Environnement et Changement climatique Canada

Environment and Climate Change Canada

Évaluation scientifique sur le mercure au Canada

Résumé des principaux résultats

Canada

Évaluation scientifique sur
le mercure au Canada

Résumé des principaux résultats

Nº de cat. : En84-130/2-2016F-PDF
ISBN 978-0-660-04498-9

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
7e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-997-2800
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca

Photos :
Couverture, page iv et page 1: © Thinkstockphotos.ca
Page 18 : B. Braune © Environnement Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2016

Also available in English

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **1**

CONTEXTE SUR LE MERCURE **3**

QUESTIONS RELATIVES AUX POLITIQUES **5**
- Question 1 5
- Question 2 8
- Question 3 14
- Question 4 22
- Question 5 23
- Question 6 26
- Question 7 30

ÉVALUATION DU MERCURE AU CANADA **32**
- Faits saillants des chapitres 32

RÉGLEMENTATION DU MERCURE AU CANADA **38**

CONTRIBUTEURS **39**

PAIRS EXAMINATEURS **41**

INTRODUCTION

Le programme scientifique sur le mercure, du Programme de réglementation de la qualité de l'air (PRQA), a été établi en 2007 pour mettre sur pied la base de connaissances scientifiques nécessaires pour appuyer les décisions réglementaires sur le mercure. L'objectif du programme était (1) de déterminer les indicateurs clés de la qualité de l'environnement et de la santé humaine en lien avec les émissions atmosphériques de mercure, (2) de quantifier les concentrations actuelles et passées pour ces indicateurs et (3) de développer la capacité de prédiction des changements dans ces indicateurs associés aux modifications dans les niveaux des émissions atmosphériques de mercure ou dans les milieux récepteurs.[1] Le secteur géographique visé par le programme scientifique sur le mercure du PRQA était le sud du cercle polaire (au nord du 60e parallèle). Le PRQA a établi un partenariat avec le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord – Arctique canadien (PLCN-AC), un programme d'Affaires autochtones et Développement du Nord Canada (AADNC) qui mène de la recherche scientifique en réponse aux préoccupations relatives à l'exposition des personnes à des concentrations élevées de contaminants, dont le mercure, dans les poissons et les espèces sauvages qui constituent un élément important de l'alimentation traditionnelle des peuples autochtones du Nord. En 2012, le PLCN a publié le *Troisième rapport d'évaluation des contaminants dans l'Arctique canadien : le mercure dans le Nord canadien*, qui fournit une évaluation exhaustive du devenir du mercure dans l'environnement de l'Arctique canadien. L'Évaluation scientifique sur le mercure au Canada est une synthèse exhaustive, révisée par les pairs, de l'état des connaissances scientifiques sur le mercure au Canada, qui comprend des renseignements du rapport du PLCN, lequel portait sur le sud et le nord du cercle arctique. De plus, la présente évaluation repose sur les évaluations environnementales régionales récemment publiées pour le bassin des Grands Lacs[2] et le nord-est de l'Amérique du Nord[3] et devrait être incorporée au rapport de synthèse sur le mercure dans l'ouest de l'Amérique du Nord, préparé en 2013. L'Évaluation scientifique sur le mercure au Canada dessert les milieux de la recherche ainsi que ceux des politiques. Aux fins de la recherche, cette évaluation fournit de l'information à jour (jusqu'à 2012) sur le mercure dans les écosystèmes canadiens, les lacunes dans les connaissances et les capacités de prédiction pour orienter la gestion de programme. Aux fins de la prise de décisions, ce résumé des principaux résultats fournit des réponses basées sur la science à plusieurs questions liées aux politiques, et recommande des orientations pour la recherche sur le mercure au Canada.

En 2010, Environnement Canada et Santé Canada ont lancé la Stratégie de gestion du risque relative au mercure, qui résumait les progrès réalisés et les activités futures du gouvernement du Canada pour gérer le mercure. Cette stratégie mettait en lumière les activités du fédéral en cours sur la recherche, la surveillance et l'évaluation visant à renforcer notre compréhension du mercure, et comportait des résumés des résultats attendus de la réglementation et de la science.

La préparation de cette évaluation a commencé en 2008 avec une série d'ateliers auxquels ont participé des scientifiques et des décideurs des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux et d'universités. Ces ateliers ont mené à l'élaboration de 7 questions et sous-questions scientifiques qui mettent en évidence les besoins en information des scientifiques et des décideurs au Canada. Sur la base de ces questions, l'objectif de cette évaluation est de synthétiser l'état actuel des connaissances sur la pollution environnementale par le mercure au Canada. Elle vise à orienter les décideurs et les gestionnaires de recherche dans leurs prises de décisions par : (1) la présentation d'information de nature scientifique dans le contexte des questions liées aux politiques; (2) la mise en place d'un cadre de référence servant à mesurer les changements futurs dans les concentrations de mercure dans l'environnement; (3) la définition des priorités quant aux besoins scientifiques futurs et (4) la fourniture d'information aux scientifiques canadiens et étrangers sur l'état de la recherche sur le mercure au Canada

1 Morrison, H.A., 2011. *The Canadian Clean Air Regulatory Agenda Mercury Science Program*. Ecotoxicology 20, 1512-1519. 10.1007/s10646-011-0714-1.

2 Evers, D.C., Wiener, J.G., Basu, N., Bodaly, R.A., Morrison, H.A., Williams, K.A., 2011. *Mercury in the Great Lakes region: bioaccumulation, spatiotemporal patterns, ecological risks and policy*. Ecotoxicology 20, 1487-1499. 10.1007/s10646-011-0784-0.

3 Evers, D.C., 2005. Mercury Connections: *The extent and effects of mercury pollution in northeastern North America*. BioDiversity Research Institute., Gorham, Maine, p. 28..

Les questions relatives aux politiques sont les suivantes :

1. Le mercure pose-t-il un risque pour les écosystèmes et la santé humaine au Canada?
   a. Si tel est le cas, à quel endroit, de quelle manière et dans quelle mesure le mercure pose-t-il un risque pour ces paramètres d'évaluation?
2. Les activités humaines contribuent-elles aux concentrations de mercure observées, et donc au risque, dans l'environnement canadien?
   a. Si tel est le cas, quelles sont ces activités?
   b. Quelles activités ont l'impact le plus important sur les concentrations de mercure chez les poissons au Canada?
   c. Quelles sont les tendances actuelles et prévues dans les émissions/rejets de mercure provenant de ces activités?
   d. Du point de vue du transport à grande distance, quelles sont les grandes régions sources d'émissions qui contribuent à la charge de mercure du Canada?
3. De quelle façon les émissions atmosphériques de mercure sont-elles liées à l'exposition au méthylmercure et à son accumulation dans le biote terrestre et aquatique et dans les humains?
   a. Les écosystèmes canadiens répondent-ils aux récentes réductions dans les émissions intérieures de mercure dans l'atmosphère?
   b. Si tel est le cas, quels sont les indicateurs du rétablissement, où se produit-il, et à quelle vitesse les écosystèmes répondent-ils?
   c. Si ce n'est pas le cas, quels sont les facteurs qui déjouent/masquent les chances de rétablissement?
   d. Peut-on faire des prévisions quant à l'impact des changements futurs dans les émissions atmosphériques sur les concentrations de mercure déposé et sur les concentrations de méthylmercure dans le biote?
4. Quels sont les liens entre les émissions d'autres polluants atmosphériques (p. ex., émissions acidifiantes, gaz à effet de serre, etc.) et l'accumulation de mercure dans le biote?
5. De quelle façon les changements dans d'autres activités humaines (p. ex., pratiques d'utilisation des terres) influent-ils sur la répartition du mercure entre les compartiments environnementaux, la formation de méthylmercure et l'accumulation dans le biote?
6. À la lumière de notre compréhension actuelle du mercure dans l'environnement canadien, où devons-nous poursuivre la surveillance de l'atmosphère et des effets, et dans quelle mesure?
   a. Quels sont les indicateurs environnementaux les plus prometteurs pour les réductions dans les émissions anthropiques de mercure?
   b. Quels sont les indicateurs les plus prometteurs du rétablissement des écosystèmes?
7. Où et sur quoi devrions-nous centrer les efforts de recherche future sur le mercure?

En plus de soutenir les priorités politiques et scientifiques au Canada, l'évaluation sert de fondement scientifique pour évaluer l'efficacité des efforts de réduction des émissions mondiales de mercure découlant de la ratification et de la mise en œuvre de la Convention de Minamata. L'évaluation donne aussi de l'information pour éclairer la prise de décisions environnementales, à l'exception de l'atténuation du mercure, par l'évaluation des effets de l'affectation des terres, de l'eutrophisation, de l'acidification et des changements climatiques sur le transport et le devenir du mercure.

CONTEXTE SUR LE MERCURE

Le mercure est un élément naturel, aussi appelé *vif-argent*. C'est le seul métal qui est liquide à la température ambiante; on le retrouve principalement dans la croûte terrestre sous la forme de cinabre (sulfure mercurique). Le mercure est émis dans l'environnement par des sources naturelles et anthropiques (induites par des activités humaines), et peut être réémis par du mercure précédemment déposé, d'origine anthropique comme naturelle.[4] Les sources naturelles de mercure comprennent les feux de forêt, les volcans, les émissions océaniques/aquatiques et la météorisation à la surface de la Terre. Les rejets anthropiques de mercure dans l'environnement se font par divers procédés, comme la combustion de charbon, la fonte de métaux, l'extraction d'or et d'argent et la production de chloralcali à partir de mercure ou de composés du mercure. Il est aussi émis par les incinérateurs et les zones inondées par des barrages, et par la production, le bris et l'élimination de produits contenant du mercure.

Une fois dans l'environnement, le mercure peut se présenter dans plusieurs formes. Chaque forme de mercure comporte des propriétés chimiques différentes qui régissent la mesure dans laquelle le mercure est soluble, réactif et toxique. Les formes les plus importantes de mercure en jeu dans le transport, le devenir et les effets dans l'environnement sont le mercure élémentaire, le mercure bivalent et le méthylmercure. Le mercure élémentaire est très volatil et stable dans l'air, ce qui lui permet de voyager sur de longues distances une fois qu'il est émis. Le mercure bivalent forme des composés qui sont plus solubles dans l'eau ou réactifs dans l'air. Le méthylmercure est la forme la plus toxique, et il s'agit de la forme prédominante chez les poissons, les espèces sauvages et les humains.

Les animaux et les humains ont tendance à absorber et à accumuler avec le temps la plus grande partie du méthylmercure présent dans les aliments qu'ils consomment (bioaccumulation). Plus on monte de niveau trophique, plus les prédateurs accumulent de mercure par leur proie. Par conséquent, ils accumulent au cours de leur vie des teneurs en mercure beaucoup plus élevées dans leur système que leur proie (bioamplification). Les poissons et les animaux prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire en milieu aquatique peuvent présenter des concentrations de mercure dans leurs tissus 1 000 000 fois plus élevées que les concentrations présentes dans l'eau douce dans laquelle ils vivent. La figure 1 comprend de simples diagrammes des processus de bioaccumulation et de bioamplification.

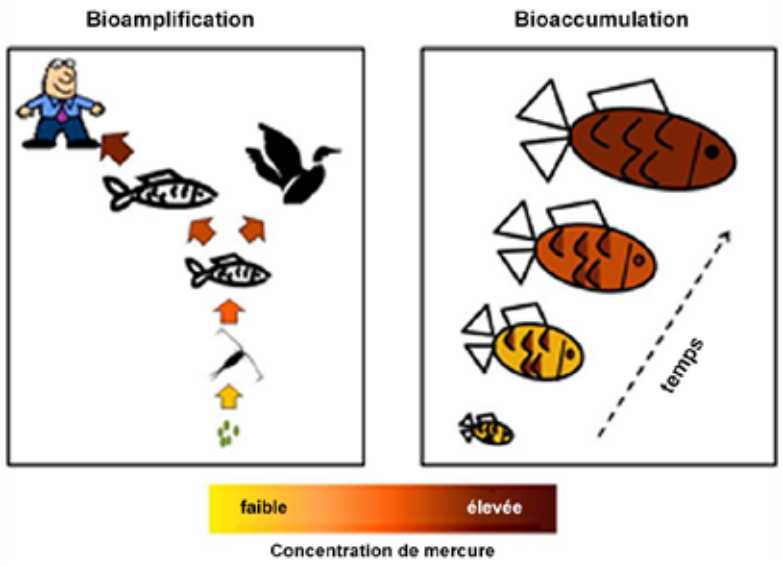


Figure 1. Schéma simplifié des processus de bioamplification (à gauche) et de bioaccumulation (à droite) du méthylmercure dans l'écosystème.

4 PNUE, AMAP, 2013. *Technical background report for the global mercury assessment 2013*. Arctic Monitoring and Assessment Programme/UNEO Chemicals Branch, Oslo/Genève, 263 p.

Le cycle du mercure dans l'environnement est complexe et implique de nombreux processus et voies d'exposition différents. Les principaux processus auxquels le mercure est soumis comprennent l'émission, le dépôt, la réémission, la transformation (méthylation/déméthylation/oxydation/réduction), l'accumulation et l'amplification. La figure 2 est un schéma du cycle du mercure dans l'environnement au Canada. Chaque chapitre de l'évaluation aborde un volet différent des contributions au cycle global du mercure, lesquels sont identifiés dans le dessin. Un chapitre (9) utilise l'information sur les processus de la plupart des autres chapitres pour fermer la boucle du cycle du mercure dans tout l'écosystème.

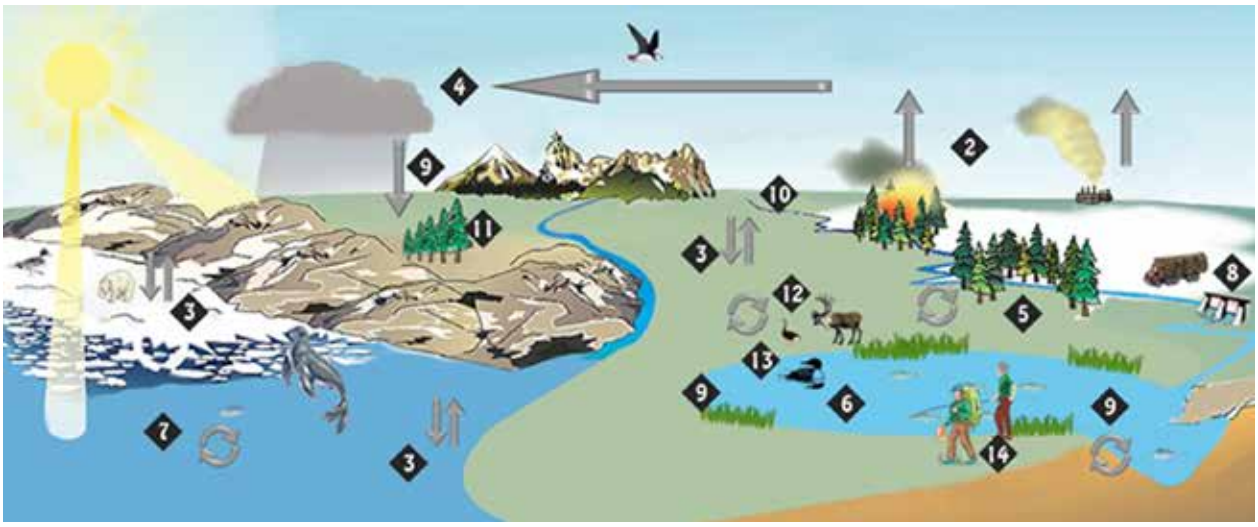


Figure 2. Principaux processus auxquels le mercure est soumis dans l'écosystème. Les numéros font référence aux chapitres en lien avec chaque processus abordé dans le rapport de l'évaluation.

Chapitre 2 : Rejets de mercure dans l'air et l'eau par les activités anthropiques au Canada; **Chapitre 3** : Flux de surface; **Chapitre 4** : Processus, transport, concentrations et tendances atmosphériques; **Chapitre 5** : Devenir et méthylation du mercure dans les milieux secs et les milieux humides; **Chapitre 6** : Devenir et méthylation du mercure dans les écosystèmes dulcicoles; **Chapitre 7** : Le mercure dans les milieux marins : processus et concentrations; **Chapitre 8** : Influences des activités anthropiques sur le transport, la méthylation et la bioaccumulation de mercure; **Chapitre 9** : Cycle du mercure dans les écosystèmes et réponses aux changements dans les émissions anthropiques de mercure; **Chapitre 10** : Le mercure dans le biote terrestre et aquatique dans l'ensemble du Canada : variation géographique; **Chapitre 11** : Le mercure dans le biote terrestre et aquatique dans l'ensemble du Canada : variation temporelle; **Chapitre 12** : Effets du mercure sur la santé des poissons et des espèces sauvages du Canada; **Chapitre 13** : Évaluation des risques actuels du mercure pour les poissons et les espèces sauvages piscivores au Canada; **Chapitre 14** : Mercure et santé humaine.

QUESTIONS RELATIVES AUX POLITIQUES

Question 1 :

Le mercure pose-t-il un risque pour les écosystèmes et la santé humaine au Canada?

Le mercure demeure un risque pour les écosystèmes et la santé humaine au Canada.

a. Si tel est le cas, à quel endroit, de quelle manière et dans quelle mesure le mercure pose-t-il un risque?

Risques pour les écosystèmes

Au Canada, il y a un nombre important de milieux aquatiques dans lesquels les concentrations de mercure chez les poissons et les animaux sauvages qui se nourrissent de poissons (piscivores) sont suffisamment élevées pour être préoccupantes. Le méthylmercure, la forme organique du mercure, est le plus préoccupant pour la santé humaine et environnementale en raison de sa toxicité élevée et de sa capacité à s'accumuler dans les tissus des organismes vivants et à devenir plus concentré après le transfert des proies vers les prédateurs. Par conséquent, les poissons et les animaux sauvages prédateurs au sommet des chaînes trophiques en milieu aquatique peuvent avoir des concentrations de mercure dans leurs tissus 1 000 000 fois plus élevées que les concentrations dans l'eau douce où ils vivent.

Les risques du mercure pour les poissons et les animaux sauvages piscivores dans l'ensemble du Canada ont été évalués au moyen d'espèces *indicatrices* connues comme ayant un grand potentiel d'exposition : le doré jaune et le grand brochet sont les espèces de poisson indicatrices, et le plongeon huard est l'espèce d'oiseau indicatrice. Les risques potentiels de l'exposition comprennent des menaces pour la santé, la croissance, la reproduction et la survie. Les risques écologiques du mercure augmentent d'ouest en est dans tout le Canada, et le mercure représente des risques importants pour la santé et le succès de la reproduction des plongeons huards (figure 3) et des poissons prédateurs (figure 4) dans certaines parties du sud-est du Canada. Dans l'ensemble, des risques de comportement anormal chez les plongeons huards en raison d'une exposition au mercure sont présents dans 36 % des 677 lacs canadiens étudiés, et des risques de perturbation de la reproduction chez les plongeons huards en raison du mercure sont présents dans 10 % des 195 lacs étudiés. De même, on observe des risques pour la reproduction liés au mercure chez les poissons prédateurs dans 82 % des 1 582 lacs canadiens étudiés, et des risques associés au mercure pour la santé des poissons dans 73 % des 1 407 lacs étudiés. Les concentrations élevées de mercure dans l'est du Canada touchent aussi de nombreuses autres espèces d'invertébrés aquatiques, de poissons, d'oiseaux et de mammifères. Les tendances dans les concentrations élevées de mercure chez les espèces sauvages de l'Arctique sont différentes de celles des espèces sauvages du sud et du centre du Canada. Plusieurs espèces de mammifères marins, comme le béluga, le phoque annelé et l'ours polaire, ont des concentrations de mercure plus élevées dans l'Arctique de l'Ouest et l'Extrême-Arctique (comme la mer de Beaufort) que dans l'Arctique de l'Est et que dans l'Arctique du Sud.

Au Canada, les concentrations de méthylmercure ont tendance à être plus élevées chez les poissons et les espèces sauvages dulcicoles dans les zones acides des lacs et des rivières. De même, les concentrations de méthylmercure dans les lacs et les rivières ont tendance à être plus élevées dans les zones où il y a une abondance de milieux humides dans les bassins versants, où les eaux douces sont brun foncé et où il y a des réservoirs récemment mis en eau. Les régions géographiques comportant des roches mères et des sols ayant un faible pouvoir tampon (capacité de neutraliser les apports d'acides) ou présentant des niveaux élevés de dépôts acides engendrés par les polluants atmosphériques comportent généralement des lacs et des rivières plus acides et des concentrations de méthylmercure plus

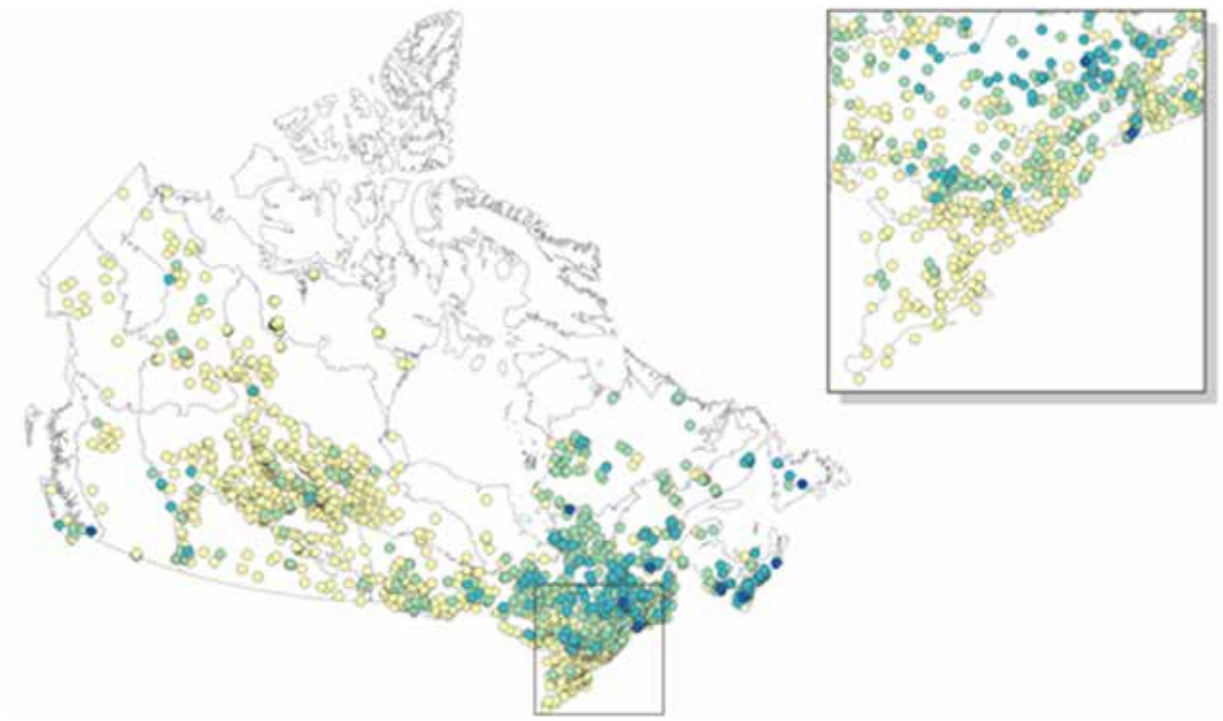


Figure 3: Carte des étendues d'eau douce au Canada, qui illustre les risques liés au mercure pour les plongeons huards.

Bleu foncé : risque d'échec de la productivité; **bleu-vert** : risque de déclin de la productivité; **vert** : risque de modification du comportement, **jaune** : inférieurs à tous les critères de risque pour les plongeons huards

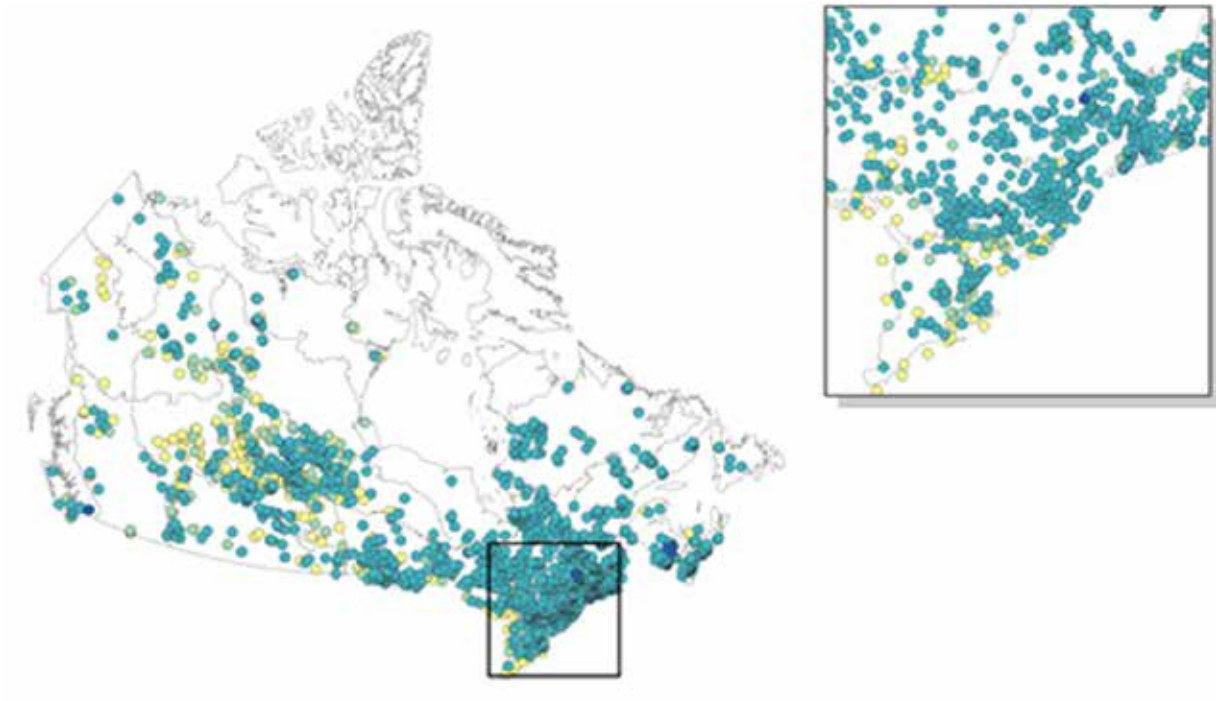


Figure 4: Carte des étendues d'eau douce au Canada qui illustre les risques liés au mercure pour les poissons piscivores.

Bleu foncé : risque de modification du comportement; **bleu-vert :** risque de détérioration de la santé; **vert :** risque de perturbation de la reproduction et **jaune :** inférieurs à tous les critères de risque

élevées dans les réseaux trophiques aquatiques. Cette combinaison de caractéristiques est plus courante dans le sud-est du Canada, où les teneurs en méthylmercure dans les poissons et les animaux sauvages piscivores sont généralement les plus élevées.

Risques pour la santé humaine

Au Canada, le méthylmercure reste un problème potentiel pour la santé publique pour les populations dont l'alimentation est basée sur les gros poissons et les animaux sauvages prédateurs (aliments traditionnels). Les humains sont exposés au méthylmercure principalement par la consommation de poissons et de fruits de mer. L'exposition au mercure élémentaire contenu dans les amalgames dentaires ne pose pas de risque pour la santé dans la population générale. Au Canada, des concentrations sanguines de mercure de 20 µg L^{-1} ou moins sont considérées être dans une plage acceptable. Les personnes chez qui les concentrations se situent entre 20 et 100 µg L^{-1} sont considérées être davantage à risque, et celles chez qui les concentrations sont supérieures à 100 µg L^{-1} sont considérées être à risque d'effets sur la santé. En revanche, pour des groupes spécifiques de personnes, dont les enfants (de moins de 19 ans), les femmes enceintes et les femmes en âge de procréer (moins de 50 ans), une teneur sanguine de 8 µg L^{-1} servant de valeur guide provisoire a été proposée par Santé Canada pour tenir compte de la plus grande vulnérabilité du développement neurologique des jeunes enfants et des fœtus. Certains groupes, comme les Autochtones, les pêcheurs sportifs et les Canadiens d'origine asiatique, peuvent être plus à risque d'être exposés à des concentrations plus élevées de méthylmercure que la population canadienne en général en raison d'un régime alimentaire riche en poissons et en fruits de mer.

Biosurveillance

Il existe plusieurs programmes de surveillance de l'exposition au méthylmercure dans les échantillons biologiques (p. ex., échantillons de cheveu, d'urine ou de sang) de la population canadienne générale, des communautés Autochtones du Nord, des communautés des Premières Nations, ainsi que de l'exposition prénatale des nourrissons et des enfants. D'autres études ont évalué l'exposition au méthylmercure chez les Canadiens d'origine asiatique et les pêcheurs sportifs. Selon les données du cycle 1 de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé (ECMS) (2007–2009), environ 2,2 % des femmes âgées de 16 à 49 ans (dont des femmes enceintes) avaient des teneurs sanguines de mercure dépassant la valeur guide de 8 µg L^{-1}. Si on tient également compte des enfants, 1,6 % des enfants, des jeunes et des femmes en âge de procréer du Canada ont des teneurs sanguines de mercure combinées supérieures à la valeur guide de 8 µg L^{-1}. Cela donne à penser que seul un petit pourcentage de ces populations vulnérables pourraient nécessiter des examens de suivi, des conseils sur l'alimentation ou d'autres mesures.

En revanche, les Inuits de l'Arctique de l'Est canadien présentaient les concentrations de mercure les plus élevées parmi toutes les populations nordiques, avec des teneurs supérieures à 8 µg L^{-1} chez plus de 50 % des mères examinées lors d'une petite étude menée dans la région de Baffin du Nunavut en 1997; toutefois, des données plus récentes semblent indiquer que les teneurs dans le nord ont diminué au cours des dernières décennies. Lors d'une étude de suivi au Nunavut de 2005 à 2007, seulement 20 % des mères présentaient des teneurs de plus de 8 µg L^{-1}. De surcroît, des études menées dans la région du Nunavik du Nord-du-Québec ont aussi révélé une tendance à la baisse pour les teneurs en mercure chez les mères de 1992 à 2007. Ces réductions pourraient être le fait d'une combinaison d'interventions en santé publique, de modifications du régime alimentaire et d'une sensibilisation accrue parmi les collectivités. Les données disponibles sur les concentrations de mercure chez les personnes qui vivent dans des collectivités de Premières Nations au sud du 60e parallèle nord semblent indiquer que l'exposition au mercure est généralement plus faible que pour les populations inuites de l'Arctique, mais qu'elle reste une préoccupation dans de nombreuses collectivités des Premières Nations isolées où le poisson constitue un aliment de base.

Effets

Des effets sur la santé, en particulier des troubles neurologiques, sont associés à une exposition à des concentrations élevées de méthylmercure. Le système nerveux en développement est considéré être le plus vulnérable aux effets nocifs sur la santé du méthylmercure; par conséquent, les fœtus, les nourrissons et les jeunes enfants en développement sont plus à risque de subir des effets néfastes sur la santé. De récentes études semblent indiquer que les déficits neurologiques (dont une réduction de la vitesse de mobilité et de la dextérité, des problèmes de vision et des problèmes de mémoire) chez les adultes pourraient aussi être attribuables à l'exposition au méthylmercure. Le niveau et la durée de l'exposition au méthylmercure influent sur la sévérité des effets indésirables sur la santé. Toutefois, les acides gras de type oméga-3, que l'on retrouve en concentrations élevées chez certaines

espèces de poissons, jouent un rôle pivot dans certains aspects du neurodéveloppement, et pourraient être capables d'atténuer ou d'inverser certains des effets néfastes de l'exposition prénatale au méthylmercure par la consommation de poissons. Selon de récentes études, il pourrait y avoir un lien entre l'exposition au méthylmercure et certains effets néfastes sur le système cardiovasculaire de l'adulte, mais d'autres recherches sont nécessaires. Même si pour la plupart des populations, la consommation de poisson comporte un risque d'exposition au méthylmercure, on pense que les avantages de la consommation de poisson sont généralement plus grands que ces risques, selon les concentrations de mercure dans le poisson, la fréquence de consommation et la quantité consommée.

Question 2 :

Les activités humaines contribuent-elles aux concentrations de mercure observées, et donc au risque, dans l'environnement canadien?

Les activités humaines contribuent aux concentrations de mercure observées au Canada.

a. Si tel est le cas, quelles sont ces activités?

Le mercure est émis dans l'atmosphère par des sources naturelles, des émissions anthropiques et la réémission du mercure précédemment déposé. Les activités humaines comme la production d'électricité, la fusion de métaux, la production de ciment, l'incinération de déchets et l'élimination de produits contenant du mercure rejettent toutes du mercure dans l'environnement. En 2010, les émissions canadiennes étaient de 5 300 kg dans l'air et de 240 kg dans l'eau.

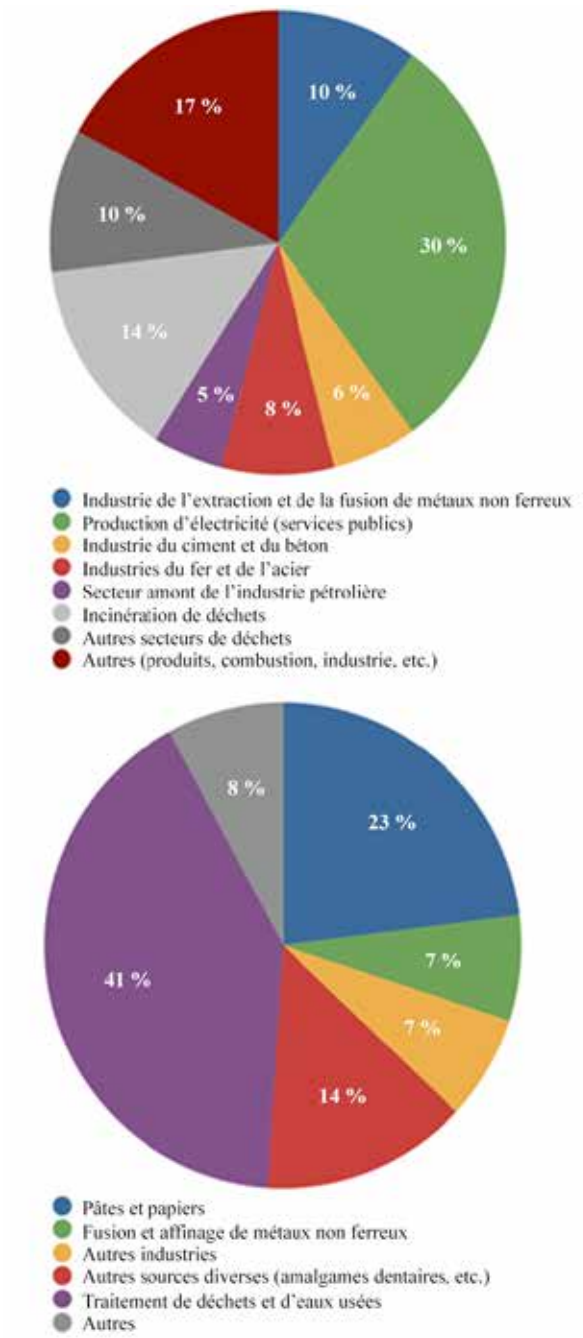


Figure 5 : Répartition des principaux secteurs producteurs d'émissions de mercure dans l'atmosphère au Canada en 2010 (à gauche) et des secteurs rejetant du mercure dans l'eau en 2010 (à droite). La catégorie « *autres, combustion* » comprend la combustion résidentielle de mazout et de bois et la catégorie « *industries* » comprend les émissions des industries comme les pâtes et papiers et l'extraction de minerai de fer.

Tableau 1 : Émissions provinciales et territoriales totales de mercure, et pourcentage des émissions intérieures totales pour 1990, 2000 et 2010.

Province	1990		2000		2010	
	kg	%	kg	%	kg	%
Alberta	1 184	3	1062	16	1 175	22
Colombie-Britannique	3 668	10	1 139	6	549	10
Manitoba	20 169	57	1 231	13	366	7
Nouveau-Brunswick	729	2	436	5	158	3
Terre-Neuve	253	1	184	2	122	2
Nouvelle-Écosse	384	1	261	5	139	3
Territoires du Nord-Ouest	79	0	4	0	13	0
Nunavut	2	0	2	0	2	0
Ontario	4 426	13	2 675	31	1 191	22
Île-du-Prince-Édouard	35	0	27	0	16	0
Québec	3 667	10	1296	15	730	14
Saskatchewan	662	2	575	7	855	16
Yukon	4	0	2	0	1	0

En comparaison aux autres grands pays émetteurs de mercure, comme les États-Unis et la Chine, le Canada produit des émissions relativement faibles. La figure 5 illustre la répartition des sources anthropiques des émissions de mercure de 2010 au Canada dans l'air et dans l'eau.

Au Canada, la plus grande source de mercure dans l'atmosphère était l'installation de La Compagnie minière et métallurgique de la Baie d'Hudson Limitée à Flin Flon, au Manitoba, jusqu'à sa fermeture en 2009. Les réductions d'émissions de cette fonderie, en raison de la diminution des activités à la fonderie et des technologies de contrôle pour réduire les émissions de divers polluants, sont les plus importantes réductions d'émissions canadiennes de Hg du début des années 1990 jusqu'à 2010. Les émissions canadiennes ont diminué avec le temps et devraient se stabiliser dans l'avenir. En 2010, l'ensemble des émissions canadiennes de mercure auraient diminué de 85 % dans l'air et d'environ 50 % dans l'eau depuis 1990.

Les émissions de mercure diffèrent selon les provinces, et entre 1990 et 2010 elles ont baissé dans la plupart des provinces, sauf en Alberta et en Saskatchewan (tableau 1). Les concentrations de l'Alberta sont restées les mêmes tandis que celles de la Saskatchewan ont augmenté, en raison des émissions des centrales électriques au charbon qui ont doublé et des légères augmentations dans les secteurs amont et aval de l'industrie pétrolière. En 2010, l'Alberta et l'Ontario se partageaient également près de la moitié des émissions intérieures de mercure. La Saskatchewan et le Québec se partageaient le tiers de la charge intérieure, et le reste de la charge était produit par le reste du pays.

Même si beaucoup des émissions directes ont diminué, la revolatilisation des dépôts de mercure passés peut contribuer à maintenir des concentrations élevées de mercure dans l'air. Par exemple, les concentrations les plus élevées de mercure réémis dans l'air au Canada restent dans la zone autour de la fonderie à Flin Flon, même si la fonderie a été fermée en 2009. Les résidus miniers passés restent également une source importante de mercure pour l'environnement longtemps après l'arrêt des activités d'extraction et de concentration. Dans le cas de certaines mines aurifères de la Nouvelle-Écosse, les résidus miniers continuent à émettre du mercure 60 à 70 ans après leur fermeture.

D'autres activités humaines contribuent aux teneurs élevées en mercure observées dans certains milieux canadiens. Par exemple, les changements d'affectation des terres, l'eutrophisation[5] et l'acidification des écosystèmes aquatiques et les changements climatiques causés par les activités anthropiques contribuent aux concentrations élevées de mercure. Les principaux changements d'affectation des terres qui influent sur la dynamique du mercure sont les

5 L'eutrophisation est le processus d'enrichissement en matières organiques dans un écosystème. L'eutrophisation des cours d'eau est causée par l'azote et le phosphore, provenant principalement des engrais et fumiers agricoles, des eaux usées résidentielles et d'une variété d'activités urbaines.

activités d'exploitation forestière et la mise en eau des réservoirs[6] De plus, les émissions acides (comme le sulfate et le nitrate) peuvent par la suite se déposer sur la terre et l'eau, où elles peuvent nuire aux rivières et aux lacs. L'acidification des rivières et des lacs mène à la transformation du mercure élémentaire en méthylmercure toxique, qui peut ensuite se bioaccumuler dans les plantes aquatiques, les poissons et les animaux sauvages piscivores.

Les activités humaines à l'origine des changements climatiques devraient avoir des effets complexes sur la dynamique du mercure, qui sont difficiles à prévoir. Les répercussions des changements climatiques comme la hausse des températures de l'eau et les changements dans les strates thermiques des lacs modifieront probablement la production de méthylmercure. Par contre, la diminution de la couverture de glace saisonnière dans les lacs pourrait réduire la quantité de méthylmercure disponible. Les plus grands changements de température devraient se produire dans le nord du Canada, où les précipitations et les indices d'humidité devraient généralement augmenter. Les changements climatiques pourraient avoir une influence néfaste sur le cycle et la bioaccumulation du mercure (surtout dans l'Arctique). Par exemple, les données probantes indiquent que les concentrations de mercure augmentent chez certaines populations du biote de l'Arctique mais pas nécessairement dans d'autres, ce qui semble indiquer la présence de facteurs locaux ou régionaux en lien avec les changements climatiques. La pollution par le mercure en provenance de sources ponctuelles, comme les fonderies et les mines, n'est pas un problème important dans les régions marines du Canada; en revanche, les régions marines du Canada ont subi des répercussions locales importantes au cours du XXe siècle.

b. Quelles activités ont l'impact le plus important sur les concentrations de mercure dans les poissons au Canada?

Les activités anthropiques comme la mise en eau de réservoirs, l'extraction minière, la production passée de chloralcali au moyen de cellules à mercure, la combustion de charbon, l'incinération des déchets municipaux, la production de ciment et la fusion des métaux sont généralement associées à la contamination par le mercure des écosystèmes locaux et régionaux. Les concentrations de mercure dans les poissons sont en général plus élevées dans l'est du Canada que dans le centre et l'ouest du Canada; et l'Ontario, le Québec et la Nouvelle-Écosse comptent des proportions relativement élevées de lacs où les concentrations moyennes de mercure dans le touladi, le grand brochet et le doré jaune dépassent la quantité minimale estimée de mercure qui cause un effet nocif[7] sur ces poissons.[8] Par exemple, la figure 6 indique les concentrations de mercure dans les touladis échantillonnés dans de nombreux lacs partout au Canada. Seuls 13 % des lacs à l'ouest de l'Ontario comportaient des touladis ayant des concentrations moyennes de mercure égales ou supérieures à la plage de concentrations minimales avec effet nocif observé pour les poissons, tandis que 32 % des lacs de l'Ontario et 67 % des lacs du Québec la dépassaient. De plus, dans 57 % des lacs échantillonnés en Ontario pour le doré jaune et 49 % des lacs échantillonnés pour le grand brochet, les poissons avaient des concentrations moyennes de mercure se situant à l'intérieur ou à l'extérieur de la plage des concentrations minimales avec effet nocif observé pour les poissons. Une partie des concentrations élevées de mercure dans les poissons de l'est du Canada était attribuable à la mise en eau des réservoirs, à des émissions passées de chloralcali et au dépôt régional d'émissions atmosphériques. En revanche, la plupart des poissons ayant des concentrations élevées de mercure provenaient de lacs et de réservoirs semi-éloignés pauvres en nutriments, de faible alcalinité et de faible pH, ou caractérisés par des inondations périodiques des milieux humides.

Les concentrations de mercure dans les poissons des Grands Lacs étaient plus élevées dans le passé en raison du mercure déposé par les émissions industrielles dans la région, notamment par les centrales thermiques alimentées au charbon, la production de métal, l'incinération de déchets et la production de ciment. Lorsque ces émissions régionales ont baissé, à partir des années 1970, les concentrations de mercure dans les poissons des Grands Lacs ont aussi diminué. Les émissions de mercure les plus élevées dans le

6 Les réservoirs sont des plans d'eau créés par les humains, dont des zones submergées, principalement pour la production d'hydroélectricité et, dans une moindre mesure, pour la protection contre les inondations, pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau et les activités récréatives. Dans les nouveaux réservoirs, de grandes zones de végétation terrestre sont submergées, ce qui cause la décomposition de la végétation et la stimulation de l'activité microbienne, y compris des bactéries à l'origine de la méthylation du mercure.

7 La plus faible concentration qui produit des effets sur la croissance, la santé, la reproduction ou le comportement, ou qui cause le décès; exprimée comme la concentration minimale avec effet nocif observé.

8 La concentration minimale avec effet nocif observé est une concentration de mercure de 0,5 à 1,0 µg g-1 en poids humide dans le muscle des poissons.

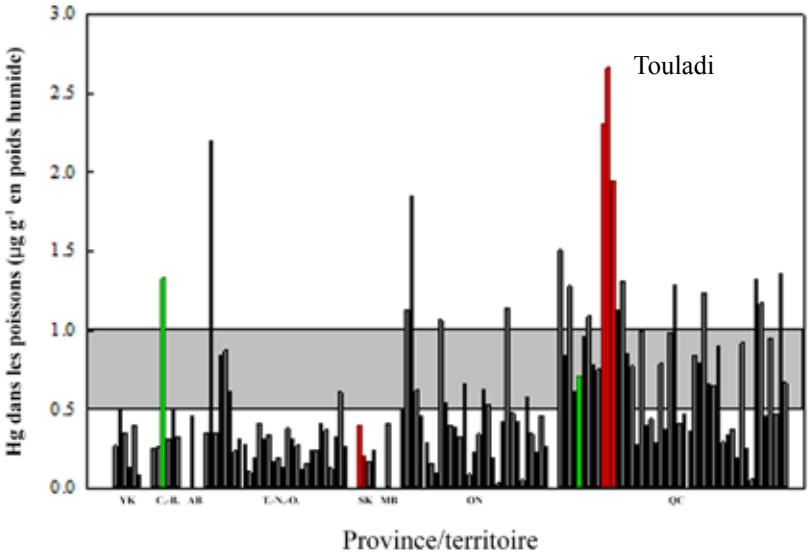


Figure 6: Exemple des concentrations de mercure dans les muscles des touladis de divers emplacements (lacs ou réservoirs, à l'exception des Grands Lacs) de l'ouest à l'est du Canada. La zone ombragée représente la plage des concentrations minimales estimées avec effet nocif observé pour les poissons. Les barres vertes représentent les lacs contaminés (lacs catégorisés comme recevant probablement un certain niveau de pollution par le mercure par des sources avoisinantes); les barres rouges représentent les réservoirs.

centre du Canada provenaient de la fonderie de métaux communs à Flin Flon; par contre, les concentrations de mercure dans les poissons (perchaude) près de Flin Flon n'étaient pas plus élevées que celles des poissons dans les lacs de référence plus éloignés, et elles n'étaient pas suffisamment élevées pour nuire à la santé des poissons ou des animaux sauvages qui mangent des poissons. De même, les poissons des lacs près des centrales thermiques alimentées au charbon en Alberta n'avaient pas de concentrations élevées de mercure, comparativement aux lacs plus éloignés. En revanche, les poissons des lacs contaminés au mercure émis par des activités minières, comme la mine du lac Pinchi, dans le centre de la Colombie-Britannique, avaient des concentrations de mercure élevées (truite).

Pourquoi les concentrations de mercure sont-elles souvent élevées dans les poissons, même dans les lacs éloignés des sources ponctuelles comme les fonderies, les centrales thermiques alimentées au charbon et les mines? Pour relier les apports anthropiques de mercure aux concentrations de mercure dans les poissons des lacs, les facteurs clés comme les propriétés chimiques et physiques du lac et du bassin versant environnant doivent être pris en compte. Il a été démontré que l'acidité de l'eau d'un lac est un des plus importants facteurs influant sur les concentrations de mercure dans les poissons. Par conséquent, même si les apports de mercure dans un lac en provenance d'une industrie donnée sont élevés, si le pH/l'alcalinité du lac est élevé, il pourrait y avoir une méthylation relativement faible du mercure, et donc une faible accumulation de mercure par les poissons. Par exemple, la plupart des lacs dans lesquels les concentrations de mercure dans les perchaudes dépassaient les seuils de toxicité estimés pour les plongeons huards en nidification, qui se nourrissaient de ces poissons, étaient les lacs ayant une acidité plus élevée (pH <6,5). À l'inverse, les lacs à proximité de la fonderie de métaux communs de Flin Flon (pH de 7 à 8,5) ont reçu les apports les plus élevés de Hg, pourtant les concentrations de Hg dans les poissons correspondants étaient basses.

D'autres activités, comme les changements d'affectation des terres, l'eutrophisation et les changements climatiques, influent probablement sur les concentrations de mercure dans l'environnement canadien, mais l'ampleur relative des réponses des écosystèmes (y compris les concentrations de mercure dans les poissons) ne sont pas connues avec exactitude. Ces changements environnementaux à long terme influent sur les processus de méthylation du mercure, qui touchent le transfert et l'accumulation de mercure dans le biote.

c. Quelles sont les tendances actuelles et prévues dans les émissions/rejets de mercure provenant de ces activités?

Dans l'ensemble, les émissions atmosphériques de mercure au Canada ont baissé de 85 % entre 1990 et 2010, passant d'environ 35 tonnes à 5 tonnes (t) par année (tableau 2). Cette baisse élevée est principalement attribuable aux changements de procédés dans le secteur de l'extraction et de la fusion de métaux non ferreux (où les émissions ont baissé de 98 %) ainsi qu'aux impacts économiques et réglementaires sur le secteur. La deuxième plus importante baisse des émissions provient du secteur des déchets (où les émissions ont baissé de 76 % pendant la même période de temps). La plus petite baisse dans les émissions de mercure provient du secteur de la production d'électricité (30 %). Actuellement, la combustion de combustibles fossiles pour la production d'électricité est la plus grande source d'émissions de mercure au Canada, et compte pour 30 % des émissions totales.

On prévoit que les émissions de mercure au Canada resteront relativement constantes dans l'avenir (figure 7). Après 2010, les réductions significatives prévues dans les secteurs de la fusion et de l'affinage de métaux non ferreux, des pâtes et papiers et de la production d'électricité sont annulées par les augmentations prévues par d'autres sources et le secteur des déchets. Il est difficile d'estimer les changements dans les rejets de mercure par les produits et par les modifications dans les pratiques de recyclage, puisque les règlements sur l'élimination des produits n'ont pas encore été appliqués et puisqu'il y a de l'incertitude associée à l'information actuelle (jusqu'à 50 % pour les émissions héritées). Les apports des autres secteurs moins importants devraient augmenter en raison de la croissance démographique et de la demande accrue en matériaux.

d. Du point de vue du transport à grande distance, quelles sont les grandes régions sources d'émissions qui contribuent à la charge de mercure du Canada?

D'après les résultats du modèle mondial et régional des métaux lourds dans l'atmosphère (MMRMLA), on évalue que 95 % du mercure d'origine anthropique déposé au Canada provient de sources situées à l'extérieur du

Tableau 2 : Secteurs sources d'émissions atmosphériques de mercure au Canada

Secteur	Émissions totales an^{-1}, t				
	1990	1995	2000	2005	2010
Extraction et fusion de métaux non ferreux	24,9	4,7	1,9	1,7	0,5
Production d'électricité	2,3	2,0	4,0	2,1	1,6
Industrie du ciment et du béton	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3
Industries du fer et de l'acier	0,9	1,0	1,0	0,7	0,4
Secteurs des déchets	3,8	4,3	2,1	1,4	1,3
Autres	2,9	2,4	1,7	1,2	1,2
Émissions totales	**35,3**	**14,7**	**11,2**	**7,3**	**5,3**
Diminution par année en % (au cours des 5 dernières années)		11,7	14,6	10,7	6,0

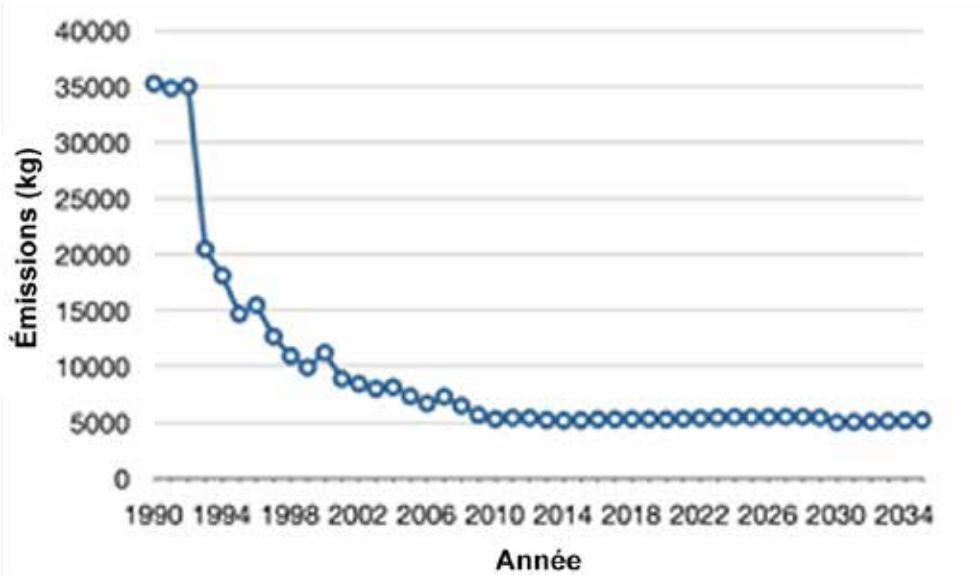


Figure 7 : Tendances historiques et projetées en matière d'émissions atmosphériques de mercure au Canada obtenues avec le modèle énergie-émissions-économie du Canada (E3MC).

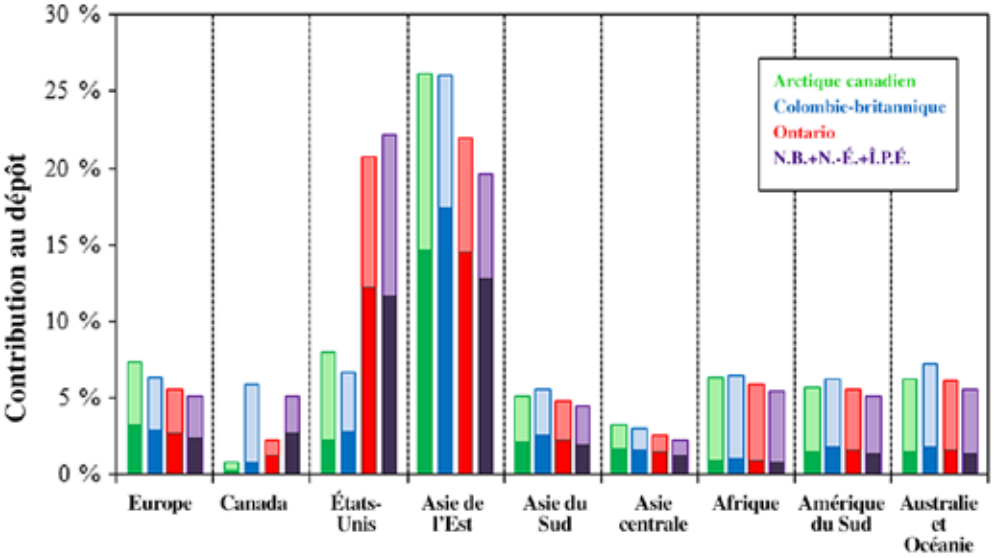


Figure 8 : Contributions relatives des régions sources d'émissions au dépôt net de mercure dans l'Arctique canadien, en Colombie-Britannique, en Ontario et au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard pour l'année 2005 (tel qu'évalué par le modèle mondial et régional des métaux lourds dans l'atmosphère). Les contributions de chaque région source sont divisées en contributions de sources « anthropiques » (couleurs foncées) et « d'autres sources terrestres » (source naturelle et réémission) (couleurs pâles).

pays. Parmi ces contributions, environ 40 % proviennent de l'Asie de l'Est, 17 % des États-Unis, 8 % de l'Europe et 6 % de l'Asie du Sud.

Le mercure peut rester dans l'atmosphère longtemps (6 à 12 mois) et il peut être transporté sur de longues distances à partir de sa source, ce qui s'appelle le *transport à grande distance*. Ainsi, il est important de déterminer les principales régions sources de l'extérieur du pays qui contribuent au dépôt dans le Canada pour comprendre toute la charge de mercure du Canada.

Les émissions mondiales de mercure sont pour le moment dominées par l'Asie de l'Est, suivies par les émissions de l'Afrique subsaharienne, de l'Amérique du Sud, de l'Asie du Sud, de l'Europe et des États-Unis. Les contributions relatives des diverses régions sources d'émissions au dépôt net dans le Canada ont été évaluées pour l'année 2005 au moyen du modèle MMRMLA. À titre d'exemple, le volume relatif des émissions contribuées par neuf régions continentales au dépôt dans quatre sous-régions sélectionnées du Canada est indiqué à la figure 8. En 2005, environ 115 t de mercure ont été déposées au Canada; environ 40 % du mercure déposé provenait des émissions anthropiques mondiales actuelles et environ 60 % provenait des autres émissions mondiales terrestres (à peu près 35 %) et océaniques (à peu près 25 %). Ces autres émissions comprennent les émissions naturelles et les réémissions de mercure déposé dans le passé.

L'Asie de l'Est et les États-Unis sont les principales régions qui contribuent à la charge de mercure du Canada. L'Europe, l'Asie du Sud, l'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Australie contribuent tous à des niveaux semblables au dépôt de mercure au Canada. Environ les deux tiers de tout le mercure déposé dans toutes les régions du Canada qui provient de l'Asie de l'Est et du Sud sont d'origine anthropique. Les émissions anthropiques et terrestres de sources situées en Europe et en Asie du Sud contribuent également au dépôt dans l'ensemble du Canada. Par opposition, les contributions relatives des émissions anthropiques et terrestres de sources situées aux États-Unis et au Canada au dépôt de mercure varient selon la région canadienne réceptrice du mercure. Dans le nord et l'ouest du Canada, la contribution totale des émissions anthropiques et terrestres au dépôt annuel provenant de l'Asie de l'Est (24 à 26 %) est deux fois plus élevée que la contribution totale provenant des États-Unis (7 à 12 %). En comparaison, dans l'est du Canada, la contribution totale de ces mêmes émissions de l'Asie de l'Est (20 à 23 %) est comparable à la contribution totale des États-Unis (15 à 22 %). Les contributions européennes aux régions du Nord, de l'Ouest et de l'Est du Canada sont toutes comparables (5 à 7 %).

Question 3 :

De quelle façon les émissions atmosphériques de mercure sont-elles liées à la production de méthylmercure, à l'exposition au méthylmercure et à son accumulation dans le biote terrestre et aquatique et dans les humains?

Les émissions atmosphériques de mercure sont liées à l'exposition au méthylmercure par une série de processus biogéochimiques dans l'environnement.

a. Les écosystèmes canadiens répondent-ils aux récentes réductions dans les émissions intérieures de mercure dans l'atmosphère?

Les réponses des écosystèmes canadiens aux diminutions d'émissions intérieures varient parmi les compartiments des écosystèmes. Au cours des 15 dernières années, l'atmosphère a subi des baisses variées dans les teneurs en mercure, probablement en réponse aux réductions des émissions. Toutefois, la réponse dans les poissons et les espèces sauvages du Canada diffère de façon plus significative parmi les régions et parmi les espèces. Parmi les poissons

et les espèces sauvages étudiés, les concentrations de mercure avaient augmenté dans 31 %, diminué dans 21 % et étaient restées stables dans 48 % de ces poissons et espèces sauvages. De toutes les populations qui ont subi des augmentations, 83 % proviennent de l'Arctique, et les plus grandes augmentations ont été observées chez les oiseaux de mer. Les concentrations de mercure dans les populations de poissons varient également : 50 % des populations chez qui on a observé un déclin étaient les poissons et les oiseaux de mer de régions connues pour avoir réduit leurs émissions (régions des Grands Lacs et de l'Atlantique).

Il est difficile de déterminer si les écosystèmes ont répondu aux modifications dans les émissions, car le mercure est transporté à travers plusieurs compartiments dans les écosystèmes, entre les émissions et l'exposition; par conséquent, cette réponse ne peut pas être évaluée en tant que simple relation de cause à effet. De plus, la réponse dépend de nombreux facteurs touchant l'écosystème, ce qui rend plus difficile la mise à l'échelle d'information provenant d'écosystèmes à l'ensemble du Canada. La présente évaluation présente la recherche menée pour comprendre les réponses des écosystèmes aux émissions, de façon expérimentale et par la modélisation.

Réponse dans l'atmosphère

Au cours des dernières décennies, les inventaires ont fait état d'un déclin dans les émissions de mercure dans le pays et, jusqu'à tout récemment, dans le monde, mais pas dans toutes les régions géographiques. Même si les concentrations totales de mercure gazeux mesurées ont baissé au Canada, il n'y a pas eu de baisse significative dans le dépôt humide de mercure (le mercure qui atteint le sol par la pluie). Les émissions atmosphériques de mercure au Canada ont baissé de 85 % de 1990 à 2010 (tableau 2). Les concentrations de mercure mesurées dans l'air ambiant allaient d'aucune baisse à une baisse totale de 26 % sur des périodes et dans des emplacements variés entre 1995 et 2011. De 1995 à 2011, la baisse totale dans l'Extrême-Arctique a été de 15 %; toutefois, cela est inférieur aux baisses rapportées dans les régions tempérées pour la même période (15 à 23 % ±1-2 ans). Dans la région des Grands Lacs, les baisses se situent entre 10 et 21 % et sont probablement dues aux réductions des émissions en Amérique du Nord. Fait intéressant, sur un site près d'une centrale électrique à Genesee, en Alberta, aucune tendance à la baisse ni à la hausse n'a été rapportée dans les concentrations de mercure pendant 7 ans. De nombreuses sources ponctuelles ont réduit les émissions avec le temps, y compris la fonderie à Flin Flon, au Manitoba (qui a réduit ses émissions jusqu'à sa fermeture en 2009). Bien que les concentrations locales de mercure dans l'air près de la fonderie ont baissé de 20 % depuis la fermeture, elles restent quand même à peu près deux fois plus élevées que celles des autres sites de surveillance au Canada. L'origine est sans doute les réémissions du mercure déposé localement. En outre, les concentrations élevées de mercure dans les sédiments aux environs de Flin Flon ont été attribuées au dépôt atmosphérique causé par la fonderie.

Dans l'ensemble, les baisses des concentrations ambiantes de mercure n'ont pas diminué dans la même proportion que les émissions canadiennes de mercure au cours des 2 dernières décennies. Cela est probablement dû aux émissions provenant de l'extérieur du Canada, tel que démontré par les résultats du modèle, de même qu'au mercure présent naturellement et réémis. Même si les émissions anthropiques canadiennes, nord-américaines et européennes ont diminué dans les dernières décennies, les récents inventaires (2010) semblent indiquer que les émissions mondiales sont restées les mêmes ou qu'elles étaient légèrement plus élevées qu'en 2005, signe de plus grandes émissions à l'étranger, en particulier en provenance de l'Asie.

Dans l'hémisphère nord, les concentrations ambiantes de mercure ont atteint un pic dans les années 1980, puis elles ont atteint un plateau entre 1996 et 2001. Ces tendances ont été confirmées par des simulations du modèle MMRMLA et résultent principalement des réductions des émissions mondiales et régionales de mercure. Par contre, les plus récentes mesures allant jusqu'à l'année 2010 démontrent que les concentrations mondiales de mercure ont connu une baisse significative ne pouvant s'expliquer seulement par les changements dans les émissions, ce qui laisse penser à une modification dans le cycle biogéochimique du mercure. De plus, les concentrations de mercure dans les précipitations ont baissé à la plupart des sites au Canada depuis le milieu des années 1990. En revanche, la quantité de dépôt humide de mercure n'a pas changé de façon significative, et cela est influencé par les tendances dans les précipitations. Enfin, les concentrations de mercure dans l'atmosphère ne sont pas complètement contrôlées par les réductions des émissions, puisqu'elles sont aussi influencées par les émissions naturelles de même que par les réémissions du mercure rejeté par les activités humaines.

Réponse dans le biote

Diverses tendances ont été observées dans les concentrations de mercure dans les poissons, les oiseaux et les mammifères surveillés au Canada, avec des différences parmi les espèces et les régions géographiques. Dans ce rapport, les régions du Canada qui ont été les plus influencées par les changements dans les émissions intérieures sont les Grands Lacs et le Canada atlantique. La région des Grands Lacs a subi les baisses de concentrations de mercure les plus grandes et les plus nombreuses dans des populations individuelles (40 % des populations de poissons et d'oiseaux de mer rapportées). Toutefois, plus récemment, des études ont démontré un renversement de certaines de ces baisses chez certaines espèces. Dans les lacs Supérieur, Huron et Ontario, les concentrations de mercure dans les poissons ont baissé d'en moyenne 60 % (dans le touladi) et de 67 % (dans le doré jaune) entre les années 1970 à 2007. Les mêmes espèces de poissons dans le lac Érié ont démontré des baisses de concentrations de mercure semblables jusqu'au milieu des années 1990, où les concentrations ont recommencé à augmenter. Les concentrations de mercure dans certains animaux sauvages aux environs de Flin Flon ne montrent aucune influence des émissions locales.

Dans le Canada atlantique, 63 % des populations ne manifestent aucun changement, 12 % ont bénéficié de baisses des concentrations de mercure et 25 % ont subi des augmentations des concentrations. Certaines de ces populations sont considérées comme étant à risque d'une exposition au mercure (figures 3 et 4). Au Canada, au cours de ces 40 années, les concentrations de mercure dans les espèces sauvages et les poissons ont augmenté, ont été stables ou ont diminué, avec des variations parmi les espèces et les régions surveillées (figure 9). Dans l'ensemble, les concentrations de mercure ont augmenté dans 31 % des populations, diminué de 21 % dans d'autres populations et sont restées stables dans 48 % des populations étudiées dans le rapport (remarque : plus de 50 % des populations rapportées sont de la région arctique). Parmi toutes les populations présentant une tendance à la hausse, 83 % proviennent de l'Arctique. Même si les mammifères marins et les poissons sont représentés de façon semblable dans ce groupe, les augmentations les plus élevées sont observées dans les oiseaux de mer. La seule population de l'Arctique qui démontre des tendances à la baisse est celle des poissons, d'après les données à court terme.

Figure 9 : Tendances globales dans les concentrations de mercure dans les mammifères terrestres, les poissons, les ours polaires, les bélugas, les phoques, les oiseaux marins et les moules du Canada (1967–2012).

Autres facteurs qui influent sur les concentrations de mercure dans les écosystèmes

La variation observée dans les concentrations de mercure et les tendances du mercure dans le biote dans tout le Canada est en partie causée par les nombreux facteurs, à part les émissions, qui influent sur le comportement du mercure. Ces facteurs comprennent les conditions physiques, chimiques et biologiques dans les systèmes atmosphériques, terrestres et aquatiques. Les concentrations de mercure dans l'environnement varient naturellement et peuvent changer en réponse à de multiples facteurs comme les émissions, les changements climatiques et l'acidification. En fin de compte, la quantité de méthylmercure disponible pour l'absorption influe sur les concentrations de mercure dans le biote. Les systèmes de végétation terrestre reçoivent du mercure par l'air et en exportent une partie vers les rivières et les lacs. En fait, les concentrations de mercure dans les systèmes terrestres et aquatiques sont peut-être encore en train de changer en réponse aux émissions du siècle dernier, en raison d'une réponse différée dans les écosystèmes. Cette réponse différée complique les efforts visant à déterminer la réponse des écosystèmes aux changements dans les récentes émissions intérieures de mercure. Ces effets ont été étudiés dans le cadre d'une étude unique à long terme sur le mercure, la Mercury Experiment to Assess Atmospheric Loadings in Canada and the United States (METAALICUS), menée dans la région des lacs expérimentaux[9] (RLE) en Ontario. La METAALICUS a étudié la réponse d'un écosystème complet suite à l'augmentation expérimentale des charges de mercure. Les résultats ont confirmé que les réductions des dépôts de mercure atmosphérique résultent en réductions de mercure dans les poissons. Toutefois, la METAALICUS et d'autres projets ont aussi démontré que ces réductions peuvent être différées car les bassins versants autour des lacs sont des puits pour le mercure atmosphérique qui se dépose. Ces bassins réagissent lentement aux changements dans les concentrations de mercure (cela peut prendre des décennies, voire des siècles).

9 En avril 2014, la région des lacs expérimentaux a rouvert sous le nom « Institut international du développement durable – région des lacs expérimentaux (IISD-RLE) ». Les travaux menés pour cette évaluation ont été entrepris avant avril 2014, ce site de recherche est donc cité en tant que RLE dans ce rapport; les travaux futurs feront référence à l'IISD-RLE.

Modélisation des répercussions des émissions de mercure dans les écosystèmes

Pour cette évaluation, un modèle informatique intégré air/terre/eau a été élaboré pour tenir compte des complexités dans la relation entre les émissions, le dépôt et, ultimement, les concentrations de mercure dans les poissons. Le modèle étudie l'impact des changements dans les émissions mondiales et intérieures de mercure sur les poissons. Les changements dans les concentrations de mercure dans les lacs sont contrôlés en fonction de cinq facteurs : (1) l'importance de l'apport en mercure au lac en provenance du débit entrant comparativement au dépôt atmosphérique direct; (2) le temps que prend le mercure déposé dans le milieu environnant pour se rendre dans le lac; (3) l'ampleur dans laquelle les émissions de mercure ont baissé; (4) la proximité du lac aux sources d'émissions changeantes et (5) l'importance de la production de méthylmercure dans la colonne d'eau comparativement à sa production dans les sédiments du lac. Les combinaisons de ces facteurs dictent la façon dont les concentrations de mercure changent au fil du temps en réponse aux changements dans les émissions. Les écosystèmes à proximité d'importantes sources intérieures sont plus susceptibles de présenter des réductions dans les concentrations de mercure dans les poissons en réponse aux réductions dans les émissions intérieures de mercure, en raison de la plus grande influence de ces émissions sur le dépôt dans ces écosystèmes.

b. Si tel est le cas, quels sont les indicateurs du rétablissement, où se produit-il, et à quelle vitesse les écosystèmes répondent-ils?

La concentration de mercure, ou d'autres éléments chimiques, dans les dents des mammifères marins de l'Arctique a été utilisée comme indicateur pour démontrer les changements historiques dans l'environnement depuis le début de la révolution industrielle. L'analyse des dents a démontré que les concentrations de mercure dans le biote marin ont augmenté après la fin du XIXe siècle, et que les augmentations les plus substantielles se sont produites au milieu du XXe siècle. Cela est un indicateur de l'impact sur l'écosystème marin de l'Arctique de l'augmentation de plusieurs ordres de grandeur des émissions de mercure anthropique dans cette période de temps.

À l'heure actuelle, les indicateurs qui peuvent servir à illustrer les baisses des concentrations de mercure comprennent les changements dans les concentrations de mercure dans les systèmes atmosphériques, aquatiques et terrestres. Ces indicateurs peuvent aussi démontrer le rétablissement d'un écosystème, de l'exposition à l'absorption. De plus, les concentrations de mercure dans les espèces comme les poissons, les oiseaux marins et les mammifères marins piscivores peuvent aussi servir d'indicateurs du rétablissement d'un écosystème. Le temps de réaction des concentrations de mercure dans les poissons en réponse aux changements dans l'écosystème dépend des charges terrestres et atmosphériques directes dans le lac où vivent les poissons, et varie si les concentrations de mercure dans le système aquatique sont transformées en méthylmercure, et le cas échéant, à quel endroit. Dans l'ensemble, les concentrations de mercure dans les poissons des lacs où l'apport principal en mercure est l'atmosphère réagiront plus vite que ceux des lacs où les charges de mercure proviennent surtout de sources terrestres.

Les concentrations de mercure dans l'atmosphère ont baissé avec la réduction des émissions dans tout le Canada, quoique ce rétablissement varie parmi les régions. Les résultats de la modélisation démontrent que la réponse de l'atmosphère aux changements dans les émissions intérieures et mondiales a principalement lieu dans les 6 à 18 mois suivant les changements, mais cela peut prendre environ 5 ans pour que l'atmosphère se rééquilibre suite à ces changements. Le plus grand rétablissement dans l'atmosphère est observé dans les zones proches des sources d'émissions comme Flin Flon (Manitoba), Bratts Lake (Saskatchewan), l'île Reifel (Colombie Britannique), Point Petre (Ontario) et St. Andrews (Nouveau-Brunswick), où les concentrations de mercure ont baissé jusqu'à 3,3 %[10] par année. À ces sites, les baisses des concentrations de mercure se sont produites plus rapidement qu'aux sites principalement touchés par des émissions régionales et mondiales. Par exemple, dans l'Extrême-Arctique canadien, la vitesse de la réduction est beaucoup plus basse (environ deux fois moins rapide) que dans les régions tempérées. Une autre source de mercure dans l'air est la réémission de mercure précédemment déposé sur la terre et les océans. On s'attend à des réductions dans ces réémissions sur diverses échelles temporelles, selon la surface.

Un moyen d'évaluer le rétablissement des systèmes aquatiques consiste à mesurer les changements dans les concentrations de mercure dans les espèces de poissons et d'animaux sauvages piscivores. Plus précisément, les poissons, les oiseaux marins et les plongeons huards ont été utilisés comme espèces indicatrices dans les écosystèmes canadiens.

10 Flin Flon n'a pas été inclus dans ce résultat.

Les concentrations de mercure dans les poissons vivant dans des systèmes d'eau qui ont par le passé reçu des apports directs de mercure par les activités industrielles ont baissé depuis la mise en œuvre de mesures de lutte contre les émissions de mercure. Par exemple, les concentrations de mercure dans les poissons et les espèces sauvages de la région des Grands Lacs au Canada ont grandement diminué au cours des 4 dernières décennies, du fait de la réduction des émissions atmosphériques dans la région. En ce qui concerne les poissons non directement touchés par des apports anthropiques à proximité, le taux estimé de changement dans les concentrations de mercure chez les poissons, dont le touladi, le doré jaune et le grand brochet de longueur standard, varie considérablement, entre -1,5 % et +1,5 % an^{-1}.

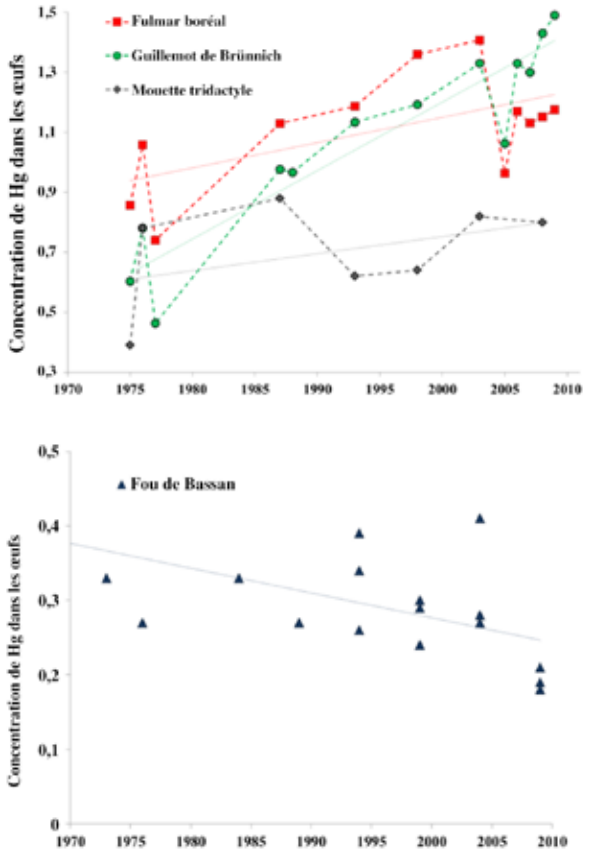


Figure 10 : Changement dans les concentrations de mercure dans les œufs de 3 espèces d'oiseaux marins de l'île Prince Leopold, Nunavut (à gauche : concentration en µg g-1 [poids sec]), et dans les œufs d'oiseaux marins du golfe du Saint-Laurent (à droite : concentration en µg g-1 [poids humide]). Les traits pleins représentent les tendances linéaires.

Les concentrations de mercure dans les espèces indicatrices, comme les oiseaux marins dans l'Arctique, donnent à penser que les concentrations continuent d'augmenter dans l'écosystème marin de l'Arctique; toutefois, les concentrations dans les oiseaux marins d'autres zones diminuent ou restent stables, ce qui semble indiquer que ces écosystèmes sont désormais moins contaminés au mercure. Les changements alimentaires dans les oiseaux marins rendent l'interprétation des tendances plus difficile. La figure 10 démontre que les concentrations de mercure dans les oiseaux marins de l'Arctique ont augmenté globalement de 54 % à 119 % dans les œufs des mouettes tridactyles, des fulmars boréaux et des guillemots de Brünnich sur 35 ans. D'un autre côté, elle montre le déclin dans les concentrations de mercure dans les œufs des fous de Bassan du golfe du Saint-Laurent sur 30 ans.

Parmi les mammifères marins, seuls les bélugas de l'Arctique de l'Ouest démontrent des augmentations des concentrations de mercure jusqu'à 2002 et des baisses par après. Par conséquent, cette espèce indicatrice présente certains signes du rétablissement de cet écosystème depuis les 10 dernières années. Toutefois, la plupart des autres populations de mammifères marins étudiées n'ont démontré aucun changement quant au mercure.

Le modèle intégré élaboré pour cette évaluation a utilisé le temps de réponse des concentrations de mercure dans les poissons comme indicateur du rétablissement de l'écosystème suite aux changements dans les émissions de mercure. Le rétablissement dépend des taux de réponse de nombreux processus atmosphériques, terrestres et aquatiques. Dans la RLE, les systèmes aquatiques ont répondu aux réductions du dépôt de mercure par une baisse des concentrations de mercure sur une longue période. En ce qui concerne les systèmes terrestres, il n'existe pas de données à long terme sur les concentrations de mercure observées dans les cours d'eau, lesquelles sont nécessaires pour en évaluer le temps de rétablissement. Le temps de réponse global d'un écosystème est limité par les processus qui réagissent le plus lentement, et le système terrestre est celui qui ralentit le plus la réponse globale des concentrations de mercure dans les poissons d'eau douce aux changements dans les émissions de mercure. Tel qu'indiqué, dans les lacs où les charges de mercure proviennent principalement de l'atmosphère, les concentrations de mercure dans les poissons reviendront à des niveaux plus bas plus rapidement que dans les lacs où les charges terrestres de mercure sont importantes. Par exemple, les Grands Lacs reçoivent principalement du mercure par dépôt direct en provenance de l'atmosphère; par conséquent,

les baisses observées au cours des dernières décennies dans les concentrations de mercure du biote des Grands Lacs sont probablement le résultat d'une réduction des émissions de mercure dans la région. Les lacs dont les apports en mercure sont d'origine terrestre et atmosphérique présentent des réponses à phases multiples, avec une phase de réponse rapide sur plusieurs années et une deuxième phase lente sur plusieurs décennies, voire sur des siècles. En plus de la charge de mercure d'un lac, les concentrations de mercure dans le lac réagissent lentement. Les concentrations de mercure inorganique dans les sédiments peuvent prendre des décennies avant d'être complètement équilibrées, tandis que la colonne d'eau peut réagir en quelques mois.

c. Si ce n'est pas le cas, quels sont les facteurs qui déjouent/masquent les chances de rétablissement?

Au Canada, les concentrations de mercure ne sont pas seulement attribuables aux émissions intérieures de mercure. Le cycle du mercure comporte de multiples facettes; ainsi, de nombreux facteurs compliquent notre capacité à lier directement les réductions des émissions canadiennes de mercure aux concentrations dans l'écosystème et le biote. Les principaux facteurs sont les sources d'émissions, l'acidification, les changements d'affectation des terres, l'urbanisation, l'eutrophisation et les changements climatiques.

Les émissions mondiales et américaines sont plus volumineuses que les émissions canadiennes, ce qui rend difficile la distinction entre les répercussions intérieures et étrangères. Les apports des émissions externes de mercure peuvent masquer le rétablissement d'un écosystème suite aux changements dans les émissions intérieures. De plus, les émissions anthropiques autres que celles de mercure peuvent causer l'acidification des systèmes terrestres et aquatiques. Le dépôt acide produit par ces autres émissions augmente la méthylation du mercure et pourrait masquer (ou cacher) l'impact des efforts de réduction des émissions de mercure. Les changements d'affectation des terres influent aussi sur la quantité de mercure disponible dans l'écosystème. Par exemple, la partie immergée des nouveaux réservoirs émet du mercure qui pénètre dans le nouveau système aquatique, où il est méthylé. De même, l'eutrophisation attribuable à l'agriculture et à l'aquaculture peut causer l'enrichissement en nutriments et augmenter le potentiel de méthylation d'un écosystème donné. Par opposition, l'urbanisation élimine les paysages naturels qui facilitent les processus de méthylation.

Le plus grand inconnu est l'impact des changements climatiques sur le cycle et la méthylation du mercure. Le réchauffement du climat, ainsi que les changements dans la lumière du soleil, dans la quantité de matière organique, dans les régimes de précipitations et dans la fréquence et l'intensité des feux de forêt changeront la dynamique des écosystèmes et des réseaux trophiques. Ces changements pourraient avoir de sérieuses répercussions sur la façon dont le mercure est méthylé dans le système et dont il est absorbé par le biote. Certaines régions feront probablement face à une augmentation des précipitations, du ruissellement et des taux d'humidité du sol, ce qui changera probablement les taux de production et les charges de mercure dans le système. L'augmentation des charges de nutriments par les bassins versants et la productivité primaire dans les systèmes aquatiques dans des conditions plus chaudes et plus humides pourraient annuler partiellement les autres facteurs qui augmentent les concentrations de mercure dans les poissons. Dans les régions comme l'Arctique, les changements climatiques influent sur la couverture des glaces de mer, ce qui a un impact sur la quantité de mercure transformé, déposé et retenu. Actuellement, il est très difficile d'émettre des énoncés exacts sur les tendances futures quant aux processus et aux concentrations de mercure dans le biote du fait des changements climatiques.

d. Peut-on faire des prévisions quant à l'impact des changements futurs dans les émissions atmosphériques sur les concentrations de mercure déposé et sur les concentrations de méthylmercure dans le biote?

On prédit généralement les répercussions des changements dans les émissions de mercure sur le dépôt et les concentrations de mercure dans les poissons par des modèles. Au moyen du modèle MMRMLA, les changements à venir dans les concentrations de mercure dans l'air et dans les dépôts ont été prédits à partir de divers scénarios de réduction des émissions dans différentes régions, comme le Canada, les États-Unis, l'Asie et l'Europe, séparément et en combinaison. Le « meilleur des scénarios » des mesures mondiales de lutte contre les émissions anthropiques a produit des prévisions des réductions des dépôts de 20 % à 50 % entre les écosystèmes modélisés. Les scénarios modélisés prévoyant des réductions des émissions anthropiques canadiennes[11]

11 Le « meilleur des scénarios » est la réduction maximale techniquement réalisable, qui présume que toutes les méthodes technologiques disponibles pour la réduction des émissions anthropiques de Hg sont mises en œuvre dans tous les secteurs et partout dans le monde.

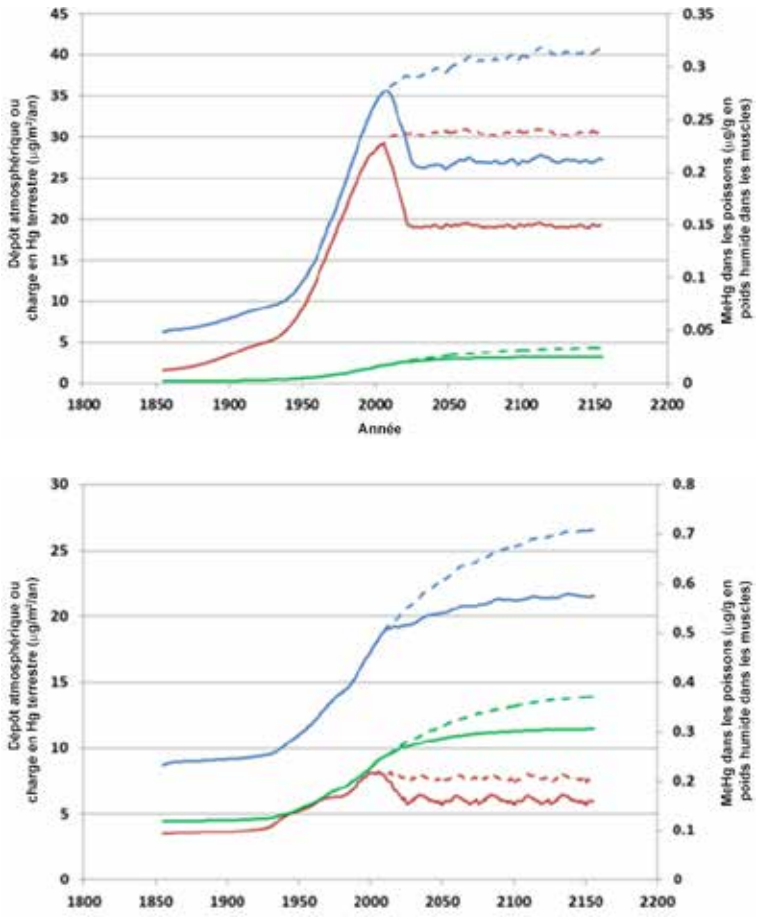


Figure 11 : La figure 11 montre deux graphiques, résultant d'une modélisation mathématique, qui représentent les niveaux prévus de mercure déposé depuis l'atmosphère (rouge), le niveau de mercure chargé dans l'écosystème terrestre (vert) et les niveaux de mercure dans le poisson (bleu) à deux lacs différents au Canada. Le graphique du haut représente le lac Wabamun en Alberta, situé près des émissions de mercure venant de centrales thermiques au charbon. Le graphique du bas représente le lac 240, dans la région des lacs expérimentaux en Ontario, qui se situe loin des sources d'émissions.

des mesures mondiales de lutte contre les émissions anthropiques a produit des prévisions des réductions des dépôts de 20 % à 50 % entre les écosystèmes modélisés. Les scénarios modélisés prévoyant des réductions des émissions anthropiques canadiennes[12] ont produit une réduction minimale (1 %) du dépôt atmosphérique (mercure déposé à partir de l'air) dans les écosystèmes isolés, mais des réductions allant jusqu'à 70 % pour les écosystèmes près des grandes sources d'émission de mercure au Canada.

12 Taux de captage de 90 % des émissions en provenance des installations alimentées au charbon ou réduction de 50 % des émissions pour tous les secteurs.

Une suite de modèles atmosphériques, terrestres, aquatiques et de bioaccumulation fondés sur les processus a été intégrée dans un cadre unique pour cette évaluation afin de simuler les effets des différents scénarios de réduction des émissions sur les concentrations de mercure dans les poissons dans les lacs. Le modèle écosystémique intégré a simulé les relations entre les émissions de mercure, le cycle et le dépôt atmosphérique, l'exportation vers les lacs à partir des terres, le cycle du mercure dans les lacs et la bioaccumulation dans les poissons. Le modèle intégré a été appliqué à 5 écosystèmes lacustres dans différentes régions du Canada. La figure 11 donne un exemple de l'application du modèle à 2 lacs : le lac Wabamun, en Alberta (un lac près d'émissions locales de mercure en provenance d'installations alimentées au charbon) et le lac 240, dans la RLE en Ontario (un lac éloigné), au moyen de 2 scénarios d'émissions : (1) le « meilleur des scénarios » des réductions d'émissions et (2) le « scénario sans mesures supplémentaires de lutte contre les émissions ». Le modèle a prédit que, en l'absence de mesures supplémentaires de lutte contre les émissions au-delà des niveaux actuels, les concentrations de mercure dans les poissons augmenteront par rapport aux concentrations actuelles dans tous les lacs modélisés. La mise en œuvre de n'importe lequel des scénarios de lutte contre les émissions a produit des concentrations futures de mercure dans les poissons plus basses que le « scénario sans mesures supplémentaires de lutte contre les émissions » (jusqu'à 30 % pour les lacs étudiés après 150 années du « meilleur des scénarios »). Même si les modèles démontrent que les mesures de lutte contre les émissions sont bénéfiques comparativement à l'absence de mesures, même le meilleur des scénarios pour la lutte contre les émissions de mercure ne réduirait pas les concentrations de mercure dans les poissons de tous les bassins versants en deçà des concentrations actuelles. Si les dépôts de mercure subissaient une baisse modeste, les concentrations de mercure dans les poissons diminueraient dans certains écosystèmes, resteraient stables dans certains écosystèmes, ou continueraient d'augmenter et se stabiliseraient à des niveaux élevés dans d'autres. Par conséquent, des réductions significatives à l'échelle mondiale dans les émissions de mercure seraient nécessaires pour réduire largement les concentrations de mercure dans les poissons par rapport aux niveaux actuels dans l'ensemble du Canada.

La modélisation des écosystèmes réalisée au cours de cette étude et les résultats présentés ici ne tiennent compte que de l'impact des changements dans les émissions anthropiques sur les concentrations de mercure dans les écosystèmes. D'autres changements environnementaux, comme l'utilisation des terres, le climat, les émissions d'autres polluants et la chimie ou la biologie environnementale, peuvent modifier les transformations biogéochimiques du mercure dans les écosystèmes et ainsi influer sur les concentrations de mercure dans les écosystèmes canadiens.

Question 4:

Quels sont les liens entre les émissions d'autres polluants atmosphériques (p. ex., émissions acidifiantes, gaz à effet de serre, etc.) et l'accumulation de mercure dans le biote?

Les émissions atmosphériques de gaz à effet de serre et de précurseurs d'acide peuvent être liées, dans certaines circonstances, à l'augmentation de méthylmercure dans les écosystèmes aquatiques et à l'accumulation subséquente de mercure dans le biote.

Le mercure passe par un cycle complexe dans l'écosystème, de son émission à son accumulation dans le biote. De nombreux facteurs influent sur les multiples processus qui ont lieu durant tout le cycle. Le principal facteur de l'accumulation de Hg dans le biote est la formation et la disponibilité de méthylmercure dans l'écosystème. Les principaux facteurs environnementaux qui influent sur la méthylation du mercure comprennent la température, le pH, ainsi que le soufre, les nitrates et l'oxygène, lesquels sont tous touchés par les émissions industrielles.

Les augmentations des émissions de gaz à effet de serre ont causé des changements dans le climat mondial, et on prévoit que les températures vont augmenter partout au Canada au cours du XXIe siècle. Les changements climatiques pourraient faire augmenter ou diminuer les concentrations de mercure dans les poissons, en fonction des conditions dans l'écosystème. Ainsi, il est impossible de faire de simples énoncés généraux quant aux tendances prévues dans les concentrations de mercure dans les poissons du pays avec le changement du climat. Les régions qui devraient réchauffer et être touchées par une augmentation des précipitations, du ruissellement et des taux d'humidité dans le sol recevront probablement des charges de mercure plus élevées par les systèmes atmosphériques et terrestres. En retour, cela pourrait augmenter l'activité microbienne et le taux de production de méthylmercure. D'un autre côté, dans des conditions plus chaudes et plus humides, d'autres facteurs (augmentation des charges de nutriments par les bassins versants, productivité primaire et croissance plus rapide des poissons dans les systèmes aquatiques) pourraient contrebalancer les augmentations des concentrations de mercure dans les poissons. Les zones sensibles comme le nord du Canada subissent déjà les effets du réchauffement climatique, principalement des changements dans les régimes de glaces marines, qui pourraient influer sur les dépôts de mercure au printemps. On prévoit que les changements de températures vont s'accélérer et que les précipitations et les taux d'humidité augmenteront. Par conséquent, le cycle et la bioaccumulation du mercure (surtout dans l'Arctique) pourraient être touchés par les augmentations des gaz à effet de serre et les changements subséquents dans le climat mondial et régional.

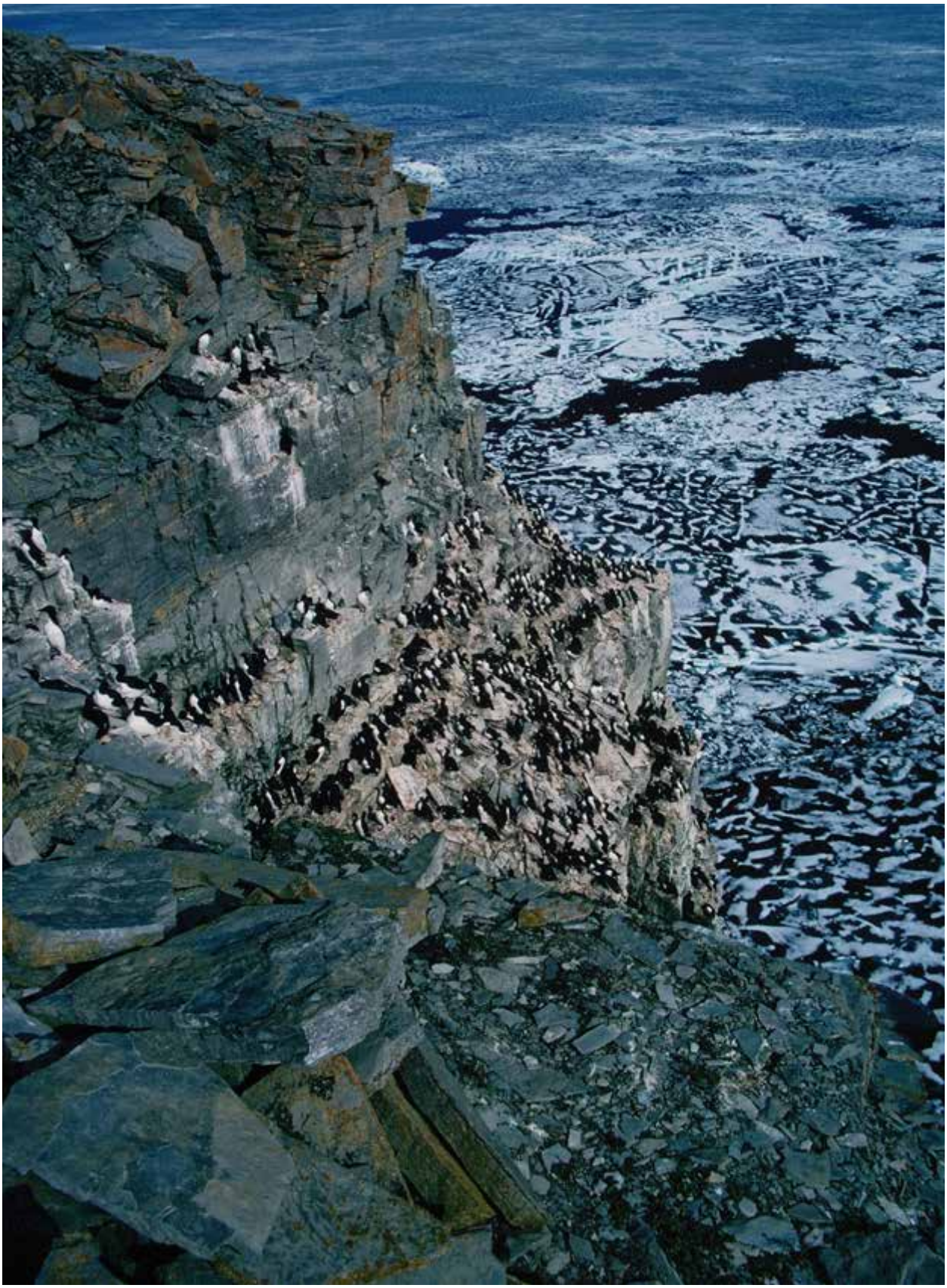
L'acidification des eaux canadiennes a contribué aux concentrations élevées de mercure que l'on retrouve actuellement dans les poissons et le biote de certaines régions du pays. Des conditions aquatiques plus acides (faible pH) mènent généralement à des concentrations élevées de méthylmercure dans le biote. Le raffinage de combustibles fossiles, la combustion de charbon et la fusion de métaux émettent du mercure et des précurseurs d'acide connexes, comme du dioxyde de soufre et des oxydes nitreux, dans l'air. Le dépôt acide de ces sources cause le lessivage du mercure des sols vers les systèmes aquatiques et peut causer une diminution globale du pH de l'eau. Le faible pH et les concentrations élevées de métaux propres aux eaux acides augmentent l'absorption de métaux toxiques par le biote, ce qui nuit à la croissance, à la survie et à la reproduction des poissons, des invertébrés et des producteurs primaires, et représente donc une menace majeure pour la biodiversité aquatique. De plus, les bactéries dans les sédiments lacustres produisent du méthylmercure lorsqu'il y a peu ou pas d'oxygène (par exemple, en raison de l'eutrophisation des lacs). Ainsi, les mesures de lutte contre les émissions de précurseur d'acide contribueront indirectement à réduire la bioaccumulation de mercure dans le biote aquatique. L'acidification des systèmes aquatiques dépourvus d'une capacité tampon contre l'acidité est de longue durée, et pourrait perdurer des décennies après la mise en place des mesures de lutte contre les émissions acides. On ignore la part des récentes réductions des concentrations de mercure dans les poissons des lacs canadiens qui peut être attribuée à la réduction des émissions acides ou à d'autres facteurs environnementaux. Toutefois, lutter contre les émissions acides au Canada réduira les émissions de mercure atmosphérique, ce qui finira par entraîner une baisse de la méthylation du mercure dans ces systèmes aquatiques.

Question 5 :

De quelle façon les changements dans d'autres activités humaines (p. ex., pratiques d'utilisation des terres) influent-ils sur la répartition du mercure entre les compartiments environnementaux, la formation de méthylmercure et l'accumulation dans le biote?

Les activités humaines comme l'exploitation forestière, la mise en eau de réservoirs, les activités minières et les activités causant l'eutrophisation peuvent influer sur le transport du mercure, augmenter sa méthylation sa bioaccumulation dans le biote.

Des activités humaines non liées aux émissions de mercure peuvent induire des changements environnementaux à long terme qui influent sur le transport, la méthylation et la bioaccumulation du mercure dans les organismes aquatiques. Ces activités comprennent l'exploitation forestière, la création de réservoirs, l'agriculture et l'urbanisation (y compris les



eaux usées). Ces facteurs humains peuvent modifier non seulement la biodisponibilité du mercure anthropique récemment rejeté, mais aussi celle du mercure naturel déjà présent dans l'environnement, qui serait autrement resté non réactif s'il n'avait pas été perturbé.

Les activités d'exploitation forestière ont des conséquences importantes sur l'apport de mercure dans les petits lacs environnants, où des augmentations des concentrations de mercure dans le biote ont été rapportées. Les petits lacs sont plus touchés que les grands lacs par la perturbation des sols causée par les activités d'exploitation forestière. Dans les grands lacs, d'autres activités environnementales ont tendance à contrebalancer ces perturbations. Les activités minières sont responsables d'une contamination par le mercure de longue durée des organismes aquatiques dans les lacs producteurs. Le mercure provenant des activités minières est généralement rejeté sous forme inorganique insoluble, et certaines conditions aquatiques sont nécessaires pour que le mercure soit méthylé. Toutefois, la combinaison des activités minières, de l'eutrophisation causée par l'urbanisation et de l'exploitation forestière intensive dans le bassin versant de petits lacs peut réunir les conditions optimales pour la méthylation de grandes quantités de mercure dans les sédiments de surface, et ces conditions peuvent perdurer plusieurs décennies. Par conséquent, même si l'extraction minière n'est peut-être pas une source directe de méthylmercure, déchets miniers avec des niveaux élevés de mercure ne doivent pas être placés à proximité des lacs avec un fort potentiel de méthylation du mercure. Il faudrait plus particulièrement accorder une attention aux lacs et aux rivières situés à proximité de villes avec une histoire de l'or et des mines de mercure où les résidents locaux souvent du poisson.

La création de réservoirs augmente souvent les concentrations de méthylmercure dans les poissons et le biote. Les nouveaux réservoirs sont créés par l'inondation de grandes superficies de végétation terrestre, ce qui mène à la décomposition de la végétation et à la stimulation de l'activité microbienne, y compris des bactéries à l'origine de la méthylation du mercure. La mise en eau de réservoirs crée une hausse marquée des concentrations de méthylmercure dans les poissons prédateurs, qui perdure plusieurs décennies (20 à 30 ans), avant que les concentrations commencent à revenir à des niveaux normaux (figure 12 à titre d'exemple). Les concentrations de méthylmercure dans les populations de poissons des réservoirs dépassent souvent les recommandations visant la consommation de poisson, et l'exposition humaine à ce contaminant par la consommation de poissons était une préoccupation au Canada, surtout dans les collectivités nordiques. De même, les concentrations de mercure dans les poissons sont souvent élevées dans les rivières et les lacs en aval des nouveaux réservoirs. Lors d'expériences sur l'ensemble de l'écosystème menées dans la RLE, la création de petits réservoirs expérimentaux a causé de grandes augmentations de méthylmercure.

L'eutrophisation est causée par des apports d'azote et de phosphore dans les cours d'eau, provenant principalement des engrais et des fumiers agricoles, des eaux usées et de diverses activités urbaines. L'eutrophisation peut stimuler la productivité dans les systèmes aquatiques, ce qui mène à l'augmentation de la méthylation du mercure. Les concentrations dans les organismes vivant dans les systèmes surtout hautement eutrophiques sont faibles, mais des conditions modérément eutrophiques sont responsables de taux plus élevés de méthylation et d'absorption du mercure par les organismes aquatiques qui peuvent durer plusieurs années.

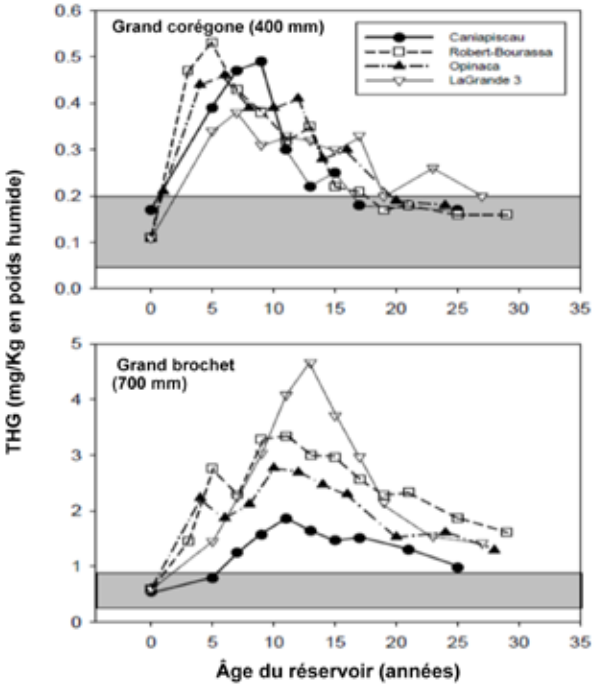


Figure 12 : Concentrations de mercure dans les poissons des nouveaux réservoirs dans le nord du Québec.

Dans l'ensemble, plusieurs activités d'utilisation des terres influent sur la bioaccumulation de mercure dans les organismes aquatiques. La vulnérabilité humaine à la présence de mercure dans les systèmes aquatiques canadiens est une préoccupation réelle. Lors de la planification des utilisations des sols qui peuvent augmenter les concentrations de mercure dans les cours d'eau, il faut mettre l'accent sur les

lacs et les rivières les plus fréquemment utilisés pour la pêche et la chasse, même pour la pêche sportive occasionnelle, les sources d'aliments pour les collectivités autochtones et la chasse de subsistance.

Question 6 :

À la lumière de notre compréhension actuelle du mercure dans l'environnement canadien, où devons-nous poursuivre la surveillance de l'atmosphère et des effets, et dans quelle mesure?

La surveillance du mercure devrait se poursuivre au Canada.

La surveillance des concentrations atmosphériques et du dépôt atmosphérique doit être augmentée.

La surveillance à long terme des poissons et des oiseaux prédateurs, ainsi que de certains mammifères terrestres et marins, doit être augmentée.

La surveillance à long terme est nécessaire pour savoir si les changements dans les émissions de mercure ont un impact sur les concentrations de mercure dans les écosystèmes canadiens. Pour répondre de la façon appropriée aux répercussions à long terme sur l'environnement canadien, il est recommandé que : 1) les activités actuelles de surveillance du mercure dans l'atmosphère, dans le dépôt, dans les milieux lacustres/marins et dans le biote se poursuivent ou augmentent; 2) des activités de recherche sur le mercure dans les systèmes abiotiques (sans vie) et biotiques (avec vie) soient entreprises ou élargies aux zones et aux espèces cibles qui ont été identifiées comme étant à risque et 3) de nouvelles technologies de surveillance soient élaborées pour augmenter la couverture spatiale et réduire au minimum, si possible, les coûts de surveillance. Il faudrait envisager de combiner les efforts de recherche multidisciplinaire et la surveillance des tendances et des effets et de réaliser ces efforts aux mêmes endroits, si possible.

a. Quels sont les indicateurs environnementaux les plus prometteurs pour les réductions dans les émissions anthropiques de mercure?

Les indicateurs environnementaux qui ont été utilisés pour surveiller les réductions du mercure anthropique au Canada comprennent les concentrations dans l'atmosphère; le dépôt humide; les lacs, rivières et océans; les émissions de surface; les sédiments; les milieux humides; les mammifères, les poissons et les oiseaux piscivores; et les insectivores. Chacun de ces indicateurs offre un aspect différent pour la compréhension des enjeux liés au mercure dans l'environnement canadien.

Mercure atmosphérique

L'atmosphère est le premier endroit pour repérer les changements dans les émissions de mercure. À l'heure actuelle[13]Environnement Canada effectue des mesures aux 10 sites suivants : Alert (Nunavut), Whistler (Colombie-Britannique), Little Fox Lake (Yukon), Saturna (Colombie Britannique), Ucluelet (Colombie-Britannique), Patricia McInnes (Alberta), Flin Flon (Manitoba), Egbert

13 Septembre 2014

(Ontario), Saint-Anicet (Québec), Kejimkujik (Nouvelle-Écosse); ces sites et les types de mesures effectués sont illustrés à la figure 13a. Une carte de toutes les mesures de mercure atmosphérique qui ont été prises au Canada sur diverses périodes de temps entre 1995 et 2014 se trouve à la figure 13b.

La surveillance atmosphérique est effectuée en vue d'atteindre plusieurs objectifs, notamment : (1) mesurer les apports de mercure dans les écosystèmes; (2) mesurer les concentrations ambiantes provenant des sources d'émission intérieures et régionales; et (3) évaluer le transport transfrontalier de mercure en direction du Canada.

1) Pour mesurer l'apport/le dépôt atmosphérique dans les écosystèmes canadiens vulnérables, il faudrait continuer ou augmenter la surveillance atmosphérique à Kejimkujik, à Flin Flon, à Ucluelet, à l'Institut international du développement durable – région des lacs expérimentaux (IISD-RLE), dans la région des Grands Lacs, dans la région arctique, dans les zones de mise en valeur des ressources et dans les zones à proximité de sources d'émissions.
2) Pour mesurer les concentrations ambiantes provenant des sources d'émissions intérieures et régionales, il faudrait continuer ou augmenter la surveillance à Kejimkujik, à Flin Flon, à Windsor, à Saint-Anicet, à Saturna, dans la région des Grands Lacs, dans la région arctique, dans les zones de mise en valeur des ressources et dans les zones à proximité des sources d'émissions.
3) Pour évaluer le transport transfrontalier du mercure, il faudrait continuer ou augmenter la surveillance à Kejimkujik, à Whistler, dans la région arctique et dans la région des Grands Lacs.

Le mercure n'est ni créé ni détruit, mais seulement transformé dans l'environnement; par conséquent, plusieurs formes de mercure (soit les *espèces de mercure*[14]) doivent être étudiées. Les mesures actuelles des espèces atmosphériques du mercure donnent certaines indications sur la transformation et le dépôt du mercure. À ce moment-ci (2014), ces mesures sont prélevées à 4 sites au Canada : Alert, Saint-Anicet, Kejimkujik, Halifax et la région des sables bitumineux (voir la figure 13a). Il faut effectuer davantage de surveillance et de recherche pour déterminer ces espèces afin de comprendre à fond la transformation et le dépôt atmosphérique du mercure. Le dépôt atmosphérique est la principale voie d'introduction du mercure dans les bassins versants, il faut donc comprendre les concentrations atmosphériques pour suivre les voies dans les compartiments environnementaux. Le dépôt humide de mercure est un bon indicateur des changements dans la charge de mercure apportée par l'atmosphère dans l'environnement. Actuellement, Environnement Canada exploite 5 stations de surveillance des dépôts humides aux sites suivants : Stephenville, Kejimkujik, Chapais, Egbert et Saturna (voir la figure 13a). Une surveillance supplémentaire est recommandée dans les zones où les tendances modélisées indiquent de récentes augmentations des dépôts humides, plus précisément l'Arctique, la côte ouest du Canada et les zones d'exploitation accrue des ressources. Les mesures du dépôt sec ne sont pas encore systématiques, mais elles sont incluses dans les activités recommandées.

De nouvelles technologies pour aider la surveillance et l'évaluation des baisses des émissions de mercure font leur apparition. Des échantillonneurs passifs (échantillonneurs ne nécessitant pas de courant) sont mis au point pour augmenter la couverture spatiale au Canada afin de mieux évaluer les concentrations de mercure dans l'ensemble du pays. De nouvelles techniques ayant recours au fractionnement isotopique du mercure sont aussi mises au point pour évaluer les régions sources du mercure atmosphérique. On devrait encourager la recherche et le développement pour ces outils de surveillance qui pourraient être mis en place éventuellement.

Mercure terrestre et aquatique

Le mercure que l'on retrouve dans les sédiments lacustres, les noyaux de glace, les forêts et les tourbières est un bon indicateur des changements dans le temps. En revanche, l'information compilée à partir de ces échantillons ne permet pas de différencier entre le mercure produit par dépôt ou par des processus biogéochimiques. Le lichen et les mousses sont les seuls végétaux terrestres qui absorbent et accumulent des quantités appréciables de mercure, mais il n'est pas clair s'ils font de bons indicateurs du mercure. À l'heure actuelle, peu de programmes, à part le programme METAALICUS, étudient les indicateurs des dépôts de mercure dans le système terrestre au Canada. De plus, il y a peu de mesures à long terme du mercure dans les lacs, les rivières et les océans nous permettant de déterminer les changements dans les dépôts ou les apports en provenance des bassins versants. On recommande que la surveillance terrestre et aquatique soit amorcée en conjonction avec les autres mesures pour permettre l'intégration de l'information de tous les systèmes.

14 Actuellement, on n'arrive pas à déterminer avec précision les composés de Hg qui constituent les diverses espèces de Hg atmosphérique; par conséquent, elles sont définies de façon opérationnelle. Les méthodes de mesure actuelles comportent aussi des limites.

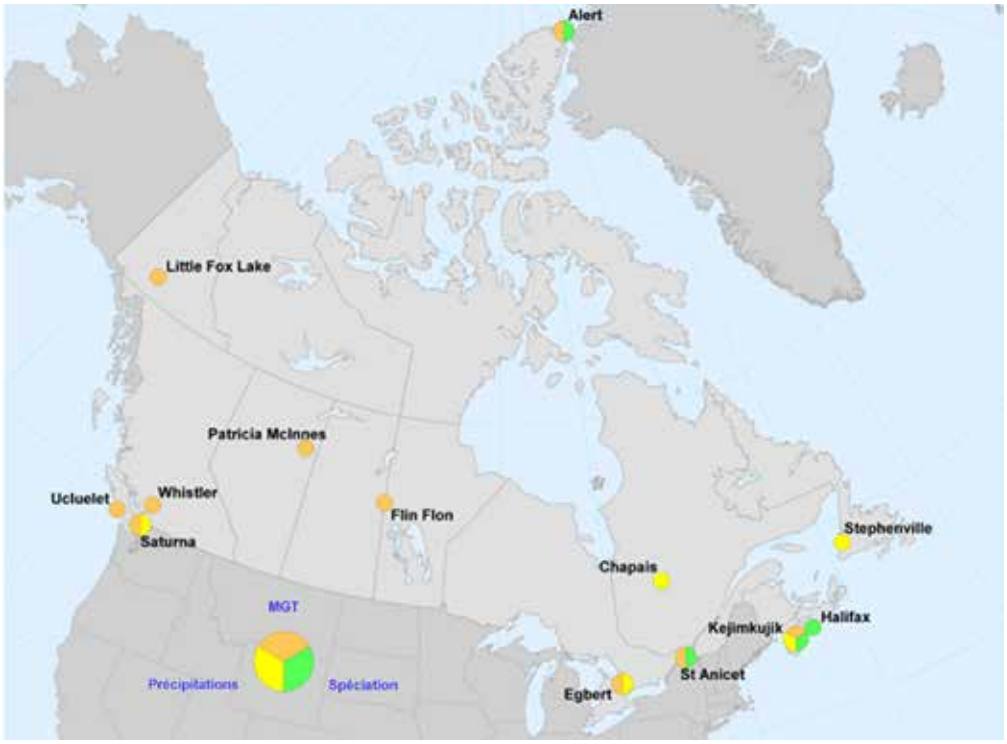


Figure 13a : Carte des sites de surveillance du mercure atmosphérique et du dépôt humide (précipitations) au Canada en 2014.

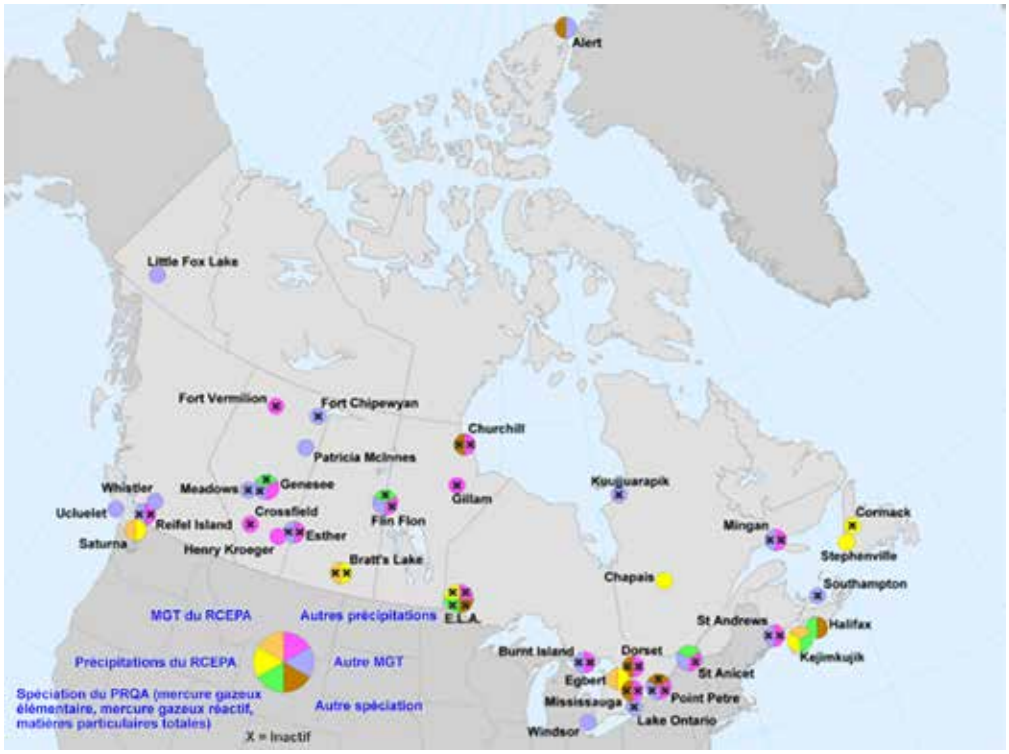


Figure 13b : Tous les sites de surveillance du mercure atmosphérique au Canada de 1995 à 2014. Une liste complète de la période couverte pour chaque site se trouve dans le chapitre 4, section 4.3, de l'évaluation scientifique complète.

Biote

La surveillance du mercure dans le biote au Canada devrait refléter les objectifs généraux suivants : (1) surveiller les espèces qui risquent le plus de subir des effets néfastes en raison d'une exposition au mercure, (2) surveiller le mercure dans les espèces qui refléteraient les changements dans le dépôt de mercure atmosphérique et (3) surveiller les tendances du mercure qui sont importantes pour la consommation et l'exposition. De plus, les principales espèces choisies pour une surveillance à long terme doivent satisfaire aux critères suivants : (1) être résidentes du Canada, (2) accumuler des concentrations mesurables de mercure, (3) être faciles à échantillonner et (4) avoir un domaine vital relativement stable ou petit.

En tenant compte de ces considérations, plusieurs espèces animales sont recommandées pour la surveillance à long terme du mercure au Canada, plus précisément pour les milieux d'eau douce (vison, plongeon huard, doré jaune, grand brochet, touladi, omble chevalier), marins (oiseaux marins, moules, poissons de mer, phoques, bélugas, ours polaires) et terrestres (caribous, petites chauves-souris brunes).

Les poissons piscivores sont de bons indicateurs de l'exposition au mercure, en particulier les poissons prédateurs comme le touladi, le grand brochet et le doré jaune. Le plongeon huard est peut-être l'espèce aviaire la plus étudiée quant à la toxicologie du méthylmercure au Canada. De nouveaux mécanismes doivent être élaborés dans l'ensemble du Canada pour favoriser la surveillance des concentrations de mercure au moyen de méthodes uniformes dans les poissons et les espèces sauvages. Ces mécanismes doivent être coordonnés entre les organismes gouvernementaux fédéraux, provinciaux, territoriaux et autochtones, les universités et les organismes non gouvernementaux.

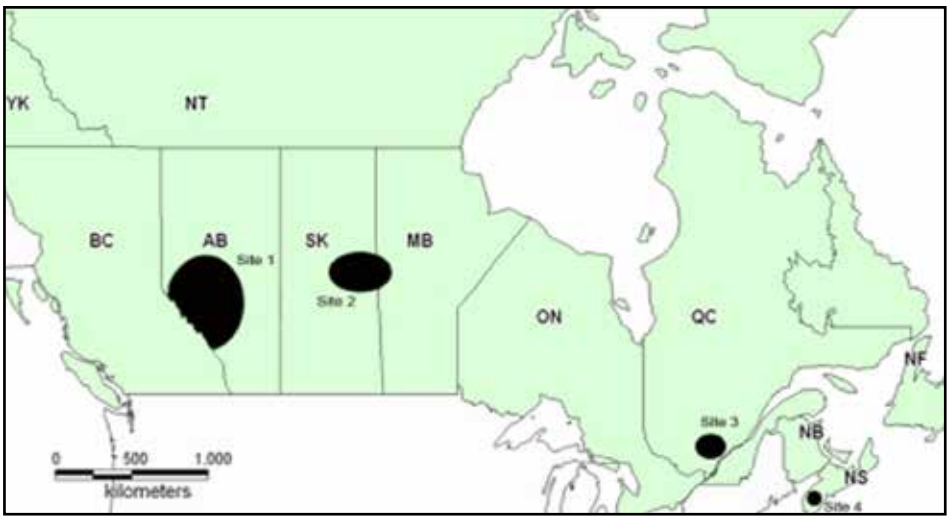


Figure 14 : Sites d'étude sur le mercure dans les poissons et les espèces sauvages du PRQA.

Pour la surveillance des écosystèmes aquatiques, on recommande de lancer des travaux multidisciplinaires aux sites recommandés. Le premier programme scientifique sur le mercure du PRQA a mené de la recherche sur le biote aux 4 sites illustrés à la figure 14. Nous recommandons que des mesures plus poussées soient prises à Flin Flon, à l'IISD-RLE, à Kejimkujik, à des sites en Ontario/au Québec et dans la RLE.

b. Quels sont les indicateurs les plus prometteurs du rétablissement des écosystèmes?

La surveillance du mercure dans tout le système au fil du temps est une méthode précieuse pour évaluer les changements dans les écosystèmes et leur rétablissement suite à leur exposition au mercure. Les mammifères, les poissons et les oiseaux prédateurs sont de bons indicateurs de l'exposition du biote au mercure dans les milieux aquatiques. Par exemple, les oiseaux marins sont actuellement surveillés sur une base régulière par Environnement Canada dans les régions marines du Pacifique, de l'Atlantique et de l'Arctique. Des études exhaustives comme l'évaluation du mercure dans le bassin des Grands Lacs et le rapport d'évaluation des contaminants dans l'Arctique canadien sont d'excellents outils pour évaluer le rétablissement global des écosystèmes et peuvent être utilisés pour améliorer les modèles intégrés qui incluent l'air, la terre et l'eau, ainsi que la biologie, la géologie et la chimie. Des études à l'échelle nationale, comme une étude pancanadienne sur le mercure dans les poissons, sont des indicateurs précieux du rétablissement.

Un programme efficace de surveillance nationale du mercure pourrait faire usage des programmes existants de surveillance du mercure et d'échantillonnage du biote à d'autres fins (autres contaminants, indices biologiques et surveillance de la santé). Ce type de coordination nationale ne nécessiterait que quelques changements aux protocoles existants et pourrait fonctionner avec un minimum de dépenses supplémentaires. Les chasseurs, les piégeurs et les pêcheurs locaux, ainsi que les programmes provinciaux de surveillance du poisson de sport, sont aussi une source précieuse et économique pour la collecte d'échantillons; travailler avec eux offre l'avantage supplémentaire d'impliquer les parties prenantes dans ces programmes de surveillance. Un leadership national fort et coordonné qui fait participer des partenaires de tous les aspects de la gestion, de la recherche et de l'utilisation des espèces sauvages sera la clé de la réussite de cette initiative.

Question 7 :

Où et sur quoi devrions-nous centrer les efforts de recherche future sur le mercure?

Les efforts de recherche future sur le mercure au Canada devraient s'appuyer sur les programmes efficaces existants et devraient mettre l'accent sur l'élaboration de programmes intégrés d'échelle nationale qui comblent les lacunes prioritaires dans les connaissances.

Le Canada a mené avec succès de la recherche et de la surveillance sur les processus du mercure dans l'environnement et sur la santé au cours des dernières décennies; toutefois, il reste beaucoup d'inconnues. Cette évaluation scientifique sur le mercure au Canada a mené à la reconnaissance de plusieurs lacunes prioritaires et détaillées dans les connaissances et a formulé des recommandations scientifiques quant aux secteurs d'intérêt et à la recherche future. Voici certaines de ces lacunes :

- Les répercussions globales des changements climatiques et des changements d'affectation des terres sur le cycle du mercure restent incertaines.
- La surveillance adéquate, à long terme, coordonnée, intégrée et dédiée du mercure dans l'air, l'eau et le biote du Canada reste insuffisante.
- Plus d'information détaillée est nécessaire sur les émissions rapportées dans l'Inventaire national des rejets de polluants.
- Les connaissances sur les émissions de mercure à partir des surfaces et sur l'impact de ces émissions et réémissions sur les inventaires canadiens sont insuffisantes.

- Les facteurs influant sur la production et la diffusion de méthylmercure dans les réseaux trophiques aquatiques des écosystèmes canadiens ne sont pas bien compris.
- La dynamique du mercure dans les écosystèmes terrestres représente la plus grande incertitude dans les écosystèmes canadiens.
- La caractérisation des espèces de mercure atmosphérique et de leur dépôt reste inconnue; cela continue de limiter les capacités de prédiction des modèles actuels.
- Le nombre d'études sur l'exposition au mercure doit être augmenté chez les nourrissons et les enfants de moins de 6 ans, en particulier chez les nourrissons des Premières Nations.
- L'information sur la relation entre l'exposition au méthylmercure et les maladies cardiovasculaires et rénales et les effets immunologiques et cancérogènes est insuffisante.

Les recommandations du rapport de la présente évaluation sont les suivantes :

- Un programme de surveillance du mercure efficace et coordonné à l'échelle nationale pour l'échantillonnage des principaux indicateurs devrait être mis en place.
- De la recherche intégrée sur le mercure dans les écosystèmes doit être coordonnée et réalisée.
- Une évaluation plus détaillée des répercussions des changements climatiques et des changements d'affectation des terres sur le cycle et l'absorption du mercure est nécessaire.
- La recherche détaillée sur les processus du dépôt, du cycle terrestre et océanique, de la méthylation et des émissions par les surfaces doit être priorisée.
- Une évaluation exhaustive des émissions de mercure rapportées dans l'INRP est requise.
- La biosurveillance continue et des études de suivi sur les tendances de l'exposition au méthylmercure sont recommandées, surtout pour les populations vulnérables.
- Il faut mettre l'accent sur la communication adéquate des risques de l'exposition au mercure et des bénéfices nutritionnels et socioéconomiques de la consommation de poissons et d'aliments traditionnels.

Le chapitre 15 donne un résumé détaillé des lacunes dans les connaissances et des recommandations quant à la recherche future.

ÉVALUATION DU MERCURE AU CANADA

L'évaluation scientifique est structurée de façon à suivre le mercure dans tout l'écosystème, de la source au puits. Elle commence avec les émissions anthropiques de mercure, suivie d'une analyse des nombreux processus par lesquels le mercure passe, y compris l'échange avec la surface, et les processus atmosphériques, aquatiques, terrestres et marins. Une analyse de la façon dont les activités humaines influent sur la dynamique du mercure est suivie par une description du travail de modélisation qui décrit la réponse des écosystèmes aux apports de mercure. Les tendances spatiales et temporelles des concentrations de mercure dans le biote sont présentées et suivies d'une analyse des effets biologiques du mercure et du risque écologique du mercure pour certaines espèces. L'évaluation conclut avec une analyse de l'exposition humaine au mercure, des effets sur la santé et des mesures de gestion du risque au Canada.

Faits saillants des chapitres

Chapitre 2 : Rejets de mercure dans l'air et l'eau par les activités anthropiques au Canada

Auteur coordonnateur : Gregor Kos

En 2010, les émissions de mercure canadiennes étaient de 5 300 kg dans l'air et de 240 kg dans l'eau. En comparaison aux autres grands pays émetteurs de mercure, le Canada produit des émissions relativement faibles (par exemple, environ 35 % des concentrations américaines en 2008 et 1 % des concentrations en Chine en 2010). De 1990 à 2010, les rejets de mercure du Canada ont diminué de 85 % dans l'air et d'environ 50 % dans l'eau. Même si ces chiffres reflètent des baisses significatives, une grande incertitude subsiste quant à ces estimations (jusqu'à 50 % d'incertitude pour les émissions héritées). Les technologies de lutte mises en place au Canada pour réduire les émissions de divers polluants ont contribué à réduire les émissions de mercure. Les émissions canadiennes de mercure devraient se stabiliser à l'avenir.

Chapitre 3 : Flux de surface

3a : Facteurs influant sur les émissions de mercure en provenance des sols canadiens

Auteur coordonnateur : Nelson J. O'Driscoll

Le mercure est émis naturellement dans l'air à partir des sols. Ces émissions sont une partie importante du cycle mondial du mercure, et on évalue qu'elles contribuent de 700 à 2 000 Mg/an-1 à l'atmosphère mondiale. Les émissions de mercure à partir des sols canadiens dépendent de la composition et de la teneur en mercure de la géologie sous-jacente. Les émissions vont de -0,3 à 91,8 ng/m-2/h-1. Actuellement, on ne peut faire d'estimations nationales précises des émissions et des rémissions dans l'air de mercure à partir des sols en raison du manque de données empiriques; par conséquent, les estimations sont basées sur des modèles du cycle de mercure. Sur les quelques sols étudiés au Canada, ceux de certaines régions de l'Ontario et de la Colombie-Britannique produisent des émissions de mercure beaucoup plus élevées que les endroits étudiés aux États-Unis, au Brésil et en Suède. En fait, certains sols minéralisés et certains schistes de l'Ontario et certains cinabres de la Colombie-Britannique produisent les émissions de mercure mesurées les plus élevées parmi tous les sols dans le monde. Par opposition, les sols naturels et agricoles en Ontario et en Nouvelle-Écosse produisent les plus faibles émissions de mercure parmi les sols étudiés à ce jour. Les facteurs qui influent sur l'émission de mercure à partir des sols comprennent l'humidité et la température du sol, le rayonnement solaire, la teneur en matière organique et les microbes dans le sol.

3b : Concentrations de mercure total dans les sédiments fluviaux et lacustres dans l'ensemble du Canada

Auteur coordonnateur : Paul A. Arp

Les concentrations de mercure dans les sédiments fluviaux et lacustres varient dans l'ensemble du Canada selon les régions et d'un endroit à l'autre. Les concentrations de mercure dans les sédiments diminuent du sud vers le nord, sont faibles dans la toundra et les paysages recouverts de glace, et sont plutôt corrélées avec les régimes de dépôt de mercure atmosphérique modélisés. Les concentrations ont tendance à être élevées dans les zones où des gisements importants de mercure naturel s'érodent dans les surfaces et les berges. Les concentrations de mercure dans les sédiments sont plus élevées en aval des installations actuelles et passées d'extraction minière et de fusion et plus faibles dans l'Arctique et dans les zones alpines de haute altitude. Les accumulations de mercure diffèrent entre les sédiments fluviaux et lacustres, ces derniers contenant plus de matière organique permettant la méthylation du Hg, stimulant ainsi l'absorption de MeHg par le biote.

3c : Mercure dans les sols et la végétation des forêts, y compris dans les mousses et les champignons – Étude de cas

Auteur coordonnateur : Paul A. Arp

Ce chapitre résume la façon dont le mercure déposé par l'atmosphère s'accumule dans les forêts intactes, en se basant sur une étude de cas récente. L'accumulation de mercure augmente graduellement avec l'augmentation de la durée d'exposition dans les endroits comme le feuillage du couvert forestier, les mousses, le mycélium ou les substrats du sol. Tandis que certains champignons (comme les bolets) sont des hyperaccumulateurs de mercure, d'autres (comme les chanterelles) ne le sont pas; la différence vient d'une longévité et d'une étendue accrues du mycélium. Les concentrations de mercure augmentent fortement dans la litière accumulée dans la forêt, et le mercure reste généralement à l'intérieur du sol pendant 1 000 ans ou plus. Les sources locales de mercure par les processus géologiques augmentent les charges de mercure dans les sols et la végétation des forêts. En revanche, l'absorption de mercure par les racines des végétaux forestiers et le transfert de ce mercure dans le bois se font lentement. Par conséquent, la plus grande partie du mercure dans les bassins versants boisés reste dans le sol et la litière des forêts.

Chapitre 4 : Processus, transport, concentrations et tendances atmosphériques

Auteure coordonnatrice : Alexandra Steffen

Beaucoup de recherche, de surveillance et de modélisation ont été menées pour comprendre les processus atmosphériques influant sur le mercure au Canada. Le mercure subit plusieurs transformations chimiques et physiques dans l'atmosphère, lesquels mènent à un dépôt plus important. L'Arctique est particulièrement vulnérable aux dépôts de mercure en raison de sa chimie unique, qui cause la précipitation du mercure atmosphérique sur la neige et la glace au printemps. Même si les concentrations mesurées de mercure diminuent depuis 1995 dans l'ensemble du Canada, les baisses ne sont pas les mêmes dans toutes les régions. Des baisses plus importantes sont observées dans les régions où il y a eu des baisses importantes dans les émissions anthropiques, comme

les zones urbaines, la région de Flin Flon au Manitoba et la région des Grands Lacs. Les concentrations de mercure dans les précipitations ont aussi diminué dans la plupart des sites au Canada depuis le milieu des années 1990. Les quantités des dépôts humides partout au Canada ont été simulées pour 2006, et elles étaient assez uniformes dans tout le pays, à l'exception de zones de dépôts de mercure élevés le long de la côte ouest et dans les zones côtières de l'Arctique de l'Ouest et du Subarctique. D'après la modélisation, on a estimé que 40 % des dépôts au Canada proviennent d'émissions anthropiques mondiales et que 60 % proviennent d'autres émissions terrestres et océaniques (y compris les émissions de sources géogéniques/ les réémissions de mercure précédemment déposé). D'après le modèle, on évalue que plus de 95 % du mercure anthropique déposé au Canada provient de sources situées à l'extérieur du pays (40 % de l'Asie de l'Est, 17 % des États-Unis, 8 % de l'Europe et 6 % de l'Asie du Sud). Dans le nord et l'ouest du Canada, la contribution totale des émissions anthropiques et terrestres de l'Asie de l'Est (24 % à 26 %) au dépôt annuel est deux fois plus élevée que la contribution totale des États-Unis (7 à 12 %). En comparaison, dans l'est du Canada, la contribution totale des émissions anthropiques et terrestres de l'Asie de l'Est (20 à 23 %) est comparable à la contribution totale des États-Unis (15 à 22 %).

Chapitre 5 : Devenir et méthylation du mercure dans les milieux secs et les milieux humides

Auteur coordonnateur : Vincent St. Louis

Ce chapitre décrit l'état actuel des connaissances sur le transport, la transformation et le devenir du mercure dans les écosystèmes terrestres intacts du Canada. Le chapitre met en lumière l'ensemble complexe de facteurs qui contrôlent, ultimement, la production et le transport de méthylmercure dans les plans d'eau. Le mercure déposé par l'atmosphère reste dans la végétation jusqu'à ce qu'il entre dans les réservoirs des sols des milieux secs et des milieux humides, où il peut être stocké pour de longues périodes ou bien méthylé et transporté en aval. Ce chapitre met aussi en lumière les processus uniques au Canada qui contrôlent l'accumulation de mercure et son rejet par le stock nival, ainsi que les changements dans les stocks de mercure dans les sols en raison des feux de forêt.

Chapitre 6 : Devenir et méthylation du mercure dans les écosystèmes dulcicoles

Auteur coordonnateur : Vincent St. Louis

Au Canada, les étangs, les milieux humides et les petits lacs peu profonds ont tendance à présenter des concentrations de méthylmercure plus élevées que les grands lacs plus profonds. La méthylation (production de méthylmercure) est principalement effectuée par les micro organismes comme les bactéries réductrices de sulfates, les bactéries réductrices de fer et les Archées métanogènes. La déméthylation (destruction de méthylmercure) peut être causée par des processus photochimiques ou microbiens, et elle est importante pour la réduction du méthylmercure disponible pour les organismes aquatiques. La méthylation du mercure est déterminée par la quantité de mercure disponible pour les micro-organismes et par l'efficacité des micro-organismes à convertir le mercure en méthylmercure. La production de méthylmercure dans les sédiments de fond et dans la colonne d'eau, ainsi que les apports de méthylmercure en provenance des milieux humides, sont les principales sources de méthylmercure dans les lacs. Les apports de méthylmercure par les milieux secs du bassin versant et par l'atmosphère sont moins importants. La destruction photochimique dans les eaux lacustres et les pertes par les débits sortants sont les principaux mécanismes d'élimination du méthylmercure dans les lacs, qui aident à diminuer l'exposition des organismes aquatiques et des réseaux trophiques aquatiques.

Chapitre 7 : Le mercure dans les milieux marins : processus et concentrations

Auteur coordonnateur : John Chételat

Les animaux marins sont des éléments importants du régime alimentaire de nombreux Canadiens, par lesquels ceux-ci s'exposent au méthylmercure. Le mercure apporté par les émissions anthropiques et les sources naturelles entre dans le milieu marin du Canada par le transport atmosphérique à longue distance, les courants océaniques, l'érosion côtière et les rivières. L'importance relative de ces voies de transport du mercure diffère parmi les écosystèmes marins du Canada. La production de méthylmercure dans la colonne d'eau marine est probablement importante et, dans les régions côtières, les sédiments sont aussi des sites de production. Le méthylmercure se retrouve dans l'eau de mer en concentrations extrêmement faibles; toutefois, sa bioamplification dans les longues

chaînes alimentaires du milieu marin peut causer des concentrations élevées dans les poissons, les mammifères et les oiseaux marins prédateurs.

Chapitre 8 : Influences des activités anthropiques sur le transport, la méthylation et la bioaccumulation de mercure

Auteur coordonnateur : Marc Lucotte

En plus des rejets ponctuels de mercure et du dépôt atmosphérique, plusieurs activités anthropiques peuvent influencer son transport, sa méthylation et sa bioaccumulation dans les organismes aquatiques. Ces activités contribuent ainsi aux concentrations de mercure dans les milieux terrestres et aquatiques du Canada. Ce chapitre décrit les effets des activités anthropiques comme l'utilisation des terres et les changements d'affectation des terres, l'eutrophisation, l'acidification et les changements climatiques. Ces dernières peuvent influer sur la dynamique du mercure récemment rejeté par les activités anthropiques et du mercure naturel dans l'environnement. La mise en eau de réservoirs continuera à contribuer à l'augmentation des concentrations de mercure dans les poissons prédateurs pour de nombreuses décennies. Les activités d'extraction minière sont responsables d'une contamination de longue durée des organismes aquatiques par le mercure, surtout dans les lacs pauvres en nutriments. L'eutrophisation mène à l'augmentation des taux de croissance dans les poissons et à une plus grande biodilution du mercure. Par conséquent, elle ne mène pas à l'augmentation des concentrations de méthylmercure dans les organismes aquatiques, sauf dans les réservoirs récemment mis en eau. Les émissions et les dépôts d'acide peuvent mener à l'acidification des lacs, ce qui peut mener à l'augmentation des concentrations de méthylmercure dans les systèmes et le biote aquatiques. Les influences prévues des changements climatiques sur le cycle du mercure pourraient augmenter ou diminuer les concentrations de mercure dans les poissons, dépendamment des conditions des écosystèmes. Les régions du Canada les plus vulnérables à l'impact des changements climatiques sur les processus du mercure sont le Subarctique et l'Arctique.

Chapitre 9 : Cycle du mercure dans les écosystèmes et réponses aux changements dans les émissions anthropiques de mercure

Auteure coordonnatrice : Ashu Dastoor

Une suite de modèles informatiques pour les processus atmosphériques, terrestres, aquatiques et de bioaccumulation a été intégrée dans un cadre unique et utilisée pour simuler les effets des différents scénarios de réduction des émissions sur les concentrations de mercure dans les poissons des lacs canadiens. L'ampleur des changements et le temps requis pour que les concentrations de mercure dans les poissons réagissent pleinement aux réductions des émissions varient entre les écosystèmes. Le modèle prédit que, sans mesures additionnelles de lutte contre les émissions, les concentrations de mercure dans les poissons augmenteront au-delà des concentrations de mercure actuelles dans tous les lacs étudiés. Avec les mesures de lutte contre les émissions, les concentrations de mercure dans les poissons seront plus faibles qu'en l'absence de mesures de lutte contre les émissions pour tous les lacs étudiés. En revanche, les lacs prendront des siècles pour réagir complètement aux réductions des émissions, selon les caractéristiques du bassin versant. Le « meilleur des scénarios » de la lutte mondiale contre les émissions anthropiques (toutes les méthodes disponibles de réduction des émissions de mercure) produira une réduction de 20 à 50 % du dépôt de mercure sur les écosystèmes et réduira les concentrations de mercure dans les poissons jusqu'à 30 % après 150 années, comparativement au scénario « sans réduction des émissions ». Toutefois, même si le « meilleur des scénarios » sera bénéfique, les concentrations de mercure dans les poissons ne baisseront pas dans tous les bassins versants en dessous des concentrations actuelles. Les concentrations de mercure baisseront dans certains écosystèmes, resteront stables dans certains systèmes, et continueront d'augmenter ou de se stabiliser à des niveaux plus élevés dans d'autres. De plus grandes réductions des émissions de mercure mondiales sont requises pour réduire largement les concentrations de mercure dans les poissons en dessous des niveaux actuels dans tout le Canada.

Chapitre 10 : Le mercure dans le biote terrestre et aquatique dans l'ensemble du Canada : variation géographique

Auteur coordonnateur : Neil Burgess

Des données sur les concentrations de mercure dans les plantes et dans les animaux canadiens ont été prélevées pendant des décennies. Il existe plus de données sur le mercure pour les animaux que pour les plantes, et plus de données pour les animaux aquatiques que pour les animaux terrestres. Les poissons et les animaux sauvages prédateurs au sommet des réseaux trophiques dulcicoles et marins présentent généralement les concentrations de mercure les plus élevées, en raison de la bioamplification. Dans la partie sud du Canada, les concentrations de mercure augmentent généralement d'ouest en est d'un bout à l'autre du pays. Les concentrations de mercure dans le plongeon huard, le pygargue à tête blanche, le grand héron, le balbuzard, le touladi, le doré jaune, le grand brochet, le grand corégone et la perchaude étaient toutes plus élevées dans le sud-est du Canada. Une tendance géographique différente a été observée dans l'Arctique. Les concentrations de mercure avaient tendance à être plus élevées dans l'Arctique de l'Ouest et l'Extrême-Arctique pour le phoque annelé, l'ours polaire et le béluga (avec quelques exceptions).

Chapitre 11 : Le mercure dans le biote terrestre et aquatique dans l'ensemble du Canada : variation temporelle

Auteure coordonnatrice : Mary Gamberg

Ce chapitre présente les connaissances actuelles des changements dans le temps des concentrations de mercure dans le biote au Canada. Aucune tendance générale constante n'a été observée, selon la position géographique ou le niveau trophique. Par exemple, les concentrations de mercure augmentent dans les oiseaux marins de l'Extrême-Arctique mais pas dans les mammifères marins ou dans les poissons prédateurs de cette région, tandis que les concentrations de mercure restent relativement constantes dans toutes les colonies d'oiseaux marins sauf dans une de la côte de l'Atlantique. Les concentrations de mercure dans les espèces sauvages peuvent être influencées par des facteurs locaux de petite échelle (comme l'introduction des moules zébrées dans les Grands Lacs), des facteurs climatiques de grande échelle (peut-être liés aux oscillations décennales du Pacifique, de l'Atlantique ou de l'Arctique) ou des interactions complexes des deux. L'augmentation des concentrations de mercure, observée dans certaines populations, peut être une source de préoccupation (oiseaux marins de l'île Prince Leopold et de l'île Coats, lotte de Fort Good Hope et lotte et touladi du Grand lac des Esclaves). Les autres populations qui ont démontré par le passé des tendances à la baisse ou généralement stables dans les concentrations de mercure ont démontré une tendance à la hausse au cours des dernières années (comme les caribous de la Porcupine, le touladi de 2 lacs au Yukon, les ombles anadromes de la baie de Cambridge et de Nain, les bélugas de la baie d'Hudson et de l'Arctique de l'Ouest, les phoques annelés d'Arviat et les moules du golfe du Saint-Laurent).

Chapitre 12 : Effets du mercure sur la santé des poissons et des espèces sauvages du Canada

Auteur coordonnateur : Anton M. Scheuhammer

Dans de nombreux milieux aquatiques du Canada, les concentrations moyennes de mercure dans le biote sont suffisamment élevées pour être préoccupantes. Les espèces les plus à risque d'être exposées à des concentrations élevées de mercure sont les grands poissons prédateurs et les mammifères et la faune aviaire piscivores. Une exposition à des concentrations élevées dans le plongeon huard en nidification et dans les poissons qu'ils consomment est observée principalement dans les lacs et les réservoirs semi-éloignés de l'Est du Canada, y compris en Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse, qui sont pauvres en nutriments, de faible alcalinité, de faible pH, ou présentant une inondation périodique des milieux humides. Les populations de poissons et d'espèces sauvages qui sont à risque profiteraient probablement de plus grandes réductions des émissions industrielles de mercure, ce qui réduirait le dépôt de nouveau mercure disponible pour la méthylation et la bioaccumulation. La réduction de la production de méthylmercure dans l'environnement finirait par abaisser l'exposition au mercure et l'accumulation de mercure chez les espèces de poissons et les espèces sauvages de niveau trophique élevé associées aux réseaux trophiques aquatiques sensibles au mercure.

Chapitre 13 : Évaluation des risques actuels du mercure pour les poissons et les espèces sauvages piscivores au Canada

Auteur coordonnateur : Neil Burgess

Le risque associé à l'exposition au mercure pour les plongeons huards et les poissons prédateurs a été calculé d'après les concentrations de mercure estimées dans les espèces proies de poisson qu'ils consomment, pour plus de 1 900 lacs partout au Canada. Les résultats ont indiqué un risque potentiel pour le comportement du plongeon huard dans 36 % des lacs étudiés et pour la reproduction dans 10 % des lacs. De même, les conclusions ont indiqué des risques potentiels d'une exposition au mercure pour la reproduction des poissons prédateurs dans 82 % des lacs étudiés et pour la santé de ces poissons dans 73 % des lacs. Pour les plongeons huards comme pour les poissons, les risques étaient plus grands dans les régions du sud-est du Canada caractérisées par un important couvert forestier, par un dépôt élevé de mercure atmosphérique et par des sols ayant un faible pouvoir tampon. Il y avait une plus grande incertitude associée à l'évaluation des risques du mercure pour les poissons que pour le plongeon huard, en raison du plus faible nombre d'études de qualité élevée sur les répercussions du mercure alimentaire sur la santé et la reproduction des espèces de poissons sauvages, comparativement à la recherche sur le plongeon huard.

Chapter 14: Mercury and Human Health

Auteur coordonnateur : Tara Leech

Ce chapitre présente les connaissances sur l'exposition au mercure des Canadiens, les études sur les effets sur la santé humaine et les mesures de gestion du risque. Au Canada, le méthylmercure reste un enjeu de santé publique pour les populations qui consomment des quantités significatives de poissons prédateurs et certaines espèces sauvages traditionnelles (aliments traditionnels). L'exposition au mercure présente des différences régionales, sociales et professionnelles. Certains groupes, comme les peuples autochtones, les pêcheurs sportifs et les Canadiens d'origine asiatique, sont plus à risque d'être exposés au mercure que la population canadienne générale, en raison de leur régime alimentaire riche en poissons et en fruits de mer. La biosurveillance des femmes enceintes et des femmes en âge de procréer indique qu'environ 2 % de ces femmes dans la population canadienne générale dépasse la valeur guide provisoire (8 µg L-1); ces femmes nécessitent des examens de suivi, des conseils alimentaires et/ou d'autres interventions. Les mères inuites de l'Arctique de l'Est présentent les concentrations les plus élevées de mercure parmi toutes les populations nordiques, avec 20 % des mères visées par une petite étude de 2005 à 2007 qui dépassaient la valeur guide de 8 µg L-1 (53 % en 1997). Des effets sur la santé, comme des troubles neurologiques, ont été associés à une exposition à des concentrations élevées de méthylmercure. Le système nerveux en développement (dans les fœtus, les nourrissons et les jeunes enfants) est considéré comme étant le plus vulnérable aux effets néfastes du méthylmercure. De plus, l'exposition au méthylmercure a été liée à des effets néfastes sur le système cardio-vasculaire de l'adulte ainsi qu'à problèmes neurocomportementaux chez les enfants, mais plus de recherche est nécessaire à ce sujet.

RÉGLEMENTATION DU MERCURE AU CANADA

Comme la contamination par le mercure est considérée comme un problème environnemental et sanitaire à l'échelle nationale et mondiale, des mesures ont été prises par le gouvernement du Canada et les Nations Unies pour atténuer les émissions et l'exposition.

Le mercure et ses composés sont identifiés en tant que substance toxique dans la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*. En 2010, Environnement Canada et Santé Canada ont élaboré la Stratégie de gestion du risque relative au mercure, qui fournit une description exhaustive et consolidée des actions du gouvernement du Canada pour gérer les risques associés au mercure. L'annexe A de la stratégie énumère les nombreuses initiatives de gestion du risque existantes pour le mercure, dont les mesures réglementaires, les codes de pratiques écologiques et lignes directrices, les plans de prévention de la pollution et les standards pancanadiens, qui portent sur des sujets tels que les émissions en provenance des sources industrielles, les produits contenant du mercure et le mercure total dans les poissons pour la consommation.

De plus, la stratégie recommandait la réalisation de recherches scientifiques en appui aux initiatives décisionnelles sur le mercure. La stratégie recommandait les mesures suivantes : (1) surveillance des concentrations de mercure dans l'environnement; (2) amélioration de la compréhension des processus gouvernant la transformation du mercure; (3) amélioration de notre capacité à prédire le devenir et le transport du mercure et (4) évaluation et communication des données scientifiques accumulées au Canada pour éclairer les initiatives politiques nationales et mondiales sur la réduction des émissions de mercure.

En octobre 2013, la Convention de Minamata sur le mercure (menée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement) a été ouverte à la signature et a depuis été signée par 100 gouvernements, dont le Canada, dans le but principal de protéger la santé humaine et l'environnement contre les émissions anthropiques et les rejets de mercure et de composés de mercure. Les dispositions de la Convention abordent tous les aspects du cycle de vie du mercure et (ce qui intéresse particulièrement le Canada) visent à lutter contre les émissions atmosphériques de mercure de sources industrielles recensées et à les réduire. Le préambule de la Convention, qui indique de quelle manière les obligations de la Convention doivent être interprétées, comprend plusieurs énoncés qui touchent directement les Canadiens, y compris (sans s'y limiter), ceux-ci :

> Reconnaissant *que le mercure est une substance chimique préoccupante à l'échelle mondiale vu sa propagation atmosphérique à longue distance, sa persistance dans l'environnement dès lors qu'il a été introduit par l'homme, son potentiel de bioaccumulation dans les écosystèmes et ses effets néfastes importants sur la santé humaine et l'environnement,*
>
> Notant *la vulnérabilité particulière des écosystèmes arctiques et des communautés autochtones du fait de la bioamplification du mercure et de la contamination des aliments traditionnels, et préoccupées plus généralement par la situation des communautés autochtones eu égard aux effets du mercure.*

Cette évaluation nationale peut servir à éclairer les scientifiques, les gestionnaires scientifiques et les décideurs sur l'état actuel du mercure et l'information de base sur le mercure au Canada. De plus, cette évaluation formule des recommandations sur la recherche future et les besoins en surveillance pour le mercure, au pays comme à l'étranger.

CONTRIBUTEURS

Résumé des principaux résultats

Auteure/éditrice :
Alexandra Steffen
Division de la recherche en qualité de l'air
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Toronto (Ont.) M3H 5T4
Canada

Évaluation scientifique sur le mercure au Canada

Editrice :
Alexandra Steffen
Division de la recherche en qualité de l'air
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Toronto (Ont.) M3H 5T4
Canada

Coordonnatrice du programme scientifique sur le mercure du PRQA :
Heather Morrison
Direction de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Toronto (Ont.) M3H 5T4
Canada

Chapitre 1

Auteure coordonnatrice : Alexandra Steffen
Auteures principales : Heather Morrison, Alexandra Steffen

Chapitre 2

Auteur coordonnateur : Gregor Kos
Auteurs principaux : Gregor Kos, Yi-Fan Li, David Niemi
Coauteurs : Martha King, Shirley Anne Smyth, Christian Zdanowicz, Jiancheng Zheng
Contributrices : Cathy Banic, Ashu Dastoor

Chapitre 3a

Auteur coordonnateur : Nelson J. O'Driscoll
Auteurs principaux : Nelson J. O'Driscoll, Ravinder Pannu, Steven D. Siciliano

Chapitre 3b

Auteur coordonnateur : Paul A. Arp
Auteurs principaux : Paul A. Arp, Mina Nasr

Chapitre 3c

Auteur coordonnateur : Paul A. Arp
Coauteurs : Paul A. Arp, Mary-France Jutras, Mina Nasr

Chapitre 4

Auteure coordonnatrice : Alexandra Steffen
Auteures principales : Amanda Cole, Alexandra Steffen
Coauteurs : Parisa Ariya, Cathy Banic, Ashu Dastoor, Dorothy Durnford, Chris Eckley, Jenny Graydon, Rachel Mintz, Martin Pilote, Rob Tordon, Andrei Ryzhkov, Leiming Zhang.
Contributeurs : Pierrette Blanchard, John Dalziel, Julie Narayan, David Neimi, Laurier Poissant, Vince St. Louis

Chapitre 5

Auteur coordonnateur : Vincent St. Louis
Auteure principale : Jennifer Graydon
Coauteurs : Carl Mitchell, Claire Oswald, Vincent St. Louis
Contributeurs: Paul Arp, Brian Branfireun, John Chételat, Amanda Cole, Ashu Dastoor, Dorothy Durnford, Craig Emmerton, Sarah Ghorpade, Catherine Girard, Britt Hall, Andrew Heyes, Jane Kirk, Linnea Mowat, Mina Nasr, Murray Richardson, Alexandra Steffen, Merritt Turetsky

Chapitre 6

Auteur coordonnateur : Vincent St. Louis
Auteurs principaux : Jennifer Graydon, Igor Lehnherr, Vincent St. Louis
Contributeurs : Mark Amyot, Mary-Luyza Avramescu, John Chételat, William F. Donahue, Chris S. Eckley, Catherine Girard, Jennifer A. Graydon, Britt D. Hall, Stéphanie Hamelin, Reed Harris, Andrew Heyes, Carol A. Kelly, David Lean, Igor Lehnherr, Nelson O'Driscoll, Claire J. Oswald, Alexandre Poulain, John W. M. Rudd, Vincent L. St. Louis

Chapitre 7

Auteur coordonnateur : John Chételat
Coauteurs : Jane Kirk, Linda Campbell, Gareth Harding, Lisa Loseto
Contributeurs : Steve Beauchamp, Birgit Braune, Dorothy Durnford, Marlene Evans, Aaron Fisk, Bailey McMeans

Chapitre 8

Auteur coordonnateur : Marc Lucotte
Coauteurs : Linda Campbell, Meredith Clayden, Chris Eckley, Reed Harris, Mark Kelly, Karen Kidd, David Lean, Matthieu Moingt, Serge Paquet, Ravinder Pannu, Michael Parsons, Mike Paterson

Chapitre 9

Auteure coordonnatrice : Ashu Dastoor
Auteurs principaux : Ashu Dastoor, Dorothy Durnford, Reed Harris
Coauteurs : Peter Dillon, Adrienne Ethier, Amanda Poste, Andrei Ryzhkov
Contributeurs : Karl Abraham, Parisa Ariya, Paul Arp, Cathy Banic, Don Beals, Cody Beals, Satyendra Bhavsar, Kristin Bielefeld, Paul Blanchfield, Neil Burgess, Tom Clair, Amanda Cole, Ian Dennis, Chris Eckley, Marlene Evans, Martyn Futter, Jennifer Graydon, Karen Kidd, Jane Kirk, Marc Lucotte, Rachel Mintz, Heather Morrison, Derek Muir, Julie Narayan, Mina Nasr, David Niemi, Nelson O'Driscoll, Michael Paterson, Martin Pilote,Rick Robinson, Alexandra Steffen, Vincent St. Louis, Rob Tordon, Leiming Zhang

Chapitre 10

Auteur coordonnateur : Neil Burgess
Coauteurs : David Depew, Mary Gamberg, John Chetelat
Contributeurs : Tanya Brown, Linda Campbell, Meredith Clayden, Marlene Evans, Michel Leboeuf, Robert Letcher, Lisa Loseto, Derek Muir, Michael Power, Ken Reimer, Gary Stern, Shannon van der Velden

Chapitre 11

Auteure coordonnatrice : Mary Gamberg
Auteurs principaux : Mary Gamberg, David Depew, Marlene Evans
Coauteurs : Birgit Braune, Louise Champoux, David Depew, Marlene Evans, Ashley Gaden, Mary Gamberg, Nikolaus Gantner, Rob Letcher, Lisa Loseto, Derek Muir, Peter Outridge, Gary Stern

Chapitre 12

Auteur coordonnateur : Anton M. Scheuhammer
Auteurs principaux : N. Basu, David Depew, Anton M. Scheuhammer
Contributeurs: Satyendra Bhavsar, Birgit Braune, Neil Burgess, Louise Champoux, John Elliott, Mary Gamberg, Laurie Hing Man Chan, S. Lord, M. Wayland,

Chapitre 13

Auteur coordonnateur Neil Burgess
Coauteurs : David Depew, Neil Burgess, Linda Campbell

Chapitre 14

Auteure coordonnatrice : Tara Leech
Auteurs principaux : Meredith Curren, Shawn Donaldson, Jennifer Gibson, Tara Leech, Ellen Lye
Coauteurs : Bryan Adlard, Mary Albert, Nathalie Arnich, Roni Bronson, ChemRisk Consulting, Elizabeth Elliott, Mark Feeley, Mike Inskip, Angela Li-Muller, Stephen MacDonald, Maria Ooi, Harold Schwartz, Constantine Tikhonov, Jay Van Oostdam
Contributeurs: Karelyn Davis

Chapitre 15

Auteure coordonnatrice : Alexandra Steffen
Auteure principale : Alexandra Steffen
Coauteurs : Paul Arp, Neil Burgess, John Chételat, Ashu Dastoor, David Depew, Mary Gamberg, Jennifer Gibson, Jenny Graydon, Gregor Kos, Tara Leech, Igor Lehnherr, Marc Lucotte, David Neimi, Nelson O'Driscoll, Claire Oswald, Vincent St. Louis, Anton Scheuhammer

PAIRS EXAMINATEURS

L'évaluation par les pairs de cette évaluation a requis énormément de travail. J'aimerais remercier les spécialistes nationaux et internationaux du mercure qui ont revu chaque chapitre et prodigué des conseils judicieux pour assurer l'exactitude et la validité de l'information contenue dans le présent document.

En ordre alphabétique : Christopher Babiarz, Steve Balogh, Tamar Barkay, Kevin Bishop, Satyendra Bhavsar, Laurie Chan, Heleen deWit, Aurelien Dommergue, David Gay, Eric Dewailly, John Elliott, David Evers Xinbin Feng, Heather Golden, Michael Goodsite, Jane Kirk, Chris Knightes, Tom Kosatsky, Marco Lemes, Lisa Loseto, Mark Mallory, John Munthe, Bruce Monson, Christine Moore, Diane Nacci, Daniel Obrist, Jozef Pacyna, Michael Parsons, Alexandre Poulain, Jeroen Sonke, David Streets, Elsie Sunderland, Oleg Travnikov, Bill Van Heyst, and James Wiener.

Révision

Merci à nos merveilleuses réviseures, Carolyn Brown et Sheila Bourque, qui ont rendu le texte tellement plus lisible!

Pour des renseignements supplémentaires :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
7e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement) ou 819-997-2800
Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca