
Design Study of A Real Time Radiation Monitoring System For Severe Accident Conditions at a CANDU NPP

Saad Al Bayati

University of Ontario Institute of Technology

If a severe nuclear power plant accident occurs, instrumentation designed for normal operations will not be able to provide a sufficient assessment of the changing radiological situation. Measuring techniques with extended range are needed to supply reliable data even under extreme environmental conditions (pressure, temperature, humidity) and to be largely protected from the loss of power. The radiation measuring techniques for nuclear reactor accident conditions should serve in particular to determine the radioactivity in the air and the dose rate in the reactor building and to be able to provide an assessment of the situation even in locations of high activity concentration and dose rate. The assessment of the radiation conditions inside containment also has to provide sufficient characterization of releases in terms of the beta activity of radioactive gases and fission products to enable real-time updates on the type and extent of the accident, so enabling rapid response decisions concerning re-entering affected locations.

This work will describe the design a prototype dosimetric system that will be self-powered, robust and capable of measuring accurately, over a wide response range under harsh operating conditions, the rate at which both the ambient gamma ray and the β and γ gas-aerosol radioactive impurities change with time inside a CANDU NPP during a severe accident.

The prototype design consists of paired flow and non-flow ionization chambers with identical dimensions. The non-flow ionization chamber will be sensitive to ambient gamma radiation only. The flow through chamber will be sensitive to both ambient gamma radiation and airborne γ and β emitters transported through the chamber with the airflow. This arrangement makes it possible to determine the emission rate of β activity for some individual radionuclides and the total emission rate of all nuclides. An optimization of the design will also be performed.

Safe Use of Ra-223 radium dichloride across a wide range of clinical scenarios: A 10-year single-institution radiation safety experience

Jon Aro

The Ottawa Hospital

Radium ^{223}Ra dichloride ($^{223}\text{RaCl}_2$) is an effective therapeutic radiopharmaceutical for the treatment of prostate cancer metastatic to bone. As an institutional participant in the ALSYMPCA trial (ref. 6), and early adopter of Xofigo as a clinical modality, our facility has accrued approximately ten years'

Étude de conception d'un système de surveillance du rayonnement en temps réel dans des conditions d'accident grave à une centrale nucléaire CANDU

Saad Al Bayati

Institut universitaire de technologie de l'Ontario

En cas d'accident de centrale nucléaire grave, les instruments conçus pour un fonctionnement en temps normal ne seront pas en mesure de fournir une évaluation suffisante de l'évolution de la situation radiologique. Des techniques de mesure à domaine étendu sont nécessaires afin de fournir des données fiables même sous des conditions environnementales extrêmes (pression, température, humidité) et pour être en grande partie protégées de la perte d'électricité. Les techniques de mesure des rayonnements dans les conditions d'accident de réacteur nucléaire devraient notamment servir à déterminer la radioactivité dans l'air et le débit de dose dans le bâtiment du réacteur, ainsi qu'à permettre une évaluation de la situation même dans les zones de forte concentration d'activité et de débits de dose élevés. L'évaluation des conditions de rayonnement dans l'enceinte de confinement doit également fournir une caractérisation suffisante des rejets en termes d'activité bêta des gaz radioactifs et des produits de fission pour permettre une mise à jour en temps réel du type et de l'étendue de l'accident, permettant ainsi de prendre des décisions rapides à propos de la réintégration des lieux touchés.

Ce travail décrira la conception d'un prototype de système dosimétrique autoalimenté, robuste et capable de mesurer avec précision, sur un large domaine et dans des conditions de fonctionnement difficiles, le taux auquel le rayonnement gamma ambiant et les impuretés gaz-aérosols β et γ radioactifs changent avec le temps à l'intérieur d'une centrale nucléaire CANDU lors d'un accident grave.

La conception du prototype consiste en des chambres d'ionisation jumelées avec et sans flux de dimensions identiques. La chambre d'ionisation sans flux sera sensible uniquement au rayonnement gamma ambiant. La chambre à flux sera sensible au rayonnement gamma ambiant ainsi qu'aux émetteurs γ et β en suspension dans l'air transporté à travers la chambre avec le flux d'air. Cette disposition permet de déterminer le taux d'émission d'activité β de certains radionucléides et le taux d'émission total de tous les nucléides. Une optimisation de la conception sera également effectuée.

Utilisation sécuritaire du dichlorure de radium 223 dans plusieurs scénarios cliniques : Une expérience de 10 ans de la radioprotection dans un seul établissement

Jon Aro

L'Hôpital d'Ottawa

Le dichlorure de radium ($^{223}\text{RaCl}_2$) est un produit radiopharmaceutique thérapeutique efficace pour traiter le cancer de la prostate avec métastases osseuses. Étant un participant institutionnel aux essais ALSYMPCA (réf. 6) et un des premiers à adopter le Xofigo comme modalité clinique, notre

experience in the regulatory-compliant use of this radiopharmaceutical. Because ^{223}Ra is primarily an α -emitter, there is minimal concern regarding external exposure from injected patients. However, several radiation safety related factors still need to be considered when treating patients with $^{223}\text{RaCl}_2$.

établissement a cumulé dix ans d'expérience dans l'utilisation de ce produit radiopharmaceutique en conformité avec la réglementation. Le $^{223}\text{RaCl}_2$ étant principalement un émetteur alpha, les préoccupations concernant l'exposition externe des patients injectés sont minimales. Par contre, plusieurs éléments de radioprotection doivent toujours être considérés lors du traitement des patients au $^{223}\text{RaCl}_2$.

Development of a radioiodine decontamination procedure

Sarah Aubert
McMaster University

The McMaster Nuclear Reactor is one of the world's leading producers of iodine-125 ($t_{1/2} = 59.4$ d, $E_\gamma = 35$ keV), filling more than 60% of the global demand for this therapeutic isotope. Due to the widespread presence of this isotope in our facility, identifying an effective means of removing radioiodine contamination from skin is an important priority from a radiation safety standpoint. Unfortunately, iodine forms covalent bonds to the amino acid residues in skin, making it difficult to remove.

The goal of this study was to determine the most efficient method of I-125 removal from skin. Using pig skin as a surrogate for human skin due to the similarity of the epidermis, skin swatches were exposed to both liquid and volatile forms of I-125 for predetermined exposure times. The skin swatches were then decontaminated using several types of wipes in combination with a variety of mechanical exfoliants and mild chemical agents. The efficiency of each wipe-decontaminant pair was then quantified by gamma spectroscopy.

The optimal decontamination method was found to depend on a variety of factors, most notably the exposure time and the chemical form of the radioiodine. For aqueous sodium iodide, chemical decontaminants are more effective at short exposure times, but no more efficient than mechanical decontaminants at longer exposure times (≥ 30 min). Conversely, when the radioiodine is bound to an organic molecule such as tyrosine before being exposed to the skin, mechanical decontaminants show superior performance. For volatile I-125, both classes of decontaminating agents are equally effective if used soon after exposure; at longer lag times, the strong chemical oxidizing agent hydrogen peroxide showed the greatest effectiveness.

Mise au point d'une procédure de décontamination pour l'iode radioactif

Sarah Aubert
Université McMaster

Le réacteur nucléaire de McMaster est l'un des principaux producteurs mondiaux d'iode-125 ($t_{1/2} = 59,4$ j, $E_\gamma = 35$ keV), représentant plus de 60 % de la demande mondiale pour cet isotope thérapeutique. Du fait de la présence généralisée de cet isotope dans nos installations, l'identification d'un moyen efficace d'éliminer la contamination d'iode radioactif sur la peau est une priorité essentielle du point de vue de la radioprotection. Malheureusement, l'iode forme des liaisons covalentes avec les résidus d'acides aminés de la peau, ce qui rend son élimination difficile.

Le but de cette étude était de déterminer la méthode la plus efficace d'élimination de l'I-125 de la peau. En utilisant la peau de porc comme substitut de la peau humaine en raison de la similitude de l'épiderme, des échantillons de peau ont été exposés à des formes liquides et volatiles d'I-125 pendant des durées d'exposition prédéterminées. Les échantillons de peau ont ensuite été décontaminés à l'aide de plusieurs types de lingettes en combinaison avec divers exfoliants mécaniques et agents chimiques doux. L'efficacité de chaque paire lingette-décontaminant a ensuite été quantifiée par spectroscopie gamma.

La méthode de décontamination optimale dépendait de nombreux facteurs, notamment le temps d'exposition et la forme chimique de l'iode radioactif. Pour les solutions aqueuses d'iodure de sodium, les décontaminants chimiques sont plus efficaces pour de courtes expositions, mais pas plus efficaces que les décontaminants mécaniques pour des expositions plus longues (≥ 30 min). Inversement, lorsque l'iode radioactif est lié à une molécule organique telle que la tyrosine avant d'être exposé à la peau, les décontaminants mécaniques présentent des performances supérieures. Pour l'I-125 volatil, les deux classes d'agents décontaminants ont la même efficacité si elles sont utilisées peu de temps après l'exposition; à des temps de latence plus longs, c'est le peroxyde d'hydrogène, un agent oxydant chimique puissant, qui présente la plus grande efficacité.

Validating the dosimetric characteristics of a novel eye thermoluminescent dosimeter for neutron-photon/beta mixed fields by experimental type tests and Geant4 simulation

Virgiliu Beregic
University of Ontario Institute of Technology

Based on ICRP 118 (2012) recommendations, CNSC proposed an amendment to the RP Regulations to reduce the dose limit for the lens of the eye of a nuclear energy worker from the current limit of 150 mSv to 50 mSv in a one-year dosimetry period and to add an eye lens dose equivalent Hp(3) of 100 mSv in a five-year dosimetry period.

This presentation describes the design of an Eye Thermoluminescent Dosimeter (Eye-n-TLD) for the measurement of the doses to the eye lens of a nuclear worker, received during occupational exposures to mixed fields of neutron-gamma/beta ionizing radiation.

Also are described the experimental type tests and simulations using the GEANT4 software, performed to validate the Eye-n-TLD principal dosimetric characteristics. The validation results are benchmarked against other experiments and simulations results reported in the scientific literature.

An overview of biodosimetry in Canada

Julie Burt
Health Canada

Biodosimetry is a method for estimating radiation dose by measuring different types of radiation-induced DNA damage in human lymphocytes. In Canada, the biodosimetry program, run by the Consumer and Clinical Radiation Protection Bureau (CCRPB) of Health Canada, supports the Federal Nuclear Emergency Program, accidental overexposures in an occupational setting in collaboration with the Canadian Nuclear Safety Commission, as well as the astronaut biodosimetry program with the Canadian Space Agency. The three prominent biodosimetry assays include: the Dicentric Chromosome Assay (DCA), the translocation analysis by Fluorescent In-Situ Hybridization (FISH), and the Cytokinesis-block Micronucleus Assay (CBMN). Each assay is designed to estimate radiation exposure by quantifying specific types of chromosome damage. DCA measures the number of dicentric chromosomes, which are formed when DNA double strand breaks are repaired incorrectly, resulting in a chromosome with two centromeres. The FISH assay quantifies the number of stable chromosome translocations, which are also formed when DNA double strand breaks are repaired incorrectly. CBMN is used to calculate the ratio of micronuclei per binucleated cell, where the MN is formed as a result of chromosome damage. Furthermore, research is ongoing at Health Canada to improve the

Validation des caractéristiques d'un nouveau dosimètre thermoluminescent pour l'œil dans un environnement de plusieurs types de rayonnement (neutron-photon/bêta) par différents tests expérimentaux et simulations avec Geant4

Virgiliu Beregic
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

En se basant sur les recommandations tirées de la publication ICRP 118 (2012), la CCSN a proposé un changement au Règlement sur la radioprotection afin de réduire la dose limite au cristallin de l'œil d'un travailleur du secteur nucléaire, passant de la limite actuelle de 150 mSv à 50 mSv pour une période de dosimétrie de 1 an et en ajoutant une limite d'équivalent de dose Hp(3) pour le cristallin de l'œil de 100 mSv pour une période de 5 ans.

Cette présentation explique la conception d'un dosimètre thermoluminescent pour l'œil (Eye-n-TLD) permettant de mesurer les doses reçues au cristallin de l'œil d'un travailleur du secteur nucléaire durant une période d'exposition à une combinaison de types de rayonnement ionisant (neutron-gamma/bêta).

Une description de différents tests expérimentaux et des simulations avec le logiciel GEANT4 effectués pour valider les caractéristiques dosimétriques principales des Eye-n-TLD sera présentée. Les résultats seront comparés à d'autres résultats de tests et de simulations trouvés dans la littérature scientifique.

Un aperçu de la biodosimétrie au Canada

Julie Burt
Santé Canada

La biodosimétrie est une méthode permettant d'estimer la dose de rayonnement en mesurant différents types de dommages à l'ADN induits par un rayonnement dans des lymphocytes humains. Au Canada, le programme de biodosimétrie, géré par le Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation (PCRPPC) de Santé Canada, soutient le Programme fédéral en cas d'urgence nucléaire, les surexpositions accidentelles en milieu professionnel en collaboration avec la Commission canadienne de sûreté nucléaire, ainsi que Programme de biodosimétrie des astronautes avec l'Agence spatiale canadienne. Les trois principaux tests de biodosimétrie comprennent : l'essai des chromosomes dicentromériques (ECD), l'analyse de la translocation par hybridation in situ en fluorescence (FISH) et l'essai de micronoyaux avec blocage de la cytosinèse (*cytokinesis-block micronucleus*, CBMN). Chaque essai est conçu pour estimer l'exposition aux rayonnements en quantifiant des types spécifiques de dommages chromosomiques. L'ECD mesure le nombre de chromosomes dicentromériques, qui se forment lorsque les ruptures du double brin de l'ADN sont réparées de manière incorrecte, ce qui donne un chromosome à deux centromères. L'essai FISH quantifie le nombre de translocations de chromosomes stables, qui sont également

throughput of biodosimetry for large-scale events. Of note, our laboratory has developed a semi-automated high-throughput assay that pairs classic CBMN with imaging flow cytometry. By combining these two techniques, the laborious need for microscopy analysis (as is done with DCA and FISH) is eliminated. Each assay has inherent strengths and weaknesses which include processing time, time since exposure considerations, and minimal detectable doses (in the range of 100 mSv or greater). The process from blood sample acquisition to dose estimation along the applications of each assay will be presented.

Adaptation of the cytokinesis-block micronucleus assay to imaging flow cytometry

Riham Darwish
Consumer and Clinical Radiation Protection Bureau, Health Canada

The cytokinesis-block micronucleus (CBMN) assay, which is used for radiation biodosimetry, has been adapted to an imaging flow cytometry (IFC)-based method to create an automated high-throughput biodosimetry tool. Blood samples from eight healthy donors were irradiated with 250 kVp X-rays. Following irradiation, the blood was placed in culture media containing PHA which stimulated the lymphocytes to proliferate.

After 24 hours, Cytochalasin-B was added to block cytokinesis. Forty-four hours later, cells were fixed and stained with a fluorescent DNA stain (DRAQ 5). Sample analysis was performed for each dose with the IFC ImageStream®X MarkII. Data files were analyzed using the IDEAS® Analysis Software which collected the total number of events, the total number of binucleated cells (BNC), and the number of micronuclei (MN) per BNC. Several experimental parameters were optimized with the development of this new methodology: Blood volumes drawn from donors were minimized from 1 mL to 0.2 mL and culture time was reduced from 72 hours to 68 hours.

High-resolution images of individual cells showing the DNA stain were produced and BNCs and MN were automatically selected and batched analyzed. As a result of the improved methodology, a laboratory specific calibration curve was generated. The dose-response curve confirms the feasibility of pairing classic CBMN to IFC to provide triage-quality dose estimates in the range of 0 to 5 Gy (± 0.5 Gy), in the event of a radiological or nuclear emergency. By pairing these two techniques, it is possible to eliminate the need for manual microscopy, further reducing the required analysis time by days to weeks. In conclusion, accurate biodosimetry can be completed using an automated miniaturized protocol and could

formées lorsque les cassures du double brin d'ADN sont réparées de manière incorrecte. Le CBMN est utilisé pour calculer le rapport des micronoyaux par cellule binucléée, où le MN est formé à la suite d'une lésion chromosomique. De plus, des recherches sont en cours à Santé Canada pour améliorer la capacité de rendement de la biodosimétrie lors d'événements à grande échelle. Il est à noter que notre laboratoire a mis au point un essai semi-automatique à haut débit associant un CBMN classique à de l'imagerie par cytométrie en flux. En combinant ces deux techniques, le besoin laborieux d'analyse par microscopie (comme c'est le cas avec l'ECD et le FISH) est éliminé. Chaque essai présente des forces et des faiblesses inhérentes, qui incluent le temps de traitement, la considération du temps écoulé depuis l'exposition et les doses minimales détectables (dans le domaine de 100 mSv ou plus). Le processus depuis l'acquisition de l'échantillon sanguin jusqu'à l'estimation de la dose en fonction de la réalisation de chaque essai sera présenté.

Adaptation de l'essai de micronoyaux avec blocage de la cytokinèse à l'imagerie cytométrie en flux

Riham Darwish
Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation

L'essai de micronoyaux avec blocage de la cytokinèse (*cytokinesis-block micronucleus*, CBMN), utilisé pour la biodosimétrie des rayonnements, a été adapté à une méthode basée sur l'imagerie par cytométrie en flux (ICF) pour la création d'un outil automatisé de biodosimétrie à haut débit. Des échantillons sanguins provenant de huit donneurs en bonne santé ont été irradiés avec des rayons X à 250 kVp. Après l'irradiation, le sang a été placé dans un milieu de culture contenant du PHA stimulant la prolifération des lymphocytes.

Au bout de 24 heures, de la cytochalasine-B a été ajoutée pour bloquer la cytokinèse. Quarante-quatre heures plus tard, les cellules ont été fixées et colorées à l'aide d'un colorant pour ADN fluorescent (DRAQ 5). L'analyse des échantillons a été réalisée pour chaque dose par ICF ImageStream®X MarkII. Les fichiers de données ont été analysés à l'aide du logiciel d'analyse IDEAS®, qui a collecté le nombre total d'événements, le nombre total de cellules binucléées (CBN) et le nombre de micronoyaux (MN) par CBN. Plusieurs paramètres expérimentaux ont été optimisés lors de l'élaboration de cette nouvelle méthodologie : les volumes de sang prélevés des donneurs ont été minimisés de 1 mL à 0,2 mL et le temps de culture a été réduit de 72 heures à 68 heures.

Des images à haute résolution de cellules individuelles montrant la coloration de l'ADN ont été produites et les CBN et MN ont été automatiquement sélectionnés et analysés en lot. La méthodologie améliorée a permis de générer une courbe d'étalonnage spécifique au laboratoire. La courbe dose-réponse confirme la possibilité d'associer le CBMN classique à l'ICF pour fournir des estimations de dose de qualité au triage allant de 0 à 5 Gy ($\pm 0,5$ Gy) en cas d'urgence nucléaire ou radiologique. En associant ces deux techniques, il est possible d'éliminer le

greatly improve the throughput of biodosimetry for emergency response.

recours à la microscopie manuelle, réduisant davantage le temps d'analyse requis de plusieurs jours à plusieurs semaines. En conclusion, une biodosimétrie précise peut être complétée à l'aide d'un protocole automatisé miniaturisé et pourrait considérablement améliorer le temps de traitement de la biodosimétrie en intervention d'urgence.

Anthropomorphic 3D-printable phantom

Timothy Davis
University of Ontario Institute of Technology

The research focuses on the creation of an anthropomorphic 3D phantom using a 3D printing facility at UOIT. The Google SketchUp software will be used to design and fabricate a 3D phantom model. The phantom is printed (3D printing is used for phantom fabrication) using a tissue equivalent plastic. The printed phantom is made to be adjustable and capable of performing actions like sitting up and moving like a person. The purpose of the phantom is to test the use of the radiation triage mask, which is a device that you breathe into and it identifies radioisotopes present in the person. Lung bags will be attached to the inside of the phantom such that inhaled dose can be measured. In addition to the lung bags, the phantom will have internal source holders so that an internal dose can be simulated. Once completed, the models of the phantom and the triage mask will be placed in the Unity game engine, and a virtual reality (VR) game will be created in which you will practice using the triage mask on the phantom. An HTC Vive will be used for the creation of the game. The application of 3D printing in anthropomorphic phantoms can improve personalized medical need in radiation therapy, reduce costs and can be used for radiation dose verification.

Fantôme anthropomorphe imprimable en 3D

Timothy Davis
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

La recherche porte sur la création d'un fantôme 3D anthropomorphe à l'aide d'une imprimante 3D à l'IUTO. Le logiciel SketchUp de Google sera utilisé pour concevoir et fabriquer un modèle fantôme 3D. Le fantôme est imprimé (l'impression 3D est utilisée pour la fabrication du fantôme) en utilisant un plastique équivalent aux tissus. Le fantôme imprimé est conçu afin d'être ajustable et capable d'exécuter des actions telles que s'asseoir et se déplacer comme une personne. Le fantôme a pour but de tester l'utilisation du masque de triage pour les rayonnements, qui est un dispositif dans lequel vous respirez et qui identifie les radioisotopes présents dans la personne. Des poches pulmonaires seront fixées à l'intérieur du fantôme de manière à ce que la dose inhalée puisse être mesurée. En plus des poches pulmonaires, le fantôme aura des porte-sources internes permettant de simuler une dose interne. Une fois terminé, les modèles du fantôme et le masque de triage seront placés dans le moteur de jeu Unity et un jeu de réalité virtuelle (RV) sera créé dans lequel vous vous exercerez à utiliser le masque de triage sur le fantôme. Un casque de réalité virtuelle HTC Vive sera utilisé pour la création du jeu. L'application d'impression 3D pour les fantômes anthropomorphes peut améliorer les besoins médicaux personnalisés en radiothérapie, réduire les coûts et peut être utilisée pour la vérification de la dose de rayonnement.

Radiation Protection in Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories in Japan Atomic Energy Agency

Hiroki Fujita
International Commission on Radiological Protection, Japan Atomic Energy Agency

As Japan's sole comprehensive research and development institute in the field of nuclear energy, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been trying to contribute to the welfare and prosperity of society through nuclear science and technology. Therefore, laboratories in JAEA has been developing and researching various fields of nuclear energy in order to achieve our targets of response to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, research into improving nuclear power safety, nuclear fuel recycling R&D, development of technologies for processing and disposing of radioactive waste and so on. Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories (NCL) is one of R&D Institutes/Center in JAEA, has four main facilities of Tokai Reprocessing Plant with Verification Facility, Chemical Processing Facility, Plutonium Fuel Production Facility and Qualitative Assessment Radionuclides Migration Experimental Facility to handle radioactivity. To control radiation and

Radioprotection dans les laboratoires d'ingénierie du cycle du combustible nucléaire à l'Agence japonaise de l'énergie atomique

Hiroki Fujita
Commission internationale de protection radiologique, Agence japonaise de l'énergie atomique

En tant que seul institut de recherche et de développement dans le domaine de l'énergie nucléaire au Japon, l'Agence japonaise de l'énergie atomique (*Japan Atomic Energy Agency, JAEA*) s'efforce de contribuer au bien-être et à la prospérité de la société grâce à la science et à la technologie nucléaires. C'est pourquoi les laboratoires de la JAEA ont développé et étudié divers domaines de l'énergie nucléaire afin d'atteindre nos objectifs en matière d'intervention à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, de recherche sur l'amélioration de la sécurité de l'énergie nucléaire, de recherche et développement en matière de recyclage du combustible nucléaire, de développement de technologies pour le traitement et l'élimination des déchets radioactifs, etc. Le *Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories* (NCL) est l'un des instituts/centres de R et D de la JAEA qui comprend quatre

radioactivity in each facility, radiation protection department has been developing environmental monitoring and radiation control methods, in collaboration with many industry companies. Environmental protection section developed analysis methods of technetium-99, iodine-129 and plutonium in environmental and bioassay samples. Radiation control section developed a comprehensive measurement system of beta, gamma rays and neutron. For preparedness of an accident, the division has been developing and improving their skills and techniques, and then has been responding to Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, JCO accident, plutonium inhalation accident and so on. In this presentation, the outline of radiological protection in the NCL will be introduced.

installations principales où est manipulé du matériel radioactif : l'installation de retraitement avec installation de vérification de Tokai, l'installation de traitement chimique, l'installation de production de plutonium et l'installation d'évaluation qualitative de la migration des radionucléides. Pour contrôler le rayonnement et la radioactivité dans chaque installation, le département de radioprotection a mis au point des méthodes de surveillance de l'environnement et de contrôle du rayonnement, en collaboration avec de nombreuses entreprises du secteur. Le service de la protection de l'environnement a mis au point des méthodes d'analyse du technétium 99, de l'iode 129 et du plutonium dans des échantillons environnementaux et des essais biologiques. Le service de contrôle des rayonnements a mis au point un système complet de mesure des rayonnements bêta, gamma et des neutrons. Pour se préparer à un accident, la division a développé et amélioré ses compétences et ses techniques, puis est intervenue lors de l'accident à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, de l'accident à JCO, lors de l'accident d'inhalation de plutonium, etc. Dans cette présentation, les grandes lignes de la radioprotection dans le NCL seront présentées.

Important steps to follow for proper response to skin contamination

Nathalie Gadbois
Canadian Nuclear Safety Commission

Since 2016, many licensees have benefited from the Canadian Nuclear Safety Commission's (CNSC) article entitled "CNSC Expectations for Licensee Response During Skin Contamination Events". The article provides guidance on how to respond to a skin contamination event in three parts:

- measuring the contamination and decontaminating the skin
- calculating the skin dose
- reporting to the CNSC, as applicable

Contamination of the skin contributes to a radiation exposure for as long as the contamination is present. Therefore, the earlier the contamination is detected and removed, the more the skin dose may be minimized. When contamination of the skin is identified, licensees are requested to act quickly and to follow the steps detailed in the article mentioned above.

Recent skin contamination events have demonstrated the importance of taking all required precautions to avoid unnecessary radiation exposure when handling unsealed nuclear substances. CNSC's review of licensees' responses to skin contamination incidents has revealed a few deficiencies in implementing the appropriate method for ascertaining skin doses. A reminder of some important steps to follow in order to properly evaluate the equivalent dose to the skin will be presented.

Étapes importantes à suivre pour une réponse adéquate lors de contamination de la peau

Nathalie Gadbois
Commission Canadienne de sûreté nucléaire

Depuis 2016, de nombreux titulaires de permis ont bénéficié de l'article de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) intitulé « Attentes de la CCSN par rapport à la réponse des titulaires de permis dans le cas des événements entraînant une contamination de la peau ». L'article fournit des conseils, en trois parties, sur les mesures à prendre lors d'événements causant une contamination de la peau :

- mesure de la contamination et décontamination de la peau
- calcul de la dose à la peau
- signalement à la CCSN, au besoin

La contamination de la peau contribue à l'exposition au rayonnement tant que la contamination est présente. Par conséquent, plus la contamination est détectée et éliminée tôt, plus la dose à la peau peut être minimisée. Lorsque la contamination de la peau est identifiée, il est demandé aux titulaires de permis d'agir rapidement et de suivre les étapes décrites en détail dans l'article mentionné ci-dessus.

Les événements récents de contamination de la peau ont démontré l'importance de prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter une exposition inutile aux rayonnements lors de la manipulation de substances nucléaires non scellées. La revue, par la CCSN, des interventions des titulaires de permis aux événements de contamination de la peau a révélé quelques lacunes dans l'application de la méthode appropriée pour déterminer les doses reçues par la peau. Un rappel de quelques étapes importantes à suivre pour

évaluer correctement la dose équivalente à la peau sera présenté.

CRPA International Liaison Committee

Adelene Gaw
CRPA Local Organizing Committee

The International Liaison Committee (ILC) of the CRPA works to create and maintain active, bi-directional, liaison with foreign and international organizations with similar goals or objectives to the CRPA. The ILC promotes the CRPA internationally and facilitates international updates on radiation protection related matters to CRPA members.

The ILC membership consists of members of the CRPA who meet periodically to share international news in radiation protection and discuss options for disseminating this information to CRPA members. The ILC also carries out international projects to support its mandate; for example, the ongoing webinar series on dose limits for the lens of the eye. Other efforts of ILC members have brought: international speakers to CRPA conferences, free access to ICRP publications for CRPA members, and access to publications of other associate societies of the International Radiation Protection Association.

The ILC welcomes feedback and would like to hear from CRPA members. Members are encouraged to share international experiences related to radiation protection with the ILC. Members are also encouraged to share their international interests in the area of radiation protection to help the ILC better serve the CRPA.

Estimation of Lifetime Doses to the Public Living Close to NPPs Using Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Measurements on Extracted Tooth Enamel

Lekhnath Ghimire
University of Ontario Institute of Technology

Previous studies (Radiation and Health in Durham Region, 2007) have shown that radiation exposures from the Pickering and Darlington Nuclear Generating Stations (NGSs) in Ontario are extremely low and no detectable adverse health effects to the local population from the NGSs are expected. However, there are no direct dose measurement data available for the Durham region. So, the chronic low-dose radiation received by the local population from these sources is not known and can only be estimated from the results of environmental measurements and modelling. The local populations would be more confident about the model predictions if they could be backed by direct measurements. The main objective of this study is to measure the low-dose radiation in a local population using extracted tooth enamel samples with EPR tooth enamel dosimetry. This is possible because when tooth enamel, often called “biological dosimeter”, is exposed to ionizing radiation, it generates a dose dependent concentration of free radical centres (or paramagnetic centres). The concentration of these free radical

Comité de liaison internationale de l'ACRP

Adelene Gaw
Comité organisateur local ACRP

Le Comité de liaison internationale (CIL) de l'ACRP travaille à créer et à maintenir une liaison active et bidirectionnelle, avec des organisations étrangères et internationales ayant des objectifs similaires à ceux de l'ACRP. Le CIL promeut l'ACRP à l'échelle internationale et facilite la mise à jour internationale de sujets liés à la radioprotection pour les membres de l'ACRP.

Le CIL est composé de membres de l'ACRP qui se rencontrent périodiquement pour partager des nouvelles internationales en matière de radioprotection et pour discuter des façons de diffuser cette information aux membres de l'ACRP. Le CIL mène également des projets internationaux pour s'acquitter de son mandat; par exemple, la série de webinaires en cours sur les limites de dose pour le cristallin de l'œil. D'autres efforts des membres du CIL ont permis la présence de conférenciers internationaux lors des congrès de l'ACRP, un accès gratuit aux publications de la CIPR pour les membres de l'ACRP et un accès aux publications d'autres sociétés associées de l'Association internationale de radioprotection.

Le CIL souhaite recevoir des commentaires de la part des membres de l'ACRP. Les membres sont invités à partager leurs expériences internationales en matière de radioprotection avec le CIL. Les membres sont également invités à partager leurs intérêts internationaux dans le domaine de la radioprotection afin d'aider le CIL à mieux servir l'ACRP.

Estimation des doses à vie du public vivant à proximité de centrales nucléaires à l'aide de mesures de résonance paramagnétique électronique (RPE) sur de l'émail dentaire extrait

Lekhnath Ghimire
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

Des études antérieures (Rayonnement et santé dans la région de Durham, 2007) ont montré que les expositions aux rayonnements provenant des centrales nucléaires de Pickering et de Darlington en Ontario sont extrêmement faibles et qu'aucun effet néfaste détectable sur la santé de la population locale n'est attendu. Cependant, aucune donnée de mesure de dose directe n'est disponible pour la région de Durham. Ainsi, le rayonnement chronique à faible dose reçu par la population locale en provenance de ces sources n'est pas connu et peut seulement être estimé qu'à partir des résultats de mesures environnementales et de modélisations. Les populations locales auraient plus confiance aux prévisions du modèle si elles pouvaient être soutenues par des mesures directes. L'objectif principal de cette étude est de mesurer le rayonnement à faible dose dans une population locale à l'aide d'échantillons d'émail dentaire par dosimétrie RPE. Cela est possible, car lorsque l'émail dentaire, souvent appelé « dosimètre biologique », est

centres is identified and quantified by measuring tooth enamel samples using EPR techniques. In this measurement, the peak to peak amplitude of the tooth enamel EPR spectrum is proportional to the absorbed dose. Once the doses are determined, the radiation doses in the local population based on their age, gender, medical conditions and proximity to the NGSs are studied to understand the amounts of radiation exposure from the nearby NGSs in a population. To obtain the required precision of the results, we have developed the EPR spectral acquisition, manipulations and measurement algorithm. The background dose (DBG), total dose from the ultraviolet (UV) radiation in incisor teeth (DUV), radiation dose from diagnostic and medical dental procedures (DX-ray) are subtracted to calculate the total anthropogenic dose (DT) in a local population with high accuracy.

exposé aux rayonnements ionisants, il génère une concentration de centres de radicaux libres (ou de centres paramagnétiques) dépendante de la dose. La concentration de ces centres de radicaux libres est identifiée et quantifiée en mesurant des échantillons d'émail dentaire à l'aide de techniques de RPE. Dans cette mesure, l'amplitude crête à crête du spectre RPE de l'émail des dents est proportionnelle à la dose absorbée. Une fois que les doses sont déterminées, les doses de rayonnement reçues par la population locale en fonction de leur âge, de leur sexe, de leurs conditions médicales et de leur proximité des centrales nucléaires sont étudiées afin de comprendre les niveaux d'exposition aux rayonnements provenant des centrales nucléaires à proximité de la population. Pour obtenir la précision requise des résultats, nous avons développé l'acquisition spectrale RPE, les manipulations et l'algorithme de mesure. Le rayonnement de fond, la dose totale du rayonnement ultraviolet (UV) dans les incisives, les doses de rayonnement de procédures de diagnostic et de médecine dentaire (rayons X) sont soustraites pour calculer la dose anthropique totale dans une population locale avec une grande précision.

Segmentation of a Moose using 3D Slicer

Hannah R. Graham
University of Ontario Institute of Technology

In order to generate more accurate dose estimates for radiological environmental assessments within the Indigenous Canadian community, it would be advantageous to have voxel models of species that are part of a traditional indigenous diet. The first species to be modeled as part of this effort is the moose. The moose is an important part of a traditional diet, and is doubly interesting because the diet of the moose varies greatly depending on the time of year. The diet of a moose can be ground foliage, twigs from trees, or mostly aquatic plants depending on the time of year. Due to this variety in their diet, there are many possible intake pathways for radiation. When creating this voxel model, an effort is being made to use software that is open source, so that the technique that is being used can be replicated without great cost. In order to create the voxel model, all the important organs and structures of the CT scan need to be segmented. This was done using a program called 3D Slicer, which can be used for analysis and visualization of medical images. Various tools in the software such as threshold, island, paint, level tracing, grow from seeds, and smoothing were utilized to create these segments.

Segmentation d'un orignal à l'aide d'un trancheur 3D

Hannah R. Graham
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

Afin de générer des estimations de dose plus précises pour les évaluations environnementales radiologiques au sein de la communauté canadienne autochtone, il serait avantageux de disposer de modèles voxel d'espèces faisant partie d'un régime alimentaire autochtone traditionnel. La première espèce à être modélisée dans le cadre de cet effort est l'orignal. L'orignal est un élément important d'un régime traditionnel et est doublement intéressant, car son régime alimentaire varie considérablement selon la période de l'année. Le régime alimentaire d'un orignal peut être constitué de feuillage broyé, de branchages d'arbres ou principalement de plantes aquatiques, en fonction de la période de l'année. En raison de la diversité de leur régime alimentaire, il existe de nombreuses voies d'absorption de rayonnements possibles. Lors de la création de ce modèle voxel, des efforts ont été faits pour utiliser un logiciel libre d'accès, de sorte que la technique utilisée puisse être répliquée sans coût important. Afin de créer le modèle voxel, tous les organes et structures importants du tomogramme doivent être segmentés. Cela a été fait en utilisant un logiciel appelé 3D Slicer, qui peut être utilisé pour l'analyse et la visualisation d'images médicales. Divers outils du logiciel, tels que le seuil, l'ilot, la peinture, le traçage de niveau, la croissance à partir de graines et le lissage ont été utilisés pour créer ces segments.

Low Dose Retrospective Dosimetry on Shelled Aquatic Species

Amna Hassan
University of Ontario Institute of Technology

Electron paramagnetic resonance spectra on American lobster (*Homarus americanus*) and freshwater snail (*Pila globosa*) shells

Dosimétrie rétrospective à faible dose sur des espèces aquatiques à carapace

Amna Hassan
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

Les spectres de résonance paramagnétique électronique sur les carapaces de homard américain (*Homarus americanus*) et

were studied to determine their suitability as effective detection indicators for radioactive environmental contamination. Prepared samples were irradiated to doses of 3, 5, 10, and 13 Gy using a Cs-137 gamma irradiator to detect the radiation-induced signal, with OSL dosimeters and alanine used as reference dosimetry. At 34 cm from the source, samples were irradiated at a dose rate of 0.182 Gy/hr. At the target doses, characteristic Mn²⁺ peaks were visible for both samples. However, after isolating for the irradiation peak, no radiation-induced signal was observed in the lobster sample, thereby identifying lobsters to be unsuitable for environmental dosimetry. Snail shells displayed a strong radiation-induced signal at the target doses and will be further investigated for studies on detection limits and sample preparation methods, with various types of gastropod species being considered.

d'escargot d'eau douce (*Pila globosa*) ont été étudiés afin de déterminer leur aptitude comme indicateurs efficaces pour détecter une contamination radioactive de l'environnement. Des échantillons préparés ont été irradiés à des doses de 3, 5, 10 et 13 Gy en utilisant un irradiateur gamma au Cs-137 pour détecter le signal induit par le rayonnement, en utilisant des dosimètres à LOS et l'alanine comme dosimétrie de référence. À 34 cm de la source, les échantillons ont été irradiés à un débit de dose de 0,182 Gy/h. Aux doses cibles, des pics caractéristiques de Mn²⁺ étaient visibles pour les deux échantillons. Toutefois, après avoir retiré le pic de l'irradiation, aucun signal induit par le rayonnement n'a été observé dans l'échantillon de homard, permettant de conclure que les homards n'étaient pas utilisables pour la dosimétrie environnementale. Les coquilles d'escargots ont présenté un fort signal radio-induit aux doses cibles et des enquêtes supplémentaires sur les limites de détection et les méthodes de préparation des échantillons auront lieu et différents types d'espèces de gastéropodes sont envisagés.

Radiological and nuclear interdiction: A case study from New York City

Andrew Karam
Mirion Technologies

New York City has one of the best radiological interdiction in the US and among the best in the world. The system's success is a combination of heavy investment in various levels of technology, a tiered response system that gives over 4000 police officers the opportunity to participate in interdiction, an outreach program to the city's radioactive materials licensees, and broad participation during high-profile events. At the same time, there were some mistakes that could have been avoided. In this talk we will discuss New York City's rad/nuke interdiction system, how it operates, and what lessons were learned.

Interdiction radiologique et nucléaire : une étude de cas de la ville de New York

Andrew Karam
Mirion Technologies

La ville de New York a l'un des meilleurs programmes d'interdiction de produits radiologiques aux États-Unis et même au monde. Le succès du programme est une combinaison d'investissements importants dans plusieurs niveaux de technologie, d'un système de réponse à plusieurs niveaux permettant à plus de 4 000 policiers d'y participer, d'un programme de sensibilisation pour les titulaires de permis de matériel radioactif et d'une participation importante lors d'événements de grande envergure. Par contre, quelques erreurs pouvant être évitées se sont produites. Durant la présentation, nous discuterons du programme d'interdiction des produits radiologiques/nucléaires de la ville de New York, du fonctionnement du programme et des leçons retenues

Discussion of Priority Topics of Radiation Safety Research using the Framework of the New Established Platform "Umbrella" in Japan

Isao Kawaguchi
Center for Radiation Protection Knowledge, NIRS, QST

In 2017, the Nuclear Regulation Authority (NRA) in Japan launched a newly Radiation Safety Research Promotion Fund. Under this new initiative, the NRA designates some priority research area and issued a call for project proposals. "Umbrella" is a newly established platform for the field of radiation protection with the support of the NRA. Its name alludes to the relevant academic societies and networks joining together as if gathering under an umbrella. "Umbrella" is also the popular name of an NRA-commissioned project involving the National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST), Japan Atomic Energy Agency (JAEA), and Nuclear Safety Research Association (NSRA).

Discussion sur les thèmes prioritaires de la recherche en radioprotection à l'aide du cadre de la nouvelle plateforme « Umbrella » établie au Japon

Isao Kawaguchi
Center for Radiation Protection Knowledge, NIRS, QST

En 2017, la Commission de réglementation de l'énergie nucléaire (*Nuclear Regulation Authority, NRA*) du Japon a lancé un nouveau fonds de promotion de la recherche sur la radioprotection. Dans le cadre de cette nouvelle initiative, la NRA désigne certains domaines de recherche prioritaire et lance un appel aux propositions de projets. « Umbrella » est une plateforme dans le domaine de la radioprotection nouvellement créée avec le soutien de la NRA. Son nom fait allusion aux sociétés et réseaux universitaires concernés qui se réunissent comme s'ils étaient regroupés sous un même toit. « Umbrella » est également le nom populaire d'un projet autorisé par la NRA impliquant la *National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)*, l'Agence japonaise de l'énergie

The Radiation Protection Academy is a network of academic societies involved in radiation protection within “Umbrella”, and comprises the Japan Health Physics Society, the Japanese Society of Radiation Safety Management, the Japanese Radiation Research Society and the Japanese Association for Radiation Accident Disaster Medicine. NRA asked “Umbrella” its opinion on the priority research area for the following year.

Therefore, the Radiation Protection Academy identified 30 prospective areas through an open consensus-building within and between academic societies and exchanges of opinion with policy makers. For sorting and prioritizing 30 priority research areas, research details, background information, expected outcomes and roadmaps for each of the 30 proposals were discussed in the meeting of the Council where representatives from the associated academic societies and networks attended. Some areas may be highly prioritized from the perspective of securing and fostering human resources.

We report progress on the selection of the priority research area and its application into radiation safety regulations as well as investigation on the change of number of the member of four academic societies of the Radiation Protection Academy that were achieved using the framework of the “Umbrella”.

atomique (JAEA) et la *Nuclear Safety Research Association* (NSRA).

La *Radiation Protection Academy* est un réseau de sociétés universitaires impliquées dans la radioprotection au sein de « Umbrella ». Elle est constituée de la *Japan Health Physics Society*, la *Japanese Society of Radiation Safety Management*, la *Japanese Radiation Research Society* et la *Japanese Association for Radiation Accident Disaster Medicine*. La NRA a demandé à « Umbrella » son avis sur le domaine de recherche prioritaire pour l’année suivante.

Par conséquent, la *Radiation Protection Academy* a identifié trente domaines potentiels grâce à un processus de création de consensus ouvert au sein des sociétés universitaires et entre elles, ainsi qu’à des échanges d’opinions avec les décideurs politiques. Pour trier et prioriser trente domaines de recherche prioritaires, les détails de la recherche, les informations de base, les résultats attendus et les feuilles de route pour chacune des trente propositions ont été discutés lors de la réunion du Conseil à laquelle ont assisté des représentants des sociétés universitaires et des réseaux associés. Certains domaines peuvent être hautement prioritaires du point de vue de la sécurisation et de la valorisation des ressources humaines.

Nous rendons compte des progrès accomplis dans la sélection du domaine de recherche prioritaire et de son application dans la réglementation en matière de radioprotection, ainsi que de l’enquête sur le changement du nombre de membres du groupe de quatre sociétés académiques de la *Radiation Protection Academy* réalisées dans le cadre de la plateforme « Umbrella »

Improvement of the process of determining trace elements by using Indium in the IVNAA normalization process at McMaster's Tandetron Accelerator

Navideh Lahroodi
McMaster University

In order to measure the concentration of trace elements using in vivo neutron activation analysis (IVNAA), the ratio of the element to calcium needs to be determined. Ideally, the normalization permits a constant ratio regardless of the variations in the neutron flux. However; fluctuation in calcium concentration of a patient throughout monitoring would affect the reproducibility and normalization of the trace elements to calcium. To improve the IVNAA normalization process at McMaster 7Li(p,n) neutron facility, a small piece of indium foil was placed on a bottle of calcium and was irradiated using proton energy of 2.3 MeV. A regular NaI and 4π NaI scintillation detectors were employed to measure the In/Ca ratio in three experiments. In the experiments, the average gross count for indium photopeak at 417 keV was 1.63E06 leading to an error of less than 0.08% which is quite low. The fluence map of three dominant peaks of ^{116m}Indium distributed with the same trend and represent an acceptable homogeneity with ±8.7% uncertainty. Thus, if an Indium piece is taped on the patient’s palm and irradiated, due to low required counts (10,000 with 1% uncertainty) and a short time of irradiation (45s), the patient

Amélioration du processus de détermination des oligo-éléments en utilisant de l'indium dans le processus de normalisation de l'AANIV à l'accélérateur Tandetron de McMaster

Navideh Lahroodi
Université McMaster

Pour être en mesure de déterminer la concentration de trace d’éléments en utilisant l’analyse par activation neutronique in vivo (AANIV), il faut déterminer le ratio de l’élément en comparaison au calcium. Idéalement, la normalisation permet d’obtenir un ratio constant indépendamment des variations de flux neutronique. Cependant, les fluctuations dans la concentration de calcium d’un patient, pendant le monitoring, affectent la reproductibilité et la normalisation des traces d’éléments par rapport au calcium. Afin d’améliorer le processus de normalisation de l’AANIV à l’installation neutronique 7Li(p,n) de McMaster, un petit morceau de feuille d’indium a été placé sur une bouteille de calcium et a été irradié en utilisant une énergie protonique de 2,3 MeV. Des détecteurs à scintillation régulier NaI et 4π NaI ont été utilisés afin de mesurer le ratio In/Ca dans trois expériences. Dans ces expériences, la moyenne des comptes bruts pour les pics photoélectriques de l’indium à 417 keV étaient de 1,63E06 entraînant une erreur de moins de 0,08%, ce qui est très faible. La cartographie de la fluence des trois pics dominants de

dose is very low. Also, pile up of activity for the peak of indium (^{114m}In), a half-life of 50d, at 190 keV is not harmful. The relative standard deviation of In/Ca was found to be 3.9% which is lower than relative standard deviations of In, 6.34% and Ca, 10.29%. Therefore, the lower value of In/Ca ratio can be considered helpful in improving the normalization process and as a mean of standardization. Additionally, it can be considered as an additional marker and is safer when studying a group of people.

l'indium 116m est distribuée avec les mêmes tendances et représente une homogénéité acceptable avec $\pm 8,7\%$ d'incertitude. Par conséquent, si un morceau d'indium est placé sur la paume d'un patient et est irradié, en raison du faible niveau de comptes requis (10 000 avec 1 % d'incertitude) et du court temps d'irradiation (45 s), la dose au patient sera très faible. De plus, l'activité accumulée pour le pic d'indium 114m, une demi-vie de 50 jours, à 190 keV n'est pas nocive. L'écart-type relatif du ratio In/Ca a été évalué à 3,9 %, ce qui est inférieur à l'écart-type de 6,34 % de l'indium, et de 10,29 % du calcium. Conséquemment, la plus faible valeur de ratio In/Ca peut être considérée comme utile dans l'amélioration du processus de normalisation et un moyen de normalisation. De plus, ce peut être considéré comme un marqueur supplémentaire et c'est plus sécuritaire lorsque l'étude porte sur un groupe de personnes.

Development of an Adverse Outcome Pathway Relevant to Uranium Induced Kidney Toxicity

Fatemeh Nabavi
Radiation Protection Bureau

An adverse outcome pathway (AOP) is an analytical construct that describes a sequential chain of causally linked events at different levels of biological organization that leads to adverse health effects. The Organisation for Economic Co-operation and Development has adopted AOPs as the central element of a toxicological knowledge framework to help support chemical risk assessment. There has also been a growing interest among the radiation community to better understand the role of the AOP framework in radiation protection. Recently our group has developed a radiation relevant AOP corresponding to lung cancer associated with exposure to radon gas. This presentation will describe our continued efforts in supporting the framework through the development of an AOP relevant to uranium induced kidney toxicity.

Available studies on kidney toxicity indicate that uranium shares some biological key events with other stressors, such as lead, cadmium, mercury, arsenic, chromium and nickel. An early key event common to all of these stressors is oxidative stress due to increased production and/or diminished elimination of reactive oxygen species (ROS). Besides the chemical mode of ROS production, in the case of uranium, free radicals generated by the alpha particles can also contribute to overstimulation of ROS. Some of the subsequent major biological key events causally linked to oxidative stress, as supported by the published scientific literature, are increased mitochondrial dysfunction, increased apoptosis, increased cytotoxicity of the renal tubular cells and finally occurrence of kidney toxicity.

Due to potential occupational exposures in a uranium-based nuclear fuel cycle, environmental exposure from mining and other industrial activities and chronic exposure through drinking water, especially in communities served by underground well-water, an AOP relevant to uranium induced kidney toxicity will be very useful to the risk assessors and regulators in both radiological and chemical communities.

Développement d'effets indésirables correspondants à la toxicité rénale induite par l'uranium

Fatemeh Nabavi
Bureau de la radioprotection

Une voie d'évolution indésirable (*adverse outcome pathway*, AOP) est un modèle analytique qui décrit une chaîne séquentielle d'événements liés par leurs causes à différents niveaux d'organisation biologique menant à des effets indésirables sur la santé. L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques a adopté l'AOP comme élément central d'un cadre de connaissances en toxicologie destiné à faciliter l'évaluation des risques chimiques. La communauté concernée par les rayonnements souhaite également de plus en plus à mieux comprendre le rôle du cadre AOP en radioprotection. Notre groupe a récemment mis au point un AOP pour les rayonnements correspondant au cancer des poumons associé à l'exposition au radon. Cette présentation décrira nos efforts continus pour soutenir le cadre de travail en mettant au point un AOP pour la toxicité rénale induite par l'uranium.

Les études disponibles sur la toxicité pour les reins indiquent que l'uranium partage certains événements clés biologiques avec d'autres facteurs de stress, tels que le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic, le chrome et le nickel. Un événement clé précoce commun à tous ces facteurs de stress est le stress oxydatif dû à une production accrue ou à une diminution de l'élimination de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) ou les deux. Outre le mode chimique de production des DRO, dans le cas de l'uranium, les radicaux libres générés par les particules alpha peuvent également contribuer à une surstimulation des DRO. Certains des événements clés biologiques ultérieurs liés au stress oxydatif, comme le démontre la littérature scientifique publiée, sont une augmentation du dysfonctionnement mitochondrial, une apoptose accrue, une cytotoxicité accrue des cellules tubulaires rénales et enfin une toxicité rénale.

En raison d'expositions professionnelles potentielles dans un cycle de combustible nucléaire à base d'uranium, d'exposition environnementale liée à l'exploitation minière et à d'autres

activités industrielles et d'exposition chronique par le biais d'eau potable, en particulier dans les communautés desservies par l'eau de puits souterraine, un AOP relatif à la toxicité rénale induite par l'uranium sera très utile aux évaluateurs des risques et aux organismes de réglementation des communautés radiologiques et chimiques.

Exploring the adverse outcome pathway framework in radiation risk assessment: A case example of direct deposition of energy-induce lung carcinogenesis

Zakaria Said
Health Canada

Despite its widespread recognition in chemical toxicology, the adverse outcome pathway (AOP) framework has not been fully explored in the radiation field to guide relevant research and subsequent risk assessment. Development of a radiation relevant AOP on Lung Cancer is described here. By developing this AOP, we will support the necessary efforts highlighted by national and international agencies to consolidate and enhance the knowledge in understanding the mechanisms of low-dose radiation exposures from the cellular to organ levels within the system. Lung cancer is a major public health problem worldwide, causing death of an estimated 1.5 million people annually; it imposes a major health-care burden. This AOP defines a classic targeted response to a radiation insult. The molecular initiating event (MIE) is the direct deposition of ionizing energy in the cell. Energy deposited onto a cell can lead to multiple ionization events to targets such as DNA. This energy will break DNA double strands (KE1). DNA double strand breaks (DSBs) are highly detrimental to the genome and can lead to genomic instability. A cell will initiate repair of this damage by the activation of DSB repair machinery. In higher eukaryotes, this occurs through non-homologous end joining (NHEJ) which is a quick and efficient, but error-prone process (KE2). If DSBs occur in regions of the DNA transcribing critical genes, then mutations generated through faulty repairs may alter the function of these genes (KE3) or may cause chromosomal aberrations (KE4), resulting in genomic instability. These events will alter the functions of many gene products and impact cellular pathways such as cell growth, cell cycling, and apoptosis. With these alterations, cell proliferation will be promoted by escaping the regulatory control (KE5) and form hyperplasia in lung epithelial cells, leading eventually to lung cancer induction and metastasis (AO).

Exploration du cadre d'effets indésirables dans l'évaluation du risque de rayonnement : Exemple de dépôt direct d'une carcinogénèse pulmonaire induite par l'énergie

Zakaria Said
Santé Canada

Bien qu'il soit généralement reconnu en toxicologie chimique, le cadre de la voie d'évolution défavorable (*adverse outcome pathway*, AOP) n'a pas été complètement exploré dans le domaine des rayonnements pour orienter les recherches et l'évaluation des risques qui en découle. Le développement d'un AOP applicable aux rayonnements pour le cancer du poumon est décrit ici. En développant cet AOP, nous soutiendrons les efforts nécessaires soulignés par les agences nationales et internationales afin de consolider et améliorer les connaissances en vue de comprendre les mécanismes d'exposition aux faibles doses de rayonnement du niveau cellulaire au niveau des organes dans le système. Le cancer du poumon est un problème au système de santé publique majeur dans le monde entier, causant la mort d'environ 1,5 million de personnes par année, imposant une charge importante de santé. Cet AOP définit une riposte classique ciblée à une insulte par les rayonnements. L'événement moléculaire déclencheur (*molecular initiating event*, MIE) est le dépôt direct d'énergie ionisante dans la cellule. L'énergie déposée dans une cellule peut conduire à plusieurs événements d'ionisation sur des cibles telles que l'ADN. Cette énergie va briser les doubles brins de l'ADN (KE1). Les ruptures des doubles brins de l'ADN (*double strand breaks*, DSB) sont très préjudiciables au génome et peuvent conduire à une instabilité génomique. Une cellule amorcera la réparation de ces dommages par l'activation de systèmes de réparation des DSB. Chez les eucaryotes supérieurs, cela se produit par une ligature d'extrémités non homologues (*non-homologous end joining*, NHEJ), qui est un processus rapide et efficace, mais sujet aux erreurs (KE2). Si des DSB se produisent dans des régions de l'ADN transcrivant des gènes critiques, des mutations générées par des réparations fautives peuvent en altérer la fonction (KE3) ou provoquer des aberrations chromosomiques (KE4), entraînant une instabilité génomique. Ces événements vont modifier les fonctions de plusieurs produits géniques et auront un impact sur les voies cellulaires comme la croissance cellulaire, le cycle cellulaire et l'apoptose. Avec ces altérations, la prolifération cellulaire sera favorisée en échappant au contrôle régulateur (KE5) et formera une hyperplasie dans les cellules épithéliales pulmonaires, conduisant éventuellement à l'induction du cancer du poumon et à des métastases (AO).

Updates on ICRP Activities

Brendan Sheehan

International Commission on Radiological Protection

Over the past 90 years, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) has been guiding radiological protection in the world. The system of radiological protection it has developed provides the basis for national and international regulations, standards and guidance in protecting patients, workers, the public and the environment from ionizing radiation. As an independent Registered Charity, ICRP is established to advance to the public benefits the science of radiological protection. As of February 7, 2019, ICRP has 267 members from 37 countries, serving in the Main Commission, the Scientific Secretariat, the Committees, or the Task Groups.

This paper presents a brief update on ICRP activities, focusing on a). Recent and coming publications; b). Current and coming reports for public consultations; c). New projects; d). ICRPaedia; e). The ICRP Glossary Project; and f). The ICRP Symposia (2019 and 2021).

A software-based method developed and used by CANDU Owners Group members for determination of skin doses

Jason Jiansheng Sun

Canadian Nuclear Laboratories

Skin dosimetry is an essential part of personal radiation monitoring programs at nuclear facilities. The performance of an accurate skin dose assessment is complex, but tools are in consistent development to assist radiation protection specialists with this task. The Canadian Nuclear Laboratories (CNL), supported by the funding from the CANDU Owners Group (COG), has contributed to this field through the development of instruments and software, such as the Hot Particle Dosimetry System (HPDS), and the Activity and Skin Dose Calculator (ASDC). This presentation focuses on the applications of the Windows-based ASDC software. It allows radiation protection staff members to determine the absolute activity of each of the radioactive components on a contaminated surface, based on the known relative activity of each radionuclide, and the field measurement of the overall activity using a GM pancake. If the contamination is on skin, or on clothing adjacent to skin, with or without an air gap, the ASDC can also calculate skin dose rates. This is performed using a database of pre-calculated activity-to-skin dose rate conversion coefficients, with all of the 1200+ radionuclides in the ICRP107 nuclear decay database considered. This software has been used by several COG members in their daily work, and by CNL that contributed a number of scientific publications, including a comparison of different methods used in the skin dose determination as well as the results of blind testing of Canadian nuclear operators. Furthermore, the ASDC is being updated to include the extended sources, in addition to the currently implemented

Mises à jour des activités de la CIPR

Brendan Sheehan

Commission internationale de protection radiologique

Au cours des 90 dernières années, la Commission internationale de protection radiologique a guidé la radioprotection mondiale. Le système de radioprotection qu'elle a mis au point sert de base à la réglementation, aux normes et aux directives nationales et internationales visant à protéger les patients, les travailleurs, le public et l'environnement des rayonnements ionisants. En tant qu'organisme de bienfaisance enregistré indépendant, la CIPR a été créée pour faire progresser la science de la radioprotection au profit du public. Au 7 février 2019, la CIPR comptait 267 membres provenant de 37 pays qui siégeaient au sein de la commission principale, du secrétariat scientifique, des comités ou des groupes de travail.

Ce document présente une brève mise à jour des activités de la CIPR, se concentrant sur a). les publications récentes et à venir; b) les rapports actuels et à venir pour les consultations publiques; c). les nouveaux projets; d). l'ICRPaedia; e) le projet de glossaire de la CIPR; et f). les symposiums de la CIPR (2019 et 2021).

Élaboration et mise en œuvre d'un logiciel pour le calcul des doses à la peau par des membres du CANDU Owners Group

Jason Jiansheng Sun

Laboratoires Nucléaires Canadiens

La dosimétrie de la peau est une composante essentielle de tout programme de radioprotection en place dans les installations nucléaires. La détermination précise de la dose à la peau est un problème complexe. Heureusement, des outils appropriés sont élaborés en continu afin d'aider les professionnels de radioprotection dans leur tâche. Grâce au soutien financier du CANDU Owners Group (COG), les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) ont contribué à ce domaine en participant à la conception d'instruments et de logiciels, tels que le *Hot Particle Dosimetry System* et le logiciel *Activity and Skin Dose Calculator* (ASDC). Cette présentation porte sur les applications du logiciel ASDC fonctionnant sur Windows. Il permet au personnel de la radioprotection de déterminer l'activité absolue de chacune des composantes radioactives sur une surface contaminée en fonction de l'activité relative connue de chaque radionucléide et de la mesure de l'activité globale à l'aide d'un compteur GM. Si la contamination est sur la peau ou sur des vêtements près de la peau, avec ou sans couche d'air, l'ASDC peut également calculer les débits de dose à la peau. Ce calcul est réalisé en utilisant une base de données contenant des coefficients de conversion d'activité au débit de dose à la peau précalculés pour les quelque 1 200 radionucléides présents dans la base de données de décroissance nucléaire ICRP107. Ce logiciel a été utilisé par plusieurs membres du COG dans leur travail quotidien et par les LNC, lesquels ont contribué à plusieurs publications scientifiques, notamment une comparaison de différentes

point sources. A demo copy of the ASDC software is available from the authors.

méthodes utilisées dans la détermination des doses à la peau, ainsi que des résultats de tests à l'aveugle menés par des opérateurs nucléaires canadiens. De plus, l'ASDC a été mis à jour pour inclure les sources étendues en plus des sources ponctuelles déjà présentes. Un exemplaire de démonstration du logiciel ASDC est disponible auprès des auteurs.

Administrative Monetary Penalties in Nuclear Security

Jerlana Vucicevic
University of Ontario Institute of Technology

The paper presents research on the Administrative Monetary Penalties (AMP) in Canada and their usage in nuclear security. An AMP is a penalty imposed by the Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), without court involvement. It is used in the case of a violation of a regulatory requirement. An AMP can be applied against any individual or corporation subject to the Nuclear Safety Control Act, which regulates the development, production and use of nuclear energy and the production, possession and use of nuclear and radioactive material. However, AMPs are not the same as criminal offences. They are civil sanctions which try to secure compliance through the application of monetary penalties for non-compliance with regulatory requirements. The AMP program was introduced in 2013 in Canada and to this date, over 30 penalties have been issued. In all of these cases, the violations were related to the handling and security of radioactive material. Based on these issued penalties, research was conducted to discover the pros and cons of the AMP system and to recommend improvements for future implementation. It also addressed some of the main concerns of the system, such as the economic aspect of the process, and the subjectivity and relative ease of issuing these penalties. In order to improve nuclear security in Canada, the regulator has to be aware of possible violations of the Nuclear Safety Control Act and work on prevention of these violations. Current AMP policy does not motivate individuals or corporations to report violations. The paper gives recommendations on modifications which could be implemented to motivate self-identification of violation, and give significant benefit to the AMP system.

Sanctions administratives pécuniaires en matière de sécurité nucléaire

Jerlana Vucicevic
Institut universitaire de technologie de l'Ontario

La communication présente une recherche sur les sanctions administratives pécuniaires (SAP) au Canada et leur utilisation en matière de sécurité nucléaire. Une SAP est une sanction imposée par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), sans intervention des tribunaux. C'est utilisé à la suite d'une infraction à une exigence réglementaire. Une SAP peut être appliquée à toute personne physique ou morale soumise à la Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires, qui régleme le développement, la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire, ainsi que la production, la possession et l'utilisation de matières nucléaires et radioactives. Cependant, les SAP ne sont pas des infractions pénales. Ce sont des sanctions pénales qui tentent de garantir la conformité aux règles en appliquant des sanctions pécuniaires pour les non-conformités aux exigences réglementaires. Le programme de SAP a été lancé en 2013 au Canada et à ce jour, plus de 30 sanctions ont été imposées. Dans tous ces cas, les infractions étaient reliées à la manipulation et la sûreté des matières radioactives. En se basant sur ces sanctions, une recherche a été menée afin de découvrir les avantages et les inconvénients du système de SAP et pour recommander des améliorations pour une mise en application future. Certaines des principales préoccupations du système, telles que l'aspect économique du processus, la subjectivité et la relative facilité d'imposition de ces pénalités ont également été abordées. Afin d'améliorer la sécurité nucléaire au Canada, l'organisme de réglementation doit être informé des possibles infractions à la Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires et doit œuvrer à la prévention de ces infractions. La politique actuelle sur les SAP ne motive pas les personnes physiques ou morales à signaler les infractions. La communication donne des recommandations sur les modifications qui pourraient être mises en application pour susciter l'auto-identification de l'infraction et donner un avantage significatif au système de SAP.

RADON: Are we at Risk?

Nadia Zaid
The Ottawa Hospital

Radon is a naturally occurring radioactive gas found in soil, water and outdoor. In outdoor air, radon gas is diluted and does not pose a health risk. It is estimated that about 16% of lung cancer deaths in Canada are related to radon exposure. As recommended by Health Canada guideline, we proactively measured the radon level at The Ottawa Hospital to identify areas with radon levels above the Canadian Radon Guideline of

RADON: Sommes-nous à risque?

Nadia Zaid
L'Hôpital d'Ottawa

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle présent dans le sol, l'eau et à l'extérieur. Dans l'air extérieur, le radon est dilué et ne pose aucun risque pour la santé. On estime qu'environ 16 % des décès par cancer du poumon au Canada sont liés à l'exposition au radon. Conformément aux recommandations de la ligne directrice de Santé Canada, nous avons mesuré de manière proactive la concentration de radon à L'Hôpital

200 Bq/m³ and to address the need for remediation, should it be necessary. A short-term test (7 days) was performed to get the baseline level of radon and will be followed by a long-term test (more than 90 days) if levels indicate more than Health Canada Guideline.

About 20% of rooms that have ground contact at different locations listed above have been tested for radon level. Ten percent of radon monitors deployed were paired with duplicate and three percent were paired with blank. The results of quality assurance were satisfactory. The readings from the electret deployed in rooms with more than 4 hours occupancy all indicate a radon level below Health Canada level of 200 Bq/cm³. Conclusions: The E-PERM monitors provide an accurate and reliable means of measuring indoor radon levels. The results obtained show that the level at The Ottawa Hospital, Heart Institute and Loeb building are below the Health Canada recommendation and therefore no further action is required. This was a great opportunity to raise awareness among people we talk to during the deployment of radon monitors.

d'Ottawa afin d'identifier les zones où le niveau de radon était supérieur à la recommandation de 200 Bq/m³ des Lignes directrices canadiennes sur le radon et de répondre aux besoins en assainissement, le cas échéant. Un test à court terme (7 jours) a été réalisé pour obtenir le niveau de référence du radon. Il sera suivi d'un test à long terme (plus de 90 jours) si le niveau est supérieur à celui des Lignes directrices de Santé Canada.

Environ 20 % des pièces en contact avec le sol à différents endroits énumérés ci-dessus ont été testées pour déterminer leur niveau de radon. Dix pour cent des moniteurs de radon déployés ont été pairés avec des doublons et trois pour cent ont été pairés avec des témoins vierges. Les résultats de l'assurance qualité ont été satisfaisants. Les lectures de l'électret déployé dans des pièces avec un taux d'occupation de plus de 4 heures indiquent toutes un niveau de radon inférieur au 200 Bq/cm³ de Santé Canada. Conclusions : Les moniteurs E-PERM fournissent un moyen précis et fiable de mesurer les niveaux de radon à l'intérieur. Les résultats obtenus démontrent que les niveaux à L'Hôpital d'Ottawa, à l'Institut de cardiologie et à l'édifice Loeb sont inférieurs à la recommandation de Santé Canada. Aucune autre action n'est donc requise. Ce fut une excellente occasion de sensibiliser les personnes à qui nous avons parlé lors du déploiement des détecteurs de radon.
