

Proposition de désignation des polybromodiphényléthers (PBDE) comme produits chimiques sources de préoccupations mutuelles en vertu de l'annexe 3 de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs

Contexte chimique

- Les polybromodiphényléthers (PBDE) sont une classe de substances utilisées comme retardateurs de flammes dans une vaste gamme de produits pour prévenir ou ralentir l'inflammation ou la combustion ([Environnement et Changement climatique \[ECCC\], 2016](#); [Agency for Toxic Substances and Disease Registry \[ATSDR\], 2017a](#)).
- Les PBDE consistent en un mélange de plusieurs hydrocarbures bromés (congénères) comportant de 2 à 10 atomes de brome attachés à une molécule de diphényléther (**figure 1**).

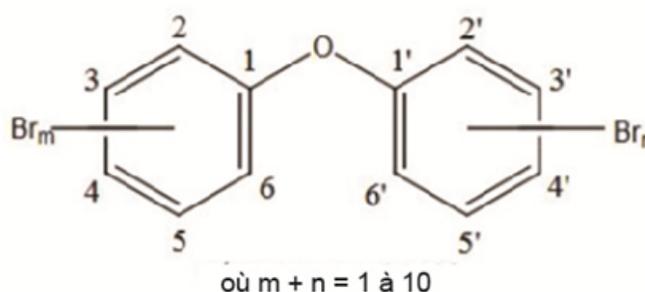


Figure 1 : Structure chimique générale des PBDE ([ATSDR, 2017a](#))

- Cette structure peut théoriquement générer 209 congénères uniques de PBDE. Cependant, seul un sous-ensemble de ces derniers entre dans la composition des mélanges commerciaux de PBDE.
- Les PBDE sont classés selon leur degré de bromation et tous les congénères de PBDE ayant le même nombre d'atomes de brome sont appelés « homologues ».
- Les trois mélanges commercialisés au Canada et aux États-Unis et leur utilisation principale sont :
 - le décaBDE : meubles pour appareils électroniques (p. ex. meuble pour télévision);
 - l'octaBDE : plastique utilisé dans les équipements professionnels;
 - le pentaBDE : mousse de rembourrage des sièges auto ([EC, 2006a](#)).
- Le mélange commercial de décaBDE est principalement utilisé dans le polystyrène, notamment dans le polystyrène choc (PC) et, dans une moindre mesure, dans des résines.
 - Les résines ignifugées avec du décaBDE sont essentiellement utilisées dans les équipements électriques et électroniques (EEE), les produits du secteur des transports, les produits liés au secteur du textile (p. ex. rembourrage des sièges auto et tissus

d'ameublement) et les produits de l'industrie et du secteur de la construction ([EC, 2006a](#)).

- Les PBDE ont une pression de vapeur très basse, une solubilité dans l'eau très faible et des coefficients de partage octanol-eau élevés. Par conséquent, lorsque ces substances sont libérées dans l'eau, elles se lient habituellement avec la fraction organique des particules, du sol et des sédiments. Seule une très petite portion de ces substances resterait dans la colonne d'eau ([EC, 2006a](#)). Les PBDE les moins bromés (soit le tétraBDE et l'heptaBDE) sont légèrement plus solubles dans l'eau. Ils ont tendance à se volatiliser et à être transportés dans l'air et tendent ainsi à se lier aux particules atmosphériques ([EC, 2006a](#)).
- Les PBDE les plus bromés ont des coefficients de partage octanol-eau ($\log K_{oe}$) et air-eau ($\log K_{ae}$) élevés et tendent à rester sous forme solide. Ils sont donc transportés sous la forme de particules ([EC, 2006a](#)).
- Les propriétés lipophiles (solubilité dans les graisses) et hydrophobes (insolubilité dans l'eau) des PBDE expliquent leur forte capacité à se bioaccumuler dans les réseaux trophiques terrestres et aquatiques ([EC, 2006a](#)).

Données scientifiques existantes

1. TOXICITÉ : La substance chimique est-elle toxique, persistante ou bioaccumulable?

Canada

- Des évaluations préalables des risques pour l'environnement et la santé humaine ont été réalisées par Environnement Canada (EC) et Santé Canada (SC) en vertu de la LCPE pour sept congénères de PBDE figurant dans la Liste intérieure des substances (LIS, Canada; tétraBDE, pentaBDE, hexaBDE, heptaBDE, octaBDE, nonaBDE et décaBDE) et présents dans trois mélanges commerciaux de PBDE.
- Le rapport d'évaluation préalable des risques pour l'environnement a conclu que les PBDE pénétraient dans l'environnement en une quantité ou concentration ayant ou pouvant avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou la biodiversité ([EC, 2006a](#)). Ils ont donc été ajoutés à la Liste des substances toxiques figurant à l'annexe 1 de la LCPE ([gouvernement du Canada, 2006](#)).
- L'évaluation préalable des risques pour l'environnement a également conclu que :
 - les congénères du tétraBDE, du pentaBDE et de l'hexaBDE répondaient aux critères de persistance et de bioaccumulation du *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* de la LCPE et que leur présence dans l'environnement résultait principalement des activités humaines ([EC, 2006a](#)). Ces trois congénères satisfont aux critères énoncés au paragraphe 77(3) de la LCPE quant à leur inscription obligatoire sur la Liste de quasi-élimination ([EC, 2006b](#)).
 - Les sept PBDE (du tétraBDE au décaBDE) présents dans les produits commerciaux répondent aux critères de persistance du *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* ([EC, 2006b](#)). Les sept groupes de PBDE sont très persistants et peuvent être transportés dans l'environnement sur de grandes distances ([EC, 2006a](#)).

- Le Rapport sur l'état des connaissances scientifiques écologiques concernant le décaBDE a conclu que ce dernier pouvait s'accumuler dans les organismes et se transformer en PBDE peu bromés, notamment en PBDE bioaccumulables ([EC, 2010](#)).
- L'évaluation préalable des effets sur la santé de SC concernant les PBDE a montré que les trois mélanges commerciaux de PBDE avaient d'importants effets sur le foie et le développement neurocomportemental, comme des changements touchant la motricité et le comportement ([SC, 2006](#)).
- Le rapport décrit les effets graves sur la santé et détermine la dose minimale avec effet observé (DMEO) selon certains critères (développement comportemental, foie, etc.) pour divers congénères et mélanges commerciaux de PBDE ([SC, 2006](#)).
- Chez les animaux de laboratoire, le décaBDE influe sur les premiers stades du développement néonatal ou fœtal, le foie, la thyroïde et possiblement le système endocrinien. Les études existantes suggèrent que le décaBDE n'a pas de potentiel génotoxique important et il existe peu de preuves démontrant sa cancérogénicité pour des animaux de laboratoire ([SC, 2012](#)).

- Les PBDE n'appartiennent pas à l'une des cinq catégories de composés chimiques persistants, bioaccumulables et toxiques (PBT) ou ne figurent pas dans la liste des 16 produits chimiques PBT déclarés dans le cadre de l'inventaire des rejets toxiques (TRI) en vertu de l'article 313 de l'Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (EPCRA; [Inventaire des rejets toxiques \[TRI\], 2017](#); [U.S. EPA, 2017a](#)). Toutefois, le décaBDE est une substance chimique PBT et le TRI fait état de son rejet depuis 1988 ([U.S. EPA, 2017b](#)).
- L'U.S. EPA craint que certains des composés à base de congénères de PBDE soient persistants, bioaccumulables et toxiques et a déclaré, dans son plan d'action sur les PBDE, avoir l'intention de prendre des mesures pour limiter l'exposition à ces substances et leur rejet ([U.S. Environmental Protection Agency \[EPA\], 2009](#)).
- Le profil toxicologique des PBDE établi par le Département de la Santé et des Services sociaux des États-Unis a montré que les PBDE étaient persistants dans l'environnement ([ATSDR, 2017a](#)).
- Ce même profil toxicologique a également mis en évidence que la plupart des congénères pouvaient être considérés comme bioaccumulables et que les congénères de PBDE les moins bromés avaient tendance à se bioaccumuler davantage que les congénères les plus bromés ([ATSDR, 2017](#); [U.S. EPA, 2017c](#)).
- D'après l'EPCRA, le décaBDE est une substance chimique toxique et le monoBDE un déchet dangereux ([ATSDR, 2017a](#)).
 - Le monoBDE figure dans la liste des déchets chimiques PBT prioritaires à réduire visés par la Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) et la liste des substances à surveiller dans les eaux souterraines ([ATSDR, 2017a](#)).
- L'EPA associe au groupe D des substances potentiellement cancérigènes (*non classifiables en ce qui a trait à la cancérogénicité pour les humains*) le monoBDE, le diBDE, le triBDE, le tétraBDE, le pentaBDE, l'hexaBDE, l'octaBDE et le nonaBDE. Néanmoins, le décaBDE est classé dans le groupe C (*preuve du potentiel cancérigène*; [U.S. EPA, 2005](#); [ATSDR, 2017b](#)).
- Des études en laboratoire mettent en avant les risques possibles pour la santé associés aux PBDE, notamment une toxicité pour le foie, la thyroïde, le développement, la reproduction et le développement neurologique. De plus, le potentiel cancérigène du décaBDE a pu être prouvé à l'aide du Guide d'évaluation des risques de cancérogénicité de l'U.S. EPA ([U.S. EPA, 2010](#)).

Autres administrations

- Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a placé les PBDE dans le groupe 3 des substances cancérogènes (*non classifiables en ce qui a trait à leur cancérogénicité pour les humains*) à partir de preuves non convaincantes de cancérogénicité pour les humains et de preuves non convaincantes ou insuffisantes de cancérogénicité pour les animaux de laboratoire ([Centre international de recherche sur le cancer \[CIRC\], 2020](#)).

2. REJETS : Dans quelles quantités la substance chimique est-elle rejetée dans le bassin des Grands Lacs?

- Les PBDE rejetés au Canada et aux États-Unis dans le bassin des Grands Lacs sont essentiellement anthropiques et pénètrent dans l'eau et l'air en raison de :
 - rejets provenant de la fabrication, de la transformation et de l'utilisation des PBDE et des produits qui en contiennent;
 - rejets issus de l'incinération, du recyclage ou de l'élimination de produits contenant des PBDE (p. ex. les rejets de lixiviat de décharge dans les eaux de surface et la volatilisation de substances lors du déchetage de produits destinés au recyclage).
- Les Grands Lacs sont également exposés aux rejets provenant d'autres pays par l'intermédiaire du transport des PBDE sur de grandes distances, le PBDE les moins bromés ayant le potentiel de transport atmosphérique le plus élevé (Gouin et Mackay, 2002; [Wania et Dugani, 2003](#); [EC, 2006a](#)).
- Les PBDE n'ont jamais été fabriqués au Canada, mais ont été importés sous la forme de trois mélanges commerciaux et utilisés comme additif retardateur de flammes dans un grand éventail de produits depuis les années 1970 (p. ex. le plastique, les boîtiers d'ordinateur, les appareils électroménagers, les meubles, les tissus d'ameublement, les textiles, les sièges de voiture ou d'avion, les composants électriques et électroniques et d'autres produits domestiques; [EC, 2006a](#)). Au Canada, deux des trois mélanges commerciaux, connus sous les noms de pentaBDE et d'octaBDE, ont été progressivement retirés du marché en 2004, tout comme le troisième mélange, le décaBDE, en 2013.
- Aux États-Unis, la production et l'importation de PBDE aux États-Unis ont débuté à la fin des années 1970 et il est estimé que les quantités produites dans le monde entre 1999 et 2002 sont comprises entre 40 000 et 67 000 tonnes métriques ([U.S. EPA, 2010](#)).
- Tous les producteurs nationaux étatsuniens ont volontairement cessé la production de PBDE en 2013. Cependant, ces derniers peuvent toujours être produits en petites quantités ([U.S. EPA, 2013](#)).
- Malgré les restrictions en matière de production et d'importation de PBDE, les produits qui en contiennent peuvent rester en circulation en raison de leur utilisation, de leur transport, de leur entreposage et de leur élimination.
- La quantité totale estimée de PBDE en circulation dans le bassin des Grands Lacs était comprise entre 15 000 et 80 000 tonnes métriques en 2004 (**tableau 1**; Abbasi et coll., 2014).
 - Environ 40 % des PBDE utilisés dans le bassin des Grands Lacs durant l'année où leur utilisation était maximale (2004) sont toujours en circulation en 2020.

Tableau 1 : Quantités estimées de PBDE utilisées dans le bassin des Grands Lacs.

Homologue des PBDE	Volume (tonnes métriques)	Année	Si disponible, % de l'utilisation totale de PBDE	% de PBDE censé être éliminé ou toujours utilisé en 2020
PentaBDE	2 000 – 10 000	2004	Mousse de rembourrage pour meubles (60-65 %) Mousses de rembourrage pour véhicules (30-35 %) EEE (2-3 %)	Tous les PBDE censés ne plus être utilisés
OctaBDE	500 – 2 000	2004	EEE (90 %) Secteur automobile (10 %)	90 % des PBDE censés ne plus être utilisés
DécaBDE	10 000 – 70 000	2013	Secteur automobile (25 %) Textiles (25 %) Matériaux de construction (25 %) EEE (15 %)	50 % toujours utilisés (du stock maximal de 2008)
PBDE totaux	15 000 – 80 000	2004		40 % de la quantité maximale (surtout du décaBDE) toujours utilisés

- Le Programme d'inventaire des rejets toxiques (TRI) des États-Unis surveille les rejets de décaBDE dans l'air, les eaux de surface, les décharges et les réservoirs de retenue déclarés par les installations industrielles depuis 1998 ([TRI, 2017](#); **figure 2**).
- Les rejets totaux de l'industrie étatsunienne ont diminué depuis 1998 en raison de la réglementation et des interdictions visant la production de PBDE, mais des PBDE sont toujours rejetés dans l'environnement à l'heure actuelle.
 - Les rejets provenant de décharges et de réservoirs de retenue ont augmenté d'environ 200 000 livres entre 2014 et 2016.
- Dans le cadre de l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) au Canada, certaines installations doivent déclarer le rejet, l'élimination et le transfert à des fins de recyclage du décaBDE (auparavant importé au Canada).
 - Ces dernières années, les émissions de décaBDE ont diminué à la suite de l'arrêt progressif des importations de mélange commercial de DécaBDE, de la réglementation canadienne contraignante et de la cessation progressive de la production de décaBDE aux États-Unis.

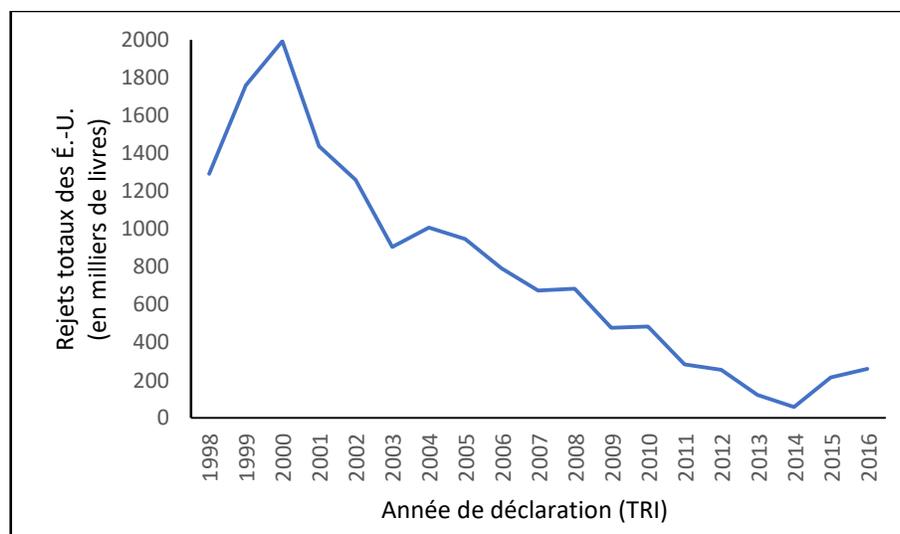


Figure 2 : Rejets totaux de décaBDE dans l'environnement, toutes sources confondues, entre 1998 et 2016 (TRI, 2017).

- En dépit des restrictions visant la production et l'importation de PBDE au Canada et aux États-Unis, il s'avère que divers congénères de PBDE pourraient être présents dans l'environnement, en raison de leur rejet avant l'arrêt de la production ou de la présence d'éléments produits avant cet arrêt et toujours utilisés (EC, 2013).
- Les produits contenant des PBDE sont toujours en circulation en raison de leur utilisation, de leur transport, de leur entreposage et de leur élimination et peuvent toujours contribuer aux rejets dans les Grands Lacs.

3. CONCENTRATIONS : Les concentrations de la substance chimique dans les Grands Lacs sont-elles nocives ou susceptibles de le devenir?

Recommandations pour la qualité de l'environnement

- Le Canada a élaboré les Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement (RFQE) visant certains congénères de PBDE présents dans l'eau, les tissus des poissons, les sédiments, la faune et les œufs d'oiseaux, afin de déterminer l'importance écologique des concentrations de PBDE dans l'environnement et de protéger toutes les formes de vie aquatique (EC, 2013; **tableau 2**).
- L'U.S. EPA et l'ATSDR appliquent des normes et recommandations en matière d'exposition aux PBDE par l'air, par voie orale et par inhalation en milieu de travail (U.S. EPA, 2008; U.S. EPA, 2014; ATSDR, 2017a). Toutefois, il n'existe pas de directives relatives à la qualité de l'environnement.

Tableau 2 : Recommandations fédérales pour la qualité de l'environnement (RFQE) visant les PBDE au Canada

Homologue	Congénère	Eau (ng/L)	Tissus de poissons (ng/g en poids humide)	Sédiments (ng/g en poids sec)	Régime alimentaire de la faune (ng/g en poids humide dans la source d'alimentation)	Œufs d'oiseaux (ng/g en poids humide)
triBDE	Total	46	120	44	--	--
tétraBDE	Total	24	88	39	44	--
pentaBDE	Total	0,2	1	0,4	3 (mammifères) 13 (oiseaux)	29
pentaBDE	BDE-99	4	1	0,4	3	--
pentaBDE	BDE-100	0,2	1	0,4	--	--
hexaBDE	Total	120	420	440	4	--
heptaBDE	Total	17	--	--	64	--
octaBDE	Total	17	--	5600	63	--
NonaBDE	Total	--	--	--	78	--
décaBDE	Total	--	--	19	9	--

Sédiments

- Des dépassements modérés des valeurs préconisées par les RFQE ont été observés dans les sédiments du lac Ontario, où les concentrations moyennes de pentaBDE étaient environ deux fois plus élevées que la valeur recommandée de 0,4 ng/g en poids sec. Par endroits, les concentrations de pentaBDE étaient 10 à 60 fois supérieures aux valeurs préconisées par les RFQE ([EC, 2011](#)).
- Les concentrations de décaBDE ont dépassé la valeur de 19 ng/g en poids sec, préconisée par les RFQE, dans le port de Toronto et à six autres endroits du lac Ontario ([EC, 2011](#)).
- Plus récemment, ECCC a analysé six congénères de PBDEs (triBDE, tétraBDE, pentaBDE, hexaBDE, octaBDE et décaBDE) dans des sédiments partout au Canada en 2009-2010 et 2013-2014 et a mesuré dans le bassin versant des Grands Lacs des concentrations de pentaBDE supérieure à la valeur de 0,4 ng/g préconisée par les RFQE en poids sec et des concentrations inférieures aux valeurs recommandées pour les autres congénères ([ECCC, 2020](#)).
- Une rapide augmentation de l'accumulation de décaBDE dans les sédiments du lac Ontario a été observée entre le milieu des années 1980 et le début des années 2000, suivie d'une diminution. L'accumulation d'autres homologues a diminué durant cette même période. Cela peut s'expliquer par l'utilisation accrue de mélanges commerciaux de décaBDE dans les années 1990 et 2000 et la forte tendance, bien connue, du décaBDE à se lier aux sédiments et à sa faible tendance à se dégrader dans les sédiments (**Figure 3**; [EC, 2011](#)).
- Le tétraBDE et le pentaBDE présentaient les concentrations les plus importantes dans les sédiments au début de la période mentionnée ci-dessus, mais, à la fin des années 1980, les niveaux de décaBDE ont dépassé ceux des autres congénères et sont restés prédominants pendant le reste de cette période (**Figure 3**; [EC, 2011](#)).
- Les concentrations de décaBDE dans les sédiments des Grands Lacs ont diminué entre 2009-2010 et 2013-2014 ([ECCC, 2020](#)).

- Les profils sédimentaires dans le lac Ontario ont révélé une stabilisation de l'accumulation au cours de la dernière décennie, tandis que d'autres études ont montré que les PBDE totaux (notamment le BDE 209 décasubstitué) continuaient à s'accumuler dans les cinq Grands Lacs, le temps de doublement des concentrations étant compris entre 4 et 74 ans ([ECCC et U.S. EPA, 2017](#)).

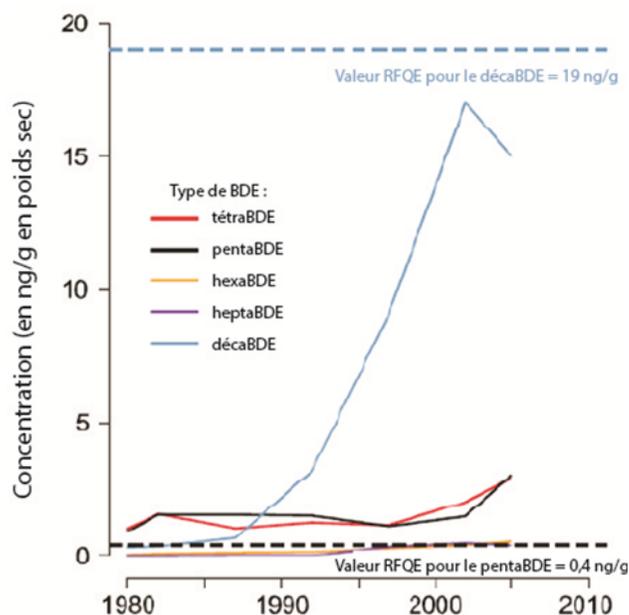


Figure 3 : Concentrations moyennes de PBDE dans les sédiments du lac Ontario entre 1980 et 2009 ([EC, 2011](#)).

Poissons

- Les concentrations de pentaBDE mesurées chez le touladi et le doré jaune en 2009 dans l'ensemble des Grands Lacs sont très supérieures à la valeur de 1,0 ng/g en poids humide préconisée par les RFQE. Certaines concentrations de tétraBDE mesurées étaient nettement supérieures à la valeur de 88 ng/g en poids humide préconisée par les RFQE ([EC, 2011](#)). En 2012, les concentrations de pentaBDE chez le touladi dans le lac Ontario étaient toujours supérieures à la valeur préconisée par les RFQE (1,0 ng/g en poids humide) ([ECCC, 2017](#)).
- La valeur recommandée de concentration du pentaBDE (1,0 ng/g en poids humide) a été dépassée chez 70 % des poissons examinés dans une étude portant sur les poissons canadiens, les dépassements les plus importants ayant été observés dans les Grands Lacs ([Gewurtz et coll., 2011](#)).
- Les résultats des mesures régulières des concentrations de PBDE effectuées par les autorités fédérales canadiennes (de 1997 à 2009) et étatsuniennes (de 1980 à 2000) chez les poissons prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire ont montré que les concentrations de PBDE chez le touladi et le doré jaune avaient augmenté de manière constante jusqu'au début des années 2000, puis avaient commencé à diminuer, de manière importante en ce qui concerne le tétraBDE, le pentaBDE et l'hexaBDE dans les lacs Ontario et Michigan. Les concentrations ont

également diminué dans les lacs Supérieur, Huron et Érié, mais pas de manière importante (**figure 4**; [EC, 2011](#); [ECCC et U.S. EPA, 2017](#)).

- La concentration d'hexaBDE a eu tendance à se stabiliser puis a commencé à diminuer vers 1995 (**figure 4**). Les homologues les plus lourds (de l'heptaBDE au décaBDE) ne sont pas retrouvés dans les poissons en quantités importantes en raison de leur faible potentiel de bioaccumulation. Les niveaux de pentaBDE dans les tissus des poissons étaient 20 à 30 fois plus élevés que ceux préconisés par les RFQE, mais ne dépassaient pas la marge de sécurité prévue par ces dernières (88 ng/g; [EC, 2011](#)).

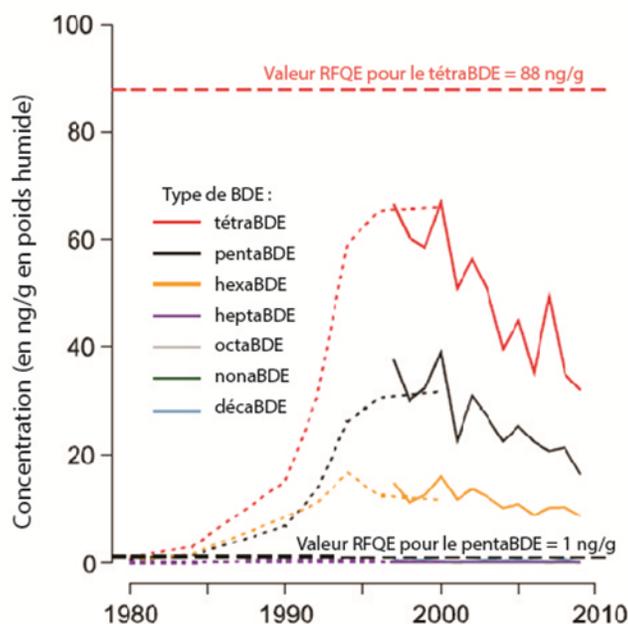


Figure 4 : Concentrations moyennes de PBDE chez le touladi du lac Ontario entre 1980 et 2009 ([EC, 2011](#)).

Goéland argenté

- Les valeurs moyennes maximales de concentration de pentaBDE dans les œufs des goélands argentés de colonies réparties sur l'ensemble des Grands Lacs (1980-2010) étaient 20 fois supérieures à la valeur de 29 ng/g en poids humide préconisée par les RFQE (**figure 5**; [EC, 2011](#)).
- Les concentrations de tétraBDE, pentaBDE et hexaBDE suivent les mêmes tendances chez les poissons, mais les concentrations maximales et la diminution des concentrations sont seulement observées au bout de plusieurs années. En outre, les concentrations de décaBDE, bien que relativement faibles, ont augmenté sur l'ensemble de la période comprise entre 1980 et 2010 ([EC, 2011](#)). Par ailleurs, les échantillons d'œufs prélevés en 2012 présentaient des concentrations en décaBDE supérieures à celles mesurées dans les échantillons prélevés en 2006 (**figure 5**; [Su et coll. 2015](#)).

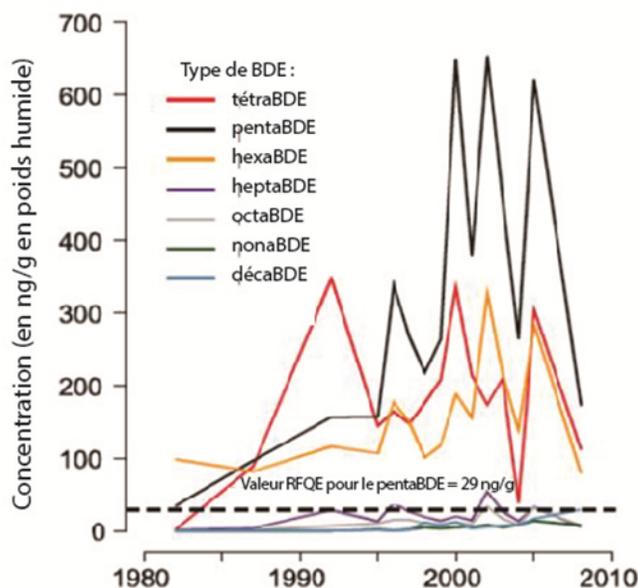


Figure 5 : Concentrations moyennes de PBDE dans les œufs de touladi prélevés dans le port de Toronto entre 1982 et 2008 ([EC, 2011](#)).

Air

- Des tendances à la hausse des concentrations de PBDE dans l'air observées dans le Nord canadien mettent en évidence le transport des PBDE sur de grandes distances. Parallèlement, des diminutions des concentrations de tétraBDE et de décaBDE ont été constatées dans le sud de l'Ontario ([EC, 2006b](#)).
- Les concentrations de PBDE dans des échantillons d'air et d'eau de pluie provenant de cinq sites de prélèvement situés à proximité des Grands Lacs ont diminué entre 2005 et 2011, ce qui est à mettre en corrélation avec l'arrêt progressif de la production du pentaBDE et de l'octaBDE ([CMI, 2016](#)).
- Les concentrations atmosphériques de PBDE ont généralement tendance à diminuer dans le temps dans des zones urbaines (p. ex. Chicago et Cleveland) et au bord des lacs Ontario et Huron, mais ne varient globalement pas dans les zones désertes (p. ex. dans les dunes Sleeping Bear ou à Eagle Harbor; [Liu et coll., 2016](#)).
- Les données recueillies par ECCC montrent également que des PBDE sont présents en fortes concentrations près des centres urbains (p. ex. 157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés à Hamilton, en Ontario) et en faibles concentrations dans les zones désertes (p. ex. 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés à Alert, au Nunavut; [EC, 2011](#)).

Eaux de surface

- Très peu de renseignements sont disponibles concernant les concentrations de PBDE dans les eaux de surface des Grands Lacs.
- Les concentrations de PBDE sont élevées dans les eaux de surface des Grands Lacs inférieurs, les répartitions géographiques montrant que les produits de consommation en sont principalement l'origine ([ECCC et U.S. EPA, 2017](#)).

4. VOIE D'EXPOSITION : Les Grands Lacs sont-ils une voie d'exposition importante des humains ou des espèces sauvages à cette substance chimique?

Exposition par l'eau et les sédiments des Grands Lacs

- L'atmosphère est la principale voie de transport des PBDE et les sols et les sédiments sont des réservoirs environnementaux de ces substances ([EC, 2006b](#); [CMI, 2015](#)).
- Au Canada, la fabrication de produits de consommation est la principale source de rejets de décaBDE dans l'atmosphère et les concentrations de cette substance sont élevées à certaines zones (où ces produits sont fabriqués ou des produits électroniques sont recyclés). Toutefois, l'exposition globale de la population générale canadienne au décaBDE présent dans l'air ambiant est considérée comme faible ([Santé Canada \[SC\], 2012](#)).
- Les PBDE pénètrent dans une étendue d'eau par l'intermédiaire des dépôts atmosphériques, par transfert de l'air vers l'eau ou par rejet direct dans l'eau issu d'industries ou de stations de traitements des eaux usées.
- En 2002, les Grands Lacs ont reçu environ 0,17 tonne de Σ_9 BDEs et 4,4 tonnes de décaBDE, issus principalement des dépôts atmosphériques ([Li et coll., 2006](#)). Par ailleurs, les mesures des concentrations de PBDE dans les sédiments du lac Ontario montrent que les dépôts atmosphériques constituent le principal mode de transport des PBDE vers le lac ([Qiu et coll., 2007](#)).
- Lorsqu'ils arrivent dans le système aquatique, les PBDE se répartissent entre la colonne d'eau et les sédiments selon leurs propriétés physicochimiques ([U.S. EPA, 2010](#)).
- Les PBDE sont peu solubles dans l'eau et ne dissolvent pas rapidement dans les eaux de surface. La concentration de PBDE dans les eaux de surface reste faible et celles-ci ne constituent pas une voie d'exposition des humains ou de la faune ([U.S. EPA, 2010](#)).
- En outre, les PBDEs présentent un log du coefficient de partage octanol-eau élevé, qui indique leur forte capacité d'absorption du carbone organique dans le sol et les sédiments. Par conséquent, les sédiments benthiques représentent un réservoir majeur de PBDE et peuvent servir de voie d'exposition des organismes aquatiques, ces substances pouvant se bioaccumuler dans l'ensemble du réseau trophique aquatique, depuis les organismes benthiques jusqu'aux prédateurs situés au sommet de la chaîne alimentaire (p. ex. les poissons, oiseaux et mammifères terrestres piscivores; [U.S. EPA, 2010](#); [CMI, 2015](#)).
- Une étude des PBDE chez les poissons des Grands Lacs a révélé des concentrations maximales chez la carpe commune et le meunier noir. Les résultats indiquent que les concentrations sont plus élevées chez les organismes benthiques que chez les espèces de prédateurs (p. ex. le touladi, l'achigan à grande bouche et la perchaude) en raison des interactions des premiers avec les sédiments dans les zones touchées par l'urbanisation ([Ghandi et coll., 2017](#)).
- Cela montre que les sédiments des Grands Lacs sont une voie d'exposition des poissons qui les peuplent.

Exposition par l'intermédiaire du réseau trophique des Grands Lacs

- Les PBDE sont des composés lipophiles et hydrophobes et se bioaccumulent rapidement dans les réseaux trophiques terrestres et aquatiques. Ils se retrouvent ainsi dans une grande variété

d'oiseaux, de poissons, d'insectes et de mammifères aquatiques et terrestres d'Amérique du Nord ([U.S. EPA, 2010](#)).

- La bioaccumulation trophique des PBDE dans les biotes d'eau douce est similaire au processus de bioaccumulation d'autres catégories de composés lipophiles et persistants, comme les PCB, c'est-à-dire que la concentration de PBDE d'un niveau trophique à l'autre et d'un organisme à l'autre semble subir une bioamplification ([U.S. EPA, 2010](#)).
- Dans l'ensemble des Grands Lacs, une analyse de 18 espèces de poissons réalisée entre 2006 et 2013 a révélé que le décaBDE était le principal congénère présent dans les crapets, alors que le tétraBDE était prédominant dans les prédateurs situés au sommet de la chaîne alimentaire. Pour chaque espèce de poisson, les concentrations de PBDE dans tout l'organisme et les œufs étaient supérieures à celles mesurées dans les filets ([Gandhi et coll., 2017](#)).
- La même étude a conclu que les concentrations de PBDE dans les filets s'expliqueraient par les restrictions visant la consommation de carpe commune et appliquées au secteur riverain de Toronto seulement, lequel se situe près la zone la plus urbanisée de la partie canadienne du bassin des Grands Lacs ([Gandhi et coll., 2017](#)).
- En règle générale, les concentrations de PBDE dans les filets de poissons issus de la pêche sportive n'entraînent pas d'avis en matière de consommation de poisson à l'intention du grand public et des populations sensibles. Cependant, de tels avis, en lien avec les concentrations de tétraBDE (BDE-47) sont émis partout dans le bassin des Grands Lacs et limitent la consommation de poissons à 8 à 16 repas par mois. Seule la carpe commune pêchée dans le secteur riverain de Toronto ferait l'objet de restrictions (4 repas par mois) ([Gandhi et coll., 2017](#)).
- L'étude sur les tissus de poissons et la santé humaine dans la région des Grands Lacs (GLHHFTS), menée par l'U.S. EPA, a consisté à prélever des échantillons de poissons fréquemment consommés par les humains et permis de détecter des PBDE dans 157 échantillons. Néanmoins, moins de 1 % des sites de prélèvement situés proches des rives des Grands Lacs (soit une superficie de 4282 miles carrés) présentaient des concentrations de PBDE supérieures à la valeur d'étude des effets sur la santé humaine, soit 210 ppm ([U.S. EPA, 2016](#)).
- Les preuves indiquent que le réseau trophique des Grands Lacs pourrait constituer une voie d'exposition possible de la faune et des humains aux PBDE par ingestion. Cependant, à leurs niveaux actuels, les PBDE ne posent pas de problèmes majeurs quant à la consommation des poissons des Grands Lacs ([Ghandi et coll., 2017](#)).

Autres voies d'exposition

Canada

- Le [Rapport sur l'état des connaissances scientifiques concernant les effets du décaBDE sur la santé humaine](#) publié par SC comporte une évaluation d'exposition, qui conclut que les principales sources d'exposition aux PBDE au Canada sont le lait maternel chez les enfants nourris au sein, les jouets en plastique dur portés à la bouche chez les enfants âgés de 0,5 à 4 ans et la poussière intérieure et les aliments pour tous les autres groupes d'âge ([SC, 2012](#)).
- Il est estimé que l'ingestion totale quotidienne de décaBDE pour divers groupes d'âge au Canada est comprise entre 0,007 9 et 0,187 µg/kg p.c./jour ([SC, 2012](#)).

- Les produits de consommation peuvent émettre du décaBDE, qui peut se fixer à la poussière intérieure ou être adsorbé sur des particules atmosphériques, lesquelles peuvent être ensuite inhalées ou ingérées ([SC, 2012](#)).
- Les données liées aux niveaux de décaBDE dans l'alimentation sont peu nombreuses, mais des études ont mis en évidence de faibles concentrations de cette substance dans la viande, les produits laitiers, le poisson, les fruits de mer, les œufs et les huiles. Toutefois, la part de l'alimentation dans l'exposition globale de la population générale canadienne au décaBDE est relativement faible et similaire à celle de l'ingestion de poussière intérieure ([SC, 2012](#)).
- Il a été récemment montré que les jouets fabriqués en Chine, notamment ceux en plastique dur, constituaient eux aussi une source possible d'exposition des jeunes enfants au décaBDE. Il est estimé que les jouets en plastique portés à la bouche représentent une ingestion de $1,2 \times 10^{-4}$ mg/kg p.c. par jour. Il s'agit du double de l'exposition estimée de ce groupe d'âge au décaBDE par le sol (la poussière) ([SC, 2012](#)).

États-Unis

- L'exposition des humains aux PBDE peut être associée par l'ingestion d'aliments contaminés, de poussière ou de matières provenant du sol, l'inhalation d'air contaminé ou le contact de la peau avec un sol, de la poussière ou des produits commerciaux contaminés ([ATSDR, 2017a](#)).
- Aux États-Unis, la principale voie d'exposition de la population générale aux PBDE (80 à 90 % de l'exposition totale) est associée à l'ingestion de poussière contaminée à l'intérieur de bâtiments et au contact de la peau avec de la poussière ([ATSDR, 2017a](#)). La deuxième voie d'exposition aux États-Unis (10 à 20 % de l'exposition totale) est associée à l'ingestion d'aliments contaminés, notamment de poissons gras et de lait maternel.
 - La dose de PBDE totaux absorbée quotidiennement est estimée à 7,1 ng/kg p.c./jour chez les adultes, 47,2 ng/kg p.c./jour chez les enfants de 1 à 5 ans, 13,0 ng/kg p.c./jour chez les enfants de 6 à 11 ans et 8,3 ng/kg p.c./jour chez les jeunes de 12 à 19 ans ([U.S. EPA, 2010](#)).
- Les PBDE peuvent pénétrer dans le sol à partir de produits jetés (p. ex. dans les décharges) et les biosolides peuvent également contenir des PBDE et être accidentellement introduits dans le sol lorsqu'ils sont déversés sur des terrains agricoles.
 - Si vous touchez un sol contenant des PBDE, une petite quantité de ces substances peut traverser votre peau et se retrouver dans votre sang. L'ingestion de matières provenant du sol peut conduire à une exposition encore plus élevée aux PBDE. Cette voie d'exposition peut s'avérer importante chez les enfants ([ATSDR, 2017a](#)).
- L'eau potable n'est pas une voie d'exposition majeure aux PBDE, car ces derniers se lient très fortement aux sédiments et au sol ([ATSDR, 2017a](#)).

5. ÉCHELLE : La répartition géographique des concentrations de la substance chimique dans les Grands Lacs a-t-elle une importance binationale?

- Malgré les efforts binationaux déployés pour réduire les rejets de PBDE, ceux-ci se diffusent dans l'environnement à partir des produits utilisés et ont été détectés dans des médias environnementaux partout dans le bassin des Grands Lacs, au Canada et aux États-Unis.
- Par rapport à d'autres régions hydrographiques canadiennes, le bassin des Grands Lacs présentait, entre 2013 et 2015, une plus forte proportion d'échantillons de poissons dans

lesquels les concentrations de tétraBDE et de pentaBDE dépassaient les valeurs préconisées par les RFQE ([ECCC, 2020](#)).

- Seule la région des Grands Lacs présentait des concentrations supérieures aux valeurs recommandées pour le tétraBDE et tous les échantillons dépassaient les seuils de concentration recommandés pour le pentaBDE.
- Par ailleurs, seul le bassin versant des Grands Lacs présentait des dépassements de concentration dans les sédiments pour les trois homologues étudiés (tétraBDE, pentaBDE et décaBDE) entre 2007 et 2018 ([ECCC, 2020](#)).
- Les données de surveillance atmosphérique ont mis en évidence de fortes concentrations de PBDE dans les centres urbains. Étant donné la densité de population et le niveau d'activité industrielle élevés dans les parties canadienne et étatsunienne du bassin des Grands Lacs, les niveaux de PBDE peuvent avoir des répercussions binationales.

6. *GESTION : Dans quelle mesure les utilisations et rejets de la substance chimique sont-ils contrôlés et gérés?*

Mesures fédérales

Canada

Règlementation et mesures de gestion des risques

- En 2008, le *Règlement sur les polybromodiphényléthers* (DORS/2008-218) a interdit la production de tétraBDE, de pentaBDE, d'hexaBDE, d'heptaBDE, d'octaBDE, de nonaBDE et de décaBDE au Canada. Il a en outre banni l'utilisation, la vente, les offres de vente et l'importation de tétraBDE, de pentaBDE et d'hexaBDE et des mélanges, polymères et résines qui en contiennent.
- Ce règlement a été abrogé quand le Règlement modifiant le Règlement sur certaines substances toxiques interdites (2012) est entré en vigueur en décembre 2016, lequel a étendu l'interdiction à tous les PBDE (dont le décaBDE) et aux produits qui en contiennent, sauf aux produits fabriqués ([ECCC, 2016](#)).

Surveillance, contrôle et recherche

- ECCC assure la surveillance des PBDE dans l'air, les poissons, les œufs de goéland argenté et d'étourneau sansonnet, les sédiments et l'eau, dans le cadre de plusieurs initiatives, notamment du Plan de gestion des produits chimiques.
- ECCC et le ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et Parcs (MEPP) de l'Ontario mènent chaque année, à tour de rôle, des études approfondies sur les eaux de surface, les sédiments de surface et les carottes sédimentaires d'un des Grands Lacs. Ces études annuelles visent un large éventail de contaminants, dont les PBDE, présents à des endroits et dans des milieux sélectionnés.
- Les résultats de ces études sont publiés dans les rapports gouvernementaux et des articles évalués par les pairs et les données relatives au bassin des Grands Lacs sont rendus disponibles par ECCC sur le portail du Gouvernement ouvert.

- L'Inventaire national des rejets de polluants surveille les rejets industriels de décaBDE, leur élimination et leur transfert depuis 1993.
- Le programme des Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement (ICDE) fournit des données et des renseignements qui permettent de suivre le rendement du Canada en ce qui a trait aux principaux enjeux liés à la durabilité environnementale. Les indicateurs de présence de PBDE dans les poissons et les sédiments permettent de cerner les régions où les concentrations de PBDE dans les poissons et les sédiments sont dans les intervalles préconisés par les RFQE ou les ont dépassés.

États-Unis

Règlementation et mesures de gestion des risques

- En vertu de la Toxic Substances Control Act (TSCA; États-Unis), le monoBDE, le pentaBDE, l'octaBDE et le décaBDE doivent être déclarés par les producteurs et importateurs sur les sites industriels.
 - La TSCA a été modifiée en 2016 par la Frank R. Lautenberg Chemical Safety Act, qui oblige notamment l'U.S. EPA à évaluer les risques associés aux substances chimiques, dont le décaBDE, pour favoriser les mesures visant à réduire l'exposition à ces substances.
- En 2006, les Significant New Use Rules (SNUR) de l'U.S. EPA (74 FR 34015) imposaient à quiconque souhaitait produire ou importer un mélange chimique contenant du pentaBDE ou de l'octaBDE d'en informer l'U.S. EPA au moins 90 jours à l'avance, pour permettre à cette dernière d'évaluer l'usage recherché du produit chimique ou du mélange et de déterminer si cet usage devait être restreint ou interdit.
 - En 2012, une proposition de modification des SNUR visait la transformation de toute combinaison de congénères du pentaBDE et de l'octaBDE, la fabrication, l'importation ou la transformation du décaBDE et la fabrication, l'importation ou la transformation de tout article auquel des PBDE étaient ajoutés.
 - Parallèlement, des exigences en matière de détection du pentaBDE, de l'octaBDE et du décaBDE ont été ajoutées à l'article 4 de la TSCA, qui imposeraient la communication de renseignements permettant de déterminer les effets sur la santé et l'environnement de la fabrication, de la transformation et de toute utilisation de ces mélanges de PBDE.
 - À ce jour, la modification de tous ces règlements n'est toujours pas terminée et il n'existe aucune interdiction formelle visant le décaBDE, les congénères du pentaBDE et de l'octaBDE et les produits contenant des PBDE.

Mesures de prévention de la pollution

- En vertu du plan d'action de l'U.S. EPA visant les PBDE (2009), le rapport intitulé *Alternatives Assessment for the Flame Retardant Decabromodiphenyl Ether* a évalué 29 formes distinctes de décaBDE potentiellement viables.

Surveillance, contrôle et recherche

- L'U.S. EPA est chargée, en vertu de la Clean Water Act, de créer un réseau de surveillance du bassin des Grands Lacs pour contrôler la qualité de l'eau des Grands Lacs et surveiller en particulier les polluants toxiques présents dans les médias environnementaux du bassin.
 - Des programmes à long terme permettent d'évaluer la santé environnementale en suivant les tendances en matière de PBDE.

Mesures prises par les provinces et les États

- Comme cela a été mentionné plus haut, ECCC et le MEPP assurent, dans le cadre des activités en cours liées au Programme des Grands Lacs, détectent et surveillent la présence de PBDE dans les eaux de surface et les sédiments des Grands Lacs.
- Des États riverains des Grands Lacs, soit l'Illinois, le Michigan, le Minnesota et l'État de New York, ont interdit la fabrication, la transformation ou la distribution de produits ou de composants ignifugeants de produits contenant plus de 0,1 % de pentaBDE et d'octaBDE.
 - Le Michigan et le Minnesota ont prévu des exemptions pour certains produits.
 - À compter du 1er juillet 2019, le Minnesota a aussi interdit certains produits contenant plus de 0,1 % de décaBDE.
- D'autres États riverains des Grands Lacs, soit la Pennsylvanie, l'Ohio et le Wisconsin, ne disposent pas de réglementation étatique visant les PBDE. Cependant, la Pennsylvanie et le Wisconsin ont instauré des lois obligeant le recyclage des produits électroniques et interdisant leur élimination dans des décharges ou des incinérateurs.

Mesures binationales

- Le Réseau de mesure des dépôts atmosphérique (IADN; États-Unis) et le Programme de contrôle et de surveillance du bassin des Grands Lacs (BGL) (Canada), respectivement gérés par l'U.S. EPA et ECCC, consistent en des stations de surveillance atmosphérique à long terme, en service depuis 1991, et s'inscrivent dans un effort commun de mise en œuvre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (AQEGL).
 - Ces deux programmes ont pour but de déterminer les tendances spatiales et temporelles des produits chimiques toxiques présents dans l'air dans le bassin des Grands Lacs, d'estimer les teneurs atmosphériques en produits chimiques toxiques dans la région des Grands Lacs et de localiser les sources ou les régions émettrices.
 - Des méthodes ont été élaborées pour les PBDE, depuis qu'ils ont été ajoutés, en 2005, à la liste des analytes régulièrement surveillés.
 - Les données sont rendues publiques sur des plateformes de données ouvertes étatsuniennes et canadiennes.

Mesures internationales

- La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP), qui s'inscrit dans le cadre du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), a inscrit en 2009 le tétraBDE, le pentaBDE, l'hexaBDE et l'heptaBDE dans son Annexe A en prévoyant certaines exemptions. Le décaBDE a quant à lui été ajouté à la Convention en 2017.

- L'ajout du décaBDE à l'annexe A de la Convention vise à éliminer la production, l'utilisation, l'importation et l'exportation de cette substance. Le Canada a signé et ratifié la Convention en 2001.
- En avril 2011, le Canada a ratifié l'ajout du tétraBDE, du pentaBDE, de l'hexaBDE et de l'heptaBDE à la Convention et applique, depuis, cette dernière par l'entremise de son Règlement sur certaines substances toxiques interdites (2012) (DORS/2012-285).
- Les États-Unis ont signé la Convention, mais doivent encore le ratifier, l'accepter, l'approuver ou y adhérer. Celle-ci n'est donc pas encore entrée en vigueur aux États-Unis.
- La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination porte sur la gestion des POP lorsqu'ils deviennent des déchets.
 - Dans le cadre de la Convention de Bâle, des directives techniques ont été élaborées pour permettre une gestion écologique efficace des déchets qui sont composés de PBDE, en contiennent ou sont contaminés par ces derniers.
 - Le Canada a signé et ratifié la Convention de Bâle en 1992.
 - Les États-Unis ont signé la Convention en 1990, mais ne l'ont pas encore ratifiée.

Lacunes dans les données et mesures supplémentaires requises

Sources

- Il existe peu de données sur les producteurs, les transformateurs ou les utilisateurs de PBDE au Canada et aux États-Unis.
- Il est nécessaire d'analyser les produits importés pour connaître leur teneur en PBDE.
- Il n'existe aucune exigence de communication sur la teneur en PBDE des produits finis.

Mesures de gestion des risques

- Aucune réglementation visant l'importation des produits fabriqués contenant des PBDE n'a été mise en place au Canada.
- Il est nécessaire d'organiser des campagnes de promotion de la conformité afin d'améliorer la sensibilisation et la conformité.
- Aux États-Unis, les SNUR ne visent pas le décaBDE, l'ensemble des congénères du pentaBDE et de l'octaBDE et les produits contenant des PBDE. L'utilisation de ces derniers n'est donc toujours pas interdite.
- Les PBDE ne sont également pas visés par le Clean Air Act ni par le Clean Water Act et il serait nécessaire d'évaluer le profil de risques des PBDE pour la santé humaine et l'environnement et de déterminer s'il serait utile que d'autres règlements encadrent les PBDE.
- Il est impossible d'évaluer le rendement des activités de gestion des risques existantes, les données de surveillance disponibles sont insuffisantes.
- Aucune norme environnementale en matière de qualité de l'eau ou de concentrations dans les biotes, l'alimentation ou les sédiments n'est actuellement en vigueur aux États-Unis.
- Enfin, il n'existe aucune recommandation relative à la santé humaine ou d'avis en matière de consommation de poissons.

Surveillance, contrôle et recherche

- Il est nécessaire de surveiller davantage les PBDE dans les médias environnementaux dans le bassin des Grands Lacs, afin de mieux comprendre les tendances à long terme et le transport et les dépôts atmosphériques sur de grandes distances.
- Des travaux de recherche approfondis doivent être également menés sur les effets de la dégradation des sous-produits des PBDE.
- Un travail supplémentaire de surveillance et de modélisation des PBDE et des autres produits ignifugés bromés prenant leur place dans les médias environnementaux s'avère également nécessaire.
- Les volumes des rejets issus des produits utilisés et des rejets possibles de PBDE provenant du flux de déchets (décharges et incinérateurs) demeurent inconnus.

Références

- Abbasi, G., Diamond, M., Soehl, A., and Murray, M. (2014). Great Lakes PBDE reduction project summary paper No. 1: PBDE product inventory. Great Lakes Commission.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2017a). Toxicological Profile for Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). Atlanta, GA. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/TP.asp?id=901&tid=183>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2017b). Public Health Statement for PBDEs. CAS# : 67774-32-7. Retrieved from <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=1449&tid=183>.
- Environnement Canada. (2006a). Rapport d'évaluation écologique préalable des polybromodiphényléthers (PBDE). Extrait de https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/main/lcpe-cepa/documents/substances/pbde/rep_pbde-fra.pdf.
- Environnement Canada. (2006b). Stratégie de gestion du risque pour les polybromodiphényléthers (PBDE). Division du secteur des produits chimiques, Direction générale de l'intendance environnementale. Extrait de <http://publications.gc.ca/site/fra/9.643009/publication.html>.
- Environnement Canada. (2010). Rapport sur l'état des connaissances scientifiques écologiques concernant le décabromodiphényléther (décaBDE). Extrait de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/rapport-etat-scientifiques-ecologiques-decabromodiphenylether.html>.
- Environnement Canada. (2011). Polybromodiphényléthers dans l'environnement canadien. Extrait de http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/ec/En14-53-2011-fra.pdf.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2016). Liste des substances toxiques : PBDE. Extrait de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-substances-toxiques/liste-loi-canadienne-protection-environnement/polybrominated-diphenyl-ethers.html>.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2017). Polybromodiphényléthers dans les poissons et les sédiments. Extrait de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/polybromodiphenylethers-poissons-sediments.html>.
- Environnement et Changement climatique Canada. (2020). Polybromodiphényléthers dans les poissons et les sédiments – Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement. Extrait de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/polybromodiphenylethers-poissons-sediments.html>.

- Environnement et Changement climatique Canada et U.S. Environmental Protection Agency. (2017). État des Grands Lacs 2017 – Rapport technique. N° au catalogue : En161-3/1F-PDF. EPA 905-R-17-001. Extrait de https://binational.net/wp-content/uploads/2017/09/SOGL_2017_Technical_Report-FR.pdf.
- Gandhi, N., Gewurtz, S.B., Drouillard, K.G., Kolic, T., MacPherson, K., Reiner, E.J., and Bhavsar, S.P. (2017). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Great Lakes fish: Levels, patterns, trends and implications for human exposure. *Sci Total Environ*, 576, 907-916.
- Gewurtz et al. (2011). Spatial trends of polybrominated diphenyl ethers in Canadian Fish and Implications for Long-Term Monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(7), 1564-1575.
- Gouin, T. and Mackay, D. (2002). Modelling the long-range transport potential of PBDEs. 4th Annual Workshop on Brominated Flame Retardants in the Environment. June 17-18, 2002. Canada Centre for Inland Waters, 867 Lakeshore Road, Burlington, Ontario. P. 59-62.
- Gouvernement du Canada. (2006). Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Décret d'inscription de substances toxiques à l'annexe 1 de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), C.P. 2006-1516, le 7 décembre 2006, DORS/2006-333, Gazette du Canada, Partie II, vol. 140, n° 26, p. 2147. Extrait de <https://gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2014/2014-02-15/html/reg4-fra.html>.
- Gouvernement du Canada. (2018). Résumé sur les substances interdites : polybromodiphényléthers. Extrait de <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/resume-substances-interdites-polybromodiphényléthers.html>.
- International Agency for Research on Cancer. (2020). IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. World Health Organization. Retrieved from <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>.
- International Joint Commission. (2015). Polybrominated Diphenyl Ethers in the Great Lakes Basin. Final Report. Submitted to the IJC Great Lakes Water Quality Board Legacy Issues Working Group. Prepared by Duncan Bury Consulting.
- International Joint Commission. (2016). Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Great Lakes Basin: Reducing Risks to Human Health and the Environment.
- Li, A., Rockne, K., Sturchio, N., Song, W., Ford, J., Buckley, D., and Mills, W. (2006). Polybrominated diphenyl ethers in the sediments of the Great Lakes. Influencing factors, trends, and implications. *Environ Sci Technol*, 40, 7528–34.
- Liu, L., A. Salamova, M. Venier, R.A. Hites (2016). "Trends in the levels of halogenated flame retardants in the Great Lakes atmosphere over the period 2005-2013." *Environment International*, 92-93, 442-449.
- Qiu, X., Marvin, C.H., and Hites, R.A. (2007). Dechlorane plus and other flame retardants in a sediment core from Lake Ontario. *Environ Sci Technol*, 41, 6014–6019.
- Santé Canada. (2006). Rapport sur l'état des connaissances scientifiques sous-jacentes à une évaluation préalable des effets sur la santé : Polybromodiphényléthers (PBDE). Cat. : H128-1/06-480F. Extrait de https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/pbde/pbde-fra.pdf.
- Santé Canada. (2012). Rapport sur l'état des connaissances scientifiques concernant les effets du décabromodiphényléther (décaBDE) sur la santé humaine. Extrait de <https://www.ec.gc.ca/ese-ees/92D49BA9-4B11-4C56-BDB0-9A725C5F688E/DecaBDE%20-%20Final%20SoS%20-%20FR.pdf>.
- Su, G., Letcher, R.J., Moore, J.N., Williams, L.L., Martin, P.A., de Solla, S.R., and Bowerman, W.W. (2015). Spatial and temporal comparisons of legacy and emerging flame retardants in herring gull eggs

- from colonies spanning the Laurentian Great Lakes of Canada and United States. *Environmental Research*, **142**, 720-730.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Integrated Risk Information System: Chemical Assessment Summary, 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6' Decabromodiphenyl ether (BDE-209); CASRN 1163-19-5 https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0035_summary.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010). An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE) Final Report. (EPA/600/R-08/086F). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013). "Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Significant New Use Rules (SNUR)." www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/polybrominated-diphenylethers-pbdesignificant-new-use
- U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Technical Fact Sheet – Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polybrominated Biphenyls (PBBs). (EPA 505-F-14-006). Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). Technical Memorandum: 2010 National Coastal Condition Assessment, Great Lakes. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-07/documents/ncca_great_lakes_2010_tech_memo.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017a). Toxics Release Inventory (TRI) Program. Persistent Bioaccumulative Toxic (PBT) Chemicals Covered by the TRI Program. Retrieved from <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/persistent-bioaccumulative-toxic-pbt-chemicals-covered-tri>.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017b). Assessing and Managing Chemicals under TSCA. Background Documents for Persistent, Bioaccumulative, and Toxic (PBT) Chemicals. Retrieved from <https://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/background-documents-persistent-bioaccumulative-and>.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017c). Technical Fact Sheet – Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). Retrieved from https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january2014_final_0.pdf.
- Wania, F. and C.B.Dugani. 2003. Assessing the long-range transport potential of polybrominated diphenyl ethers: a comparison of four multimedia models. *Environ. Toxicol. Chem.* 22(6): 1252 – 1261.