

Mise en œuvre des recommandations du Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium



Janvier 2019

Mise en œuvre des recommandations du Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium

© Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) 2018

N° de cat. CC172-203/2018F-PDF

ISBN 978-0-660-28782-9

La reproduction d'extraits du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition que la source soit indiquée en entier. Toutefois, sa reproduction en tout ou en partie à des fins commerciales ou de redistribution nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Also published in English under the title: Implementation of Recommendations from the Tritium Studies Synthesis Report

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 : cnsc.info.ccsn@canada.ca

Site Web : suretenucleaire.gc.ca

Facebook : facebook.com/Commissioncanadiennedesuretenucleaire

YouTube : youtube.com/ccsnensc

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

LinkedIn: linkedin.com/company/cnsc-ccsn

Historique de publication

Janvier 2019 Version 1.0

Images en couverture

De gauche à droite :

1. Jardin expérimental servant à l'étude « Transport du tritium dans les milieux terrestres ».
2. Adam Leroux de la CCSN prélève un échantillon de sol dans le cadre du Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE).
3. Échantillonneur d'air pour le tritium (aussi appelé barboteur).
4. Katelyn Peters de la CCSN prélève un échantillon d'eau dans le cadre du PISE.

Résumé

En janvier 2007, les commissaires ont demandé au personnel de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) d'entreprendre des recherches sur le tritium dans le but d'améliorer l'information disponible pour guider la surveillance réglementaire des installations de traitement du tritium et des rejets de tritium au Canada. Le personnel de la CCSN a donc lancé le projet d'études sur le tritium en juin 2007 et remis ses conclusions à la Commission en 2010. Certaines activités de suivi ont été recommandées et ont fait l'objet d'un rapport présenté à la Commission en 2013, pendant qu'elles étaient encore en cours. Toutes les activités de suivi sont maintenant terminées et un résumé final des travaux, accompagné de renseignements pertinents sur des recherches stratégiques connexes concernant le tritium, a été présenté à la Commission en novembre 2017. Le présent document est un suivi du *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* de la CCSN et résume les activités entreprises par le personnel qui donnent suite aux recommandations issues du projet.

De façon générale, le projet a atteint ses objectifs, qui étaient de générer des renseignements scientifiques concernant les rejets de tritium et d'améliorer la surveillance réglementaire des installations rejetant du tritium. Selon les recherches déjà présentées à la Commission, et les travaux subséquents entrepris par le personnel de la CCSN, ce dernier en vient à la conclusion que des mesures adéquates ont été prises grâce aux mécanismes de réglementation existants afin d'assurer la protection de la population canadienne contre l'exposition aux rejets de tritium. Le personnel de la CCSN continuera de s'assurer que les derniers développements scientifiques sur le tritium sont pris en compte, le cas échéant, dans la réglementation des installations nucléaires rejetant du tritium.

Table des matières

1.	Introduction	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Les rejets de tritium et leurs conséquences.....	2
2.	Activités de recherche menées pour donner suite aux recommandations du projet	3
2.1	Le tritium dans l'environnement terrestre (recommandation 1).....	4
2.2	Échantillonnage d'air actif et passif pour le tritium (recommandation 2).....	8
2.3	Études sur la toxicité du tritium (recommandation 3)	11
2.4	Contrôle des rejets de tritium dans l'environnement (recommandations 4 et 5).....	13
3.	Autres activités de recherche.....	14
4.	Mesures sur le terrain et analyse en laboratoire du tritium	15
4.1	Capacités d'analyse du laboratoire de la CCSN	15
4.2	Mesures du tritium sur le terrain dans des échantillons environnementaux	18
4.2.1	Données sur le tritium du Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE).....	19
4.2.2	Calcul de la dose au public par des modes d'exposition multiples au tritium à partir des données du PISE	22
5.	Conclusions.....	25
	Annexe A : Résumé des publications de la CCSN sur le tritium	26
	Annexe B : Calcul de la dose de tritium au public à partir des données du PISE.....	28
	Bibliographie.....	31

Mise en œuvre des recommandations du Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium

1. Introduction

1.1 Contexte

En janvier 2007, la Commission a demandé au personnel de la CCSN d'entreprendre des recherches sur le tritium dans le but d'améliorer l'information disponible pour guider la surveillance réglementaire des installations de traitement du tritium et des installations qui rejettent du tritium au Canada. Le personnel de la CCSN a donc lancé le projet d'études sur le tritium en juin 2007. Les résultats du projet ont été décrits dans le *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* [1] et approuvés par la Commission en juin 2010 [2].

La conclusion principale du projet était que des dispositions adéquates ont été prises, au moyen des mécanismes réglementaires existants, pour protéger la santé et la sécurité des Canadiens contre l'exposition au tritium rejeté par les installations nucléaires du Canada. Cependant, certains aspects liés à la protection de l'environnement méritaient d'être approfondis afin de faire de la CCSN un chef de file dans la compréhension scientifique du tritium. Les recommandations devant faire l'objet d'un suivi par le personnel de la CCSN, telles que décrites dans le *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium*, étaient les suivantes :

- poursuivre la recherche sur la variabilité des rapports TLCO/HTO (tritium lié aux composés organiques/eau tritiée) pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et évaluer la sensibilité des doses estimées à des rapports TLCO/HTO élevés dans les aliments
- entreprendre des recherches visant à déterminer quels facteurs doivent être pris en considération afin d'étalonner adéquatement les échantillonneurs d'air actifs et passifs pour le tritium
- mener, au besoin, des études radiobiologiques et dosimétriques supplémentaires, y compris l'examen du facteur de pondération des rayonnements à faible transfert linéaire d'énergie comme celui du tritium
- aborder les questions entourant la protection des eaux souterraines à proximité des installations existantes au niveau politique, en consultation avec les provinces, qui exercent une compétence juridique sur les ressources en eau souterraine
- aborder les questions entourant la protection des eaux souterraines à proximité de toutes les installations nucléaires de catégorie I qui rejettent du tritium dans l'atmosphère

En janvier 2013, le personnel de la CCSN a fait le point avec la Commission sur la mise en œuvre des recommandations issues du projet [3]. Le personnel a alors décrit les travaux réalisés pour donner suite à ces recommandations. Aucune des recommandations formulées dans le *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* n'était achevée à ce moment.

Le présent document fait suite au *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* et résume les activités entreprises par le personnel pour répondre aux recommandations issues du projet. L'information fournie dans le présent document a été présentée à la Commission en novembre 2017 [4].

À la lumière des travaux réalisés dans le cadre du projet d'études sur le tritium, le personnel de la CCSN conclut que des mesures adéquates ont été prises grâce aux mécanismes de réglementation existants afin d'assurer la protection des Canadiens contre l'exposition aux rejets de tritium.

1.2 Les rejets de tritium et leurs conséquences

Le tritium est une forme radioactive de l'hydrogène qui émet une très faible quantité de rayons bêta. Il est présent à l'état naturel ou comme sous-produit des réacteurs nucléaires et des installations de traitement du tritium. Le tritium peut poser un risque pour la santé s'il pénètre dans l'organisme, en grande quantité, par la consommation d'eau potable et d'aliments, par inhalation ou par voie cutanée si la peau y est exposée à forte dose.

Les formes atmosphériques les plus importantes du tritium sont l'hydrogène gazeux tritié (HT) et l'eau tritiée (HTO). Le HT est moins dommageable que le HTO, car il est très peu absorbé par le corps. Le tritium lié à des composés organiques (TLCO) constitue une autre forme importante de tritium observée dans les systèmes biologiques (p. ex. sols, plantes et animaux). Il se forme par l'échange d'hydrogène avec le tritium dans des molécules à base de carbone.

Le TLCO entraîne des conséquences plus élevées sur les doses que le HTO en raison de sa durée de rétention plus longue dans les molécules à base de carbone du corps (soit sa période biologique). Le HTO est éliminé du corps quatre fois plus rapidement que le TLCO. Le HTO a une période biologique de 10 jours alors que celle du TLCO est de 40 jours. Une petite fraction (environ 0,01 %) du HT inhalé est dissous dans les fluides corporels et oxydé en HTO. Sa période biologique est également de 10 jours.

Au Canada, le contrôle des rejets de tritium dans l'environnement revêt une importance particulière. Le tritium est un sous-produit de l'exploitation des réacteurs CANDU (réacteur CANadien à Deutérium-Uranium) et des réacteurs de recherche. Les installations d'extraction du tritium, comme celle de Darlington, récupèrent le tritium produit par les réacteurs. Une partie du tritium récupéré est utilisée dans la fabrication de produits autoluminescents non électriques destinés à l'industrie militaire et à l'aviation. Mis ensemble, ces différents aspects de l'industrie nucléaire canadienne requièrent que la CCSN joue un rôle d'expert dans les domaines de la réglementation du tritium, du comportement du tritium dans l'environnement, et de la radiobiologie et dosimétrie du tritium.

La CCSN réglemente les rejets de tritium dans l'environnement provenant des réacteurs nucléaires et des installations de traitement du tritium et étudie les documents de surveillance produits par les titulaires de permis, conformément à leur permis. La CCSN procède également à une surveillance environnementale indépendante afin de s'assurer que la santé et la sécurité des populations et que l'environnement sont protégés. Le cadre de réglementation de la CCSN fondé sur des données scientifiques est étayé par des travaux de recherche ainsi que de l'orientation et des normes nationales et internationales.

La protection de l'environnement aux installations nucléaires est assurée conformément à la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (LSRN) et à ses règlements d'application pour veiller à ce que les installations nucléaires soient exploitées de façon à protéger la santé et la sécurité des populations et l'environnement. La limite de dose pour les membres du public est fixée à 1 mSv par année. Les doses réelles sont calculées parce qu'elles sont trop faibles pour être mesurées directement. Ces doses calculées reposent principalement sur les concentrations mesurées des activités dans le cadre des programmes de surveillance de l'environnement des titulaires de permis, qui doivent démontrer que leurs rejets ne dépassent pas la limite de dose établie pour le public.

Les doses auxquelles sont exposés les membres du public attribuables aux rejets de tritium générés par les installations nucléaires en activité au Canada sont faibles et bien en deçà des

niveaux connus pour provoquer des effets sur la santé (autour de 100 mSv). Par exemple, au Canada, les doses au public calculées dans le cadre des programmes des titulaires de permis vont de 0,0001 à 0,01 mSv par année, ce qui représente une fraction de la limite de dose établie pour le public de 1 mSv par année.

Les installations nucléaires au Canada doivent démontrer que le biote non humain est protégé des effets des rejets de radionucléides lors de leurs activités normales. Pour respecter cette exigence, une évaluation des risques environnementaux (ERE) est effectuée pour déterminer les risques potentiels pour le biote non humain associés aux rejets de tritium dans l'environnement. Les ERE des installations qui rejettent du tritium ont révélé des risques négligeables pour le biote non humain, puisque les doses calculées étaient bien inférieures aux doses de rayonnement repères pour les récepteurs écologiques. Par conséquent, l'environnement est protégé et l'exposition au tritium dans l'environnement à proximité des installations nucléaires n'entraîne pas d'effets négatifs sur le biote non humain.

2. Activités de recherche menées pour donner suite aux recommandations du projet

Le projet a permis d'établir que certains aspects liés à la protection de l'environnement méritaient d'être approfondis. Par conséquent, le personnel de la CCSN a formulé des recommandations pour améliorer la protection de l'environnement en lien avec le tritium, à l'intérieur du cadre de réglementation actuel. Les recommandations du personnel de la CCSN dégagées dans le cadre du projet étaient les suivantes :

1. Poursuivre la recherche sur la variabilité des rapports TLCO/HTO (tritium lié aux composés organiques/eau tritiée) pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et évaluer la sensibilité des doses estimées à des rapports TLCO/HTO élevés dans les aliments.
2. Entreprendre des recherches visant à déterminer quels facteurs doivent être pris en considération afin d'étalonner adéquatement les échantillonneurs d'air actifs et passifs pour le tritium.
3. Mener, au besoin, des études radiobiologiques et dosimétriques supplémentaires, y compris l'examen du facteur de pondération des rayonnements à faible transfert linéaire d'énergie comme celui du tritium.
4. Aborder les questions entourant la protection des eaux souterraines à proximité des installations existantes au niveau politique, en consultation avec les provinces, qui exercent une compétence juridique sur les ressources en eau souterraine.
5. Aborder les questions entourant la protection des eaux souterraines à proximité de toutes les installations nucléaires de catégorie I qui rejettent du tritium dans l'atmosphère en établissant de nouvelles exigences en matière de conception.

Les sections suivantes décrivent le travail réalisé par le personnel de la CCSN pour donner suite aux recommandations issues du projet. La section 2.1 décrit le travail entrepris pour évaluer la variabilité des rapports TLCO/HTO (recommandation 1). La section 2.2 résume la recherche permettant de dégager les facteurs qui doivent être pris en compte pour étalonner adéquatement les échantillonneurs d'air actifs et passifs pour le tritium (recommandation 2). La section 2.3 décrit les études radiobiologiques et dosimétriques additionnelles auxquelles le personnel a pris part (recommandation 3). La section 2.4 décrit le travail effectué pour aborder les questions entourant la protection des eaux souterraines à proximité des installations nucléaires de catégorie I, nouvelles et existantes (recommandations 4 et 5).

La section 3 décrit d'autres projets de recherche et des initiatives internationales auxquelles le personnel a participé tout au long de la durée du projet. La section 4 décrit les capacités accrues

du laboratoire de la CCSN en ce qui a trait à l'analyse du tritium et la façon dont ces améliorations ont permis de mener plusieurs projets d'analyse. Le rapport se termine par un calcul de la dose à laquelle le public est exposé. Les résultats de ce calcul confirment que les doses attribuables à une exposition au tritium sont faibles et inférieures aux niveaux connus pour provoquer des effets sur la santé.

Les résultats du projet, incluant le travail additionnel décrit aux présentes, ont été résumés dans le *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* [5] et dans sept documents d'information [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. En outre, le personnel a publié quatre rapports scientifiques revus par un comité de lecture et un chapitre dans une encyclopédie sur différents aspects du projet d'études sur le tritium [13, 14, 15, 16, 17].

L'annexe A propose un résumé des documents d'information, des présentations lors de conférences et des rapports de recherche produits dans le cadre du projet.

2.1 Le tritium dans l'environnement terrestre (recommandation 1)

Résumé

Une recherche de suivi a été menée et publiée dans plusieurs revues scientifiques sur les facteurs qui mènent à la variabilité des rapports TLCO/HTO dans les sols et la végétation. De nouveaux travaux expérimentaux ont confirmé que des rapports TLCO/HTO plus élevés que prévu peuvent survenir dans certaines conditions (p. ex. lorsque l'absorption de tritium par la racine ne constitue pas la voie dominante). Du point de vue de la réglementation, le recours à des rapports TLCO/HTO plus élevés n'entraîne qu'un effet absolu restreint sur les doses auxquelles sont exposés les membres du public en ce qui concerne les installations en exploitation. Le personnel de la CCSN continuera de suivre de près la recherche sur le tritium en participant à des groupes de travail internationaux et en poursuivant le dialogue avec les collègues qui mènent ces recherches.

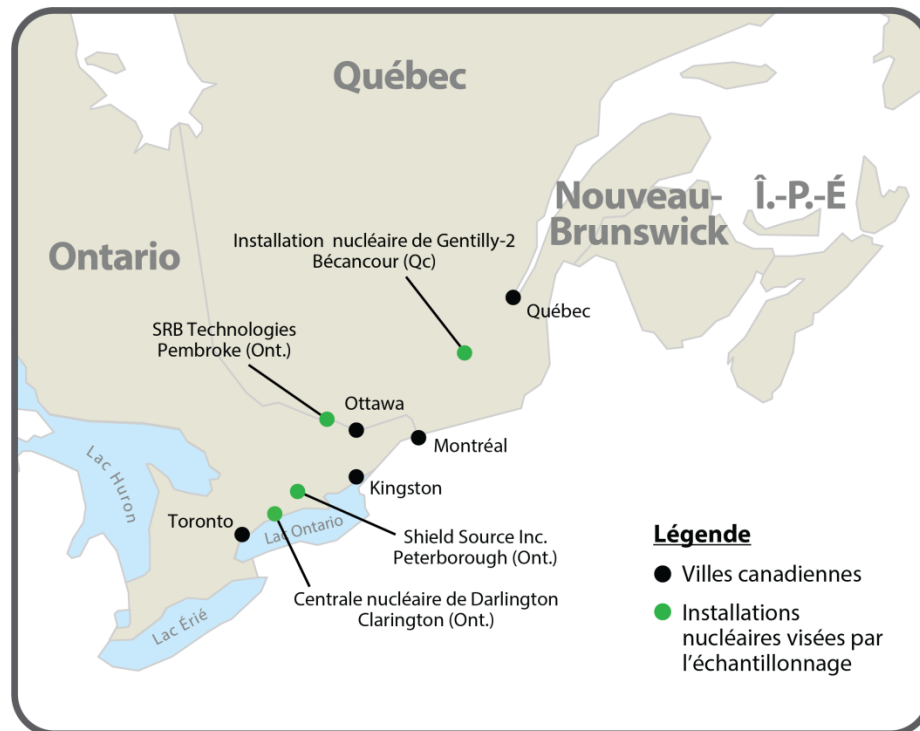
Les travaux décrits dans cette section ont été réalisés pour donner suite à la recommandation du *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* concernant la variabilité des rapports TLCO/HTO dans des échantillons environnementaux.

Le TLCO dans les échantillons environnementaux est souvent estimé plutôt que mesuré en raison de la complexité de son analyse. La norme N288.1-14 du Groupe CSA (Association canadienne de normalisation) intitulée *Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires* recommande un rapport TLCO/HTO de 0,7 près des sources de rejets atmosphériques [18]. Ce rapport suppose que le TLCO est principalement formé à partir du HTO dans des conditions où le tritium est rejeté sur une base constante et repose sur l'atteinte d'un équilibre rapide de l'activité propre au tritium dans différents systèmes biologiques. Cependant, la recherche exposée dans la littérature [19, 20, 21, 22, 23, 24] a fait état de rapports qui sont parfois plus de 10 fois supérieurs au rapport énoncé dans la norme N288.1-14.

Le personnel de la CCSN a donc enquêté sur les causes possibles des rapports TLCO/HTO élevés en finançant des recherches qui visaient à mesurer le tritium total (HTO et TLCO) dans les échantillons environnementaux. En tout, deux projets de recherche financés par la CCSN ont été réalisés par Ian Clark de l'Université d'Ottawa pour produire une description plus exhaustive du tritium dans l'environnement terrestre à proximité des installations nucléaires canadiennes.

La première étude intitulée *Le devenir environnemental du tritium dans le sol et la végétation* mesure l'activité volumique du HTO et du TLCO dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour animaux et les produits d'origine animale à proximité de quatre installations rejetant du tritium au cours des saisons de croissance de 2008 et de 2009 [12]. La recherche a été effectuée près de deux centrales nucléaires et de deux installations de traitement du tritium (voir figure 1).

Figure 1 : Emplacement des quatre installations nucléaires visées dans l'étude *Le devenir environnemental du tritium dans le sol et la végétation* [25]



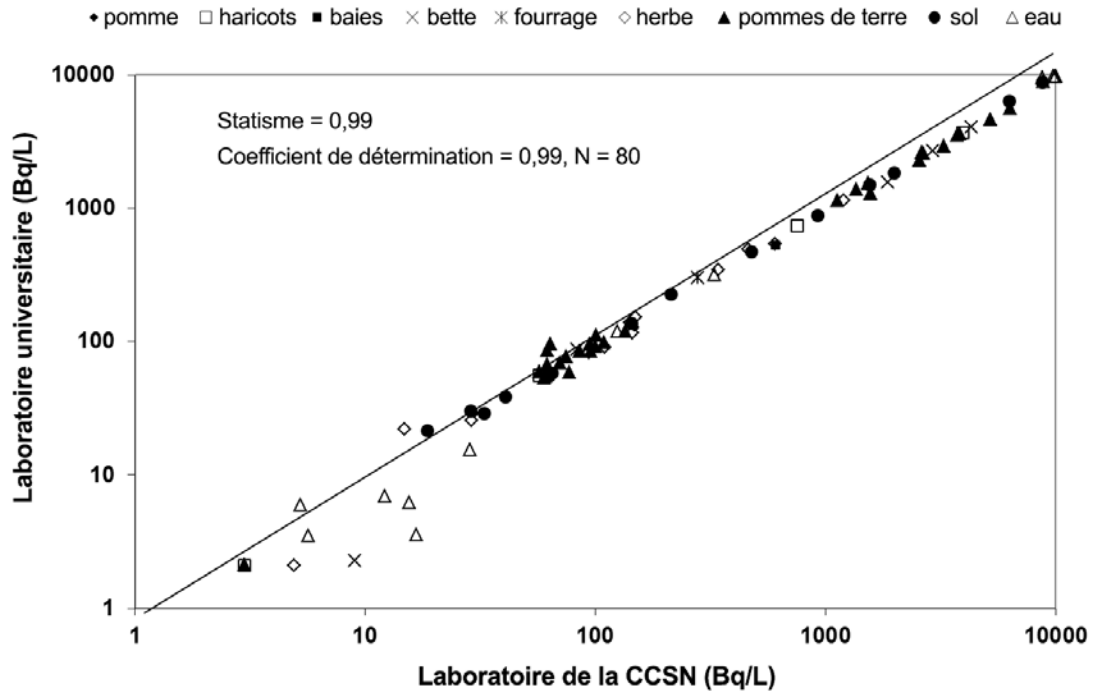
Remarque : Shield Source Incorporated n'est plus en opération et l'installation ne fait plus l'objet d'une surveillance réglementaire.

Dans le cas de toutes les installations, l'activité attribuable au HTO mesurée dans les échantillons environnementaux diminuait avec la distance et retombait presque aux niveaux naturels à quelques kilomètres de distance. La relation entre l'activité attribuable au TLCO et la distance était moins prononcée. Tel que souligné dans la littérature récente [11, 12], les rapports TLCO/HTO étaient généralement supérieurs à 1 près de toutes les installations. Les rapports TLCO/HTO moyens dans les échantillons de végétation allaient de $1,0 \pm 1,7$ à $2,2 \pm 2,6$. Les résultats de cette étude ont été publiés dans le *Journal of Environmental Radioactivity* [15].

En 2012, la CCSN a financé un projet de suivi et y a participé activement. L'objectif de ce projet était de cibler plus précisément les causes possibles des rapports TLCO/HTO plus élevés que prévu au moyen d'une approche expérimentale faisant appel à une surveillance accrue de l'environnement. L'objectif de l'étude *Transport du tritium dans les milieux terrestres* était de définir les conditions sous-jacentes qui ont mené aux rapports TLCO/HTO observés autour d'une installation de traitement du tritium qui avait déjà fait l'objet d'analyses (soit SRB Technologies) [15]. Le second objectif du projet de suivi était d'améliorer les capacités du laboratoire de la CCSN en procédant à une analyse parallèle du tritium (soit le HTO et le TLCO) au moyen d'échantillons fragmentés et des résultats de l'Université d'Ottawa, et de fournir une assurance de

la qualité. La figure 2 illustre la comparaison des résultats de HTO dans les échantillons environnementaux analysés par l'Université d'Ottawa et le laboratoire de la CCSN. Elle montre que les résultats des échantillons fragmentés analysés dans les deux laboratoires concordent.

Figure 2 : Résultats de la comparaison entre laboratoires menée dans le cadre du projet de recherche de 2012 [25]



Ce projet de suivi a été réalisé pendant la saison de croissance 2012 près de SRB Technologies (voir figure 3). Les produits maraîchers et l'herbe étaient naturellement exposés aux rejets de l'installation. La végétation en croissance était irriguée au moyen de trois systèmes d'alimentation en eau (pluie naturelle, eau du robinet à faible teneur en tritium et eau de puits à forte teneur en tritium). L'utilisation de ces trois systèmes d'alimentation en eau avait pour but de déterminer l'influence de différentes sources de tritium sur les processus environnementaux du milieu terrestre.

Figure 3 : Jardin expérimental dans le cadre de l'étude *Transport du tritium dans les milieux terrestres*



Le projet de suivi a confirmé les rapports TLCO/HTO élevés observés par le personnel de la CCSN dans le cadre de recherches antérieures et a fourni plus de détails sur un site en particulier [11, 12, 15]. Les résultats sont conformes aux voies et processus d'exposition types relatifs aux rejets provenant de cette installation, tout au long de la saison de croissance. Plus particulièrement, les plantes irriguées avec de l'eau de puits à forte teneur en tritium (où le tritium est essentiellement absorbé par les racines) présentaient des rapports TLCO/HTO près de la valeur attendue de 1. Également, toutes les plantes exposées à de faibles quantités, mais variables, de tritium dans l'eau de pluie ou du robinet avaient des rapports TLCO/HTO légèrement supérieurs à 1. En comparaison, celles exposées à de faibles quantités de tritium dans l'air avaient des rapports TLCO/HTO près de 10, confirmant les données d'études antérieures. Les résultats ont été présentés par le personnel de la CCSN à la 3^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement et publiés dans le *Journal of Environmental Radioactivity* [16, 25].

Les résultats de ces deux études étayaient le bassin maintenant important de données indépendantes qui montrent que les rapports TLCO/HTO dans les plantes et le sol sont souvent supérieurs à ceux utilisés dans les modèles actuels de transferts environnementaux. Les modèles simples qui ne tiennent pas compte des processus de transferts environnementaux moins étudiés, ou du déséquilibre des opérations actuelles (comme ceux dont il est question dans la norme N288.1-14 du Groupe CSA) ne permettent pas d'estimer adéquatement le TLCO dans différents milieux environnementaux. Les rapports TLCO/HTO continuent donc d'être étudiés dans des milieux environnementaux et des emplacements différents par de nombreux groupes scientifiques. Le personnel de la CCSN a récemment contribué à ce travail en revisitant les mécanismes par lesquels les gaz tritiés peuvent contribuer à des teneurs en HTO et TLCO plus élevées. Ces travaux récents ont été présentés lors de la 4^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement [26].

D'autres études sur les facteurs qui influencent les rapports TLCO/HTO devront être réalisées pour atteindre un consensus scientifique, avant que les modèles de transfert ne puissent être révisés. La norme N288.1-14 est revue tous les cinq ans et mise à jour, au besoin. Le personnel de la CCSN continuera de collaborer aux projets de recherche sur le tritium et de s'assurer que les questions liées au TLCO sont traitées de manière adéquate lors des révisions futures de la norme.

Dans la recherche du personnel de la CCSN, la dose que reçoit un membre du public suite à la consommation d'aliments en fonction du rapport tiré de la norme N288.1-14 a été comparée à la dose établie à partir d'un rapport supérieur à 10 [12]. La dose reposant sur un rapport TLCO/HTO plus élevé était environ cinq fois supérieure en termes relatifs. Cependant, dans les deux cas, la dose ingérée en résultant ne représentait qu'une petite fraction de la limite de dose établie pour le public et était inférieure aux doses connues pour provoquer des effets sur la santé. Du point de vue de la réglementation, le recours à des rapports TLCO/HTO plus élevés n'entraîne qu'un effet absolu restreint sur la conséquence de dose pour les installations en exploitation. En effet, la dose ingérée de tritium ne représente qu'une petite fraction de la dose totale d'une personne. Pour le moment, les titulaires de permis de la CCSN ne sont pas tenus de réviser la façon dont les concentrations de TLCO dans les échantillons environnementaux sont estimées aux fins de la réglementation (les titulaires de permis peuvent continuer de mesurer le TLCO dans le milieu environnemental et établir une estimation du TLCO aux fins d'analyse de dose au moyen de la norme N288.1-14).

État de la recommandation 1

Le personnel de la CCSN a pris part à des recherches pour déterminer les facteurs qui pourraient contribuer à des rapports TLCO/HTO élevés dans l'environnement. Cette recherche visait à répondre à l'intention de la recommandation issue du *Rapport de synthèse sur le projet d'études sur le tritium* concernant les mécanismes sous-jacents qui mènent à la variabilité des rapports TLCO/HTO dans les milieux environnementaux. Le personnel de la CCSN a donné suite à cette recommandation en effectuant les recherches résumées dans ce document et est d'avis que le but de cette recommandation a été atteint. Le personnel de la CCSN continuera de jouer un rôle actif dans la recherche sur le tritium, notamment en participant à des groupes de travail internationaux et en poursuivant le dialogue avec des collègues qui mènent des recherches sur le tritium.

2.2 Échantillonnage d'air actif et passif pour le tritium (recommandation 2)

Résumé

Des recherches de suivi ont été réalisées sur les incertitudes entourant les mesures du tritium dans l'air à partir d'appareils d'échantillonnage actifs et passifs. Ces incertitudes ont maintenant été raisonnablement quantifiées et aucune autre recherche sur le sujet n'est prévue. Du point de vue de la réglementation, les personnes qui résident autour des centrales nucléaires sont protégées puisque la dose à laquelle est exposé le public est estimée à partir de données faisant appel aux deux méthodes et ne représente qu'une fraction de la limite de dose établie pour la population.

Dans le cadre du projet d'études sur le tritium, on a constaté un manque de précision quant à l'activité volumique du tritium dans l'air aux fins de surveillance de la conformité [5]. Une recommandation a été formulée pour examiner les facteurs à réunir en vue d'obtenir un étalonnage adéquat des échantillonneurs d'air actifs et passifs. Le Groupe des propriétaires de CANDU (COG) s'est également penché sur cette question [27].

Échantillonnage d'air passif

Le tritium dans l'air peut être mesuré au moyen de techniques d'échantillonnage d'air actives et passives. Les échantillonneurs d'air passifs comprennent un absorbant liquide, soit de l'eau ou un mélange d'eau et d'éthylène glycol, dans une fiole ou un contenant d'échantillonnage muni d'un couvercle (voir figure 4). Le couvercle est troué pour permettre au HTO de pénétrer dans la fiole. L'absorbant liquide est exposé à l'air pendant une durée déterminée et ensuite analysé par comptage par scintillation en milieu liquide. Les échantillonneurs passifs sont faciles à installer et ne requièrent pas de pompes mécaniques ou de source d'alimentation. Cependant, ils sont moins sensibles, moins exacts et accusent une plus grande variabilité par rapport aux échantillonneurs actifs. Le niveau d'incertitude peut atteindre 50 % pour des échantillonneurs se trouvant sur un même site, surtout lorsque les concentrations de tritium dans l'air sont faibles [27].

Figure 4 : Échantillonneur passif pour le tritium dans l'air sur le site d'une installation de traitement du tritium [28]



Échantillonnage d'air actif

L'échantillonnage d'air actif consiste à faire passer de l'air par un absorbant liquide ou à travers un tamis moléculaire au moyen d'une pompe mécanique pendant une durée d'exposition donnée (voir figure 5). Dans le cas de l'absorbant liquide, un échantillon représentatif est prélevé et analysé au moyen du comptage par scintillation en milieu liquide. Pour les échantillonneurs dotés de tamis moléculaires, le HTO est désorbé du tamis, recueilli et analysé au moyen du comptage par scintillation en milieu liquide. Les échantillonneurs actifs comportent quelques limites, notamment le nombre de paramètres environnementaux (p. ex. température, humidité relative, débit, etc.) qui doivent être surveillés pendant l'échantillonnage. La mesure de chacun de ces paramètres entraîne un certain niveau d'incertitude, dont l'ampleur est difficile à estimer pour la concentration mesurée.

Figure 5 : Un échantillonneur d'air actif pour le tritium doté de tamis moléculaires des Laboratoires Nucléaires Canadiens (anciennement Énergie atomique du Canada limitée) [29]



Surveillance du tritium dans l'air autour des installations nucléaires

L'échantillonnage actif au moyen de tamis moléculaires est utilisé dans toutes les centrales nucléaires canadiennes pour mesurer le HTO dans l'air. L'échantillonnage actif faisant appel à un barboteur (installations de recherche) ou à l'échantillonnage passif (installations de traitement du tritium) est employé dans les autres installations rejetant du tritium.

Santé Canada et le ministère du Travail de l'Ontario ont recours à un échantillonnage actif avec tamis moléculaires dans le but de mesurer le tritium dans l'air à proximité des centrales nucléaires. Santé Canada, qui fait partie du Réseau canadien de surveillance radiologique, mesure le tritium dans l'air autour de la centrale de Point Lepreau et de l'installation nucléaire de Gentilly-2. Le ministère du Travail de l'Ontario mesure le tritium dans l'air autour des centrales nucléaires de l'Ontario. Ces stations de surveillance additionnelles, en plus des échantillonnages d'air réalisés par le personnel de la CCSN dans le cadre de son Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE), permettent d'effectuer des vérifications additionnelles des concentrations de tritium dans l'air autour des installations nucléaires. Les données ainsi générées servent à vérifier la conformité des données fournies par les titulaires de permis dans le cadre de leurs programmes de surveillance environnementale.

Comparaison des échantillonneurs actifs et passifs

La comparaison des échantillonneurs d'air actifs et passifs pour le tritium était un des objectifs du projet de recherche final *Transport du tritium dans les milieux terrestres*. L'Université d'Ottawa a créé un échantillonneur d'air actif qui a été validé au moyen d'un échantillonneur d'air actif pour le tritium d'EACL (voir figure 5). Les données sur le tritium dans l'air recueillies sur le terrain dans le cadre de ce projet convenaient à un contexte de recherche et ont été publiées dans des revues; elles ont également servi dans le cadre de travaux collaboratifs menés avec des collègues de l'Agence de l'énergie atomique du Japon et des Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) (voir section 3).

État de la recommandation 2

La dose pour le public estimée à partir des données obtenues grâce à des échantillonneurs actifs ou passifs est faible et bien inférieure à la limite de dose établie pour la population. Du point de vue de la réglementation, les personnes résidant autour des installations nucléaires sont protégées puisque la dose par inhalation pour le public estimée au moyen des données découlant de chaque méthode ne représente qu'une petite fraction de la limite de dose établie pour la population. En outre, les programmes de surveillance des effluents et de l'environnement des titulaires de permis, qui sont examinés par le personnel de la CCSN, répondent aux orientations et normes appropriées et leurs résultats sont vérifiés de façon indépendante dans le cadre du PISE de la CCSN et d'autres programmes de surveillance provinciaux et fédéraux. Le personnel de la CCSN est satisfait de la capacité des titulaires de permis d'étalonner leurs échantillonneurs actifs ou passifs et ces derniers sont libres d'utiliser l'une ou l'autre de ces deux méthodes. Le personnel de la CCSN est d'avis que le but de la recommandation a été atteint et il continuera de se tenir informé des derniers développements concernant les techniques d'échantillonnage d'air pour le tritium.

2.3 Études sur la toxicité du tritium (recommandation 3)

Résumé

Des recherches de suivi sur la radiobiologie et la dosimétrie du tritium ont été lancées en partenariat avec les LNC, l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) et le COG. Ce travail est en voie d'être publié et propose de nouvelles perspectives sur des enjeux qui revêtent un intérêt tant sur le plan scientifique que réglementaire.

Le personnel de la CCSN a effectué une évaluation et un examen indépendants et exhaustifs des principes et des pratiques de radioprotection applicables au tritium dans le cadre du projet [10]. Les résultats ont été présentés à la Commission en juin 2010 dans le document CMD 10-M38 [1]. À l'issue de ces travaux, le personnel de la CCSN a recommandé que des études additionnelles soient envisagées sur la radiobiologie et la dosimétrie, incluant un examen du facteur de pondération radiologique pour les rayonnements à faible transfert linéaire d'énergie (TLE), comme le tritium, pour étoffer le bassin de connaissances sur le tritium.

En réponse aux recommandations du personnel de la CCSN, le projet Études sur la toxicité du tritium : Effets de faibles doses de tritium et de rayons gamma (projet sur la toxicité du tritium) a été créé et mené par les LNC [30]. Le projet repose sur une collaboration pluriannuelle entre les LNC (EACL au début du projet), le COG, l'IRSN et la CCSN. La CCSN a fourni le financement et contribué à la conception du projet et à l'analyse des données pour certaines tâches.

L'étude avait principalement pour but d'effectuer une analyse approfondie de la toxicité du tritium en déterminant la toxicité relative des rayons bêta et gamma de faible énergie. Les objectifs suivants ont fait l'objet de tâches précises :

1. Mesurer le profil d'absorption, de rétention et d'élimination du HTO.
2. Mesurer les profils d'absorption, de rétention et d'élimination du TLCO, et comparer les valeurs du HTO et du TLCO à diverses concentrations chez les souris afin d'étayer le calcul de la dose totale au corps entier et du débit de dose chez la souris.
3. Déterminer si l'exposition à de faibles doses de tritium (HTO et TLCO) et de rayons gamma entraîne des effets non cancérogènes sur la santé.

4. Déterminer si l'exposition à de faibles débits de dose de rayons gamma et de tritium induit des effets cytotoxiques dans les tissus de la souris.
5. Déterminer si l'exposition à de faibles débits de dose de rayons gamma et de tritium induit des inversions d'ADN (soit un type de dégradation spécifique de l'ADN) chez la souris.
6. Comparer la toxicité de doses également administrées de tritium sous forme de HTO et de TLCO à des doses externes de rayonnement gamma en évaluant l'incidence de tumeurs et la latence.

Les résultats des tâches 1, 2 et 4 ont été publiés par les LNC et l'IRSN dans des revues à comité de lecture [31, 32]. Un sommaire coécrit par le personnel de la CCSN soulignant les résultats des tâches 1 à 3 a été approuvé afin d'être publié dans une revue à comité de lecture. D'autres articles des LNC sont prévus.

Les tâches 1 et 2 montrent que les résultats de ces travaux ne sont pas conformes au modèle biocinétique de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) [33, 34]. Les modèles établis par la CIPR [35] prédisent que le HTO se comporte comme l'eau, avec une distribution uniforme immédiate dans les tissus corporels. D'un autre côté, la CIPR prédit également que le TLCO est distribué de façon hétérogène dans les tissus corporels, avec une période de rétention plus longue. Les résultats des LNC contredisent le modèle de la CIPR. Le HTO et le TLCO affichent des modèles d'absorption, de rétention et d'élimination similaires (le TLCO s'est comporté comme de l'eau ingérée, plutôt que de suivre un cycle physiologique reposant sur le carbone). Ce modèle biocinétique pourrait influencer la façon dont les expositions au tritium sont estimées. D'autres études sont requises pour valider ces résultats. Actuellement, il n'y a pas suffisamment de données probantes pour justifier l'abandon du modèle biocinétique de la CIPR. Du point de vue de la réglementation, les conséquences radiologiques d'une exposition au tritium ne représentent qu'une petite fraction de la dose totale d'une personne et elles sont bien inférieures aux limites de dose établies pour les travailleurs et les membres du public.

Les tâches 1 à 4 permettent de comparer la toxicité relative du tritium (HTO et TLCO) et des rayons gamma. Une fois qu'on aura compris ces comparaisons, en suivant l'évolution des travaux en cours, on pourra déterminer un niveau d'efficacité biologique relative (EBR) pour l'exposition au tritium. L'EBR est un concept utilisé pour comparer la capacité de différents types de rayonnement à produire le même résultat biologique. L'EBR du tritium varie selon qu'on ait recours aux rayons X ou aux rayons gamma comme référence. Dans la littérature, un vaste éventail de valeurs ont été rapportées comme rayonnement de référence. Par exemple, les rayons X varient généralement entre 180 et 250 kilovolts de pointe (kVp) et les rayons gamma proviennent généralement d'une source de césium 137 (662 kVp) ou de cobalt 60 (un total de 2 500 kVp)¹.

État de la recommandation 3

Le but de cette recommandation a été atteint par un engagement à mener des recherches en collaboration avec plusieurs partenaires pour lever les incertitudes relatives à la radiobiologie et à

¹ L'unité kVp fait référence au voltage maximal dans un tube à rayons X lorsqu'il y a distribution. L'unité KeV est une unité d'énergie qui reflète l'énergie cinétique gagnée (ou perdue) par un électron accéléré par une différence de potentiel d'un volt. Ces unités peuvent être considérées comme des équivalents.

la dosimétrie du tritium. Le personnel de la CCSN entreprendra des études supplémentaires à ce sujet dans le cadre du programme de recherches.

2.4 Contrôle des rejets de tritium dans l'environnement (recommandations 4 et 5)

Résumé

Le personnel de la CCSN a ajusté le cadre de réglementation pour contrôler les rejets et protéger les eaux souterraines. En ce qui a trait aux questions de protection des eaux souterraines, la CCSN a suivi son processus pour déterminer les changements à apporter à son cadre de réglementation. Le résultat de ce processus, qui comprenait des consultations soutenues avec les parties intéressées, a contribué à l'élaboration d'une norme du Groupe CSA. L'objectif visant à s'assurer que la protection des eaux souterraines soit bien reflétée dans le cadre de réglementation de la CCSN a été atteint.

Une des recommandations du *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* consistait à aborder les problèmes de protection des eaux souterraines à proximité des installations existantes au niveau politique et de toutes les nouvelles installations nucléaires de catégorie I qui rejettent du tritium dans l'atmosphère en envisageant de nouvelles exigences de conception [5].

Lors d'une mise à jour antérieure présentée à la Commission en janvier 2013, le personnel de la CCSN a fait le point sur deux documents de travail qui intégraient les principes de la protection des eaux souterraines :

- DIS-12-01, *Protection des eaux souterraines aux installations nucléaires du Canada* [36].
- DIS-12-02, *Processus d'établissement des limites de rejets et des seuils d'intervention dans les installations nucléaires* [37].

Les deux documents de travail ont fait l'objet d'un examen public approfondi. Les commentaires des membres du public ont été étudiés par le personnel de la CCSN et des rapports « Ce que nous avons entendu » ont été publiés [38, 39]. Voici un bref résumé de l'état actuel de ces deux documents de travail.

Le DIS-12-01 traitait de l'intégration de la protection des eaux souterraines dans le cadre de protection de l'environnement global de la CCSN. Plus particulièrement, il soulignait les attentes de la CCSN concernant les éléments essentiels d'un programme de protection des eaux souterraines. Les exigences formulées dans le document de travail ont été officialisées en tant qu'orientation dans la norme N288.7 du Groupe CSA, *Programmes de protection des eaux souterraines aux installations nucléaires de catégorie I et aux mines et usines de concentration d'uranium* (N288.7-15) [40]. Les principes de protection des eaux souterraines ont également été intégrés au document REGDOC-2.9.1, *Protection de l'environnement : Principes, évaluations environnementales et mesures de protection de l'environnement* (2016) [41]. La norme N288.7-15 et le document REGDOC-2.9.1 sont des documents d'orientation similaires et uniformes.

Le DIS-12-02 portait sur l'établissement des limites de rejets, des seuils d'intervention et des objectifs nominaux pour les effluents applicables aux radionucléides et aux substances dangereuses émanant d'installations nucléaires. Dans ce document de travail, l'eau souterraine est reconnue comme une composante précieuse de l'écosystème qu'il importe de protéger et de prendre en considération au moment de concevoir des installations nucléaires. Les exigences et l'orientation à suivre pour contrôler les rejets dans l'environnement, et qui tiennent compte des

eaux souterraines comme d'une ressource à protéger, feront partie d'un document d'application de la réglementation de la CCSN à venir.

État des recommandations 4 et 5

Le but de ces recommandations a été atteint. Les recommandations sur la protection des eaux souterraines ont été concrétisées par la publication d'une norme du Groupe CSA et du document REGDOC-2.9.1.

3. Autres activités de recherche

Résumé

Le personnel de la CCSN a également participé à d'autres projets de recherche et à des initiatives internationales liées aux recherches de suivi recommandées dans le cadre du projet. En particulier, le personnel de la CCSN a pris part aux deux étapes du programme Modélisation et données pour l'évaluation de l'impact radiologique (MODARIA) de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Cette collaboration a donné lieu à un article dans une revue importante qui modélise des recherches récentes sur le terrain menées par la CCSN avec des collègues de l'Agence de l'énergie atomique du Japon et les LNC. Le personnel de la CCSN a également animé un atelier de trois jours sur le tritium avec des scientifiques de la CCSN, de l'IRSN, des LNC et de l'Université d'Ottawa afin de discuter de thèmes émergents. Le personnel de la CCSN continuera de participer à des activités scientifiques similaires, mais juge qu'il n'est pas nécessaire de participer activement à des études plus détaillées d'un point de vue réglementaire.

Participation au programme Modélisation et données pour l'évaluation de l'impact radiologique. (MODARIA I et II)

L'AIEA dirige un programme sur l'évaluation de l'impact radiologique depuis 1996. Le personnel de la CCSN a pris part à divers aspects de ce programme. Les deux dernières versions du programme portaient l'acronyme MODARIA I (2012 à 2015) et MODARIA II (2016 à 2018). Dans le cadre de MODARIA I et II, le personnel a participé à un groupe de travail dont l'objectif était d'étoffer et de tester des modèles de rejets de tritium accidentels (routine aiguë/pulsée) afin d'améliorer notre compréhension du tritium dans l'environnement terrestre [42].

Lors des programmes MODARIA I et II, le personnel de la CCSN a travaillé avec l'Agence de l'énergie atomique du Japon et les LNC pour étudier les processus physiques sous-jacents qui peuvent mener à une activité élevée de tritium dans le sol et la végétation. Les résultats du projet de recherche *Transport du tritium dans les milieux terrestres* [16] ont servi de base aux deux modèles de tritium élaborés par l'Agence de l'énergie atomique du Japon et les LNC. Les résultats de ces travaux ont montré que le transfert de HTO du sol à la feuille peut influencer fortement la dynamique du tritium dans le feuillage. Ce processus peut dominer le rapport TLCO/HTO dans la feuille, peu importe le niveau de concentration du HTO dans l'atmosphère, puisque la concentration élevée de HTO est maintenue dans le sol. Les résultats de cette recherche collaborative suggèrent que les modèles d'évaluation doivent être améliorés pour tenir compte de l'importance du transfert de HTO du sol à la feuille afin de s'assurer que les estimations de doses sont exactes et prudentes.

Atelier international sur le tritium

En avril 2016, le personnel de la CCSN a organisé un atelier sur le tritium de trois jours. Réunissant des scientifiques de la CCSN, de l'IRSN, des LNC et de l'Université d'Ottawa, cet atelier portait sur les nouveaux sujets de recherche sur le tritium. L'objectif était de générer des idées afin d'orienter la recherche future de la CCSN sur le tritium en tablant sur l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet d'études sur le tritium.

Les participants ont échangé de l'information sur divers projets de recherche en cours et ont discuté de sujets de recherche communs. À la fin de l'atelier, les participants ont relevé des intérêts de recherche mutuels, en se basant sur les incertitudes du passé. Voici les principaux domaines recensés pour les recherches futures :

- obtenir des échantillons représentatifs dans des secteurs qui ne sont pas influencés par des installations nucléaires, afin de mieux caractériser les concentrations naturelles
- déterminer s'il y a d'autres formes de tritium rejetées par certaines installations, et qui ne sont pas mesurées (aérosols)
- améliorer la méthode d'échantillonnage et d'analyse du TLCO, plus particulièrement dans le sol (support pour lequel on dispose de peu de données) et à de faibles concentrations de tritium

Ces projets de recherche sont menés par différents instituts. Leurs résultats pourraient expliquer les mécanismes sous-jacents du comportement du tritium dans le milieu terrestre. Cependant, ces résultats ne devraient pas modifier la façon dont la CCSN réglemente les installations qui rejettent du tritium. Le personnel restera informé des nouveaux enjeux et des conclusions des travaux, notamment en participant aux travaux de groupes internationaux et en échangeant avec des collègues des divers instituts internationaux.

4. Mesures sur le terrain et analyse en laboratoire du tritium

4.1 Capacités d'analyse du laboratoire de la CCSN

Résumé

Pour appuyer la recherche découlant du projet, et pour accroître son efficacité réglementaire dans différents contextes, la CCSN a amélioré les capacités d'analyse de son laboratoire en ce qui a trait à l'analyse du tritium. Le laboratoire est maintenant en mesure d'analyser les deux formes principales du tritium, soit le HTO et le TLCO, grâce à un équipement à la fine pointe. Le laboratoire a analysé plus de 2 500 échantillons depuis 2012 dans le cadre de projets de recherche, du Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE), d'exercices nationaux et internationaux de mesure du tritium aux fins de comparaison croisée et d'un cours de formation du réseau de l'AIEA.

Analyse du tritium

En 2012, le laboratoire de la CCSN a accru ses capacités afin d'inclure l'analyse du TLCO dans les échantillons environnementaux, dans le cadre du projet de recherche *Transport du tritium dans les milieux terrestres*. Avant 2012, le laboratoire ne pouvait analyser que les échantillons environnementaux de HTO.

Le TLCO est généralement analysé dans des échantillons environnementaux au moyen de la méthode de combustion par injection d'oxygène de Parr, suivie par un comptage par scintillation en milieu liquide de l'eau de combustion recueillie. Cette méthode a été employée pour l'analyse du TLCO au laboratoire de la CCSN. En 2015 et 2016, le laboratoire de la CCSN a ajouté deux nouvelles pièces d'équipement de préparation d'échantillons (oxydateur RADDEC et pyrolyseur RADDEC) pour l'extraction du TLCO des échantillons environnementaux. Le laboratoire de la CCSN a été un des premiers laboratoires dans le monde à acquérir ces nouvelles pièces d'équipement disponibles sur le marché pour faciliter l'extraction du TLCO d'échantillons environnementaux de plus grosse taille. Le personnel de la CCSN et les fabricants ont publié un article dans une revue à comité de lecture sur l'utilisation et la mise en place de ces équipements [43].

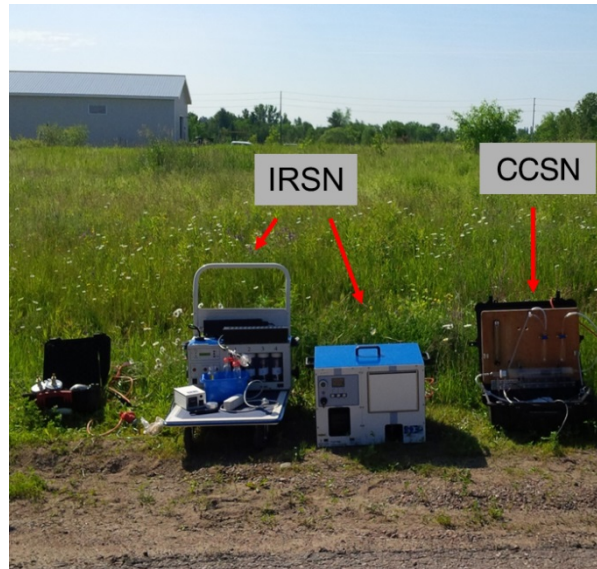
Groupe de travail international sur l'analyse du TLCO

Le personnel de la CCSN se tient au courant des méthodes et techniques actuelles d'analyse du tritium en participant à des groupes de travail nationaux et internationaux. Un groupe de travail international d'analyse du tritium a été formé en 2012 avec des membres de six pays (Canada, France, Royaume-Uni, Roumanie, Corée du Sud et Japon). Ce groupe de travail se réunit tous les ans pour discuter des améliorations apportées à l'analyse du TLCO et organise des exercices de comparaison croisée. Le laboratoire de la CCSN a pris part à tous les exercices lancés par ce groupe de travail depuis 2012 et a chaque fois obtenu la note de 100 %. Les résultats du premier exercice de comparaison croisée sur le TLCO (2012) ont été résumés dans un article du *Journal of Environmental Radioactivity* coécrit par le personnel de la CCSN [44].

Campagne de comparaison croisée sur le terrain de 2013

Le personnel de la CCSN a également pris part à une étude de comparaison croisée sur le terrain avec l'IRSN en juin et juillet 2013. Cette étude s'est déroulée à proximité de SRB Technologies au Canada pendant une période de deux semaines. Cette campagne avait pour objectif de comparer et de valider les méthodes employées pour échantillonner et mesurer le tritium. Les chercheurs ont pris des mesures du HT, du HTO et des aérosols dans l'air, ainsi que du HTO et du TLCO dans des échantillons d'herbe.

Figure 6 : Équipement de mesure du tritium dans l'air de l'IRSN et de la CCSN utilisé dans le cadre de la campagne de comparaison croisée de juin et juillet 2013



Les résultats obtenus par l'IRSN et la CCSN concordent en ce qui a trait à la mesure du HTO dans l'air et l'herbe. Cependant, les résultats relatifs aux concentrations de TLCO pour trois des échantillons d'herbe ont présenté des divergences entre laboratoires plus marquées que prévu. Pour trouver précisément la source de ces différences dans les échantillons d'herbe, les laboratoires ont échangé leurs échantillons fragmentés, et les ont analysés. Les analyses de ces échantillons concordaient, ce qui signifie que les différences étaient attribuables à l'inhomogénéité des échantillons fragmentés et non aux mesures. Globalement, la participation du laboratoire de la CCSN à cette campagne de comparaison croisée sur le terrain a permis de valider les capacités du laboratoire en matière d'analyse du tritium. La recherche collaborative avec l'IRSN a donné lieu à la publication d'un rapport interne de l'IRSN et d'un article dans une revue à comité de lecture [45].

Cours de formation du réseau des Laboratoires d'analyse de l'AIEA pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement

En septembre 2016, le laboratoire de la CCSN a tenu un atelier dans le cadre des cours de formation du réseau des Laboratoires d'analyse de l'AIEA pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement (ALMERA) (voir figure 7). ALMERA est un réseau mondial de laboratoires d'analyse qui est coordonné par les Laboratoires environnementaux de l'AIEA. Le réseau de laboratoires doit analyser des échantillons prélevés dans l'environnement en cas de rejet radiologique accidentel ou intentionnel.

Figure 7 : Le personnel de la CCSN explique la technique de combustion d'échantillon lors de l'atelier de formation international sur le TLCO du réseau ALMERA



L'atelier de l'automne 2016 portait sur la préparation des échantillons et la détection du TLCO dans des échantillons d'aliments au moyen du comptage par scintillation en milieu liquide. L'atelier regroupait des participants de 14 pays : Singapour, Corée du Sud, Émirats arabes unis, Tunisie, Pays-Bas, Madagascar, République tchèque, Slovaquie, Mexique, Brésil, Turquie, Portugal, Estonie et Autriche. La formation fournie dans le cadre de l'atelier de la CCSN a permis aux participants d'instaurer dans leur propre pays les techniques et méthodes apprises.

4.2 Mesures du tritium sur le terrain dans des échantillons environnementaux

Résumé

Depuis la fin du projet, la CCSN a procédé à des mesures de routine du HTO et du TLCO dans le cadre du PISE en tant qu'activité stratégique. Ce programme, indépendant de ceux des titulaires de permis, repose sur le prélèvement d'échantillons dans différents milieux environnementaux (p. ex. air, eau, sol, aliments) à partir de lieux accessibles au public, et sur leur analyse au laboratoire de la CCSN. On tente ainsi de déterminer s'ils contiennent des substances nucléaires ou dangereuses provenant des installations à proximité. Les résultats sont rapportés au public sur un site Web et comparés aux niveaux établis pour préserver la santé.

Le PISE constitue un outil qui complète l'information recueillie par les titulaires de permis et soutient le programme de vérification de la conformité de la CCSN. Les résultats servent également à établir une estimation indépendante de la dose au public, dont les détails sont contenus dans les présentes. Globalement, le PISE montre que les niveaux de tritium près des installations nucléaires du Canada sont bien inférieurs aux niveaux de référence en matière de santé. Le PISE a permis de recueillir des données uniques sur le TLCO grâce à une technologie à la fine pointe, et a transmis son expertise aux participants de plusieurs groupes de travail internationaux.

Les titulaires de permis suivent de près les niveaux de HTO et utilisent cette information pour estimer la dose au public, mais la surveillance approfondie du TLCO ne fait pas encore l'objet

d'une opération de routine (puisque le niveau de TLCO découle souvent d'un modèle). En effet, il n'existe pas encore de méthode unique normalisée ni de documents de référence certifiés. Grâce au PISE, le personnel de la CCSN a beaucoup contribué à l'atteinte d'un consensus scientifique sur la façon dont les mesures de TLCO peuvent être intégrées aux programmes de surveillance.

4.2.1 Données sur le tritium du Programme indépendant de surveillance environnementale (PISE)

Depuis 2012, plusieurs campagnes d'échantillonnage du PISE ont été réalisées autour des installations rejetant du tritium. Les installations en question et les dates d'échantillonnage sont fournies dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Campagnes d'échantillonnage du PISE autour des installations rejetant du tritium

Type d'installation	Installation	Dates d'échantillonnage
Installation de recherche	Laboratoires de Chalk River	2012, 2013, 2015
Installation de traitement du tritium	SRB Technologies (SRB)	2013, 2014, 2015
Installation de traitement du tritium	Shield Source Incorporated	2013, 2014, 2015
Centrale nucléaire	Bruce	2013, 2015, 2016
Centrale nucléaire	Darlington	2014, 2015
Centrale nucléaire	Pickering	2014, 2015
Centrale nucléaire	Point Lepreau	2014, 2015, 2016
Centrale nucléaire	Gentilly-2	2015, 2016

Remarque : Shield Source Incorporated n'est plus en fonction et l'installation ne fait plus l'objet d'une surveillance réglementaire.

Remarque : La centrale nucléaire de Gentilly-2 a été fermée de façon définitive en décembre 2012.

Des échantillons ont été prélevés et analysés afin de détecter la présence de HT et de HTO dans l'air, de HTO dans le sol, et de HTO et de TLCO dans les aliments produits localement (lait, viande, poisson, fruits et légumes). Le tableau 2 présente un résumé des résultats obtenus dans l'air, l'eau et le sol pour chaque installation nucléaire, pour toutes les années où des échantillons ont été prélevés. Le tableau 3 présente un résumé des résultats du PISE relatifs aux aliments. On observe des écarts dans les résultats autour d'une installation sur les plans temporel et spatial. Plus on se rapproche de l'installation, plus les concentrations sont élevées. Les seuils de dépistage pour la santé humaine sont également fournis lorsque la concentration de radioactivité mesurée ne justifie pas des analyses plus poussées.

Dans tous les cas, les résultats du PISE étaient bien inférieurs aux seuils de dépistage de la CCSN. Ces seuils de dépistage ont été établis par le personnel de la CCSN à partir de la méthode décrite dans la norme N288.1-F14 [46] du Groupe CSA et sur la base d'hypothèses prudentes. Le seuil de dépistage d'un radionucléide en particulier dans un milieu spécifique (par exemple l'eau, la terre ou les aliments) représente la concentration de l'activité qui entraînerait une dose de 0,1 mSv/a, dose à laquelle aucun impact sur la santé n'est attendu.

Les résultats des campagnes d'échantillonnage du PISE se trouvent sur le site Web de la CCSN à : <http://nuclearsafety.gc.ca/ra/resources/maps-of-nuclear-facilities/iemp/index-iemp.cfm>

Tableau 2 : Résumé des résultats du PISE sur le tritium dans l'air, l'eau et le sol

Milieu	Air (Bq/m ³)		Eau (Bq/L)	Sol (Bq/kg de poids frais)	
	Tritium (HTO)	Tritium élémen- taire	Tritium (HTO)	Tritium (HTO)	TLCO
Seuil de dépistage	340	5 100 000	7 000	68 500 000	27 900 000
Laboratoires de Chalk River	2	2	3 – 15,7	1,5 – 16	S/O
SRB Technologies (SRB)	1,1 – 96,4	2 – 581,7	<3 – 8,7	<1,5 – 87,1	<1,5 – 42,5
Shield Source Incorporated	<1 – 30	<1 – 4	<3 – 460	<1,5 – 174	29,9
Centrale nucléaire de Bruce	<0,2 – 9	0,4 – 5,9	<3 – 88,9	<1,5 – 14,7	S/O
Pickering	<2	<2	3,9 – 40	S/O	S/O
Darlington	<1 – 1,9	<1 – 2	<3 – 5,1	S/O	S/O
Point Lepreau	<2,1 – 4	<2,1	3,5 – 385	S/O	S/O
Gentilly-2	<1,9 – 9,3	<1,9	<3 – 21,9	S/O	S/O
Maximum	96,4	581,7	460	174	42,5

Remarque : Les valeurs en caractères gras représentent la concentration maximale pour ce milieu. C'est la valeur employée pour calculer la dose aux membres du public.

Tableau 3 : Résumé des résultats du PISE sur le tritium pour les denrées alimentaires prélevées autour des installations rejetant du tritium

Denrées alimentaires	Fruits et baies (Bq/kg de poids frais)		Légumes (Bq/kg de poids frais)		Pommes de terre (Bq/kg de poids frais)		Lait (Bq/kg de poids frais)		Poisson (Bq/kg de poids frais)		Bœuf (Bq/kg de poids frais)		Poulet (Bq/kg de poids frais)		Porc (Bq/kg de poids frais)		Vin (Bq/kg de poids frais)
	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO	TLCO	HTO
Seuil de dépistage	123 000	50 300	104 000	45 200	279 000	121 000	5 560	2 260	488 000	212 000	159 000	69 300	196 000	85 500	392 000	171 000	45 100
Laboratoires de Chalk River	3,2 – 5,4	<1,5	<1,5 – 5,2	<1,5 – 1,9	2,2 – 2,8	2 – 2,8	1,9 – 3	<1,5 – 5	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	<1,5 – 2	<1,5 – 8,1	S/O
SRB Technologies (SRB)	19,33 – 99,4	11,8 – 17,5	7,5 – 180	<1,5	4,9 – 84,67	<1,5	<1,5 – 1,7	<1,5	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	10,8 – 14,6
Shield Source Incorporated	3 – 120	<3,5 – 6,4	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Bruce Power	5,6 – 20,8	<1,5 - <2	<1,5 – 69,9	<1,5 – <2	<1,5 – 4,3	<2	1,7	4,8	<1,5 – 21,8	1,8 – <2	<1,5 – 6,5	<1,5 – 56,5	<1,5 – 3,5	<1,5	<1,5 – 3,9	<2 – 21	S/O
Pickering	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	6,7 – 6,8	<1,5 – 2,5	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Darlington	7 – 12,4	<1,5	21,1	<1,5	6,5 – 13,4	1,6 – 2,1	3,4 – 6,7	<1,5	S/O	S/O	S/O	S/O	2,8 – 3,1	<1,5 – 10,5	S/O	S/O	S/O
Point Lepreau	6,8 – 40,9	<1,5 – 2,8	7,4 – 20,5	<0,5 – 2,1	S/O	S/O	<1,5	<1,5	<1,5 – 17	<1,5 – 15,9	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Gentilly-2	2,6 – 8	<1,5	1,9 – 6	<1,5	S/O	S/O	<2,8 – 7,3	<1,5 – 3,2	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Maximum	120	17,5	180	2,1	84,67	2,8	7,3	5	21,8	15,9	6,5	56,5	3,5	10,5	3,9	21	14,6

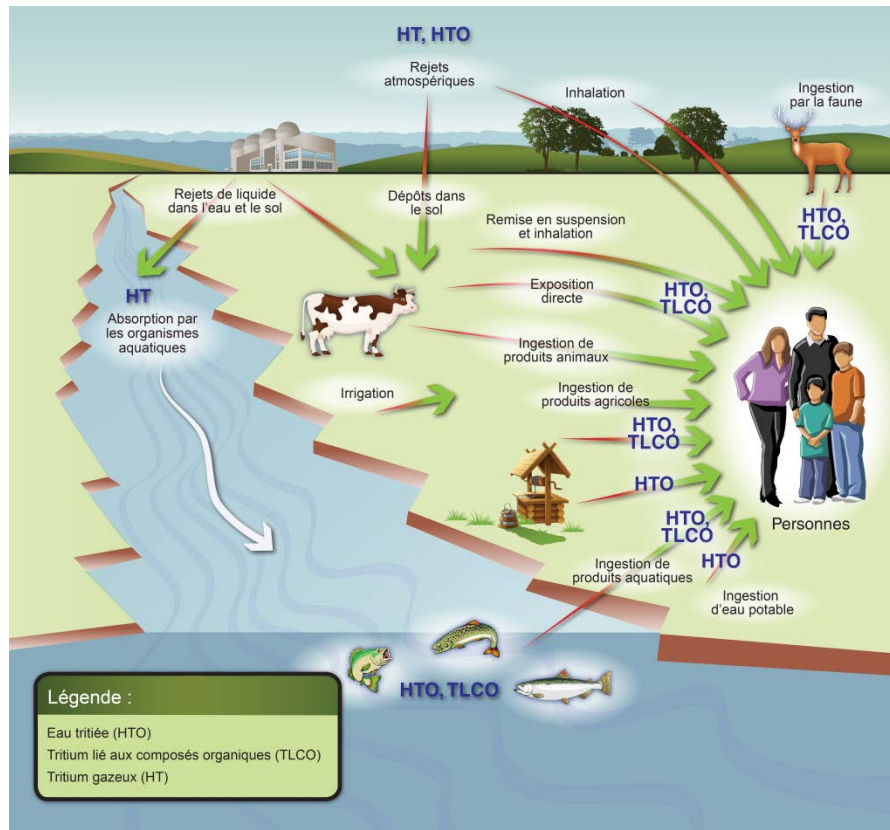
Remarque : Les valeurs en caractères gras représentent la concentration maximale pour ce milieu. C'est la valeur employée pour la calculer la dose aux membres du public.

4.2.2 Calcul de la dose au public par des modes d'exposition multiples au tritium à partir des données du PISE

Le personnel de la CCSN a effectué un calcul de la dose au public par des modes d'exposition multiples au tritium pour trois types de récepteurs (nourrisson, enfant et adulte) à partir des données sur le tritium découlant du PISE. La figure 8 illustre les principaux modes d'exposition environnementaux pris en compte pour le calcul de dose. Ce calcul a pour but de confirmer, sur la base d'hypothèses prudentes, que les doses attribuables à l'exposition au tritium pour les membres du public qui résident autour des installations rejetant du tritium sont faibles et inférieures à la limite de dose établie pour le public, qui est de 1 mSv par année. Les données du PISE de la CCSN servent à ce calcul pour les raisons suivantes :

- les données sont récentes et ont été obtenues à partir de prélèvements dans des lieux publics
- les échantillons ont été obtenus et analysés au moyen des mêmes méthodes
- les échantillons ont été analysés pour toutes les formes de tritium (soit HT, HTO et TLCO)
- les données ont été obtenues indépendamment des titulaires de permis

Figure 8 : Modèle conceptuel des voies d'exposition multiples au tritium



Il faut cependant noter que l'échantillonnage dans le cadre du PISE n'est effectué qu'une fois par année dans certains sites spécifiques. Les résultats présentent un aperçu fiable de la situation au moment de l'échantillonnage, dans les sites représentés. Le PISE ne vise pas à saisir tous les

écarts spatiaux et temporels, qui sont mieux ciblés par les programmes de surveillance environnementale des titulaires de permis.

Le calcul de la dose fait appel à une méthode générique décrite dans la norme N288.1-14 [17] du Groupe CSA afin d'établir une dose efficace annuelle au moyen du tritium mesuré à partir des résultats du PISE. Le calcul de la dose repose sur les concentrations de tritium maximales mesurées pour chaque milieu environnemental et pour les denrées alimentaires des tableaux 2 et 3. Ainsi, les résultats ne sont pas propres à une installation nucléaire donnée et demeurent prudents.

Les hypothèses suivantes ont été avancées pour estimer de façon prudente la dose reçue par les membres du public :

- le récepteur habite 24 heures par jour, 365 jours par année dans le lieu d'exposition (inhalation et immersion)
- la seule source d'eau potable provient de la source dont la concentration en tritium est mesurée
- les résultats inférieurs à la limite de détection sont définis comme étant équivalents à la limite de détection

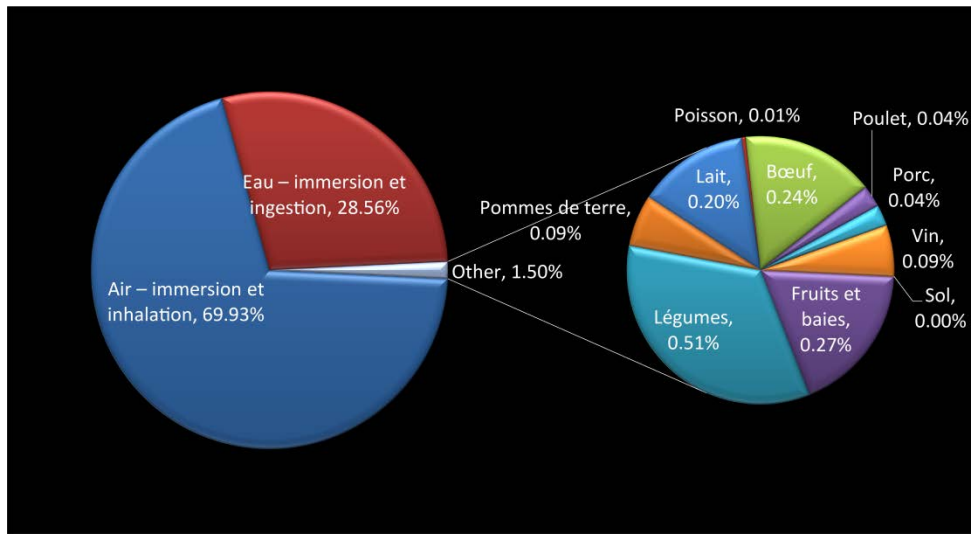
Les taux d'inhalation et d'ingestion dans les différents milieux pour les trois classes d'âge (nourrisson, enfant et adulte) sont fournis à l'annexe B (tableau B.1). L'approche retenue permet d'établir des estimations de dose prudentes et générales. Les contributions détaillées de chaque mode d'exposition, ainsi que la dose efficace totale de tritium sont décrites à l'annexe B (tableau B.2 – tableau B.4).

Tableau 4 : Contribution totale à la dose de tritium pour un nourrisson, un enfant et un adulte, selon les résultats du PISE

Récepteur (groupe d'âge)	Contribution totale à la dose de tritium (mSv)
Limite de dose du public	1
Nourrisson (0 à 5 ans)	0,029
Enfant (6 à 15 ans)	0,034
Adulte (16 à 70 ans)	0,035

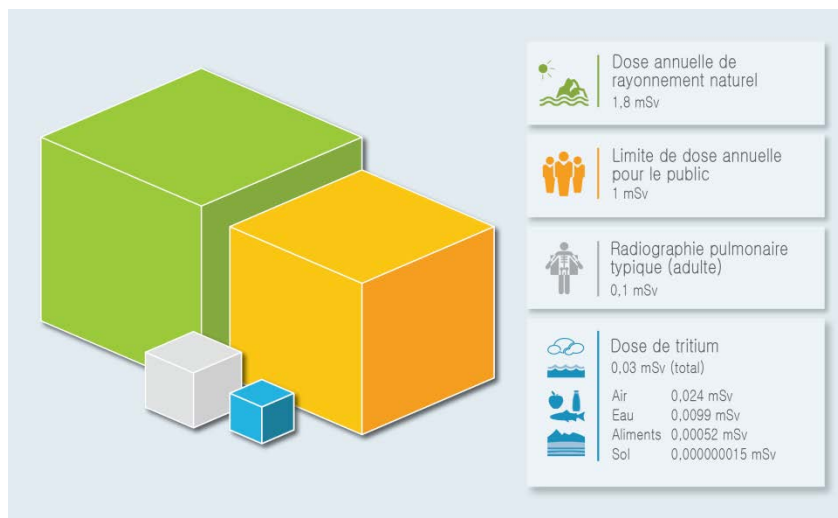
Le tableau 4 résume la dose totale de tritium pour le nourrisson, l'enfant et l'adulte selon les calculs de dose faisant appel aux résultats du PISE. Le récepteur adulte reçoit la plus forte dose de tritium en raison d'un taux de consommation d'eau et d'inhalation plus élevé que celui d'un enfant ou d'un nourrisson. Pour tous les récepteurs, les résultats montrent que le contact à l'air ou l'inhalation d'air constitue la contribution la plus importante à la dose totale de tritium (69,9 %), la seconde étant l'immersion dans l'eau et l'ingestion d'eau (29,6 %) (voir la figure 9). La consommation de toutes les sources d'aliments échantillonnés ne représentait que 1,5 % de la dose totale de tritium.

Figure 9 : Les principaux modes d'exposition contribuant à la dose de tritium chez le récepteur adulte



Pour tous les récepteurs, la contribution à la dose totale de tritium est environ 100 fois inférieure à la limite de dose établie pour le public, qui est de 1 mSv par année, et plus de 100 fois inférieure aux niveaux de rayonnement naturel au Canada [47] (voir la figure 10). En général, ces résultats confirment ce que rapportent les titulaires de permis dans le cadre de leurs programmes de surveillance. Cependant, dans certains cas, la dose calculée pour le nourrisson, l'enfant et l'adulte peut être supérieure à celle rapportée par les titulaires de permis dans leurs rapports annuels de conformité en raison des hypothèses prudentes qui ont été retenues. L'objectif de ce calcul de dose est de montrer que les doses pour les membres du public habitant près d'installations nucléaires qui rejettent du tritium sont en deçà des limites de dose réglementaires et des doses connues pour provoquer des effets sur la santé.

Figure 10 : Comparaison des doses pour les membres du public provenant des rejets de tritium avec la limite de dose annuelle établie pour le public et les niveaux naturels au Canada



5. Conclusions

La surveillance réglementaire exercée par la CCSN aux installations rejetant du tritium au Canada montre que les doses pour les membres du public résidant près de ces installations sont faibles et inférieures aux doses connues pour provoquer des effets sur la santé.

Le personnel de la CCSN a réalisé une série de projets de recherche pour élargir le corpus de connaissances sur les rejets de tritium et accroître la surveillance réglementaire des activités associées au tritium. Les résultats des projets ont été communiqués à la Commission et au public lors de réunions et d'événements portes ouvertes, dans huit documents d'information de la CCSN, d'articles publiés dans des revues à comité de lecture et dans un chapitre d'une encyclopédie.

La recherche menée dans le cadre du projet a permis au laboratoire de la CCSN d'améliorer ses capacités d'analyse du tritium dans les échantillons environnementaux. Le laboratoire peut maintenant soutenir les projets de recherche financés par la CCSN, participer à des exercices de comparaisons croisées nationaux et internationaux et analyser des échantillons dans le cadre du Programme indépendant de surveillance environnementale de la CCSN. Le personnel du laboratoire de la CCSN se tient au courant des dernières techniques en participant à des ateliers et des recherches sur le terrain.

Les résultats obtenus des données du PISE recueillies autour des installations qui rejettent du tritium ont été employés pour estimer la dose reçue par le public. Des hypothèses prudentes ont servi de base au calcul de la dose. Les résultats appuient la conclusion selon laquelle la dose reçue par un membre du public attribuable à une exposition provenant de rejets de tritium ne représente qu'une petite fraction de la limite de dose réglementaire et des niveaux connus pour provoquer des effets sur la santé.

À la lumière des travaux de suivi réalisés par le personnel de la CCSN, ce dernier est d'avis que les recommandations découlant du *Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium* ont été concrétisées. Le personnel de la CCSN souligne que la science du tritium continue d'être un sujet d'intérêt public important et que des activités de recherche parallèles sont en cours partout dans le monde. Par conséquent, la CCSN continuera de s'assurer que les derniers développements de la science du tritium sont intégrés à la réglementation des installations nucléaires rejetant du tritium.

Globalement, le projet a atteint son objectif, qui était de générer plus d'information sur les rejets de tritium et d'améliorer la surveillance réglementaire des installations rejetant du tritium. La CCSN se tiendra informée des derniers développements à cet égard pour s'assurer que la surveillance des installations nucléaires demeure rigoureuse.

Selon la recherche qui a été présentée à la Commission et les travaux subséquents de la CCSN, le personnel de la CCSN conclut que des mesures adéquates ont été prises au moyen des mécanismes de réglementation existants afin d'assurer la protection de la population canadienne contre l'exposition aux rejets de tritium.

Annexe A : Résumé des publications de la CCSN sur le tritium

Publications à comité de lecture

1. Thompson, P.A., et coll. *Revue de l'état des connaissances des effets du tritium sur la santé et l'environnement au Canada—un outil pour orienter la surveillance réglementaire*. Radioprotection 46 : 511-531, 2011.
2. Bundy, K., et coll. *Radiation Effects of Tritium*, R.A. Meyers (ed.), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. New York: Springer Science, 2012.
3. Kim, S.B., et coll. *Canadian inter-laboratory organically bound tritium (OBT) analysis exercise*, J. Environ. Radioact. 150 : 235-241, 2015.
4. Connan, O., et coll. *In situ measurements of tritium evapotranspiration (3H-ET) flux over grass and soil using the gradient and eddy covariance experimental methods and the FAO-56 model*, J. Environ. Radioact. 148 : 1-9, 2015.
5. Thompson, P.A., et coll. *Levels of tritium in soils and vegetation near Canadian nuclear facilities releasing tritium to the atmosphere: Implications for environmental models*, J. Environ. Radioact. 140 : 105-113, 2015.
6. Mihok, S., et coll. *Tritium dynamics in soils and plants grown under three irrigation regimes at a tritium processing facility in Canada*, J. Environ. Radioact. 153 : 176-187, 2016.
7. Marsh, R.I., et coll. 2017. *A new bomb-combustion system for tritium extraction*, J. Radioanal. Nucl. Chem., DOI 10.1007/s10967-017-5446-0.
8. Ota, M., et coll. *Role of soil-to-leaf tritium transfer in controlling leaf tritium dynamics: Comparison of experimental garden and tritium-transfer model results*, J. Environ. Radioact. 178-179, 212-231, 2017.
9. Guéguen, Y., et coll. *In vivo animal studies help achieve international consensus on standards and guidelines for health risk estimates for chronic exposure to low levels of tritium in drinking water*, Environmental and Molecular Mutagenesis. 59(7) : 586-594, 2018.

Présentations dans le cadre de conférences

1. Mihok, S., Wilk, M., Lapp, A., St-Amant, N., et Kwamena, N.-O.A., Clark, I.D. « Comportement du tritium dans le sol et les végétaux sur le site d'une installation de traitement du tritium canadienne ». Présenté lors de la 3^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement, septembre 2014, Barcelone, Espagne.
2. Korolevych, V., Kim, S.B, Kwamena, N.-O.A., Ota, M., Le-Dizes-Maurel, S., Maro, D., Aulagnier, C., Patryl, L. « Essai sur le terrain et intercomparaison de modèles avancés de transfert du tritium ». Présenté lors de la 11^e Conférence internationale sur les sciences et la technologie du tritium, avril 2016, Charleston, Caroline du Sud.
3. Ilin, M., et Rinker, M. « Rôle de l'hydrogène tritié dans la formation d'eau tritiée et de TLCO dans le sol et la végétation à proximité d'une installation de traitement du tritium ». Présenté lors de la 4^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement, septembre 2017, Berlin, Allemagne.

Documents d'information de la CCSN

1. CCSN. INFO-0766, [*Normes et recommandations sur le tritium dans l'eau potable*](#), Ottawa, 2008.
2. CCSN. INFO-0792, [*Étude sur le devenir environnemental du tritium dans l'atmosphère*](#), Ottawa, 2009.
3. CCSN. INFO-0793, [*Rejets de tritium et conséquences sur les doses au Canada en 2006*](#), Ottawa, 2009.
4. CCSN. INFO-0796, [*Évaluation des installations de manipulation du tritium*](#), Ottawa, 2010.
5. CCSN. [*Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population*](#), Ottawa, 2010.
6. CCSN. [*Tritium : Effets sur la santé, dosimétrie et radioprotection*](#), Ottawa, 2010.
7. CCSN. [*Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium*](#), Ottawa 2011.
8. CCSN. [*Devenir environnemental du tritium dans le sol et dans la végétation*](#), Ottawa, 2013.

Annexe B : Calcul de la dose de tritium au public à partir des données du PISE

Tableau B.1 : Taux d'inhalation et d'ingestion pour l'adulte, l'enfant et le nourrisson

Taux	Unités	Adulte	Enfant	Nourrisson
Taux d'inhalation d'air ¹	m ³ /année	8 400	7 850	2 740
Taux d'ingestion d'eau potable ²	l/année (l/jour)	1 081,14 (2,96)	482,13 (1,32)	305,71 (0,837)
Vin ³	l/année (l/jour)	110,76 (0,30)	-	-
Taux d'ingestion de terre accidentelle	kg de poids sec/année	0,0073	0,0675	0,0745
Fruits et baies	kg de poids frais/année	29,82	24,86	15,30
Légumes	kg de poids frais/année	48,04	24,39	9,02
Pomme de terre	kg de poids frais/année	17,95	10,80	3,02
Lait	kg de poids frais/année	188,38	319,41	339,63
Poisson	kg de poids frais/année	10,26	6,75	2,34
Bœuf	kg de poids frais/année	31,376	8,4	2,95
Poulet	kg de poids frais/année	25,44	13,3	5,074
Porc	kg de poids frais/année	12,72	6,3	2,124

¹ Taux d'inhalation au 95^e percentile de la norme N288.1-14 du Groupe CSA.

² Le taux d'ingestion d'eau potable au 95^e percentile de la U.S. Environmental Protection Agency en l d⁻¹ fourni au tableau 21 de la norme N288.1-14.

³ Les taux de consommation de vin sont fondés sur la directive de 15 consommations par semaine pour un homme établie par le Centre canadien sur les dépendances et l'usage de substances (Centre canadien sur les dépendances et l'usage de substances, 2017).

Tableau B.2 : Total de la dose de tritium estimée pour un nourrisson

Milieu	Voie d'exposition	HTO (mSv)	HT (mSv)	TLCO (mSv)	Dose de tritium à partir de la voie d'exposition (mSv)
Air	Immersion et inhalation	$2,10 \times 10^{-2}$	$8,43 \times 10^{-6}$		$2,10 \times 10^{-2}$
Eau	Ingestion	$7,45 \times 10^{-3}$			$7,45 \times 10^{-3}$
Sol	Ingestion accidentelle et rayonnement du sol	$2,54 \times 10^{-7}$		$1,52 \times 10^{-7}$	$4,23 \times 10^{-7}$
Fruits et baies	Ingestion	$1,75 \times 10^{-7}$		$6,27 \times 10^{-8}$	$2,38 \times 10^{-7}$
Légumes	Ingestion	$8,61 \times 10^{-5}$		$2,35 \times 10^{-6}$	$8,84 \times 10^{-5}$
Pommes de terre	Ingestion	$1,36 \times 10^{-5}$		$1,10 \times 10^{-6}$	$1,47 \times 10^{-5}$
Lait	Ingestion	$1,31 \times 10^{-4}$		$2,21 \times 10^{-4}$	$3,52 \times 10^{-4}$
Poisson	Ingestion	$2,53 \times 10^{-7}$		$4,53 \times 10^{-7}$	$7,06 \times 10^{-7}$
Bœuf	Ingestion	$7,50 \times 10^{-7}$		$2,16 \times 10^{-5}$	$2,24 \times 10^{-5}$
Poulet	Ingestion	$8,33 \times 10^{-7}$		$6,91 \times 10^{-6}$	$7,74 \times 10^{-6}$
Porc	Ingestion	$4,39 \times 10^{-7}$		$5,78 \times 10^{-6}$	$6,22 \times 10^{-6}$

Dose totale de tritium	Toutes les voies d'exposition	$2,87 \times 10^{-2}$	$8,43 \times 10^{-6}$	$2,59 \times 10^{-4}$	$2,90 \times 10^{-2}$
-------------------------------	--------------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Tableau B.3 : Total de la dose de tritium estimée pour un enfant

Milieu	Voie d'exposition	HTO (mSv)	HT (mSv)	TLCO (mSv)	Dose de tritium à partir de la voie d'exposition (mSv)
Air	Immersion et inhalation	$2,83 \times 10^{-2}$	$1,14 \times 10^{-5}$		$2,84 \times 10^{-2}$
Eau	Ingestion	$5,52 \times 10^{-3}$			$5,52 \times 10^{-3}$
Sol	Ingestion accidentelle et rayonnement du sol	$1,09 \times 10^{-7}$		$6,69 \times 10^{-8}$	$1,76 \times 10^{-7}$
Fruits et baies	Ingestion	$7,49 \times 10^{-8}$		$2,75 \times 10^{-8}$	$1,02 \times 10^{-7}$
Légumes	Ingestion	$1,10 \times 10^{-4}$		$3,07 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-4}$
Pommes de terre	Ingestion	$2,29 \times 10^{-5}$		$1,91 \times 10^{-6}$	$2,48 \times 10^{-5}$
Lait	Ingestion	$5,83 \times 10^{-5}$		$1,01 \times 10^{-4}$	$1,59 \times 10^{-4}$
Poisson	Ingestion	$4,19 \times 10^{-7}$		$7,68 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-6}$
Bœuf	Ingestion	$1,01 \times 10^{-6}$		$3,00 \times 10^{-5}$	$3,10 \times 10^{-5}$
Poulet	Ingestion	$1,03 \times 10^{-6}$		$8,82 \times 10^{-6}$	$9,85 \times 10^{-6}$
Porc	Ingestion	$6,14 \times 10^{-7}$		$8,35 \times 10^{-6}$	$8,97 \times 10^{-6}$
Dose totale de tritium	Toutes les voies d'exposition	$3,41 \times 10^{-2}$	$1,14 \times 10^{-5}$	$1,53 \times 10^{-4}$	$3,42 \times 10^{-2}$

Tableau B.4 : Total de la dose de tritium estimée pour un adulte

Milieu	Voie d'exposition	HTO (mSv)	HT (mSv)	TLCO (mSv)	Dose de tritium à partir de la voie d'exposition (mSv)
Air	Immersion et inhalation	$2,43 \times 10^{-2}$	$9,77 \times 10^{-6}$		$2,43 \times 10^{-2}$
Eau	Ingestion	$9,94 \times 10^{-3}$			$9,94 \times 10^{-3}$
Sol	Ingestion accidentelle et rayonnement du sol	$9,40 \times 10^{-9}$		$5,28 \times 10^{-9}$	$1,47 \times 10^{-8}$
Fruits et baies	Ingestion	$7,16 \times 10^{-5}$		$2,40 \times 10^{-5}$	$9,56 \times 10^{-5}$
Légumes	Ingestion	$1,73 \times 10^{-4}$		$4,42 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-4}$
Pommes de terre	Ingestion	$3,04 \times 10^{-5}$		$2,31 \times 10^{-6}$	$3,27 \times 10^{-5}$
Lait	Ingestion	$2,75 \times 10^{-5}$		$4,34 \times 10^{-5}$	$7,09 \times 10^{-5}$
Poisson	Ingestion	$9,07 \times 10^{-7}$		$1,52 \times 10^{-6}$	$2,43 \times 10^{-6}$
Bœuf	Ingestion	$3,02 \times 10^{-6}$		$8,15 \times 10^{-5}$	$8,45 \times 10^{-5}$
Poulet	Ingestion	$1,58 \times 10^{-6}$		$1,23 \times 10^{-5}$	$1,39 \times 10^{-5}$
Porc	Ingestion	$9,95 \times 10^{-7}$		$1,23 \times 10^{-5}$	$1,33 \times 10^{-5}$

Milieu	Voie d'exposition	HTO (mSv)	HT (mSv)	TLCO (mSv)	Dose de tritium à partir de la voie d'exposition (mSv)
Vin	Ingestion	$3,24 \times 10^{-5}$			
Dose totale de tritium	Toutes les voies d'exposition	$3,46 \times 10^{-2}$	$9,77 \times 10^{-6}$	$1,82 \times 10^{-4}$	$3,45 \times 10^{-2}$

Bibliographie

1. Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). CMD 10-M38, [Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium](#), Ottawa, 2010.
2. CCSN. Procès-verbal de la réunion de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) tenue les 28 et 29 juin 2010.
3. CCSN. CMD 13-M5, *Mise à jour sur la mise en œuvre des recommandations issues du Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium*, Ottawa, 2012.
4. CCSN. CMD 17-M48, *Mise à jour sur la mise en œuvre des recommandations issues du Rapport de synthèse du projet d'études sur le tritium*, Ottawa, 2017.
5. CCSN. INFO-0766, [Normes et recommandations sur le tritium dans l'eau potable](#), Ottawa, 2008.
6. CCSN. INFO-0792, [Étude sur le devenir environnemental du tritium dans l'atmosphère](#), Ottawa, 2009
7. CCSN. INFO-0793, [Rejets de tritium et conséquences sur les doses au Canada en 2006](#), Ottawa, 2009
8. CCSN. INFO-0796, [Évaluation des installations de manipulation du tritium](#), Ottawa, 2010.
9. CCSN. [Tritium : Effets sur la santé, dosimétrie et radioprotection](#), Ottawa, 2010.
10. CCSN. [Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population](#), Ottawa, 2010.
11. CCSN. [Devenir environnemental du tritium dans le sol et dans la végétation](#), Ottawa, 2013.
12. Thompson, P.A., et coll. *Revue de l'état des connaissances des effets du tritium sur la santé et l'environnement au Canada – un outil pour orienter la surveillance réglementaire*. Radioprotection 46 : 511-531, 2011.
13. Bundy, K., et coll. *Radiation Effects of Tritium*, R.A. Meyers (ed.), Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. New York : Springer Science, 2012.
14. Thompson, P.A., et coll. *Levels of tritium in soils and vegetation near Canadian nuclear facilities releasing tritium to the atmosphere: Implications for environmental models*, J. Environ. Radioact. 140 : 105-113, 2015.
15. Mihok, S., et coll. *Tritium dynamics in soils and plants grown under three irrigation regimes at a tritium processing facility in Canada*, J. Environ. Radioact. 153 : 176-187, 2016.
16. Ota, M., et coll. *Role of soil-to-leaf tritium transfer in controlling leaf tritium dynamics: Comparison of experimental garden and tritium-transfer model results*, J. Environ. Radioact. 178-179, 212-231, 2017.
17. Groupe CSA. N288.1-14, *Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires*, Mississauga, 2014.
18. Jean-Baptiste, P., et. coll. *The distribution of tritium in the terrestrial and aquatic environments of the Creys-Malville nuclear power plant (2002–2005)*, J. Environ. Radioact. 94 : 107-118, 2007.
19. Kim, S.B., et coll. *HTO and OBT concentrations in a wetland ecosystem*, Fusion Sci. Technol. 54 : 248-252, 2008.
20. Kim, S.B., S.L. Chouhan, et P.A. Davis. *Observed and modelled tritium in the wetland ecosystem in Duke Swamp near a nuclear waste management area*, Fusion Sci. Technol. 60 : 960-963, 2011.

21. Kim, S.B., M. Bredlaw, et V.Y. Korolevych. *HTO and OBT activity concentrations in soil at the historical atmospheric HT release site (Chalk River Laboratories)*, J. Environ. Radioact. 103 : 34-40, 2012.
22. Baglan, N., et coll. *A follow up of the decrease of non-exchangeable organically bound tritium levels in the surroundings of a nuclear research center*, J. Environ. Radioact. 102 : 695-702, 2011.
23. Korolevych, V., S.B. Kim, et P.A. Davis. *OBT/HTO ratio in agricultural produce subject to routine atmospheric releases of tritium*. J. Environ. Radioact. 129 : 157-168, 2014.
24. Mihok, S., Wilk, M., Lapp, A., St-Amant, N., et Kwamena, N.-O.A., Clark, I.D. « Comportement du tritium dans le sol et les végétaux sur le site d'une installation de traitement du tritium canadienne ». Présenté lors de la 3^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement, septembre 2014, Barcelone, Espagne.
25. Ilin, M., et Rinker, M. « Rôle de l'hydrogène tritié dans la formation d'eau tritiée et de TLCO dans le sol et la végétation à proximité d'une installation de traitement du tritium ». Présenté lors de la 4^e Conférence internationale sur la radioécologie et la radioactivité dans l'environnement, septembre 2017, Berlin, Allemagne.
26. Ray, A., Ilin, I., Avadhanula, R., et Mihok, S., to Hamlat, H.S., Rinker, M., et Thompson, P. « Memo, Passive Diffusion and Conventional Active Tritium (HTO)-in-Air Sampling », 18 janvier 2010.
27. Université d'Ottawa. *Review of 2012 Activities and Results*, 2012.
28. Université d'Ottawa, *Devenir environnemental du tritium dans le sol et dans la végétation – Rapport final*, 2010.
29. Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) et IRSN, *Rapport final du projet sur la toxicité du tritium*, 2015.
30. Bannister, L., et coll. *Environmentally relevant chronic low-dose tritium and gamma exposures do not increase somatic intrachromosomal recombination in pKZ1 mouse spleen*, Radiat. Res. 186 : 539-548, 2016.
31. Priest, N.D., et coll. *Tritium (3H) retention in mice: administered as HTO, DTO or as 3H-labeled amino acids*, Health Physics. 112 : 439-444, 2017.
32. Guéguen, Y., et coll. *In vivo animal studies help achieve international consensus on standards and guidelines for health risk estimates for chronic exposure to low levels of tritium in drinking water*, Environmental and Molecular Mutagenesis. 59(7) : 586-594, 2018.
33. CIPR. Publication 56, *Age-dependent doses to members of the public from intakes of radionuclides - Part I*. Pergamon Press, Oxford. 1989.
34. CCSN. DIS-12-01, [Protection des eaux souterraines aux installations nucléaires du Canada](#), Ottawa, 2012.
35. CCSN. DIS-12-02, [Processus d'établissement des limites de rejets et des seuils d'intervention dans les installations nucléaires](#), Ottawa, 2013.
36. CCSN. [Rapport sur ce que nous avons entendu – DIS-12-01, Protection des eaux souterraines aux installations nucléaires du Canada](#), Ottawa, 2014.
37. CCSN. [Rapport sur ce que nous avons entendu – DIS-12-02, Processus d'établissement des limites de rejets et des seuils d'intervention dans les installations nucléaires](#), Ottawa, 2014.
38. Groupe CSA. N288.7, *Programmes de protection des eaux souterraines aux installations nucléaires de catégorie I et aux mines et usines de concentration d'uranium*, Mississauga, 2015.

39. CCSN. REGDOC-2.9.1, [*Protection de l'environnement : Principes, évaluations environnementales et mesures de protection de l'environnement*](#), Ottawa, 2016.
40. Korolevych, V., Kim, S.B, Kwamena, N.-O.A., Ota, M., Le-Dizes-Maurel, S., Maro, D., Aulagnier, C., Patryl, L. « Essai sur le terrain et intercomparaison de modèles avancés de transfert du tritium ». Présenté lors de la 11^e Conférence internationale sur les sciences et la technologie du tritium, avril 2016, Charleston, Caroline du Sud.
41. Marsh, R.I., et coll. *A new bomb-combustion system for tritium extraction*, J. Radioanal. Nucl. Chem., DOI 10.1007/s10967-017-5446-0, 2017.
42. Kim, S.B., et coll. *Canadian inter-laboratory organically bound tritium (OBT) analysis exercise*, J. Environ. Radioact. 150 : 235-241, 2015.
43. Connan, O., et coll. *In situ measurements of tritium evapotranspiration (3H-ET) flux over grass and soil using the gradient and eddy covariance experimental methods and the FAO-56 model*, J. Environ. Radioact. 148 : 1-9, 2015.
44. Groupe CSA. N288.1-14, *Guide de calcul des limites opérationnelles dérivées de matières radioactives dans les effluents gazeux et liquides durant l'exploitation normale des installations nucléaires*, Mississauga, 2014.
45. Gratsy, R.L., et Lamarre, J.R. *The annual effective dose from natural sources of ionizing radiation in Canada*, Radiat. Prot. Dosim. 108 : 215-226, 2004.