



# Le devenir environnemental du tritium dans le sol et la végétation

Volet du projet d'études sur le tritium



Décembre 2013



## **Le devenir environnemental du tritium dans le sol et la végétation**

© Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) 2013  
Numéro de catalogue de TPSGC CC172-101/2013F-PDF  
ISBN 978-0-660-21242-5

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 available in English under the title: Environmental Fate of Tritium in Soil and Vegetation*

### **Disponibilité du document**

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

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

Téléphone : 613-995-5894 ou 1-800-668-5284 (Canada seulement)  
Télécopieur : 613-995-5086  
Courriel : [info@cnscccsn.gc.ca](mailto:info@cnscccsn.gc.ca)  
Site Web : [suretenucleaire.gc.ca](http://suretenucleaire.gc.ca)  
Facebook : [facebook.com/Commissioncanadienedesuretenucleaire](https://facebook.com/Commissioncanadienedesuretenucleaire)  
YouTube : [youtube.com/ccsnccsc](https://youtube.com/ccsnccsc)

# Le devenir environnemental du tritium dans le sol et la végétation

Volet du projet d'études sur le tritium

---

Décembre 2013



## Table des matières

<b>Sommaire.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
1.1 Le tritium dans l’environnement.....	3
1.2 Surveillance du tritium dans les installations nucléaires .....	4
<b>2. Description de l’étude.....</b>	<b>5</b>
2.1 Aperçu et objectifs de l’étude .....	5
2.2 Description du site de l’étude .....	5
2.2.1 Installations nucléaires.....	6
2.2.2 Lieux de mesure des niveaux naturels .....	8
<b>3. Méthodes expérimentales .....</b>	<b>9</b>
3.1 Échantillonnage environnemental.....	9
3.2 Méthodes d’analyse .....	9
3.2.1 Extraction du HTO dans les échantillons environnementaux.....	10
3.2.2 Extraction du TLCO dans les échantillons environnementaux.....	10
3.2.3 Correction des concentrations de tritium .....	11
3.2.4 Assurance de la qualité et contrôle de la qualité.....	11
<b>4. Devenir environnemental du tritium .....</b>	<b>12</b>
4.1 Répartition du tritium dans l’air, le sol, la végétation et les produits d’origine animale.....	12
4.1.1 Sites de rayonnement naturel .....	12
4.1.2 SRB Technologies .....	14
4.1.3 Shield Source Inc. ....	16
4.1.4 Centrale nucléaire de Darlington .....	18
4.1.5 Centrale nucléaire de Gentilly-2 .....	20
4.1.6 Résumé .....	22
4.1.7 Doses à la population.....	23
4.2 Conversion HT-HTO-TLCO .....	24
4.2.1 Potager expérimental .....	24
4.2.2 Résumé .....	25

4.2.3	Analyse des anneaux de croissance en tant que registre du tritium dans l'atmosphère.....	25
4.2.4	SRB Technologies .....	25
4.2.5	Centrale nucléaire de Darlington .....	26
4.2.6	Résumé .....	27
4.3	Réponse environnementale aux changements dans les émissions .....	28
4.3.1	Rétablissement de l'environnement chez SRB Technologies.....	28
4.3.2	Résumé .....	29
<b>5.</b>	<b>Résumé d'ensemble.....</b>	<b>30</b>
<b>6.</b>	<b>Références.....</b>	<b>32</b>
<b>7.</b>	<b>Sigles.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexe A</b>	<b>Résultats obtenus en laboratoire par l'Université d'Ottawa .....</b>	<b>36</b>

## Sommaire

### Contexte

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène qui existe à l'état naturel et comme sous-produit de l'exploitation des réacteurs nucléaires et de recherches. Il émet un rayonnement bêta de faible énergie qui peut être absorbé dans le papier, le plastique, le verre et le métal. Le tritium peut poser un risque pour la santé s'il pénètre dans l'organisme par la consommation d'eau potable et d'aliments, par inhalation ou par voie cutanée si la peau y est exposée à forte dose.

Au Canada, les fuites de tritium dans l'environnement sont rigoureusement contrôlées, car les réacteurs CANDU (réacteur canadien à deutérium-uranium) émettent davantage de tritium que la plupart des autres types de réacteurs. Une partie du tritium produit par les réacteurs nucléaires de puissance est récupérée et utilisée dans la fabrication de lampes et de peinture autoluminescentes. Le tritium a un usage commercial dans des produits comme les panneaux indicateurs de sortie, les feux de piste d'atterrissage, le cadran des montres et les viseurs d'armes à feu.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) réglemente et contrôle rigoureusement les rejets de tritium artificiel dans l'environnement afin de préserver la santé et la sécurité des Canadiens et de protéger l'environnement. En 2007, la CCSN a lancé le Projet d'études sur le tritium, soit une série d'études sur les rejets de tritium au Canada, afin d'élargir le corpus de connaissances sur ce sujet et d'accroître la surveillance réglementaire des activités associées au tritium. L'une des études, intitulée *Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population*, a donné lieu à des résultats inattendus quant au ratio de tritium lié à des composés organiques (TLCO) par rapport à l'eau tritiée (HTO) dans le sol et dans un petit nombre d'aliments. En effet, le ratio TLCO/HTO était supérieur à 1, un nombre plus élevé que prévu. Bien que les doses de rayonnement attribuables au tritium soient très faibles et d'un ordre de grandeur plusieurs fois inférieur à celui des doses présentant des risques connus pour la santé, la CCSN a entrepris une autre étude pour mieux comprendre les mécanismes qui sont à l'origine de ratios TLCO/HTO supérieurs à 1.

Ce rapport décrit les résultats de la recherche financée par la CCSN et réalisée par l'Université d'Ottawa sur la dissémination du tritium dans les sols, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits d'origine animale à proximité des sites où il y a eu des fuites soutenues de tritium gazeux ou d'eau tritiée près de quatre installations nucléaires : SRB Technologies (SRBT), Shield Source Incorporated (SSI), la centrale nucléaire de Darlington et la centrale nucléaire de puissance Gentilly-2.

### Principales constatations

Voici un résumé des constatations de l'étude :

- En général, les concentrations d'eau tritiée et de tritium lié à des composés organiques diminuent à mesure que l'on s'éloigne de l'installation. Cette tendance était la plus manifeste dans les échantillons environnementaux prélevés près d'installations nucléaires de traitement et moins présente près des centrales nucléaires.
- D'après les résultats de cette étude, le type de sol n'a aucun effet sur la dissémination du tritium dans l'atmosphère.

- Étant donné l'approche expérimentale utilisée dans l'étude, on ne sait pas si le TLCO provient du HTO dans l'atmosphère ou de HT transformé en HTO dans le sol.
- Dans certaines circonstances (p. ex., à proximité d'installations nucléaires), l'activité du TLCO dans les anneaux des arbres peut être un indicateur pertinent des émissions qui ont eu lieu par le passé.
- L'activité du TLCO dans les échantillons de produits maraîchers prélevés pour l'étude suivait les variations d'émissions de cheminée d'année en année.
- Il y a eu des variations importantes dans le ratio TLCO/HTO du sol, de la végétation, des produits d'origine animale et du fourrage pour les animaux.
- En général, les ratios TLCO/HTO mesurés dans les échantillons environnementaux étaient supérieurs à 1 près des diverses installations nucléaires.
- La dose associée à la consommation de produits maraîchers dont les ratios TLCO/HTO étaient supérieurs à 1 compte pour une faible proportion de la limite annuelle de dose du public et elle est plusieurs fois (entre 200 et 2000) inférieure aux doses qui présentent des risques pour la santé.

### **Conclusions**

Cette étude financée par la CCSN a augmenté le nombre de mesures de HTO et de TLCO prises près des installations nucléaires. Dans le cadre de l'étude, on a constaté que les proportions de TLCO/HTO mesurées dans les échantillons environnementaux étaient généralement supérieures à 1 dans les diverses installations nucléaires. Ces données étaient conformes à l'éventail des ratios TLCO/HTO mesurés plus tôt dans le cadre de l'étude de 2007 à Pembroke.

Puisqu'il reste encore de la recherche à faire, on a mis sur pied un projet de suivi dans le cadre duquel on effectuera des expériences sur la surveillance du tritium afin de faire le jour sur le cycle et le comportement des fuites de tritium dans l'atmosphère.

Les connaissances acquises dans le cadre de cette recherche supplémentaire amélioreront le modèle des prédictions et la surveillance du tritium dans l'environnement afin de mieux réglementer les installations nucléaires.



## 1. Introduction

### 1.1 Le tritium dans l'environnement

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène qui émet un rayonnement bêta de faible énergie pouvant être absorbé dans le papier, le plastique, le verre et le métal. Il peut poser un risque pour la santé s'il pénètre dans l'organisme par ingestion, dans l'eau potable ou les aliments, s'il est inhalé ou absorbé par la peau en grandes quantités.

Le tritium se forme naturellement dans la haute atmosphère à cause de l'interaction des gaz et du rayonnement cosmique. L'activité humaine contribue aussi aux concentrations de tritium dans l'environnement. En effet, pendant les essais de bombes thermonucléaires menés pour la plupart de 1954 à 1963, une quantité importante de tritium a été rejetée dans l'environnement.

Le tritium est également un sous-produit issu de l'exploitation de réacteurs nucléaires, par exemple les réacteurs CANDU (réacteur canadien à deutérium-uranium) qui servent à produire de l'électricité au Canada. Une partie du tritium produit par les réacteurs nucléaires est récupérée et utilisée par des installations de traitement pour fabriquer des appareils d'éclairage et de la peinture autoluminescente sans électricité (p. ex. les panneaux indicateurs de sortie, les feux des pistes d'atterrissage, le cadran des montres et les viseurs d'armes à feu).

Le tritium existe dans l'atmosphère sous la même forme chimique que l'hydrogène. Ainsi, le tritium forme facilement des molécules d'eau et on le trouve dans l'environnement partout où il y a de l'eau. Une fois dans l'air, le tritium se mélange rapidement avec l'humidité atmosphérique et il se mêle à l'eau dans d'autres vecteurs, par exemple le sol, les plantes et les animaux. Les formes atmosphériques les plus importantes du tritium sont l'hydrogène tritié (HT) et l'eau tritiée (HTO). Dans l'environnement, le tritium naturel se manifeste surtout sous forme de HTO. Les réacteurs CANDU rejettent de plus grandes quantités de tritium sous forme de HTO, tandis que les installations de détritiation et de traitement du tritium émettent surtout du HT.

Le HT est jusqu'à 25 000 fois moins dommageable que le HTO, car le corps l'absorbe beaucoup moins bien. Dans l'environnement, le HT peut se transformer lentement en HTO par échange isotopique avec de l'humidité. Le tritium gazeux peut s'oxyder dans le feuillage des plantes ou être diffusé dans le sol, où il est rapidement oxydé par des micro-organismes et transformé en HTO.

Le tritium lié à des composés organiques (TLCO) constitue une autre forme importante de ce radionucléide. Il est issu de la conversion du HTO par les processus métaboliques de systèmes biologiques et d'organismes vivants, notamment la photosynthèse des plantes et la décomposition de la matière organique dans le sol. Le TLCO est incorporé à des composés organiques, par exemple des glucides, des protéines, des féculs, des lipides, des matières de structure cellulaire et des acides aminés. Le HTO circule beaucoup plus facilement dans l'environnement que le TLCO. De plus, la durée de la rétention du TLCO dans les organismes vivants et les systèmes biologiques est nettement plus longue que celle du HTO. Ainsi, recevoir des doses de TLCO est plus grave que celles du HTO.

## 1.2 Surveillance du tritium dans les installations nucléaires

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) réglemente et surveille rigoureusement les rejets dans l'environnement de tritium artificiel provenant des réacteurs nucléaires et des installations de traitement du tritium afin de préserver la santé et la sécurité des Canadiens et de protéger l'environnement. Cette étude avait surtout pour but d'étudier le comportement du tritium rejeté par les installations nucléaires dans l'environnement terrestre afin de valider ou d'améliorer les stratégies de surveillance du tritium dans les denrées alimentaires et l'environnement.

Le plus souvent, les programmes de conformité des titulaires de permis de la CCSN pour la surveillance des aliments sont axés sur la prise de mesures de la concentration du HTO dans les produits maraîchers ou la végétation sauvage. Les ratios TLCO/HTO servent habituellement à prévoir les effets du TLCO dans les aliments destinés à la consommation humaine, d'après les concentrations mesurées et modélisées de HTO dans l'environnement. Le ratio TLCO/HTO indique la probabilité que le tritium s'accumule dans la fraction organique (Okada et Momoshima, 1993). Les estimations actuelles sur les risques pour l'environnement, ainsi que les modèles d'estimation de dose d'exposition du public se basent sur l'hypothèse que le TLCO est un produit direct du HTO et que dans des conditions d'équilibre, le ratio TLCO/HTO devrait être le même dans tous les milieux environnementaux. D'après les données expérimentales publiées dans la littérature (CSA, 2008), on s'attend à ce que le ratio TLCO/HTO soit de 0,6 à 0,8 à proximité des sources d'émission atmosphérique de tritium.

Cependant, les résultats de quelques études menées récemment en Ontario où l'on a mesuré les concentrations de fond dans les produits maraîchers présentaient des ratios TLCO/HTO nettement plus élevés que prévu (Thompson *et coll.*, 2011; Ontario Power Generation [OPG] 2006, 2008). Les données sur le TLCO sont rares, et il n'existe pas suffisamment de données de recherche sur les milieux exposés de façon chronique au tritium. Par conséquent, les connaissances actuelles sur les aspects biologiques de l'absorption et de l'assimilation du tritium par les plantes sont fragmentaires (Boyer *et coll.*, 2009).

Les résultats présentés dans cette étude visent à combler cette absence d'information dans la littérature en extrapolant à partir de la série de mesures du HTO et du TLCO réalisées sur des échantillons environnementaux prélevés à proximité des installations nucléaires au Canada. Ces travaux viennent s'ajouter aux mesures résumées dans un rapport intitulé *Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population*, également publié par la CCSN, cette fois en 2010.

## 2. Description de l'étude

### 2.1 Aperçu et objectifs de l'étude

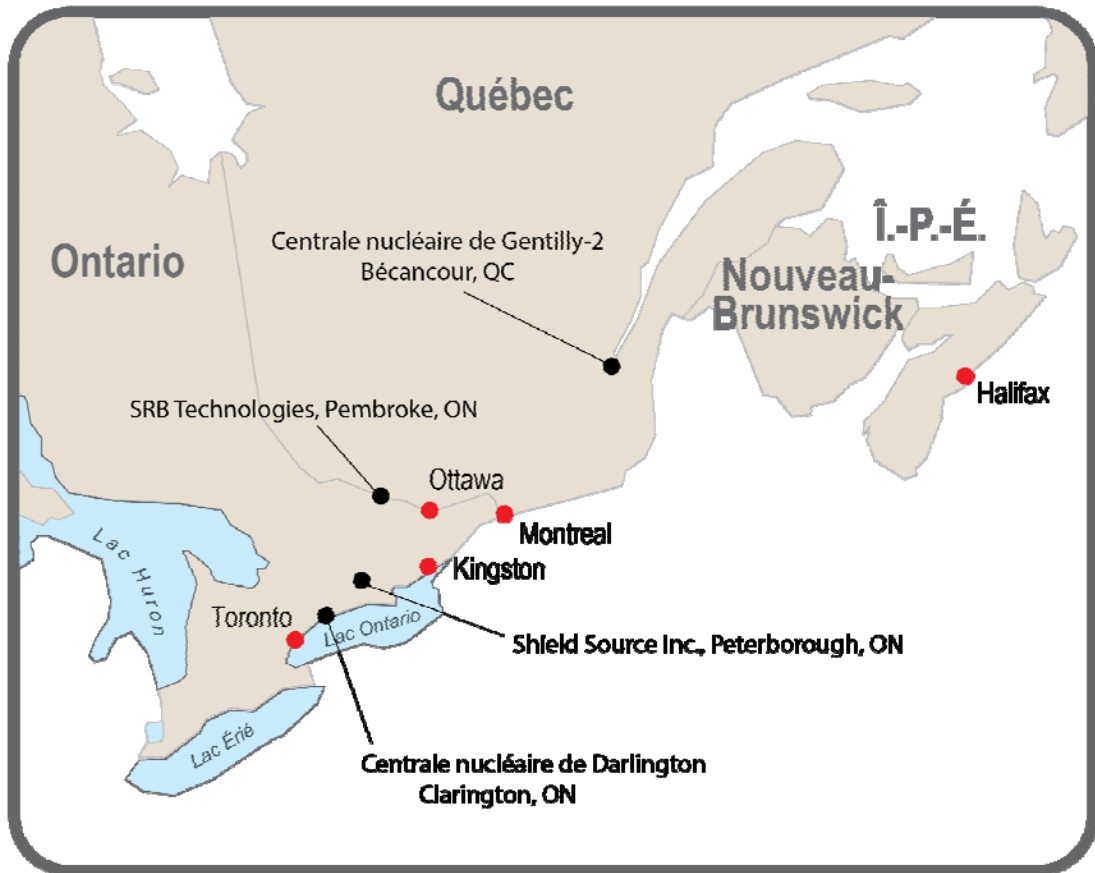
La CCSN a attribué un contrat à l'Université d'Ottawa pour mesurer les concentrations de tritium dans divers milieux de l'environnement terrestre afin de déterminer comment les rejets de tritium pénètrent dans la biosphère et l'approvisionnement alimentaire. L'étude a été menée dans les environs de quatre installations nucléaires représentatives qui rejettent du tritium. Pendant deux saisons de croissance (2008 et 2009), on a prélevé des échantillons d'air, de sol, de produits maraîchers, de fourrage pour les animaux et de produits d'origine animale, puis on les a analysés pour y déceler le tritium sous diverses formes. Les objectifs précis de l'étude étaient les suivants :

- obtenir un ensemble intégré de concentrations de HTO et de TLCO dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits d'origine animale d'après des quantités mesurées à proximité d'installations représentatives qui rejettent du tritium
- examiner les facteurs qui influent sur ce qu'il advient du tritium gazeux qui est rejeté dans l'atmosphère et déposé à la surface du sol
- évaluer la pertinence de déterminer l'historique des rejets de tritium en mesurant le TLCO dans les anneaux de croissance d'arbres matures
- documenter le retour à la normale du milieu naturel après une importante réduction des rejets de HT et de HTO d'une installation de traitement du tritium
- interpréter la dynamique du TLCO à mesure qu'il passe d'un compartiment environnemental à un autre dans une situation où du tritium provenant de sources atmosphériques est rejeté de manière constante sur une longue période

### 2.2 Description du site de l'étude

Des échantillons d'air, de sol, de produits maraîchers, de fourrage pour les animaux et de produits d'origine animale ont été prélevés pendant deux saisons de croissance dans les champs (2008 et 2009) près de quatre installations nucléaires canadiennes qui ont la réputation de relâcher du tritium dans l'atmosphère depuis très longtemps (voir la figure 1). Cette section offre une brève description des quatre installations nucléaires et des deux endroits où l'on a mesuré les concentrations de fond dans le cadre de cette étude. Le tableau 1 résume les émissions issues des quatre installations nucléaires de 2007 à 2010.

**Figure 1**      **Emplacement des quatre installations nucléaires de cette étude**



**2.2.1 Installations nucléaires**

*Centrale nucléaire de Darlington*

La centrale nucléaire de Darlington est une centrale à eau lourde sous pression CANDU qui est en service depuis le début des années 1990. Dans cette installation, les quatre réacteurs CANDU rejettent du HTO et une installation de détritiation rejette du HT. La centrale nucléaire de Darlington se trouve à Clarington, en Ontario, à environ 50 km au sud-ouest de l'installation de Shield Source Incorporated, qui est située à Peterborough, en Ontario.

*Shield Source Incorporated*

L'installation de la Shield Source Incorporated (SSI) est une installation de traitement du tritium à Peterborough (Ontario). Les émissions de l'installation de la SSI sont surtout constituées HT. Les émissions de l'installation de la SSI sont différentes de celles des centrales nucléaires, qui rejettent surtout du HTO.

*SRB Technologies (SRBT)*

L'installation de SRB Technologies (SRBT) à Pembroke (Ontario) est une autre installation de traitement du tritium. Celle-ci a été fermée temporairement en 2007 et a été prise en compte dans cette étude, car elle présentait l'occasion d'étudier comment l'environnement s'adapte à l'interruption, puis au redémarrage des activités. Comme l'installation de la SSI, celle de SRBT rejette davantage de HT que de HTO.

*Centrale nucléaire de Gentilly-2*

La centrale nucléaire de Gentilly-2, qui se trouve à Bécancour (Québec), a un réacteur CANDU qui rejette du HTO. On a sélectionné cette centrale pour la comparer avec les autres installations, car son emplacement est situé loin des rejets de tritium d'autres installations nucléaires dans le sud-est de l'Ontario.

**Tableau 1 Sommaire des émissions de HTO et de HT provenant d’installations nucléaires dans cette étude<sup>1</sup>**

<b>Année</b>	<b>HTO</b>	<b>HT</b>
	<b>(TBq)</b>	<b>(TBq)</b>
<b>Darlington</b>		
2007	160	130,0
2008	160	83,0
2009	170	54,0
2010	140	21,0
<b>SRB Technologies</b>		
2007	5,8	36,1
2008	6,4	33,7
2009	14,3	26,3
2010	9,2	27,3
<b>Gentilly-2</b>		
2007	150	s.o.
2008	170	s.o.
2009	190	s.o.
2010	170	s.o.

**2.2.2 Lieux de mesure des niveaux naturels**

Deux endroits ont servi de point de mesure des niveaux naturels aux fins de contrôle. Le premier est situé à Russell (Ontario), soit dans la même province que plusieurs sources de tritium artificiel. Les autres sites de contrôle se trouvent près des villes de Warman et de Langenburg, en Saskatchewan. Les sites des niveaux de rayonnement naturel en Saskatchewan sont éloignés de l’influence des installations nucléaires en Ontario et de toute autre source de tritium artificiel.

---

<sup>1</sup> Les émissions de tritium (HT et HTO) provenant de la Shield Source Facility ne sont pas incluses dans le tableau 1 parce que les données sur les émissions sont présentement examinées.

### 3. Méthodes expérimentales

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont décrites dans le rapport de l'Université d'Ottawa (Clark *et coll.*, 2010). Les concentrations de HTO et de TLCO ont été mesurées dans des échantillons de sol, de produits maraîchers, de fourrage pour les animaux et de produits d'origine animale.

#### 3.1 Échantillonnage environnemental

Pendant les saisons de croissance de 2008 et de 2009, on a établi un réseau d'échantillonnage d'une dizaine de jardins potagers à différentes distances des quatre installations nucléaires. L'échantillonnage dans chacun des quatre sites portait sur un ensemble complet de matières, dont les sols, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux (maïs et herbe) et des produits d'origine animale (viande, lait, œufs et miel). On s'est efforcé de choisir les sites d'échantillonnage en tenant compte des vents dominants. De plus, dans un ou deux potagers dans chaque site contrôlé, on a récolté des échantillons pendant les deux saisons de croissance (2008 et 2009). On a conservé tous les échantillons dans un réfrigérateur, dans leurs contenants originaux, avant de les congeler pour les conserver jusqu'à ce qu'on puisse les analyser.

Dans chaque site, on a sélectionné les potagers selon la distance qui les séparait de l'installation nucléaire et en s'en éloignant de plus en plus. Des résidents habitant à proximité des installations nucléaires cultivaient des légumes de saison. Le choix des légumes dépendait de ce qui était cultivé dans les potagers; on a sélectionné des légumes-racines et des légumes qui poussent au-dessus du sol. Des échantillons de produits maraîchers ont aussi été prélevés dans les deux sites de contrôle. À Russell, en Ontario, on a récolté des produits maraîchers dans un jardin local et obtenu d'autres légumes dans un marché où les agriculteurs locaux vendent leurs produits. On a aussi obtenu des fruits et des légumes cultivés dans les potagers près des villes de Warman et de Langenburg en Saskatchewan.

En outre, on a prélevé des échantillons de fourrage pour les animaux (herbe et maïs) dans les champs agricoles situés très près des quatre installations nucléaires. On a obtenu de l'herbe et du maïs dans des fermes situées près de l'installation de la SSI, de la centrale de Darlington, de l'installation de SRBT, de la centrale de Gentilly-2 et des deux sites de contrôle à Russell (Ontario), ainsi qu'à Warman et Langenburg (Saskatchewan).

On a obtenu du miel auprès d'apiculteurs très près des quatre installations nucléaires et dans le site de contrôle de Russell (Ontario). L'échantillonnage des produits laitiers a été difficile à obtenir, car l'accès au lait cru est strictement réglementé. Malgré cela, on a recensé les fermes laitières situées très près des installations nucléaires et interrogé les producteurs sur l'alimentation de leurs vaches. On a pu prélever des échantillons de lait dans les fermes où les vaches sont nourries avec du fourrage et du grain cultivés localement.

#### 3.2 Méthodes d'analyse

Cette section résume les méthodes que l'Université d'Ottawa a utilisées pour analyser la teneur en HTO et en TLCO dans les échantillons environnementaux prélevés dans le cadre de cette étude. Les mesures d'assurance et de contrôle de la qualité sont également décrites en détail.

### 3.2.1 Extraction du HTO dans les échantillons environnementaux

Pour désigner le HTO mesuré dans la végétation, on utilise souvent l'appellation « tissue-free-water-tritium (TFWT) » en anglais, qui se traduit par « eau tritiée exempte de tissus » en français. Dans ce rapport, on utilisera le sigle HTO pour désigner la « TFWT ». On a broyé les échantillons de végétaux pour en extraire de l'eau exempte de tout tissu végétal et pour augmenter le rapport entre la superficie et le volume. Les échantillons de sol ont été utilisés tels qu'ils ont été reçus. On a ensuite pesé les échantillons pour en confirmer le poids frais initial.

Une fois l'eau tritiée exempte de tout tissu extraite de l'échantillon, la partie restante est déshydratée jusqu'à ce qu'elle atteigne un poids constant. En moyenne, environ 65 % de la partie restante de l'échantillon est déshydratée. Cette matière organique est ensuite re-saturée une ou deux fois au besoin, pour qu'elle atteigne les valeurs naturelles de l'eau à faible teneur en tritium et pour retirer toute quantité de tritium restante qui serait « échangeable ». Périodiquement, on a analysé l'eau de rinçage par comptage à scintillateur liquide pour assurer que le tritium échangeable avait été retiré et pour confirmer que la teneur en tritium s'élevait aux valeurs naturelles. Les échantillons sont restés congelés jusqu'à ce qu'on puisse les analyser. Les pertes liées à la conservation des échantillons étaient négligeables (< 1 % entre le poids frais et le poids mesuré après le retrait des échantillons du congélateur).

### 3.2.2 Extraction du TLCO dans les échantillons environnementaux

On peut mesurer l'activité spécifique du TLCO dans la matière sèche qui reste après l'extraction de l'eau exempte de tissus végétaux. Pour extraire tout reste de tritium dans l'échantillon sec, on l'a rincé avec de l'eau sans tritium. L'activité mesurée provient du tritium « non échangeable » qui ne peut être retiré par rinçage avec l'eau sans tritium et qui n'est pas nécessairement lié au carbone.

La méthode utilisée le plus souvent pour mesurer le TLCO est la combustion de matière sèche par bombe à combustion de Parr, suivie du comptage à scintillateur liquide de l'activité propre au TLCO dans l'eau qui a été recueillie pendant la combustion. Les niveaux de TLCO dans les échantillons de produits maraîchers et de fourrage pour les animaux ont été analysés avec la méthode par bombe à combustion de Parr. Le faible contenu organique dans la plupart des sols a empêché qu'on puisse utiliser l'analyse du TLCO par bombe à combustion de Parr. Par conséquent, une méthode distincte a été utilisée pour analyser la présence de TLCO dans les sols. La méthode était fondée sur le flux de combustion d'air sec avec la conversion catalytique secondaire des gaz organiques volatiles en vapeur d'eau. L'eau ainsi captée est pesée, puis diluée avec de l'eau de glacier sans tritium et soumise à un comptage de l'activité du tritium.

Tous les échantillons et les eaux de rinçage sélectionnés ont été analysés pour y déceler l'activité du tritium à l'aide du compteur par scintillation en milieu liquide Perkin Elmer Quantulus 1220 qui filtre le rayonnement ambiant de manière à ce qu'il soit très faible. On a noté une activité moyenne de trois cycles. Pour étalonner l'appareil, on a utilisé une série de normes.

La croissance de l'isotope stable de l'hélium ( $^3\text{He}$ ) provenant de la désintégration du tritium (Faure et Mensing, 2005) constitue une façon non destructive de mesurer le TLCO dans les échantillons. On détermine la concentration de tritium dans un échantillon qui a été encapsulé sous vide en mesurant la quantité de  $^3\text{He}$  après une période de temps prédéfinie selon la loi de la désintégration mère-fille du tritium. On a utilisé la formule suivante pour évaluer la quantité de tritium à partir du  $^3\text{He}$  mesuré :



$$T_0 = {}^3\text{He}_{\text{excédant}} / (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

où :  ${}^3\text{He}_{\text{excédant}}$  représente le  ${}^3\text{He}$  produit par la recroissance;  $T_0$  représente le tritium au moment de l'encapsulation de l'échantillon;  $\lambda$  représente la constante de désintégration du tritium ( $\ln(2)/T_{1/2} = 0,694/12,3 = 0,0563$ ); et  $t$  représente le temps de désintégration (période d'encapsulation).

La méthode de la recroissance de l'hélium a initialement servi à mesurer le TLCO dans les échantillons d'anneaux d'arbres prélevés au cours de l'étude, mais a été remplacée par la méthode classique à combustion à cause d'un instrument qui fonctionnait mal. Un petit groupe d'échantillons a été analysé avec la méthode de recroissance du  ${}^3\text{He}$ . Aucun échantillon n'a été analysé pour déterminer la présence de TLCO à l'aide des deux méthodes. Les échantillons restants ont été analysés par combustion et par comptage à scintillateur liquide.

### 3.2.3 Correction des concentrations de tritium

On a corrigé les concentrations de tritium mesurées pour tenir compte du temps écoulé entre la date de prélèvement de l'échantillon et la date de son analyse. On a utilisé l'équation suivante pour calculer la radioactivité du tritium au moment où l'échantillon a été prélevé :

$$T_0 = T / e^{-\lambda t} \quad (2)$$

où :  $T_0$  représente l'activité du tritium au moment où l'échantillon a été prélevé;  $T$  représente l'activité mesurée (au moment où l'échantillon a été analysé);  $t$  représente le temps écoulé entre la date de prélèvement de l'échantillon et la date de son analyse; et  $\lambda$  représente la constante de désintégration du tritium.

### 3.2.4 Assurance de la qualité et contrôle de la qualité

On a pris des échantillons répétés destinés à assurer un contrôle adéquat de la qualité des procédures d'analyse à l'interne dans les laboratoires et entre laboratoires. On a procédé à une comparaison entre laboratoires avec la Direction générale des technologies environnementales des Laboratoires de Chalk River d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL). Les résultats démontrent que les échantillons répétés se trouvaient à l'intérieur des limites de quantification.

La limite de détection et la limite de quantification des mesures de tritium faites par comptage à scintillateur liquide sont présentées avec les résultats des analyses dans les annexes du rapport de Clark *et coll.* (2010).

## 4. Devenir environnemental du tritium

Quatre méthodes expérimentales ont été utilisées pour examiner le devenir du tritium dans le sol et la végétation près des installations nucléaires au Canada. Les sections suivantes du rapport sont organisées comme suit :

- Les mesures de HTO et de TLCO ont été faites à diverses distances de quatre installations nucléaires (section 4.1). On a comparé les résultats pour déterminer l'incidence des rejets de tritium sur divers milieux environnementaux.
- Un jardin expérimental a été aménagé près du site de la SSI pour examiner la conversion HT-HTO-TLCO dans les produits maraîchers (voir la section 4.2).
- Des échantillons d'anneaux d'arbres ont été examinés pour connaître les émissions de tritium dans les environs des installations nucléaires (section 4.3). On a évalué la viabilité de cette méthode afin de voir si elle se prêtait au suivi environnemental régulier.
- Les mesures de HTO et de TLCO prélevés dans les échantillons environnementaux près de SRBT pendant trois ans (2007-2009) ont permis de mieux comprendre comment l'environnement réagit aux changements brusques des émissions de tritium (section 4.4).

### 4.1 Répartition du tritium dans l'air, le sol, la végétation et les produits d'origine animale

Voici un ensemble intégré des concentrations de HTO et de TLCO qui ont été mesurées dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits d'origine animale tout près des quatre installations nucléaires.

#### 4.1.1 Sites de rayonnement naturel

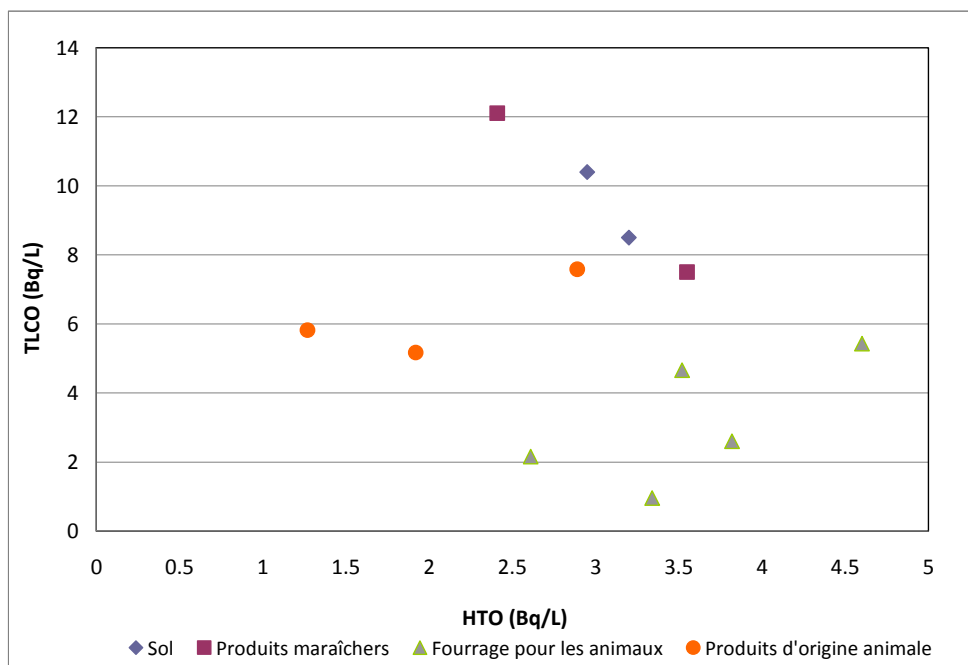
En général, la radioactivité du HTO dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits animaliers se situait à entre 0,73 et 4,6 Bq/L pour les trois sites témoins. La valeur la plus faible a été mesurée dans un échantillon de pommes de terre à Warman, en Saskatchewan, et la valeur la plus élevée dans des feuilles de maïs provenant de Russell, en Ontario. L'activité émise par le HTO dans les produits maraîchers constitue la forme de tritium la plus souvent contrôlée dans l'environnement. Ontario Power Generation (OPG) et Bruce Power ont signalé des taux de rayonnement naturel du HTO entre 3 et 7 Bq/L dans des légumes à cinq endroits en Ontario en 2009, soit à Lakefield, Bancroft, Sarnia, Barrie et Picton (OPG, 2010; Bruce Power, 2010). Les taux de rayonnement naturel rapportés par OPG et Bruce Power sont plus élevés que ceux dans les deux sites en Saskatchewan (0,73 à 2,6 Bq/L) et à des taux de rayonnement conformes à ceux du HTO dans la végétation à Russell, en Ontario (1,2 à 4,6 Bq/L).

Dans l'ensemble des trois sites dont on a mesuré le rayonnement naturel, les taux d'activité du TLCO étaient plus élevés que ceux du HTO (voir les figures 2 et 3). Ce résultat est étonnant, car on s'attendait à ce que les taux d'activité du TLCO et du HTO soient semblables, si on se fie aux données expérimentales dans la littérature et aux modèles courants d'évaluation des risques environnementaux et d'estimation de la dose reçue par le public. L'écart des concentrations de TLCO dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits d'origine animale allait de 0,96 à 23,7 Bq/L. Les taux d'activité du TLCO les plus élevés ont été observés dans les échantillons de sol et de tomates provenant des deux sites en Saskatchewan (respectivement 19,9 et 23,7 Bq/L). Le rayonnement naturel du TLCO, qui s'élevait à 19,1 Bq/L

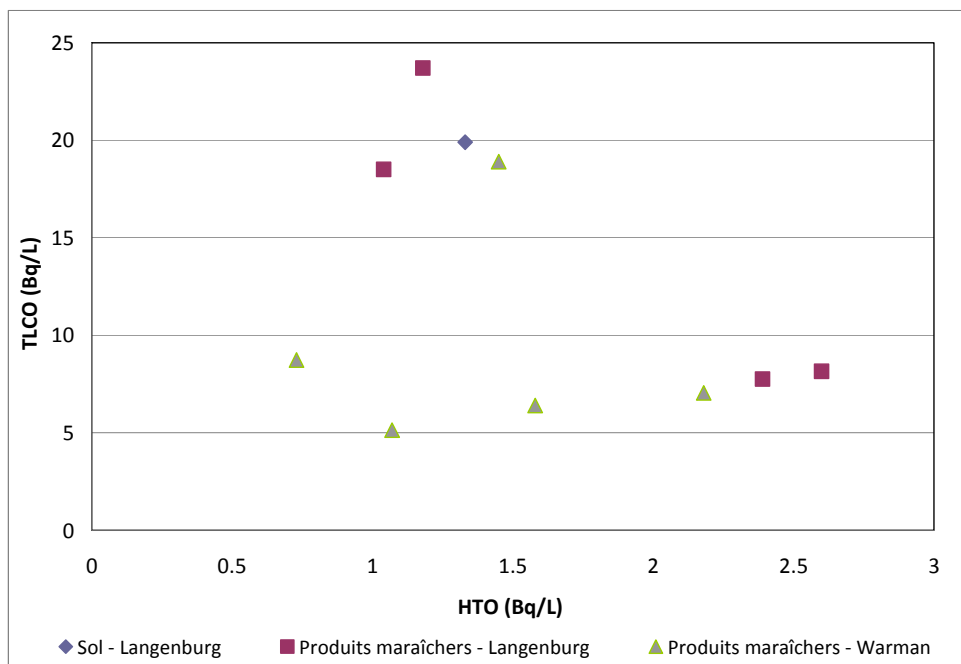
dans les tomates provenant de Lakefield, en Ontario (OPG, 2003), et à 7 Bq/L dans les carottes provenant de Killaloe, en Ontario (Kim et Davis, 2008), était dans la normale du rayonnement naturel de cette étude. L'activité du TLCO était plus élevée dans les échantillons de pommes provenant de Bancroft (Ontario), soit 36,1 Bq/L, et dans les échantillons de haricots de Kingston (Ontario), soit 65 Bq/L (Kim et Davis, 2008).

On s'attend à ce que le ratio TLCO/HTO s'élève à entre 0,6 et 0,8 près des sources d'émission de tritium gazeux, d'après les données expérimentales dans la littérature (CSA, 2008). Dans cette étude, les ratios TLCO/HTO dans tous les échantillons environnementaux des endroits où l'on a prélevé des échantillons pour leur valeur de fond étaient de 0,3 à 20,1, la valeur la plus élevée étant celle d'un échantillon de tomate provenant de Langenburg, en Saskatchewan. Les ratios TLCO/HTO mesurés dans les échantillons provenant du site de la Saskatchewan étaient plus élevés (de 3,1 à 20) que ceux du site de valeurs de fond en Ontario (0,29 à 5,0). Les ratios plus élevés qu'on a observés dans les sites de valeurs de fond en Saskatchewan pourraient s'expliquer par le fait que l'activité du HTO dans cette province est plus faible qu'en Ontario. À l'heure actuelle, le mécanisme à l'origine de ce phénomène ne peut pas être complètement expliqué.

**Figure 2 Taux d'activité du HTO et du TLCO d'échantillons environnementaux provenant de Russell, en Ontario, où l'on a prélevé des échantillons pour mesurer la valeur de fond**



**Figure 3 Taux d'activité du HTO et du TLCO d'échantillons environnementaux dans les endroits où l'on a prélevé des échantillons pour en mesurer la valeur de fond, près de Warman et de Langenburg, en Saskatchewan**



#### 4.1.2 SRB Technologies

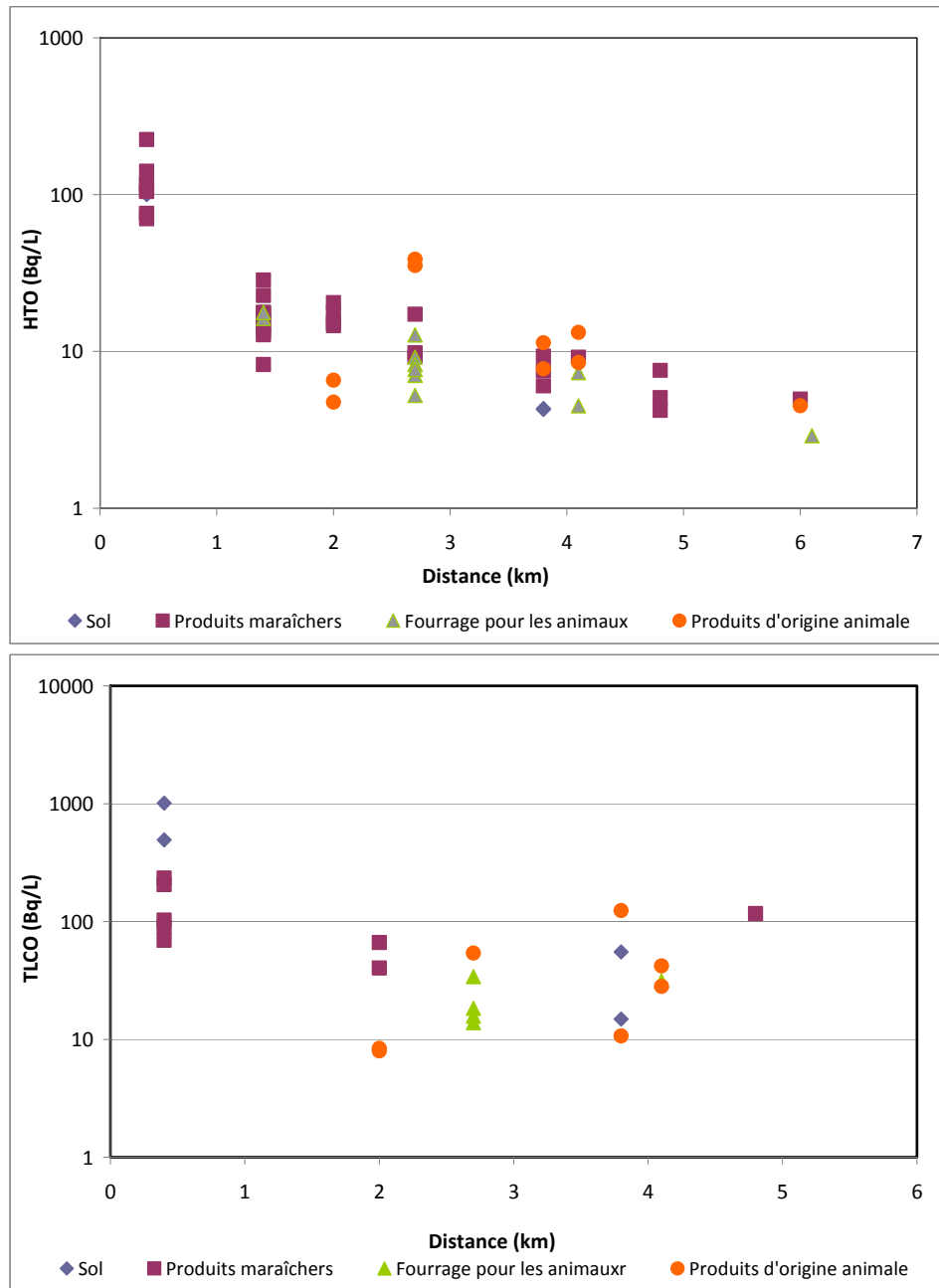
Des échantillons de sol, de produits maraichers, de fourrage pour les animaux et de produits d'origine animale ont été prélevés à entre 0,4 et 4,8 km de l'installation. L'activité du HTO mesurée dans tous les milieux environnementaux s'est élevée à 224 Bq/L près de l'installation (0,87 km) et à des taux inférieurs à 15 Bq/L à 2 km et plus de l'installation (voir la figure 4). Plus on s'est éloigné de la cheminée de l'installation, plus l'activité était faible. Les taux d'activité du HTO les plus élevés ont été mesurés dans les produits maraichers (4,21 à 222 Bq/L) et les échantillons de sol (4,31 à 122 Bq/L), et les taux les plus faibles, dans les produits d'origine animale (4,5 à 38,7 Bq/L) et le fourrage pour les animaux (2,9 à 17,7 Bq/L). En 2005, on a mesuré des taux d'activité du HTO d'environ 5 000 Bq/L dans les fruits et les produits maraichers racines (p. ex. les légumes-racines comme les pommes de terre) (CCSN, 2010).

On a constaté que les taux d'activité du TLCO dans les échantillons prélevés près de SRBT semblent diminuer légèrement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'installation (voir la figure 4). Les taux d'activité du TLCO dans les échantillons de sol, de fourrage pour les animaux et de produits maraichers se sont élevés à entre 1010 Bq/L près de l'installation et 10,7 Bq/L à 4 km de l'installation.

Les taux d'activité moyens de TLCO dans le sol et la végétation se chiffraient respectivement à 393 Bq/L et à 115 Bq/L. Dans les échantillons de sol, le taux d'activité du TLCO était supérieur à celui dans la végétation. En outre, le taux d'activité du TLCO dans les produits d'origine animale était supérieur à celui dans le fourrage pour les animaux, où le taux moyen d'activité du TLCO était respectivement de 39 et de 23 Bq/L dans les deux milieux. Le fait que le taux d'activité du TLCO soit élevé dans les produits d'origine animale par rapport à celui dans le fourrage pour les

animaux est probablement attribuable à des différences d’approvisionnement alimentaire. Il n’existe aucune preuve d’enrichissement préférentiel (c’est-à-dire de bioamplification) par la chaîne alimentaire, soit du sol aux plantes, puis aux animaux.

**Figure 4 SRB Technologies. Graphique du haut : Taux d’activité du HTO dans les échantillons environnementaux prélevés dans des fermes près de SRBT, à Pembroke, en Ontario. Les concentrations sont tracées en fonction de la distance de l’installation. Graphique du bas : Concentrations de TLCO dans les échantillons environnementaux en fonction de la distance de l’installation**



On prévoit que les ratios TLCO/HTO seront près de 1, en conformité avec les modèles actuels dans lesquels on présume qu'en conditions d'équilibre, le TLCO sera formé directement à partir du HTO. Les ratios TLCO/HTO dans les échantillons environnementaux prélevés près de SRBT s'élevaient à entre 0,6 et 15,5. On a trouvé le ratio TLCO/HTO maximal dans un échantillon de concombre récolté à 4,8 km de l'installation. Les ratios observés dans les échantillons de SRBT se situent dans la plage des ratios établis dans le site des valeurs de fond. L'enrichissement du TLCO par rapport au HTO dans l'environnement près de SRBT peut être lié au fait que le TLCO est demeuré dans la réserve de sol plus ancienne après la baisse des émissions après la fermeture de SRBT en 2007.

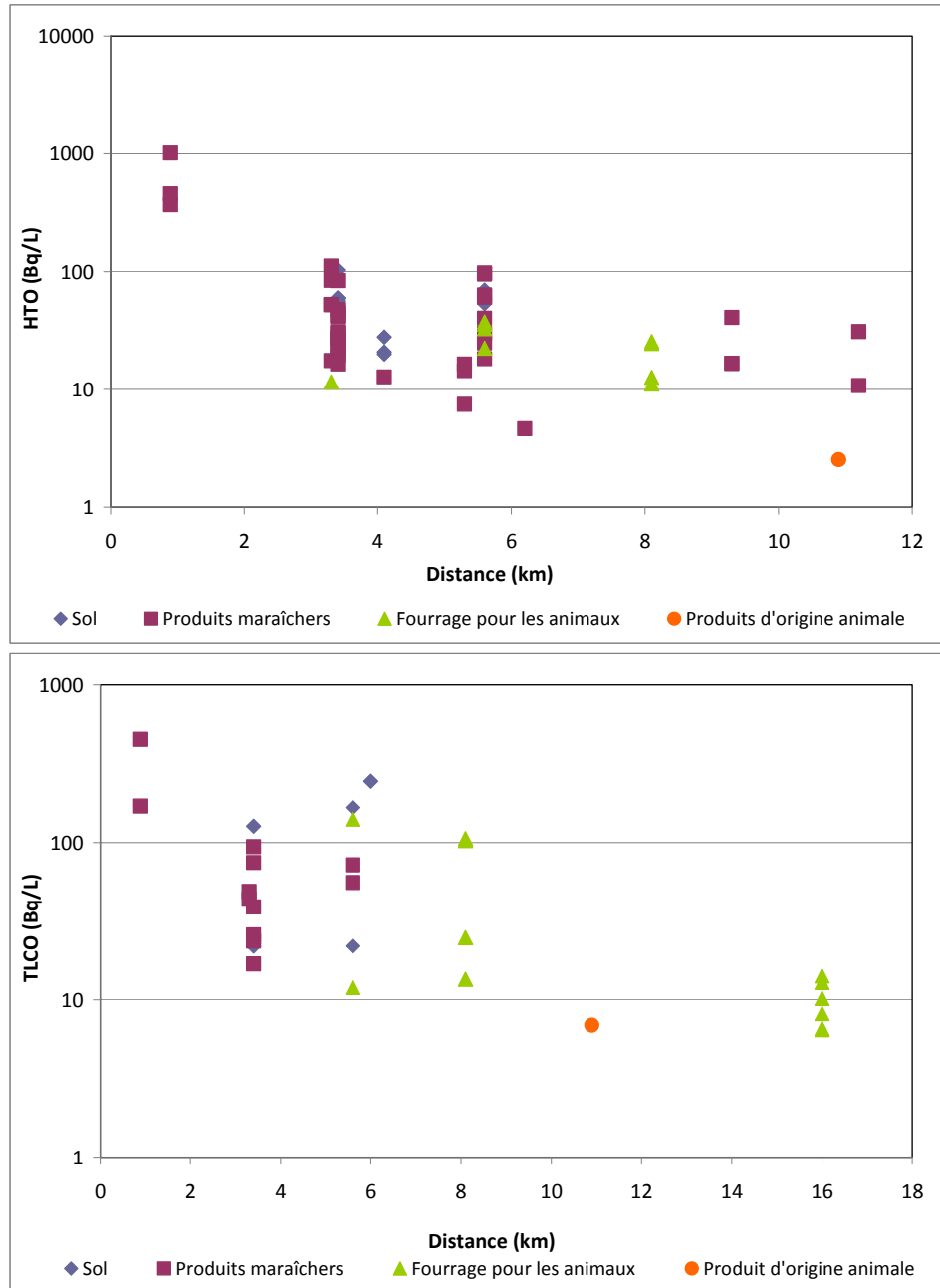
#### 4.1.3 Shield Source Inc.

L'activité du HTO dans le sol, les produits maraîchers et le fourrage pour les animaux est en baisse, de sorte que les taux se situent près des concentrations de fond dans un rayon de 3 km de l'installation. L'activité varie, allant de 1000 Bq/L près de l'installation (0,8 km) à des valeurs inférieures à 40 Bq/L à plus de 10 km de l'installation (voir la figure 5). Les sols, les produits maraîchers et le fourrage pour les animaux affichent tous une activité du HTO dont les valeurs se situent dans la même plage. L'activité maximale de HTO était de 1010 Bq/L, dans un échantillon de pommes de terre prélevé à 0,8 km de l'installation. La diminution de l'activité du TLCO en fonction de la distance a été moins marquée que la tendance observée dans les échantillons de HTO prélevés près de SSI (voir la figure 5). L'activité du TLCO a varié, passant de 451 Bq/L près de l'installation (0,79 km) à 6,5 Bq/L plus loin de l'installation (16 km).

Les échantillons de sol prélevés près de SSI montraient une augmentation systématique de l'activité du TLCO de 2008 à 2009. Dans les échantillons de produits maraîchers et de fourrage pour les animaux, on a aussi noté la même tendance à la hausse du TLCO entre ces deux années. Cette augmentation n'est pas présente dans les échantillons de HTO. En général, le HTO est fonction des conditions atmosphériques du jour, à quelques heures des jours de prélèvement des échantillons, tandis que le TLCO présente des valeurs intégrées sur une saison de croissance. Les artefacts analytiques ne peuvent expliquer les augmentations de l'activité du TLCO constatées dans les données de 2009. L'augmentation du TLCO pourrait représenter une source d'émission variable pendant la saison de croissance de 2009. L'échange rapide entre les milieux environnementaux et le HTO atmosphérique pourrait expliquer l'absence de cette tendance dans l'activité du HTO.

Dans l'ensemble, les ratios TLCO/HTO se sont élevés à entre 0,4 et 4,8 dans tous les échantillons environnementaux analysés. On a mesuré le ratio TLCO/HTO maximal dans un échantillon de haricots prélevé à 3,4 km de l'installation. L'augmentation du TLCO entre 2008 et 2009 s'est manifestée dans les ratios TLCO/HTO, les ratios les plus élevés se trouvant dans les échantillons de 2009.

**Figure 5** Shield Source Inc. Graphique du haut : Concentrations de HTO issues d'échantillons environnementaux prélevés dans des fermes près de Shield Source Inc., à Peterborough, en Ontario. Les concentrations sont indiquées en fonction de la distance de l'installation. Graphique du bas : Concentrations de TLCO dans les échantillons environnementaux en fonction de la distance de l'installation.



#### 4.1.4 Centrale nucléaire de Darlington

Des échantillons environnementaux ont été prélevés de 2,6 à 6,3 km de la centrale de Darlington. Parmi les échantillons prélevés près de SRBT et de SSI, beaucoup se chiffraient à des niveaux près du taux de rayonnement naturel à 2 km de l'installation. Par conséquent, l'effet observé de la distance sur l'activité du tritium dans les échantillons de Darlington est plus faible.

Le taux d'activité du HTO est variable dans le sol, les produits maraîchers, le fourrage pour les animaux et les produits d'origine animale, s'élevant à 25 Bq/L près de l'installation (2 km) et à moins de 12 Bq/L plus loin de l'installation (6 km) (voir la figure 6). Tous les échantillons de fourrage pour les animaux ont été prélevés à la même distance, soit à environ 4 km de l'installation. À la centrale de Darlington, on mesure le tritium dans le cadre du programme de conformité environnementale de la centrale. Les valeurs mesurées dans cette étude se situent à l'intérieur de la plage d'activité du HTO exercée sur OPG pour la centrale de Darlington au cours de la même année (OPG, 2010).

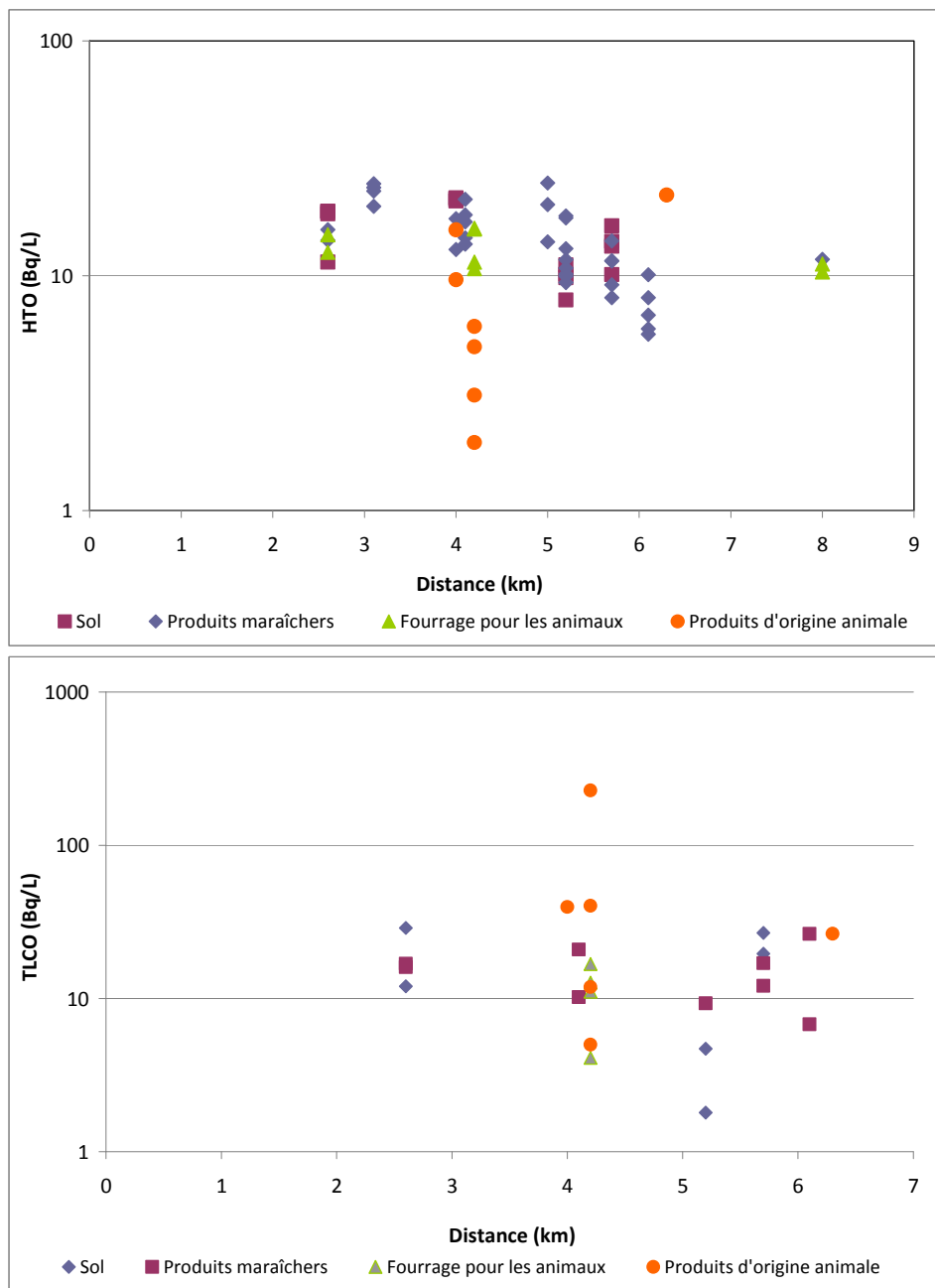
Comme dans le cas des mesures du taux d'activité du HTO, on n'a constaté aucun lien entre l'activité du HTO et la distance. Un des échantillons de produit animal (du lait) en 2008 qu'on a prélevés à une distance de 4 km de l'installation avait une concentration de TLCO de 228 Bq/L (voir la figure 6). Cependant, l'année suivante, un échantillon de produit animal provenant du même site a affiché une concentration de TLCO de 11,9 Bq/L. L'approvisionnement alimentaire a pu avoir une incidence sur les taux d'activité du TLCO dans les produits d'origine animale. Aucune contrainte ni surveillance n'a été appliquée à l'approvisionnement alimentaire pendant cette étude.

De nombreux échantillons de produits maraîchers avaient des taux d'activité du TLCO et du HTO comparables, ce qui indique que du tritium était chargé en régime permanent dans ce réservoir et qu'il provenait d'un terme source stable. Ces résultats sont conformes aux taux d'activité du HTO stables dans les échantillons de végétation et d'air qui ont été mesurés et rapportés par OPG à la centrale de Darlington depuis 1994. Il y a eu enrichissement du TLCO par rapport au HTO dans les échantillons de bœuf, de lait et d'œufs obtenus en 2008. Cet enrichissement ne figure pas dans les échantillons de 2009. Les niveaux supérieurs de TLCO qui ont été mesurés dans les échantillons de 2008 ne peuvent être rapprochés par la séparation ou la bioaccumulation du tritium pendant les transformations dans la chaîne d'alimentation. Pour expliquer le taux élevé de TLCO, on ne peut écarter la possibilité que les stocks de fourrage pour les animaux aient eu une teneur élevée en tritium.

Les ratios TLCO/HTO dans les échantillons environnementaux ont varié de 0,2 à 45,7. Comme nous l'avons déjà mentionné, le ratio maximal dans les produits d'origine animale s'explique par l'important dépassement du taux de TLCO dans un échantillon de lait datant de 2008. Si on exclut le ratio TLCO/HTO maximal, la plage dans les échantillons environnementaux se situe entre 0,2 et 13,0, soit une plage semblable à celle qu'on observe dans les ratios TLCO/HTO à SRBT. Les ratios TLCO/HTO dans le sol, les produits maraîchers et le fourrage pour les animaux s'élevaient à entre 0,18 et 2,61.



**Figure 6 Centrale nucléaire de Darlington. Graphique du haut : Concentrations de HTO dans les échantillons environnementaux prélevés près de la centrale de Darlington. Les concentrations sont indiquées en fonction de la distance. Graphique du bas : Concentrations de TLCO dans les échantillons environnementaux en fonction de la distance de l'installation.**



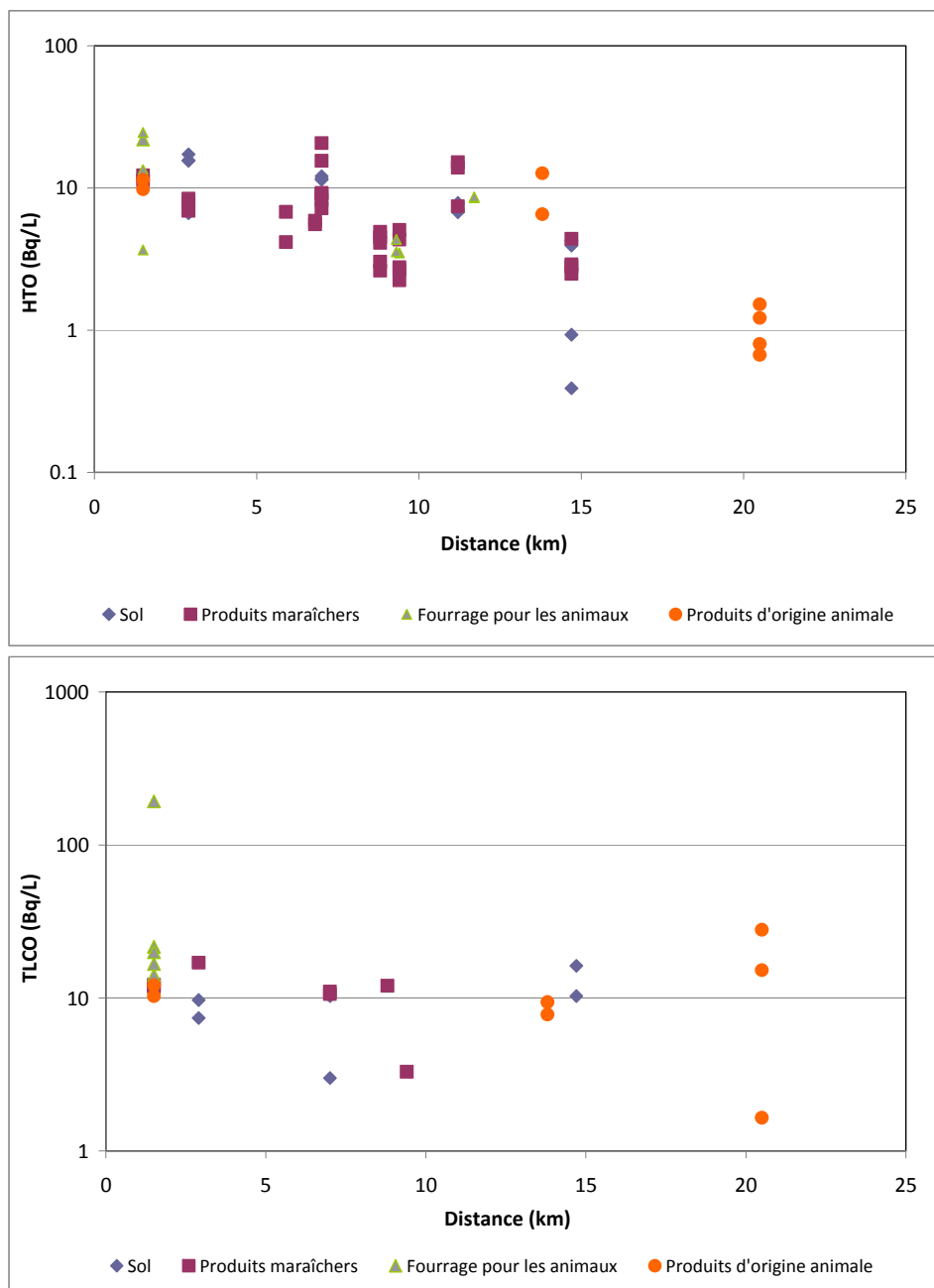
#### 4.1.5 Centrale nucléaire de Gentilly-2

La plage des concentrations de HTO mesurées en fonction de la distance de Gentilly-2 était semblable à celle des mesures de HTO prises près de SRBT et de la centrale de Darlington, à une distance équivalente de l'installation. Cette similitude dans le schéma de la concentration de tritium par rapport à la distance indique qu'il existerait un mécanisme semblable de dispersion atmosphérique du tritium près des installations de type semblable.

Les taux d'activité du HTO mesurés dans les divers échantillons ont diminué en fonction de la distance (voir la figure 7). Il n'y a pas eu de lien semblable entre l'activité du TLCO et la distance. On a prélevé des échantillons environnementaux à entre 1,5 et 20,5 km de la centrale de Gentilly-2. La valeur de l'activité du HTO était variable et s'est élevée à entre 0,7 et 24,6 Bq/L. L'activité du TLCO dans les quatre milieux environnementaux s'est élevée à entre 3 Bq/L et 193 Bq/L. Il n'y a pas eu d'enrichissement important de TLCO par rapport au HTO dans un réservoir environnemental, sauf dans un échantillon de produit animal anormal (du bœuf) datant de 2008. Cet échantillon a été prélevé à 20,5 km de l'installation. Il présente donc selon toute vraisemblance une valeur de fond.

En règle générale, les ratios TLCO/HTO des échantillons se sont élevés à entre 0,4 et 4,8 dans tous les milieux environnementaux. Les échantillons n'affichaient aucune variation importante de TLCO ou de HTO d'une année à l'autre. Le ratio TLCO/HTO maximal à la centrale de Gentilly-2 a été de 41,6 et provenait d'un échantillon de bœuf obtenu en 2008.

**Figure 7** Centrale nucléaire de Gentilly-2. Graphique du haut : Concentrations de HTO dans les échantillons environnementaux prélevés près de la centrale de Gentilly-2. Les concentrations sont indiquées en fonction de la distance de l'installation. Graphique du bas : Concentrations de TLCO dans les échantillons environnementaux en fonction de la distance de l'installation.



#### 4.1.6 Résumé

En général, l'activité du HTO diminue à mesure qu'on s'éloigne de l'installation. Cette corrélation était la plus étroite à SRBT et à SSI, où des échantillons ont été prélevés plus près de l'installation et sur une plus grande échelle des distances. On n'a pas pu prélever des échantillons à des distances près de la centrale de Gentilly-2 ou de la centrale de Darlington, en raison d'une zone d'exclusion dans un rayon de 914 m autour des centrales nucléaires. Par conséquent, l'effet de la distance était moins prononcé près des centrales nucléaires que près des installations de traitement. Le lien entre le HTO et la distance indique que le tritium dans l'atmosphère joue un rôle dans l'accumulation du HTO dans le sol et la végétation, car on sait que le taux de tritium dans l'air diminue rapidement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la source des émissions de tritium atmosphérique (Ilin *et coll.*, 2005).

Dans toutes les installations nucléaires étudiées, le lien entre le TLCO et la distance a été moins évident. Dans les installations de traitement nucléaire, il y a eu une faible corrélation inverse entre l'activité du TLCO et la distance. En contrepartie, il a semblé ne pas y avoir de lien direct entre l'activité du TLCO et la distance des centrales nucléaires. On a constaté que dans les endroits où l'on a mesuré les concentrations de fond, les valeurs de TLCO et les distances de l'installation dépassaient les valeurs prévues et qu'il faudra procéder à des examens plus poussés pour déterminer comment la compartimentation du TLCO se fait dans l'environnement terrestre.

Le tableau 2 résume les ratios TLCO/HTO dans les quatre installations nucléaires étudiées. Dans les deux centrales nucléaires (Darlington et Gentilly-2), il n'y a pas eu d'enrichissement systématique du TLCO par rapport au HTO, sauf dans quelques échantillons de produits d'origine animale. Les ratios TLCO/HTO moyens dans les produits d'origine animale près des centrales de Darlington et Gentilly-2 étaient respectivement de 11,1 et 8,2 (voir le tableau 2). Les ratios mesurés étaient plus élevés que prévu d'après les modèles physiologiques actuels sur le comportement du HTO et du TLCO dans les plantes et les animaux (CSA, 2008).

**Tableau 2 Ratios TLCO/HTO moyens tirés d'échantillons environnementaux prélevés près d'installations nucléaires**

Milieu environnemental	Ratios TLCO/HTO moyens			
	SRB Technologies	SSI	Centrale de Darlington	Centrale nucléaire de Gentilly-2
Sol	6,5	1,4	1,2	1,6
Potager	3,6	1,4	1,3	1,3
Fourrage pour les animaux	2,8	2,2	0,9	3,8
Produits d'origine animale	4,1	2,8	11,1	8,2
Dans l'ensemble	4,0	1,8	3,6	3,8

Dans les échantillons prélevés près de SRBT, le TLCO est enrichi par rapport au HTO qui y est associé, et ce, dans tous les échantillons environnementaux. L'enrichissement du TLCO par

rapport au HTO est vraisemblablement attribuable aux grandes quantités de TLCO dans la région, peut-être à cause d'émissions anciennes. Les échantillons environnementaux obtenus près de SSI sont légèrement enrichis de TLCO, plus que de HTO. Les ratios TLCO/HTO moyens dans les échantillons prélevés près de SSI sont plus faibles que ceux près de SRBT.

Les ratios TLCO/HTO mesurés dans cette étude étaient supérieurs à 1. Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus dans le cadre du relevé environnemental de 2007 et d'autres sites de valeurs de fond en Ontario et en Saskatchewan. La consommation de produits maraîchers dont le ratio TLCO/HTO est supérieur à 1 ne devrait compter que pour une petite fraction de la dose à la population et, par conséquent, on considère qu'il ne s'agit pas d'un risque additionnel (CCSN, 2010).

#### 4.1.7 Doses à la population

Au cours des travaux résumés dans le document *Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population* (CCSN, 2010), on a évalué la dose à la population habitant près de SRBT à Pembroke en mesurant les taux d'activité du tritium dans des échantillons de produits alimentaires, ainsi qu'en recueillant de l'information propre au site sur les sources de nourriture et les taux de consommation d'aliments. On a conclu dans ces travaux précédents que la dose de consommation de tritium dans les fruits et légumes cultivés à Pembroke était très inférieure à la limite de dose à la population de 1 mSv par année et qu'elle était inférieure aux doses dont on sait qu'elles ont des effets sur la santé.

Pour déterminer la dose à la population provenant de la consommation de produits alimentaires dont le ratio TLCO/HTO est élevé, on a utilisé la même méthode que celle décrite dans l'étude de 2007 à Pembroke. La dose associée à la consommation de produits alimentaires dont le ratio TLCO/HTO est de 0,8 est d'environ 0,0001 mSv par année. On s'attend à un ratio TLCO/HTO de 0,8 près des sources d'émission de tritium atmosphérique d'après les données expérimentales dans la littérature (CSA, 2008). La dose provenant de la consommation de concombres dont le ratio TLCO/HTO est de 15,4 se traduit par une dose à la population de 0,0005 mSv par année. La dose provenant de la consommation de lait dont le ratio TLCO/HTO est de 45,7 se traduit par une dose à la population de 0,005 mSv par année. Ces valeurs sont bien inférieures à la limite de dose à la population qui est de 1 mSv par année.

La dose à la population provenant de la consommation de produits maraîchers dont le ratio TLCO/HTO est supérieur à 10 représente une petite fraction de la limite de dose annuelle à la population et elle est inférieure de plusieurs ordres de grandeur aux doses dont on sait qu'elles ont des effets sur la santé. Il faut souligner que la dose totale près d'une installation ou dans un endroit sélectionné pour la mesure de ses valeurs de fond serait supérieure, car d'autres sources (notamment, la consommation d'autres produits alimentaires, l'absorption par inhalation, etc.) et d'autres radionucléides (notamment l'uranium, le radium et le polonium) y contribuent également.

La dose efficace moyenne provenant du rayonnement naturel au Canada est de 1,8 mSv par année. La dose provenant du tritium dans les environs des quatre installations nucléaires dans ce rapport compte pour une petite fraction du rayonnement naturel.

## 4.2 Conversion HT-HTO-TLCO

On sait que la conversion du HT atmosphérique en HTO se produit surtout dans le sol où des micro-organismes sont présents et capables de transformer l'hydrogène en eau par oxydation. Des expériences ont été menées pour examiner le mécanisme et les facteurs qui ont une incidence sur ce qu'il advient du HT rejeté dans l'atmosphère et le taux de conversion du HTO en TLCO dans le sol. En 2009, on a aménagé un potager expérimental chez SSI pour étudier la conversion HT-HTO-TLCO dans les tomates, les concombres, les radis et les haricots.

### 4.2.1 Potager expérimental

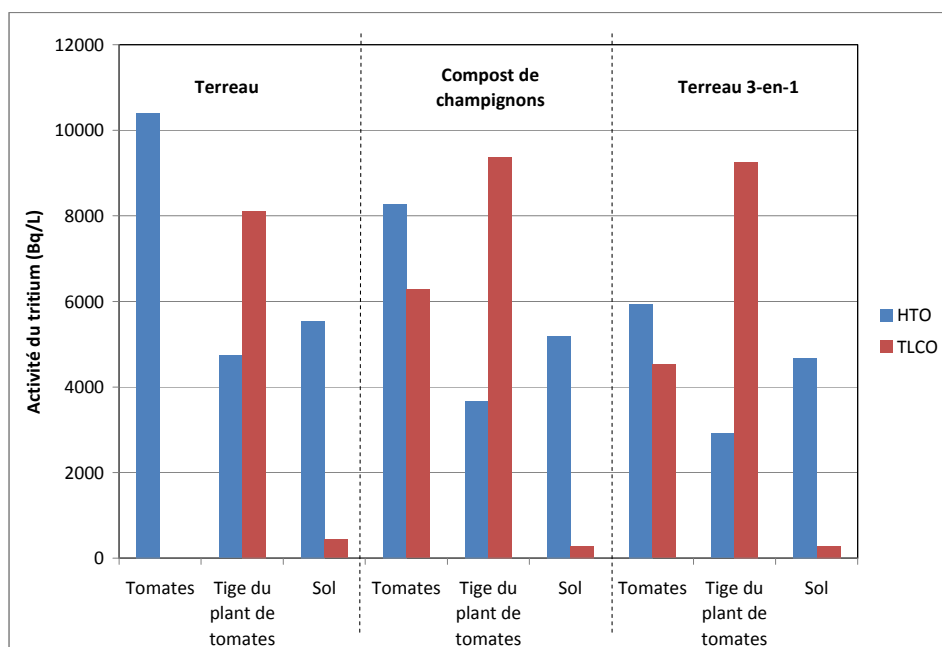
Un potager expérimental a été aménagé dans une serre modulaire entièrement fermée installée à 25 m de la cheminée de SSI. On a utilisé trois types de terre : du compost de champignons; du terreau ordinaire composé d'un mélange de tourbe, de compost de fumier et de terre noire; et du terreau riche en matières organiques. Les trois types de terre ont tous été caractérisés comme étant du sable limoneux riche en matières organiques. On s'est servi d'eau à faible teneur en tritium provenant de la rivière Otonabee, soit la source d'eau municipale des installations de SSI, pour arroser les plants.

Des tomates, des concombres, des radis et des haricots ont été cultivés dans des pots. On a consulté les jardiniers de la région pour choisir une variété de tomate à cultiver qui est résistante aux maladies connues dans la région. On a opté pour le concombre comme légume vert en raison de sa teneur élevée en eau. Les haricots féveroles (*vicia faba*) offrent une excellente source de protéines pour l'organisme humain et font souvent partie des légumes cultivés dans les potagers de la région.

Des quatre types de légumes cultivés dans les trois types de terre, seul le plant de tomates a donné suffisamment de fruits pour qu'on puisse les analyser. La terre n'était pas suffisamment riche pour que les autres poussent. Par conséquent, le potager n'a produit qu'une petite quantité de végétation pouvant être soumise à une analyse de HTO.

Le plant de tomates a été analysé en trois parties : le fruit, la tige et la terre (voir la figure 8). Parmi les trois types de terre utilisés, on a trouvé dans la terre de culture du plant de tomates le fruit contenant la concentration la plus élevée en HTO. La concentration de HTO la plus faible se trouvait dans la tige du plant. Par contre, on a trouvé le taux de TLCO le plus élevé dans les tiges des plantes et le plus faible, dans la terre. De plus, on a découvert que par rapport à ses fruits, c'était plutôt dans la tige du plant de tomates que le TLCO était enrichi. Dans les tomates, l'activité du HTO est supérieure à celle du TLCO, tandis que dans la tige du plant de tomates, l'activité du TLCO est supérieure.

**Figure 8 Taux d'activité du HTO et du TLCO dans les tomates cultivées dans trois différents types de sol, dans une serre à 25 m de l'installation de SSI**



#### 4.2.2 Résumé

On a examiné les répercussions possibles du genre de terre sur l'absorption du tritium en cultivant la même plante dans différents types de terre vendue dans le commerce. Ces résultats ne fournissent aucune indication sur l'incidence du type de terre sur la compartimentation du tritium atmosphérique et sa transformation en TLCO. La méthode expérimentale n'a révélé aucune information qui nous permettrait de savoir si le TLCO est dérivé du HTO atmosphérique ou plutôt du HT converti en HTO dans le sol.

#### 4.2.3 Analyse des anneaux de croissance en tant que registre du tritium dans l'atmosphère

On peut obtenir un historique des rejets de tritium à partir des installations nucléaires au fil du temps en examinant les anneaux de croissance d'arbres (Love *et coll.*, 2002; Kozak *et coll.*, 1993). On a évalué l'utilité des mesures du TLCO dans les anneaux comme indice des rejets passés de tritium (HT et HTO) en récoltant des troncs d'arbres près de SRBT et de la centrale nucléaire de Darlington.

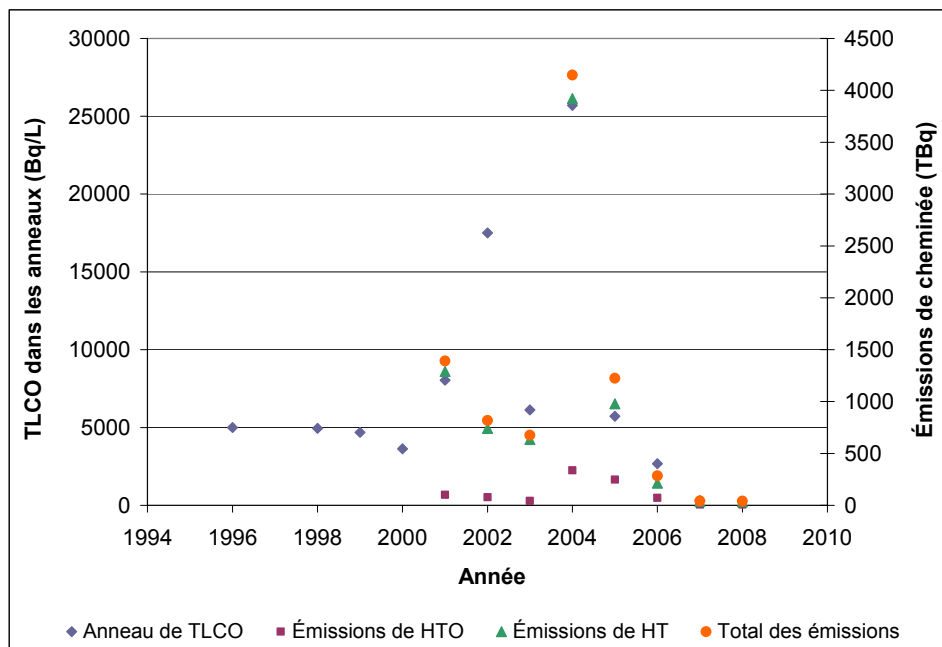
#### 4.2.4 SRB Technologies

On a récupéré un morceau de tremble de 14 ans tombé récemment à environ 20 m au sud-ouest des cheminées de SRBT, près de l'endroit où l'on avait mené une étude dernièrement sur le tritium dans l'eau souterraine.

La figure 9 présente les émissions de SRBT de 2000 à 2008, ainsi que des données dérivées d'anneaux de croissance d'arbres pour la même période. L'activité du TLCO dans les anneaux était à un sommet en 2004, soit à 27 500 Bq/L. On a obtenu des données sur les émissions en consultant les rapports annuels de conformité de SRBT. Aucune donnée n'est disponible au sujet

des émissions d'avant l'année 2000. On a constaté que les anneaux montraient une variation des données sur le TLCO d'une année à une autre. Les données des anneaux étaient en partie conformes aux tendances sur les émissions à SRBT.

**Figure 9**      **Activité du TLCO dans les anneaux d'un peuplier poussant à 20 m de SRB Technologies**



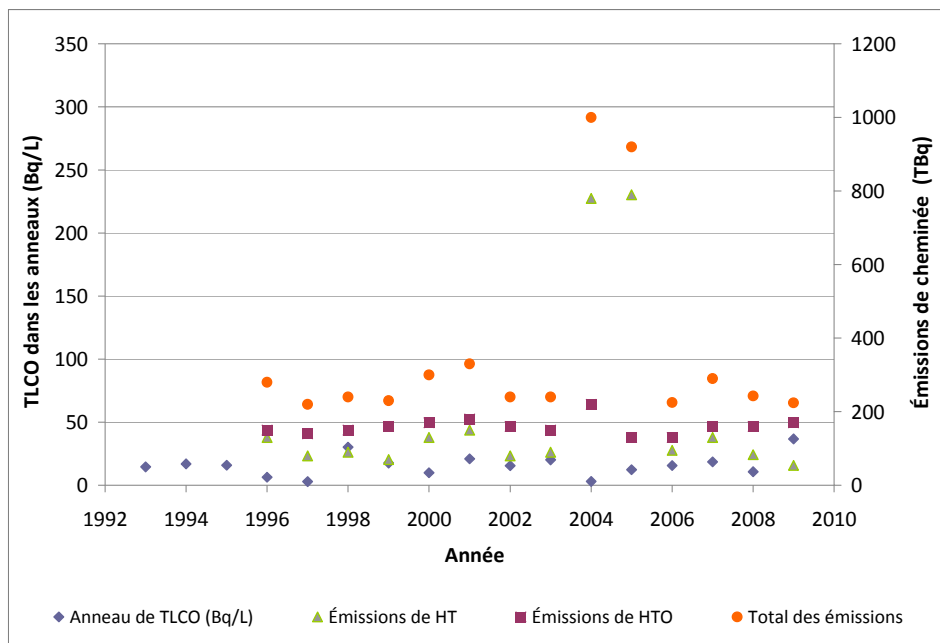
#### 4.2.5 Centrale nucléaire de Darlington

En novembre 2009, on a récupéré un morceau de peuplier qui était tombé et se trouvait à 1 760 m au nord-ouest de la centrale nucléaire de Darlington. Les marques de scie mécanique sur la souche indiquaient que l'arbre avait été coupé récemment. On a donc considéré que l'anneau extérieur correspondait à la saison de croissance de 2009. En comptant les anneaux, on a pu remonter à 1987.

Les taux de TLCO dans les anneaux et les émissions de HT et de HTO du site de Darlington sont illustrés sous forme de graphique dans la figure 10. Les taux d'activité du TLCO indiqués dans les anneaux de l'arbre échantillonné près de ce site étaient beaucoup plus faibles que ceux échantillonnés près de SRBT. Le taux moyen de TLCO dans les échantillons d'arbres près de Darlington était d'environ 15 Bq/L.



**Figure 10 Taux d'activité du TLCO dans les anneaux d'un peuplier se trouvant à 1760 m du site de Darlington**



Les émissions du site de Darlington ne sont pas apparues dans les anneaux. De plus, les deux années où il y a eu un pic dans les émissions (2004 et 2005) attribuable seulement à des émissions de HT plus élevées que la normale n'apparaissent pas dans le TLCO dans les anneaux.

#### 4.2.6 Résumé

Les enregistrements dans les anneaux de croissance de SRBT ont assez bien capté les principales tendances pluriannuelles des enregistrements d'émissions dans lesquelles le HT était prédominant. Dans les enregistrements d'anneaux récupérés près de la centrale de Darlington, la corrélation entre les anneaux et les émissions était faible.

Les valeurs de TLCO dans les anneaux à SRBT (voir la figure 9) étaient une fois plus élevées que les taux de TLCO mesurés dans les anneaux de l'échantillon prélevé près de la centrale de Darlington (voir la figure 10). Les échantillons d'arbres récupérés à SRBT provenaient d'arbres qui se trouvaient plus près de la cheminée que l'échantillon prélevé près de Darlington. On sait que plus la distance augmente, plus les émissions de tritium diminuent. En effet, leur valeur avoisinera les concentrations naturelles dans l'espace de quelques kilomètres. La faible corrélation près de la centrale de Darlington peut être attribuable à la plus faible concentration de tritium atmosphérique plus loin de l'installation.

Les mesures de l'activité du TLCO prises sur des échantillons d'anneaux d'arbre peuvent être un indicateur utile des émissions par le passé dans certains contextes. Par exemple, les échantillons d'arbres prélevés à moindre distance de la source des émissions épousaient mieux les enregistrements des émissions que les échantillons prélevés plus loin.

### 4.3 Réponse environnementale aux changements dans les émissions

SRBT traite le tritium depuis le début des années 1990. L'installation a été fermée temporairement du 31 janvier 2007 au 1<sup>er</sup> juillet 2008 par la CCSN. On a inclus SRBT dans cette étude, car la fermeture temporaire en 2007-2008 offrait l'occasion d'étudier la réponse environnementale à la fermeture et à la remise en service des installations. L'enregistrement des émissions de SRBT est résumé dans la figure 9. Depuis 2007, les émissions sont demeurées constantes, soit d'environ 40 TBq/année (voir le tableau 3), mais la proportion relative du HTO par rapport au total a augmenté en 2009.

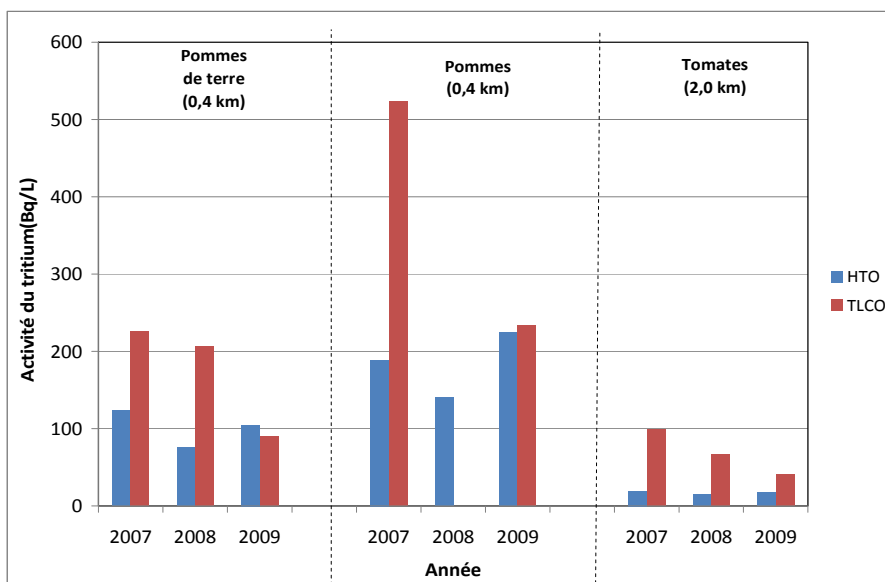
**Tableau 3 Émissions de tritium de SRBT de 2007 à 2009**

Année	HTO (TBq)	HT (TBq)	Tritium total (TBq)	HTO/Tritium total (%)
2007	5,8	36,0	41,8	13,9
2008	6,4	33,6	40,1	16,0
2009	14,3	26,2	40,5	35,3

#### 4.3.1 Rétablissement de l'environnement chez SRB Technologies

La figure 11 compare les concentrations de HTO et de TLCO dans divers produits maraîchers (tomates, pommes et pommes de terre) cultivés près de SRBT en 2007, 2008 et 2009. Pour ces trois types de produits maraîchers, les concentrations de TLCO ont diminué au cours de ces trois années consécutives, les valeurs maximales étant observées en 2007. Le tableau 4 résume les ratios TLCO/HTO dans les produits maraîchers recueillis près de SRBT de 2007 à 2009.

**Figure 11 Taux d'activité du HTO et du TLCO dans les produits maraîchers cultivés et récoltés près de SRB Technologies de 2007 à 2009**



**Tableau 4 Ratios TLCO/HTO dans les produits maraîchers cueillis près de SRBT, de 2007 à 2009**

Produits (distance de la cheminée)	Année		
	2007	2008	2009
<b>Pommes de terre (0,4 km)</b>	1,8	2,7	0,9
<b>Pommes (0,4 km)</b>	2,7	--	1,0
<b>Tomates (2 km)</b>	5,1	4,3	2,3

La diminution du taux de TLCO pendant cette période de trois ans ne concorde pas avec le total des émissions de tritium que l'installation a rejeté pendant la même période (voir le tableau 3) et qui est relativement constant. Puisque sa solubilité est faible, le HT n'est pas absorbé par la végétation. Par conséquent, la diminution des émissions de HT (voir le tableau 3) ne peut expliquer la diminution du taux de TLCO dans les plantes. La tendance à la baisse du TLCO dans les plantes pourrait être causée par une diminution du TLCO dans le sol, soit une mesure qui n'a pas été prise en compte dans cette étude.

#### 4.3.2 Résumé

L'activité du TLCO dans la végétation recueillie de 2007 à 2009 montre les variations des émissions de tritium provenant de SRBT. Le TLCO suit les concentrations de tritium sur une saison de croissance. Par conséquent, l'activité du TLCO dans la végétation peut être considérée comme représentative des concentrations de tritium au cours d'une saison de croissance donnée. Dans cette étude, l'activité du HTO dans la végétation au cours de la même période de trois ans n'a pas varié autant que l'activité du TLCO dans la végétation. À la lumière de cette étude, l'activité du TLCO dans la végétation pourrait répondre aux variations des émissions. Cependant, le mécanisme précis qui régule la formation du TLCO à partir du HT ou du HTO n'est pas encore bien compris.

## 5. Résumé d'ensemble

### Principales constatations

La CCSN a accordé un contrat à l'Université d'Ottawa pour étudier le comportement du tritium dans l'environnement terrestre. L'objectif de cette étude était de mieux connaître la façon dont les rejets de tritium pénètrent dans l'environnement terrestre et la chaîne alimentaire des êtres humains. Les résultats présentés dans ce document sont fondés sur un ensemble intégré de mesures de l'activité du HTO et du TLCO dans les échantillons de sol, de produits maraîchers, de fourrage pour les animaux et de produits d'origine animale prises près des installations rejetant du tritium.

Voici un résumé des constatations de l'étude :

- En général, le HTO et le TLCO diminuent à mesure que l'on s'éloigne de l'installation. Cette tendance était la plus manifeste dans les échantillons environnementaux prélevés près d'installations nucléaires de traitement et la moins significative près des centrales nucléaires.
- D'après les résultats de cette étude, le type de sol n'a aucune incidence sur la répartition du tritium atmosphérique.
- Étant donné l'approche expérimentale de l'étude, on ne sait pas si le TLCO provient du HTO dans l'air ou de HT transformé en HTO dans le sol.
- Dans certaines circonstances (p. ex., à proximité d'installations nucléaires), l'activité du TLCO dans les anneaux d'arbres peut être un indicateur pertinent des émissions qui ont eu lieu par le passé.
- Il y a eu des variations importantes dans la proportion TLCO/HTO dans le sol, la végétation, les produits d'origine animale et le fourrage pour les animaux.
- Les ratios TLCO/HTO mesurés dans les échantillons environnementaux étaient en général plus grands que ceux mesurés à proximité des diverses installations nucléaires.
- La dose associée à la consommation de produits dont les ratios TLCO/HTO étaient supérieurs à 1 compte pour une faible proportion de la limite annuelle de dose du public et elle est de plusieurs fois (entre 200 et 2000) inférieures aux doses dont on sait qu'elles présentent des risques pour la santé.

### Recherches à venir

Les données présentées dans ce rapport offrent plus de renseignements concernant la dissémination du tritium dans l'environnement terrestre. Cependant, il reste des questions à éclaircir au sujet de l'activité du tritium dans les divers milieux environnementaux, du taux de formation du TLCO dans le sol et de son mécanisme de formation. C'est dans ce but que la CCSN a accordé un contrat à l'Université d'Ottawa pour que celle-ci mène un projet de recherche supplémentaire pour que nous puissions mieux comprendre les mécanismes de transport et de

transformation des émissions du tritium lorsqu'il passe de l'atmosphère à l'environnement terrestre. Voici les objectifs de ce projet de recherche :

- méthodes de mesure des diverses formes du tritium dans l'air
- évolution des formes chimiques du tritium dans l'air
- transfert du tritium de l'air à la chaîne alimentaire humaine
- cinétique de la formation du TLCO

Les connaissances acquises grâce à ces recherches serviront à améliorer les prédictions et la surveillance du tritium dans l'environnement afin de mieux réglementer les installations nucléaires.

## 6. Références

1. Belot, V.A., K. Ganthier, H. Comus, C. Caput, « Prediction of the flux of tritiated water from the air to plant leaves », *Health Physics*, numéro 37, p. 575-583, 1979.
2. Boyer, C., L. Vichot, M. Fromm, Y. Losset, F. Tatin-Froux, P. Guétat, P.M. Badot, « Tritium in plants: A review of current knowledge », *Environmental and Experimental Botany*, numéro 67, p. 34-51, 2009.
3. Bruce Power, Annual Summary & Assessment of Radiological Environmental Radiological Monitoring Data for 2009, B-REP-03419-00010 R000, avril 2010.  
[brucepower.com/category/reports/environmental-reports/environmental-radiological-data/](http://brucepower.com/category/reports/environmental-reports/environmental-radiological-data/).
4. Centrale Nucléaire Gentilly-2. Résultats du Programme de Surveillance de l'Environnement du site de Gentilly. Rapport Annuel 2007 Rapport Technique G2-RT-2008-00518-004. Avril 2008 [http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog\\_surv\\_radio2008.pdf](http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog_surv_radio2008.pdf).
5. Centrale Nucléaire Gentilly-2. Résultats du Programme de Surveillance de l'Environnement du site de Gentilly. Rapport Annuel 2008 Rapport Technique G2-RT-2008-00518-001. Avril 2009 [http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog\\_surv\\_radio2008.pdf](http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog_surv_radio2008.pdf).
6. Centrale Nucléaire Gentilly-2. Résultats du Programme de Surveillance de l'Environnement du site de Gentilly. Rapport Annuel 2009 Rapport Technique G2-RT-2008-00518-025. Avril 2010 [http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog\\_surv\\_radio2009.pdf](http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog_surv_radio2009.pdf).
7. Centrale Nucléaire Gentilly-2. Résultats du Programme de Surveillance de l'Environnement du site de Gentilly. Rapport Annuel 2010 Rapport Technique G2-RT-2008-00518-003. Avril 2011 [http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog\\_surv\\_radio2010.pdf](http://www.hydroquebec.com/production/centrale-nucleaire/pdf/prog_surv_radio2010.pdf).
8. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population, Ottawa (Canada), 2010.  
[nuclearsafety.gc.ca/fr/readingroom/healthstudies/tritium/environmental\\_fate\\_of\\_tritium\\_in\\_soil\\_and\\_vegetation.cfm](http://nuclearsafety.gc.ca/fr/readingroom/healthstudies/tritium/environmental_fate_of_tritium_in_soil_and_vegetation.cfm).
9. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Données sur les rejets radioactifs des centrales nucléaires canadiennes de 2001 à 2010, INFO-0210/rév. 14, Ottawa (Canada), 2012.  
[http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs\\_catalogue/uploads\\_fre/January-25-2012-Radioactive-Release-Data-from-Canadian-Nuclear-Power-Plants-2001-2010-r14-INFO-0210\\_f.pdf](http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads_fre/January-25-2012-Radioactive-Release-Data-from-Canadian-Nuclear-Power-Plants-2001-2010-r14-INFO-0210_f.pdf).
10. Association canadienne de normalisation, Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities, Association canadienne de normalisation N288.1-08, Mississauga, Canada, 2008.

11. Clark, I. D., M. Wilk, D. Lacelle, Environmental Fate of Tritium in Soil and Vegetation, Final Report, Contrat no 87055-07-0947: R388.1 de la Commission canadienne de sûreté nucléaire, août 2010.
12. Commission canadienne de sûreté nucléaire, Taux de tritium dans les produits maraîchers de Pembroke en 2007 et dose à la population, INFO-0798, avril 2010.
13. Faure, G., T.M. Mensing, Isotopes: Principles and Applications, John Wiley and Sons, 897 p., 2005.
14. Ilin, M., P. Thompson, H. Rabski, « Monitoring of Airborne Tritium in Vicinity of Radioluminescent Light Manufacturer », Fusion Science and Technology, vol. 48, p. 496-499, 2005.
15. Kim, S. B. et P. A. Davis, OBT/HTO Ratios in Plants, COG-06-3053-R1, Groupe des propriétaires de centrales CANDU inc., Toronto, Canada, juin 2008.
16. Kozak, K., D. Rank, T. Brio, V. Rajner, F. Golder, F. Staudner, « Retrospective evaluation of tritium fallout by the tree rings analysis », *Journal of Environmental Radioactivity*, numéro 19, p. 67-77, 1993.
17. Love, A.H., J.R. Hunt, M.L. Roberts, J.R. Southon, M.L. Ciarappa-Zucca, K.H. Dingley, « Use of tritium accelerator mass spectrometry for tree ring analysis », *Environmental Science and Technology*, numéro 36, p. 2848-2852, 2002.
18. Okada, S. et N. Momoshima, « Overview of tritium: characteristics, sources and problems », *Health Physics*, numéro 65, p. 595-609, 1993.
19. Ontario Power Generation, Annual Summary and Assessment of Environmental Radiological Data for 2002, B-REP-03419-0002.
20. Ontario Power Generation, Annual Summary and Assessment of Environmental Radiological Data for 2005, N-REP-03481-10004, novembre 2006.  
[opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/Annual%20Summary%20and%20Assessment%20of%20Environmental%20Radiological%20Data%202005%20.pdf](http://opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/Annual%20Summary%20and%20Assessment%20of%20Environmental%20Radiological%20Data%202005%20.pdf).
21. Ontario Power Generation, 2007 Results of Radiological Environmental Monitoring Programs, N-REP-03481-10006-R000, avril 2008.
22. [opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2007%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20\(REMP\)%20Report.pdf](http://opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2007%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20(REMP)%20Report.pdf)
23. Ontario Power Generation, 2008 Results of Radiological Environmental Monitoring Program, N-REP-03481-10007-R000, avril 2009.  
[http://www.opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2008%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20\(REMP\)%20Report.pdf](http://www.opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2008%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20(REMP)%20Report.pdf).
24. Ontario Power Generation, 2009 Results of Radiological Environmental Monitoring Programs, N-REP-03481-10008-R000, avril 2010.

- opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2009%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20(REMP)%20Report.pdf.
25. Ontario Power Generation, 2010 Results of Radiological Environmental Monitoring Programs, N-REP-03481-10009-R000, avril 2011.  
[http://www.opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2010%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20\(REMP\)%20Report.pdf](http://www.opg.com/pdf/Nuclear%20Reports%20and%20Publications/2010%20Radiological%20Environmental%20Monitoring%20Program%20(REMP)%20Report.pdf).
  26. Shield Source Incorporated, 2007 Annual Compliance Report, mars 2008.  
<http://www.shieldsource.com/files/2007-Annual-Report.pdf>.
  27. Shield Source Incorporated, 2008 Annual Compliance Report, mars 2009.  
<http://www.shieldsource.com/files/2008-Annual-Compliance-Report.pdf>.
  28. Shield Source Incorporated, 2009 Annual Compliance Report, mars 2010.  
<http://www.shieldsource.com/files/2009-Final-Annual-Compliance-Report-March-31.pdf>.
  29. Shield Source Incorporated, 2010 Annual Compliance Report, mars 2011.  
<http://www.shieldsource.com/files/2010-Annual-Compliance-Report-Final.pdf>.
  30. SRB Technologies, 2007 Annual Compliance Report, mars 2008.  
<http://www.betalight.com/pip/compliance-2007.pdf>.
  31. SRB Technologies, 2008 Annual Compliance Report, mars 2009.  
<http://www.betalight.com/pip/compliance-2008.pdf>.
  32. SRB Technologies, 2009 Annual Compliance Report, mars 2010.  
<http://www.betalight.com/pip/compliance-2009.pdf>.
  33. SRB Technologies, 2010 Annual Compliance Report, mars 2011.  
<http://www.betalight.com/pip/ACR2010.pdf>.
  34. Thompson, P.A., H.S. Hamlat, R. Lane, S. Mihok, P. Reinhardt, K. Bundy, « 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 (Review of the knowledge available to date on the effects of tritium exposure on health and the environment in Canada – a tool to guide regulatory compliance monitoring) » *Radioprotection*, vol. 46, p. 511-531, 2011.



## 7. Sigles

CANDU	réacteur canadien à deutérium-uranium
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
EACL	Énergie atomique du Canada limitée
HT	hydrogène tritié
HTO	eau tritiée
OPG	Ontario Power Generation
SRBT	SRB Technologies
SSI	Shield Source Incorporated
TFWT	eau tritiée exempte de tissus
TLCO	tritium lié à des composés organiques

**Annexe A Résultats obtenus en laboratoire par l'Université d'Ottawa**

**Russell, Ontario**

			HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>								
Rus-08-01	Sol 2008	0,21	2,95	0,73	10,4	0,783	0,31	3,53
Rus-09-01	Sol 2009	0,25	3,20	0,81	8,5	0,533	0,38	2,66
<b>Produits maraîchers</b>								
Rus-08-01	Carottes 2008	0,88	3,55	0,74	7,5	2,63	1,74	2,11
Rus-09-01	Carottes 2009	0,90	2,41	0,79	12,1	3,52	0,059	5,02
<b>Fourrage pour les animaux</b>								
Rus-09-01	Herbes 2009	0,79	3,52	0,82	4,66	1,70	0,023	1,32
Rus-08-02	Feuilles de maïs 2008	0,77	2,61	0,77	2,16	0,80	0,022	0,83
Rus-09-02	Feuilles de maïs 2009	0,77	4,60	0,84	5,43	2,23	1,73	1,18
Rus-08-02	Maïs en épi 2008	0,72	3,34	0,79	0,96	0,0483	1,58	0,29
Rus-09-02	Maïs en épi 2009	0,75	3,82	0,83	2,60	1,31	1,01	0,68
<b>Produits d'origine animale</b>								
Rus-08-03	Lait 2008	0,86	1,27	0,73	5,82	3,77	2,08	4,58
Rus-09-03	Lait 2009	0,81	1,92	0,78	5,17	3,09	1,35	2,69
Rus-08-05	Miel 2008	0,10	2,89	0,81	7,58	4,06	1,87	2,62

**Langenburg and Warman, Saskatchewan**

			HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>								
2009-Langenburg	Sols 2009	0,17	1,33	0,89	19,9	0,59	0,007	15,0
<b>Produits maraîchers</b>								
2008-Langenburg #1	Tomates 2008	0,92	1,18	0,74	23,7	5,04	1,52	20,0
2009-Langenburg #1	Tomates 2009	0,91	2,60	0,95	8,15	3,72	1,74	3,1
2008-Langenburg #3	Concombres 2008	0,97	1,04	0,73	18,5	4,29	2,73	17,8
2009-Langenburg	Courge 2009	0,90	2,39	0,93	7,75	3,59	1,45	3,2
2008-Warman #4	Tomates 2008	0,93	1,45	0,75	18,9	6,2	2,17	13,0
2008-Warman Park #5	Pommes sauvages 2008	0,82	0,73	0,72	8,73	3,61	1,30	12,0
2009-Warman	Pommes 2009-1	0,85	1,58	0,91	6,40	3,15	1,26	4,0
2009-Warman	Pommes 2009-2	0,86	1,07	0,90	5,14	2,39	1,15	4,8
2009-Warman	Baies 2009	0,80	2,18	0,91	7,05	3,27	1,46	3,23

**SRB Technologies**

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>									
Pem-08-01	Sol 2008-1	0,19	0,40	102	2,26	1010	53,1	1,24	9,9
Pem-09-01	Sol 2009-1	0,22	0,40	122	2,54	493	8,09	0,334	4,0
Pem-08-12	Sol 2008-2	0,24	3,80	4,30	0,83	14,9	1,01	0,384	3,5
Pem-09-12	Sol 2009-2	0,24	3,80	6,30	0,86	55,2	2,64	0,513	8,8
<b>Produits maraîchers</b>									
Pem-09-01	Pommes 2009	0,87	0,40	224	3,69	234	96,1	3,11	1,0
Pem-08-01	Carottes 2008	0,91	0,40	75,5	1,88	69,1	22,1	3,12	0,9
Pem-09-01	Carottes 2009	0,90	0,40	116	2,49	103	25,4	2,39	0,9
Pem-08-01	Pommes de terre 2008	0,77	0,40	76,0	1,89	206	81,8	1,73	2,7
Pem-09-01	Pommes de terre 2009	0,75	0,40	105	2,32	90,0	42,9	2,22	0,9
Pem-08-05	Tomates 2008	0,94	2,00	15,3	1,00	66,3	7,87	6,63	4,3
Pem-09-05	Tomates 2009	0,94	2,00	17,7	1,09	40,3	10,4	3,39	2,3
Pem-09-09	Concombres 2009	0,95	4,80	7,60	0,89	117	7,94	6,33	15,4
<b>Fourrage pour les animaux</b>									
Pem-09-10	Herbe 2009	0,75	4,10	7,3	0,88	31,3	13,0	9,83	4,3
Pem-08-13	Feuilles de maïs 2008	0,77	2,70	7,0	0,84	34,1	7,71	2,40	4,9
Pem-09-13	Feuilles de maïs 2009	0,79	2,70	9,2	1,15	13,9	5,19	1,91	1,5
Pem-08-13	Maïs en épi 2008	0,77	2,70	8,3	0,91	15,8	7,19	1,86	1,9
Pem-09-13	Maïs en épi 2009	0,85	2,70	12,7	1,23	18,4	8,71	2,11	1,4

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Produits d'origine animale</b>									
Pem-08-06	Miel 2008	0,13	2,00	4,8	1	8,4	4,63	3,19	1,8
Pem-09-06	Miel 2009	0,13	2,00	6,6	1,2	8,0	3,38	0,683	1,2
Pem-08-10	Œufs 2008	0,70	4,10	8,5	0,87	42,0	19,4	0,854	4,9
Pem-09-10	Œufs 2009	0,71	4,10	13,2	1,01	28,2	11,7	9,48	2,1
Pem-08-12	Lait 2008	0,88	3,80	7,8	0,86	124	78,8	2,17	15,9
Pem-09-12	Lait 2009	0,83	3,80	11,4	0,97	10,7	4,92	1,25	0,9
Pem-08-13	Bœuf haché 2008	0,67	2,70	35,3	1,31	54,1	34,3	1,08	1,5

**Shield Source Inc.**

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>									
Pt-08-01	Sol 2008-1	0,19	3,4	49,7	3,84	21,9	0,69	0,285	0,44
Pt-09-01	Sol 2009-1	0,14	3,4	56,2	0,91	127	6,99	0,471	2,26
Pt-08-03	Sol 2008-2	0,14	3,4	60	0,92	22,7	0,38	0,018	0,38
Pt-09-03	Sol 2009-2	0,09	3,4	103	0,89	167	2,77	0,367	1,62
Pt-08-10	Sol 2008-3	0,25	5,6	58,3	1	21,9	1,25	0,358	0,38
Pt-09-10	Sol 2009-3	0,17	5,6	69,9	0,97	245	12,1	0,596	3,51
<b>Produits maraîchers</b>									
Pt-08-10	Pommes 2008	0,84	5,6	40,4	0,78	55,6	12,2	7,63	1,38
Pt-09-10	Pommes 2009	0,86	5,6	24,8	0,77	72	37,1	3,16	2,90
Pt-08-01	Haricots 2008	0,91	3,4	21,8	1,15	16,9	7,7	9,62	0,78
Pt-09-01	Haricots 2009	0,91	3,4	19,6	1,39	94,1	40,4	2,62	4,80
Pt-08-01	Tomates 2008-1	0,93	3,4	26,9	1,43	23,6	8,4	2,85	0,88
Pt-09-01	Tomates 2009-1	0,93	3,4	41,3	1,81	74,6	30,9	3,13	1,81
Pt-08-03	Tomates 2008-2	0,95	3,4	27,4	3,45	25,8	9,5	5,28	0,94
Pt-09-03	Tomates 2009-2	0,96	3,4	30,8	1,62	38,9	11,9	5,93	1,26
Pt-08-05	Pommes de terre 2008	0,84	0,9	456	6,25	170	72,7	14,2	0,37
Pt-09-05	Pommes de terre 2009	0,79	0,9	1010	14,2	451	208	6,34	0,45
Pt-08-09	Carottes 2008-1	0,89	3,3	52,4	1,62	43,5	13	6,03	0,83
Pt-08-09	Carottes 2008-2	0,85	3,3	52,7	1,62	48,9	22,8	5,19	0,93
<b>Fourrage pour les animaux</b>									
Pt-08-07	Feuilles de maïs 2008-1	0,79	8,1	11,1	0,97	13,5	5,9	1,9	1,22
Pt-09-07	Feuilles de maïs 2009-1	0,78	8,1	24,5	1,49	106	41,1	4,71	4,33

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
Pt-08-07	Maïs en épi 2008-1	0,87	8,1	12,7	1,00	24,8	10,5	7,19	1,95
Pt-09-07	Maïs en épi 2009-1	0,60	8,1	25,6	1,52	103	51,1	3,57	4,02
Pt-08-14	Herbe 2008-1	0,72	5,6	22,4	1,16	12	4,2	2,39	0,54
Pt-09-14	Herbe 2009-1	0,71	5,6	37,5	1,72	141	52	3,17	3,76
TPD-08-04	Herbe 2008-2	0,62	16,0	4,54	0,83	12,9	4,6	2,57	2,84
TPD-09-04	Herbe 2009-2	0,73	16,0	6,16	0,87	14,2	4,67	3,12	2,31
TPD-08-04	Feuilles de maïs 2008-2	0,78	16,0	6,67	0,87	8,17	3,44	2,2	1,22
TPD-09-04	Feuilles de maïs 2009-2	0,78	16,0	4,69	1,46	6,57	2,67	2,24	1,40
TPD-08-04	Maïs en épi 2008-2	0,83	16,0	6,57	0,86	10,2	5,09	1,54	1,55
TPD-09-04	Maïs en épi 2009-2	0,7	16,0	5,22	0,86	6,47	3,49	1,26	1,24
<b>Produits d'origine animale</b>									
Pt-08-06	Poitrine de poulet 2008	0,75	10,9	2,5	0,76	6,9	4,3	3,94	2,76

**Centrale nucléaire de Darlington**

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>									
Dar-08-02	Sol 2008-1	0,16	2,60	18,40	1,11	28,90	0,52	0,30	1,57
Dar-09-02	Sol 2009-1	0,15	2,60	11,40	0,98	12,00	0,25	0,37	1,05
Dar-08-07	Sol 2008-2	0,20	5,20	9,80	0,96	1,80	0,08	0,35	0,18
Dar-09-07	Sol 2009-2	0,16	5,20	7,90	0,91	4,70	0,16	0,28	0,59
Dar-08-11	Sol 2008-3	0,17	5,70	16,30	1,08	26,80	0,88	0,45	1,64
Dar-09-11	Sol 2009-3	0,14	5,70	10,10	0,95	19,60	0,32	0,34	1,94
<b>Produits maraîchers</b>									
Dar-08-02	Pommes 2008	0,86	2,60	15,70	1,09	16,90	7,47	1,48	1,08
Dar-09-02	Pommes 2009	0,86	2,60	14,10	1,03	16,00	7,29	1,20	1,13
Dar-08-06	Tomates 2008	0,95	6,10	10,10	0,95	26,40	6,92	3,51	2,61
Dar-09-06	Tomates 2009	0,93	6,10	5,90	0,86	6,80	2,65	1,20	1,15
Dar-09-07	Courgettes 2009	0,95	5,20	10,80	0,97	9,30	3,94	1,94	0,86
Dar-08-08	Pommes de terre 2008	0,76	4,10	18,20	1,10	20,90	9,83	2,08	1,15
Dar-09-08	Pommes de terre 2009	0,74	4,10	21,10	1,16	10,20	5,01	1,65	0,48
Dar-08-11	Carottes 2008	0,90	5,70	8,10	0,91	17,00	5,93	2,28	2,10
Dar-09-11	Carottes 2009	0,87	5,70	11,60	0,98	12,10	5,30	1,44	1,04
<b>Fourrage pour les animaux</b>									
Dar-08-14	Feuilles de maïs 2008	0,76	4,20	11,40	0,97	4,10	1,83	0,24	0,36
Dar-09-14	Feuilles de maïs 2009	0,79	4,20	15,90	1,07	11,10	4,29	2,04	0,70
Dar-08-14	Maïs en épi 2008	0,80	4,20	10,70	0,97	16,80	7,36	1,82	1,57
Dar-09-14	Maïs en épi 2009	0,72	4,20	15,80	1,06	12,70	4,95	1,13	0,80



				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Produits d'origine animale</b>									
Dar-08-05	Miel 2008	0,10	6,30	22,10	1,20	26,50	11,20	3,66	1,20
Dar-08-01	Bœuf haché 2008	0,72	4,00	15,70	1,09	39,60	23,20	0,85	2,52
Dar-08-03	Lait 2008	0,89	4,20	5,00	0,89	228,00	137,00	2,76	45,60
Dar-09-03	Lait 2009	0,90	4,20	6,10	0,86	11,90	7,60	3,05	1,95
Dar-08-03	Œufs 2008	0,70	4,20	3,10	0,85	40,30	16,80	0,83	13,00
Dar-09-03	Œufs 2009	0,76	4,20	2,00	1,05	5,00	2,50	1,64	2,50

**Centrale nucléaire de Gentilly-2**

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
<b>Sols</b>									
Gen-08-02	Sol 2008-1	0,22	2,9	15,6	1,04	9,7	0,43	0,262	0,62
Gen-09-02	Sol 2009-1	0,16	2,9	6,6	1,08	7,4	0,24	0,27	1,12
Gen-08-06	Sol 2008-2	0,17	14,7	4,3	0,82	10,3	0,37	0,306	2,40
Gen-09-06	Sol 2009-2	0,13	14,7	3,9	1,41	16,2	0,45	0,271	4,15
Gen-08-17	Sol 2008-3	0,25	7	11,6	1	3	0,13	0,253	0,26
Gen-09-17	Sol 2009-3	0,23	7	8,8	0,97	10,3	0,42	0,301	1,17
<b>Produits maraîchers</b>									
Gen-08-17	Pommes 2008	0,84	7	20,7	1,14	10,6	4,69	1,42	0,51
Gen-09-17	Pommes 2009	0,85	7	15,5	1,37	11	5,33	1,55	0,71
Gen-08-01	Tomates 2008	0,95	1,5	11,3	0,98	12,2	4,64	2,15	1,08
Gen-09-01	Tomates 2009	0,92	1,5	12,2	0,99	11,8	5,17	1,37	0,97
Gen-08-02	Carottes 2008	0,88	2,9	6,9	0,89	17	3,76	4,79	2,46
Gen-09-20	Haricots 2009	0,92	8,8	4,5	0,83	12	2,68	3,23	2,67
Gen-09-19	Pommes de terre 2009	0,78	9,4	4,3	0,83	3,3	0,84	-0,159	0,77
<b>Fourrage pour les animaux</b>									
Gen-08-01	Feuilles de maïs 2008	0,77	1,5	10,6	0,97	14,1	5,36	2,16	1,33
Gen-09-01	Feuilles de maïs 2009	0,74	1,5	21,9	1,17	21,6	7,33	2,09	0,99
Gen-08-01	Maïs en épi et en grains 2008	0,84	1,5	13,5	1,03	193	29,5	6,33	14,30
Gen-09-01	Maïs en épi et en	0,85	1,5	24,6	1,22	19,9	10,1	1,29	0,81

				HTO	HTO	TLCO	TLCO	TLCO	
Numéro de l'échantillon (emplacement, année)	Type d'échantillon	Teneur en eau	Distance de l'installation (km)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Erreur (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/L)	Tritium sur le terrain (Bq/kg)	Erreur (Bq/kg)	Ratio TLCO/HTO
	grains 2009								
Gen-09-17	Herbe 2009	0,76	1,5	10	0,95	16,7	6,73	3,69	1,67
<b>Produits d'origine animale</b>									
Gen-08-01	Lait 2008	0,85	1,5	11,4	0,99	12,1	6,36	1,89	1,06
Gen-09-01	Lait 2009	0,87	1,5	9,8	1	10,3	4,99	1,23	1,05
Gen-08-08	Bœuf haché 2008	0,73	20,5	0,7	0,75	27,9	14,6	0,662	39,86
Gen-09-08	Bœuf haché 2009-1	0,71	20,5	1,5	0,76	1,65	1,2	3,7	1,10
Gen-09-08	Porc haché 2009	0,76	20,5	1,22	0,75	15,2	7,58	3,5	12,46
Gen-08-09	Miel 2008	0,1	13,8	6,5	2,17	7,8	3,64	3,66	1,20
Gen-09-09	Miel 2009	0,1	13,8	12,7	1,22	9,39	4,42	3,15	0,74