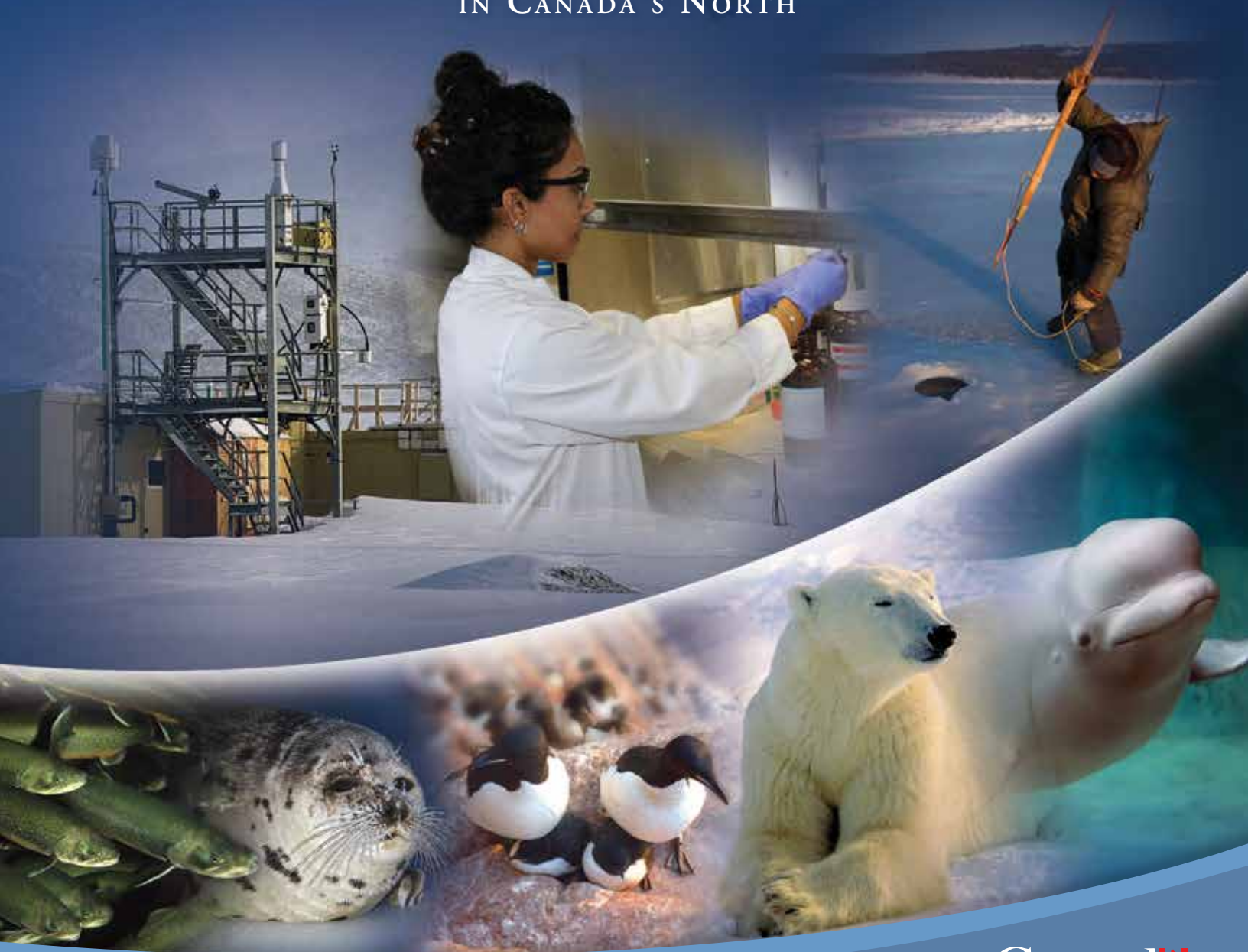




NORTHERN CONTAMINANTS PROGRAM

CANADIAN ARCTIC CONTAMINANTS  
ASSESSMENT REPORT III  
2013

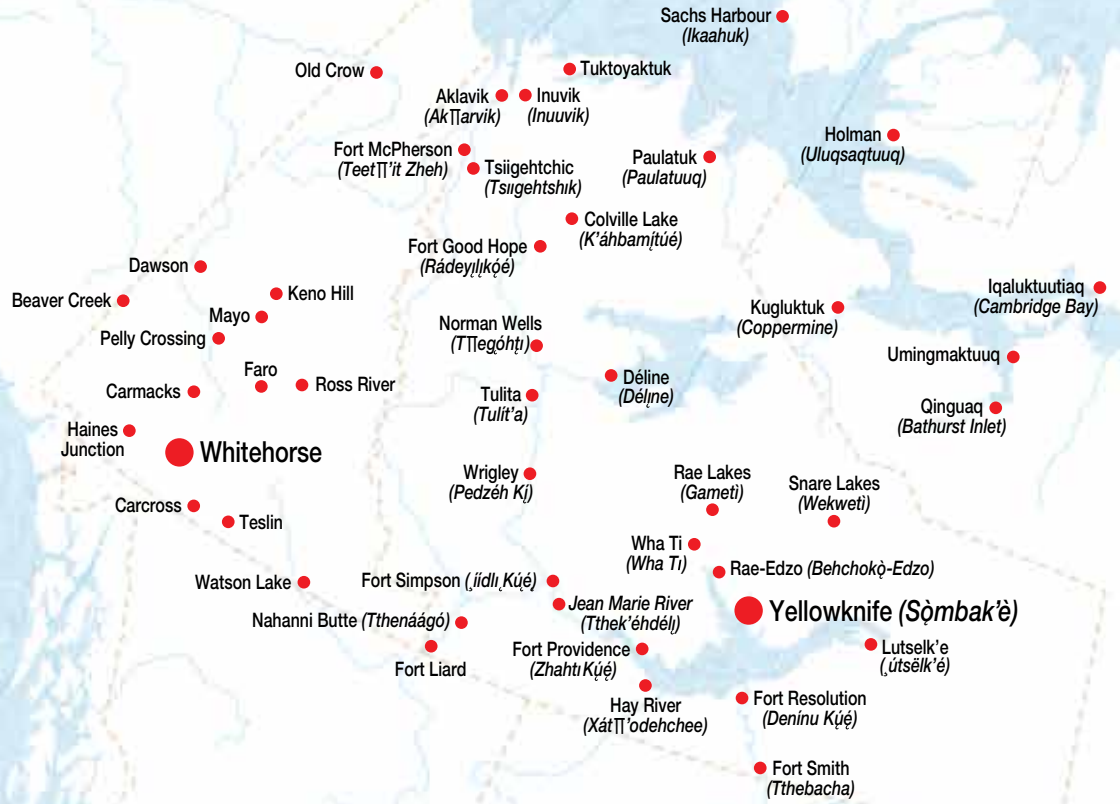
PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS  
IN CANADA'S NORTH



Chukchi Sea

Arctic Ocean

Beaufort Sea







Alert

Ausittuq  
(Grise Fiord)

Resolute  
(Qausuittuq)

Ikpiarjuk/Tununirusiq  
(Arctic Bay)

Mittimatalik  
(Pond Inlet)

Kangiqtugaapik  
(Clyde River)

Baffin Bay

Taloyoak

Igloolik

Qikiqtarjuaq  
(Broughton Island)

Uqsuqtuuq  
(Gjoa Haven)

Kugaaruk  
(Pelly Bay)

Sanirajak  
(Hall Beach)

Pangnirtung

Naujaat  
(Repulse Bay)

Iqaluit

Qamanittuaq (Baker Lake)

Salliq  
(Coral Harbour)

Kinngait  
(Cape Dorset)

Kimmirut  
(Lake Harbour)

Igluligaarjuk (Chesterfield Inlet)

Ivujivik

Salluit

Kangiqsujuaq

Quaqtaq

Kangiqliniq (Rankin Inlet)

Tikirarjuaq (Whale Cove)

Akulivik

Kangirsuk

Arviat

Puvimituq

Aupaluk

Tasiujaq

Kuujjuaq

Kangiqsualujjuaq

Nain

Hudson Bay

Inukjuak

Hopedale

Postville

Makkovik

Sanikiluaq

Umiujaq

Rigolet

Kuujuarapik

Happy Valley/Goose Bay

## Editors

Derek Muir, Perihan Kurt-Karakus and Jason Stow

## Reviewers

**Chapter 2:** Susan Bengtson Nash (Griffith University, Australia), Knut Breivik (Norwegian Institute for Air Research, Norway)

**Chapter 3:** Ian Cousins (Stockholm University, Sweden), Roland Kallenborn (Norwegian University of Life Sciences, Norway), Renata Raina-Fulton (University of Regina, Saskatchewan)

**Chapter 4:** John Kucklick (National Institute of Standards and Technology, USA), Frank Riget (Aarhus University, Denmark), Katrin Vorkamp (Aarhus University, Denmark),

**Chapter 5:** Cynthia de Wit (Stockholm University, Sweden), Jonathan Verreault (Université du Québec à Montréal, Québec)

**Chapter 6:** Mark Hermanson (University Centre in Svalbard, Norway), Jessica Reiner (National Institute of Standards and Technology, USA)

## Acknowledgements

The editors would like to thank Rosalia Falco (Larocque linguistic services Inc) for editorial review of the final document and Annette Vogt (Forest Communications) for leading the production of graphics and text layout. We also thank Russell Shearer (Director, Northern Science and Contaminants Research Directorate, Aboriginal Affairs and Northern Development Canada), Sarah Kalhok Bourque and Scott Tomlinson (Northern Contaminants Program Secretariat), and the Management Committee of the Northern Contaminants Program for their support of this assessment. We would also like to acknowledge the Aboriginal organizations that have supported the NCP program and its contaminant measurement projects. In particular we would like to thank the community councils and Hunters and Trappers Organizations of communities in the Yukon, NWT, Nunavut, Nunavik and Nunatsiavut. Their cooperation and active participation in the collection of biological samples made all of this work possible.

### Lay-out, technical production and printing

Forest Communications, Ottawa ON

## Citation

*The full report may be cited as:*

NCP 2013. Canadian Arctic Contaminants Assessment Report On Persistent Organic Pollutants – 2013.

Muir D, Kurt-Karakus P, Stow J. (Eds). Northern Contaminants Program, Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Ottawa ON. xxiii + 487 pp + Annex

*The editors encourage citation of individual chapters by including the following:*

Coordinating authors and contributors, Chapter # and title, Northern Contaminants Program, Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Ottawa ON, page numbers

Cover photos: Rodd Laing, Janice Lang, Jennifer Provencher, Adam Socha, iStockphoto, Shutterstock

For information regarding reproduction rights, please contact Public Works and Government Services Canada at: 613-996-6886 or at: [droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca](mailto:droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca)

[www.aandc-aadnc.gc.ca](http://www.aandc-aadnc.gc.ca)

1-800-567-9604

TTY only 1-866-553-0554

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by the *Minister of Aboriginal Affairs and Northern Development*, 2013



# Canadian Arctic Contaminants Assessment Report on Persistent Organic Pollutants

## Report Structure and Contributing Authors

Executive Summary .....	iii
Acronyms and Abbreviations.....	xxi
Chapter 1 – Introduction .....	1
<b>Coordinating authors:</b> Derek Muir and Perihan Kurt-Karakus	
Contributors: Perihan Kurt-Karakus, Eva Krümmel and Derek Muir	
Chapter 2 – Properties, Sources, Global Fate and Transport .....	19
<b>Coordinating authors:</b> Terry Bidleman and Perihan Kurt-Karakus	
Contributors: James Armitage, Terry Bidleman, Tanya Brown, Monica Danon-Schaffer, Paul Helm, Hayley Hung, Liisa Jantunen, Perihan Kurt-Karakus, Henrik Kylin, Yi-Fan Li, Daniela Looock, Carol Luttmner, Jianmin Ma, Robie Macdonald, Don Mackay, Liisa Reid, Ken Reimer	
Chapter 3 – Occurrence and Trends in the Physical Environment.....	147
<b>Coordinating authors:</b> Hayley Hung and Perihan Kurt-Karakus	
Contributors: Lutz Ahrens, Terry Bidleman, Marlene Evans, Crispin Halsall, Tom Harner, Hayley Hung, Liisa Jantunen, Perihan Kurt-Karakus, Sum Chi Lee, Derek Muir, Mahiba Shoeib, Gary Stern, Ed Sverko, Yushan Su, Penny Vlahos, Hang Xiao	
Chapter 4 – Occurrence and Trends in the Biological Environment .....	273
<b>Coordinating authors:</b> Derek Muir, Perihan Kurt-Karakus and Jason Stow	
Contributors: Jules Blais, Birgit Braune, Craig Butt, Emily Choy, Amila De Silva, Marlene Evans, Barry Kelly, Perihan Kurt-Karakus, Nic Larter, Robert Letcher, Melissa McKinney, Adam Morris, Derek Muir, Gary Stern, Greg Tomy	
Chapter 5 – Biological Effects of Halogenated Organic Contaminants.....	423
<b>Coordinating authors:</b> Peter Ross and Lisa Loseto,	
Contributors: Birgit Braune, Tanya Brown, Kelly Johnson, Robert Letcher, Lisa Loseto, Derek Muir, Ken Reimer, Peter Ross	
Chapter 6 – Interlaboratory Quality Assurance for the Northern Contaminants Program .....	457
<b>Coordinating authors:</b> Victoria Tkatcheva and Eric Reiner	
Contributors: Mehran Alaei, Barry Ali, Rita Dawood, Cathy Doehler, Rania Farag, Sathi Selliah, Ed Sverko, Dan Toner	
Glossary .....	481







# Executive Summary

## 1. The Context of This Assessment

The Northern Contaminants Program (NCP) was established in 1991 in response to concerns about human exposure to elevated levels of contaminants in wildlife species that are important to the traditional diets of northern Aboriginal peoples. This is the third assessment of persistent organic pollutants (POPs) conducted by the NCP and the first that focusses solely on POPs. It is a companion document to the Mercury assessment, as well as an earlier Human Health assessment. Previous assessments in 1997 and 2003 summarized results of Phase I (1991-1996) and Phase II (1997-2002) of the NCP and included both heavy metals and POPs. Under Phase III of the program which began in 2003-04, environmental monitoring focussed on fewer sampling sites for both air and biological samples (Table 1). The biological sampling programs were redesigned with the goal of being able to detect a 10% annual change in contaminant concentration over a period of 10-15 years with a power of 80% and confidence level of 95%. This involved moving to annual sampling for key species (beluga, ringed seals, seabirds, arctic char) and, for beluga and ringed seals, a reduction in the number of locations sampled. Starting in 2009, analysis of high volume air sample extracts from

Alert was reduced to one sample every month with the remaining sample extracts archived and temporal trends for ringed seals, arctic char and beluga were limited to two or three major sites per species.

In addition to the enhanced long-term monitoring program, the NCP continued to fund research into pathways, processes and biological effects of POPs in the Canadian Arctic. This included modeling of long range atmospheric and oceanic transport, assessment of bioaccumulation and biomagnification in arctic food-webs, studies on the potential impact of climate change on POPs in the Arctic, and a comprehensive study of biological effects in beluga whales.

This assessment covers results on POPs in the Canadian Arctic over the period of 2003 to 2011. It draws on results from Phase III of the NCP (2003-2011) as well as on any other published or unpublished studies up to early 2013. This 8 to 9 year reporting period has seen much new knowledge developed on temporal trends of POPs in air and biota, new POPs in many environmental compartments, and on ocean transport to the Arctic. The possible influence of climate warming on trends of POPs has also been investigated.

**TABLE 1.** Overview of NCP POPs monitoring program media 2003–2011

Media	Locations	Sampling years <sup>1</sup>	Frequency
Air – hi volume	Alert	1992–2010	7 day continuous
Air – passives	Up to 7 arctic/sub-arctic locations	2005–2011	Quarterly
Arctic char (searun)	Cambridge Bay, Pond Inlet, Nain	2004–2011	Annual
Arctic char (landlocked)	Lakes Resolute, Char, Amituk and Hazen	2004–2011	Annual
Burbot	Fort Good Hope, Great Slave Lake West Basin and East Arm	2004–2011	Annual
Lake trout	Lake Laberge, Kusawa Lake, Great Slave Lake West Basin and East Arm	2004–2011	Annual
Caribou	Northern Yukon and Southwestern Nunavut (Porcupine, Qamanirjuaq herds)	2006, 2008	Single study
Ringed seals	Arviat, Resolute, Sachs Harbour and other locations to 2009	2004–2011	Annual
Beluga	South Beaufort, Cumberland Sound	2004–2011	Annual
Polar bears	West Hudson Bay and other locations	2004–2011	Annual
Seabirds (thickbilled murre, northern fulmar)	Prince Leopold Island, Coats Island	2004–2011	Annual

<sup>1</sup>All programs include data from earlier years based on existing data or reanalysis of archived samples





## 2. NCP Science to Policy Actions

The period of scientific developments covered by this assessment was also highly significant for global regulatory action on POPs. Most notably, the Stockholm Convention on POPs entered into force in 2004 introducing global regulations aimed at eliminating, or severely curtailing, emissions of the so-called “dirty dozen” POPs. The development of the Stockholm Convention is regarded as a major achievement for the NCP which, along with Arctic Council’s Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), provided much of the foundational science upon which the Convention is based. This assessment documents declining levels of many of the dirty dozen POPs, also referred to as legacy POPs, and also presents data on many of the so-called new POPs, 11 of which have been added to the Stockholm Convention since 2004. Data and information from the NCP contributed to the addition of these new POPs and will continue to play a critical role in the assessment of future new POPs. The NCP will also be providing updated information from this assessment to the 2015 second report of the Global Monitoring Plan established under Article 16 of the Stockholm Convention. The ongoing active participation of the NCP on national and international initiatives related to the assessment and regulation of POPs will ensure that NCP science continues to have a significant influence on policies to protect ecosystem and human health in Canada’s North. The following scientific recommendations have been developed based on NCP’s continuing role to provide scientific input to domestic and international regulatory initiatives, and to better inform policy development at national and international levels.

### Recommendation:

- There is a need for continued monitoring of POPs in the Arctic in order to ensure that the Stockholm Convention is effective at reducing levels of these pollutants in the environment. There is also a need for ongoing surveillance of emerging chemical contaminants, whose detection in the Arctic environment provides strong evidence for having them added to the Stockholm Convention as new POPs.
- In order to improve the regulation of POPs, domestic and international regulatory agencies require a better understanding of how POPs behave in the environment and the effects that they have on ecosystems and human health. As recommended by this assessment and echoed by international organizations such as UNEP and AMAP, a better

understanding of how climate change will influence POPs is also needed. Predicting the impacts climate change will have on POPs will be critical to future development of POPs regulations and evaluating the effectiveness of these regulations.

## 3. Information on the Chemicals of Interest Has Expanded

The list of individual compounds analysed was expanded in Phase III particularly for perfluorinated and polyfluorinated alkyl substances (PFASs), brominated flame retardants (BFRs) and current use pesticides (CUPs). About 35 chemicals or chemical groups that were not previously reported, or for which only very limited measurements were available in the previous assessment, have been detected particularly in arctic air, snow and biota (Table 2). See the Glossary for more details on the chemical names and abbreviations.

Among the chlorinated organics, PCNs are now more widely measured (air, seals, beluga, seabirds). Only limited new data were available for chlorinated paraffins over the period 2003–2011 due to analytical difficulties for the labs involved with measurement. Both the PCNs and short chain chlorinated paraffins (SCCPs) are currently being evaluated for inclusion in the Stockholm Convention.

New groups of chemicals measured in the past 10 years included CUPs such as dacthal, PCNB, trifluralin and chlorthalonil which became routinely reported for air and seawater. Limited measurements of CUPs were also made in marine and terrestrial food webs which indicated that these CUPs do not biomagnify. About 20 brominated and chlorinated flame retardant chemicals also were included in analytical suites. Many were also being assessed under Canada’s Chemicals Management Plan. For HBCDD, the most widely detected non-PBDE flame retardant, the data for HBCDD in Canadian arctic biota formed an important part of the risk profile adopted by the Stockholm Convention in 2010. However most of the other non-PBDE BFRs have been below detection limits in air and biological samples.

The discovery of oly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs) in arctic wildlife, and subsequently in all environmental compartments, is perhaps the most surprising result of the past 10 years of arctic contaminants monitoring. Unlike chlorinated and brominated POPs, these chemicals are relatively water soluble and “oleophobic”,



**TABLE 2.** Major groups of POPs and other persistent organics in environmental compartments of the Canadian Arctic determined under the NCP core monitoring and research programs

	NCP I (1991-1996)	NCP II (1997-2002)	NCP III (2003-2011)
PCBs <sup>1</sup>	Air, snow, sediment, seawater, biota	Air, seawater, sediment, biota	Air, snow, seawater, biota
OC pesticides <sup>2</sup>	Air, snow, sediment, seawater, biota	Air, seawater, sediment, biota	Air, snow, biota
Chlorobenzenes	Air, snow, sediment, seawater, biota	Air, seawater, sediment, biota	Air, snow, biota
Chlorinated dioxins/furans	Biota	Air, sediment, biota	Biota
Chlorinated naphthalenes (PCNs)		Air, biota	Air, biota
Chlorinated paraffins		Air, sediment, biota	Biota
Endosulfan		Air, seawater, biota	Air, seawater, biota
Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs)		Sediment, biota	Air, snow, seawater, sediment, biota
Hexabromocyclododecane (HBCDD)			Air, snow, seawater, biota
Other Brominated and chlorinated flame retardants			Air, snow, seawater, biota
Penta and hexabromobiphenyls			Air, biota
Current use pesticides <sup>3</sup>			Air, snow, seawater, lake water, biota
Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and other perfluoro-alkyl acids and alcohols			Air, snow, seawater, lake water, sediment, biota
Siloxanes			Air

<sup>1</sup>various congeners depending on the study; <sup>2</sup>DDTs, hexachlorocyclohexanes (HCHs), chlordanes, toxaphene; <sup>3</sup>Current use pesticides including dacthal, chlorothalonil, chlorpyrifos, pentachloronitrobenzene (PCNB), trifluralin.

accumulating in protein rich tissues such as liver and blood. The precursors of PFOS and other PFASs are highly volatile and best measured in the atmosphere. However they can be degraded in the atmosphere to persistent and bioaccumulative substances. The presence of high levels of PFOS and long chain perfluorocarboxylates (PFCAs) in arctic marine mammals and polar bears also illustrated the need to examine a broader array of chemicals for their ability to be transported to the Arctic, to be transformed to persistent substances, and to accumulate in arctic food webs.

The use of passive air samplers began under Phase III and results for Arctic locations from this program, which was part of the Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) network were comparable with the active high volume sampling at Alert. Passive air samplers are advantageous because of their low cost, simple construction and electricity-free operation. Modification of the absorbent in the samplers enabled sampling of volatile precursors of PFOS and PFCAs as well as volatile methyl siloxanes in Arctic air and comparisons with rural and urban areas around the globe. However, low air concentrations in the Arctic often result in detectability issues. A newly developed flow-through passive sampler, which has shown comparable results at a much lower cost and maintenance than high-volume air sampling at Alert may resolve this issue.

The importance of particle transport of non-volatile contaminants such as the widely used flame retardant decaBDE has been demonstrated by the detection of elevated concentrations in the Devon Island ice cap. This transport pathway was previously recognized mainly for inorganic chemicals such as lead or sulfate. Other “new” flame retardant chemicals in air samples taken at Alert are also mainly on particles. BFRs such as bis(tribromophenoxy) ethane, ethylhexyl-tetrabromobenzoate and bis(ethylhexyl) tetrabromophthalate were generally detected with concentrations similar to those of the dominant PBDE congeners.

Several independent studies that have screened chemicals in commerce have demonstrated there are hundreds of substances with properties similar to those of known persistent organic chemicals detected in the Arctic. These may be future candidates for monitoring in Arctic air and wildlife. To model the transport of these candidate chemicals to the Arctic requires information on quantities of chemicals used and emitted in source regions. This information is generally not available except for CUPs. However, modeling of long range atmospheric transport of POPs has advanced to the point that it is possible to use a global model to suggest a cap on the annual emissions in various parts of the world, depending on the efficiency of transport to a vulnerable area.



The detection of perfluorinated alkyl acids such as PFOS and PFOA in arctic seawater, along with global modeling, has demonstrated the importance of ocean transport of contaminants. The slow movement and large mass of seawater also underlines the very long term nature of the exposure of arctic marine food chains to contaminants. The discovery of the PFASs in seawater has led to a tremendous expansion of modelling of long range ocean transport (LROT) transport of PFASs and other POPs to the Arctic. Environmental measurements of two major PFASs, PFOS and PFOA are in reasonable agreement with currently available data for ocean waters suggesting that available emission estimates for these two compounds are plausible. Modelling results suggest that redistribution of these contaminants from lower latitudes to the Arctic Ocean is ongoing and the total mass (and average concentration) of PFOA and PFOS in the marine environment is expected to increase for the next 10 to 20 years. A major conclusion from LROT modelling is that exposure of marine food webs to more water soluble POPs in the eastern Arctic waters, may be substantially different than exposure elsewhere e.g. in the western Canadian arctic waters. This pattern of distribution is distinct from LRAT, which tends to result in more uniform deposition fluxes and therefore of concentrations/exposure in the water column. This is borne out by observations of different concentrations and rates of change of POPs in beluga and ringed seals from the southern Beaufort Sea compared to Hudson Bay and Cumberland Sound regions.

#### Recommendations:

- Much further work is needed to assess whether climate change, particularly warming trends, is affecting POPs transport to the Arctic.
  - Urgent need for more research on other particle bound organic chemicals that may be entering the arctic environment.
  - More data are required on the quantities of chemicals used and emitted in source regions.
  - Monitoring programs need to consider including a broader range of chemicals, including both parents and transformation products, which may have POP-like properties to assess their potential for long-range transport as well as to assess changes by developing time trends in different media. Chemicals with potential for arctic contamination can first be identified using fate and transport models.
- More focus is needed on new candidate chemicals on current Stockholm Convention and UNECE LRTAP Convention lists (PCNs, pentachlorophenol, hexachlorobutadiene) as well as on SCCPs, chlordecone and hexabromobiphenyl in order to fully assess their importance as contaminants in the biological environment.

#### 4. Knowledge of Time Trends of POPs Has Greatly Improved

Temporal trends of POPs listed in the Stockholm Convention and on other persistent organic chemicals are summarized in Table 3 by colour-coding (Green for declines; red for increases). Results for air monitoring indicate that many legacy POPs, including organochlorine (OC) pesticides and PCBs, are declining. Results for air sampled at Alert, on Northern Ellesmere Island, indicate that the rates of decline for the legacy POPs were generally more rapid in the period 1993 to 2001 compared to 2002 to 2009 (the most recent year reported). While overall trends (1993-2009) for PCBs show a decline, the rates have slowed and some more highly chlorinated congeners have increased slightly in recent years. These increases may be associated with the increase in boreal forest fires that release previously deposited organic chemicals, such as PCBs. Changes associated with sea-ice cover and the cryosphere in general could also be a factor. Chlorinated pesticides such as hexachlorocyclohexanes (HCHs, particularly  $\gamma$ -HCH or lindane), DDT- and chlordane-related compounds (CHL) show more consistent declines over the period 1993 to 2009. Lindane was de-registered in Canada for use on canola seeds in July 2001 and a ban was introduced in 2004; air concentrations declined steadily as of 2001. Another widely used pesticide, endosulfan, showed steady concentrations in the period 1993 to 2001 but declining concentrations from 2006 to 2009 possibly reflecting reduced use in Canada, the USA, and Europe as this insecticide came under greater regulatory scrutiny.

Despite recent measurements of PFASs, time-series data for other POPs in seawater remain a major knowledge gap for Arctic contaminants. This information is crucial for understanding the fate and trends of contaminants and would be particularly useful for less bioaccumulative, more water soluble chemicals, such as current use pesticides. There is a need to clarify the relative importance of atmospheric and oceanic inputs as well as the relative importance of direct and precursor emissions to different remote ecosystems. Given the challenges for obtaining POPs



data by large volume water sampling due to ship board contamination and infrequent cruises, consideration needs to be given to deploying passive samplers.

The statistical power of the temporal trend datasets for POPs in fish, seabirds and marine mammals has improved since the publication of CACAR II in 2003 and some datasets are capable of detecting a 5% change in concentration at a power of 80%. The main reason for the increased power is the introduction of annual sampling of key monitoring species beginning in 2004 which has increased the number of sampling years.

The declining trend in concentrations in biota is most apparent for OC pesticides and less evident for PCBs and chlorobenzenes ( $\Sigma$ CBz) (Table 3). In marine species, percent annual declines of  $\Sigma$ DDT ranged from 2.5%/year in thick-billed murre eggs (Lancaster Sound) to 11%/year in polar bear fat (western Hudson Bay, WHB). Declines of chlordane-related compounds ( $\Sigma$ CHL) ranged from 1.2%/year in murre eggs to 7.4%/year in blubber of ringed seals in Hudson Bay, while polar bears (WHB) showed no decline. Total HCHs ( $\Sigma$ HCH) declined in seals, beluga and polar bears due to rapid decline of the major isomer  $\alpha$ -HCH (e.g. 12%/year in bears). However,  $\beta$ -HCH, the more bioaccumulative isomer, increased in the same species. This increase in  $\beta$ -HCH in seals varied regionally, with large increases in South Beaufort Sea seals (16% at Ulukhaktok) and a decline in Hudson Bay (2.5%/year). The case of  $\beta$ -HCH highlights the importance of ocean water moving through the Arctic archipelago from the Pacific Ocean via the Bering Sea and possibly Russian freshwater inputs. No other POPs shows this trend although declines of PCBs,  $\Sigma$ DDT,  $\Sigma$ CHL were lower or non-existent in beluga, ringed seals and polar bears in the South Beaufort compared to Hudson Bay and East Baffin regions.

Declines of legacy POPs have generally been more rapid in freshwater fish than in marine animals. For example, PCBs in landlocked arctic char declined by 6.4% and 7.6%/year in Amituk Lake and Lake Hazen, respectively, versus 3.8% and 4.0%/year in thick-billed murre and northern fulmars, respectively. Declines of  $\geq 5\%$ /year were also seen for  $\Sigma$ HCH,  $\Sigma$ CHL,  $\Sigma$ DDT and toxaphene in lake trout from Lakes Laberge, Kusawa Lake and western basin of Great Slave Lake as well as in landlocked char in Lake Hazen, Char Lake and Amituk Lake. Declines for these OC pesticides were generally  $<5\%$ /year in seabird eggs and marine mammals. A notable exception was the increase in

concentrations of PCBs,  $\Sigma$ CHL,  $\Sigma$ DDTs, and toxaphene were over the period 2001 to 2009 in burbot liver sampled at Fort Good Hope on the Mackenzie River. However, as of 2010 concentrations of all four POPs had returned to levels found in the 1990s and early 2000s. PCBs and  $\Sigma$ CBz also increased in burbot and lake trout in Great Slave Lake in the period 2001–2005. These increases were not seen in lake trout in the Yukon (Lake Laberge and Kusawa Lake) or in landlocked char. Annual sampling made it possible to observe these changes. These temporary increases suggests some process that is influencing the availability of POPs in the Mackenzie basin. Climate warming has been suggested, however a general warming trend would not explain the increase followed by a decrease in concentrations. Nevertheless, shifts in the burbot and lake trout diet and feeding areas, which could also be induced by climate change, might change contaminant availability. Other possibilities include mobilization of legacy sources due to warming, e.g., increased erosion of river sediments.

New POPs such as PBDEs and PFOS generally increased in seals, seabirds, beluga, and polar bear samples from the 1990s until the early 2000s and are now declining. Retrospective analysis of collections from specimen banks enabled measurements of the PBDEs, PFASs and other contaminants in samples from the 1970s, '80s and '90s, and annual sampling as of early 2000s enabled relatively rapid declines to be observed. For example,  $\Sigma$ PBDEs achieved maximum concentrations in northern fulmar and thick-billed murre eggs in 2005 and 2006, respectively and declined to levels similar to those in the early 1990s within 3 years. Polar bears, ringed seals and beluga appear to have achieved maximum  $\Sigma$ PBDEs in the period 2000–2004 in most locations. Similarly PFOS concentrations reached maxima in ringed seal livers in 1999–2003 in Hudson Bay, Lancaster Sound and East Baffin samples although in the southern Beaufort Sea animals concentrations continued to increase slowly (3.6%/year) to 2011.

A decline in PBDEs was also observed in air samples at Alert. PFOS precursors, MeFOSE and EtFOSE also declined while fluorotelomer alcohols (FTOHs) with 8 and 10-fluorinated carbon chains, increased over the period 2006–2010. The declines in PBDEs and PFOS in air and biota appear to be related to bans and voluntary phase outs of these substances in North America and Europe over the period 2001–2004. On the other hand some replacement chemicals such as HBCDD appear to be increasing. HBCDD





**TABLE 3.** Overview of time trends of selected POPs and persistent organics in Canadian arctic air and biota . Estimated for all results from early 1990s to 2011

	Air	Burbot <sup>1</sup>		Lake trout <sup>2</sup>			Landlocked char <sup>3</sup>		Sea-birds <sup>4</sup>	seals <sup>5</sup>			Beluga <sup>6</sup>		Polar bears <sup>7</sup>
		FGH	GSL	KW	LL	GSL	H	A	PLI	SBS	LS	HB	SBS	CS	HB
PCBs															
ΣCBz															
ΣHCH															
ΣCHL															
ΣDDT															
toxaphene															
endosulfan															
SCCPs															
PCNs															
PCDD/Fs															
ΣPBDEs															
HBCDD															
PFOS and precursors															
PFCAs and precursors															

	Limited or no results to assess trends
	No statistically significant change (typically < 3%/yr)
	Significant declining trend (typically > -5%/yr)
	Significant increasing trend (typically > +5%/yr)
	Significant increase in the early 2000s, currently stable or declining

<sup>1</sup>FGH = Fort Good Hope, GSL = Great Slave Lake - East Arm and West Basin

<sup>2</sup>LL & KW = Lake Laberge and Kusawa; GSL = Great Slave Lake - East Arm and West Basin

<sup>3</sup>H = Lake Hazen. A= Amituk Lake

<sup>4</sup>PLI = Prince Leopold Island, Lancaster Sound

<sup>5</sup>SBS = Southern Beaufort Sea (Ulukhaktok, Sachs Harbour), LS = Lancaster Sound (Resolute, Arctic Bay and Grise Fiord), HB = Hudson Bay (Arviat and Inukjuaq)

<sup>6</sup>SBS = Southern Beaufort Sea (Hendrickson Is); CS= Cumberland Sound (Pangnirtung)

<sup>7</sup>HB = Hudson Bay – for all compounds except PFOS and PFCAs where results for N. Baffin Island and Baffin Bay were used

was undetectable in biological samples from the 1990s and early 2000s but increased well above detection limits during 2005-2011 for burbot, lake trout, landlocked arctic char, and ringed seals. Maximum HBCDD was observed somewhat earlier (2003) in polar bears in WHB and beluga from southern Beaufort Sea. Data are too limited and levels too close to detection limits to assess whether other BFRs are increasing in air or biota.

### Recommendations:

- Continued annual sampling is essential for detecting temporal trends of chemicals in commerce in biota. Annual sampling has been instrumental in demonstrating the rise and fall of new POPs, improving the statistical power

of trends of legacy POPs, as well as in allowing investigations of the effect of climate change.

- There are limited measurements and a lack of time trends of atmospheric POPs in the western and eastern Canadian Arctic. This data gap needs to be addressed either by use of hi-vol samplers or passive air samplers or some combination. Air monitoring seems particularly critical for the western Arctic given the known rise of organic chemical production and uses in Asia in the past decade.
- Time-series data for POPs and new contaminants in seawater are needed for understanding the fate and trends of contaminants and would be particularly useful for the less bioaccumulative chemicals such as current use pesticides.

- While annual sample collection has boosted the statistical power of the biological program and therefore must be continued, consideration should be given to de-emphasizing annual measurements of some legacy POPs, where statistical analysis shows that the datasets meet monitoring goals, and placing more emphasis on new candidate or emerging chemicals which may have limited datasets.
- It must be recognized that a major strength of the temporal trend programs conducted under the NCP is the availability of archived samples from specimen banks. These must be maintained to continue to have a strong program for POPs monitoring.

## 5. Local Sources May Be Important for New POPs

While the focus of this assessment is mainly on POPs entering the Canadian arctic via LRAT and LROT local sources of new POPs, as well as trends of legacy contaminants at contaminated sites, continued to be of interest. Measurements during the period 2003-2011 showed that PBDEs, PFOS and SCCPs were sources of local contamination in or near communities in the Canadian arctic. For example, a study of dumpsites in Iqaluit, Cambridge Bay and Yellowknife showed significantly higher  $\Sigma$ PBDE concentrations compared to corresponding background sites in these locations suggesting that PBDEs leach from the landfill. Short-chain and medium-chain chlorinated paraffins (MCCPs) levels were shown to be higher in sediments, water and fish samples collected in and around Iqaluit compared to a remote reference site. PFOS and related chemicals used in aqueous film forming foams (used to suppress fuel fires) were elevated in water and landlocked char from Merretta and Resolute Lakes, which are downstream of the Resolute Bay airport.

Monitoring in the marine and terrestrial environment at Saglek Bay (Nunatsiavut/Labrador) has shown that PCB concentrations in the surrounding environment (sediments, plants, deer mice, sculpin, and black guillemots) have decreased since the source of PCBs has been removed, and companion studies have shown that the decline in the PCB concentrations are associated with a decline in biological effects

The continued study of PCBs at Saglek Bay has improved the knowledge of the fate of sediment associated contaminants in nearshore Arctic marine environments and particularly on their transport to offshore depositional areas.

## Recommendations:

- Better knowledge of local contamination sources is needed for the interpretation of spatial and temporal trends particularly of new POPs which are in consumer products and therefore found in homes and dumpsites in all arctic communities.

## 6. Knowledge of Factors Influencing Levels and Trends of POPs Has Improved

Over the period 2003-2011, significant progress was made in bioaccumulation modelling of POPs in both terrestrial and marine food webs. These modelling studies provided insights into understanding of pathways and processes influencing the accumulation of POPs in wildlife and humans and also the properties of chemicals that would likely biomagnify. Studies of the lichen-caribou-wolf food web showed that a wider range of chlorinated organics may biomagnify in terrestrial compared to marine food webs. This was explained by the presence of two air-breathing species in the food web and the fact that some chemicals with high octanol-air partition coefficients are eliminated less efficiently in air via the lungs than in water over the gill, resulting in their higher net uptake and retention in terrestrial top predators. Biomagnification of PFOS and PFCAs in this food web was shown to occur to a similar extent as in marine food webs. In caribou and moose, PFASs were the major POPs with concentrations in liver ranking ahead of PCBs and PBDEs ( $\Sigma$ PFCAs > PFOS >  $\Sigma$ PCBs >  $\Sigma$ PBDEs). However, concentrations of new POPs and CUPs in caribou, moose, and other terrestrial animal samples were much lower compared with marine mammals, as observed for PCBs and OC pesticides in previous assessments.

The potential for climate warming to influence levels and trends of POPs in the arctic has emerged as a major line of investigation in the past 5 years. The relatively long time series for POPs now available e.g. ~18 years continuous measurement for air, 15 to 18 years of sampling over the past 35-50 years for lake trout, burbot, arctic char, seabirds, seals, polar bears, and beluga are beginning to be examined for possible linkages to climate variables (temperature, ice free times), as well as to parameters associated with dietary and species shifts (carbon and nitrogen stable isotope ratios, fatty acid signatures). For example, dietary tracers (carbon stable isotope ratios, fatty acid patterns) were found to explain trends of  $\Sigma$ PCB and  $\Sigma$ CHL in WHB polar bears. This result suggested that a dietary shift of polar bears to harbor seals, harp and bearded seals might lead to higher



actual contaminant concentrations. Adjusting concentrations of  $\Sigma$ PCB and  $\Sigma$ DDT in murre eggs for trophic position resulted in little change in the calculated rate of decline of these legacy POPs at Prince Leopold Island in Lancaster Sound but reduced the rates of decline at Coats Island, in Hudson Strait, suggesting that the shift in diet which occurred in the murrets at Coats Island has affected the temporal trends of contaminants for that colony.

POPs monitoring programs, both abiotic and biotic, in the Arctic can provide valuable data to fingerprint the impact of arctic warming (Arctic amplification) on the environmental fate of POPs. However, there are still large uncertainties in understanding the influence of rapid climate change on the fate and mobilization of both legacy and new POPs in the Arctic. Although recent studies have revealed revolatilization of POPs from arctic repositories, such as arctic waters, soils, snow/ice and permafrost, the actual net amounts released to atmosphere are not known, and whether a sink to source reversal in the Arctic is taking place also still remain unknown.

#### Recommendations:

- Better data is required on key modeling parameters in food webs including efficiencies of uptake from water, air and food, and especially on the biotransformation rates that play a key role in biomagnification.
- The measurements in biological samples could be better synchronized with atmospheric measurements, where a greater number of chemicals are being analyzed in air e.g., novel BFRs and other flame retardants, siloxanes, and CUPs, both in the Canadian Arctic and in other air measurement programs.

### 7. Assessment of Biological Effects Remains a Challenge

Assessing the effects of POPs on the health of Canadian arctic biota is very challenging due to factors such as low contaminant exposures, limited access to fresh samples, difficulties in processing samples in a way that suits the needs of health endpoints in the field, and a limited knowledge of life history and feeding ecology of many species. While toxicological studies of arctic wildlife remain challenging, recent investment in research under the NCP has increased the understanding of the effects of persistent contaminants on high trophic level biota and helped to develop new biochemical tools to assess effects.

There remains minimal evidence that POPs have widespread effects on the health of Canadian arctic animals. The best evidence for effects in top predators are from studies of East Greenland and Svalbard polar bears, as well as Svalbard glaucous gulls, which have much higher exposures to most POPs than in the Canadian Arctic. However, studies at the PCB contaminated site at Saglek Bay have demonstrated declines in the concentrations of PCBs in sediment, in biota, and in biological effects in the marine environment over time, illustrating that the tools and knowledge are available to assess effects where relatively high exposures are documented. PCB concentrations in shorthorn sculpin and black guillemot nestlings at Saglek Bay are below concentrations ( $1,000 \text{ ng g}^{-1} \text{ ww}$ ) previously associated with risks of impaired reproduction and survival.

$\Sigma$ PCB concentrations in beluga and polar bears exceed the toxicity reference value for immunotoxicity and endocrine disruption of  $1.3 \mu\text{g g}^{-1} \text{ lw}$  in harbor seals. Mean  $\Sigma$ PCB concentrations in Canadian arctic seabird eggs are well below reported thresholds for egg mortality and hatching success in fish-eating birds (except for glaucous gulls). Concentrations of PFOS in polar bear livers exceed the estimated no-effects values but PFOS levels in liver of birds and seals were an order of magnitude below no effects values.

#### Recommendations

- The development, validation and application of new genomics methods provides a powerful means of examining the relationship between physiological endpoints and persistent contaminants and should be applied to examine subtle effects on higher trophic level arctic animals.
- For studies of biological effects as well as effects of climate change on exposure to POPs, emphasis should be placed on the multiple ecological, biological, and physical (natural and anthropogenic) variables that need to be considered when analyzing contamination in species and when comparing data between studies.





# Résumé

## 1. Contexte de la présente évaluation

Le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord (PLCN) a été établi en 1991 pour répondre aux préoccupations relatives à l'exposition des gens à des concentrations élevées de contaminants chez les espèces sauvages qui constituent un élément important du régime alimentaire traditionnel des Autochtones du Nord. Il s'agit de la troisième évaluation des polluants organiques persistants (POP) réalisée dans le cadre du PLCN, et de la première se concentrant uniquement sur les POP. Le présent document accompagne une évaluation sur le mercure, et une évaluation réalisée antérieurement sur la santé humaine. Les évaluations antérieures de 1997 et de 2003 faisaient la synthèse des résultats de la phase I (de 1991 à 1996) et de la phase II (de 1997 à 2002) du PLCN, et traitaient à la fois des métaux lourds et des POP. Dans le cadre de la phase III, laquelle a commencé en 2003-2004, la surveillance environnementale visait un moins grand nombre de sites d'échantillonnage, tant pour les échantillons atmosphériques que pour les échantillons biologiques (tableau 1). Les programmes d'échantillonnage biologique ont été repensés de manière à ce qu'on puisse déceler une variation annuelle de 10 % de la concentration d'un contaminant sur une période de 10 à 15 ans, avec une puissance statistique de 80 % et un niveau de confiance de 95 %. Il a donc fallu passer à un échantillonnage annuel pour certaines

espèces clés (béluga, phoque annelé, oiseaux marins, omble chevalier); pour le béluga et le phoque annelé, on a réduit le nombre de sites d'échantillonnage. Depuis 2009, l'analyse des extraits d'échantillons de grands volumes d'air à Alert a été réduite à un échantillon par mois; les autres extraits d'échantillons sont archivés. Les tendances temporelles concernant le phoque annelé, l'omble chevalier et le béluga ne sont maintenant étudiées que dans deux à trois sites importants par espèce.

En plus de son programme amélioré de surveillance à long terme, le PLCN finance toujours la recherche relative aux voies de transport, aux processus et aux effets biologiques des POP dans l'Arctique canadien. La recherche comprend la modélisation du transport atmosphérique et océanique à grande distance, l'évaluation et la bioamplification dans les réseaux trophiques de l'Arctique, des études sur les effets potentiels du changement climatique sur les POP dans l'Arctique, et une étude exhaustive sur les effets biologiques des POP chez les bélugas.

La présente évaluation fait état des résultats obtenus concernant les POP dans l'Arctique canadien de 2003 à 2011. Elle s'appuie sur les résultats de la phase III du PLCN (de 2003 à 2011), de même que sur toutes les études publiées ou non publiées réalisées jusqu'au début de 2013. Cette période de référence de huit à

**TABLEAU 1.** Aperçu des éléments échantillonnés dans le cadre du programme de surveillance des POP du PLCN de 2003 à 2011

Élément	Emplacements	Années d'échantillonnage <sup>1</sup>	Frequency
Air – grand débit	Alert	1992–2010	7 jours consécutifs
Air – échantillonnage passif	Jusqu'à 7 emplacements (zones arctiques et subarctiques)	2005–2011	Trimestriellement
Ombre chevalier (anadrome)	Cambridge Bay, Pond Inlet, Nain	2004–2011	Annuellement
Ombre chevalier (confiné aux eaux intérieures)	Lacs Resolute, Char, Amituk et Hazen	2004–2011	Annuellement
Lotte	Fort Good Hope, bassin ouest et bras est du Grand lac des Esclaves	2004–2011	Annuellement
Touladi	Lac Laberge, lac Kusawa, bassin ouest et bras est du Grand lac des Esclaves	2004–2011	Annuellement
Caribou	Nord du Yukon et sud-ouest du Nunavut (hardes de Porcupine et de Qamanirjuaq)	2006, 2008	Une seule étude
Phoque annelé	Arviat, Resolute, Sachs Harbour et autres emplacements (jusqu'en 2009)	2004–2011	Annuellement
Béluga	Sud de la mer de Beaufort, baie Cumberland	2004–2011	Annuellement
Ours blanc	Ouest de la baie d'Hudson et autres emplacements	2004–2011	Annuellement
Oiseaux marins (Guillemot de Brünnich, Fulmar boréal)	Île Prince Leopold et île Coats	2004–2011	Annuellement

<sup>1</sup>Tous les programmes incluent des données des années antérieures (données existantes ou nouvelle analyse des échantillons archivés)



neuf ans a permis d'en apprendre beaucoup sur les tendances temporelles des POP dans l'air et dans le biote, sur les nouveaux POP dans de nombreux compartiments de l'environnement, et sur le transport océanique vers l'Arctique. L'influence possible du réchauffement climatique sur les tendances des POP a également été étudiée.

## 2. De la science aux mesures stratégiques

La période de percées scientifique que couvre la présente évaluation était également très importante sur le plan des mesures réglementaires mondiales prises à l'égard des POP. La Convention de Stockholm sur les POP est notamment entrée en vigueur en 2004, introduisant une réglementation mondiale visant à éliminer ou à limiter sérieusement les émissions des POP qui font partie de ce qu'on appelle la « sale douzaine ». L'élaboration de la Convention de Stockholm est vue comme une réalisation majeure pour le PLCN, qui, de concert avec le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) du Conseil de l'Arctique, a fourni une grande partie des données scientifiques sur lesquelles s'appuie la Convention. La présente évaluation documente les déclinés des concentrations de beaucoup de POP appartenant au groupe de la « sale douzaine » (ces polluants sont également appelés POP hérités du passé), et contient aussi des données sur un grand nombre de nouveaux POP, dont 11 ont été ajoutés à la Convention de Stockholm depuis 2004. Les données et les renseignements tirés du PLCN ont contribué à l'inclusion de ces nouveaux POP à la Convention, et continueront de jouer un rôle essentiel dans l'évaluation des nouveaux POP dans le futur. Le PLCN fournira aussi des renseignements à jour tirés de son évaluation pour l'élaboration du deuxième rapport du Plan mondial de surveillance, en 2015, établi aux termes de l'article 16 de la Convention de Stockholm. La participation active et continue du PLCN à des initiatives nationales et internationales liées à l'évaluation et à la réglementation des POP fera en sorte que les données scientifiques du PLCN continueront d'influer de façon notable sur les politiques visant à protéger les écosystèmes et la santé humaine dans la Nord canadien. Les recommandations scientifiques qui suivent ont été élaborées en fonction du rôle continu du PLCN en matière de formulation d'avis scientifiques dans le cadre d'initiatives de réglementation nationales et internationales, et visent à étayer les nouvelles politiques nationales et internationales.

## Recommandations

- La surveillance continue des POP dans l'Arctique est nécessaire pour garantir que la Convention de Stockholm est efficace en matière de réduction des concentrations de ces polluants dans l'environnement. On doit également assurer la surveillance continue des contaminants chimiques émergents, dont la détection dans les milieux arctiques appuie solidement leur inclusion à la Convention de Stockholm en tant que nouveaux POP.
- Afin d'améliorer la réglementation des POP, les organismes de réglementation nationaux et internationaux doivent mieux comprendre la façon dont les POP se comportent dans l'environnement, de même que leurs effets sur les écosystèmes et la santé humaine. Comme le soulignent la présente évaluation ainsi que des organisations internationales telles que le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le PSEA, il est également nécessaire de mieux comprendre la façon dont le changement climatique influe sur les POP. La prédiction des effets du changement climatique sur les POP sera essentielle pour élaborer des règlements visant les POP et pour évaluer l'efficacité de ces règlements dans le futur.

## 3. Les connaissances sur les substances chimiques d'intérêt se sont étendues

La liste des composés analysés s'est allongée au cours de la phase III, en particulier en ce qui concerne les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (SPFA), les produits ignifuges bromés et les pesticides d'usage courant (PUC). Environ 35 substances chimiques ou groupes de substances chimiques qui n'avaient pas été signalés avant, ou pour lesquels on ne disposait que de mesures très limitées lors de l'évaluation précédente, ont été décelés, en particulier dans l'air, dans la neige et dans le biote arctiques (tableau 2). Voir le glossaire pour de plus amples détails sur les noms des substances chimiques et leurs acronymes.

Parmi les substances organiques chlorées, les polychloronaphtalènes (PCN) sont aujourd'hui décelés dans un plus grand nombre d'éléments (air, phoques, bélugas, oiseaux marins). Les nouvelles données étaient limitées en ce qui concerne les paraffines chlorées pour la période 2003-2011 en raison des difficultés d'analyse des laboratoires où les mesures ont été faites. Les PCN et les paraffines chlorées à chaîne courte (PCCC) sont actuellement

**TABEAU 2.** Principaux groupes de POP et autres substances organiques persistantes présentes dans différents compartiments environnementaux de l'Arctique canadien déterminés dans le cadre des programmes de surveillance et de recherche du PLCN.

	PLCN I (1991–1996)	PLCN II (1997–2002)	PLCN III (2003–2011)
Polychlorobiphényles (PCB) <sup>1</sup>	Air, neige, sédiments, eau de mer, biote	Air, eau de mer, sédiments, biote	Air, neige, eau de mer, biote
Pesticides organochlorés (OC) <sup>2</sup>	Air, neige, sédiments, eau de mer, biote	Air, eau de mer, sédiments, biote	Air, neige, biote
Chlorobenzènes	Air, neige, sédiments, eau de mer, biote	Air, eau de mer, sédiments, biote	Air, neige, biote
Dioxines/furanes chlorés	Biote	Air, sédiments, biote	Biote
Polychloronaphtalènes (PCN)		Air, biote	Air, biote
Paraffines chlorées		Air, sédiments, biote	Biote
Endosulfan		Air, eau de mer, biote	Air, eau de mer, biote
Polybromodiphényléthers (PBDE)		Sédiments, biote	Air, neige, eau de mer, sédiments, biote
Hexabromocyclododécane (HBCDD)			Air, neige, eau de mer, biote
Autres produits ignifuges bromés et chlorés			Air, neige, eau de mer, biote
Penta- et hexabromodiphényles			Air, biote
Pesticides d'usage courant (PUC)			Air, neige, eau de mer, eau lacustre, biote
Perfluorooctanesulfonate (PFOS) et autres acides et alcools perfluoroalkylés (SPFA)			Air, neige, eau de mer, eau lacustre, sédiments, biote
Siloxanes			Air

<sup>1</sup>Divers congénères selon l'étude; 2 DDT, hexachlorocyclohexanes (HCH), chlordanes, toxaphène; 3 PUC, notamment les suivants : Dacthal, chlorothalonil, chlorpyrifos, pentachloronitrobenzène (PCNB), trifluraline.

évaluées en vue de leur inclusion à la Convention de Stockholm.

Les nouveaux groupes de substances chimiques mesurées au cours des 10 dernières années comprennent des PUC, notamment le Dacthal, le pentachloronitrobenzène (PCNB), la trifluraline et le chlorothalonil, qui sont maintenant régulièrement décelés dans l'air et dans l'eau de mer. Des mesures limitées de PUC ont également été faites dans des réseaux trophiques marins et terrestres, et les résultats indiquent que ces PUC ne se bioamplifient pas. Environ 20 produits ignifuges bromés et chlorés ont aussi été inclus dans les séries d'analyses. De nombreux autres sont également évalués dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques du gouvernement du Canada. En ce qui concerne le HBCDD, le produit ignifuge n'appartenant pas au groupe des PBDE le plus largement décelé, les données dans le biote de l'Arctique canadien ont servi de fondement à une grande partie du profil de risque adopté par la Convention de Stockholm en 2010. Toutefois, la plupart des autres produits ignifuges bromés n'appartenant pas au groupe des PBDE se trouvaient en deçà des limites de détection dans les échantillons atmosphériques et biologiques.

La découverte de SPFA chez certaines espèces sauvages de l'Arctique, puis dans tous les compartiments environnementaux, est peut-être le résultat le plus surprenant obtenu au cours des

10 dernières années de surveillance des contaminants dans l'Arctique. Contrairement aux POP chlorés et bromés, ces substances chimiques sont relativement solubles dans l'eau, sont oléophobes, et s'accumulent dans les tissus riches en protéines, comme le foie et le sang. Les précurseurs du PFOS et d'autres SPFA sont hautement volatils, et c'est dans l'atmosphère qu'on les mesure le mieux. Toutefois, ces substances peuvent être dégradées dans l'atmosphère en substances persistantes et bioaccumulables. La présence de fortes concentrations de PFOS et de perfluorocarboxylates (PFCA) à chaîne longue chez certains mammifères et chez l'ours blanc, dans l'Arctique, met également en évidence la nécessité d'examiner un large éventail de substances chimiques relativement à leur capacité d'être transportés vers l'Arctique, d'être transformés en substances persistantes, et de s'accumuler dans les réseaux trophiques de l'Arctique.

On a commencé à utiliser des échantillonneurs d'air passifs au cours de la phase III, et les résultats pour les emplacements dans l'Arctique pour ce programme, qui faisait partie du Programme d'échantillonnage atmosphérique passif mondial (GAPS), étaient comparables à ceux obtenus au moyen d'échantillonneurs d'air à grand débit, à Alert. Les échantillonneurs atmosphériques passifs sont avantageux, car ils sont peu coûteux, sont simples à construire et ne nécessitent pas d'énergie électrique.





La modification de la matière absorbante dans les échantillonneurs a permis d'échantillonner des précurseurs volatils du PFOS et de PFCA, de même que des siloxanes méthylés volatils dans l'atmosphère de l'Arctique, et de faire des comparaisons entre des régions rurales et urbaines un peu partout sur la planète. Toutefois, les faibles concentrations atmosphériques dans l'Arctique entraînaient souvent des problèmes de détectabilité. Un échantillonneur passif à circulation d'air récemment mis au point ayant donné des résultats comparables à bien moindre coût et nécessitant moins d'entretien que les échantillonneurs à fort débit utilisés à Alert pourrait bien régler ce problème.

L'importance du transport particulaire des contaminants non volatils comme les décabromodiphényléthers (déca-BDE), qui sont des produits ignifuges largement utilisés, a été prouvée par la détection de fortes concentrations sur la calotte glaciaire de l'île Devon. Cette voie de transport a déjà été reconnue, principalement pour les substances chimiques inorganiques, comme le plomb et les sulfates. D'autres « nouveaux » produits ignifuges observés dans les échantillons atmosphériques prélevés à Alert sont aussi en grande partie fixés à des particules. Les produits ignifuges bromés, comme le bis(tribromophénoxy)éthane, l'éthylhexyltétrabromobenzoate et le bis(éthylhexyl)tétrabromophthalate ont été généralement décelés à des concentrations similaires à celles des PBDE congénères dominants.

Plusieurs études indépendantes ayant réalisé un examen préalable de substances chimiques utilisées dans le commerce ont montré qu'il existe des centaines de substances dont les propriétés sont similaires à celles de substances chimiques organiques persistantes connues décelées dans l'Arctique. Ces substances pourraient être de futures candidates à la surveillance dans l'atmosphère et chez les espèces sauvages de l'Arctique. Pour modéliser le transport de ces substances candidates vers l'Arctique, on doit disposer de renseignements sur les quantités utilisées et émises dans les régions sources. Ces renseignements ne sont généralement pas disponibles, sauf en ce qui concerne les PUC. Toutefois, la modélisation du transport atmosphérique à grande distance (TAGD) des POP a évolué au point où il est maintenant possible d'utiliser un modèle planétaire pour suggérer un plafond relatif aux émissions annuelles dans différentes parties du monde, en fonction de l'efficacité du transport vers un endroit vulnérable.

La détection d'acides perfluoroalkylés, tels que le PFOS et l'acide perfluorooctanoïque (APFO) dans l'eau de mer de l'Arctique, conjuguée à la modélisation à l'échelle planétaire, ont prouvé l'importance du transport océanique des contaminants. Le lent déplacement et la grande étendue des masses d'eau de mer mettent également en évidence l'exposition à très long terme des réseaux trophiques de l'Arctique aux contaminants. La découverte de SPFA dans l'eau de mer a mené à une expansion colossale de la modélisation du transport océanique à grande distance (TOGD), et du transport des SPFA ainsi que d'autres POP vers l'Arctique. Les mesures environnementales de deux SPFA majeures, le PFOS et l'APFO, concordent raisonnablement avec les données actuellement disponibles pour les eaux océaniques, ce qui laisse croire que les estimations disponibles relatives aux émissions de ces deux composés sont plausibles. Les résultats de la modélisation donnent à penser que la redistribution de ces contaminants à partir de basses latitudes vers l'océan Arctique est continue et que la masse totale (et la concentration moyenne) de l'APFO et du PFOS dans le milieu marin devrait augmenter au cours des 10 à 20 prochaines années. La principale conclusion tirée à partir de la modélisation du TOGD veut que l'exposition des réseaux trophiques marins à des POP davantage solubles dans l'eau dans les eaux de l'est de l'Arctique soit substantiellement différente de l'exposition à d'autres endroits, par exemple dans les eaux de l'ouest de l'Arctique canadien. Ce schéma de distribution est distinct de celui du TAGD, qui tend à rendre les flux de dépôt (et par conséquent les concentrations/l'exposition dans la colonne d'eau) plus uniformes. Ces observations sont corroborées par des différences en termes de concentrations et de taux de variation des concentrations des POP entre, d'une part, les bélugas et les phoques annelés du sud de la mer de Beaufort et, d'autre part, ceux des régions de la baie d'Hudson et de la baie Cumberland.

## Recommandations

- Beaucoup de travaux sont encore nécessaires pour déterminer si le changement climatique, en particulier les tendances du réchauffement, influe sur le transport des POP vers l'Arctique.
- Il est urgent de réaliser de nouvelles recherches sur d'autres substances chimiques se fixant à des particules susceptibles de pénétrer dans le milieu arctique.



- Davantage de données sont nécessaires sur les quantités de substances chimiques utilisées et émises dans les régions sources.
- Les programmes de surveillance doivent envisager l'inclusion d'une plus vaste gamme de substances chimiques, notamment de produits parents et de transformation, qui pourraient posséder des propriétés semblables à celles des POP, pour étudier leur potentiel de transport sur de grandes distances de même que pour évaluer les changements en élaborant des tendances temporelles dans différents milieux. Les substances chimiques susceptibles de contaminer l'environnement arctique pourraient être décelées à l'aide de modèles sur leur devenir dans l'environnement et leur mode de transport.
- On devrait mettre davantage l'accent sur les nouvelles substances chimiques candidates figurant sur les listes actuelles de la Convention de Stockholm et de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU) (PCN, pentachlorophénol, hexachlorobutadiène), de même que sur les PCCC, le chlordécone et l'hexabromodiphényle afin d'évaluer pleinement leur importance en tant que contaminants de l'environnement biologique.

#### 4. La connaissance des tendances temporelles des POP s'est grandement améliorée

Les tendances temporelles de POP inscrits sur la liste de la Convention de Stockholm et d'autres substances chimiques organiques persistantes sont présentées au tableau 3 par code de couleurs (vert pour les déclin; rouge pour les augmentations). Les résultats de la surveillance atmosphérique indiquent que de nombreux POP hérités du passé, notamment les pesticides organochlorés (OC) et les PCB, sont en déclin. Les résultats obtenus grâce à l'échantillonnage réalisé à Alert, dans le nord de l'île Ellesmere, indiquent que le déclin des POP hérités du passé était généralement plus rapide durant la période 1993-2001, par rapport à la période 2002-2009 (la dernière année où des rapports ont été produits). Bien que les tendances globales (de 1993 à 2009) pour les PCB montrent un déclin, ce dernier a ralenti, et les concentrations de certains congénères plus fortement chlorés ont augmenté légèrement au cours des dernières années. Ces augmentations pourraient être associées à l'augmentation du nombre de feux de forêt dans la forêt boréale, qui rejettent les substances organiques qui s'y étaient déposées,

notamment des PCB. Les changements associés à la couverture de glace de mer et à la cryosphère en général pourraient aussi être en cause. Les pesticides chlorés comme les hexachlorocyclohexanes (HCH, en particulier le  $\gamma$ -HCH, ou lindane), le DDT et les composés apparentés au chlordane (CHL) montrent des déclin plus stables au cours de la période 1993-2009. Le lindane a été radié de la liste des produits homologués au Canada pour l'utilisation sur les semences de canola en juillet 2001, et son utilisation est interdite depuis 2004. Les concentrations atmosphériques de lindane ont diminué de façon constante depuis 2001. L'endosulfan, un autre pesticide largement utilisé, était présent à des concentrations constantes de 1993 à 2001, et le déclin des concentrations de 2006 à 2009 reflète peut-être son utilisation réduite au Canada, aux États-Unis et en Europe depuis qu'il fait l'objet d'une surveillance réglementaire plus rigoureuse.

Malgré les détections récentes de SPFA, les séries chronologiques de données concernant d'autres POP présents dans l'eau de mer demeurent une lacune majeure sur le plan des connaissances sur les contaminants présents dans l'Arctique. Ces données sont essentielles pour comprendre le devenir dans l'environnement et les tendances des contaminants, et seraient particulièrement utiles en ce qui concerne les substances moins bioaccumulables et plus solubles dans l'eau, comme c'est le cas des PUC. Il est nécessaire de clarifier l'importance relative des apports atmosphériques et océaniques, de même que l'importance relative des émissions directes et de précurseurs vers différents écosystèmes éloignés. Compte tenu de la difficulté d'obtenir des données sur les POP en prélevant de grandes quantités d'eau en raison de la contamination à bord des navires et de la navigation peu fréquente, on doit envisager le déploiement d'échantillonneurs passifs.

La puissance statistique des ensembles de données sur les tendances temporelles des POP chez les poissons, les oiseaux marins et les mammifères marins s'est améliorée depuis la publication du Rapport de l'évaluation des contaminants dans l'Arctique canadien (phase II), en 2003, et certains ensembles de données sont en mesure de déceler un changement de l'ordre de 5 % sur le plan des concentrations (puissance statistique de 80 %). La principale raison pour laquelle la puissance statistique s'est accrue est l'introduction de l'échantillonnage annuel d'espèces clés depuis 2004, ce qui a fait en sorte d'accroître le nombre d'années ayant fait l'objet d'échantillonnage.



Les tendances à la baisse des concentrations dans le biote sont le plus évidentes pour les pesticides OC, et le moins évidentes pour les PCB et les chlorobenzènes ( $\Sigma$ CBz) (tableau 3). Chez les espèces marines, les taux annuels de déclin de  $\Sigma$ DDT étaient de 2,5 %/an dans les œufs de Guillemots de Brünnich (déroit de Lancaster) à 11 %/an dans la graisse d'ours blancs (ouest de la baie d'Hudson). Les déclins des concentrations des composés apparentés au chlordane ( $\Sigma$ CHL) étaient de 1,2 %/an dans les œufs de guillemots à 7,4 %/an dans le pannicule adipeux de phoques annelés dans la baie d'Hudson, alors que les concentrations chez les ours blancs ne montraient aucun déclin (ouest de la baie d'Hudson). Les concentrations totales de HCH ( $\Sigma$ HCH) ont diminué chez les phoques, les bélugas et les ours blancs en raison du déclin rapide de la concentration de l'isomère majeur  $\alpha$ -HCH (p. ex. 12 %/an chez les ours). Toutefois, les concentrations de  $\beta$ -HCH, l'isomère le plus bioaccumulable, ont augmenté chez la même espèce. Cette augmentation des concentrations de  $\beta$ -HCH chez les phoques variait de région en région, avec de fortes augmentations chez les phoques du sud de la mer de Beaufort (16 % à Ulukhaktok), et un déclin dans la baie d'Hudson (2,5 %/an). Le cas du  $\beta$ -HCH met en évidence l'importance du déplacement de l'eau de mer dans l'archipel Arctique, de l'océan Pacifique en passant par la mer de Béring, et possiblement des apports des eaux douces de la Russie. Aucun autre POP ne montre cette tendance, bien que les déclins des concentrations de PCB, de  $\Sigma$ DDT et de  $\Sigma$ CHL chez les bélugas, les phoques annelés et les ours blancs aient été plus faibles (ou inexistant) dans le sud de la mer de Beaufort que chez ceux des régions de la baie d'Hudson et de l'est de la baie de Baffin.

Les déclins des concentrations des POP hérités du passé ont généralement été plus rapides chez les poissons d'eau douce que chez les mammifères marins. Par exemple, les concentrations de PCB chez les ombles chevaliers confinés aux eaux intérieures ont respectivement diminué de 6,4 % et de 7,6 %/an dans les lacs Amituk et Hazen, par rapport à 3,8 % et 4,0 %/an chez les Guillemots de Brünnich et les Fulmars boréaux. Des déclins  $\geq$  5 %/an ont aussi été observés pour le  $\Sigma$ HCH, le  $\Sigma$ CHL, le  $\Sigma$ DDT et le toxaphène chez les touladis des lacs Laberge et Kusawa, et dans le bassin ouest du Grand lac des Esclaves, de même que chez les ombles confinés aux eaux intérieures dans les lacs Hazen, Char et Amituk. Les déclins des concentrations de ces pesticides OC étaient généralement  $<$  5 %/an dans les œufs d'oiseaux marins et chez les mammifères marins. L'augmentation des concentrations de PCB, de

$\Sigma$ CHL, de  $\Sigma$ DDT et de toxaphène de 2001 à 2009 dans le foie de lottes échantillonnées à Fort Good Hope, dans le fleuve Mackenzie, constitue une exception notable. Toutefois, depuis 2010, les concentrations de ces quatre POP sont revenues aux niveaux observés dans les années 1990 et au début des années 2000. Les concentrations de PCB et de  $\Sigma$ CBz ont également augmenté chez les lottes et les touladis du Grand lac des Esclaves au cours de la période 2001-2005. Ces augmentations n'ont pas été observées chez les touladis du Yukon (lacs Laberge et Kusawa) ou chez les ombles confinés aux eaux intérieures. L'échantillonnage annuel a permis d'observer ces changements. Ces augmentations temporaires suggèrent qu'il existe un processus qui influe sur la disponibilité des POP dans le bassin du fleuve Mackenzie. Le réchauffement climatique a été évoqué, mais une tendance générale de réchauffement n'expliquerait pas l'augmentation suivie d'une diminution des concentrations. Néanmoins, les changements sur le plan de l'alimentation et des aires d'alimentation des lottes et des touladis, qui pourrait aussi être induits par le changement climatique, pourraient faire en sorte de modifier la disponibilité des contaminants. Les autres possibilités comprennent la mobilisation de sources héritées du passé en raison du réchauffement, par exemple par l'érosion accrue des sédiments des cours d'eau.

Les concentrations de nouveaux POP, notamment de PBDE et de PFOS ont augmenté de manière générale chez les phoques, les oiseaux marins, les bélugas et les ours blancs dans les années 1990 jusqu'au début des années 2000, et sont maintenant en déclin. Une analyse rétrospective des collections des banques de spécimens a permis de mesurer les concentrations de PBDE, de SPFA et d'autres contaminants à partir d'échantillons prélevés dans les années 1970, 1980 et 1990; l'échantillonnage annuel réalisé à partir du début des années 2000 a quant à lui permis d'observer les déclins relativement rapides. Par exemple, les concentrations de  $\Sigma$ PBDE ont atteint respectivement leur maximum dans les œufs de Fulmars boréaux et de Guillemots de Brünnich en 2005 et 2006, puis ont décliné, en trois ans, jusqu'à des niveaux similaires à ceux observés au début des années 1990. Les concentrations maximales de PBDE chez les ours blancs, les phoques annelés et les bélugas semblent avoir été atteintes durant la période 2000-2004 dans la plupart des emplacements. De manière similaire, les concentrations de PFOS ont atteint un maximum dans le foie des phoques annelés de 1999 à 2003 dans la baie d'Hudson, dans le déroit de Lancaster et dans l'est de la baie de Baffin,



**TABLEAU 3.** Aperçu des tendances temporelles de certains POP et autres composés organiques persistants dans l'air et le biote de l'Arctique canadien. Tendances estimées pour tous les résultats de la période commençant au début des années 1990 et se terminant en 2011.

	Air	Lotte <sup>1</sup>		Touladi <sup>2</sup>			Omble chevalier confiné aux eaux intérieures <sup>3</sup>		Oiseaux de mer <sup>4</sup>	Phoque <sup>5</sup>			Béluga <sup>6</sup>		Ours blanc <sup>7</sup>
		FGH	GLE	KW	LL	GLE	H	A	IPL	SMB	DL	BH	SMB	BC	BH
PCB															
ΣCBz															
ΣHCH															
ΣCHL															
ΣDDT															
Toxaphène															
Endosulfan															
PCCC															
PCN															
PCDD/F															
ΣPBDE															
HBCDD															
PFOS et précurseurs															
PFCA et précurseurs															

	Résultats limités ou aucun résultat pour permettre d'évaluer les tendances
	Aucun changement statistiquement significatif (généralement < 3 %/an)
	Tendance à la baisse significative (généralement > -5 %/an)
	Tendance à la hausse significative (généralement > +5 %/an)
	Hausse significative au début des années 2000, tendance actuelle stable ou à la baisse

<sup>1</sup>FGH = Fort Good Hope, GLE = Grand lac des Esclaves – bras est et bassin ouest

<sup>2</sup>LL et KW = lacs Laberge et Kusawa; GLE = Grand lac des Esclaves – bras est et bassin ouest

<sup>3</sup>H = lac Hazen; A = lac Amituk

<sup>4</sup>IPL = île Prince Leopold, détroit de Lancaster

<sup>5</sup>SMB = sud de la mer de Beaufort (Uluqhaktok, Sachs Harbour); DL = détroit de Lancaster (Resolute, baie de l'Arctique et fjord Grise), BH = baie d'Hudson (Arviat et Inukjuag)

<sup>6</sup>SMB = sud de la mer de Beaufort (île Hendrickson); BC= baie Cumberland (Pangnirtung)

<sup>7</sup>BH = baie d'Hudson – pour tous les composés, sauf le PFOS et les PFCA; dans leur cas, on a utilisé les résultats du nord de l'île de Baffin et de l'île de Baffin.

mais, dans le sud de la mer de Beaufort, les concentrations chez les animaux ont continué d'augmenter lentement (3,6 %/an) jusqu'en 2011.

Un déclin des concentrations de PBDE a aussi été observé dans les échantillons atmosphériques prélevés à Alert. Les concentrations des précurseurs du PFOS, le MeFOSE et l'EtFOSE ont aussi connu un déclin, alors que les concentrations des alcools fluorotélomères qui comptent 8 et 10 chaînes de carbone fluoré, ont augmenté au cours de la période 2006-2010. Le déclin des concentrations de PBDE et de PFOS dans l'air et dans le biote semble être lié aux interdictions et à l'élimination progressive volontaire de ces substances en Amérique du Nord et en Europe au cours de la période 2001-2004. D'un autre côté, les concentrations de certaines substances

chimiques de rechange, comme le HBCDD, semblent augmenter. Le HBCDD n'était pas décelable dans les échantillons biologiques prélevés des années 1990 au début des années 2000, mais les concentrations ont augmenté et ont largement dépassé les limites de détection de 2005 à 2011 chez la lotte, le touladi, l'omble chevalier confiné aux eaux intérieures et le phoque annelé. Les concentrations maximales de HBCDD ont été observées un peu plus tôt (en 2003) chez l'ours blanc, dans l'ouest de la baie d'Hudson, et chez le béluga, dans le sud de la mer de Beaufort. Les données sont trop limitées et les concentrations sont trop près des limites de détection pour déterminer si les concentrations d'autres produits ignifuges bromés augmentent dans l'air ou dans le biote.



## Recommandation

- L'échantillonnage annuel continu est essentiel à la détection, dans le biote, des tendances temporelles des produits chimiques commercialisés. Il permet de démontrer la hausse et la baisse des nouveaux POP, d'améliorer la puissance statistique des tendances des POP hérités du passé et d'étudier les effets du changement climatique.
- Les POP atmosphériques font l'objet de peu de mesures et d'un manque de tendances temporelles dans l'ouest et l'est de l'Arctique canadien. Cette lacune dans les données doit être comblée par l'utilisation soit d'échantillonneurs d'air à grand débit, soit d'échantillonneurs d'air passifs, ou encore d'une combinaison des deux. La surveillance atmosphérique semble particulièrement critique dans l'ouest de l'Arctique compte tenu de l'augmentation de la production et de l'utilisation de substances chimiques organiques en Asie cette dernière décennie.
- Il faut des données chronologiques concernant les POP et les nouveaux contaminants présents dans l'eau de mer pour comprendre le devenir et les tendances de ces produits. De plus, de telles données seraient particulièrement utiles dans le cas des substances chimiques moins bioaccumulables, comme les PUC.
- Le prélèvement annuel d'échantillons a amélioré la puissance statistique du programme biologique et doit donc être poursuivi. Néanmoins, il faut aussi envisager de mettre de côté les mesures annuelles de certains POP hérités du passé, pour lesquels les analyses statistiques montrent que les ensembles de données répondent aux objectifs de surveillance, et mettre plutôt l'accent sur les nouvelles substances chimiques candidates ou émergentes, qui ne font peut-être pas l'objet d'un grand nombre de données.
- Il faut reconnaître qu'une force importante des programmes axés sur les tendances temporelles menés dans le cadre du PLCN réside dans la disponibilité d'échantillons archivés à partir de banques de spécimens. Ces dernières doivent être maintenues pour assurer la solidité continue du programme de surveillance des POP.

## 5. Les sources locales peuvent être importantes pour les nouveaux POP

Bien que l'accent de la présente évaluation soit principalement mis sur les POP qui pénètrent dans l'Arctique canadien par TAGD et TOGD, les sources locales des nouveaux POP, de même que les tendances des contaminants hérités du passé, sont encore pertinentes. Les mesures prises au cours de la période 2003-2011 ont montré que les PBDE, le PFOS et les PCCC étaient des sources de contamination locale au sein ou à proximité des collectivités dans l'Arctique canadien. Par exemple, dans une étude, on a constaté que les décharges d'Iqaluit, de Cambridge Bay et de Yellowknife présentaient des concentrations de  $\Sigma$ PBDE significativement plus élevées que les sites témoins dans ces localités, ce qui donne à penser que des PBDE sont lixiviés à partir des décharges. Les teneurs en PCCC et en paraffines chlorées à moyenne chaîne (PCMC) étaient plus élevées dans les échantillons de sédiments, d'eau et de poissons prélevés dans la ville d'Iqaluit et autour que dans un site témoin éloigné. Les concentrations de PFOS et de substances chimiques apparentées utilisées dans des mousses à formation de pellicule aqueuse (pour éteindre les incendies de carburant) étaient élevées dans l'eau et les ombles chevaliers confinés aux eaux intérieures des lacs Merretta et Resolute, lesquels se trouvent en aval de l'aéroport de Resolute Bay.

La surveillance dans les milieux marins et terrestres de la baie de Saglek (Nunatsiavut/Labrador) montre que les concentrations de PCB dans les environs (sédiments, végétaux, souris sylvestre, chaboisieux et Guillemot à miroir) ont baissé depuis l'élimination de la source de PCB, et des études parallèles indiquent que le déclin des teneurs en PCB est associé à un déclin des effets biologiques.

L'étude continue des PCB dans la baie de Saglek a amélioré les connaissances sur le devenir des sédiments associés aux contaminants dans les milieux marins littoraux de l'Arctique et, plus particulièrement, sur leur transport vers des sites de dépôt extracôtiers.

### Recommandations

- De meilleures connaissances sur les sources locales de contamination sont nécessaires pour interpréter les tendances spatiales et temporelles des contaminants, notamment des nouveaux POP qui se trouvent dans les produits de consommation et, par conséquent, dans les maisons et les décharges de toutes les collectivités arctiques.

## 6. Les connaissances sur les facteurs influant sur les concentrations et les tendances des POP se sont améliorées

Durant la période 2003-2011, d'importants progrès ont été réalisés au chapitre de la modélisation de la bioaccumulation des POP, et ce, dans les réseaux trophiques tant terrestres que marins. Ces études de modélisation éclairent les connaissances sur les voies et les processus qui influent sur l'accumulation des POP chez les espèces sauvages et les humains ainsi que sur les propriétés des substances chimiques susceptibles de se bioamplifier. Les études sur le réseau trophique lichen-caribou-loup ont montré qu'un plus grand éventail de composés organiques chlorés peuvent se bioamplifier dans les réseaux trophiques terrestres que dans les réseaux trophiques marins. Cela s'explique par la présence de deux espèces respirant à l'air libre dans le réseau trophique et par le fait que certaines substances chimiques à coefficients de partage octanol-air élevés sont moins efficacement éliminées dans l'air par les poumons que dans l'eau par les branchies, ce qui entraîne une absorption et une rétention nettes plus fortes chez les prédateurs terrestres supérieurs. La bioamplification du PFOS et des PFCA dans ce réseau trophique se produisait à un degré semblable à celui observé dans les réseaux trophiques marins. Chez les caribous et les orignaux, les SPFA constituaient les principaux POP dont les concentrations dans le foie dépassaient celles des PCB et des PBDE ( $\Sigma\text{PFCA} > \text{PFOS} > \Sigma\text{PCB} > \Sigma\text{PBDE}$ ). Toutefois, les teneurs en nouveaux POP et PUC dans les échantillons de caribous, d'orignaux et d'autres animaux terrestres étaient bien inférieures à celles des mammifères marins, comme cela avait été observé pour les PCB et les pesticides OC dans des évaluations antérieures.

La probabilité que le réchauffement climatique influe sur les concentrations et les tendances des POP dans l'Arctique est devenue un axe de recherche important ces cinq dernières années. La série chronologique relativement longue portant sur les POP (par exemple : environ 18 années de prise de mesures continue dans l'air, 15 à 18 années d'échantillonnage et les 35 à 50 dernières années d'échantillonnage visant le touladi, la lotte, l'omble chevalier, les oiseaux de mer, l'ours blanc et le béluga) est maintenant disponible, et l'on commence à l'examiner afin d'y repérer des liens possibles avec les variables du climat (température, périodes libres de glace) ainsi qu'avec les paramètres liés aux changements de régime alimentaire et aux changements chez les espèces (rapports des isotopes

stables du carbone et de l'azote, signatures des acides gras). Par exemple, on a constaté que les traceurs alimentaires (rapports des isotopes stables du carbone, profils des acides gras) expliquaient les tendances des  $\Sigma\text{PCB}$  et des  $\Sigma\text{CHL}$  chez les ours blancs de l'ouest de la baie d'Hudson, ce qui laisse croire qu'un changement dans le régime alimentaire des ours favorisant plutôt le phoque commun, le phoque du Groenland et le phoque barbu pourrait entraîner des concentrations de contaminants réelles plus élevées. L'ajustement des concentrations de  $\Sigma\text{PCB}$  et de  $\Sigma\text{DDT}$  dans les œufs des guillemots en fonction du niveau trophique n'a eu qu'une faible incidence sur le taux de déclin calculé de ces POP hérités du passé à l'île Prince Leopold, dans le détroit de Lancaster, mais a abaissé les taux de déclin à l'île Coats, dans le détroit d'Hudson, ce qui porte à croire que le changement de régime alimentaire des guillemots de l'île Coats a influé sur les tendances temporelles des contaminants dans cette colonie.

Le programme de surveillance des POP dans l'Arctique, en milieu tant abiotique que biotique, peut fournir des données précieuses permettant de définir l'empreinte de l'impact du réchauffement arctique (amplification arctique) sur le devenir environnemental des POP. Toutefois, il reste encore de grandes incertitudes concernant l'influence du changement climatique rapide sur le devenir et la mobilisation des POP, tant hérités du passé que nouveaux, dans l'Arctique. Bien que de récentes études aient révélé la volatilisation des POP à partir des sites de stockage dans l'Arctique, par exemple les eaux arctiques, les sols, la neige/glace et le pergélisol, on ne connaît pas les quantités réelles nettes rejetées dans l'atmosphère. On ne sait pas non plus si l'on est en train d'assister à un renversement des puits et des sources dans l'Arctique.

### Recommandations

- Il faut acquérir de meilleures données sur les paramètres clés de modélisation dans les réseaux trophiques, notamment l'efficacité de l'absorption à partir de l'eau, de l'air et des aliments, et, surtout, sur les taux de biotransformation qui jouent un rôle primordial dans la bioamplification.
- Les mesures dans les échantillons biologiques pourraient être mieux synchronisées avec les mesures dans l'atmosphère, où un plus grand nombre de substances chimiques sont analysées dans l'air (produits ignifuges bromés et autres nouveaux, siloxanes, PUC, etc.), à la fois dans l'Arctique canadien et dans le cadre d'autres programmes de mesure atmosphérique.





## 7. L'évaluation des effets biologiques demeure un défi

L'évaluation des effets des POP sur la santé du biote dans l'Arctique canadien pose beaucoup de défis en raison de facteurs tels que la faible exposition aux contaminants, l'accès limité à des échantillons frais, les difficultés de traiter les échantillons d'une manière adaptée aux besoins des paramètres sanitaires sur le terrain, et les connaissances limitées du cycle vital et de l'écologie de l'alimentation de nombreuses espèces. La réalisation d'études toxicologiques sur les espèces sauvages de l'Arctique reste difficile, mais de récents investissements dans la recherche dans le cadre du PLCN ont amélioré les connaissances sur les effets des contaminants persistants sur le biote de niveau trophique supérieur et aidé à élaborer de nouveaux outils biochimiques visant à évaluer ces effets.

Il existe peu de preuves selon lesquelles les POP ont des effets étendus sur la santé des animaux arctiques du Canada. Les meilleures preuves de tels effets chez les prédateurs supérieurs sont tirées d'études réalisées sur des ours blancs de l'est du Groenland et du Svalbard, de même que sur des Goélands bourgmestres du Svalbard, animaux qui sont beaucoup plus exposés à la plupart des POP que ceux de l'Arctique canadien. Toutefois, des études menées dans des sites contaminés par les PCB dans la baie de Saglek révèlent des déclinés des concentrations de PCB dans les sédiments et le biote, et des effets biologiques du milieu marin au fil du temps, illustrant ainsi que les connaissances et les outils existants permettent d'évaluer les effets là où des taux d'exposition relativement élevés sont documentés. Les concentrations de PCB chez des petits de deux espèces, soit le chabousseau à épines courtes et le Guillemot à miroir, dans la baie de Saglek, sont inférieures aux concentrations ( $1\ 000\ \text{ng g}^{-1}$  poids humide) précédemment associées aux risques de perturbation de la reproduction et de la survie.

Les concentrations de  $\Sigma\text{PCB}$  chez le béluga et l'ours blanc dépassent la valeur toxicologique de référence à l'égard de l'immunotoxicité et de la perturbation endocrinienne ( $1,3\ \mu\text{g g}^{-1}$  lipides) pour le phoque commun. Les concentrations moyennes de  $\Sigma\text{PCB}$  dans les œufs d'oiseaux de mer de l'Arctique canadien sont bien en deçà des seuils rapportés pour la mortalité des œufs et le succès d'éclosion des oiseaux piscivores (sauf le Goéland bourgmestre). Les concentrations hépatiques de PFOS chez les ours blancs dépassent les valeurs estimées sans

effet observé, mais celles détectées chez les oiseaux et les phoques sont inférieures aux valeurs estimées sans effet observé par un ordre de grandeur.

### Recommandations

- La mise au point, la validation et l'application de nouvelles méthodes de génomique fournissent un moyen puissant d'examiner la relation entre les paramètres physiologiques et les contaminants persistants. Ces méthodes devraient donc être appliquées à l'examen des effets subtils sur les animaux arctiques de niveau trophique supérieur.
- Pour les études sur les effets biologiques et les effets du changement climatique sur l'exposition aux POP, l'accent devrait être mis sur les multiples variables écologiques, biologiques et physiques (naturelles et anthropiques) à considérer lors de l'analyse de la contamination chez les espèces et de la comparaison des données entre les études.

*Langues officielles – Le contenu suivant peut être fourni en français, sur demande. Veuillez communiquer avec le Secrétariat du PLCN à [PLCN-NCP@aadnc-aandc.gc.ca](mailto:PLCN-NCP@aadnc-aandc.gc.ca).*



# Acronyms and Abbreviations

Acronyms	Full name
ABL	Atmospheric Boundary Layer
AC-BAP	Arctic contamination and bioaccumulation potentials
ACP	Arctic Contamination Potential
AMAP	Arctic Monitoring and Assessment Programme
AMBBM	Arctic Mass Balance Box Model
AO	Arctic Oscillation
AOPWIN	A computer model for estimating atmospheric oxidation half-lives. Available in EPI Suite from the US EPA
BAP	Bioaccumulation potential
BCF	Bioconcentration factor
BCFWIN	A computer model for estimating bioconcentration factors in fish. Available in EPI Suite from the US EPA
BDL	Below detection limit
BETR-World Model	Berkeley-Trent Global Contaminant Fate Model
BIOWIN	A computer model to estimate biodegradation rates of chemicals. Available in EPI Suite from the US EPA
CAIPAP	Canadian Arctic Indigenous Peoples Against POPs
CanMETOP	Canadian Model for Environmental Transport of Organochlorine Pesticides
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CEMC	Canadian Centre for Environmental Modelling and Chemistry
CEPA	Canadian Environmental Protection Act
CFL	Circumpolar Flaw Lead
CLRTAP	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution
CMC	Canadian Meteorological Centre
COP	Conference of the Parties
CTD	Characteristic travel distance
CUP	Current use pesticide
$D_{AW}$	Air-water distribution coefficient
DEHM	Danish Eulerian Hemispheric Model
DEW	Distant Early Warning line – military radar facilities
DF	Digital Filtration Technique
DLCU	DEW-line Clean Up
DL-PCB	Dioxin-like polychlorinated biphenyl
DND	Department of National Defence
DOC	Dissolved organic carbon
$D_{OW}$	Octanol-water distribution coefficient
DRT	Distant residence time
DSL	Domestic Substance List
EAO	Eastern Arctic Ocean
EBC	Equivalent black carbon
EC	Environment Canada
EF	Enantiomer fraction
ENSO	El Niño-Southern Oscillation



Acronyms	Full name
EPI	Estimation Program Interface
F	Flux
FA	Fatty acid
FAV	Final adjusted value
FR	Fugacity ratio
FRs	Flame retardants
FTS	Flowthrough sampler
FWI	Fresh Water Institute
GAPS	Global Atmospheric Passive Sampling
GC	Gas chromatography
GFF	Glass fiber filter
GMP	Global Monitoring Plan
H or HLC	Henry's law constant
HENRYWIN	A computer model for estimating air-water partition coefficients and Henry's Law Constants. Available in EPI Suite from the US EPA
HPLC	High performance liquid chromatography
HPV	High Production Volume
IGS	Inert gas stripping
INAC	Indian and Northern Affairs of Canada
INCATPA	Intercontinental Atmospheric Transport of Anthropogenic Pollutants to the Arctic
IPCS	International Program for Chemical Safety
IPY	International Polar Year
IRPTC	the International Registry of Potentially Toxic Chemicals
ITK	Inuit Tapirit Kanatami
$K_{AW}$	Air/water partition coefficient
$K_{IA}$	Surface/air sorption coefficient
$K_{OA}$	Octanol/air partition coefficient
KOAWIN	A computer model for estimating octanol-air partition coefficients. Available in EPI Suite from the US EPA
$K_{OW}$	Octanol/water partition coefficient
KOWWIN	A computer model for estimating octanol-water partition coefficients. Available in EPI Suite from the US EPA
$K_p$	Particle-gas partitioning coefficient
$K_{PA}$	Particle/air partition coefficient
$K_{Snow-Air}$	Snow-air partition coefficient
LDV	Literature-derived value
LCC	Local contaminants concerns
LOAEL	Lowest Observable Adverse Effects Level
LOD	Limit of detection – see also MDL
LOQ	Limit of quantification (usually defined as 10 x SD of blank values)
LROT	Long-range oceanic transport
LRTAP	Long-Range Transboundary Air Pollution
LRTP	Long range transport potential
LSER	Linear solvation energy relationship
MDL	Method detection limit (usually defined as 3 x SD of blank values)
MEDIA	Multicompartment Environmental Diagnosis and Assessment
MSC	Meteorological Service of Canada





Acronyms	Full name
MTC	Mass transfer coefficient
NAAO	North American Arctic Ocean
NAFTA	North American Free Trade Agreement
NAO	North Atlantic Oscillation
NCP	Northern Contaminants Program
NILU	Norwegian Institute for Air Research
NLET	National Laboratory for Environmental Testing
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOAEL	No Observed Adverse Effects Level
NPHP	North Pacific High Pressure
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSPAR	The Convention for the Protection of the marine Environment of the North-East Atlantic
PAS	Passive Air Sampler
PB&T	Persistent, toxic and bioaccumulative
PCA	Principal component analysis
$P_L$	Liquid-phase vapour pressure
PML	Polar mixed layer
POC	Particulate organic carbon
POP	Persistent organic pollutant
$P_{OV}$	Overall persistence
pp-LFERs	Polyparameter linear free energy relationships
$P_S$	Solid phase vapour pressure
PUF	Polyurethane foam
QSPR	Quantitative structure-property relationship
RP-HPLC	Reverse phase high performance liquid chromatography
$S_A$	Solubility in air
SI	Stable isotope ratio ( $\delta^{13}C$ , $\delta^{15}N$ )
SIP	Sorbent impregnated polyurethane
$S_o$	Solubility in octanol
SOC	Semivolatile organic compound
sp-LFER	Single-parameter linear free energy relationship
SSA	Specific surface area
$S_w$	Solubility in water
TEQ	Toxic equivalent
TL position	Trophic level, the position an organism occupies in a food chain
TSMP	Toxic Substances Management Policy
TSP	Total suspended particles
UN-ECE	The United Nations Economic Commission for Europe
UNEP	The United Nations Environment Programme
$\Delta H_{EX}$	Enthalpy of air-surface exchange
$\Delta H_{SUB}$	Enthalpy of sublimation
$\Delta H_{VAP}$	Heat of vapourization
$\Delta S_{VAP}$	Entropy of vapourization



