

# Évaluation de la mesure du rendement pour la gestion des risques associés aux dioxines et aux furanes (volet santé)

## Résumé

Le présent rapport porte sur la mesure et l'évaluation du rendement des stratégies et des outils de gestion des risques adoptés pour assurer la protection de la population canadienne contre l'exposition aux dibenzo-*p*-dioxines polychlorées et aux dibenzofuranes polychlorés (également connus sous le nom de dioxines et de furanes), qui présentent un risque pour la santé humaine et l'environnement. Les dioxines et les furanes ont été choisis en vue de l'évaluation de la mesure du rendement parce qu'on dispose de données de base et d'indicateurs de rendement clés, et que des outils de gestion des risques pour la santé humaine sont en place depuis suffisamment longtemps pour qu'on puisse mesurer leur impact.

Les dioxines et les furanes ont été évalués par le gouvernement du Canada en 1990; l'évaluation a révélé qu'ils présentaient un risque pour la santé humaine et l'environnement, et qu'ils répondaient aux critères de toxicité des alinéas 11a) et 11c) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* de 1988 (LCPE 1988). Le gouvernement a alors mis en œuvre des stratégies et des outils de gestion des risques pour aider à réduire l'exposition de l'environnement et de la population générale aux dioxines et aux furanes au Canada, par des mesures visant les émissions des usines de pâtes et papiers, la production de métaux, l'incinération des déchets et les industries de préservation du bois. Le gouvernement du Canada est également signataire de plusieurs accords internationaux prévoyant une réduction des concentrations de dioxines et de furanes, ainsi que d'autres polluants organiques persistants.

Selon les renseignements recueillis par le gouvernement du Canada, ces outils et mesures de gestion des risques ont permis, depuis leur entrée en vigueur, de réduire :

1. les concentrations de dioxines et de furanes émises et mesurées dans l'air extérieur;
2. leur concentration dans les aliments d'origine animale et, par conséquent, l'exposition aux dioxines et aux furanes par voie alimentaire;
3. les concentrations de dioxines et de furanes mesurées dans le lait humain.

Dans l'ensemble, les outils de gestion des risques atteignent les objectifs établis, et des progrès ont été réalisés en vue de la quasi-élimination des dioxines et des furanes au Canada.

## Table des matières

<u>Résumé</u> .....	1
1. <u>À propos de la mesure du rendement</u> .....	4
2. <u>Contexte</u> .....	4
3. <u>Méthodes de gestion des risques</u> .....	6
3.1 <u>Mesures de gestion des risques au Canada</u> .....	7
3.1.1 <u>Règlements</u> .....	7
3.1.2 <u>Codes de pratiques environnementales</u> .....	8
3.1.3 <u>Standards pancanadiens (SP)</u> .....	9
3.1.4 <u>Avis de planification de la prévention de la pollution (P2)</u> .....	10
3.1.5 <u>Autres mesures nationales</u> .....	10
4. <u>Indicateurs de mesure de rendement</u> .....	13
4.1 <u>Environnement</u> .....	13
4.1.1 <u>Rejets dans l'environnement par l'industrie – Inventaire national des rejets de polluants (INRP)</u> .....	13
4.1.2 <u>Rejets dans l'air – Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA)</u> 13	
4.1.3 <u>Concentrations dans l'air ambiant – Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA)</u> .....	14
4.2 <u>Dose journalière par les aliments</u> .....	14
4.2.1 <u>Concentrations dans les aliments – Étude canadienne sur l'alimentation totale</u> 14	
4.3 <u>Biosurveillance</u> .....	15
4.3.1 <u>Concentrations dans le lait maternel</u> .....	15
4.3.2 <u>Concentration dans le sang – Programme national de biosurveillance</u> .....	15
5. <u>Données sur les indicateurs de rendement clés</u> .....	15
5.1 <u>Environnement</u> .....	15
5.1.1 <u>Rejets dans l'environnement par l'industrie – Inventaire national des rejets de polluants (INRP)</u> .....	16
5.1.2 <u>Rejets dans l'air – Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA)</u> 20	
5.1.3 <u>Concentrations dans l'air ambiant – Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA)</u> .....	21
5.2 <u>Dose journalière par les aliments</u> .....	22
5.2.1 <u>Concentrations de dioxines et de furanes dans certains aliments</u> .....	22
5.3 <u>Biosurveillance</u> .....	25

5.3.1	<u>Concentration dans le lait maternel</u> .....	25
5.3.2	<u>Concentration dans le sang – Programme national de biosurveillance</u> .....	26
6.	<u>Évaluation de la mesure du rendement</u> .....	27
6.1	<u>Environnement</u> .....	28
6.2	<u>Dose journalière par les aliments</u> .....	30
6.3	<u>Biosurveillance</u> .....	30
6.4	<u>Autres considérations</u> .....	31
6.4.1	<u>Sources futures d'exposition</u> .....	31
6.4.2	<u>Populations vulnérables</u> .....	32
7.	<u>Conclusions</u> .....	32
8.	<u>Références</u> .....	33

## 1. À propos de la mesure du rendement

Le gouvernement du Canada réalise des activités de mesure du rendement concernant la gestion des risques posés par les substances toxiques afin de déterminer si les mesures prises pour aider à protéger les Canadiens et leur environnement sont judicieuses et efficaces au fil du temps. L'évaluation de la mesure du rendement permettra de déterminer à quel point les mesures de gestion des risques ont permis de réduire ou d'éliminer le risque associé aux substances jugées toxiques selon la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999* (LCPE). Des ajustements peuvent être nécessaires lorsque les stratégies et les outils de gestion des risques ne permettent pas d'atteindre les résultats souhaités.

Le gouvernement du Canada fixe des buts afin de protéger les Canadiens et leur environnement contre les risques posés par les substances toxiques. Afin d'atteindre ces buts, le gouvernement du Canada établit des objectifs en matière de santé humaine, d'environnement et/ou de gestion des risques, et en élaborant une stratégie pour y parvenir. La mesure du rendement permet d'évaluer la façon dont les mesures de gestion des risques contribuent à protéger la population canadienne et son environnement contre les substances toxiques et à déterminer les secteurs à améliorer.

Le présent document vise à évaluer la stratégie de gestion des risques posés par les dioxines et les furanes, du point de vue de la santé humaine.

## 2 Contexte

Les dibenzo-*para*-dioxines polychlorées et les dibenzofuranes polychlorés, appelés dans le reste du document dioxines et furanes respectivement, sont des groupes de substances chimiques qui se forment généralement en tant que sous-produits au cours des processus de combustion. Toutes les dioxines ont la même structure chimique de base, des atomes de chlore étant substitués à différents endroits (Figure 1). Les furanes sont similaires, mais avec une structure de base différente. Chaque composé individuel ou « congénère » a son propre n° CAS<sup>1</sup>, bien que les dioxines et les furanes soient souvent émis sous la forme d'un mélange de plusieurs congénères. Le niveau de toxicité d'un congénère particulier varie selon sa structure. C'est pourquoi de nouveaux facteurs d'équivalence toxique (FET, qui ont remplacé les anciens « facteurs d'équivalence toxique internationaux », FET-I) ont été calculés afin d'évaluer la toxicité globale des mélanges de dioxines et de furanes (van den Berg et coll., 2006).

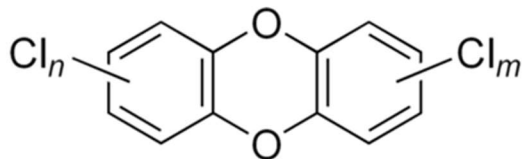
Les biphényles polychlorés (BPC) de type dioxine, un troisième groupe de substances chimiques structuellement distinctes, sont souvent combinés aux dioxines et aux furanes dans les évaluations de leurs effets sur la santé. Ces substances ont été évaluées séparément des dioxines et des furanes, et des mesures de gestion des risques distinctes

---

<sup>1</sup> Le numéro de registre du Chemical Abstracts Service (n° CAS) est la propriété de l'American Chemical Society. Toute utilisation ou redistribution, sauf lorsqu'elle est requise en vertu des exigences réglementaires ou pour des rapports destinés au gouvernement du Canada lorsque l'information et les rapports sont exigés par la loi ou une politique administrative, est interdite sans le consentement écrit de l'American Chemical Society.

leur ont été appliquées. À ce titre, elles seront traitées dans un rapport séparé de mesure et d'évaluation du rendement portant expressément sur les biphényles polychlorés.

Dibenzo-*p*-dioxines polychlorées



Dibenzofuranes polychlorés

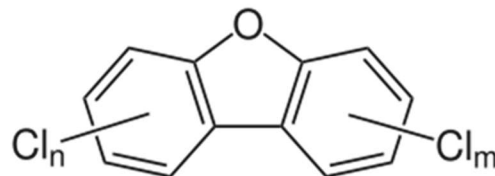


Figure 1. Structures de base des dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (appelées dioxines) et des dibenzofuranes polychlorés (appelés furanes).

Les dioxines et les furanes sont des sous-produits et n'ont aucune application utile. Dans son évaluation de 1990, le gouvernement du Canada a répertorié les principales activités qui entraînent des rejets de dioxines et de furanes dans l'environnement, à savoir les sources chimiques (comme le traitement du bois et les pesticides), les activités de combustion intentionnelles (p. ex., l'incinération des déchets et la combustion de combustibles) et les sources industrielles (p. ex., les usines de pâtes et papiers et la production de métaux). On estime également qu'une quantité appréciable de dioxines et de furanes est présente dans l'environnement en raison des feux de forêt ou de brousse et d'autres sources de combustion incontrôlées (Dwyer et Themelis, 2015). Dans l'évaluation de 1990, on a également constaté que les sources les plus importantes de dioxines et de furanes étaient les incinérateurs de déchets municipaux, le pentachlorophénol (un produit de préservation du bois) et les usines de pâtes et papiers utilisant du chlore dans le procédé de blanchiment (gouvernement du Canada, 1990).

Les dioxines et les furanes sont rejetés dans l'air, l'eau et le sol. En raison de leur persistance et de leur mobilité dans l'environnement, des quantités détectables de dioxines et de furanes ont été mesurées dans des zones dépourvues de sources locales connues de ces substances, p. ex., l'Arctique et les régions polaires. Leur nature lipophile signifie également que ces substances se dissolvent facilement dans les graisses et peuvent se bioaccumuler et se bioamplifier dans le réseau alimentaire. Par conséquent, on estime que les aliments d'origine animale représentent plus de 90 % de l'exposition humaine aux dioxines et aux furanes, toutes sources confondues (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain et coll., 2018). Les dioxines et les furanes se retrouvent principalement dans les graisses corporelles des humains et peuvent mettre de nombreuses années à se dégrader dans l'organisme, étant donné que leur demi-vie est estimée à sept ans chez l'humain (Pirkle et coll., 1989). C'est pourquoi la charge corporelle en dioxines et en furanes, exprimée en fonction de leur concentration dans les graisses, est souvent utilisée pour mesurer l'exposition cumulative d'une population aux dioxines et aux furanes.

Plusieurs effets sur la santé peuvent être associés à l'exposition à de grandes quantités de dioxines et de furanes, notamment :

- les troubles cutanés, p. ex., la chloracné (Panteleyev et Bickers, 2006);
- la perturbation de la fonction reproductive chez les hommes (Mocarelli et coll., 2008);
- l'altération du métabolisme du foie (Neuberger et coll., 1999);
- des effets sur la fonction thyroïdienne (Baccarelli et coll., 2008);
- certains types de cancers (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2012);
- des effets sur le développement, y compris la neurotoxicité (Tai et coll., 2013).

L'évaluation initiale des risques de 1990, découlant de l'inscription à la Liste des substances d'intérêt prioritaire (LSIP), a conclu que les dioxines et les furanes répondaient aux critères de classification comme « substances toxiques » au titre des alinéas 11a) et 11c) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* de 1988 (LCPE 1988), soit l'équivalent des alinéas 64a) et 64c) de la LCPE de 1999 (gouvernement du Canada, 1990). On y précisait que les nourrissons allaités et les personnes qui consommaient du poisson hautement contaminé pouvaient être exposés à des concentrations approchant ou dépassant la dose journalière tolérable (DJT, c.-à-d. la quantité d'une substance dans les aliments à laquelle une personne pourrait être exposée quotidiennement pendant toute sa vie sans risque appréciable pour sa santé). Toutefois, il est important de mentionner que l'évaluation initiale des risques indiquait que les avantages connus de l'allaitement pour la santé l'emportaient sur tout risque pour la santé dû à l'absorption de dioxines et de furanes (gouvernement du Canada, 1990).

En juillet 1998, le gouvernement du Canada a annoncé que les dioxines et les furanes devaient être classés comme des substances de la voie 1 (destinées à la quasi-élimination) selon la Politique de gestion des substances toxiques (PGST), en raison de leur persistance, de leur potentiel de bioaccumulation et de leur présence résultant principalement de l'activité humaine (gouvernement du Canada, 1998).

Les dioxines et les furanes ont été choisis en vue d'une évaluation de la mesure du rendement parce qu'on dispose de données de base et d'indicateurs de rendement clés pour ce groupe de substances, et qu'il s'est écoulé suffisamment de temps depuis la mise en œuvre de plusieurs des outils de gestion des risques pour en mesurer le rendement. L'objectif ultime pour ce groupe de substances est leur quasi-élimination au Canada. La présente évaluation de la mesure du rendement vise à décrire les progrès réalisés à ce jour en vue d'une réduction de l'exposition potentielle à ces substances, grâce aux mesures de gestion des risques mises en place pour protéger la santé des Canadiens. En outre, cette évaluation de la mesure du rendement vise à déterminer s'il y a lieu d'apporter des ajustements aux mesures existantes de gestion des risques.

### **3. Méthodes de gestion des risques**

Plusieurs mesures de gestion des risques ont été mises en place en vue d'atténuer les risques posés par les dioxines et les furanes, comme le montre le Tableau 1 ci-dessous.

### 3.1 Mesures de gestion des risques au Canada

Tableau 1. Résumé des mesures de gestion des risques au Canada

Année	Titre de la mesure de gestion des risques	Secteur
1992	<i>Règlement sur les additifs antimousse et les copeaux de bois utilisés dans les fabriques de pâtes et papiers</i>	Usines de pâtes et papiers
1992	<i>Règlement sur les dioxines et les furannes chlorés dans les effluents des fabriques de pâtes et papiers</i>	Usines de pâtes et papiers
1999	Stratégie de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire concernant la mise en œuvre de la Politique de gestion des substances toxiques (PGST)	Produits antiparasitaires
2001	Code de pratiques écologiques pour les aciéries non intégrées	Production de métaux
2001	Code de pratiques écologiques pour les aciéries intégrées	Production de métaux
2001	Standard pancanadien visant les incinérateurs de déchets	Incinération des déchets
2001	Standard pancanadien visant les chaudières de pâtes et papiers du littoral	Usines de pâtes et papiers
2003	Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Usines de frittage du fer	Production de métaux
2003	Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Fours électriques à arc dédiés à la fabrication d'acier	Production de métaux
2003	Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Combustion de déchets municipaux dans des chambres coniques de combustion	Incinération des déchets
2004	Recommandations pour la conception et l'exploitation d'installations de préservation du bois	Préservation du bois
2005	Installations de préservation du bois : Avis de planification de la prévention de la pollution	Préservation du bois
2006	Fonderies et affineries de métaux communs et les usines de traitement du zinc : avis de planification de la prévention de la pollution	Production de métaux
2006	Code de pratiques écologiques pour les fonderies et affineries de métaux communs	Production de métaux

#### 3.1.1 Règlements

##### *Règlement sur les additifs antimousse et les copeaux de bois utilisés dans les fabriques de pâtes et papiers (1992)*

Ce règlement limite la concentration de dioxines et de furanes à  $\leq 40$  ppb de furanes, en poids, et à  $\leq 10$  ppb de dioxines, en poids, dans les additifs antimousses fabriqués, importés, mis en vente ou vendus pour utilisation dans les usines de pâtes et papiers. Le règlement interdit également l'importation, la mise en vente, la vente et l'utilisation de

copeaux de bois traités à l'aide de phénols polychlorés dans une usine de pâtes et papiers. Le règlement prescrit des exigences en matière d'essais et de rapports.

Règlement sur les dioxines et les furannes chlorés dans les effluents des fabriques de pâtes et papiers (1992)

Ce règlement interdit le rejet de concentrations mesurables de 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-para-dioxine ou de 2,3,7,8-tétrachlorodibenzofurane (les deux composés les plus toxiques parmi les dioxines et les furanes) dans les effluents des usines de pâtes et papiers. La mise en œuvre des deux règlements précédents sur les pâtes et papiers, combinée aux initiatives réglementaires provinciales, a permis une réduction des rejets de dioxines et de furanes de plus de 99 % dans les milieux aquatiques en 1997 (Commission de coopération environnementale, 2011).

### 3.1.2 Codes de pratiques environnementales

Code de pratiques écologiques pour les aciéries non intégrées (2001)

Le code présente les normes de rendement minimal pour les nouvelles aciéries et fournit un ensemble d'objectifs de rendement que les aciéries existantes peuvent s'efforcer d'atteindre au fil du temps dans le cadre d'une amélioration continue. Le segment des aciéries non intégrées comprend toutes les installations du secteur de l'acier qui utilisent la ferraille et le fer de réduction directe comme matières premières pour fabriquer des produits d'acier primaire. On comptait 12 aciéries non intégrées au Canada au moment de la mise en œuvre de cet instrument.

Code de pratiques écologiques pour les aciéries intégrées (2001)

Le code présente les normes de rendement minimal pour les nouvelles aciéries et fournit un ensemble d'objectifs de rendement que les aciéries existantes peuvent s'efforcer d'atteindre au fil du temps dans le cadre d'une amélioration continue. Le segment des aciéries intégrées comprend toutes les installations du secteur de la fabrication de l'acier qui utilisent du charbon et du minerai de fer ou du minerai de fer aggloméré comme matières premières pour fabriquer des produits d'acier primaire. On comptait 4 aciéries intégrées au Canada au moment de la mise en œuvre de l'instrument.

Code de pratiques écologiques pour les fonderies et affineries de métaux communs (2006)

Ce code présente et promeut les pratiques recommandées en tant qu'exigences pour les nouvelles installations et en tant qu'objectifs pour les installations existantes.

Recommandations propres aux lignes directrices sur les émissions de dioxines et de furanes :

1. Chaque établissement existant devrait être conçu et exploité de manière à limiter ses émissions de dioxines et furanes à moins de 100 pg ET\*/Rm<sup>3</sup>.
2. Chaque nouvel établissement devrait être conçu et exploité de manière à limiter ses émissions de dioxines et furanes à moins de 32 pg ET\*/Rm<sup>3</sup>.

Remarque – ET signifie « équivalents toxiques ». Rm<sup>3</sup> désigne les conditions de référence, à savoir des volumes à 25 °C (298,15 °K) et à 101,3 kPa, sur une base de gaz sec.



### 3.1.3. *Standards pancanadiens (SP)*

Les standards pancanadiens (SP) sont des accords intergouvernementaux élaborés sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). Les SP découlent d'un engagement politique, de la part des ministres fédéral, provinciaux et territoriaux, visant à s'attaquer aux principaux dossiers qui requièrent une action concertée à l'échelle canadienne en matière de protection de l'environnement et de risques pour la santé. Cinq SP ont été mis en œuvre pour les dioxines et les furanes. Ils ciblent cinq grands secteurs qui étaient responsables de 65 % des rejets nationaux de dioxines et de furanes en 1999. Les SP ont fait l'objet d'examen plusieurs années après leur mise en œuvre afin de mesurer leurs progrès, le dernier examen disponible de ce type ayant eu lieu en 2009. Nous décrivons brièvement ci-dessous chacun de ces cinq SP, ainsi qu'un résumé de leurs évaluations respectives. On peut obtenir des copies des SP actuels en consultant la [page Web](#) du CCME.

#### Standard pancanadien visant les incinérateurs de déchets (2001)

Ce SP fixe des concentrations maximales pour les gaz émis par les installations d'incinération de déchets, qu'il s'agisse d'installations nouvelles ou agrandies, quelle que soit leur taille. Ce standard encourage les demandeurs à utiliser les meilleures techniques disponibles de prévention et de contrôle de la pollution, comme la mise en œuvre de programmes de réacheminement des déchets. En 2009, tous les types d'incinérateurs, à l'exception d'un seul, étaient conformes à ce SP (CCME, 2009). En 2017, l'installation qui exploitait cet incinérateur est passée à une technologie plus récente, ce qui lui permet de se conformer au SP.

#### Standard pancanadien visant les chaudières de pâtes et papiers du littoral (2001)

Ce SP établit des objectifs chiffrés et des échéanciers pour la réduction des émissions par les chaudières nouvelles et existantes. Le deuxième volet établit un processus visant à examiner plus à fond les possibilités de prévention de la pollution afin d'empêcher la création de dioxines et de furanes. Toutes les installations étaient conformes à ce SP en 2008, mais on a noté de grandes variations dans les résultats des tests dans les différentes installations. Les émissions totales de ce secteur sont passées de 10,5 g ET/an en 1995 à 1,5 g ET/an en 2008 (CCME, 2009).

#### Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Usines de frittage du fer (2003)

Ce SP portant sur le secteur du frittage du fer comporte deux volets. Le premier volet établit des objectifs numériques et des échéanciers pour la réduction des émissions de dioxines et de furanes par les usines nouvelles et existantes de frittage du fer. Le deuxième volet établit un processus visant à examiner plus à fond les possibilités de prévention de la pollution afin d'empêcher la création de dioxines et de furanes. La seule usine de frittage du fer en activité au Canada à l'époque a fermé ses portes en 2007.

#### Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Fours électriques à arc dédiés à la fabrication d'acier (2003)

Ce SP stipule que tous les fours nouveaux, modifiés et existants doivent faire l'objet de tests d'émissions annuels afin de vérifier le respect des limites et de mieux comprendre

ces émissions dans ce secteur. Une seule installation a été trouvée non conforme en 2008.

#### Standard pancanadien relatif aux dioxines et aux furannes – Combustion de déchets municipaux dans des chambres coniques de combustion (2003)

Ce SP propose d'éliminer progressivement l'exploitation des chambres coniques de combustion de déchets à Terre-Neuve-et-Labrador, et d'empêcher l'exploitation de nouvelles chambres coniques de combustion de déchets partout au Canada. Tout nouvel incinérateur est également visé par le SP relatif aux émissions de dioxines et de furanes par les incinérateurs. À l'automne 2009, 42 de 58 chambres coniques de combustion de déchets desservant 165 378 personnes avaient été fermées, ce qui a permis de réduire de 76,3 % les rejets atmosphériques de dioxines et de furanes par ce secteur (CCME, 2009).

#### *3.1.4 Avis de planification de la prévention de la pollution (P2)*

##### Recommandations pour la conception et l'exploitation d'installations de préservation du bois (2004) et Installations de préservation du bois : avis de planification de la prévention de la pollution

Les recommandations visaient à réduire au plus bas niveau réalisable les rejets de substances toxiques ciblées (y compris les dioxines et les furanes) dans les procédés de préservation du bois, par l'application des meilleures pratiques de gestion. En termes de gestion des risques, cet avis de planification de la prévention de la pollution visait à réduire au niveau le plus bas possible les rejets de dioxines et de furanes dans les procédés de préservation du bois grâce à l'utilisation des pratiques définies dans les recommandations (ou grâce à l'obtention d'une équivalence). L'avis a été utile. Bien que la conformité à cet avis ait été difficile à réaliser, trois des quatre installations ont finalement atteint leurs objectifs. L'autre installation a fermé ses portes.

##### Fonderies et affineries de métaux communs et les usines de traitement du zinc : avis de planification de la prévention de la pollution (2006)

Cet avis demandait aux installations de prendre en compte les recommandations concernant les options stratégiques pour la gestion des substances toxiques rejetées par le secteur des métaux de base, et de préparer des plans de prévention de la pollution pour une plage de substances rejetées, notamment les dioxines et les furanes, l'arsenic, le cadmium, le plomb, le mercure et le nickel. Une installation en particulier devait atteindre un objectif de rejet annuel de 0,5 g FET-I pour 2008. De 2005 à 2015, les installations de ce secteur ont déclaré une réduction de 65 % (0,69 g ET-I) des émissions de dioxines et de furanes, et l'installation en question a atteint l'objectif de 2008 pour ses émissions de dioxines et de furanes.

#### *3.1.5. Autres mesures nationales*

##### Aliments destinés à la consommation humaine et au bétail

Santé Canada a établi des interdictions et des concentrations maximales (CM) pour les contaminants chimiques dans les aliments dans les parties 1 et 2, respectivement, de la Liste des contaminants et des autres substances adultérantes dans les aliments. On a

entrepris de revoir l'interdiction existante pour le TCDD (tétrachlorodibenzodioxine, le congénère de la dioxine le plus dangereux) dans tous les aliments, à l'exception du poisson, et la CM de TCDD dans le poisson. Cette interdiction avait été établie avant que les progrès des méthodes d'analyse permettent de détecter les traces de dioxines et de furanes dans les aliments. En outre, la CM a été établie avant la mise en place de l'approche actuelle visant à tenir compte de l'équivalence toxique des dioxines, des furanes et des BPC de type dioxine. Cela signifie qu'il est maintenant possible d'établir des CM plus faibles. Santé Canada surveille régulièrement les concentrations de diverses substances chimiques, y compris les dioxines et les furanes, dans les aliments dans le cadre de son Étude canadienne sur l'alimentation totale et d'enquêtes ciblées, qui font partie de ses activités d'évaluation et de gestion des risques portant sur ces composés dans les aliments.

Santé Canada a également établi des niveaux d'intervention relatifs aux dioxines et aux furanes dans les ingrédients des aliments du bétail en vertu de la *Loi relative aux aliments du bétail* et du *Règlement sur les aliments du bétail*. Les aliments du bétail représentent une source importante de contamination des aliments d'origine animale. La prévention de l'exposition par voie alimentaire contribue à réduire l'exposition humaine (Scientific Committee on Animal Nutrition, 2000; Commission du Codex Alimentarius, 2006). L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) effectue une surveillance régulière des dioxines et des furanes dans les aliments destinés à la consommation humaine et les ingrédients des aliments du bétail. De plus, elle a établi un programme de traçabilité des dioxines dans le cadre duquel les niveaux élevés de ces contaminants trouvés dans les aliments d'origine animale (p. ex., la viande, les produits laitiers ou les œufs) déclenchent les analyses de lots d'aliments pour animaux. Dans le cadre du projet de modernisation du règlement sur les aliments du bétail de l'ACIA, celle-ci a mis à jour et établi des niveaux maximaux pour certains contaminants autorisés dans les aliments du bétail. Elle propose notamment des concentrations maximales de dioxines et de furanes pour certains ingrédients des aliments du bétail, une mesure importante, car les produits d'origine animale sont la plus grande source d'exposition des humains aux dioxines et aux furanes. Ces mesures s'appliquent tant aux aliments pour animaux fabriqués au Canada qu'à ceux qui sont importés pour usage au pays.

#### Combustion sur place de déchets résidentiels

En 2002, le gouvernement fédéral a parrainé le programme « Chauffage au bois : Soyons responsables! », un programme d'information publique visant à réduire la pollution par la fumée de bois. En outre, de nombreuses autorités responsables au Canada ont mis en œuvre des règlements ou entrepris des programmes éducatifs visant à réduire la combustion des déchets résidentiels, une pratique courante dans les communautés éloignées et nordiques, qui contribuait de manière appréciable aux rejets de dioxines et de furanes dans l'environnement.

#### Produits antiparasitaires

Les dioxines et les furanes ne sont pas homologués comme principes actifs ou produits de formulation dans les produits antiparasitaires, et ne sont présents qu'accidentellement sous forme de microcontaminants. Les contaminants sont réglementés en tant que partie

intégrante d'un produit antiparasitaire en vertu de la *Loi sur les produits antiparasitaires* (LPA). L'approche de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) concernant la gestion des dioxines et des furanes est décrite dans sa [Directive d'homologation : Stratégie de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire concernant la mise en œuvre de la Politique de gestion des substances toxiques \(DIR99-03\)](#). Des données d'analyse en lots sont requises pour tous les pesticides dont on sait ou dont on soupçonne qu'ils contiennent des dioxines et des furanes, avant l'homologation et lors des réévaluations. Cela permet de garantir l'acceptabilité du produit antiparasitaire avant son entrée sur le marché canadien et son acceptabilité continue une fois sur le marché. Tout produit antiparasitaire qui présente des niveaux inacceptables de dioxines et/ou de furanes est interdit. L'ARLA travaille en partenariat avec les titulaires d'homologation afin de réduire ou d'éliminer les dioxines et les furanes conformément aux meilleures technologies disponibles du point de vue de la fabrication. Les analyses comprennent les 17 congénères ayant une limite de détection (LD) de l'ordre de la partie par billion (ppt).

#### Plan d'action Saint-Laurent

Les préoccupations concernant divers polluants dans le réseau hydrographique du Saint-Laurent sont apparues au début des années 1970 et ont mené à la création du premier Plan d'action Saint-Laurent en 1988. Les dioxines et les furanes faisaient partie des 10 substances prioritaires répertoriées à l'époque. Cette collaboration Canada-Québec, à laquelle participaient également diverses autres parties intéressées, visait à conserver, restaurer, protéger et mettre en valeur le Saint-Laurent. Plusieurs Plans d'action Saint-Laurent ont été élaborés successivement, et les niveaux de dioxines et de furanes mesurés auraient été réduits de 92 % en 1998 (gouvernement du Canada et gouvernement du Québec, 1998). De 2001 à 2013, les concentrations de dioxines et de furanes mesurées dans certains types de poissons du Saint-Laurent ont été relativement stables, sont demeurées faibles et ont été jugées peu préoccupantes en termes de risque pour la santé humaine (gouvernement du Canada et gouvernement du Québec, 2016).

#### Gestion des risques à l'échelle internationale

Comme l'exposition à ces composés peut se produire à de grandes distances de leur origine, et afin d'assurer la protection continue des Canadiens et de leur environnement, le Canada participe activement à plusieurs accords internationaux sur les polluants organiques persistants (POP).

Ces accords comprennent :

- la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, signée en 1989;
- le Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance de 1979, relatif aux polluants organiques persistants, de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe, signé en 2001 (connu sous le nom de Protocole d'Aarhus de 1998 ou de Protocole sur les POP);
- la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), signée en 2001.

Le Canada s'est également engagé à réduire les rejets de dioxines et de furanes par le biais de plusieurs initiatives régionales, notamment :

- la Commission nord-américaine de coopération environnementale – Plans d'action pour le mercure, les dioxines, les furanes et l'hexachlorobenzène;
- la Stratégie binationale relative aux toxiques des Grands Lacs entre le Canada et les États-Unis;
- le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord (PLCN).

La coopération internationale et le renforcement des capacités sont des éléments clés de la gestion des risques liés à ces substances.

## **4. Indicateurs de mesure de rendement**

Le gouvernement du Canada mesure la présence de dioxines et de furanes dans l'environnement et dans les aliments d'origine animale, ainsi que par la biosurveillance humaine afin d'assurer la protection de la population canadienne. Les résultats de ces mesures sont utilisés comme indicateurs permettant d'évaluer les différentes initiatives de gestion des risques prises pour réduire l'exposition humaine à ces produits chimiques nocifs.

### **4.1 Environnement**

#### **4.1.1 *Rejets dans l'environnement par l'industrie – Inventaire national des rejets de polluants (INRP)***

L'INRP est l'inventaire public canadien des polluants rejetés, éliminés et transférés. Il recueille des données sur la pollution déclarées par les installations, selon diverses catégories qui comprennent les rejets dans l'air, l'eau ou le sol. Les rejets environnementaux de dioxines et de furanes sont publiés par l'INRP depuis 2000. Cet inventaire fournit au gouvernement et à la population du Canada des données sur les rejets à l'échelle du pays et par secteurs, ceux-ci étant constitués d'installations qui répondent aux exigences de déclaration et qui réalisent certaines activités. Il s'agit d'une source de données importante pour la mesure et l'évaluation des dioxines et des furanes, car ces substances sont produites presque entièrement par des activités industrielles à grande échelle. De 2000 à 2006, les installations étaient tenues de déclarer les émissions totales de dioxines et de furanes en équivalents toxiques (ET) de 1988. À partir de 2007, les installations devaient également déclarer les quantités individuelles de 17 dioxines et furanes toxiques (si elles disposaient des informations requises pour le faire). Par souci de cohérence, toutes les données de l'INRP sont présentées en unités ET de 1988. Les données de l'INRP ont été utilisées pour illustrer les rejets globaux dans l'air, l'eau et le sol à l'échelle nationale, ainsi que par province et par secteur.

#### **4.1.2. *Rejets dans l'air – Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA)***

L'Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA) du Canada est un inventaire complet des polluants atmosphériques à l'échelle nationale, provinciale et territoriale, tenu par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). L'IEPA compile les émissions de plusieurs polluants atmosphériques différents, dont les dioxines et les furanes totaux. L'IEPA utilise plusieurs sources de données dans ses estimations, notamment les données obtenues par le programme de l'INRP (décrit ci-dessus), ainsi que par divers outils d'estimation scientifique bien documentés. Les émissions de dioxines et de furanes font l'objet d'un suivi dans le cadre de l'IEPA depuis 1990, et le rapport le plus récent de l'IEPA, publié en 2020, comprend des données jusqu'en 2018 (Environnement et Changement climatique Canada, 2020). Ces données ont été utilisées pour illustrer les émissions dans l'air au niveau national, ainsi que par province et par secteur.

#### *4.1.3. Concentrations dans l'air ambiant – Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA)*

Le programme du RNSPA fournit des données précises et à long terme sur la qualité de l'air dans tout le Canada. Le RNSPA est géré dans le cadre d'un accord de coopération entre les provinces, les territoires et les administrations municipales. Les niveaux de dioxines et de furanes dans l'air ambiant ont été mesurés par le réseau de surveillance du RNSPA de 1989 à 2011. Les données recueillies, compilées et analysées par ce programme fournissent au gouvernement et aux Canadiens des renseignements sur les concentrations de dioxines et de furanes rejetées dans l'air ambiant par de nombreux sites différents dans tout le pays. Ces données ont été utilisées pour étudier les tendances des concentrations de dioxines et de furanes dans l'air ambiant. Comme de nombreuses stations de surveillance peuvent avoir mesuré ces substances à des fréquences et à des moments différents tout au long de l'année, on a calculé la moyenne des concentrations mesurées à chaque station de surveillance, puis les moyennes des stations de surveillance ont été utilisées pour calculer une concentration annuelle moyenne de dioxines et de furanes. Il est à noter que lorsqu'un congénère était trouvé à une concentration inférieure à sa limite de détection, on utilisait celle-ci comme valeur de la concentration.

## **4.2 Dose journalière par les aliments**

### *4.2.1 Concentrations dans les aliments – Étude canadienne sur l'alimentation totale*

Depuis les années 1990, Santé Canada et l'ACIA ont mis en œuvre un certain nombre de programmes de surveillance continue qui vérifient régulièrement les niveaux de contaminants chimiques dans l'approvisionnement alimentaire, y compris les dioxines et les furanes. Les programmes de surveillance alimentaire de l'ACIA pour les dioxines et les furanes comprennent des enquêtes ciblées, ainsi que le Programme national de surveillance des résidus chimiques (PNSRC), qui a analysé environ 400 échantillons de lait cru canadien, d'œufs importés et canadiens, et de viande canadienne pour en déterminer la teneur en dioxines et en furanes. L'un des principaux programmes de surveillance de Santé Canada est l'Étude canadienne sur l'alimentation totale (EAT), qui mesure les concentrations d'une variété de contaminants chimiques dans les aliments

faisant partie du régime alimentaire habituel des Canadiens. Ce programme est particulièrement important pour les dioxines et les furanes, car les humains sont exposés à ces substances principalement par l'alimentation. Ces données constituent donc un indicateur de rendement clé.

### 4.3 Biosurveillance

#### 4.3.1. *Concentrations dans le lait maternel*

Le gouvernement du Canada a mesuré les concentrations de dioxines et de furanes dans le lait maternel à partir du début des années 1980, dans le cadre de cinq enquêtes (John J. Ryan et coll., 1993; John J. Ryan et Rawn, 2014 Rawn et coll., 2017). Ces mesures fournissent une indication des niveaux d'exposition *in utero* et de l'exposition par voie alimentaire des nourrissons allaités. Comme les dioxines et les furanes finissent par atteindre une charge corporelle stable chez les humains à l'âge adulte et que les concentrations mesurées sont liées à leurs concentrations dans les graisses corporelles et le sang de la mère, elles constituent un indicateur valable de la concentration accumulée chez les femmes en âge de procréer (D. G. Patterson et coll., 1988; Wittsiepe et coll., 2004). De plus, comme la concentration de dioxines dans les graisses corporelles est identique chez les hommes et chez les femmes (Donald G. Patterson et coll., 2008; Consonni et coll., 2012), ces mesures de la charge corporelle tendent également à refléter l'exposition chronique aux dioxines et aux furanes de la population générale.

#### 4.3.2. *Concentration dans le sang – [Programme national de biosurveillance](#)*

Le Programme national de biosurveillance de Santé Canada surveille dans la population canadienne les concentrations de produits chimiques présents dans l'environnement. Ces renseignements sont recueillis en partenariat avec Statistique Canada dans le cadre de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (ECMS). L'ECMS est une enquête permanente qui évalue l'état de santé général des Canadiens par le biais d'entrevues auprès des ménages, par des examens physiques et par la collecte de spécimens biologiques. Les dioxines et les furanes ont été mesurés dans les échantillons de sérum sanguin de Canadiens de 6 à 79 ans lors du cycle 1 de l'ECMS (2007-2009) et de ceux de 3 à 79 ans lors des cycles 3 (2012-2013), 4 (2014-2015) et 5 (2016-2017) de l'ECMS. Des groupes d'environ 57 à 120 échantillons de sérum sanguin provenant de participants de même sexe et du même groupe d'âge ont été regroupés en raison des ressources importantes requises pour l'analyse des dioxines et des furanes. Les résultats du Programme national de biosurveillance sont utilisés pour établir les niveaux de référence pour les dioxines et les furanes dans la population canadienne, et également pour déterminer l'efficacité des mesures de gestion des risques pour ce qui est de réduire l'exposition due à toutes les sources.

## 5. Données sur les indicateurs de rendement clés

### 5.1 Environnement

### 5.1.1 Rejets dans l'environnement par l'industrie – Inventaire national des rejets de polluants (INRP)

Entre 2000 et 2017, les émissions industrielles totales dans l'air, l'eau et le sol déclarées à l'INRP sont passées de 100,1 g ET à 15,6 g ET, soit une réduction de 84,4 % (

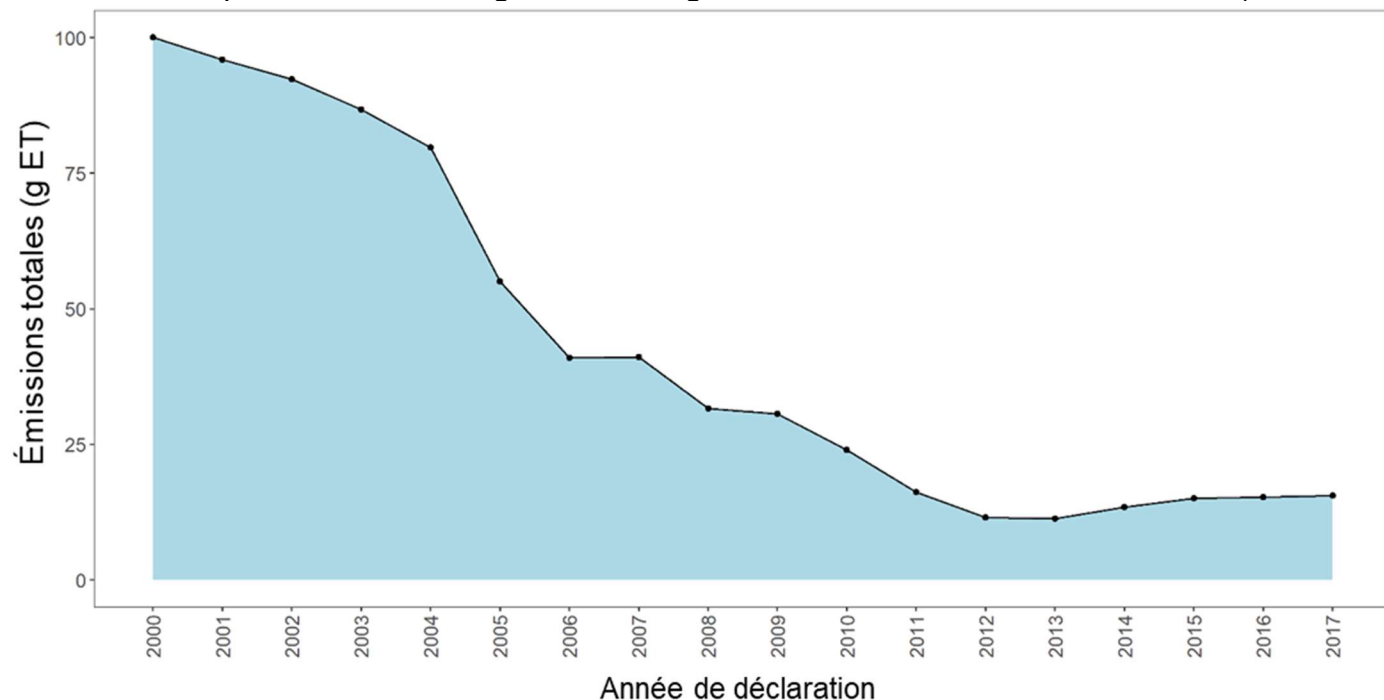


Figure 2). C'est entre 2004 et 2006 que les émissions ont le plus diminué, passant de 79,7 g ET à 41,0 g ET.



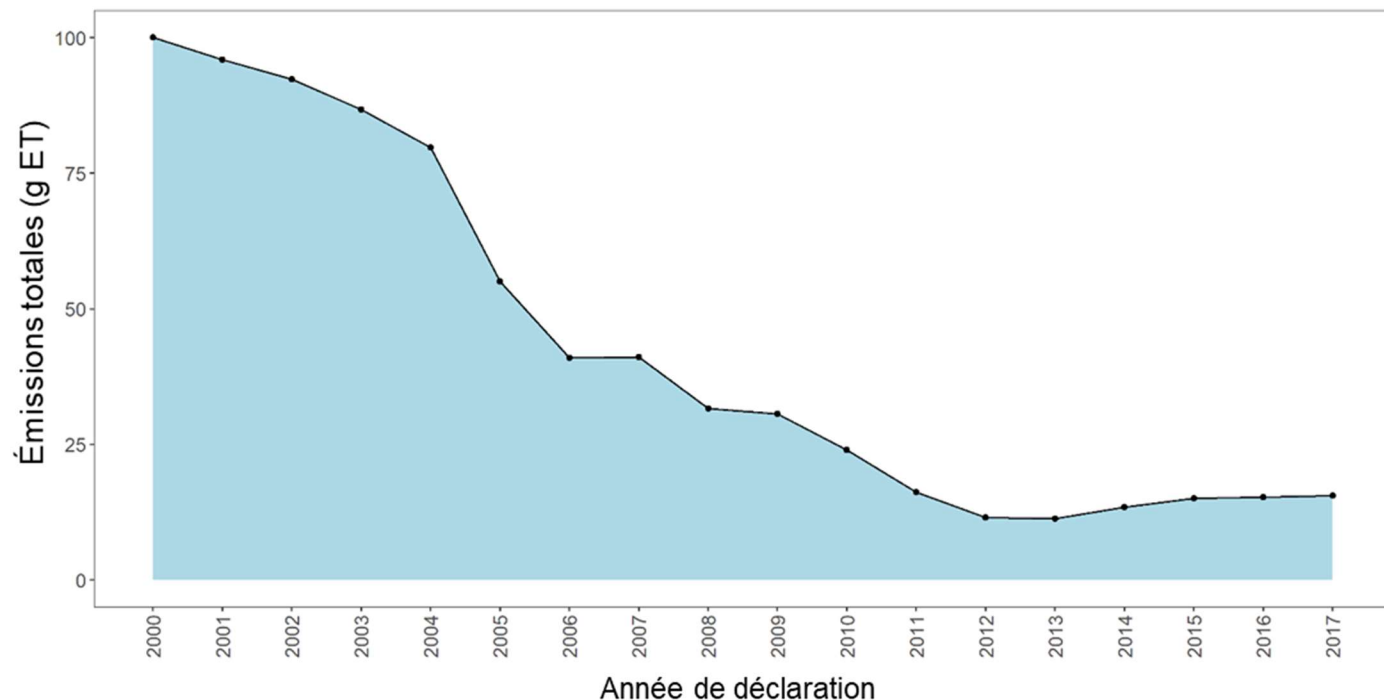


Figure 2. Émissions totales de dioxines et de furanes par les installations de tous les secteurs, d'après la base de données de l'INRP. Les niveaux d'émission représentent les concentrations que les installations de tout le Canada devaient déclarer entre 2000 et 2017, mesurées en g ET de 1988.

Les émissions nationales de dioxines et de furanes déclarées à l'INRP sont présentées, par industrie, à la Figure 3. Les industries présentant les plus grandes réductions en termes absolus étaient le traitement et l'élimination des déchets (réduction de 98 %), le fer et l'acier (réduction de 70 %), l'électricité (réduction de 82 %) et l'aluminium (réduction de 79 %). Les données de 2017 montrent que les industries ayant émis les plus fortes concentrations de dioxines et de furanes étaient le fer et l'acier (5,6 g ET), les pâtes et papiers (4,4 g ET) et l'électricité (1,9 g ET).

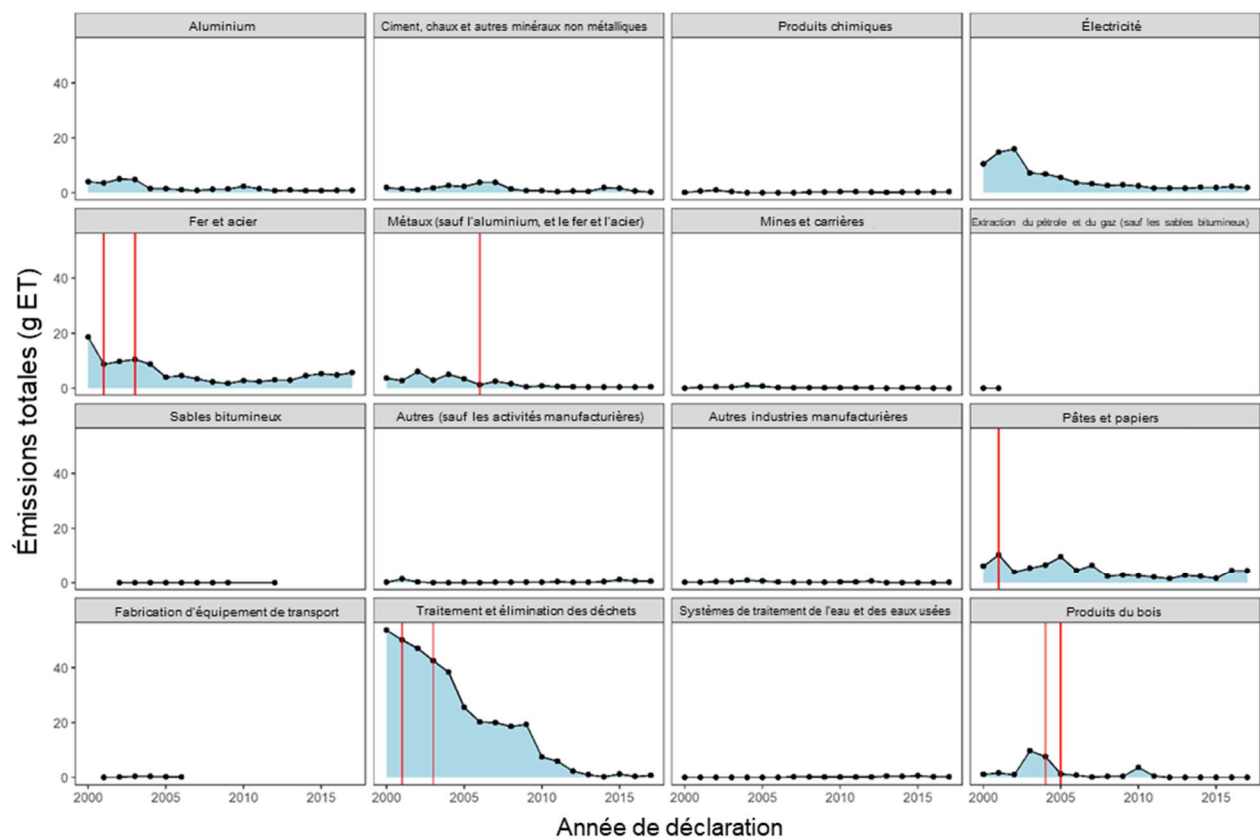


Figure 3. Émissions totales de dioxines et de furanes dans l'air, l'eau et le sol par les installations déclarantes de l'INRP, par secteur. Les niveaux d'émission représentent les données à déclaration obligatoire par les installations participant à des activités précises au Canada, de 2000 à 2017, mesurés en unités de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), c'est-à-dire en g ET de 1988. Les lignes verticales représentent les dates de mise en œuvre des mesures de gestion des risques propres à chaque secteur, tel qu'elles figurent dans le Tableau 1 ci-dessus.

Les émissions déclarées stratifiées par province sont présentées à la Figure 4. Terre-Neuve-et-Labrador ainsi que l'Ontario présentaient la plus grande quantité d'émissions de dioxines et de furanes en 2000, mais en 2017, leurs émissions avaient diminué de 99 % et 84 %, respectivement. En 2017, les rejets totaux de dioxines et de furanes déclarés par les installations ont été les plus élevés en Ontario (4,3 g ET de 1988) et en Colombie-Britannique (4,0 g ET de 1988).

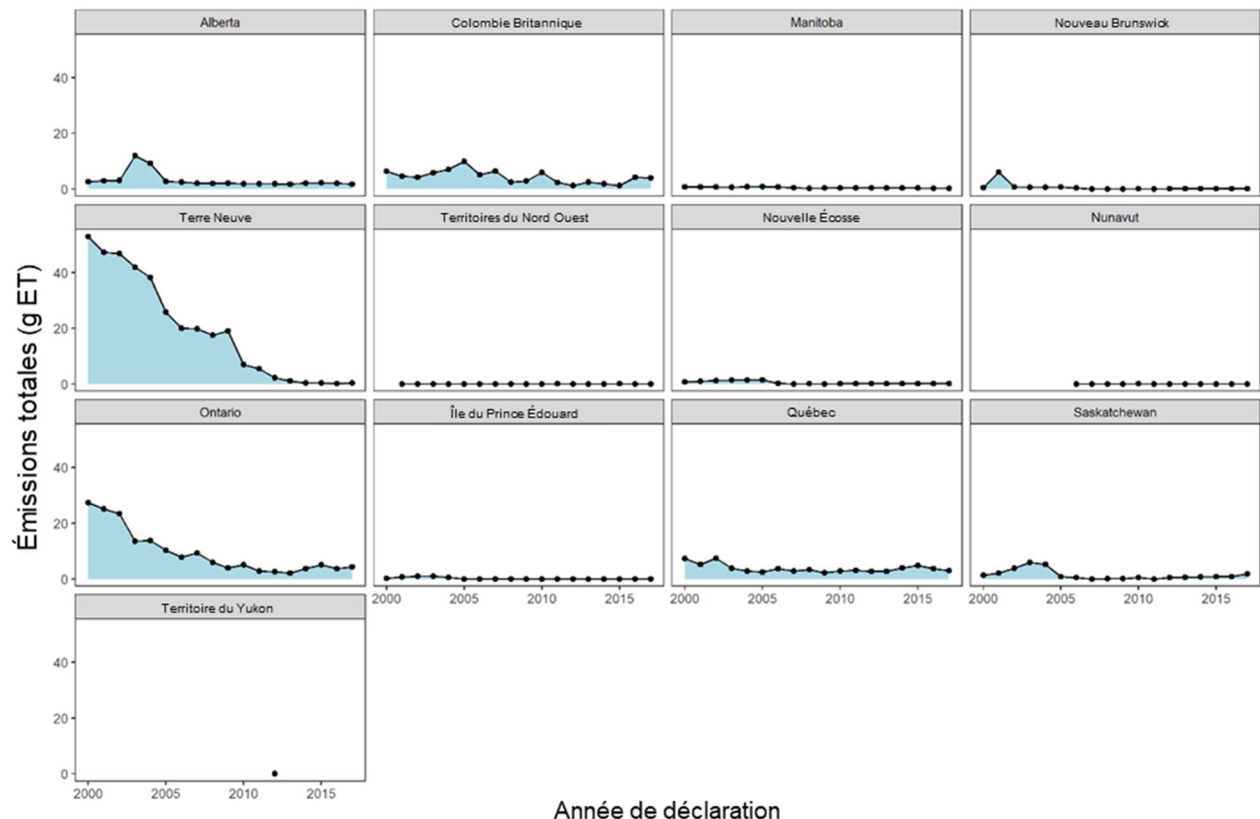


Figure 4. Émissions totales de dioxines et de furanes dans l'air, l'eau et le sol par les installations de tous les secteurs faisant une déclaration à l'INRP, par province. Les émissions représentent les concentrations que les installations canadiennes étaient tenues de déclarer de 2000 à 2014, mesurées en g ET de 1988.

Si l'on examine de plus près les émissions par secteur pour les deux provinces ayant déclaré les plus fortes émissions en 2000, soit Terre-Neuve-et-Labrador (Figure 5) et l'Ontario (Figure 6), on constate certaines différences dans les émissions par secteur. À Terre-Neuve-et-Labrador, les émissions étaient entièrement attribuables au traitement et à l'élimination des déchets. En Ontario, l'électricité et la production de métaux étaient les secteurs responsables de la plupart des émissions de dioxines et de furanes.

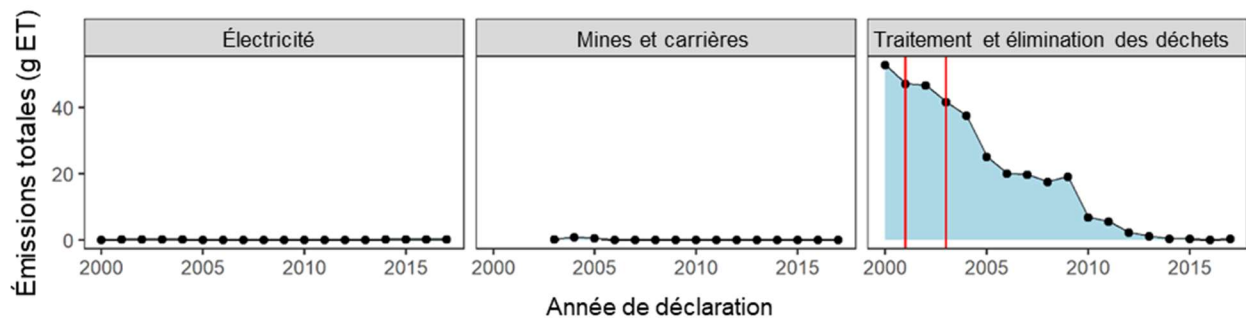


Figure 5. Émissions dans l'air, l'eau et le sol à Terre-Neuve-et-Labrador, par secteur. Source : INRP. Les lignes verticales représentent les dates de mise en œuvre des

mesures de gestion des risques propres à chaque secteur, tel qu'elles figurent dans le Tableau 1 ci-dessus.

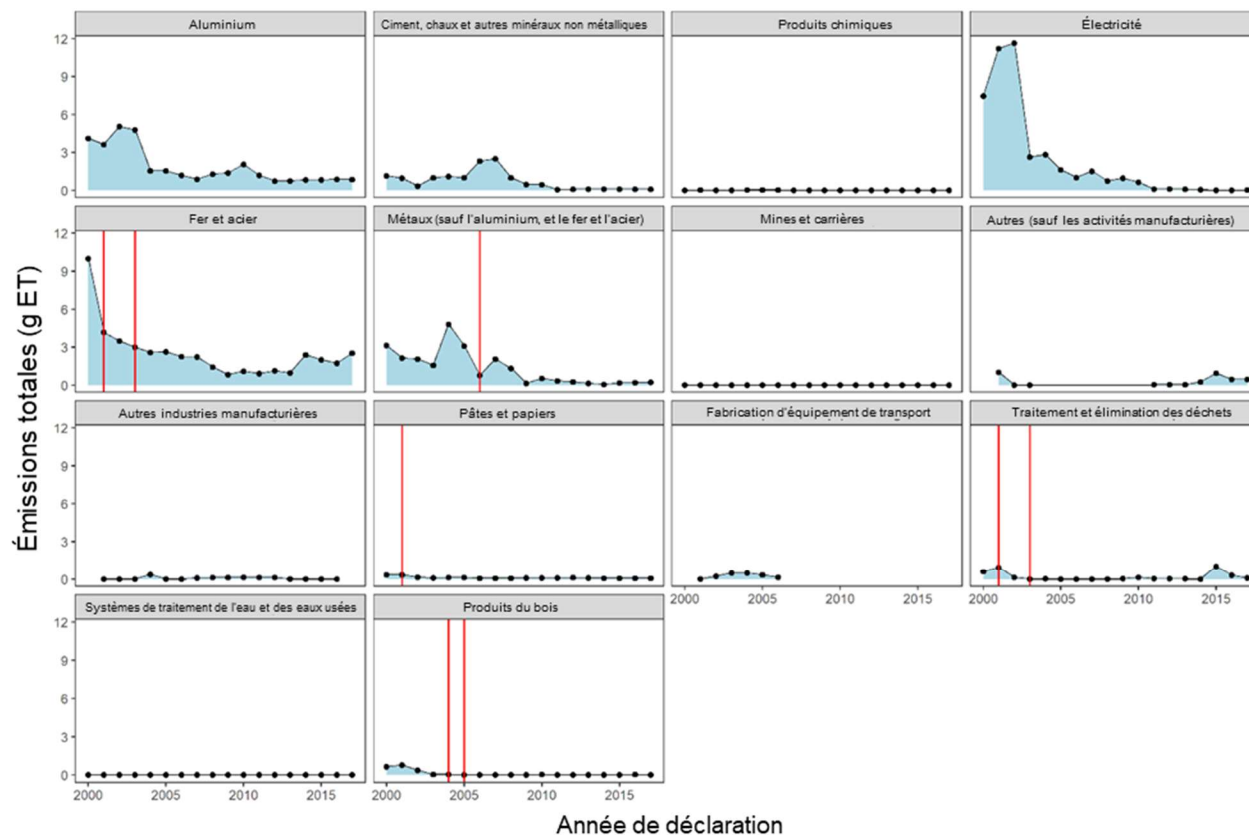


Figure 6. Émissions dans l'air, l'eau et le sol en Ontario, par secteur. Source : INRP. Les lignes verticales représentent les dates de mise en œuvre des mesures de gestion des risques propres à chaque secteur, tel qu'elles figurent dans le Tableau 1 ci-dessus.

#### 5.1.2. Rejets dans l'air – Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (IEPA)

Les émissions totales de dioxines et de furanes dans l'air au Canada en 2018, tel qu'estimées par l'IEPA, étaient d'environ 73 g ET, soit une réduction de 84 % par rapport aux 451 g ET émis par tous les secteurs selon les estimations pour 1990. La majeure partie de la diminution était due au secteur de l'incinération et des déchets (réduction de 346 g ET en 1990 à 24 g ET en 2018, soit une réduction de 93 %). Des réductions importantes des émissions de dioxines et de furanes ont également été enregistrées dans d'autres secteurs : l'industrie des pâtes et papiers (de 11 g ET à 1,1 g ET, soit une réduction de 90 %), les activités de brûlage dirigées (de 7,6 à 0,5 g ET, soit une réduction de 93 %), et l'industrie sidérurgique (de 35 g ET à 7,1 g ET, soit une réduction de 80 %).

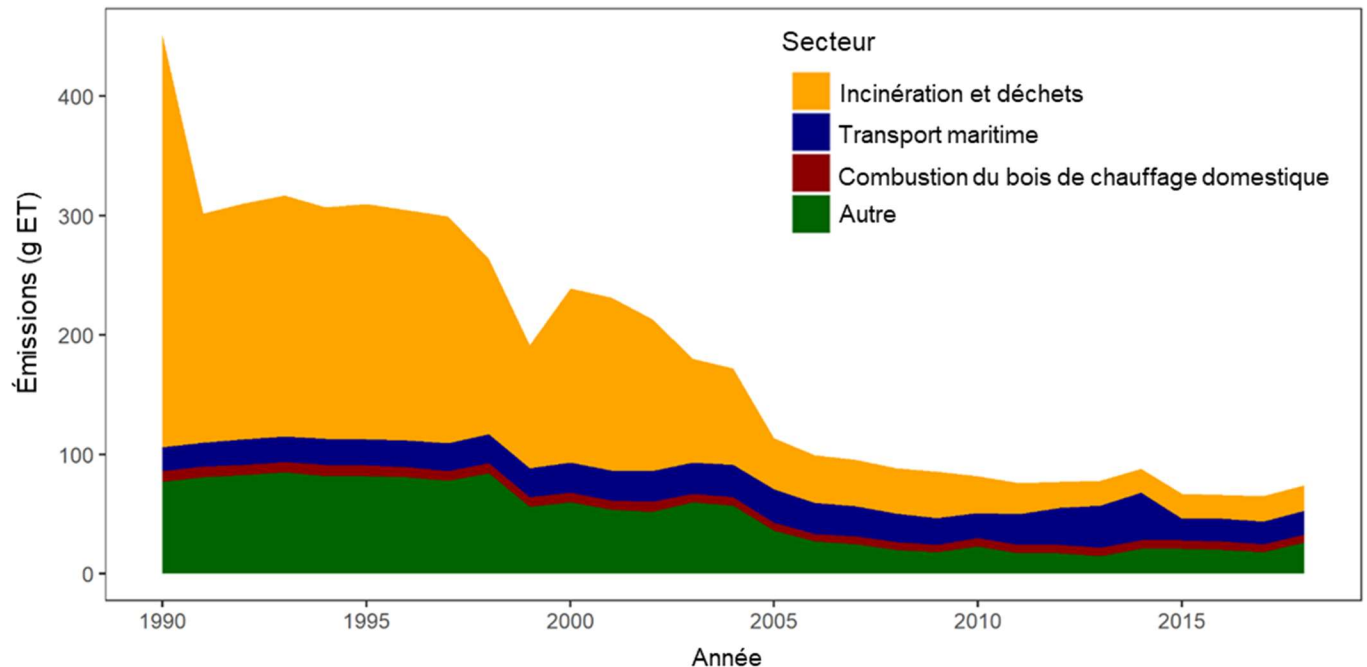


Figure 7. Émissions atmosphériques de dioxines et de furanes au Canada de 1990 à 2018. Source : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques (2020)

En 2018, trois secteurs (incinération et déchets; transport maritime; combustion du bois de chauffage domestique) ont enregistré les plus fortes émissions de dioxines et de furanes dans l'air (Figure 7). Alors que le secteur de l'incinération et des déchets a considérablement diminué ses émissions depuis 1990 (passant de 346 g ET à 24 g ET en 2018, soit une réduction de 93 %), les émissions par le transport maritime n'ont pas changé (restant à 20 g ET), et la combustion du bois de chauffage domestique était responsable de 7 g ET en 2018, soit une légère baisse par rapport aux 9 g ET de 1990.

Il y a lieu de noter que l'IEPA ne tient pas compte de certaines sources de combustion incontrôlées potentiellement importantes pour les émissions de dioxines et de furanes, notamment les feux de forêt et les feux de décharge (Dwyer et Themelis, 2015).

#### 5.1.3. Concentrations dans l'air ambiant – Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA)

La Figure 8 montre que les concentrations annuelles de dioxines et de furanes dans l'air ambiant ont considérablement diminué dans les années 1990, et qu'elles ont continué de baisser, mais plus lentement, à partir de 2000. L'augmentation récente du nombre de feux incontrôlés (feux de forêt, feux de broussailles) dans l'ouest du Canada et des États-Unis a pu contribuer aux concentrations de dioxines et de furanes dans l'air ambiant et à l'exposition subséquente directe et indirecte de la population. Les données déclarées au RNSPA ne permettraient pas de détecter de tels changements, car la surveillance des dioxines et des furanes a cessé en 2011.

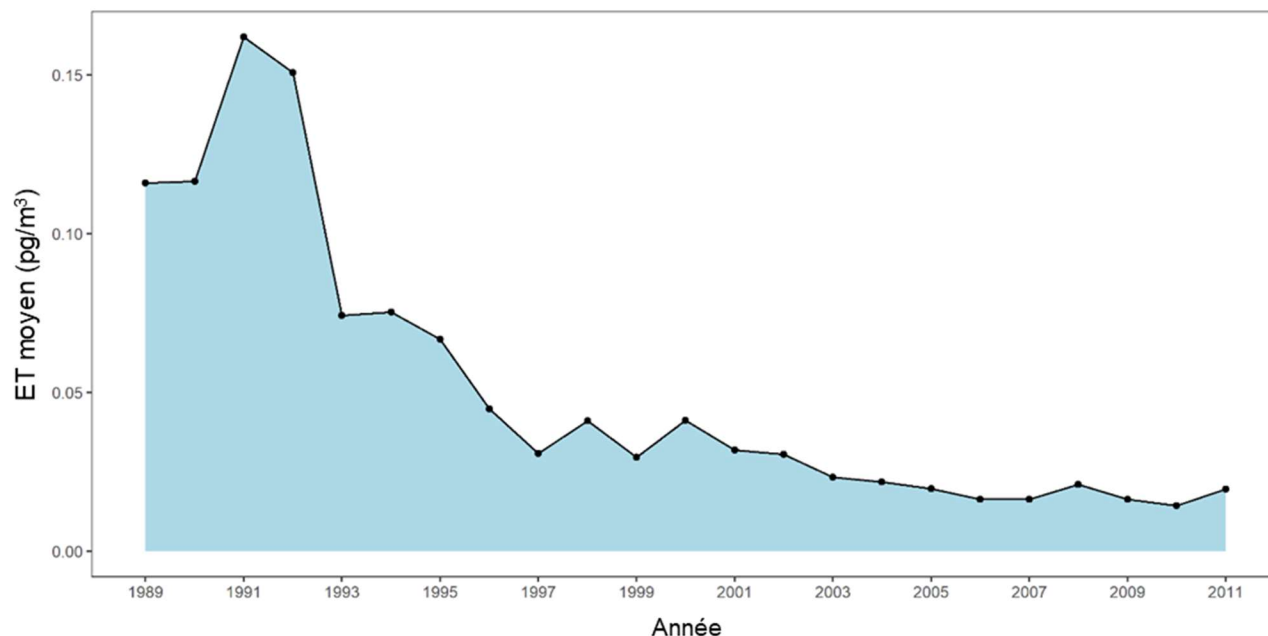


Figure 8. Concentrations annuelles moyennes de dioxines et de furanes dans l'air ambiant au Canada de 1989 à 2011. Source : RNSPA.

## 5.2 Dose journalière par les aliments

### 5.2.1. Concentrations de dioxines et de furanes dans certains aliments

Selon les données antérieures concernant les tendances dans les concentrations de dioxines et de furanes, la dose journalière provenant des aliments a diminué d'environ 50 %, passant d'environ 1 pg ET par jour dans les années 1985 à 1988 à moins de 0,5 pg ET par jour en 1999 (John Jake Ryan et coll., 2013). Une analyse temporelle plus récente de l'exposition aux dioxines et aux furanes, également exprimée en unités ET, est présentée ci-dessous pour certains aliments d'origine animale, lesquels représentent le principal apport de ces substances chimiques dans l'alimentation des Canadiens. Les figures 9 à 12 ont été générées à partir des données de l'EAT canadienne (1992-2017) et d'enquêtes ciblées menées par Santé Canada et l'ACIA (2001-2013). Les résultats présentés pour chaque produit alimentaire proviennent d'échantillons composites (données de l'EAT) ou sont des concentrations moyennes par année d'enquête (données des enquêtes ciblées de Santé Canada et de l'ACIA).

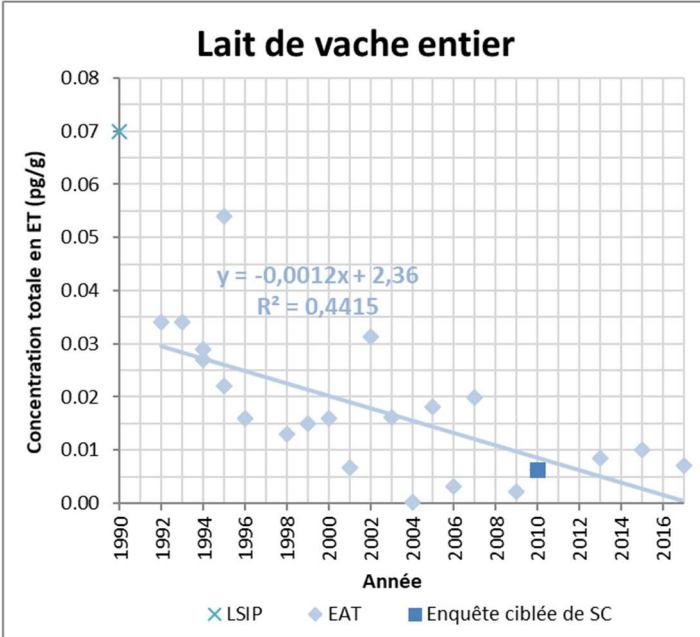
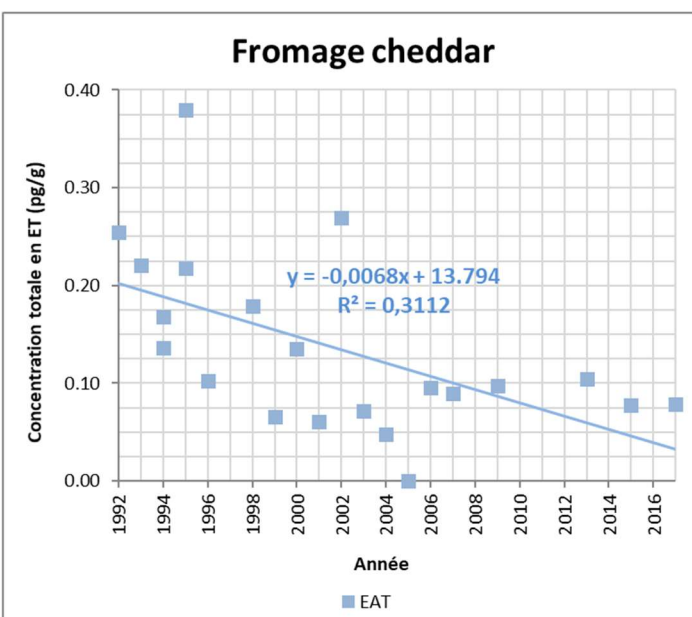


Figure 9. ET totaux dans le lait de vache entier

La concentration totale en ET utilisée dans l'évaluation de la LSIP était de 0,07 pg/g pour le lait entier (gouvernement du Canada, 1990). En raison de la nature lipophile des dioxines et des furanes, le lait entier en contient des concentrations proportionnellement plus élevées que les laits faibles en matières grasses. La concentration totale en ET dans le lait entier était 10 fois plus faible en 2017 que lors de l'évaluation initiale de la LSIP en 1990, et pour certaines années de l'EAT, les concentrations étaient encore plus faibles (p. ex., 2004, 2006, 2009). Les données de l'EAT et d'une enquête ciblée menée par Santé Canada (Direction des aliments de Santé Canada, communication personnelle) montrent que les concentrations totales en ET ont été divisées par environ 3 à 7 dans le lait ayant d'autres teneurs en matières grasses (lait écrémé, 1 % et 2 %) entre 1992 et 2017 (données non illustrées).



L'évaluation de la LSIP de 1990 ne comprenait pas de données propres au fromage, car les données mesurées pour les matières grasses du lait ont été appliquées à tous les produits laitiers dans cette évaluation (gouvernement du Canada, 1990). Les fromages à pâte dure, comme le cheddar, contiennent des concentrations proportionnellement plus élevées de dioxines et de furanes que les fromages à faible teneur en matières grasses (p. ex., le fromage cottage). Les données canadiennes pour le cheddar montrent une diminution des concentrations totales en ET par un

Figure 10. ET totaux dans le fromage cheddar

facteur d'environ 3 entre 1992 et 2017. Les fromages fondus et le fromage cottage présentent une tendance similaire à la baisse pour ce qui est des concentrations totales en ET (données non illustrées).

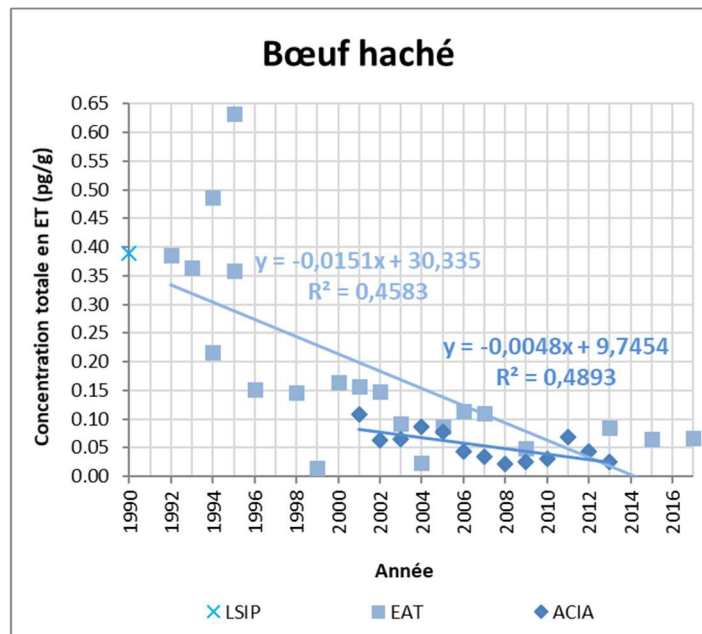


Figure 11. ET totaux dans le bœuf haché

L'évaluation de la LSIP de 1990 faisait état d'une concentration totale en ET de 0,39 pg/g dans le bœuf (deux échantillons de viande hachée, un d'abats rouges et cinq de steak). Le bœuf haché est la forme de bœuf la plus consommée au Canada, selon l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes (ESCC 2015). Les dioxines et les furanes se retrouvent principalement dans les graisses. Seules les données sur le gras de bœuf étaient donc disponibles (données de l'ACIA), et elles ont été converties pour représenter le bœuf haché d'après les données sur la teneur en gras dans le Fichier canadien sur les éléments nutritifs (2015). Les données de la Figure 11 montrent que les concentrations totales en ET dans le bœuf haché en 2017 étaient entre 6 fois (données de l'EAT) et 16 fois (données de l'ACIA) inférieures à la concentration employée dans l'évaluation de la LSIP de 1990.



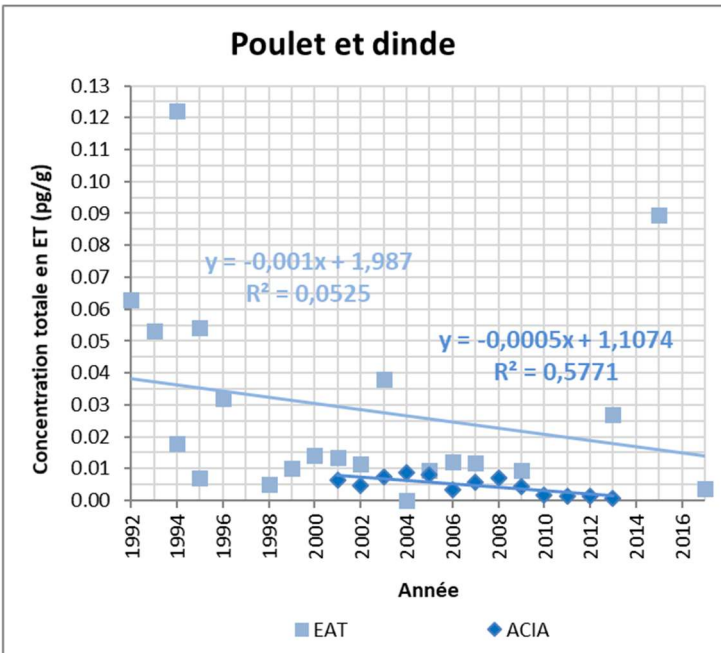


Figure 12. ET totaux dans la volaille hachée (poulet et dinde)

L'évaluation de la LSIP de 1990 supposait une concentration totale en ET de 0,56 pg/g dans la volaille sur la base de cinq échantillons (données non illustrées). L'échantillon composite de volaille d'après l'EAT était composé en parts égales de poulets et dindes entiers, cuits, parés et hachés. Les dioxines et les furanes se retrouvent principalement dans les graisses. Seules les données sur le gras de poulet étaient donc disponibles (données de l'ACIA), et elles ont été converties pour représenter le poulet haché d'après les données sur la teneur en gras du Fichier canadien sur les éléments nutritifs (2015). À l'exception d'une valeur aberrante (0,09 pg/g dans l'EAT de 2015), les données de l'EAT montrent une diminution des concentrations totales en ET; les concentrations de 2017 sont environ 17 fois inférieures à celles de 1992.

## 5.3 Biosurveillance

### 5.3.1. Concentration dans le lait maternel

Selon les données de plusieurs enquêtes (John Jake Ryan et Rawn, 2014; Rawn et coll., 2017), les concentrations de congénères de dioxines et de furanes ont diminué dans le lait maternel au Canada entre 1986 et 2011 (Figure 13). Dans le cas des enquêtes qui couvraient plusieurs années, les données ont été tracées au point médian de l'étude (p. ex., l'étude MIREC s'est déroulée de 2008 à 2011, et le point de données correspondant a donc été tracé entre les années 2009 et 2010).

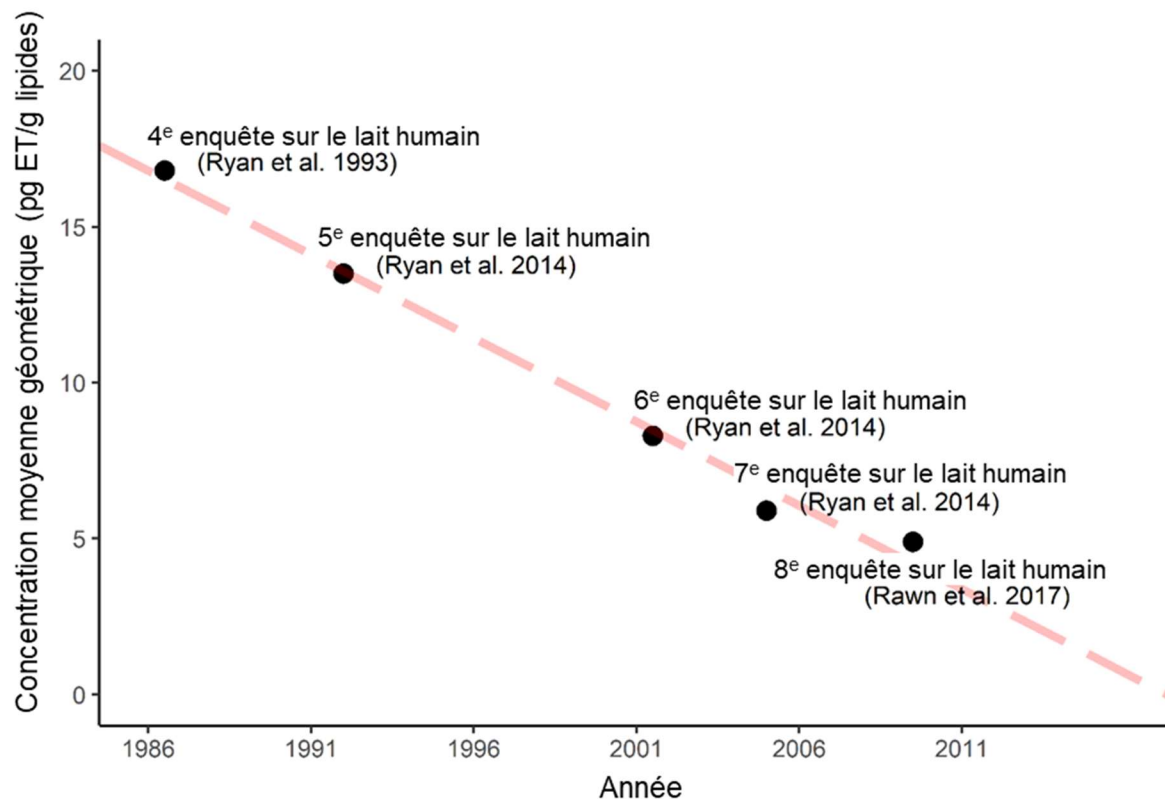


Figure 13. Concentrations moyennes géométriques de dioxines et de furanes dans le lait humain au Canada. Les concentrations ont été calculées selon les valeurs ET de l'OMS pour 2005. La ligne de meilleur ajustement est en rouge.

Le niveau sécuritaire pour les dioxines et les furanes dans le lait maternel avait été précédemment établi à 0,2 pg/g de lipides du lait, sur la base de la limite inférieure de la dose journalière tolérable fixée par l'OMS à 1-4 pg/kg de poids corporel/jour (van den Berg et coll., 2017). Les concentrations moyennes de dioxines et de furanes dans les mesures les plus récentes du lait maternel selon l'étude MIREC de 2008-2011 (moyenne géométrique d'environ 5 ng ET/kg de lipides du lait) étaient encore supérieures au niveau sécuritaire. Malgré tout, on considère que les avantages de l'allaitement maternel l'emportent sur les effets nocifs potentiels des dioxines et des furanes à ce niveau d'exposition (Abraham, 2017).

### 5.3.2. Concentration dans le sang – Programme national de biosurveillance

La Figure 14 montre les résultats obtenus pour les dioxines et les furanes selon les données sur le sang regroupées pour les cycles 1, 3, 4 et 5 de l'ECMS (2007-2009, 2012-2013, 2014-2015 et 2016-2017 respectivement). Les données de biosurveillance indiquent que les concentrations de dioxines et de furanes sont restées stables depuis 2007 dans la population canadienne. Les concentrations sont généralement plus élevées chez les groupes plus âgés que chez les groupes plus jeunes, ce qui reflète probablement la bioaccumulation de ces substances. Les équivalents de biosurveillance (15 ng ET/kg de lipides pour les 12-19 ans et 21 ng ET/kg de lipides pour les  $\geq 20$  ans)

sont une estimation de la concentration maximale sans risque accru d'effets nocifs sur la santé, et sont basés sur la dose de référence de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (US EPA) de  $7 \times 10^{-10}$  mg/kg de poids corporel/jour, établie en 2012 (US EPA IRIS, 2012; Aylward et coll., 2013). Les concentrations moyennes de dioxines et de furanes sur l'ensemble des cycles sont inférieures aux équivalents de biosurveillance. Entre 2007 et 2015, les plus fortes concentrations de substances de type dioxine mesurées chez un faible pourcentage de la population canadienne étaient supérieures aux équivalents de biosurveillance pour certains groupes d'âge, ce qui soulève des préoccupations potentielles pour ces personnes. Plus récemment, à partir de 2016-2017, même les plus fortes concentrations déclarées de substances de type dioxine étaient inférieures aux recommandations pertinentes.

#### Concentrations de dioxines, de furanes et de BPC de type dioxine dans la population canadienne, par groupe d'âge

Données tirées de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (2007-2017)

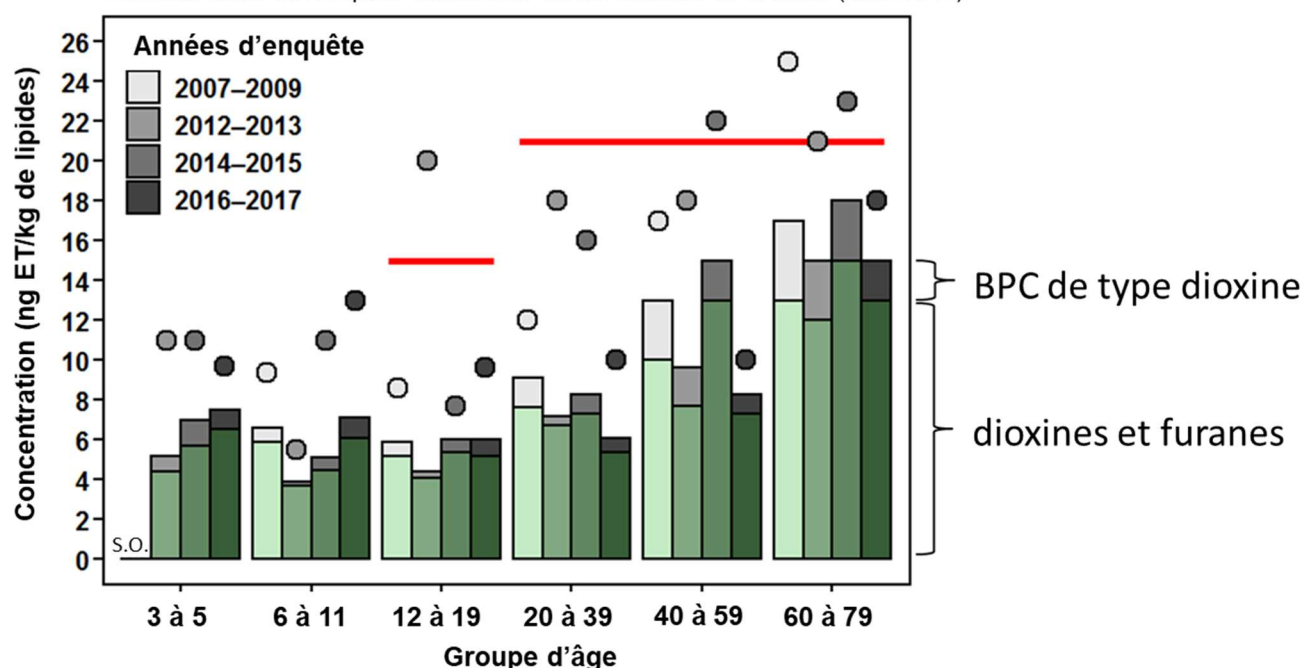


Figure 14. Concentrations de dioxines, de furanes et de BPC de type dioxine dans le sérum sanguin de la population canadienne, selon les cycles 1 (2007-2009), 3 (2012-2013), 4 (2014-2015) et 5 (2016-2017) de l'ECMS, par groupe d'âge. Les concentrations moyennes (barres) et maximales (cercles) pour la population canadienne ont été calculées selon la valeur ET de l'OMS pour 2005. On ne disposait pas de données sur les concentrations pour les enfants de 3 à 5 ans en 2007-2009. Les différentes teintes de vert indiquent la partie des concentrations moyennes de dioxines et de furanes (mais non de BPC de type dioxine). Les équivalents de biosurveillance (15 ng ET/kg de lipides pour les 12 à 19 ans et 21 ng ET/kg de lipides pour les 20 à 79 ans) qui correspondent à la dose de référence de l'EPA ( $7 \times 10^{-10}$  mg/kg de poids corporel/jour) sont représentés par des lignes rouges, aux fins de comparaison.

## 6. Évaluation de la mesure du rendement

Les mesures de gestion des risques prises à l'égard des dioxines et des furanes au Canada semblent avoir été efficaces pour réduire l'exposition à ces substances dans de nombreux milieux. Ces stratégies et outils de gestion des risques ont permis, depuis leur entrée en vigueur, de réduire :

1. les concentrations de dioxines et de furanes émises et mesurées dans l'air extérieur;
2. leur concentration dans les aliments d'origine animale et, par conséquent, l'exposition aux dioxines et aux furanes par voie alimentaire;
3. les concentrations de dioxines et de furanes mesurées dans le lait humain.

Il est reconnu qu'en général il faut s'attendre à un décalage entre la mise en œuvre d'une mesure de gestion des risques et une modification conséquente des niveaux d'exposition, car il faut du temps aux industries pour s'adapter aux nouvelles réglementations et normes. Dans le cas des dioxines et des furanes, ce décalage peut être plus manifeste en raison de leurs longues demi-vies. Même lorsque les mesures de gestion des risques sont efficaces, les concentrations de dioxines et de furanes mesurées dans l'environnement et dans les organismes vivants peuvent ne diminuer que progressivement.

## 6.1 Environnement

Ces composés sont présents dans l'air, l'eau et le sol. En raison de leur persistance chimique et de leur présence dans l'environnement, les dioxines et les furanes peuvent pénétrer dans le réseau alimentaire. Cela signifie que toute réduction des émissions dans l'environnement devrait se traduire par une diminution de l'exposition des Canadiens aux dioxines et aux furanes.

Les données de l'INRP montrent une nette tendance à la baisse du nombre total de rejets déclarés entre 2000 et 2017 (

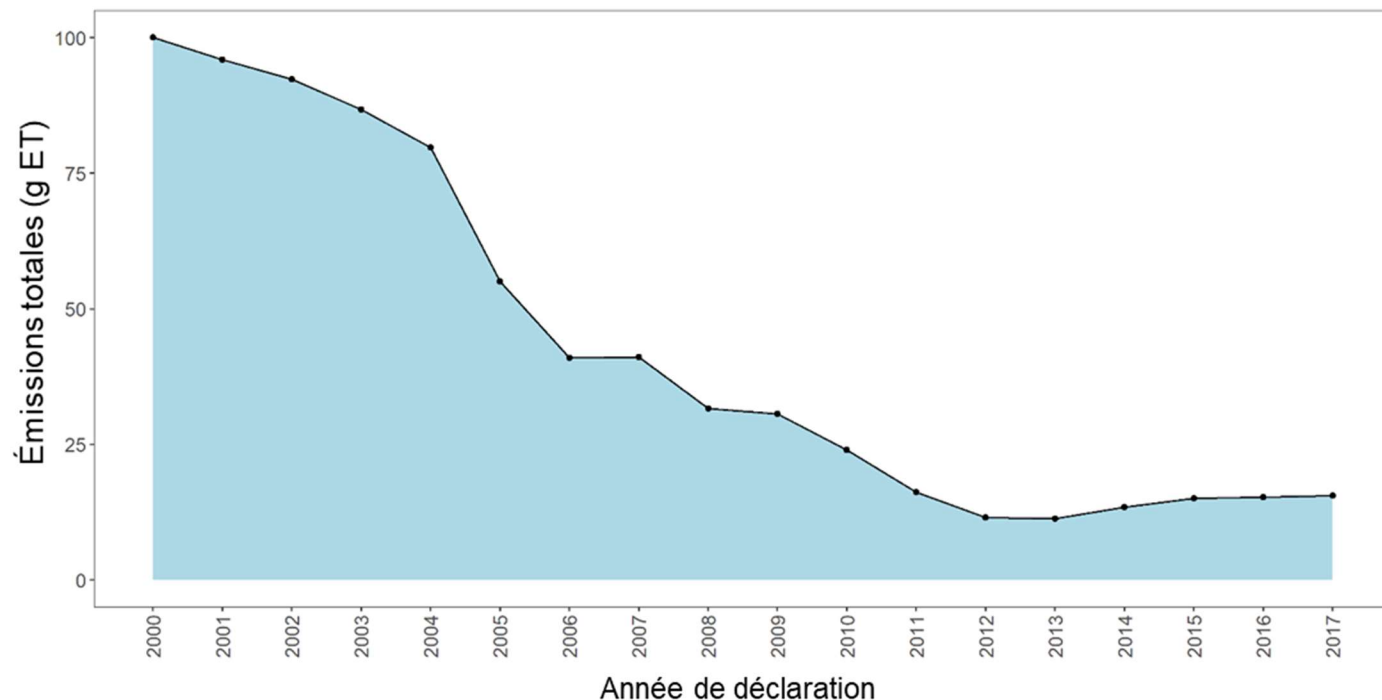


Figure 2). La baisse la plus spectaculaire des émissions s'est produite entre 2004 et 2006, soit juste après la mise en œuvre de [sept mesures de gestion des risques](#) entre 2001 et 2003. Si l'on examine les émissions par secteur (Figure 3), tous les secteurs ont présenté une réduction des émissions à la suite de la mise en œuvre des mesures sectorielles de gestion des risques. Pour ce qui est des rejets déclarés à l'INRP par province (Figure 4), Terre-Neuve-et-Labrador et l'Ontario sont les deux provinces qui ont produit le plus d'émissions et qui ont connu également les plus fortes diminutions. À Terre-Neuve-et-Labrador, il y avait un lien évident avec le standard pancanadien concernant l'incinération des déchets dans des chambres coniques de combustion, standard introduit en 2003 pour éliminer progressivement l'exploitation de ce type d'incinérateurs dans cette province. De 2000 à 2014, les rejets de dioxines et de furanes dus à l'incinération de déchets à Terre-Neuve-et-Labrador (qui représentaient près de 100 % des émissions de dioxines et de furanes de la province) sont passés de 53 g ET à 0,3 g ET, soit une réduction de plus de 99 % (Figure 5). En Ontario, les réductions semblaient être dues à une diminution des émissions dans les secteurs de la production de métaux et de l'électricité (Figure 6).

Les données de l'IEPA (Figure 7) montrent que les émissions atmosphériques des secteurs évalués ont diminué de 85 % entre 1990 et 2017, même en tenant compte de certaines sources non industrielles. Les trois principaux secteurs jugés responsables des émissions de dioxines et de furanes dans l'air en 2017 étaient l'incinération et les déchets, le transport maritime et la combustion du bois de chauffage domestique. On a enregistré une baisse considérable des émissions dans le secteur de l'incinération des déchets depuis 1990, avec une forte diminution entre 2004 et 2005 (de 81 g ET à 43 g ET, soit une réduction de 47 %), ce qui correspond au SP visant l'incinération des déchets et au SP relatif à la combustion des déchets municipaux dans des chambres coniques, ces standards ayant été élaborés pour ce secteur et mis en œuvre en 2001

et 2003, respectivement. En revanche, les émissions par les secteurs du transport maritime et de la combustion du bois de chauffage domestique sont restées relativement stables.

Les données du RNSPA (Figure 8) reflètent le fait que la réduction des émissions déclarées par l'INRP et estimées par les sources de données de l'IEPA a entraîné une diminution des quantités de dioxines et de furanes mesurées dans l'air ambiant entre 1989 et 2011.

## 6.2 Dose journalière par les aliments

Comme prévu, d'après la baisse observée des ET totaux de dioxines et de furanes dans divers aliments depuis les années 1990 (Figure 9 à Figure 12), l'exposition totale des Canadiens par voie alimentaire aux dioxines et aux furanes a également diminué de façon appréciable au cours de la même période. L'évaluation de la LSIP de 1990 faisait état d'une exposition par voie alimentaire moyenne aux dioxines et aux furanes de 0,49 et 2,0 pg ET/kg p.c./jour chez les Canadiens adultes de 17 à 70 ans, respectivement. Les estimations de l'exposition moyenne par voie alimentaire aux dioxines et aux furanes chez les Canadiens, selon Santé Canada en 2019, variaient de 0,11 à 0,16 pg ET/kg p.c./jour, selon l'âge et le sexe. Les estimations de l'exposition au 95<sup>e</sup> centile variaient de 0,37 à 0,52 pg ET/kg p.c./jour (Direction des aliments de Santé Canada, communication personnelle). Ces valeurs récentes concernant l'exposition alimentaire sont bien inférieures à la dose journalière tolérable de 2,3 pg ET/kg p.c./jour, qui est basée sur la dose mensuelle tolérable de 70 pg ET/kg p.c. calculé par le Comité d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires (JECFA) [Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2002]. L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a récemment mis à jour sa limite d'exposition sécuritaire recommandée pour les dioxines et les furanes, soit une dose journalière totale de 0,25 pg ET/kg p.c./jour (Knutsen et coll., 2018). Bien que la nouvelle valeur de l'EFSA soit environ 9 fois inférieure à la DJT du JECFA (2,3 pg ET/kg p.c./jour), compte tenu du niveau d'incertitude et du nombre d'hypothèses appliquées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR) du JECFA et de l'EFSA, on estime que les deux assurent la protection de la santé.

## 6.3 Biosurveillance

Les données de plusieurs enquêtes sur le lait humain sont disponibles pour les années 1985 à 2011 et permettent d'évaluer les effets cumulatifs des mesures de gestion des risques. Les données montrent une diminution constante des concentrations de dioxines et de furanes mesurées dans le lait maternel; la tendance, d'aspect linéaire, correspond à une baisse d'environ 0,54 pg ET/g de lipides par an, soit environ 3 % par an par rapport aux taux de 1985, pour une réduction totale de 79 %.

Les données sur les taux de dioxines et de furanes dans le sang (Figure 14) n'ont été disponibles qu'après la mise en œuvre de toutes les mesures de gestion des risques, mais les programmes de biosurveillance d'autres pays, comme les États-Unis, montrent que les taux de dioxines et de furanes dans le sérum humain peuvent avoir diminué de plus de 80 % depuis les années 1980 (Aylward et Hays, 2002; Centers for Disease

Control and Prevention, 2017). Malgré cela, il est possible que les mesures de gestion des risques prises au début des années 2000 aient eu un effet sur les taux dans la population générale, même des années plus tard. Les concentrations sanguines mesurées dans un échantillon représentatif de la population canadienne montrent que les taux moyens de dioxines et de furanes restent stables dans tous les groupes d'âge et sont inférieurs aux seuils équivalents de biosurveillance, ce qui indique que les concentrations sont inférieures au niveau préoccupant. Les personnes fortement exposées dans certains groupes d'âge présentaient des concentrations préoccupantes de dioxines, de furanes et de BPC de type dioxine les premières années; or, les données du cycle le plus récent de l'ECMS (2016-2017) indiquent des niveaux inférieurs aux seuils équivalents de biosurveillance pour ces mêmes groupes.

## 6.4 Autres considérations

### 6.4.1. *Sources futures d'exposition*

Même si on ne fabrique plus de BPC, ceux-ci étaient souvent contaminés par des furanes générés pendant la production (Organisation mondiale de la Santé, 2019). Par conséquent, l'élimination inappropriée des BPC représente une source potentielle de rejets de furanes. La Convention de Stockholm exige l'élimination de l'utilisation des BPC dans les équipements d'ici 2025, sous réserve de révision par la Conférence des Parties. Elle exige également que les Parties fournissent des efforts résolus pour aboutir à une gestion écologiquement rationnelle des déchets de liquides contenant des BPC et d'équipements contaminés par des BPC d'ici 2028. Il convient d'éliminer de façon appropriée les équipements contenant des BPC afin de s'assurer que les Canadiens continuent d'être protégés contre les effets de l'exposition aux dioxines et aux furanes (UN Environment, 2017).

Les changements climatiques peuvent déclencher une éventuelle remobilisation des dioxines et des furanes en raison de la fonte accrue du pergélisol (Bogdal et coll., 2009). Cependant, des études ont montré que le taux de rejet devrait être inférieur aux diminutions dues à la dégradation progressive des dioxines et des furanes dans l'environnement, et pourrait ne pas constituer une source notable d'exposition future (AMAP, 2016). Une fréquence accrue des feux de forêt en raison des changements climatiques accroîtrait également les rejets de dioxines dus à la combustion de la biomasse et d'autres matériaux tels que les plastiques (Zhang et coll., 2017).

De nouveaux problèmes de contamination par les dioxines et les furanes peuvent apparaître dans le réseau alimentaire en raison de l'utilisation accrue de sous-produits industriels dans l'alimentation du bétail ou du recours à de nouvelles sources et méthodes de transformation des aliments pour animaux. Par exemple, l'hydrogénation des sous-produits du raffinage de l'huile de palme (p. ex., les distillats d'acides gras de palme) pourrait faire en sorte que des congénères de dioxines ayant de faibles FET soient transformés en congénères ayant des FET élevés, ce qui augmenterait la concentration en ET totaux dans le produit hydrogéné (Taverne-Veldhuizen et coll., 2020). L'utilisation de certaines méthodes de récupération du cuivre peut entraîner une contamination par les dioxines et les furanes dans les ingrédients à base de cuivre

destinés à l'alimentation animale (Wang et coll., 2014). En outre, l'exploitation de nouvelles sources pour l'extraction d'ingrédients entrant dans la composition des aliments du bétail, comme les minéraux, les argiles anti-agglomérantes et les terres de diatomées, peuvent perturber les sources géogènes de dioxines (Commission du Codex Alimentarius, 2006; Malisch et Kotz, 2014). Il est donc important de surveiller en permanence ces types d'ingrédients afin de limiter l'exposition par voie alimentaire.

#### *6.4.2. Populations vulnérables*

L'évaluation de la santé humaine réalisée par le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) en 2015 a indiqué que les concentrations de POP étaient élevées dans l'Arctique par rapport aux autres régions du Canada. Les communautés inuites du Nunavik et du Nunavut sont particulièrement touchées, probablement en raison d'une consommation élevée de mammifères marins qui contiennent des dioxines et des furanes (Brown et coll., 2018), et en raison du transport à grande distance qui entraîne l'accumulation de dioxines et de furanes dans les régions nordiques (Hung et coll., 2016). Dans certaines régions de l'Arctique, les concentrations de POP dans le sang peuvent être de 3 à 11 fois supérieures à celles de la population générale (Arctic Monitoring and Assessment Programme [AMAP], 2015). Il se pourrait en outre qu'on ait davantage recours à l'incinération des déchets dans les régions nordiques, car le pergélisol limite la mise en place de sites d'enfouissement, d'où une exposition aux dioxines et aux furanes. D'autres programmes ciblés, comme l'Étude sur l'alimentation, la nutrition et l'environnement chez les Premières Nations, ont fourni des données sur les populations autochtones du sud du Canada.

## **7. Conclusions**

Les mesures prises par le gouvernement du Canada ont entraîné une réduction directe des rejets de dioxines et de furanes dans l'environnement et de leur présence dans l'alimentation des Canadiens. Les résultats de la biosurveillance montrent que les mesures de gestion des risques ont également entraîné une diminution des taux de dioxines et de furanes chez les Canadiens, tels que mesurés dans le lait maternel. Comme prévu, les concentrations de ces composés dans le sang semblent relativement stables selon les analyses les plus récentes.

La surveillance continue des rejets de dioxines et de furanes dans l'environnement ainsi que le contrôle de leurs concentrations dans les aliments permettront au gouvernement du Canada de repérer les nouvelles sources potentielles d'exposition aux dioxines et aux furanes. La biosurveillance permettra de déterminer si l'exposition à ces substances continue de diminuer dans la population générale et dans les populations autochtones du Nord.

En soumettant ces substances à une évaluation future de la mesure du rendement, ainsi qu'à une analyse de la charge qu'elles représentent pour la santé, on pourra s'assurer



que le gouvernement du Canada contribue toujours à protéger la santé des Canadiens contre les effets des dioxines et des furanes.

## 8. Références

- Abraham, K. (2017). [Risks of dioxins resulting from high exposure via breast-feeding?](#) *Archives of Toxicology*, 91(7), 2703–2704. (disponible en anglais seulement)
- AMAP. (2016). AMAP Assessment 2015: Temporal Trends in Persistent Organic Pollutants in the Arctic. In *AMAP assessment report*. (disponible en anglais seulement)
- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). (2015). [AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic](#). (disponible en anglais seulement)
- Aylward, L. L., & Hays, S. M. (2002). [Temporal trends in human TCDD body burden: Decreases over three decades and implications for exposure levels](#). *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12(5), 319–328. (disponible en anglais seulement)
- Aylward, L. L., Kirman, C. R., Schoeny, R., Portier, C. J., & Hays, S. M. (2013). [Evaluation of biomonitoring data from the CDC national exposure report in a risk assessment context: Perspectives across chemicals](#). *Environmental Health Perspectives*, 121(3), 287–294. (disponible en anglais seulement)
- Baccarelli, A., Giacomini, S. M., Corbetta, C., Landi, M. T., Bonzini, M., Consonni, D., Grillo, P., Patterson, D. G., Pesatori, A. C., & Bertazzi, P. A. (2008). [Neonatal thyroid function in seveso 25 years after maternal exposure to dioxin](#). *PLoS Medicine*, 5(7), 1133–1142. (disponible en anglais seulement)
- Bogdal, C., Schmid, P., Zennegg, M., Anselmetti, F. S., Scheringer, M., & Hungerbühler, K. (2009). [Blast from the past: Melting glaciers as a relevant source for persistent organic pollutants](#). *Environmental Science and Technology*, 43(21), 8173–8177. (disponible en anglais seulement)
- Brown, T. M., Macdonald, R. W., Muir, D. C. G., & Letcher, R. J. (2018). [The distribution and trends of persistent organic pollutants and mercury in marine mammals from Canada's Eastern Arctic](#). *Science of the Total Environment*, 618, 500–517. (disponible en anglais seulement)
- CCME. (2009). *Standards pancanadiens relatifs aux dioxines et aux furannes: les chaudières de pâtes et papiers du littoral, incinérateurs fédéraux, usines de frittage du fer, fours électriques à arc dédiés à la fabrication d'acier, combustion de déchets municipaux dans des chambres coniques de combustion - rapport d'étape 2009*.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). [Biomonitoring Summary of Dioxin-Like Chemicals: Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins, Polychlorinated Dibenzofurans, and Coplanar and Mono-ortho-substituted Polychlorinated Biphenyls](#). (disponible en anglais seulement)
- Codex Alimentarius Commission. (2006). [CODE OF PRACTICE FOR THE PREVENTION AND REDUCTION OF DIOXINS, DIOXIN-LIKE PCBs AND NON-DIOXIN-LIKE PCBs IN FOOD AND FEED](#). (disponible en anglais seulement)
- Commission for Environmental Cooperation. (2011). [North American Strategy for Catalyzing Cooperation on Dioxins and Furans, and Hexachlorobenzene](#). (disponible en anglais seulement)

- Consonni, D., Sindaco, R., & Bertazzi, P. A. (2012). [Blood levels of dioxins, furans, dioxin-like PCBs, and TEQs in general populations: A review, 1989–2010.](#) *Environment International*, 44(1), 151–162. (disponible en anglais seulement)
- Dwyer, H., & Themelis, N. J. (2015). [Inventory of U.S. 2012 dioxin emissions to atmosphere.](#) *Waste Management*, 46, 242–246. (disponible en anglais seulement)
- Environment and Climate Change Canada. (2020). [Rapport d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques du Canada 2020.](#)
- Gouvernement du Canada. (1990). [Dibenzodioxines polychlorées et dibenzofurannes polychlorés - LSIP1.](#)
- Gouvernement du Canada. (1998). Canada Gazette Partie 1. 4 juillet, 1998. *Distribution*, 132(27).
- Gouvernement du Canada, & Gouvernement du Québec. (1998). [St. Laurent Vision 2020 rapport quinquennal 1993-1998.](#)
- Gouvernement du Canada, & Gouvernement du Québec. (2016). [La contamination des poissons d'eau douce par les toxiques – 3e édition](#)
- Hung, H., Katsoyiannis, A. A., Brorström-Lundén, E., Olafsdottir, K., Aas, W., Breivik, K., Bohlin-Nizzetto, P., Sigurdsson, A., Hakola, H., Bossi, R., Skov, H., Sverko, E., Barresi, E., Fellin, P., & Wilson, S. (2016). [Temporal trends of Persistent Organic Pollutants \(POPs\) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment Programme \(AMAP\).](#) *Environmental Pollution*, 217, 52–61. (disponible en anglais seulement)
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). Chemical agents and related occupations. Volume 100 F. A Review of Human Carcinogens. In *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* (Vol. 100, Issue Pt F). (disponible en anglais seulement)
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2002). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In *World Health Organization technical report series* (Vol. 48). (disponible en anglais seulement)
- Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S., Cottrill, B., Dinovi, M., Edler, L., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Nebbia, C. S., Oswald, I. P., Petersen, A., Rose, M., Roudot, A. C., Schwerdtle, T., Vleminckx, C., Vollmer, G., ... Hoogenboom, L. (Ron). (2018). [Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food.](#) In *EFSA Journal* (Vol. 16, Issue 11). (disponible en anglais seulement)
- Malisch, R., & Kotz, A. (2014). [Dioxins and PCBs in feed and food - Review from European perspective.](#) *Science of the Total Environment*, 491–492, 2–10. (disponible en anglais seulement)
- Mocarelli, P., Gerthoux, P. M., Patterson, D. G., Milani, S., Limonta, G., Bertona, M., Signorini, S., Tramacere, P., Colombo, L., Crespi, C., Brambilla, P., Sarto, C., Carreri, V., Sampson, E. J., Turner, W. E., & Needham, L. L. (2008). [Dioxin exposure, from infancy through puberty, produces endocrine disruption and affects human semen quality.](#) *Environmental Health Perspectives*, 116(1), 70–77. (disponible en anglais seulement)
- Neuberger, M., Rappe, C., Bergek, S., Cai, H., Hansson, M., Jäger, R., Kundi, M., Lim, C. K., Wingfors, H., & Smith, A. G. (1999). [Persistent health effects of dioxin contamination in herbicide production.](#) *Environmental Research*, 81(3), 206–214.

(disponible en anglais seulement)

- Panteleyev, A. A., & Bickers, D. R. (2006). [Dioxin-induced chloracne - Reconstructing the cellular and molecular mechanisms of a classic environmental disease.](#) *Experimental Dermatology*, 15(9), 705–730. (disponible en anglais seulement)
- Patterson, D. G., Needham, L. L., Pirkle, J. L., Roberts, D. W., Bagby, J., Garrett, W. A., Andrews, J. S., Falk, H., Bernert, J. T., Sampson, E. J., & Houk, V. N. (1988). [Correlation between serum and adipose tissue levels of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in 50 persons from Missouri.](#) *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 17(2), 139–143. (disponible en anglais seulement)
- Patterson, Donald G., Turner, W. E., Caudill, S. P., & Needham, L. L. (2008). [Total TEQ reference range \(PCDDs, PCDFs, cPCBs, mono-PCBs\) for the US population 2001-2002.](#) *Chemosphere*, 73(1 SUPPL.). (disponible en anglais seulement)
- Pirkle, J. L., Wolfe, W. H., Patterson, D. G., Needham, L. L., Michalek, J. E., Miner, J. C., Peterson, M. R., & Phillips, D. L. (1989). [Estimates of the half-life of 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in vietnam veterans of operation ranch hand.](#) *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 27(2), 165–171. (disponible en anglais seulement)
- Rawn, D. F. K., Sadler, A. R., Casey, V. A., Breton, F., Sun, W., Arbuckle, T. E., & Fraser, W. D. (2017). [Dioxins / furans and PCBs in Canadian human milk : 2008 – 2011.](#) *Science of the Total Environment*, 595, 269–278. (disponible en anglais seulement)
- Ryan, John J., Lizotte, R., Panopio, L. G., Shewchuk, C., Lewis, D. A., & Sun, W. F. (1993). [Polychlorinated dibenzo-p-dioxins \(PCDDs\) and polychlorinated dibenzofurans \(PCDFs\) in human milk samples collected across Canada in 1986-87.](#) *Food Additives and Contaminants*, 10(4), 419–428. (disponible en anglais seulement)
- Ryan, John Jake, Cao, X. L., & Dabeka, R. (2013). [Dioxins, furans and non-ortho-PCBs in Canadian total diet foods 1992-1999 and 1985-1988.](#) *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(3), 491–505. (disponible en anglais seulement)
- Ryan, John Jake, & Rawn, D. F. K. (2014). [Polychlorinated dioxins, furans \(PCDD/Fs\), and polychlorinated biphenyls \(PCBs\) and their trends in Canadian human milk from 1992 to 2005.](#) *Chemosphere*, 102, 76–86. (disponible en anglais seulement)
- Scientific Committee on Animal Nutrition. (2000). [Opinion of the scientific committee on dioxin contamination of feedingstuffs and their contribution to the contamination of food of animal origin.](#) (disponible en anglais seulement)
- Tai, P. T., Nishijo, M., Nguyet Anh, N. T., Maruzeni, S., Nakagawa, H., Luong, H. Van, Anh, T. H., Honda, R., Kido, T., & Nishijo, H. (2013). [Dioxin exposure in breast milk and infant neurodevelopment in Vietnam.](#) *Occupational and Environmental Medicine*, February. (disponible en anglais seulement)
- Taverne-Veldhuizen, W., Hoogenboom, R., Dam, G. ten, Herbes, R., & Luning, P. (2020). [Understanding possible causes of exceeding dioxin levels in palm oil by-products: An explorative study.](#) *Food Control*, 108(July 2019), 106777. (disponible en anglais seulement)
- UN Environment. (2017). [PCB : A Forgotten Legacy.](#) (disponible en anglais seulement)
- US EPA IRIS. (2012). [Integrated Risk Information System \(IRIS\) Chemical Assessment](#)

- Summary for 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD). 000, 1–16. (disponible en anglais seulement)
- van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., Vito, M. De, Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N., & Peterson, R. E. (2006). The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. *Toxicology Science*, 93(2), 223–241. (disponible en anglais seulement)
- van den Berg, M., Kypke, K., Kotz, A., Tritscher, A., Lee, S. Y., Magulova, K., Fiedler, H., & Malisch, R. (2017). WHO/UNEP global surveys of PCDDs, PCDFs, PCBs and DDTs in human milk and benefit–risk evaluation of breastfeeding. *Archives of Toxicology*, 91(1), 83–96. (disponible en anglais seulement)
- Wang, P., Zhang, Q., Lan, Y., Xu, S., Gao, R., Li, G., Zhang, H., Shang, H., Ren, D., Zhu, C., Li, Y., Li, X., & Jiang, G. (2014). Dioxins contamination in the feed additive (feed grade cupric sulfate) tied to chlorine industry. *Scientific Reports*, 4, 1–5. (disponible en anglais seulement)
- Wittsiepe, J., Furst, P., Schrey, P., Lemm, F., Kraft, M., Eberwein, G., Winneke, G., & Wilhelm, M. (2004). PCDD/F and dioxin-like PCB in human blood and milk from German mothers. 66(142), 2831–2837. (disponible en anglais seulement)
- World Health Organization. (2019). Exposure to Dioxins and Dioxin-like Substances: a Major Public Health Concern. In *Preventing Disease Through Healthy Environments*. h (disponible en anglais seulement)
- Zhang, M., Buekens, A., & Li, X. (2017). Dioxins from Biomass Combustion: An Overview. *Waste and Biomass Valorization*, 8(1). (disponible en anglais seulement)