



Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population

Volet du projet d'études sur le tritium

INFO-0798



Avril 2010



Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population

© Ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2008

No de catalogue : CC172-57/2010F-PDF

ISBN 978-1-100-94406-7

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN)

No de catalogue de la CCSN : INFO-0798

La reproduction d'un extrait quelconque du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition d'en indiquer la source en entier. Toutefois, la reproduction de ce document en tout ou en partie à d'autres fins nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Also available in English under the title: *Tritium Activity in Garden Produce from Pembroke in 2007 and Dose to the Public*

Disponibilité du document

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

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

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

Télécopieur : (613) 995-5086

Courriel : info@cnsccsn.gc.ca

Site web : suretenucleaire.gc.ca

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ COMPLET	iii
1. INTRODUCTION	1
1.1 Le tritium dans l'environnement	1
1.2 Portée	1
1.3 Contexte	2
1.4 Méthodes	3
2. RÉSULTATS	5
2.1 Le tritium dans l'eau libre (HTO) des végétaux	5
2.2 Le tritium lié à des composés organiques (OBT) dans les végétaux	7
3. RELATIONS ENTRE LES SOURCES D'HTO DANS LES MILIEUX ENVIRONNEMENTAUX	10
3.1 L'HTO dans l'air comparativement à l'HTO dans les végétaux et le sol	10
3.2 L'HTO dans les végétaux comparativement à l'HTO dans le sol	11
3.3 Le tritium total dans les végétaux comparativement au sol	12
4. DOSE AUX MEMBRES DU PUBLIC	14
4.1 Estimation et interprétation de la dose au public	14
4.2 Dose au public près des installations de SRBT à Pembroke en 2007	15
5. RÉSULTATS PRINCIPAUX	20
6. CONCLUSIONS	21
RÉFÉRENCES	22
SIGLES ET ACRONYMES	23
GLOSSAIRE	24
APPENDICE	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1A : Activité du tritium dans l'eau libre dans des produits maraîchers et dans divers fruits à Pembroke en 2005	6
Figure 1B : Activité du tritium dans l'eau libre dans des produits maraîchers et dans divers fruits à Pembroke en 2007 et à certains sites de référence	6
Figure 2 : Activité du tritium lié à des composés organiques dans des produits maraîchers et dans divers fruits à Pembroke en 2007 et à certains sites de référence	9
Figure 3A : Activité du tritium dans l'eau libre dans des produits maraîchers et dans des échantillons de sols à Pembroke en 2007 et à un site de référence à Russell (Ontario)	11
Figure 3B : Relation entre l'activité du tritium en eau libre dans des produits maraîchers et les sols correspondants	12
Figure 4 : Activité du tritium total dans des produits maraîchers et dans des échantillons de sols à Pembroke en 2007 et d'un site de référence à Russell (Ontario)	13
Figure 5 : Dose d'ingestion des adultes selon le type de tritium à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence	18
Figure 6 : Dose d'ingestion des adultes par type d'aliment à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence	18
Figure 7 : Dose d'ingestion totale estimée par différentes méthodes à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence	19

RÉSUMÉ COMPLET

Contexte

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène qui existe naturellement et comme sous-produit de l'exploitation de réacteurs nucléaires ou de réacteurs de recherche. Le tritium peut poser des risques pour la santé s'il est ingéré lors de la consommation d'eau ou d'aliments, s'il est inhalé ou bien absorbé par la peau.

Au Canada, le contrôle du tritium rejeté dans l'environnement est important, car les réacteurs canadiens de type CANDU (CANada Deutérium Uranium) produisent plus de tritium que la plupart des autres types de réacteurs. Une partie du tritium produit dans les centrales nucléaires est récupéré et sert à des entreprises en Ontario, comme SRB Technologies and Shield Source Incorporated, à produire des peintures et des sources autolumineuses. Le tritium est également utilisé commercialement dans des produits comme les panneaux de sortie, les systèmes d'éclairage des pistes des aéroports, les cadrans de montre et les viseurs de certaines armes.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) réglemente les rejets de tritium anthropique dans l'environnement et les surveille avec attention afin de protéger la santé et la sécurité des Canadiens et l'environnement. En 2007, la CCSN a commencé une série d'études sur les rejets de tritium au Canada afin d'accroître les connaissances sur le sujet et de resserrer la surveillance réglementaire des activités reliées au tritium. On décrit dans le présent rapport les résultats d'une de ces études, qui avait pour but de caractériser l'exposition du public au tritium contenu dans les produits maraîchers cultivés à Pembroke, attribuable aux émissions de l'usine de traitement du tritium de SRB Technologies.

Objectif

SRB Technologies (SRBT) produit des sources lumineuses depuis 1991. Faisant suite aux mesures prises par la CCSN ayant trait à l'application de la loi, cette entreprise a cessé temporairement ses activités en 2007. Cette situation a conduit à une réduction importante des émissions atmosphériques par rapport à celles des activités passées, et ainsi créé une occasion unique d'étudier la réaction de l'environnement à ce changement.

Dans le présent rapport, on donne les résultats d'une étude réalisée par l'Université d'Ottawa et financée par la CCSN sur l'activité du tritium dans les légumes et les fruits des jardins potagers et dans quelques échantillons de sols correspondants, à la fin de l'été 2007. L'objectif était de documenter la façon dont l'environnement local récupérait lorsqu'une source émettrice historique était éliminée. En 2005, le personnel de la CCSN avait recueilli des données similaires sur ces produits. Ces données ont fourni un point de comparaison adéquat pour la présente étude.

Les estimations des doses reçues par les personnes consommant ces produits locaux sont aussi fournies à des fins d'interprétation.

Résultats principaux

Produits et sols des jardins potagers

- L'activité de l'eau tritiée (HTO) dans les produits cultivés près des installations de SRBT en 2007 était environ 20 fois supérieure aux niveaux de fonds naturels. Ensemble, les niveaux d'activité étaient environ 100 fois inférieurs aux niveaux enregistrés pendant les activités régulières de l'entreprise en 2005.
- L'activité totale du tritium dans les produits et les sols diminuait considérablement au fur et à mesure qu'on s'éloignait des cheminées de SRBT. L'activité devenait proche du niveau de fond naturel à environ 3 km des cheminées.
- Les premières mesures du tritium lié à des composés organiques (OBT) dans les produits et les sols de surface, effectuées à Pembroke en 2007, n'ont pas révélé d'accumulation significative de tritium attribuable aux émissions passées, mais ont à l'occasion mis en évidence des proportions élevées d'OBT par rapport à l'HTO.
- Les résultats pour l'HTO obtenus par la CCSN et l'Université d'Ottawa étaient généralement en accord avec les données de surveillance réglementaire rapportées par SRBT.
- Au total, l'activité du tritium dans les produits et les sols correspondait aux valeurs attendues basées sur les émissions rapportées par SRBT et sur des modèles pour le tritium dans l'environnement.

Dose au public

- La dose annuelle de tritium dans les produits, calculée à partir de valeurs de fond dans des échantillons, correspondait à 0,0002 mSv.
- En se basant sur les mesures d'HTO et d'OBT dans les produits des jardins potagers, la dose annuelle reçue par les résidents de Pembroke en raison de la consommation de produits locaux était inférieure à 0,004 mSv, soit une infime fraction de la limite de dose du public de 1 mSv et seulement légèrement supérieure à la dose attribuable aux niveaux de fond de tritium (rayonnement naturel).

Les risques pour la santé des personnes exposées de manière chronique à des doses de rayonnement d'environ 100 mSv ou moins ne peuvent pas être différenciés de ceux de la population canadienne en général. La dose de 0,004 mSv attribuable à la consommation de produits locaux à Pembroke n'est donc pas considérée comme posant un risque additionnel.

Conclusions

L'étude financée par la CCSN a permis de mettre en évidence des niveaux de tritium prévus dans les légumes et fruits des jardins potagers locaux à Pembroke en 2005 et 2007. Il n'y a aucune preuve d'accumulation significative de tritium dans les sols de surface après 16 années de rejets de tritium par l'usine de SRBT. Les premières mesures de l'OBT dans les fruits à Pembroke et dans plusieurs produits dans des endroits situés aux niveaux de fond ont permis de révéler une diversité beaucoup plus grande que prévu des rapports OBT/HTO.

La dose de tritium attribuable à la consommation de fruits et de légumes cultivés à Pembroke décroît considérablement avec la distance de l'usine de SRBT. La dose annuelle la plus élevée en 2007 était d'environ 0,004 mSv. Ceci est bien inférieur à la dose limite pour le public de 1 mSv par an et plusieurs ordres de grandeur inférieurs aux doses connues pour poser des risques pour la santé.

1. INTRODUCTION

1.1 Le tritium dans l'environnement

Le tritium est une forme radioactive de l'hydrogène dont la période de désintégration radioactive est de 12,3 ans. Il émet un rayonnement bêta de très faible énergie qui est complètement absorbé par des substances courantes comme les feuilles de plastique, le papier, le verre ou le métal. Ce rayonnement ne peut traverser la couche de peau morte externe des humains ou des animaux. Néanmoins, l'exposition au tritium peut poser un risque pour la santé si le tritium est ingéré en quantités importantes dans l'eau potable ou les aliments, s'il est inhalé ou s'il est absorbé par la peau ou un autre tissu biologique. Outre les réacteurs nucléaires, quelques industries au Canada (comme celles qui produisent des sources lumineuses au tritium gazeux) libèrent du tritium dans l'environnement dans le cadre de leurs activités courantes. Étant une forme d'hydrogène, le tritium est facilement intégré à l'eau et il entre dans le cycle hydrologique naturel. Par conséquent, on peut trouver du tritium à l'état de traces partout où il y a de l'eau, notamment dans les précipitations, les eaux de surface, les eaux souterraines, la glace, l'humidité du sol, les animaux et les végétaux. On trouvera des renseignements détaillés sur la présence et l'utilisation du tritium au Canada dans le rapport *Rejets de tritium et conséquences sur les doses au Canada en 2006* publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) (réf. 1).

1.2 Portée

En janvier 2007, la Commission a demandé au personnel de la CCSN d'entreprendre des études sur les rejets de tritium au Canada, et d'examiner et d'évaluer les installations de traitement du tritium à travers le monde qui ont adopté des pratiques exemplaires. En réponse à cette demande, le personnel de la CCSN a lancé le projet *Études sur le tritium*, lequel comporte plusieurs activités de collecte de renseignements et de recherche s'étendant jusqu'à 2010. Ce projet vise à accroître l'information disponible afin d'optimiser la surveillance réglementaire du traitement et des rejets de tritium au Canada. On trouvera à l'adresse suretenucleaire.gc.ca de la documentation au sujet du tritium ainsi que les résultats des études qui sont terminées.

Le présent rapport résume l'information sur les travaux de recherche et la surveillance de la conformité concernant le tritium dans la végétation (surtout dans les produits maraîchers de jardins potagers résidentiels et dans quelques fruits sauvages, ainsi que dans certains sols) près des installations de SRB Technologies (SRBT) situées à Pembroke (Ontario) vers la fin des étés 2005 et 2007. En 2005, les installations de SRBT étaient en pleine exploitation; le traitement du tritium a cessé temporairement du 1^{er} février 2007 jusqu'au 31 juillet 2008. Les estimations des doses reçues par les personnes qui ont consommé ces produits locaux en 2007 durant la période où le tritium n'était pas traité, ainsi que l'interprétation des résultats, sont également fournies.

SRBT est l'une des rares sociétés au monde qui fabrique des sources lumineuses au tritium gazeux pour les panneaux de sécurité et autres applications semblables (réf. 2). Situé au 320 Boundary Road à Pembroke (Ontario), ce titulaire de permis de la CCSN a rejeté du

tritium dans l'atmosphère par deux cheminées adjacentes depuis le début de ses activités en 1991. À la suite de mesures prises par la CCSN à des fins de conformité, SRBT a cessé temporairement le traitement le 1^{er} février 2007 pour le reprendre après avoir obtenu un nouveau permis à cet égard le 1^{er} août 2008. Cette situation a eu pour conséquence une réduction importante des rejets dans l'atmosphère par rapport aux activités antérieures, en plus de présenter une occasion unique d'examiner les concentrations de tritium durant la saison de végétation après une réduction importante des rejets constants sur une longue période à des fins de comparaison aux activités normales.

1.3 Contexte

Au moment du prélèvement des échantillons dans l'environnement en août 2007, les rejets de cheminée attribuables aux matières stockées aux installations de SRBT étaient de 49,8 GBq HTO (vapeur d'hydrogène-tritium-oxygène) et de 3,2 GBq HT (gaz d'hydrogène-tritium) par semaine, avec des variations mineures durant toute la saison de végétation précédente. À des fins de comparaison, les rejets de cheminée résultant des activités de traitement aux installations de SRBT en août et en septembre 2005 étaient beaucoup plus grands, atteignant 3 618 GBq HTO et 9 332 GBq HT par semaine en moyenne.

Pendant le traitement du tritium en août et en septembre 2005, les concentrations mensuelles dans l'air à Pembroke ont atteint 252 Bq/m³ à une distance de 60 m des cheminées, et 25,5 Bq/m³ à une distance de 1 050 m (réf. 3)¹. Les procédures de laboratoire alors utilisées par SRBT n'étaient pas suffisamment sensibles pour mesurer les très faibles concentrations de tritium dans l'air à des sites éloignés des installations. Cependant, les concentrations de tritium dans l'air relevées auprès de six sites de référence en Ontario ont été mesurées par plusieurs organismes, comme Bruce Power, Ontario Power Generation (OPG) et d'autres. Les concentrations mesurées par Bruce Power et OPG étaient voisines ou inférieures aux limites de détection (0,11–0,15 Bq/m³ [réf. 4]; < 0,2 Bq/m³ [réf. 5]).

En août 2007, les concentrations dans l'air à Pembroke ont été mesurées aux installations de SRBT avec une sensibilité beaucoup plus grande dans un programme de surveillance élargi à 31 endroits situés à une distance des cheminées variant entre 50 et 2 200 m. Les concentrations de tritium dans l'air variaient de 0,14 à 1,76 Bq/m³. On a également surveillé quatre endroits distants de 7 à 16 km de Pembroke et la concentration moyenne était de 0,14 Bq/m³. Des mesures semblables effectuées par Bruce Power et OPG en 2007 (réfs. 4 et 5) ont donné des concentrations de tritium dans l'air inférieures aux limites de détection (< 0,38 Bq/m³ et < 0,2 Bq/m³, respectivement).

¹ Toutes les mesures relatives au tritium dans l'air dans les divers documents de référence portent sur les concentrations d'HTO; les concentrations d'HT dans l'air ne sont pas mesurées de façon régulière dans les programmes de surveillance. L'HTO dans l'air est la principale forme de tritium qui contribue à la dose au public.

1.4 Méthodes

Le personnel de la CCSN a recueilli des échantillons de végétation et de sol le 14 août 2007 et des analyses ont été effectuées à l'Université d'Ottawa. En 2005, on n'a recueilli que des échantillons de végétation et ils ont été analysés au laboratoire de la CCSN. Deux collectes ont eu lieu, le 9 août et le 13 septembre. En 2005 et en 2007, SRBT a de son côté recueilli et analysé des produits maraîchers au cours des mêmes périodes, à des endroits à peu près identiques (réf. 6).

On a obtenu des échantillons de produits de résidants de Pembroke à diverses distances des installations de SRBT. À chaque site, on s'est efforcé d'obtenir au moins un échantillon de produit maraîcher cultivé au-dessus du sol et dans le sol ainsi que de fruits comme les pommes ou les petits fruits. La plus grande partie des échantillons venait des jardins de plusieurs habitations le long de Boundary Road situées à environ 400 m des cheminées. Pour les autres distances, les données provenaient d'un seul jardin potager résidentiel ou site. Cette zone de Boundary Road située à environ 400 m des installations de SRBT correspond approximativement au *groupe critique* exposé de façon maximale au tritium rejeté par ces installations. Par définition, ce groupe critique est un groupe relativement homogène de personnes ayant reçu la plus forte dose attribuable aux rejets des installations en raison de leur lieu d'habitation, de leur style de vie, etc. Les échantillons de rayonnement naturel ont été obtenus du même jardin potager de Russell (Ontario) ces deux années; on a également recueilli quelques fruits de jardin à deux autres sites de référence en 2007 (Golden Lake [Ontario]; Hay River [Territoires du Nord-Ouest]).

Tous les échantillons de végétation étaient exempts de saleté et n'ont pas été lavés. La concentration de tritium dans l'eau libre (HTO ou eau tritiée) présente dans les tissus a été mesurée au moyen d'un compteur à scintillation liquide à des laboratoires indépendants pour effectuer des comparaisons avec les données de surveillance de la conformité de SRBT (2005, CCSN; 2007, Université d'Ottawa). Le tritium dans l'eau libre est le tritium incorporé à l'eau qu'on peut extraire au moyen de techniques comme l'évaporation ou la lyophilisation. Les limites de détection de l'HTO en 2005 au laboratoire du CCSN n'étaient pas suffisamment basses pour permettre de quantifier les concentrations naturelles dans les produits maraîchers de Russell, mais étaient suffisamment basses à cette fin au laboratoire de l'Université d'Ottawa en 2007 (1 Bq/L).

En 2007, on a mesuré la concentration d'une autre forme de tritium dans les produits maraîchers par la spectroscopie de masse de l'hélium produit. Les analyses ont été effectuées au laboratoire des gaz nobles MAPL du Département des sciences de la Terre de l'Université d'Ottawa. Cette technique de pointe consiste à capter dans un contenant hermétique l'hélium produit par la désintégration du tritium. Dans les matières organiques comme les végétaux, le tritium dont on mesure la concentration au moyen de cette technique est appelé tritium lié à des composés organiques (OBT). C'est le tritium présent dans des composés comme les glucides, les graisses et les protéines. Les échantillons utilisés pour déterminer les concentrations d'OBT ont été lavés avec de l'eau exempte de tritium et les résultats représentent par conséquent l'OBT « non échangeable », c'est-à-dire le tritium fortement lié aux atomes de carbone. Selon les

concentrations de tritium mesurées dans une eau de lavage représentative, la concentration d'OBT total présente dans les échantillons aurait également compris 5 % d'OBT « échangeable » (le tritium lié à des atomes d'azote, d'oxygène, de soufre, etc.).

En 2007, le personnel de la CCSN a obtenu six échantillons de sols similaires provenant de jardins potagers où des produits maraîchers avaient été recueillis, et quelques échantillons représentatifs de fruits sauvages provenant de sites naturels à Pembroke. On a utilisé la spectroscopie de masse de l'hélium produit pour mesurer l'activité du tritium restant dans des sols secs après extraction de toute l'eau qu'il contenait. Cette mesure peut représenter les concentrations de tritium incorporé aux constituants organiques et minéraux du sol et, par conséquent, n'est pas exactement l'équivalent de la concentration d'OBT mesurée dans les produits maraîchers.

On a résumé les concentrations de tritium mesurées par différents laboratoires à des fins de comparaison par type de produit maraîcher (légumes cultivés au-dessus du sol et dans le sol, fruits) et en fonction de la distance des cheminées. À ce niveau de détail, les résultats ne seront fournis que pour quelques articles pour chaque lieu ou type de matière (voir l'appendice pour la totalité des données brutes, lesquelles sont classées par endroit pour faciliter une analyse plus poussée; on peut obtenir les rapports de laboratoire originaux sur demande auprès de la CCSN).

Les données sur les concentrations naturelles recueillies en Ontario par Bruce Power et OPG en 2005 et 2007 (réfs. 4 et 5) sont également résumées pour l'interprétation des résultats. On trouvera des renseignements plus détaillés sur les concentrations de tritium dans de nombreux produits provenant de milieux voisins des installations nucléaires au Canada dans un document récent de la CCSN, *Rejets de tritium et conséquences sur les doses au Canada en 2006* (réf. 1).

2. RÉSULTATS

2.1 Le tritium dans l'eau libre (HTO) des végétaux

Les produits maraîchers et les fruits des jardins potagers contiennent de grandes quantités d'eau et c'est la raison pour laquelle l'HTO est la composante du tritium la plus surveillée. L'activité de l'HTO dans des produits maraîchers de Russell (Ontario) et d'autres sites de référence mesurait en moyenne 2 Bq/L (plage : 1–5 Bq/L). La plus faible activité a été mesurée dans des cerises de Virginie provenant des Territoires du Nord-Ouest. Bruce Power et OPG ont mesuré des activités naturelles comparables de l'HTO dans des mélanges de légumes et certains fruits à cinq sites éloignés de sources de tritium en Ontario (Lakefield, Bancroft, Sarnia, Barrie et Picton) en 2005 et 2007. Les activités variaient de 2 à 6 Bq/L, sans lien apparent entre les années ou les sites (réfs. 4 et 5).

L'activité de l'HTO dans les produits maraîchers en fonction de la distance par rapport aux installations de SRBT est présentée à la figure 1A (2005, taille de l'échantillon : N = 37) et à la figure 1B (2007, N = 42). Au cours de la période où SRBT ne traitait pas le tritium, soit en 2007, l'activité de l'HTO dans les produits maraîchers près des installations était approximativement 100 fois plus faible que durant la période de traitement en 2005. Pour ces deux années, l'activité de l'HTO décroissait considérablement avec la distance par rapport aux installations de SRBT. L'activité était voisine de l'activité naturelle du site le plus éloigné, les échantillons ayant été prélevés à une distance de 2,7 km des installations en 2007 (13 Bq/L). Ce site se trouvait dans l'un des principaux secteurs à l'abri du vent au sud-est des installations (réf. 3). À cet endroit, l'activité de l'HTO était environ dix fois plus élevée en 2005 (123 Bq/L, N = 6). Les activités de l'HTO mesurées par la CCSN, SRBT et l'Université d'Ottawa d'une année à l'autre et d'un site à l'autre étaient comparables en grandeur et en distribution générale (voir les figures 1A et 1B). Les activités de l'HTO étaient également comparables dans les légumes cultivés au-dessus du sol et dans le sol. Ce n'est que dans les fruits (principalement les pommes) qu'on a occasionnellement mesuré une activité de l'HTO plus élevée que dans les autres végétaux.

Figure 1A : Activité du tritium dans l'eau libre (HTO : Bq/L eau) dans des produits maraîchers cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et dans divers fruits recueillis à plusieurs distances différentes d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2005. Les analyses ont été effectuées par SRBT et la CCSN sur des échantillons différents provenant de sites semblables. Les échantillons des sites de référence ne sont pas représentés parce que les limites de détection ne permettaient pas de quantifier l'activité du tritium à ces sites en 2005.

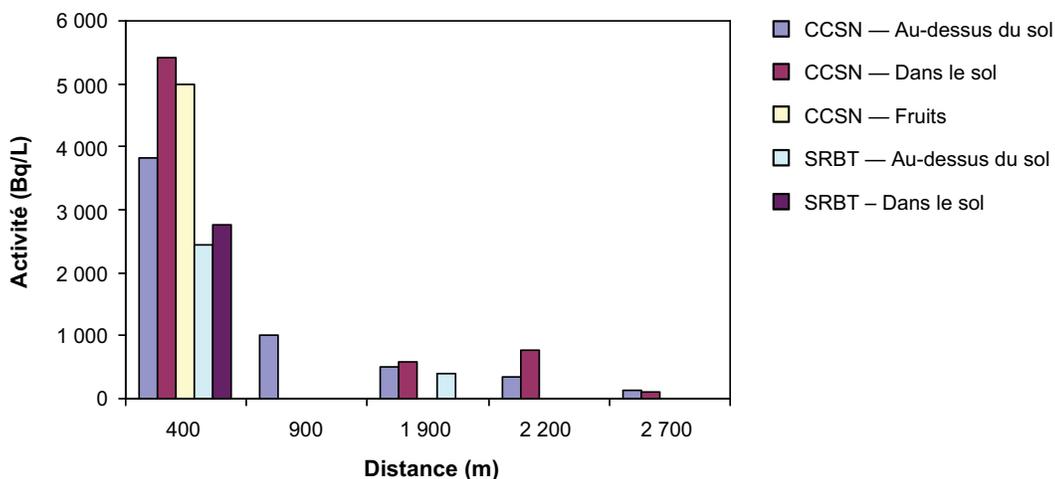
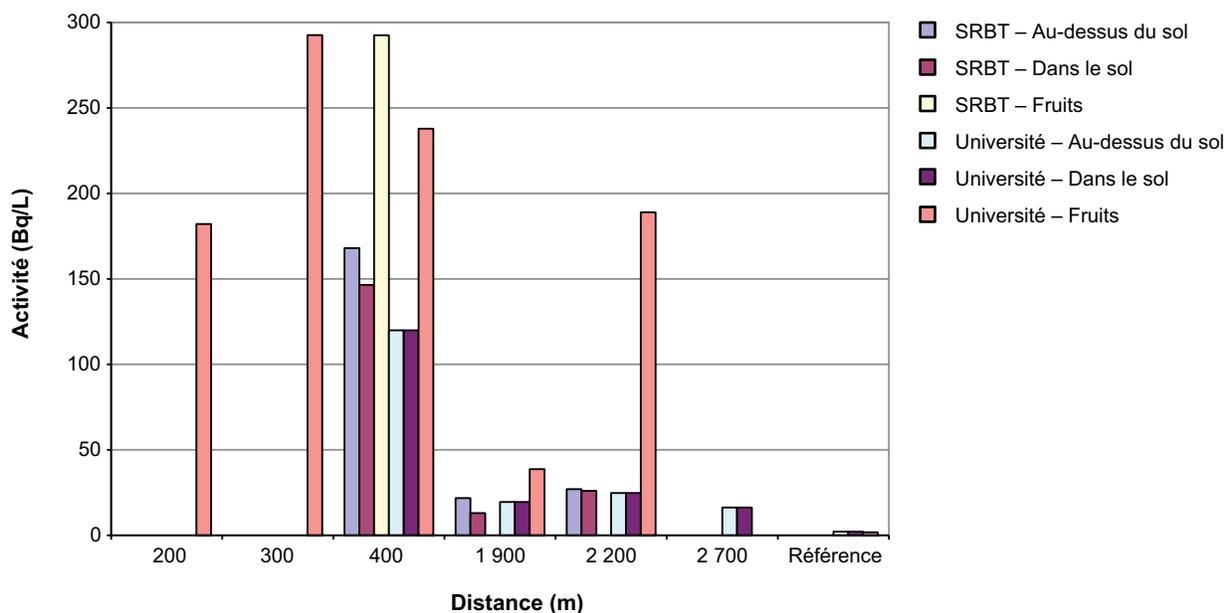


Figure 1B : Activité du tritium dans l'eau libre (HTO : Bq/L eau) dans des produits maraîchers cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et dans divers fruits recueillis à plusieurs distances différentes d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 et à quelques sites de référence. Les analyses ont été effectuées par SRBT et l'Université d'Ottawa sur des échantillons différents provenant de sites semblables.



2.2 Le tritium lié à des composés organiques (OBT) dans les végétaux

Le tritium lié à des composés organiques (OBT) représente une quantité variable du tritium présent dans différentes matières organiques et dépend de leurs compositions individuelles (réfs. 7 à 9). On en mesure l'activité dans des échantillons séchés; aux fins de comparaison avec les données sur l'HTO, cette activité est exprimée en *équivalents eau (ée)*. Pour calculer la dose, il faut connaître le poids frais (le poids humide avant que l'échantillon ne soit séché pour fins d'analyse). L'activité de l'OBT en Bq/L *ée* est l'activité dans l'eau (H₂O + HTO) obtenue après la conversion de toute la matière organique en constituants simples (ce qui se fait généralement par une combustion à très haute température). Le dioxyde de carbone, l'oxyde d'azote, les minéraux à l'état de traces, etc. sont autant d'exemples d'autres produits de combustion qui ne contiennent pas de tritium ou d'hydrogène.

En théorie et sur la base d'études de laboratoire sur la conversion de l'HTO en OBT dans les végétaux, l'activité de l'OBT en unités *ée* dans les végétaux devrait être approximativement 0,8 fois l'activité de l'HTO si ces deux activités sont exprimées par rapport à un même niveau de référence (réf. 7). Cela est principalement dû au fait que les atomes de tritium, qui sont plus lourds, réagissent plus lentement que les atomes d'hydrogène dans les processus métaboliques. Cependant, la plage des rapports observés est vaste, avec de fréquentes occurrences de rapports OBT/HTO très supérieurs à 0,8. Par exemple, le rapport OBT/HTO était de 1,7 dans six échantillons de produits maraîchers provenant de Perth (Ontario) dans une étude antérieure de la CCSN (8,2 Bq/L *ée* comparativement à 4,9 Bq/L, réf. 8). Des rapports voisins de un (1) étaient également courants dans les produits de supermarché achetés à Ajax et à Pickering.

Les programmes de surveillance de la conformité de quelques-uns des titulaires de permis de la CCSN n'ont que récemment entrepris de mesurer l'activité de l'OBT. En 2005 et en 2007, OPG a analysé des échantillons de mélanges de produits maraîchers à des sites de référence situés en Ontario et observé une activité allant de 19 à 37 Bq/L *ée*, soit beaucoup plus élevée que prévu comparativement à 2 à 5 Bq/L pour l'HTO (réf. 5). La raison de la forte activité de l'OBT dans les zones de référence n'est pas encore bien comprise (réf. 9). Ce phénomène fait l'objet de travaux continus par le Groupe des propriétaires de CANDU. Plus de renseignements sur les rapports OBT/HTO seront publiés dans un prochain rapport de la CCSN sur des sols et des végétaux prélevés près de quatre sites nucléaires en Ontario en 2008 et 2009.

La figure 2 présente l'activité de l'OBT pour 25 échantillons de végétaux recueillis en 2007. L'activité en fonction de la distance est raisonnablement comparable à celle de l'HTO des figures 1A et 1B, mais avec certaines exceptions importantes. Par exemple, on a observé une activité anormalement élevée de l'OBT dans des pommes prises sur un arbre sauvage dans un champ près d'une habitation située à 2 200 m à l'ouest-nord-ouest des installations de SRBT (4 920 Bq/L *ée*). Il n'y a pas d'explication observable pour cette activité comparativement à celle mesurée dans des produits maraîchers provenant d'un jardin potager voisin. On a observé

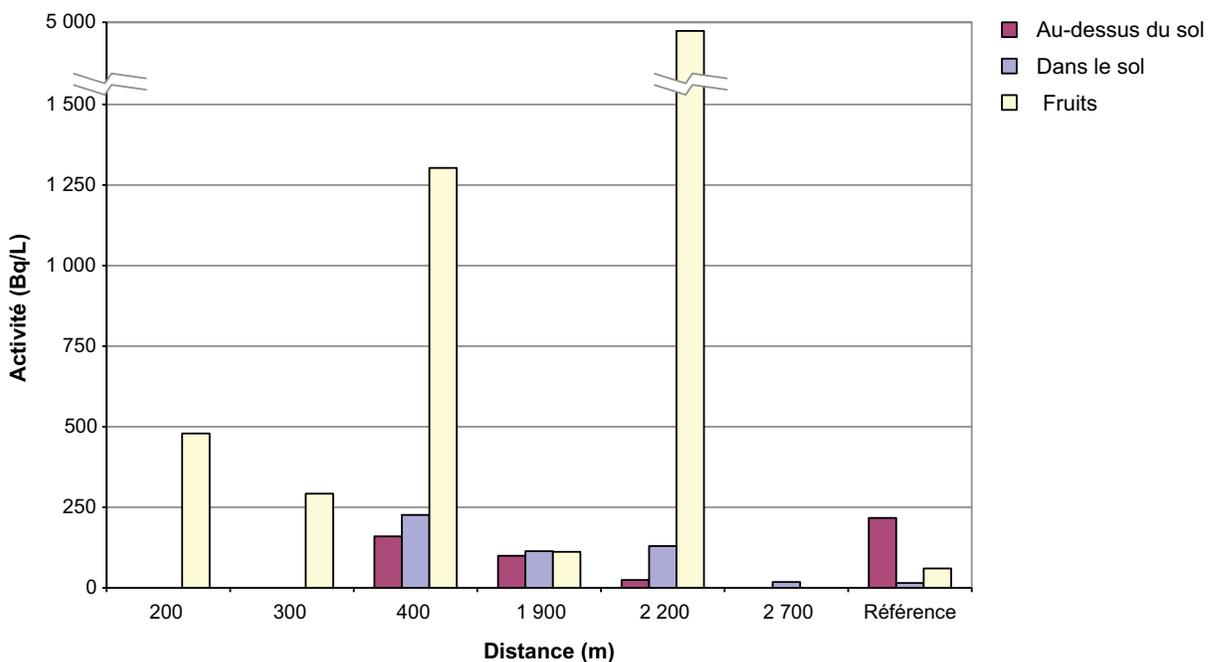
de grandes variations dans l'activité de l'OBT dans d'autres pommes provenant d'arbres de jardins résidentiels à quatre sites situés entre 300 et 400 m des installations de SRBT (51, 343, 524, 3 320 Bq/L *ée*). L'activité la plus basse a été mesurée dans les pommes provenant d'un jeune arbre planté dans une nouvelle subdivision et un sol relativement nouveau; les autres pommes provenaient toutes de vieux pommiers de sols indigènes. Les concentrations de tritium des eaux souterraines de certaines zones voisines des installations de SRBT sont beaucoup plus élevées que celles des sols de surface. Par conséquent, les fruits provenant de vieux arbres avec des racines profondes peuvent refléter les conditions passées dans les eaux souterraines peu profondes plutôt que les conditions actuelles dans les sols de surface. On a également observé une grande activité de l'OBT dans des pommes en provenance de Golden Lake (144 Bq/L *ée*, arbre jeune dans un sol relativement nouveau), mais non dans des pommes provenant de Russell (1,5 Bq/L *ée*, vieil arbre dans un sol indigène).

Dans l'ensemble, l'activité de l'OBT ne dépassait pas celle de l'HTO par plus d'un facteur de 2 dans environ la moitié des échantillons. Dans de nombreux fruits et dans des produits maraîchers prélevés à des sites de référence, l'activité de l'OBT était souvent visiblement plus élevée que celle de l'HTO. On a observé des rapports OBT/HTO particulièrement élevés (> 10) dans les trois légumes cultivés au-dessus du sol qui ont été recueillis à Russell, et dans des cerises de Virginie provenant des Territoires du Nord-Ouest (vieil arbre dans un jardin résidentiel).

Dans une étude antérieure de la CCSN par Brown (1995) (réf. 8), le rapport OBT/HTO observé dans des produits cultivés ou achetés en Ontario était de $1,25 \pm 0,75$ pour des concentrations exprimées en Bq/L *ée*, ce qui correspond à environ $0,4 \pm 0,9$ pour des concentrations exprimées en Bq/kg poids frais. Cette étude portait sur plusieurs sites près de sources de tritium ainsi que sur des produits maraîchers cultivés ou achetés dans quelques sites éloignés d'installations nucléaires.

Pour tous les produits maraîchers cultivés au-dessus du sol et dans le sol qui ont été recueillis à Pembroke, les rapports OBT/HTO étaient de $2,82 \pm 2,67$ (N = 10, rapport en Bq/L *ée*) ou de $0,41 \pm 0,31$ (rapport en Bq/kg poids frais). Bien que le rapport Bq/L *ée* pour les produits maraîchers semble élevé, la plage des valeurs observées était comparable à celle observée par Brown (1995) (0,4–9,2 *c.* 0,3–4,2). Les rapports dans les fruits provenant de Pembroke (des pommes surtout) étaient plus élevés que dans les autres produits maraîchers, notamment $6,23 \pm 9,05$ (N = 8, rapport en Bq/L *ée*) ou $1,38 \pm 2,11$ (rapport en Bq/kg poids frais). Aux sites de référence, les rapports correspondants pour tous les produits étaient très élevés, mais extrêmement variables : 48 ± 69 (N = 7, rapport en Bq/L *ée*) ou $1,69 \pm 3,01$ (rapport en Bq/kg poids frais). Certains rapports OBT/HTO étaient plus élevés que prévu, mais l'activité de l'OBT dans les échantillons de produits maraîchers était généralement faible (voir la figure 2). Les données sur l'OBT sont incluses dans les calculs de dose de la section 4 et dans le sommaire du tritium total dans les produits maraîchers joint plus loin dans le document (voir la figure 4).

Figure 2 : Activité du tritium lié à des composés organiques (OBT, en Bq/L équivalents eau) dans des produits maraîchers cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et dans divers fruits prélevés à des distances diverses d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 et à quelques sites de référence. Les analyses ont été effectuées par l'Université d'Ottawa.



3. RELATIONS ENTRE LES SOURCES D'HTO DANS LES MILIEUX ENVIRONNEMENTAUX

3.1 L'HTO dans l'air comparativement à l'HTO dans les végétaux et le sol

Dans les méthodes de l'Association canadienne de normalisation (CSA) pour modéliser l'avenir du tritium dans l'environnement (réf. 7), on suppose que l'HTO dans les végétaux et le sol est en équilibre avec l'HTO dans la vapeur d'eau présente dans l'air. Après un ajustement tenant compte de l'humidité absolue pour la région de Pembroke (0,0108 L/m³, réf. 3), on s'attendrait à ce que la mesure sur le terrain des concentrations de tritium reflète les relations suivantes :

- concentration dans l'eau des végétaux = $0,63 \times$ concentration dans la vapeur d'eau dans l'air
- concentration dans l'eau du sol = $0,28 \times$ concentration dans la vapeur d'eau dans l'air

On a utilisé des données provenant de 37 échantillons de produits maraîchers prélevés à des distances entre 200 et 400 m des installations de SRBT pour tester la validité du modèle de la CSA concernant les concentrations dans l'air mesurées à proximité dans le cadre du programme de surveillance de la conformité de SRBT. Les données relatives aux végétaux provenaient de trois laboratoires ayant analysé des échantillons recueillis indépendamment les uns des autres dans les mêmes jardins potagers pour la plupart, en 2005 et 2007.

Dans un rayon de 100 à 150 m des sites d'échantillonnage, SRBT a utilisé des échantillonneurs d'air à diffusion passive pour surveiller l'HTO dans l'air sur une base mensuelle dans le cadre d'un programme de surveillance plus vaste à Pembroke (réfs. 3 et 10). Les concentrations moyennes annuelles dans l'air mesurées par ces échantillonneurs sont en accord (ne dépassant pas un facteur de 2 pour 60 % des valeurs) avec les prévisions basées sur le modèle de la CSA (réf. 10). Ce modèle prévoit des concentrations d'HTO dans l'air en fonction de la distance et de la direction par rapport aux installations de SRBT, en tenant compte des voies de transport dans l'environnement et de la configuration de la dispersion atmosphérique de l'HTO et de l'HT rejetés (réf. 7).

Les concentrations atmosphériques en août étaient celles qui correspondaient le mieux aux périodes d'échantillonnage des végétaux et ont par conséquent été utilisées pour prévoir les concentrations dans les végétaux et le sol. On a mesuré l'activité suivante pour l'HTO :

- 1,24 fois plus élevée que prévu pour les produits maraîchers cultivés au-dessus du sol (N = 15)
- 1,45 fois plus élevée que prévu pour les produits maraîchers cultivés dans le sol (N = 10)
- 2,29 fois plus élevée que prévu pour les fruits (N = 12)

Ce sont là les principales données recueillies dans le cadre des programmes de surveillance de la conformité relativement aux concentrations de tritium dans les végétaux terrestres. Tous les laboratoires ont mesuré des valeurs élevées pour les fruits comparativement aux valeurs prévues (de 1,81 à 2,73 fois plus élevées que prévu).

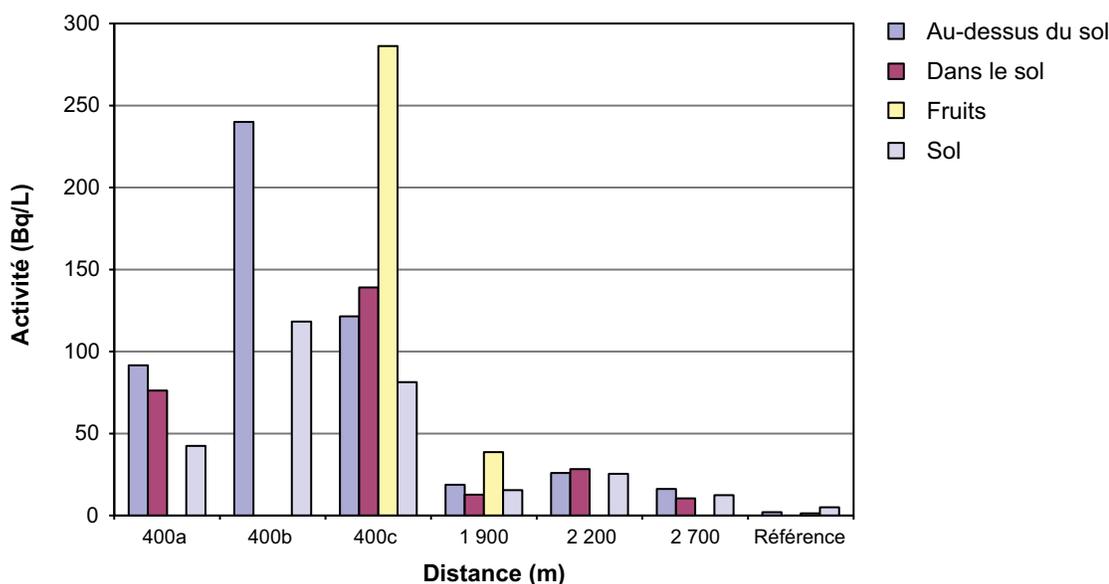
On ne disposait que de trois échantillons de sol correspondants prélevés en 2007 pour tester les prévisions du modèle. Les valeurs mesurées ont été 1,71 fois plus élevées que celles prévues.

3.2 L'HTO dans les végétaux comparativement à l'HTO dans le sol

On a recueilli 31 échantillons de produits maraîchers ainsi que des échantillons de sol dans six jardins potagers à Pembroke (sols indigènes) et à une habitation à Russell (sol local ayant subi plusieurs modifications). À chaque site, on a prélevé un échantillon de sol composite (N = 15) dans la même parcelle de jardin. Ce sols étaient tous du type silteux, limono sableux ou limoneux avec une concentration de matière organique entre 4,0 et 8,8 %, et un pH entre 6,5 et 7,6. On a signalé que de faibles quantités de fumier ou de compost avaient récemment été répandues sur chaque parcelle, lesquelles pour l'essentiel n'ont pas été irriguées.

Les concentrations d'HTO dans les produits maraîchers de jardins potagers et les sols correspondants sont présentées à la figure 3A, chaque grappe de barres représentant une même propriété. Globalement, on a observé une configuration similaire pour la plus faible activité du tritium dans les sols et les produits maraîchers à de plus grandes distances des cheminées de SRBT. L'activité de l'HTO dans les produits maraîchers était généralement plus élevée que dans les sols correspondants, comme le prévoit le modèle de la CSA.

Figure 3A : Activité du tritium dans l'eau libre (HTO : Bq/L eau) dans des produits maraîchers de jardin potager cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et dans des échantillons de sols correspondants prélevés à diverses distances d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 et d'un site de référence à Russell (Ontario). Les données proviennent de produits maraîchers et des sols correspondants prélevés à chaque propriété (des échantillons indépendants ont été analysés par SRBT ou l'Université d'Ottawa).

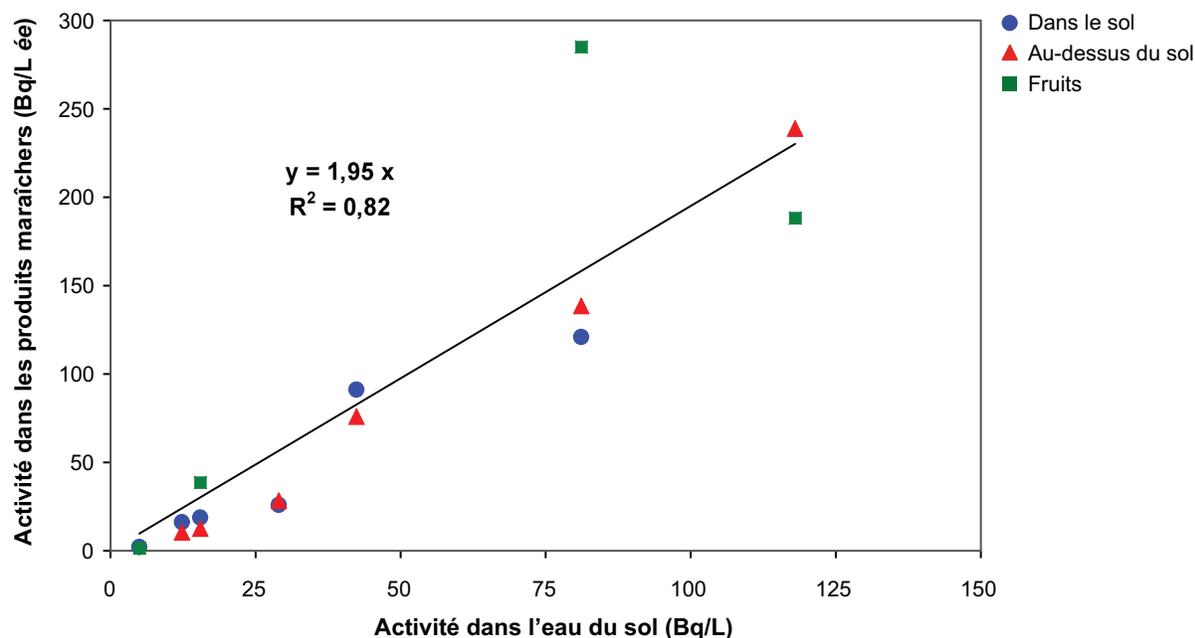


D'après les paramètres du modèle de la CSA présentés à la section précédente, les mesures sur le terrain des concentrations de tritium dans les végétaux et le sol devraient refléter la relation suivante :

- concentration dans l'eau des végétaux = 2,3 fois la concentration dans l'eau du sol

La figure 3B représente la relation observée entre l'activité du tritium dans l'eau des produits maraîchers et l'eau du sol à des fins de comparaison avec les données (moyennes par type de produit maraîcher) de la figure 3A. L'ajustement des valeurs observées aux valeurs prévues était adéquat, 90 % de la variance de l'activité de l'HTO dans les produits maraîchers étant exprimée par une régression linéaire par rapport à l'activité de l'HTO dans le sol. Le rapport observé pour l'activité de l'HTO dans les végétaux comparativement aux sols était de 1,95 (intervalle de confiance à 95 % de 1,6–2,3) comparativement à la prévision du modèle (2,3).

Figure 3B : Relation entre l'activité du tritium en eau libre (HTO : Bq/L eau) dans des produits maraîchers de jardin potager cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et les sols correspondants.



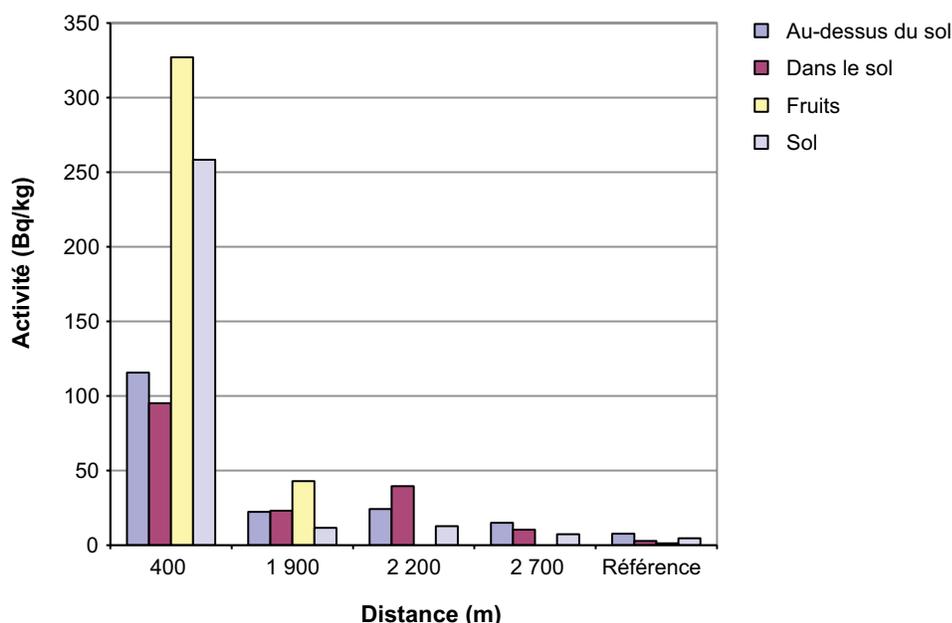
3.3 Le tritium total dans les végétaux comparativement au sol

On a rarement étudié la nature du tritium dans le sol après y avoir enlevé toute l'eau. Les concentrations de tritium mesurées dans les sols secs par la spectroscopie de masse de l'hélium produit peuvent représenter le tritium dans des matières organiques comme les acides humiques (OBT), et une quantité inconnue liée à des constituants minéraux. Les argiles offrent particulièrement une grande possibilité d'accumulation du tritium. Les sols contenaient entre 4 et 22 % d'argile à Pembroke, et 2 % d'argile à Russell.

La figure 4 représente la distribution de l'activité du tritium total dans le sol en fonction de la végétation pour des échantillons correspondants (comme dans la section précédente). Les résultats sont présentés par kilogramme de poids frais (la somme des activités de l'HTO mesurées par un compteur à scintillation liquide, et le reste de l'activité du tritium mesurée par la spectroscopie de masse de l'hélium produit) à des fins de comparaison avec la figure 3A, laquelle ne représente que l'activité de l'HTO dans l'eau extraite.

En ce qui concerne l'HTO, la baisse de l'activité du tritium total lorsque la distance par rapport aux installations de SRBT augmente demeure évidente, ainsi que les concentrations plus fortes de tritium dans les végétaux comparativement au sol. La seule différence importante est la forte concentration du tritium total dans le sol comparativement aux produits maraîchers à une distance de 400 m, mais non comparativement aux fruits. L'une des caractéristiques importantes est qu'on ne constate la présence d'aucun réservoir inhabituel de tritium dans le sol après 16 années d'activités par SRBT. Les quantités et les tendances du tritium total dans le sol et les végétaux sont approximativement comparables à celles de l'HTO lorsqu'on utilise ces deux indicateurs différents de la présence de tritium dans l'environnement. Cela se reflète également dans les statistiques brutes pour chaque type d'échantillon. Les végétaux contenaient 75 % d'HTO en poids frais (de 66 à 94 % selon les sites), ce qui est comparable à la teneur en eau moyenne (86 %). Le sol contenait 32 % d'HTO en poids frais (de 11 à 76 % selon les sites), une valeur également comparable à la teneur en eau moyenne (27 %).

Figure 4 : Activité du tritium total (Bq/kg poids frais) dans des produits maraîchers de jardin potager cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et dans des échantillons de sols correspondants recueillis à diverses distances d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 et d'un site de référence à Russell (Ontario). Toutes les données proviennent d'échantillons comparables prélevés le même jour et analysés par l'Université d'Ottawa.



4. DOSE AUX MEMBRES DU PUBLIC

4.1 Estimation et interprétation de la dose au public

L'exposition à des niveaux élevés de rayonnement ionisant, comme les rayons X ou les particules alpha ou bêta émis par des substances radioactives, augmente la probabilité d'effets sur la santé, notamment de cancer et d'effets héréditaires. La *dose* résultant d'une exposition au rayonnement est une mesure de la probabilité d'effets sur la santé résultant de l'exposition. Comme hypothèse prudente, on ne présuppose aucune dose seuil pour ces effets. La dose est exprimée en sieverts ou, plus couramment, en millièmes de sievert (millisieverts, ou mSv). Les effets d'une exposition aux particules bêta émises par le tritium sont semblables à ceux des autres sources de rayonnement et ont été largement examinés et discutés dans un rapport récent de la CCSN intitulé *Tritium : Effets sur la santé, dosimétrie et radioprotection* (réf. 11).

À cause de la radioactivité naturelle, nous recevons en moyenne 2 mSv chaque année par suite de l'exposition au radon, aux rayons cosmiques et aux matières radioactives naturelles présentes dans la croûte terrestre et dans nos organismes (par exemple, le carbone 14 et le potassium 40). La dose résultant de la radioactivité naturelle varie selon les endroits et peut atteindre plusieurs mSv par année. La réglementation de la CCSN limite à 1 mSv par année (en plus de la dose provenant de sources naturelles) la dose que tout membre du public peut recevoir d'une installation ou d'une activité autorisée.

La dose au public attribuable aux émissions aériennes des installations nucléaires n'est qu'une estimation et est trop faible pour être mesurée directement. Les estimations sont basées surtout sur la surveillance environnementale effectuée par les titulaires de permis pour démontrer qu'ils respectent la limite de dose au public imposée par la CCSN. Les programmes de surveillance comprennent des mesures représentatives des radionucléides ou de la radioactivité dans l'air et dans l'eau ainsi que dans les aliments cultivés près des installations nucléaires. En combinant ces données avec l'information sur les activités et les habitudes alimentaires des personnes habitant la région, on peut estimer les doses au public avec confiance.

Les titulaires d'un permis délivré par la CCSN calculent la dose au public pour un *groupe critique* et non pour une personne réelle. Par définition, le groupe critique est un groupe raisonnablement homogène de personnes qui, en raison de leur lieu d'habitation, de leur style de vie, etc. reçoivent la dose la plus élevée attribuable aux rejets d'une installation. Afin de calculer la dose à un membre du groupe, on définit une *personne représentative* comme un type d'individu qui recevra probablement la dose la plus élevée. Les titulaires de permis de la CCSN utilisent des études et des enquêtes spécifiques aux sites pour déterminer les groupes critiques potentiels se trouvant près de leurs installations aux fins d'une analyse détaillée. Dans certains cas, le groupe critique n'est qu'hypothétique parce que personne ne vit dans les conditions spécifiées. Les hypothèses concernant le lieu d'habitation et le style de vie des membres du groupe critique sont choisies de façon à donner des estimations élevées prudentes de la dose, offrant de plus grandes marges de sécurité pour la délivrance de permis aux installations. Par conséquent, les membres du public qui demeurent près des installations nucléaires sont souvent moins exposés qu'un groupe critique quelconque. Ces nombreuses

caractéristiques de la surveillance réglementaire de la limite de dose au public doivent être prises en considération lorsqu'on compare les estimations de dose de différents types d'installation dans des milieux différents (réf. 1). Par exemple, les installations de traitement de radionucléides, dont celles de SRBT qui traitent le tritium, ne disposent pas de superficies autorisées aussi grandes que celles des centrales nucléaires. Les personnes qui vivent près d'installations nucléaires comme celles de SRBT peuvent par conséquent être plus facilement comparées à la personne représentative dans un groupe critique modélisé.

Les principales caractéristiques du groupe critique qui influent sur l'estimation de la dose sont l'âge et le régime alimentaire ainsi que les sources des aliments et de l'eau potable. L'exposition peut dépendre grandement de la direction du vent dominant et de la distance du point de rejet. Les habitudes culturelles sont également importantes pour déterminer l'exposition avec précision, par exemple la cuisine locale, les potagers résidentiels, la pêche récréative, la chasse, etc. L'ingestion de l'eau et des aliments est souvent la principale voie environnementale qui détermine la dose alors que la distance de la source est souvent le facteur principal déterminant la dose au groupe critique. Une information réaliste est par conséquent requise sur les sources d'eau potable (comme les usines ou les puits d'approvisionnement en eau), les aliments (cultivés à la maison ou achetés d'un marché local) et la consommation de poisson, de viandes animales et de lait contaminés. Les taux de consommation et les sources d'eau potable et d'aliments ainsi que les taux d'inhalation sont les principaux paramètres qu'il pourrait être nécessaire de spécifier de différentes façons afin de déterminer les expositions maximales. Par exemple, un nourrisson qui grandit dans une ferme laitière voisine d'une installation qui rejette du tritium peut boire du lait local, tandis qu'un autre nourrisson peut boire du lait de formule préparé avec l'eau d'un puits local. Lorsqu'on ne dispose pas de données spécifiques au site local, on utilise les paramètres du modèle pour calculer la dose de différentes façons afin de déterminer les groupes critiques potentiels. Les paramètres proviennent de sources internationales et nationales crédibles et reconnues, comme la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et la CSA.

4.2 Dose au public près des installations de SRBT à Pembroke en 2007

On a mis à jour en septembre 2006 (réf. 3) les nombreux paramètres spécifiques au site et théoriques (par exemple une étude des habitudes alimentaires spécifiques au site) nécessaires pour calculer une dose prudente appropriée aux personnes représentatives de Pembroke découlant des opérations de SRBT. Cette mise à jour a suivi le modèle des voies d'entrée dans l'environnement, qui a ensuite été adopté par la CSA (réf. 7). On a donc utilisé l'analyse de 2006 pour estimer la dose aux membres du public.

D'après les résultats des enquêtes présentés dans les sections précédentes, les activités mesurées dans les articles alimentaires ont permis d'estimer les doses de tritium aux membres du public concernant l'HTO et l'OBT pour les légumes cultivés au-dessus du sol et dans le sol ainsi que les fruits. Les données portaient sur les produits cultivés de sites résidentiels à différentes distances des installations de SRBT et d'un site de référence éloigné de Pembroke. Les doses présentées dans le présent rapport sont basées sur l'hypothèse que tous les légumes cultivés au-dessus du sol et dans le sol ainsi que les fruits qui ont été consommés proviennent tous de

potagers résidentiels. Une enquête récente spécifique au site a établi que 29 % des fruits et légumes consommés provenaient de potagers résidentiels, le reste provenant de sources non contaminées dont les produits ont été mis sur le marché (réf. 3). Les taux de consommation annuels ont été obtenus à partir du modèle de la CSA pour un apport calorique moyen ou d'une limite maximale de 95 % (par exemple, 186,9 kg de fruits par année pour un adulte masculin, ce qui représente un « adulte » de façon prudente; 97,1 kg de fruits par année pour un enfant en bas âge). On a calculé la dose en supposant que les résultats pour le mois d'août étaient représentatifs des concentrations de tritium dans les fruits et légumes produits localement durant toute l'année 2007. Il y a à Pembroke une grande exploitation maraîchère située à 1,9 km des installations de SRBT et non loin de l'habitation située à même distance où les produits maraîchers ont été recueillis.

À la lumière de toutes ces données, on a estimé que la dose au public à Pembroke provenant de la consommation de produits maraîchers locaux était inférieure à 0,004 mSv par année pour tous les groupes d'âge en 2007. Cette estimation a tenu compte des concentrations mesurées d'HTO et d'OBT dans divers aliments, concentrations qui ont été pondérées par des facteurs de conversion de dose spécifiques à chaque type de tritium. La dose la plus élevée a été observée au site le plus rapproché des installations de SRBT, soit à une distance de 400 m. Cette dose représente la dose attribuable à la totalité du tritium (de sources naturelles et anthropiques) dans les fruits et légumes cultivés à 400 m des installations de SRBT, en supposant que tous les fruits et légumes consommés annuellement provenaient de cet endroit.

La dose estimée attribuable à la consommation d'aliments provenant de potagers résidentiels en 2007 ne représente qu'une petite fraction de la limite de dose au public de 1 mSv et peut être comparée à la dose annuelle calculée à partir d'échantillons de référence. La dose annuelle de référence du rayonnement provenant du tritium était de 0,0002 mSv. Cette dose représente la dose de rayonnement du tritium dans les fruits et légumes cultivés d'un site de référence, en supposant que tous les fruits et légumes consommés annuellement proviennent de cet endroit.

D'après l'enquête spécifique au site (réf. 3), un maximum de 29 % des fruits et légumes consommés proviennent de potagers résidentiels; on a donc pu obtenir la dose potentielle pour l'alimentation courante d'une personne consommant des produits maraîchers cultivés à des endroits situés à 400 m des installations de SRBT :

- la dose attribuable au tritium dans des produits maraîchers cultivés à une distance de 400 m des installations de SRBT (égale à 29 % de 0,004 mSv), plus
- la contribution du tritium naturel dans les produits maraîchers provenant d'autres sources (égale à 71 % de 0,0002 mSv)

Le calcul serait le suivant :

$$\begin{aligned} & (0,29 \times 0,004) + (0,71 \times 0,0002) \\ & = 0,001 \text{ mSv} + 0,00014 \text{ mSv} \\ & = 0,0011 \text{ mSv} \end{aligned}$$

On remarquera que la dose totale (somme des doses anthropique et naturelle) provenant de la consommation de fruits et de légumes, que ceux-ci proviennent de sites situés près des installations de SRBT ou d'un site de référence, sera supérieure à cette valeur car des radionucléides naturels autres que le tritium, comme l'uranium, le radium et le polonium, contribuent également à la dose. En outre, les doses calculées ici peuvent être comparées à la dose annuelle canadienne moyenne attribuable au rayonnement naturel, qui est d'environ 2 mSv. On remarquera également que les risques pour la santé chez les personnes qui sont chroniquement exposées à des doses de rayonnement d'environ 100 mSv ou moins ne peuvent être distingués des dangers pour la santé (comme le cancer) trouvés dans la population canadienne en général.

La figure 5 résume les contributions relatives de l'HTO et de l'OBT à la dose totale pour diverses distances par rapport à la source des émissions de tritium. La figure 6 représente une ventilation des doses par type d'aliment. Comme on peut le prévoir à partir des tendances des activités de l'OBT et de l'HTO, les rapports entre les aliments à des endroits différents ainsi que certains aliments et certaines formes de tritium ont parfois influé sur la configuration générale. En particulier, certains des rapports OBT/HTO élevés dans les fruits et les échantillons de référence ont eu un effet mesurable sur la configuration générale².

Après avoir adopté les modèles de dose de la CIPR, on a élaboré d'autres modèles afin de déterminer plus exactement la dose attribuable au tritium (réf. 11). Certains d'entre eux tiennent compte du fait que le tritium lié aux nutriments est conservé durant des laps de temps variables dans certains organes et tissus. Ces modèles permettent de déterminer la dose aux adultes seulement. La figure 7 compare les estimations de dose obtenues avec l'un de ces modèles (réf. 12) pour les adultes (R-OBT) comparativement aux estimations obtenues avec les modèles standard de la CIPR pour les adultes, les enfants en bas âge et les nourrissons. L'utilisation de ce modèle amélioré pour les adultes a eu pour résultat d'augmenter l'estimation de la dose de 30 à 70 % environ selon la proportion d'OBT dans les aliments consommés. La dose est cependant restée faible.

² Dans le calcul de la dose totale pour cet endroit, nous n'avons pas inclus les données pour les pommes sauvages d'une activité de 4 920 Bq/L ée attribuable à l'OBT qui ont été cueillies à une distance de 2,2 km parce qu'elles ont été cueillies sur un arbre se trouvant dans un champ voisin et non dans le jardin résidentiel. On a plutôt utilisé la valeur la plus élevée pour les légumes de jardin provenant de cet endroit. Si la concentration de tritium dans ces pommes sauvages représentait la concentration de tritium dans tous les fruits et légumes consommés par une personne dans une année (environ 550 kg pour les adultes et 200 kg pour les enfants en bas âge), la dose annuelle à cet endroit serait d'environ 0,005 mSv (adultes) et 0,007 mSv (enfants en bas âge). La consommation de 1 kg de ces pommes donnerait une dose d'environ 0,00003 mSv (enfants en bas âge).

Figure 5 : Dose d'ingestion des adultes (consommation de fruits et de légumes locaux) selon le type de tritium (HTO ou OBT) à diverses distances d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence. Pour les distances, les données sur le tritium proviennent d'échantillons de potagers résidentiels qui ont été prélevés le même jour en août 2007 et analysés à l'Université d'Ottawa.

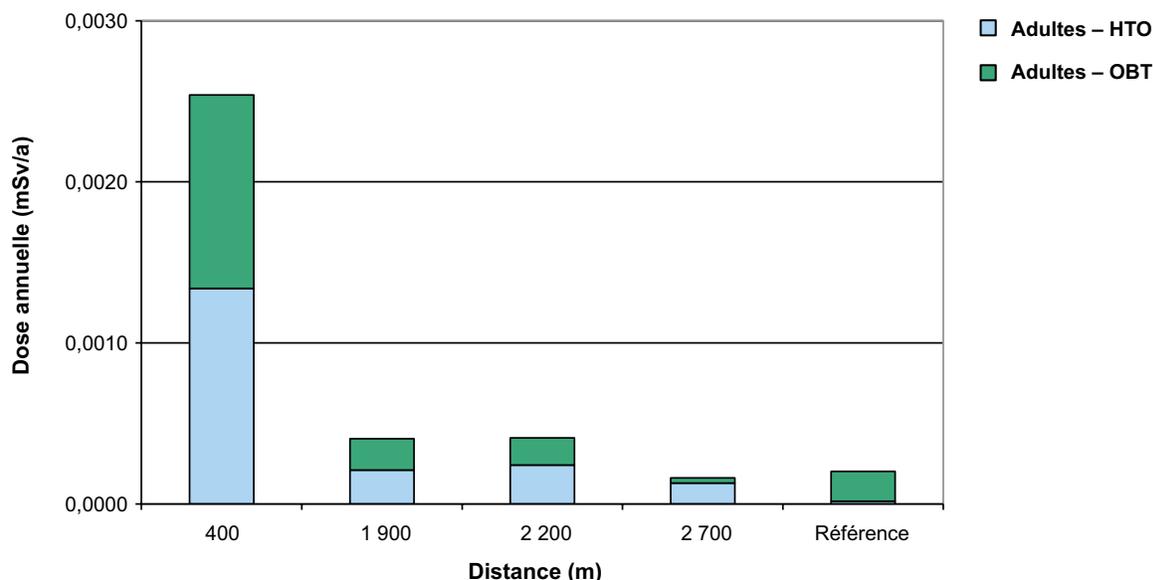


Figure 6 : Dose d'ingestion des adultes par type d'aliment pour des légumes cultivés au-dessus du sol et dans le sol, et des fruits à diverses distances d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence. Pour les distances, les données sur le tritium proviennent d'échantillons de potagers résidentiels qui ont été prélevés le même jour en août 2007 et analysés à l'Université d'Ottawa.

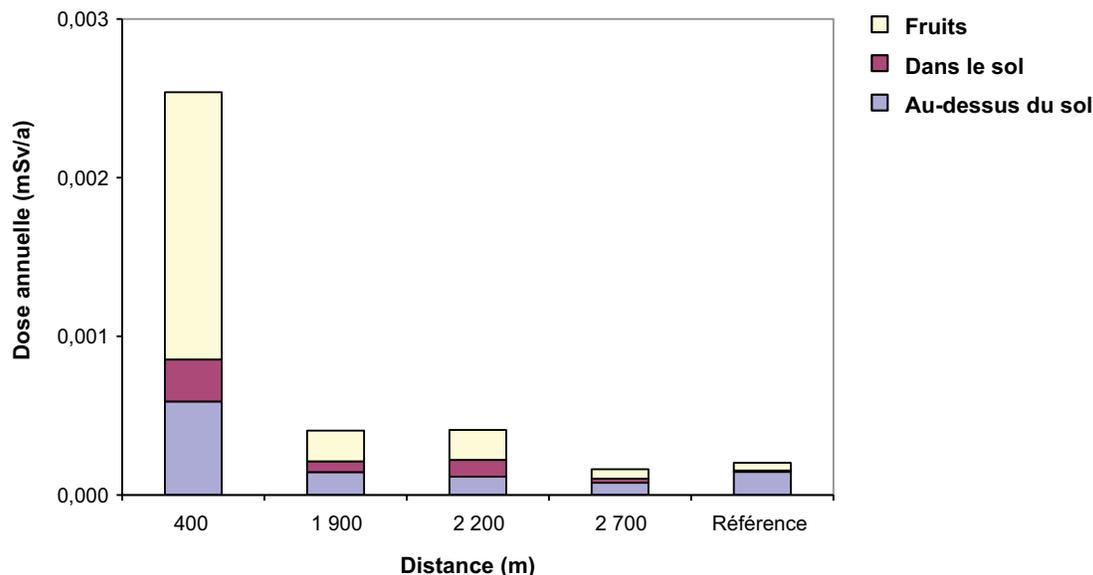
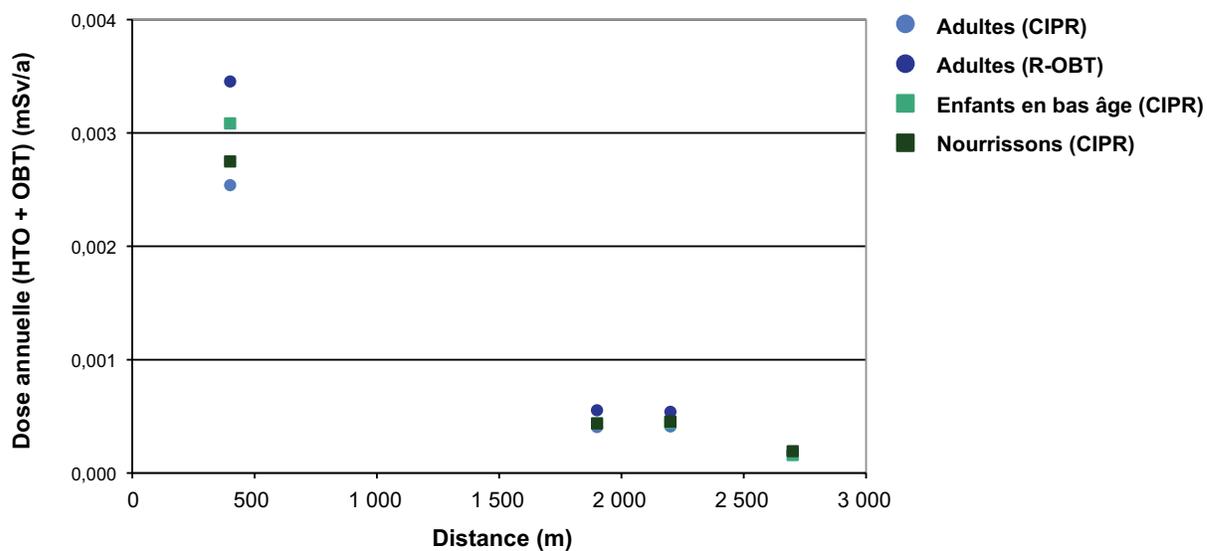


Figure 7 : Dose d'ingestion totale estimée par différentes méthodes pour les adultes et les enfants à diverses distances d'une source atmosphérique de tritium aux installations de SRBT à Pembroke en 2007 comparativement à la dose d'un site de référence. Pour les distances, les données sur le tritium proviennent d'échantillons de potagers résidentiels qui ont été prélevés le même jour en août 2007 et analysés à l'Université d'Ottawa.



5. RÉSULTATS PRINCIPAUX

Produits maraîchers et sols

- L'activité du tritium dans l'eau (HTO) présente dans des produits maraîchers cultivés près des installations de SRB Technologies (SRBT) en 2007 était environ 20 fois plus élevée que l'activité naturelle du tritium; dans l'ensemble, après l'arrêt des opérations de SRBT, l'activité du tritium était environ 100 fois plus faible que durant la période d'exploitation à plein régime en 2005.
- L'activité totale du tritium dans les produits maraîchers et le sol s'atténuait considérablement avec la distance par rapport aux cheminées de SRBT et s'approchait de l'activité naturelle à une distance d'environ 3 km.
- Les premières mesures de l'activité du tritium lié à des composés organiques (OBT) dans des échantillons de produits maraîchers et de sols de surface prélevés à Pembroke en 2007 n'ont révélé aucune accumulation importante de tritium attribuable aux rejets antérieurs, mais ont révélé des rapports OBT/HTO élevés.
- En ce qui concerne l'HTO, les résultats de la CCSN et de l'Université d'Ottawa concordent généralement avec les données sur la surveillance de la conformité déclarées par SRBT.
- Dans l'ensemble, l'activité du tritium dans les produits maraîchers et le sol est conforme aux attentes, sur la base des rejets déclarés par SRBT et des résultats de la modélisation du tritium dans l'environnement.

Dose au public

- À la lumière des mesures d'HTO et d'OBT dans les produits maraîchers de potagers résidentiels, la dose au public attribuable à la consommation de produits locaux était inférieure à 0,004 mSv par année, c'est-à-dire une faible fraction de la limite de dose annuelle du public de 1 mSv.
- Cette dose peut être comparée aux doses annuelles attribuables au tritium dans les produits maraîchers (0,0002 mSv), calculées à partir d'échantillons prélevés de sites de référence.

6. CONCLUSIONS

Dans le cadre de travaux de recherche financés par la CCSN, on a mesuré les concentrations de tritium dans les légumes et les fruits cultivés de potagers locaux situés à Pembroke en 2005 et 2007, et ces concentrations concordaient avec celles prévues. Aucune accumulation importante de tritium dans les sols de surface n'a été relevée après 16 années de rejets de tritium par les installations de SRBT. Les premières mesures de l'activité de l'OBT dans des fruits cueillis à Pembroke et dans plusieurs produits de sites de référence ont révélé une diversité beaucoup plus grande que prévue dans les rapports OBT/HTO.

La dose attribuable à l'ingestion de tritium contenu dans les fruits et légumes cultivés à Pembroke baisse fortement avec la distance entre le potager et les installations de SRBT. En 2007, la dose annuelle la plus élevée était d'environ 0,004 mSv, soit bien en dessous de la limite de dose annuelle du public de 1 mSv par année, et plusieurs ordres de grandeur en dessous des doses connues pour avoir des effets sur la santé.

RÉFÉRENCES

- [1] CCSN, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2009. *Rejets de tritium et conséquences sur les doses au Canada en 2006*. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Ottawa, Canada. http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads_fre/CNSC_Release_and_Dose_fr.pdf
- [2] CCSN, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2010. *Évaluation des installations de manipulation du tritium*. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Ottawa, Canada. http://www.nuclearsafety.gc.ca/fr/readingroom/healthstudies/tritium/evaluation_of_facilities_handling_tritium.cfm
- [3] Ecometrix Inc., 2006. *Derived Release Limits (DRLs) for the SRB Pembroke Facility – 2006*, Appendix C, September 2006, Ecometrix Reference # 05-1248.01
- [4] Bruce Power, 2005 et 2007. *Annual Summary and Assessment of Radiological Environmental Monitoring Data*. <http://www.brucepower.com/pagecontent.aspx?navuid=142>
- [5] Ontario Power Generation, 2005 et 2007. *Results of Radiological Environmental Monitoring Programs*. <http://www.opg.com/news/reports/?path=Nuclear%20Reports%20and%20Publications>
- [6] SRB Technologies (Canada) Inc., 2005 et 2007. Annual Compliance Reports. <http://www.betalight.com/pip/index.htm>
- [7] CSA, Canadian Standards Association, 2008. *Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities*. Canadian Standards Association N288.1-08, Mississauga, Canada
- [8] Brown, R.M., 1995. *The measurement of tritium in Canadian food items*. Atomic Energy Control Board Report, Ottawa, Canada, INFO-0499
- [9] Kim, S.B. and P.A. Davis, 2008. *OBT/HTO ratios in plants*. CANDU Owners Group Inc., Toronto, Canada, COG-06-3053-R1
- [10] CCSN, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2010. *Étude sur le devenir environnemental du tritium dans l'atmosphère*, Commission canadienne de sûreté nucléaire, Ottawa, Canada. http://www.nuclearsafety.gc.ca/fr/readingroom/healthstudies/tritium/environmental_fate_of_tritium_in_the_atmosphere.cfm
- [11] CCSN, Commission canadienne de sûreté nucléaire, 2010. *Tritium : Effets sur la santé, dosimétrie et radioprotection*. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Ottawa, Canada
- [12] Richardson, R. and Dunford D.W., 2003. A biochemical-based model for the dosimetry of dietary organically bound tritium. *Health Physics* 85(5): 523-538

SIGLES ET ACRONYMES

ALARA	« le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre »
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CSA	Association canadienne de normalisation
HTO	eau tritiée
OBT	tritium lié aux composés organiques
OPG	Ontario Power Generation
SRBT	SRB Technologies (Canada) Inc.

GLOSSAIRE

À des fins de simplicité, certains termes sont définis en langage clair et peuvent différer des définitions normalisées.

becquerel	Unité d'activité qui mesure la vitesse à laquelle se font les transformations dans une substance radioactive. 1 Bq = 1 transformation ou désintégration par seconde. 1 GBq = 10 ⁹ Bq transformations ou désintégrations par seconde.
groupe critique	Groupe homogène de membres du public constitué par les personnes les plus susceptibles de recevoir les plus fortes doses d'exposition aux matières radioactives. Le concept de groupe critique est le même pour tous les titulaires de permis de la CCSN au Canada, mais chaque groupe critique possède sa description particulière, certaines étant plus prudentes que d'autres. La définition est basée sur l'analyse des rejets de radionucléides et des modes d'exposition spécifiques au site, et sur l'utilisation du sol spécifique au site.
limite de dose	Limite maximale fixée par le <i>Règlement sur la radioprotection</i> pour la dose de rayonnement.
rayonnement ionisant	Particule atomique ou subatomique ou onde électromagnétique ayant suffisamment d'énergie pour produire des ions (c.-à-d. des atomes électriquement chargés par suite de la perte ou de l'acquisition d'électrons) dans la matière qui l'absorbe. Les particules alpha et bêta, le rayonnement gamma, les neutrons et certaines particules constituent des rayonnements ionisants.
tritium	Forme radioactive de l'hydrogène produite naturellement et par l'activité humaine. Le fonctionnement normal des réacteurs nucléaires canadiens produit du tritium. Le tritium émet des particules bêta comme rayonnement ionisant.

APPENDICE

Ce tableau présente les données sur l'activité du tritium dans les produits maraîchers des potagers et certains fruits sauvages, ainsi que dans les sols des potagers. Ces données proviennent de travaux de recherche menés par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) à la fin de l'été en 2005 et 2007; y ont été ajoutées des données de surveillance de la conformité fournies par SRB Technologies (SRBT) en rapport aux activités de traitement du tritium de cette société de Pembroke (Ontario). Les groupements d'entrées correspondent aux mêmes sites dans une année donnée et entre les années. Les données sont présentées dans l'ordre suivant pour chaque année : sol en premier, ensuite légumes cultivés dans le sol et au-dessus du sol, et fruits.

Formules/Abréviations

HTO	eau tritiée exempte de tissus dans les produits maraîchers	<i>c.</i>	eau totale dans le sol
OBT	tritium non échangeable lié à des composés organiques dans les produits maraîchers	<i>c.</i>	tritium total après l'extraction de l'HTO du sol
<i>ée</i>	équivalent eau		
frais	poids frais avant que l'échantillon ne soit séché		

Remarque

Il n'y a aucune entrée pour l'OBT en Bq/L *ée* pour les sols, étant donné que la quantité de tritium mesurée par la spectroscopie de masse de l'hélium produit semble correspondre au tritium des constituants organiques et minéraux des sols. La quantité de tritium présente dans un sol sec est par conséquent comptabilisée dans le poids frais de l'échantillon. Les échantillons de sol contenaient les pourcentages ci-dessous de matière organique :

001A	8,8 %
006A	5,9 %
009A	6,9 %
013A	4,5 %
024A	6,4 %
025A	4,0 %
027A	4,3 %

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT Bq/L	OBT Bq/g frais
Université	001A	14-août-07	Sol	Russell, ON	Référence	5,0	0,00131	Voir remarque	< 0,0034
Université	003A	14-août-07	Courgette	Russell, ON	Référence	2,4	0,00222	460	0,0130
Université	004B	14-août-07	Concombre	Russell, ON	Référence	2,9	0,00274	160	0,0037
Université	005A	14-août-07	Tomate	Russell, ON	Référence	1,2	0,00115	13,2	0,0004
Université	002A	14-août-07	Pomme	Russell, ON	Référence	1,3	0,00121	1,5	0,0001
Université	000A	14-août-07	Patate ¹	Russell, ON	Référence	2,2	0,00178	9,3	0,0011
Université	035D	14-août-07	Pomme ²	Golden Lake, ON	Référence	3,0	0,00260	144	0,0215
Université	TNO	5-oct-07	Cerise de Virginie – production domestique	Hay River, TNO	Référence	1,0	0,00049	19,0	0,0057
Université	026A	14-août-07	Cerise de Virginie – sauvage	Pembroke, ON	200	182	0,10564	475	0,1158
Université	030A	14-août-07	Prune sauvage	Pembroke, ON	300	322	0,23413	233	0,0351
Université	031	14-août-07	Pomme sauvage	Pembroke, ON	300	264	0,14605	343	0,0887

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT <i>é</i> e Bq/L	OBT Bq/g frais
SRBT		31-août-05	Tomate	Pembroke, ON	400	3 143	3,33158		
Université	025A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	400	118	0,01547	Voir remarque	0,4254
SRBT		11-sep-07	Rhubarbe	Pembroke, ON	400	240	0,28080		
Université	024A	14-août-07	Pomme	Pembroke, ON	400	189	0,13506	524	0,0874
CCSN	25	9-août-05	Oignon	Pembroke, ON	400	7 000	7,84000		
SRBT		31-août-05	Oignon	Pembroke, ON	400	2 551	2,85712		
CCSN	29	9-août-05	Patate	Pembroke, ON	400	4 900	6,22300		
CCSN	24	9-août-05	Concombre	Pembroke, ON	400	2 700	2,83500		
CCSN	55	13-sep-05	Concombre	Pembroke, ON	400	4 400	4,62000		
SRBT		31-août-05	Concombre	Pembroke, ON	400	1 087	1,14135		
CCSN	31	9-août-05	Courgette	Pembroke, ON	400	4 300	4,51500		
CCSN	23	9-août-05	Tomate	Pembroke, ON	400	4 800	5,61600		
CCSN	54	13-sep-05	Tomate	Pembroke, ON	400	4 200	4,45200		
SRBT		31-août-05	Tomate	Pembroke, ON	400	2 434	2,58004		
CCSN	32	9-août-05	Pomme	Pembroke, ON	400	5 500	6,43500		
CCSN	56	13-sep-05	Pomme	Pembroke, ON	400	4 200	4,91400		
CCSN	33	9-août-05	Raisin	Pembroke, ON	400	5 400	6,69600		

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT ée Bq/L	OBT Bq/g frais
Université	027A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	400	42,5	0,00713	Voir remarque	0,0453
Université	028A	14-août-07	Oignon	Pembroke, ON	400	76,2	0,06585		
Université	029A	14-août-07	Tomate	Pembroke, ON	400	91,6	0,06919	131	0,0171
CCSN	51	13-sep-05	Patate	Pembroke, ON	400	4 900	6,22300		
SRBT		31-août-05	Patate	Pembroke, ON	400	2 955	3,75285		
CCSN	37	9-août-05	Patate	Pembroke, ON	400	4 900	6,22300		
CCSN	36	9-août-05	Rhubarbe	Pembroke, ON	400	3 100	3,25500		
CCSN	53	13-sep-05	Rhubarbe	Pembroke, ON	400	3 300	3,46500		
CCSN	52	13-sep-05	Pomme	Pembroke, ON	400	4 900	5,73300		
Université	024A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	400	81,3	0,03216	Voir remarque	0,2495
Université	023A	14-août-07	Patate	Pembroke, ON	400	124	0,10539	226	0,0190
SRBT		11-sep-07	Patate	Pembroke, ON	400	136	0,17272		
SRBT		11-sep-07	Carotte	Pembroke, ON	400	157	0,18683		
Université	020A	14-août-07	Courgette	Pembroke, ON	400	172	0,15460	174	0,0098
Université	022A	14-août-07	Haricot	Pembroke, ON	400	96,3	0,08213	174	0,0142
SRBT		11-sep-07	Rhubarbe	Pembroke, ON	400	96	0,10080		
Université	019A	14-août-07	Pomme	Pembroke, ON	400	247	0,20122	3 320	0,3438
SRBT		11-sep-07	Pomme	Pembroke, ON	400	326	0,38142		

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT <i>éé</i> Bq/L	OBT Bq/g frais
Université	018C	14-août-07	Pomme ³	Pembroke, ON	400	278	0,20609	50,8	0,0076
SRBT		11-sep-07	Pomme	Pembroke, ON	400	259	0,30303		
CCSN	50	13-sep-05	Tomate	Pembroke, ON	900	1 000	1,06000		
CCSN	42	13-sep-05	Patate	Pembroke, ON	1 900	640	0,81280		
CCSN	43	13-sep-05	Oignon	Pembroke, ON	1 900	530	0,59360		
CCSN	48	13-sep-05	Tomate	Pembroke, ON	1 900	620	0,65720		
SRBT		31-août-05	Tomate	Pembroke, ON	1 900	491	0,52046		
CCSN	49	13-sep-05	Concombre	Pembroke, ON	1 900	380	0,39900		
SRBT		31-août-05	Concombre	Pembroke, ON	1 900	400	0,42000		
SRBT		31-août-05	Courgette	Pembroke, ON	1 900	326	0,34230		
Université	009A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	1 900	15,5	0,00315	Voir remarque	0,0084
Université	010A	14-août-07	Patate	Pembroke, ON	1 900	12,4	0,00974	114	0,0134
SRBT		11-sep-07	Betterave	Pembroke, ON	1 900	13,0	0,01482		
Université	011A	14-août-07	Tomate	Pembroke, ON	1 900	19,5	0,01798	99,3	0,0043
SRBT		11-sep-07	Tomate	Pembroke, ON	1 900	21,0	0,02226		
Université	012A	14-août-07	Pomme	Pembroke, ON	1 900	38,7	0,03187	107	0,0111
SRBT		11-sep-07	Rhubarbe	Pembroke, ON	1 900	16,0	0,01680		

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT ée Bq/L	OBT Bq/g frais
CCSN	60	13-sep-05	Patate	Pembroke, ON	2 200	770	0,97790		
CCSN	58	13-sep-05	Tomate	Pembroke, ON	2 200	590	0,62540		
CCSN	59	13-sep-05	Concombre	Pembroke, ON	2 200	107	0,11235		
Université	013A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	2 200	25,4	0,00970	Voir remarque	< 0,0031
Université	015A	14-août-07	Patate	Pembroke, ON	2 200	30,7	0,02428	130	0,0153
SRBT		11-sep-07	Patate	Pembroke, ON	2 200	26,0	0,03302		
Université	014A	14-août-07	Tomate	Pembroke, ON	2 200	23,5	0,02236	8,2	0,0002
SRBT		11-sep-07	Tomate	Pembroke, ON	2 200	42,0	0,04452		
Université	016A	14-août-07	Concombre	Pembroke, ON	2 200	26,0	0,02471	40,3	0,0012
SRBT		11-sep-07	Épinard	Pembroke, ON	2 200	12,0	0,01313		
Université	017A	14-août-07	Pomme sauvage ⁴	Pembroke, ON	2 200	189	0,13191	4 920	0,8494
CCSN	10	9-août-05	Oignon	Pembroke, ON	2 700	136	0,15232		
CCSN	19	9-août-05	Carotte	Pembroke, ON	2 700	96,0	0,11424		
CCSN	47	13-sep-05	Concombre	Pembroke, ON	2 700	86,0	0,09030		
CCSN	5	9-août-05	Courgette	Pembroke, ON	2 700	144	0,15120		
CCSN	17	9-août-05	Poivron vert	Pembroke, ON	2 700	138	0,14766		

Source des données	ID de l'échantillon	Date du prélèvement	Produit	Lieu	Distance de SRBT (m)	HTO Bq/L	HTO Bq/g frais	OBT ée Bq/L	OBT Bq/g frais
CCSN	5	13-sep-05	Tomate	Pembroke, ON	2 700	137	0,14522		
Université	008A	14-août-07	Patate	Pembroke, ON	2 700	10,5	0,00914	17,7	0,0013
Université	006A	14-août-07	Sol	Pembroke, ON	2 700	12,4	0,00247	Voir remarque	< 0,0049
Université	007B	14-août-07	Tomate	Pembroke, ON	2 700	16,2	0,01500		

¹ Le jardin maraîcher se trouve à environ 1 km du potager de Russell et n'est pas inclus dans les comparaisons de sol et de végétation.

² Jeune pommier planté dans une terre végétale relativement nouvelle d'un chalet en bordure du lac.

³ Jeune pommier planté dans une terre végétale relativement nouvelle d'une nouvelle subdivision résidentielle.

⁴ Vieux pommier dans un champ situé à environ 100 m du potager et à 200 m des installations de SRBT, non inclus dans les comparaisons de sol et de végétation.

L'organisme de réglementation
nucléaire du Canada



Commission canadienne
de sûreté nucléaire

Canadian Nuclear
Safety Commission

Canada