire canadienne en février 2017.

Le saviez-vous? Le réacteur en piscine ouverte de l'Université McMaster a été conçu au départ comme réacteur de recherche. De nos jours, il est également le chef de file mondial de la production d'iode 125, un isotope radioactif utilisé dans le traitement médical du cancer de la prostate.



Photos du réacteur de recherche de l'Université McMaster. La lueur bleue autour du cœur du réacteur est le résultat du [rayonnement de Cerenkov](#). Cette lueur peut essentiellement être considérée comme une « onde de choc » de lumière qui résulte du flux de particules porteuses d'une charge électrique qui se déplacent dans un milieu (dans ce cas-ci, de l'eau) à une vitesse plus grande que la [vitesse de phase](#) de la lumière dans ce milieu.

Parlons sciences

Depuis 1993, l'initiative Parlons sciences met l'accent sur la formation et la sensibilisation des jeunes et des professionnels de l'éducation en sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (STIM).

En 2016 seulement, grâce à ses programmes et à ses ateliers en classe et sur le Web, Parlons sciences a rejoint plus de 850 000 jeunes et 18 000 éducateurs dans 1 700 collectivités partout au Canada.

Au cours des quatre dernières années, la CCSN a soutenu financièrement Parlons sciences et a collaboré avec cette initiative pour atteindre un objectif commun : accroître la littératie des enseignants et des élèves en matière nucléaire. Un effort a été fait à cette fin pour que le programme CurioCité sur le Web et le programme de sensibilisation communautaire Parlons sciences comportent tous deux des modules d'apprentissage du nucléaire. En 2016, cinq nouveaux articles et nouvelles études de cas et vidéos ayant le nucléaire pour thème, qui comportent tous des liens vers des ressources d'apprentissage en ligne pertinentes de la CCSN, ont été présentés sur CurioCité. Dans le cadre du programme de sensibilisation, des possibilités de se porter bénévole sont offertes au personnel de la CCSN afin de permettre une interaction plus directe avec le public.

Parlons sciences organise de plus un événement annuel, le Défi Parlons sciences, au cours duquel des élèves de la 6^e à la 8^e année participent à une journée complète d'activités qui comportent des défis de conception et des jeux-questionnaires sur les STIM. Tout au long de la journée, les élèves remportent des points en fonction de leurs connaissances et de leur réflexion créatrice et novatrice. Avant l'événement, ils reçoivent des guides qui incluent une présentation de sujets ayant trait aux STIM, allant de l'extraction de l'uranium aux biocarburants et aux probabilités mathématiques.

Pour plus de renseignements, visitez le site Web de [Parlons sciences](#).



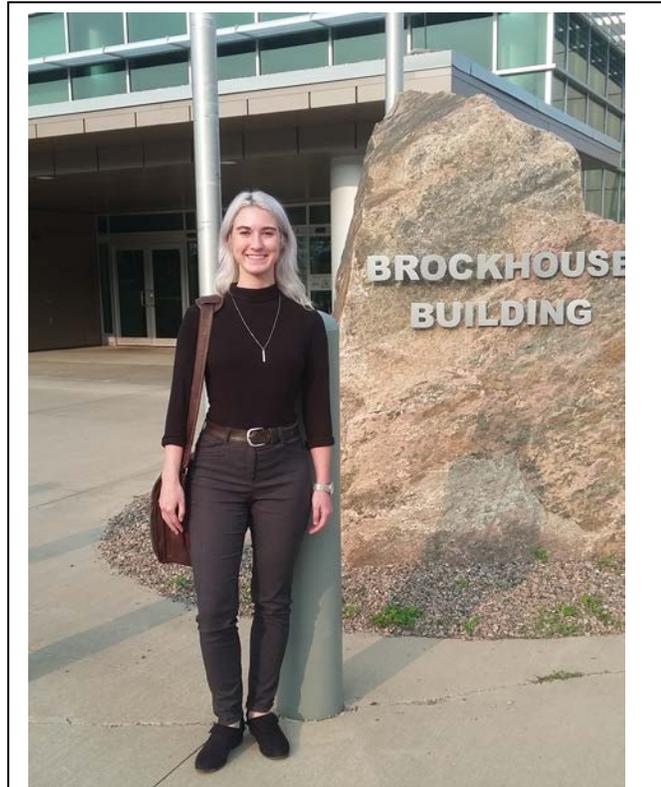
Élèves de la 6^e à la 8^e année participant au « Défi Parlons sciences » à l'Université Carleton, à Ottawa.

Le Défi Parlons sciences est un programme gratuit qui se déroule chaque année en avril et en mai partout au Canada. Ce programme permet aux participants de mettre leurs capacités à l'épreuve, de renforcer leur esprit d'équipe et de rencontrer des intervenants modèles dans les domaines des STIM.

Renouvellement des effectifs de la CCSN

Pour soutenir la croissance et la formation de la prochaine génération d'employés de l'industrie nucléaire, la CCSN maintient ses programmes de stage coopératif et ses programmes pour les nouveaux diplômés. Comme de nombreux employés de l'industrie nucléaire arrivent à l'âge de la retraite, ces programmes sont essentiels pour répondre au besoin de l'industrie d'assurer l'existence d'une main-d'œuvre intéressée et bien outillée.

La CCSN offre au moins une cinquantaine de postes d'étudiant pour une durée déterminée chaque année, dans tous les domaines de l'organisation. Bien que plusieurs de ces postes soient offerts pendant l'été, il existe une rotation de 12 à 15 mois pour une poignée d'étudiants d'universités telles que l'Institut universitaire de technologie de l'Ontario (IUTO), l'Université McMaster et l'Université de la Saskatchewan. Après avoir obtenu leur diplôme, ces étudiants peuvent revenir travailler à la CCSN aux termes d'un contrat. Grâce à ces initiatives, la CCSN favorise le perfectionnement des travailleurs futurs de l'industrie tout en bénéficiant du regard neuf, des talents et de l'énergie de ces jeunes professionnels.



Nicole Allison, étudiante stagiaire et auteure du présent rapport, lors d'une visite aux Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC).

Programmes d'alternance travail-études de la CCSN



Étudiants des stages techniques de la CCSN de 2016-2017 et 2017-2018. À l'extrême gauche, Akira Tokuhiko, doyen de la Faculté des systèmes énergétiques et de la science nucléaire de l'IUTO. À l'extrême droite, Marie-Claude Valade, qui gère les programmes d'alternance travail-études de 12 et de 15 mois de la CCSN.

En 2016, la CCSN a embauché cinq étudiants stagiaires de premier cycle, puis sept autres ainsi que deux étudiants stagiaires de deuxième cycle en 2017. Les étudiants de deuxième cycle travaillent à la CCSN pendant un an, alors que les étudiants de premier cycle restent pendant 15 mois. Dans le cadre du programme de 15 mois, les étudiants changent tous les quatre mois de division et font un exposé sur leur travail à la fin de chacune de ces périodes.

La CCSN a depuis 2006 un programme d'alternance travail-études dans le cadre duquel des étudiants de premier cycle et des cycles supérieurs, souvent après avoir effectué un parcours en génie nucléaire ou en sciences de la radioprotection et de la santé, sont embauchés pour une période de 12 à 15 mois. Pendant le stage de 15 mois, les étudiants changent de division tous les quatre mois et peuvent travailler à l'administration centrale de la CCSN à Ottawa, au laboratoire de la CCSN, au bureau du Secrétariat scientifique de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et même à certains bureaux de la CCSN dans les centrales nucléaires de partout en Ontario. Il s'agit d'une expérience d'apprentissage unique qui fait connaître aux étudiants les nombreux aspects de l'industrie nucléaire canadienne et leur permet d'acquérir de l'expérience de travail précieuse.

Pendant ces périodes de travail, les étudiants peuvent également participer à de nombreuses activités qui se déroulent en dehors du bureau ou du laboratoire, par exemple des voyages d'inspection de centrales nucléaires ou de mines d'uranium, des séances de formation, des réunions techniques avec des titulaires de permis ou des entrepreneurs, et des conférences qui ont lieu ici au Canada et à l'étranger.

Outre les étudiants stagiaires à long terme embauchés par la CCSN, de nombreux étudiants sont également recrutés pour les quatre mois d'été. Ces étudiants proviennent de bon nombre d'universités et de domaines d'études et peuvent travailler et acquérir de l'expérience tout en apprenant sur l'énergie nucléaire et l'industrie nucléaire canadienne. Il faut des gens ayant toutes sortes de talents et d'antécédents scolaires pour enrichir une organisation, et la CCSN est toujours à la recherche de personnes motivées, curieuses et innovantes.

Voyage à l'étranger d'un étudiant de la CCSN en lien avec les problèmes associés à Fukushima non encore réglés

En septembre et en octobre 2016, un étudiant stagiaire, Trent Peerla Proulx, est allé au Japon pendant trois semaines dans le cadre de sa rotation au bureau du Secrétariat scientifique de la CIPR. Une fois là-bas, il a participé à des réunions sur des problèmes associés à Fukushima, dont le Cinquième Symposium international des experts, qui a réuni des spécialistes discutant de l'utilisation des leçons tirées de Tchernobyl pour résoudre les problèmes de thyroïde à Fukushima. Cette séance a été suivie d'une visite de la centrale nucléaire Fukushima Daiichi. La CIPR a en outre organisé deux symposiums portant sur des travaux en cours sur la protection radiologique de l'environnement ainsi que sur les recherches de la Radiation Effects Research Foundation. D'autres réunions ont eu lieu entre la CIPR, les services publics nucléaires du Japon, des scientifiques de la Radiation Effects Research Foundation et des habitants de villages touchés par l'accident de Fukushima.



L'étudiant stagiaire Trent Peerla Proulx (à droite) en compagnie de Christopher Clement, du Secrétariat scientifique de la CIPR, au cours d'un voyage de trois semaines au Japon à l'automne 2016.

Activités de recherche futures à la CCSN

La recherche continue de jouer un rôle essentiel pour l'acquisition des connaissances et de l'information dont le personnel de la CCSN a besoin pour appuyer la mission réglementaire de l'organisation.

Au cours des prochaines années, la CCSN continuera de mettre l'accent sur les domaines de recherche associés à la sécurité et au contrôle suivants : l'aptitude fonctionnelle, l'analyse de la sûreté et la gestion des déchets. Plus précisément, une bonne partie de ces recherches portera sur l'exploitation prolongée des centrales nucléaires et l'élaboration et l'évaluation de stratégies de gestion du vieillissement. On peut de plus s'attendre à ce que des recherches abordent la question des conséquences sur le plan de la sécurité, de la conception et de la préparation d'éventuels dépôts de déchets. Des recherches poussées porteront aussi vraisemblablement sur la conception, l'analyse de la sûreté, la réglementation et la délivrance de permis pour les nouvelles technologies, comme les petits réacteurs modulaires.

La collaboration avec les intervenants nationaux et internationaux en vue de diffuser l'information et les pratiques exemplaires continuera de faire partie intégrante du programme de recherche de la CCSN. L'accueil, l'organisation de conférences et de projets et la participation à ces activités avec des organisations telles que l'Agence internationale de l'énergie atomique, Énergie atomique du Canada limitée et l'Organisation de coopération et de développement économiques demeurent un aspect important du rôle que joue la CCSN pour faire progresser la sûreté nucléaire. De plus, la poursuite de son travail avec le Réseau d'excellence universitaire en génie nucléaire et d'autres initiatives axées sur les jeunes permettra à la CCSN de contribuer à la formation de la prochaine génération de travailleurs et de spécialistes de l'énergie nucléaire.

Enfin, la CCSN continuera de publier le présent rapport annuel sur ses projets de recherche et sa participation aux activités du secteur nucléaire afin de remplir son mandat et d'informer objectivement le public sur les plans technique et réglementaire.

Glossaire

Ablation par laser (dans le contexte de la technique SM-PI-AL) : Utilisation d'un faisceau laser à haute énergie pour vaporiser la matière de surface d'échantillons solides afin de l'analyser par spectroscopie atomique.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) : Organisme américain rédacteur de normes qui publie des règlements, des protocoles et des lignes directrices sur la conception des routes et la construction en général.

Calandre : Large cuve cylindrique qui est le cœur d'un réacteur nucléaire. Elle abrite les éléments du combustible nucléaire ainsi que le modérateur et le fluide caloporteur.

Caméra de gammagraphie : Appareil permettant d'examiner la structure interne d'un objet par l'utilisation contrôlée du rayonnement gamma.

Concentré de minerai d'uranium (« yellowcake ») : Composé sous forme de poudre qui représente une étape intermédiaire dans la transformation du minerai d'uranium brut en combustible nucléaire et qui doit être raffiné pour pouvoir se prêter à une utilisation nucléaire. Le concentré d'uranium est raffiné et transformé en trioxyde d'uranium (UO_3), puis en dioxyde d'uranium (UO_2) (utilisé au Canada) et en hexafluorure d'uranium (UF_6) (exporté). Aussi appelé « yellowcake ».

Contraintes dans le plan et hors plan : Forces appliquées à une structure parallèlement (dans le plan) ou perpendiculairement (hors du plan) à l'un des côtés de cette structure.

Corrosion accélérée par l'écoulement : Mécanisme de corrosion par lequel l'écoulement de l'eau à travers la surface d'une matière fournit les conditions nécessaires pour que la vitesse de corrosion augmente.

Datation radioactive : Processus par lequel il est possible d'estimer l'âge des roches lorsque le taux de décroissance des éléments radioactifs qu'elles renferment est connu.

Défense en profondeur : Stratégie d'atténuation qui s'appuie sur la mise en place hiérarchisée de nombreux niveaux de protection indépendants et redondants afin d'empêcher que des accidents se produisent.

Dépôt géologique en profondeur (DGP) : Dépôt de déchets nucléaires profondément excavé dans un environnement géologique stable.

Fissuration par hydruration retardée : Mécanisme d'aggravation des fissures qui se produit lorsque certains matériaux formant des hydrures sont exposés à de l'hydrogène. Dans le cas des tubes de force des réacteurs CANDU, l'alliage de zirconium, un matériau susceptible d'en former, est exposé à de l'hydrogène en solution.

Fuite avant rupture (FAR) : Fuite causée par un défaut dans un composant sous pression (comme un tuyau) pendant l'exploitation normale d'un réacteur nucléaire, qui est détectée suffisamment tôt pour qu'on puisse arrêter le réacteur et le dépressuriser avant que l'anomalie ne se transforme en rupture.

Hydrure : En chimie, il peut s'agir d'anions libres d'hydrogène (ions négatifs). Dans les composés appelés hydrures, un anion d'hydrogène est combiné à un autre élément.

Ion : Atome possédant un trop grand nombre ou un trop petit nombre d'électrons. Sous forme stable, un atome a un nombre égal de protons à charge positive et d'électrons à charge négative, de sorte que sa charge nette est neutre. Ionisé, un atome a une charge négative ou positive.

Isotope : Variation de la forme des atomes d'un même élément chimique, qui se distinguent par le nombre de neutrons du noyau. Le nombre de protons reste le même, mais le nombre de neutrons diffère. Par exemple, l'uranium compte 16 isotopes différents.

Jauges nucléaires : Appareils qui renferment des sources radioactives et qui servent à prendre instantanément des mesures (par exemple, la densité, l'épaisseur ou le degré d'humidité d'un matériau). Elles sont en général utilisées dans un cadre industriel et en construction.

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

Mégawatt électrique (MWé) : Unité s'appliquant à la production d'énergie électrique d'un système.

Mégawatt thermique (MWth) : Unité s'appliquant à la production d'énergie calorifique d'un système. Dans une centrale nucléaire, l'énergie thermique est transformée en énergie électrique (processus s'accompagnant d'une perte d'énergie qui est fonction de l'efficacité du système).

Particule alpha : Particule à charge positive éjectée spontanément du noyau de certains éléments radioactifs. **Remarque :** Elle est identique à un noyau d'hélium, qui a une masse de quatre et une charge électrostatique de +2. Dotée d'un faible pouvoir de pénétration, elle a une portée courte (quelques centimètres dans l'air). En règle générale, la particule alpha ne peut pénétrer les couches de cellules mortes qui recouvrent l'épiderme et une feuille de papier suffit à l'arrêter. Cependant, les isotopes émetteurs de particules alpha sont dangereux s'ils sont ingérés.

Particule bêta : Particule chargée émise par le noyau d'un élément radioactif pendant la désintégration radioactive d'un atome instable. En grande quantité, le rayonnement bêta peut brûler la peau, et les substances qui émettent des particules bêta sont nocives si elles pénètrent dans l'organisme. Une mince feuille de métal ou de plastique arrête la particule bêta.

Partie classique d'une centrale nucléaire : Composantes auxiliaires et accessoires d'un système de génération d'énergie. Dans une centrale nucléaire, ces composantes sont les turbines, le condenseur et les principaux systèmes d'alimentation électrique.

Piscine de combustible usé : Grande piscine d'eau dans laquelle les matières radioactives (principalement le combustible rejeté par un réacteur nucléaire) sont refroidies et stockées jusqu'à ce qu'il soit sécuritaire de les transférer pour le stockage à sec. Aussi appelée piscine de combustible usé ou irradié.

Plan de gestion du cycle de vie : Voir le [programme de gestion du vieillissement/plan de gestion du vieillissement](#).

Plasma à couplage inductif : Source de plasma dans laquelle les courants électriques produits par induction électromagnétique fournissent l'énergie à la source.

Primaire : Terme qui s'applique aux composantes combustible et fluide caloporteur d'une centrale nucléaire. Ces composantes incluent la calandre, les générateurs de vapeur ainsi que les canalisations et les pompes de transport de l'énergie thermique.

Programme de gestion du vieillissement/plan de gestion du vieillissement : Ensemble de politiques, de processus, de procédures, d'arrangements et d'activités qui oriente la gestion du vieillissement des structures, systèmes et composants (SSC) d'une centrale nucléaire. Le programme de GV est le programme ou le cadre général de gestion du vieillissement intégré pour une centrale nucléaire, tandis que le plan de GV s'entend du plan mécaniste ou propre aux SSC. Aussi appelé Plan de gestion du cycle de vie.

Radionucléide : Matière comportant un noyau atomique instable, qui se décompose ou se désintègre spontanément, en émettant un rayonnement. Les noyaux se distinguent par leur masse et leur numéro atomique.

Radiosensibilité : Sensibilité relative des cellules, des tissus, des organes et des organismes à l'effet des rayonnements.

Rayon X : Rayonnement électromagnétique constitué de photons provenant de l'extérieur du noyau d'un atome.

Rayonnement alpha : Rayonnement formé de particules alpha. Voir [particule alpha](#).

Rayonnement bêta : Voir [particule bêta](#).

Rayonnement gamma : Rayonnement électromagnétique pénétrant provenant du noyau d'un atome. Aussi appelé rayons gamma.

Rayonnement ionisant : Pour les besoins de la radioprotection, rayonnement pouvant produire des paires d'ions dans des matières biologiques. **Remarque :** Le rayonnement ionisant est toujours présent dans l'environnement et comprend le rayonnement provenant de sources naturelles et artificielles, comme les rayons cosmiques, des sources terrestres (éléments radioactifs dans le sol), l'air ambiant (radon), et de sources internes (aliments et boissons).

Rayonnement neutronique : Rayonnement produit par les neutrons libres (particules subatomiques instables sans charge électrique) émis par les atomes pendant le processus de fusion ou de fission nucléaire. Lorsqu'ils sont absorbés dans un atome stable, les neutrons libres le rendent instable et plus susceptible de produire un rayonnement ionisant. Le rayonnement neutronique a une forte capacité de pénétration.

Résistivité : Propriété de la matière caractérisant la difficulté à faire passer un courant électrique dans une substance.

Spectrométrie de masse : Méthode d'analyse utilisant des molécules ou des atomes ionisés qui sont déviés par un champ magnétique en fonction de leur masse et de leur charge. Il est possible d'identifier les particules en mesurant leur rapport masse sur charge. Ce processus s'effectue à l'aide d'un appareil appelé spectromètre de masse.

Stratigraphie : Branche de la géologie qui étudie l'ordre relatif et la position des couches de roches, en particulier leur relation à une échelle de temps géographique. Souvent utilisée pour l'étude des roches sédimentaires et volcaniques.

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

Thermohydraulique : Étude de l'écoulement hydraulique dans les fluides thermiques.

Tritium : Radio-isotope de l'hydrogène (symbole T ou ^3H) formé d'un proton et de deux neutrons.

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

Tsé-tsé : Grosse mouche piqueuse des régions tropicales d'Afrique. Vecteur d'infections (comme la maladie du sommeil) chez l'être humain et les animaux domestiques.

Vitesse de phase : Vitesse d'un mouvement ondulatoire égale au produit de la longueur d'onde et de la fréquence de l'onde.

Annexe : Documents, présentations et articles techniques de la CCSN

La CCSN est bien considérée par ses pairs grâce aux articles qu'elle publie dans des revues scientifiques et à la présentation d'exposés à l'occasion de conférences, d'ateliers et de réunions de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

Voici une liste des documents, des exposés et des articles techniques publiés ou présentés par le personnel de la CCSN au cours de l'exercice 2016-2017.

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Évaluation de l'effet du modèle à dérive de flux amélioré de ASSERT-PF sur le flux critique et la distribution du taux de vide (en anglais seulement)	Article d'une revue scientifique à comité de lecture	<i>Annals of Nuclear Energy</i> , 94, pp. 313-324 <i>Annals of Nuclear Energy</i> , 104, pp. 197-213	Avril 2016 6 mars 2017	Elsevier	N. Hammouda Z. Cheng Y.F. Rao
Faits saillants des normes, des règlements et de l'orientation de la sûreté-criticité nucléaire au Canada	Résumé d'une présentation technique	<i>Nuclear Criticality Safety</i>	6 avril 2016	New Delhi, Inde	V. Khotylev
Propriétés hydromécaniques couplées du calcaire de Cobourg avec référence spéciale aux zones endommagées par l'excavation	Résumé d'une présentation technique	Assemblée générale de 2016 de la European Geosciences Union	17 au 22 avril 2016	Vienne, Autriche	M.H.B. Nasser M. Tibbo M. Sehzadeh S. Ye R.P. Young G. Su T.S. Nguyen
Modélisation et simulation et qualification des incertitudes pour l'analyse de la sûreté des centrales nucléaires	Résumé d'une conférence technique	Université Xi'an Jiaotong	25 au 29 avril 2016	Xi'an, Chine	W. Shen
État des activités du Programme d'entretien et d'application des codes de thermohydraulique (CAMP) au Canada (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Réunion du CAMP, printemps 2016	26 au 28 avril 2016	Abou Dhabi, Émirats arabes unis	A. Delja

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Applications des codes de thermohydraulique à l'échelle du système 3D au Canada (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Réunion du Groupe de travail sur l'analyse et la gestion des accidents à l'égard du rapport sur l'état actuel des capacités de simulation	28 et 29 avril 2016	Boulogne, France	A. Delja
Conception d'un modèle de production en 3D, code MCNP, ensemble du cœur du réacteur CANDU, et solutions pratiques aux problèmes de dérivation de résultats fiables (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	PHYSOR 2016, sous le thème de l'unification de la théorie et des expériences	1 ^{er} au 5 mai 2016	Sun Valley (Idaho) É.-U.	W. Shen J. Hu
Application d'une méthode graduée aux normes de sûreté des réacteurs de recherche et des assemblages sous-critiques (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Mission d'expert sur l'utilisation d'une méthode graduée dans l'application des normes de sûreté à un projet d'assemblage sous-critique	2 au 6 mai 2016	Sidi Thabet, Tunisie	N. Mesmous J.E. Kowalski
État de la mise en œuvre de la cybersécurité dans les centrales nucléaires au Canada (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Conférence de 2016 de la Korean Nuclear Society	11 au 13 mai 2016	Jeju, Corée du Sud	C.H. Jung
Mécanique des roches sédimentaires	Résumé d'une présentation technique	Réunion d'échange d'information technique de la CCSN avec l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) de la Suisse	13 mai 2016	Brugg, Suisse	T.S. Nguyen
Évaluation du dossier de sûreté à long terme d'un dépôt en formations géologiques profondes	Résumé d'une présentation technique	Réunion d'échange d'information entre la CCSN et l'IFSN	13 mai 2016	Brugg, Suisse	T.S. Nguyen

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Gestion de l'intégrité structurale des principales composantes pour le fonctionnement à long terme des centrales nucléaires (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Réunion annuelle de l'ICG-EAC de 2016	15 au 21 mai 2016	Qingdao, Chine	Y. Wang
Utilisation d'une méthode graduée dans la réglementation des réacteurs de recherche à la Commission canadienne de sûreté nucléaire (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Réunion technique de l'AIEA sur l'utilisation d'une méthode graduée dans l'application des exigences de sûreté pour les réacteurs de recherche	23 au 27 mai 2016	Vienne, Autriche	J.E. Kowalski N. Mesmou
Examen numérique et en laboratoire du comportement hydromécanique du calcaire de Cobourg	Résumé d'un document ou d'une présentation technique	Séminaire DOPAS 2016, sous le thème du colmatage et du scellement pour les applications souterraines	25 au 27 mai 2016	Turku, Finlande	G. Su T.S. Nguyen Z. Li F. Nasser P. Young
Atelier sur le parcours canadien en matière de conception et de qualification sismiques des installations nucléaires	Actes d'un atelier organisé par la CCSN	Atelier de la CCSN sur le parcours canadien en matière de conception et de qualification sismiques des installations nucléaires	9 et 10 juin 2016	Ottawa (Ontario)	T.S. Aziz
Exigences canadiennes pour assurer la compétence des travailleurs dans le domaine de l'énergie nucléaire	Résumé d'une présentation technique	Groupe de travail technique de l'AIEA sur la gestion des ressources humaines	14 au 17 juin 2016	Vienne, Autriche	C. Françoise
Alimentation électrique hors site et sur le site des centrales nucléaires canadiennes (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	24 ^e Conférence internationale sur le génie nucléaire	26 au 30 juin 2016	Charlotte (Caroline du Nord) É.-U.	J. Vucetic N. El Dabaghi

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Aperçu des activités d'analyse comparative de la physique des réacteurs à eau lourde pressurisée de la CCSN (en anglais seulement)	Résumé d'un document technique	Réunion technique de l'AIEA sur les problèmes standards faisant l'objet d'une collaboration internationale sur une base de données de repères numériques pour les transitoires RELP	9 au 11 août 2016	Ottawa (Ontario)	D. Serghiuta
Critères de sécurité du combustible nucléaire des réacteurs CANDU (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	13 ^e Conférence internationale sur le combustible des réacteurs CANDU	15 au 18 août 2016	Kingston (Ontario)	M. Couture
Conception thermohydraulique du combustible des réacteurs CANDU (en anglais seulement)	Résumé d'un document technique	13 ^e Conférence internationale sur le combustible des réacteurs CANDU	15 au 18 août 2016	Kingston (Ontario)	Y. Guo
Accident grave de perte de réfrigérant (en anglais seulement)	Résumé d'un document technique	13 ^e Conférence internationale sur le combustible des réacteurs CANDU	15 au 18 août 2016	Kingston (Ontario)	W. Grant
Aptitude au travail : un point de vue en matière de réglementation nucléaire au Canada	Résumé d'une présentation technique	2 ^e Conférence internationale sur les exigences physiques pour l'emploi	23 au 26 août 2016	Canmore (Alberta)	A.J. Derouin
Leçons à tirer de l'élaboration et de la qualification de codes de physique du réacteur au Canada	Résumé d'une présentation technique	16 ^e Conférence sur la physique du cœur des réacteurs	23 au 26 août 2016	Beijing, Chine	W. Shen
Participation de l'organisme de réglementation du nucléaire du Canada dès le début d'un projet de stockage dans des couches géologiques profondes pour la gestion à long terme du combustible usé du Canada	Résumé d'un document technique	3 ^e Conférence canadienne sur la gestion des déchets nucléaires, le déclassement et la restauration de l'environnement	11 au 14 septembre 2016	Ottawa (Ontario)	J.L. Mecke K. Noble J.L. Brown

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Exigences de fiabilité et utilisation d'applications à risque pour les programmes de fiabilité dans les centrales nucléaires canadiennes	Résumé d'un document technique	Conférence européenne de 2016 sur la sûreté et la fiabilité	25 au 29 septembre 2016	Glasgow, Écosse	U. Menon C. Morin Y. Akl
Arguments géoscientifiques dans le dossier de sûreté pour l'établissement d'un dépôt géologique en profondeur dans le sud de l'Ontario (Canada) (en anglais seulement)	Exposé au cours d'une conférence	Conférence DAEF	Octobre 2016	Cologne, Allemagne	T.S. Nguyen J. Brown M. Herod Z. Li
Rôle des organes de réglementation en recherche et développement : état de la réglementation sur la chimie et de la recherche dans l'industrie nucléaire canadienne (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	Conférence de 2016 sur la chimie de l'eau des centrales nucléaires	2 au 7 octobre 2016	Brighton, Angleterre	R. Kameswaran M. Yacyshyn
Modification de la méthode SPAHR-H pour appuyer l'AFH dans l'EPS de niveau 2	Résumé d'un document technique	13 ^e Conférence internationale sur l'évaluation probabiliste de la sûreté et la gestion	2 au 7 octobre 2016	Séoul, Corée du Sud	G. Banaseanu M. Xu Y. Akl S. St. Germain R. Boring
Examen réglementaire de l'analyse thermohydraulique du combustible des réacteurs CANDU et défis connexes (en anglais seulement)	Résumé d'un document ou d'une présentation technique	5 ^e Atelier international sur les problèmes actuels de sûreté des réacteurs CANDU et résolutions pour assurer leur sûreté et leur durabilité	12 au 14 octobre 2016	Gyeongju, Corée du Sud	Y. Guo
Caractérisation du comportement mécanique de l'argilite de Tournemire	Article d'une revue scientifique en accès libre à comité de lecture	<i>The Geological Society</i> , Publications spéciales, p. 443	13 octobre 2016	Geological Society of London	X. Su S. Nguyen

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Présentation sur la norme CSA N290.12 – Facteurs humains dans la conception des centrales nucléaires	Résumé d'une présentation technique	1 ^{re} Réunion bilatérale CCSN-KINS sur l'échange de renseignements techniques	18 octobre 2016	Daejeon, Corée du Sud	A. Bouchard A. Salway
Mise au point d'un modèle viscoélastoplastique pour des roches argileuses litées à partir d'essais triaxiaux	Article d'une revue scientifique à comité de lecture	<i>Revue canadienne de géotechnique</i> , 54(3), pp. 359-372	18 octobre 2016	NRC Research Press	T.S. Nguyen G. Su Z. Li D. Labrie J.D. Barnichon
Modélisation comparative d'essais en laboratoire sur le comportement hydromécanique d'un mélange compacté de bentonite et de sable	Article d'une revue scientifique à comité de lecture	<i>Environmental Earth Sciences</i> , 75, p. 1311	18 octobre 2016	Springer Nature	A. Millard T.S. Nguyen et coll.
Préparation des travailleurs à faire face à l'imprévu	Résumé d'une présentation technique	1 ^{re} Réunion bilatérale CCSN-ARN	20 et 21 octobre 2016	Tokyo, Japon	A. Bouchard A. Salway T. Hewitt
Surveillance réglementaire de la culture de sûreté	Résumé d'une présentation technique	1 ^{re} Réunion bilatérale CCSN-ARN	20 et 21 octobre 2016	Tokyo, Japon	A. Bouchard V. Goebel
Caractérisation des radionucléides dans les résidus de l'extraction de l'uranium à l'aide de techniques synchrotroniques utilisant une microsonde à rayons X durs (en anglais seulement)	Affiche	2 ^e Conférence internationale sur les processus de concentration radioécologique	Novembre 2016	Séville, Espagne	S. Mihok K. Lange A. Lanzirrotti J. Brown
Aperçu du cadre réglementaire de la cybersécurité pour les centrales nucléaires (en anglais seulement)	Résumé d'une présentation technique	12 ^e Atelier annuel de l'UNENE sur les contrôles-commandes	11 novembre 2016	Mississauga (Ontario)	C.H. Jung

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Programmes de qualification environnementale dans les centrales nucléaires canadiennes – rapport d’état dans la perspective de la réglementation (en anglais seulement)	Résumé d’une présentation technique	28 ^e Réunion technique annuelle sur la qualification environnementale	16 au 18 novembre 2016	Clearwater (Floride) É.-U.	M. Vlatkovic
Méthode de modélisation comparée des processus hydromécaniques pour les essais de scellement au laboratoire souterrain de Tournemire (en anglais seulement)	Article d’une revue scientifique à comité de lecture	<i>Environmental Earth Sciences</i> , pp. 76, 78	Décembre 2016	Springer Berlin Heidelberg	A. Millard T.S. Nguyen et coll.
Modélisation d’une expérience avec générateur de chaleur pour l’élimination des déchets radioactifs (en anglais seulement)	Revue scientifique en accès libre à comité de lecture	<i>Environmental Geotechnics</i>	Décembre 2016	Institution of Civil Engineers	T.S. Nguyen Z. Li B. Garitte J.D. Barnichon
Réponse aux critiques relatives à l’article intitulé <i>Non-targeted effects and radiation-induced carcinogenesis : a review</i> (en anglais seulement)	Revue scientifique en accès libre à comité de lecture	<i>Journal of Radiological Protection</i> , 36, pp. 1015-1016	Décembre 2016	IOP Publishing	J. Burt P. Thompson R. Lafrenie
Examen par la direction et les cadres supérieurs	Résumé d’une présentation technique	14 ^e Atelier sur les systèmes de gestion AIEA-FORATOM	12 au 15 décembre 2016	Vienne, Autriche	P. Lahaie
Systèmes de gestion et normes dans l’industrie nucléaire	Résumé d’une présentation technique	14 ^e Atelier sur les systèmes de gestion AIEA-FORATOM	12 au 15 décembre 2016	Vienne, Autriche	P. Lahaie

Sujet	Type	Événement ou publication	Date	Éditeur ou lieu de la présentation	Auteurs
Analyse des modes de défaillance pour l'évaluation de la fiabilité des systèmes de contrôle et des instruments à matrice prédéfinie programmable par l'utilisateur (en anglais seulement)	Revue scientifique en accès libre à comité de lecture	<i>Annals of Nuclear Energy</i> , 98, pp. 198-228	2016	Elsevier	P. McNelles Z.C. Zeng G. Renganathan M. Chirila L. Lu
Radioprotection dans les installations de transformation de l'uranium au Canada (en anglais seulement)	Présentation lors d'un atelier	Atelier de l'AIEA sur la radioprotection et la gestion des déchets pour les installations du cycle du combustible nucléaire (J7-TR-54794)	13 au 17 mars 2017	Vienne, Autriche	C. Dodkin