

**Les aiguilles de conifères de la région
de Mercier comme bio-indicateurs
de la qualité de l'air : mesure des PCDD,
des PCDF, des BPC et des HAP**



Janvier 2011

Photo de la page couverture : Pierre Walsh

Ce document peut être consulté sur le site Internet du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs au <http://www.mddep.gouv.qc.ca>.

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011

ISBN : 978-2-550-60934-6 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2011

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Pierre Walsh¹, biologiste, Ph. D.

Échantillonnage

André Thibault¹, M. Env.

Analyses chimiques

François Messier², chimiste, Ph. D.

Révision scientifique

Marie-Pier Brault¹, biologiste, M.E.I.

Yvon Couture¹, chimiste, M. Sc.

Gilles Boulet¹, météorologue, M. Sc.

Jean-François Brière¹, M. Sc.

Roger Lemire³, biologiste, M. Sc. A.

Daniel Busque³, biologiste, M. Sc.

Coordination à la diffusion

Francine Lalande³, ingénieure, M. Sc.

Mise en page

Sylvie Boutin⁴

-
1. Service des avis et des expertises, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
 2. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.
 3. Service de l'information sur le milieu atmosphérique, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
 4. Service de l'information sur le milieu aquatique, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

Référence

WALSH, P., 2011. *LES AIGUILLES DE CONIFÈRES DE LA RÉGION DE MERCIER COMME BIO-INDICATEURS DE LA QUALITÉ DE L'AIR : MESURE DES PCDD, DES PCDF, DES BPC ET DES HAP*, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN : 978-2-550-60934-6 (PDF), 23 pages.

RÉSUMÉ

Dans le cadre du plan d'action gouvernemental relatif aux lagunes de Mercier (MDDEP 2007), des échantillons d'aiguilles d'épinettes blanches (*Picea glauca*) et d'épinettes de Norvège (*Picea abies*) ont été prélevés en 2007 (12 sites) et en 2008 (14 sites) comme indicateurs de la présence de certains composés semi-volatils dans l'air ambiant, soit les dioxines et les furanes (PCDD et PCDF), les biphenyles polychlorés (BPC) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Pour ces trois types de composés, les concentrations moyennes observées sont du même ordre de grandeur que celles trouvées en milieu rural et urbain ailleurs au Québec. Les concentrations mesurées de PCDD et de PCDF ont varié de 4,4 à 114,9 picogrammes/gramme de matière sèche (pg/g) avec une moyenne de 33,1 pg/g pour les deux années (n = 24). Les concentrations de BPC ont fluctué de 230 à 4 700 pg/g en 2007 et de 230 à 2 000 pg/g en 2008 avec une moyenne pour les deux années de 754 pg/g (n = 26). En 2007, les concentrations de HAP ont varié de 71,3 à 554,3 nanogrammes/gramme de matière sèche (ng/g) et, en 2008, de 21,7 à 109,3 ng/g avec une moyenne de 112,8 ng/g (n = 26) pour les deux années.

Les concentrations de 2007 et de 2008 de PCDD et de PCDF, de BPC et de HAP sont corrélées. La cohérence des résultats entre les deux années indique que les concentrations dans les aiguilles pourraient être fonction des caractéristiques d'absorption propres aux aiguilles de chaque arbre, ou encore de la présence de conditions de contamination de l'air variant localement, de site en site.

Le profil de concentration des groupes homologues de PCDD et de PCDF des émissions de l'incinérateur est dominé par les tétrachlorodibenzofuranes (T₄CDF), alors que celui des aiguilles est caractérisé par la prépondérance des octachlorodibenzodioxines (O₈CDD) et des heptachlorodibenzodioxines (H₇CDD). On n'a pas trouvé de lien entre le rapport PCDD/PCDF de chacun des sites et l'importance de la contribution de l'incinérateur aux concentrations de ces contaminants dans l'air telle qu'évaluée par une modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions. Aucun lien n'a non plus été trouvé entre l'influence de l'incinérateur sur chacun des sites et les concentrations de T₄CDF dans les aiguilles. Ces résultats suggèrent qu'il est improbable que les émissions de l'incinérateur puissent entraîner une accumulation de composés semi volatils dans les aiguilles suffisamment importante pour être décelable. Ces résultats sont cohérents avec le faible niveau des concentrations de ces contaminants ajoutées dans l'air ambiant par l'incinérateur par rapport aux concentrations ambiantes moyennes attendues pour la région. Les concentrations de PCDD et de PCDF, de BPC et de HAP dans les aiguilles sont vraisemblablement attribuables aux concentrations moyennes dans l'air de ce secteur ainsi qu'à des influences très locales, comme, possiblement, le chauffage au bois ou la proximité des voies de circulation.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1. Échantillonnage et analyses.....	2
2. Résultats	4
2.1 PCDD et PCDF	4
2.1.1 Concentrations totales de PCDD et de PCDF.....	4
2.1.2 Liens entre les concentrations de 2007 et de 2008.....	5
2.1.3 Relation entre les concentrations totales de PCDD et de PCDF dans les aiguilles et les émissions de l'incinérateur	5
2.1.4 Profils des groupes homologues	7
2.2 BPC	9
2.3 HAP	13
Conclusion	18
Références	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Biphényles polychlorés analysés dans les aiguilles	20
Annexe 2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques analysés dans les aiguilles	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Plages de concentrations de COSV trouvées dans des échantillons d'aiguilles de conifères au Québec.....	2
Tableau 2 Concentrations de PCDD et de PCDF totales dans les aiguilles de conifères	5
Tableau 3 Contribution de l'incinérateur de Clean Harbors aux concentrations moyennes annuelles de PCDD et de PCDF dans l'air	6
Tableau 4 Concentrations des groupes homologues de BPC et des BPC totaux.....	10
Tableau 5 Concentrations des HAP dans les aiguilles de conifères en 2007 et en 2008.	14
Tableau 6 Corrélation de rang de Spearman (r) des concentrations moyennes de HAP totaux et des sections 1 à 7.	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des 14 sites d'échantillonnage des aiguilles de conifères dans le secteur de Mercier	3
Figure 2	Rose des vents de l'aéroport de Dorval.....	3
Figure 3	Distribution des concentrations de PCDD et de PCDF totales dans les échantillons du secteur de Mercier	4
Figure 4	Relation entre les concentrations de PCDD et de PCDF	6
Figure 5	Relation entre les concentrations de PCDD et de PCDF dans les aiguilles et celles ajoutées dans l'air par l'incinérateur de Clean Harbors	7
Figure 6	(A) Profil des groupes homologues de PCDD et de PCDF dans les émissions de l'incinérateur de Clean Harbors et (B) Proportion moyenne des groupes homologues de PCDD et de PCDF dans les échantillons d'aiguilles de conifères	8
Figure 7	Relation entre le rapport PCDD/PCDF dans les aiguilles et les concentrations ajoutées dans l'air par l'incinérateur de Clean Harbors à chacun des sites d'échantillonnage	9
Figure 8	Distribution de fréquence des concentrations de BPC totaux dans les échantillons du secteur de Mercier	11
Figure 9	Relation entre les concentrations de BPC observées dans les aiguilles en 2007 et en 2008	11
Figure 10	Profils de distribution des groupes homologues de BPC des sites 2 et 7 en 2007 et en 2008	12
Figure 11	Relation entre les concentrations de BPC ajoutées dans l'air par les émissions de l'incinérateur et celles que l'on observe dans les aiguilles de conifères à chacun des sites d'échantillonnage.....	13
Figure 12	Proportion de chaque section de HAP par rapport aux HAP totaux dans les aiguilles de conifères.....	15
Figure 13	Distribution des concentrations de HAP dans les échantillons du secteur de Mercier.....	16
Figure 14	Relation entre les concentrations de HAP de 2007 et de 2008 à chacun des sites.....	16
Figure 15	Relation entre les concentrations de HAP dans les aiguilles et celles ajoutées dans l'air par l'incinérateur de Clean Harbors	17

INTRODUCTION

À l'automne 2007, le gouvernement du Québec annonçait un plan d'action dans le dossier des lagunes de Mercier (MDDEP 2007). Celui-ci comportait un volet sur la qualité de l'air pour répondre aux inquiétudes des citoyens quant aux émissions de l'incinérateur de matières dangereuses de la compagnie Clean Harbors qui est établi sur le site des lagunes. L'étude de la qualité de l'air annoncée dans le communiqué comportait « le suivi de certaines espèces de conifères afin de détecter la présence de certains contaminants atmosphériques ».

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a donc prélevé, en 2007 et en 2008, des échantillons d'aiguilles de conifères pour analyser leur teneur en certains composés organiques semi-volatils (COSV) pouvant être émis par un incinérateur de ce type, soit les biphényles polychlorés (BPC), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les polychlorodibenzodioxines (PCDD) et polychlorodibenzofuranes (PCDF). Les sites d'échantillonnage ont été sélectionnés autour de l'incinérateur, dans les municipalités de Mercier, de Saint-Isidore-de-La Prairie et de Sainte-Martine.

L'analyse des aiguilles de conifères a beaucoup été utilisée comme biotraceur ou bio-indicateur de la présence et de la relative abondance de certains COSV dans l'air ambiant (Eriksson 1989; Jensen 1992; Calamari *et al.* 1994; Tremolada *et al.* 1996; Howe *et al.* 2004; Kirchner *et al.* 2006; Bochentin *et al.* 2007). Les aiguilles de conifères sont constituées d'une couche externe cireuse qui absorbe les COSV hydrophobes présents en phase gazeuse dans l'air ambiant. Elles constitueraient en quelque sorte un puits pour les COSV (Hellström 2003).

On estime que, dans la plupart des situations, le rapport surface/volume des aiguilles serait le facteur gouvernant l'accumulation des COSV (Moeckel *et al.* 2008) le plus important. Toutefois, d'autres facteurs agissent aussi sur l'accumulation et il est difficile de relier quantitativement, dans une relation simple, la concentration de COSV des aiguilles à celle de l'air ambiant. On s'accorde toutefois sur le fait qu'une plus grande concentration de COSV dans les aiguilles indique vraisemblablement une plus grande concentration de COSV dans l'air et, dans certains cas, la proximité d'une source d'émission. La mesure des COSV dans les aiguilles peut donc être considérée comme un moyen simple et rapide d'obtenir un aperçu de l'importance des concentrations de COSV dans l'air.

Le MDDEP réalise depuis quelques années des mesures de PCDD, de PCDF, de BPC et de HAP dans des échantillons d'aiguilles de conifères prélevés à différents endroits au Québec. Ces mesures ont permis d'obtenir une information générale sur la concentration de ces substances et un aperçu de leur répartition géographique. Les concentrations sont généralement plus importantes au sud du Québec, dans les zones urbaines et près de certaines sources d'émission industrielles (tableau 1; Walsh 2006).

Dans le but d'obtenir rapidement de l'information sur l'importance des concentrations de BPC, de HAP, de PCDD et de PCDF dans l'air ambiant, le MDDEP a prélevé, au printemps 2007 et 2008, des échantillons d'aiguilles de conifères dans la région de Mercier. Les résultats sont évalués principalement selon deux aspects. Les distributions des concentrations dans les aiguilles sont premièrement comparées à celles observées précédemment pour l'ensemble du Québec (tableau 1). Deuxièmement, les concentrations dans les aiguilles sont mises en relation avec les concentrations de BPC, de HAP, de PCDD et de PCDF ajoutées dans l'air ambiant de la région par l'incinérateur, lesquelles ont été calculées par une modélisation de la dispersion (MDDEP 2010).

Tableau 1 Plages de concentrations de COSV trouvées dans des échantillons d'aiguilles de conifères au Québec (Walsh 2006)

	PCDD et PCDF (pg/g ms ¹)	BPC (pg/g ms)	HAP (ng/g ms)
Sites ruraux	0-20	100-1 000	5-40
Sites urbains	20-60	1 000-4 000	50-150
Sites influencés par une source industrielle	500 et plus	50 000	5 000

1. ms : matière sèche

1. Échantillonnage et analyses

Douze échantillons d'aiguilles de conifères ont été prélevés en 2007, et 14 en 2008, dans les secteurs de Mercier, de Saint-Isidore-de-La Prairie et de Sainte-Martine. Les sites d'échantillonnage ont été sélectionnés, dans la mesure du possible, autour du secteur dit des anciennes lagunes de Mercier, à une distance variant de 0,6 à 4,6 km de l'incinérateur (figure 1).

Cette région est agricole et les conifères qu'on y trouve sont essentiellement des arbres plantés autour de résidences. Le choix des sites de prélèvement était donc limité. Les sites 1, 2, 3 et 4 sont situés sur le boulevard Sainte-Marguerite, à proximité des lagunes et de l'incinérateur. Les sites 5 et 6 sont localisés dans le secteur urbanisé de Mercier et le site 7 est un peu plus au nord sur le boulevard Sainte-Marguerite. Les sites 8, 9 et 10 sont situés dans Saint-Isidore-de-La Prairie. Les sites 11, 12, 13 et 14 sont localisés respectivement au sud-sud-est (SSE), au sud-est (SE), au sud-sud-ouest (SSO) et au sud-ouest (SO) de l'incinérateur. Les sites situés en aval, sous les vents de l'incinérateur, soit au nord-est de celui-ci, sont les sites 8, 9 et 10 de Saint-Isidore-de-La Prairie. Ceux-ci sont toutefois situés à une bonne distance de l'incinérateur, soit respectivement à 3,5, à 4,4 et à 4,6 km, et, conséquemment, ils ne sont finalement pas plus exposés aux émissions de l'incinérateur que ceux de Mercier et du boulevard Sainte-Marguerite en dépit du fait qu'ils soient localisés sous les vents dominants (MDDEP 2010).

Les aiguilles ont été prélevées en majorité sur des épinettes blanches (*Picea glauca*), à une hauteur variant de 2 à 3 m. Au site 11 de Mercier, étant donné l'absence d'épinettes blanches dans les environs, les aiguilles ont été prélevées sur une épinette de Norvège (*Picea abies*). Au moment de l'échantillonnage, les rameaux sont coupés, placés dans des sacs de papier kraft et conservés au froid. La journée même ou le lendemain, les aiguilles de l'année sont coupées et conservées dans des pots de verre. Les échantillons sont par la suite gardés à - 20 °C jusqu'à leur analyse au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Les résultats de concentration dans les aiguilles sont présentés en picogrammes par gramme de matière sèche d'aiguilles (pg/g) dans le cas des PCDD, des PCDF et des BPC, ou en nanogrammes par gramme de matière sèche d'aiguilles (ng/g) pour ce qui est des HAP.

La figure 2 présente la rose des vents de l'aéroport de Dorval. Celle-ci est représentative de la région de Mercier et de l'île de Montréal. Les vents dominants proviennent du sud-ouest (SO), du sud-sud-ouest (SSO) et de l'ouest (O).

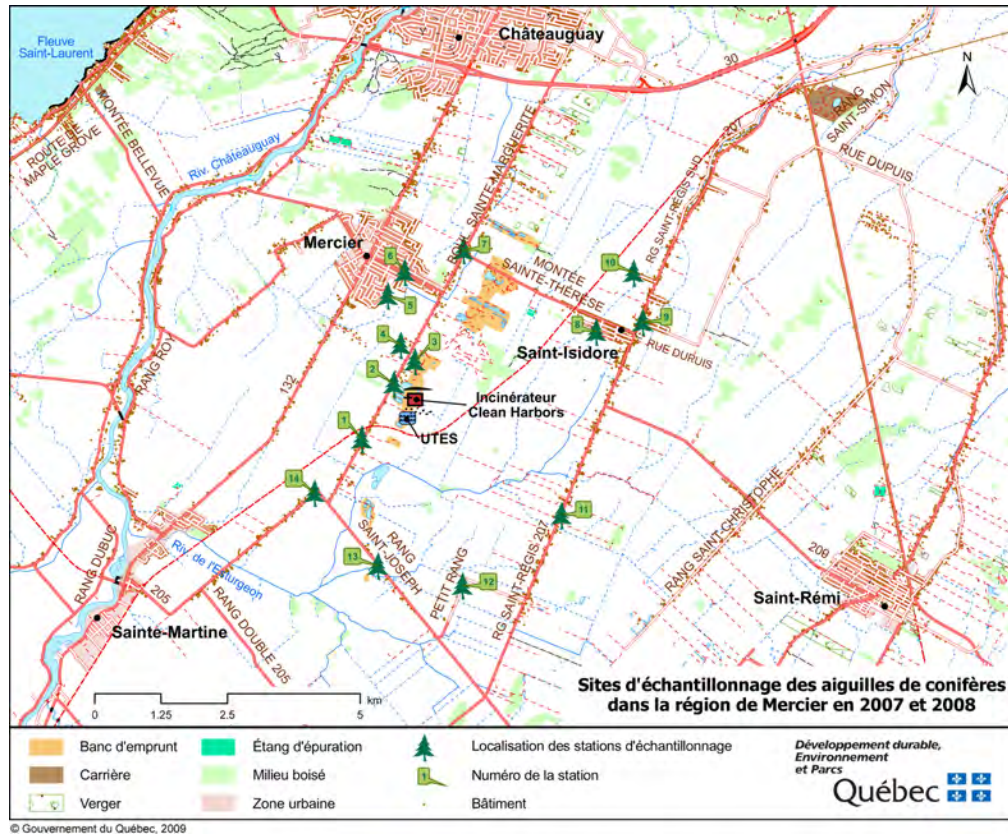


Figure 1 Localisation des 14 sites d'échantillonnage des aiguilles de conifères dans le secteur de Mercier

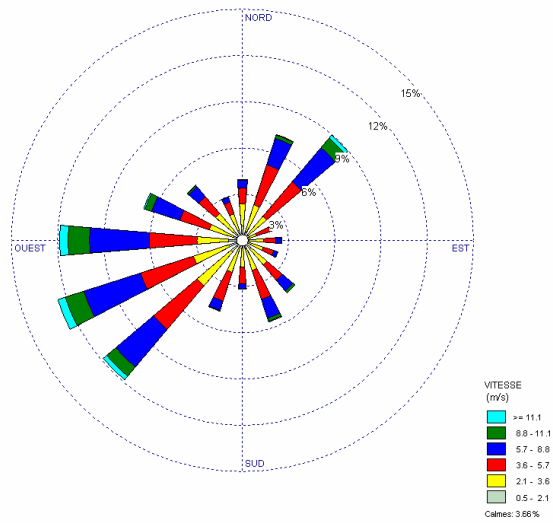


Figure 2 Rose des vents de l'aéroport de Dorval

2. Résultats

2.1 PCDD et PCDF

2.1.1 Concentrations totales de PCDD et de PCDF

Les concentrations totales de PCDD et de PCDF (PCDD/F) variaient de 4,4 à 3 979,0 pg/g en 2007 et de 9,7 à 547,3 pg/g en 2008 (tableau 2). En faisant abstraction du site 12, l'étendue des concentrations mesurées était de 4,4 à 80,7 pg/g en 2007 et de 9,7 à 114,9 pg/g en 2008, avec des moyennes de 34,9 pg/g en 2007 et de 31,2 pg/g en 2008. La figure 3 présente la distribution des concentrations des 24 résultats de 2007 et de 2008.

Les concentrations maximales observées au site 12 en 2007 et en 2008, soit respectivement 3 979,0 et 547,3 pg/g, sont beaucoup plus élevées que celles mesurées à tous les autres sites. En comparaison des résultats obtenus ailleurs au Québec, les concentrations au site 12 se situent au niveau de celles des secteurs fortement influencés par des sources d'émission industrielles (tableau 1). Or, ce site n'a rien de particulier et, plus encore, il est un de ceux les moins influencés par les émissions de l'incinérateur, selon les résultats de la modélisation. L'arbre échantillonné a vraisemblablement été sous l'influence immédiate d'une source d'émission très locale qui ne peut être déterminée pour le moment, mais qui n'est pas associée à l'incinérateur de Clean Harbors.

La moyenne des résultats des deux années, sans le site 12, est de 32,9 pg/g. Elle se situe dans le tiers inférieur des concentrations généralement observées dans des milieux urbains, soit de 20 à 60 pg/g (tableau 1). La moyenne des concentrations totales de PCDD/F est cohérente avec ce à quoi on peut s'attendre pour la région de Mercier, une région rurale et périurbaine de faible densité.

En 2008, la seule concentration située au-dessus de 60 pg/g, mise à part celle du site 12, a été observée au site 9, soit 114,9 pg/g. En 2007, on a observé des concentrations de 80 pg/g (site 1), de 66,1 pg/g (site 7) et de 79,9 pg/g (site 11). Bien que ces concentrations soient un peu plus élevées, on ne pense pas qu'elles soient reliées aux émissions de l'incinérateur. Il faut remarquer ici que les échantillons prélevés dans l'ensemble du Québec, et à partir desquels nous avons déterminé les étendues présentées dans le tableau 1, ont été choisis volontairement à l'écart de sources immédiates, par exemple une route ou une résidence.

Dans le secteur de Mercier, il a été impossible de respecter cette règle et les échantillons ont été prélevés sur des arbres situés sur des terrains de résidences. Ceux-ci étaient donc forcément exposés aux différentes sources d'émission qu'on peut y trouver, comme le chauffage au bois. Pour cette raison, on s'attendait à observer une plus grande variabilité dans les échantillons de PCDD/F et, occasionnellement, des concentrations plus élevées.

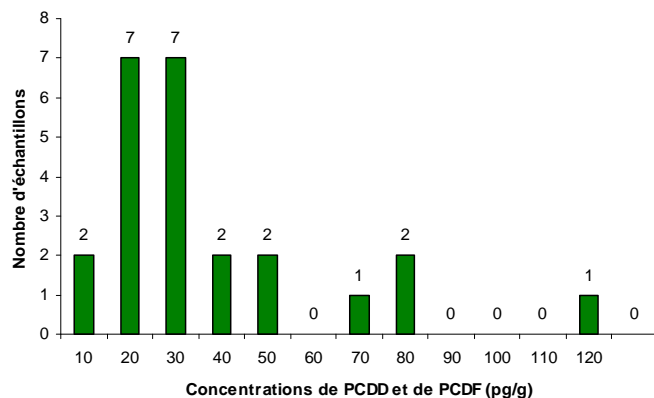


Figure 3 Distribution des concentrations (pg/g) de PCDD et de PCDF totales dans les échantillons du secteur de Mercier prélevés en 2007 et en 2008

Tableau 2 Concentrations (pg/g) de PCDD et de PCDF totales dans les aiguilles de conifères en 2007 et en 2008

Sites	PCDD	PCDF	Total	PCDD	PCDF	Total	Moy.	Rapport
	(pg/g)			(pg/g)			(pg/g)	PCDD/PCDF
	2007			2008			2007-2008	2007-2008
1	77,0	3,0	80,0	26,5	6,6	33,1	56,6	10,8
2	21,2	4,2	25,4	19,2	12,2	31,4	28,4	2,5
3	s. o. ¹	s. o.	s. o.	7,1	5,8	12,9	12,9	1,2
4	8,6	3,7	12,3	15,5	6,7	22,2	17,3	2,3
5	19,3	3,5	22,8	18,4	11,1	29,5	26,2	2,6
6	35,9	8,9	44,8	12,7	3,6	16,3	30,6	3,9
7	55,0	11,1	66,1	18,7	7,4	26,1	46,1	4,0
8	16,9	1,8	18,7	18,3	4,0	22,3	20,5	6,1
9	4,4	0,0	4,4	91,1	23,8	114,9	59,7	4,0
10	10,1	4,3	14,4	15,9	6,4	22,3	18,4	2,4
11	76,0	3,9	79,9	40,4	4,4	44,8	62,4	14,0
12	3 650,0	329,0	3 979,0	481,3	66,0	547,3	2 263,2	10,5
13	9,4	3,9	13,3	17,7	1,9	19,6	16,5	4,7
14	s. o.	s. o.	s. o.	7,1	2,6	9,7	9,7	2,7
Moy.	332,0	31,4	363,4	56,4	11,6	68,0	192,4	
Moy.2 ²	30,3	4,4	34,7	23,7	7,4	31,2	33,1	

1. Non échantillonné en 2007

2. Moy.2 : moyenne calculée sans le site 12

2.1.2 Liens entre les concentrations de 2007 et de 2008

La figure 4 présente les relations entre les résultats de PCDD/F des années 2007 et 2008. La corrélation entre les deux années est forcée par les très fortes concentrations de PCDD/F observées au site 12 en 2007 et en 2008. D'un autre côté, les résultats du site 9 éliminent la possibilité d'une corrélation, puisqu'on trouve à cet endroit la plus faible concentration de PCDD/F en 2007 (4,4 pg/g), et la plus forte en 2008 (114,9 pg/g). Les aiguilles du site 9 proviennent d'un arbre situé sur le parterre d'une résidence de la rue Dupuis, à Saint-Isidore-de-La Prairie; il n'y a pas d'explication apparente à la grande différence entre les concentrations observées en 2007 et en 2008.

Par ailleurs, les résultats de 2007 et de 2008 aux autres sites sont significativement corrélés. La cohérence générale des résultats entre les deux années pourrait s'expliquer par une certaine constance des concentrations de PCDD/F dans l'air ambiant en 2007 et en 2008 à chacun des sites. Il est aussi possible que cette cohérence provienne des caractéristiques physicochimiques des aiguilles elles-mêmes, puisque, dans l'ensemble, les mêmes arbres ont été échantillonnés en 2007 et en 2008.

2.1.3 Relation entre les concentrations totales de PCDD et de PCDF dans les aiguilles et les émissions de l'incinérateur

Pour évaluer les effets possibles de l'incinérateur sur les concentrations de PCDD/F dans les aiguilles, on les a mises en relation avec les concentrations moyennes ajoutées dans l'air par l'incinérateur à chacun des sites d'échantillonnage telles qu'établies par une modélisation de la dispersion des émissions de l'incinérateur (tableau 3).

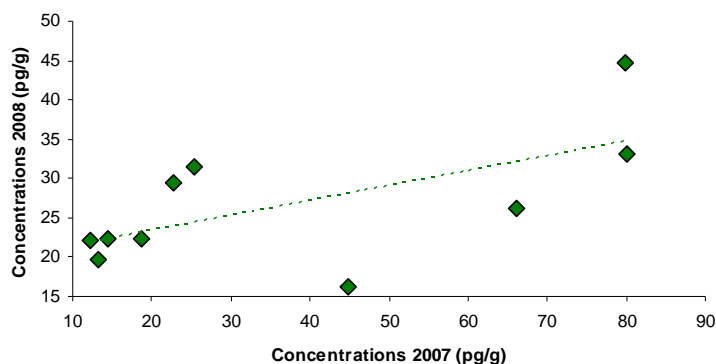


Figure 4 Relation entre les concentrations de PCDD et de PCDF de 2007 et de 2008 ($r^1 = 0,657$; $P^2 = 0,0332$) à chacun des sites (les résultats des sites 9 et 12 ne sont pas inclus)

L'effet maximal des émissions de l'incinérateur est observé aux sites 1 et 3 avec une concentration moyenne calculée de PCDD/F de 3,8 femtogrammes ET^3/m^3 (3,8 fg ET/m^3) dans l'air ambiant. Les sites 7 et 12 sont les moins touchés par les émissions de l'incinérateur avec des concentrations moyennes de 0,8 et de 0,5 fg ET/m^3 respectivement. La figure 5 présente la variation des concentrations de PCDD/F dans les aiguilles en fonction des concentrations moyennes ajoutées par l'incinérateur. Il n'y a pas d'association entre les émissions de l'incinérateur et les concentrations dans les aiguilles (coefficient de corrélation de rang de Spearman non statistiquement significatif : $r = -0,254$; $P = 0,228$). Cette observation est cohérente avec le fait que les concentrations de PCDD/F ajoutées dans l'air ambiant par l'incinérateur sont relativement peu élevées et ne représentent qu'une faible proportion des concentrations moyennes auxquelles on s'attend pour une région comme celle de Mercier. Les émissions de l'incinérateur ne seraient donc pas suffisamment importantes pour créer un gradient de concentration de PCDD/F dans les aiguilles centré sur celui-ci.

Tableau 3 Contribution de l'incinérateur de Clean Harbors aux concentrations moyennes annuelles de PCDD et de PCDF dans l'air ambiant telles que calculées par une modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions (MDDEP 2010)

Site	PCDD et PCDF (fg/m ³)	Site	PCDD et PCDF (fg/m ³)
1	3,8	8	2,6
2	2,9	9	2,0
3	3,8	10	1,5
4	3,2	11	1,0
5	2,3	12	0,5
6	1,7	13	1,0
7	0,8	14	3,2

1. r : coefficient de corrélation de Spearman.

2. P : probabilité; une valeur de P plus grande que 0,05 signifie l'absence de relation entre les deux paires de variables

3. ET : équivalent toxique de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine.

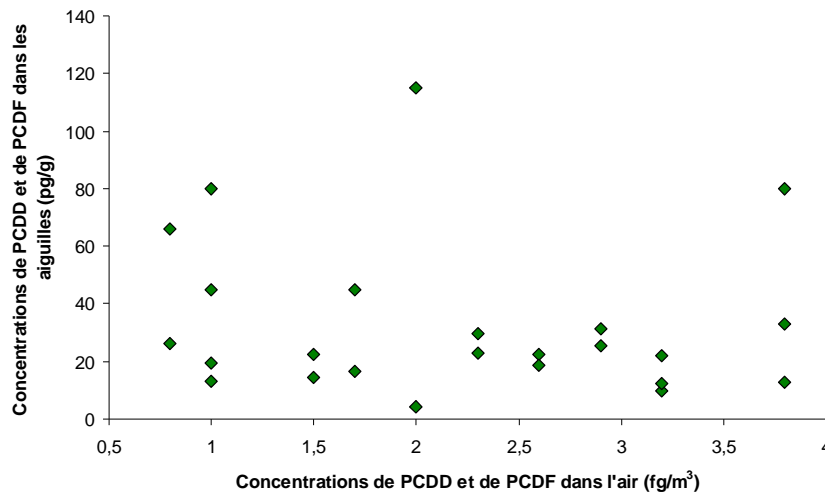


Figure 5 Relation entre les concentrations (pg/g) de PCDD et de PCDF dans les aiguilles et celles ajoutées dans l'air par l'incinérateur à chacun des sites d'échantillonnage ($r = -0,254$; $P = 0,228$)

2.1.4 Profils des groupes homologues

Les PCDD et PCDF constituent une famille de composés qui comprend 210 substances différentes qu'on classe dans des groupes de congénères dotés de 1 à 8 atomes de chlore. Le profil ou la répartition des groupes de congénères dans un échantillon d'air ambiant, de sol ou de végétaux constitue une signature permettant, dans certains cas, de relier ces concentrations à des sources d'émission ayant des profils de congénères présentant des similarités.

Les émissions de l'incinérateur de Clean Harbors se caractérisent par des proportions relativement égales de PCDD et de PCDF, soit des taux de 41,4 et de 42,6 ng/s respectivement (Ortech Environmental 2006). La composition relative des différents groupes de congénères de PCDD et de PCDF dans les émissions de l'incinérateur est présentée à la figure 6A. On remarque une prédominance des PCDF comprenant 4 atomes de chlore, soit les T₄CDF. La figure 6B présente les proportions moyennes des groupes de congénères dans l'ensemble des échantillons d'aiguilles de 2007 et de 2008. Les proportions de PCDD et de PCDF dans les aiguilles sont typiques des échantillons environnementaux. Elles montrent une prépondérance des PCDD par rapport aux PCDF ainsi qu'une plus grande proportion des groupes de congénères de PCDD les plus chlorés. Il y a dans les aiguilles 4,4 fois plus de PCDD que de PCDF. Les proportions de groupes de congénères de PCDD et de PCDF dans les aiguilles et dans les émissions de l'incinérateur sont très différentes et ne suggèrent donc pas une influence des émissions de l'incinérateur sur les concentrations de PCDD et de PCDF dans les aiguilles.

Une augmentation de la proportion des PCDF aux sites les plus près de l'incinérateur pourrait indiquer une influence des émissions de celui-ci. Dans le but de vérifier si la proportion de PCDD et de PCDF pouvait varier en fonction du degré d'influence de l'incinérateur sur les sites, nous avons aussi calculé les rapports PCDD/PCDF des échantillons de 2007 et de 2008 (tableau 2) et nous les avons mis en relation avec les concentrations moyennes de PCDD et de PCDF ajoutées dans l'air ambiant par l'incinérateur à chacun des sites (tableau 3). Il n'y a pas d'association significative entre ces deux variables, comme le montre le coefficient de corrélation de rang de Spearman ($r = -0,333$; $P = 0,109$; figure 7). Il n'y a pas non plus d'association significative entre les concentrations de T₄CDF dans les aiguilles et les concentrations de PCDD/F dans l'air ambiant (données non présentées; $r = -0,216$; $P = 0,329$).

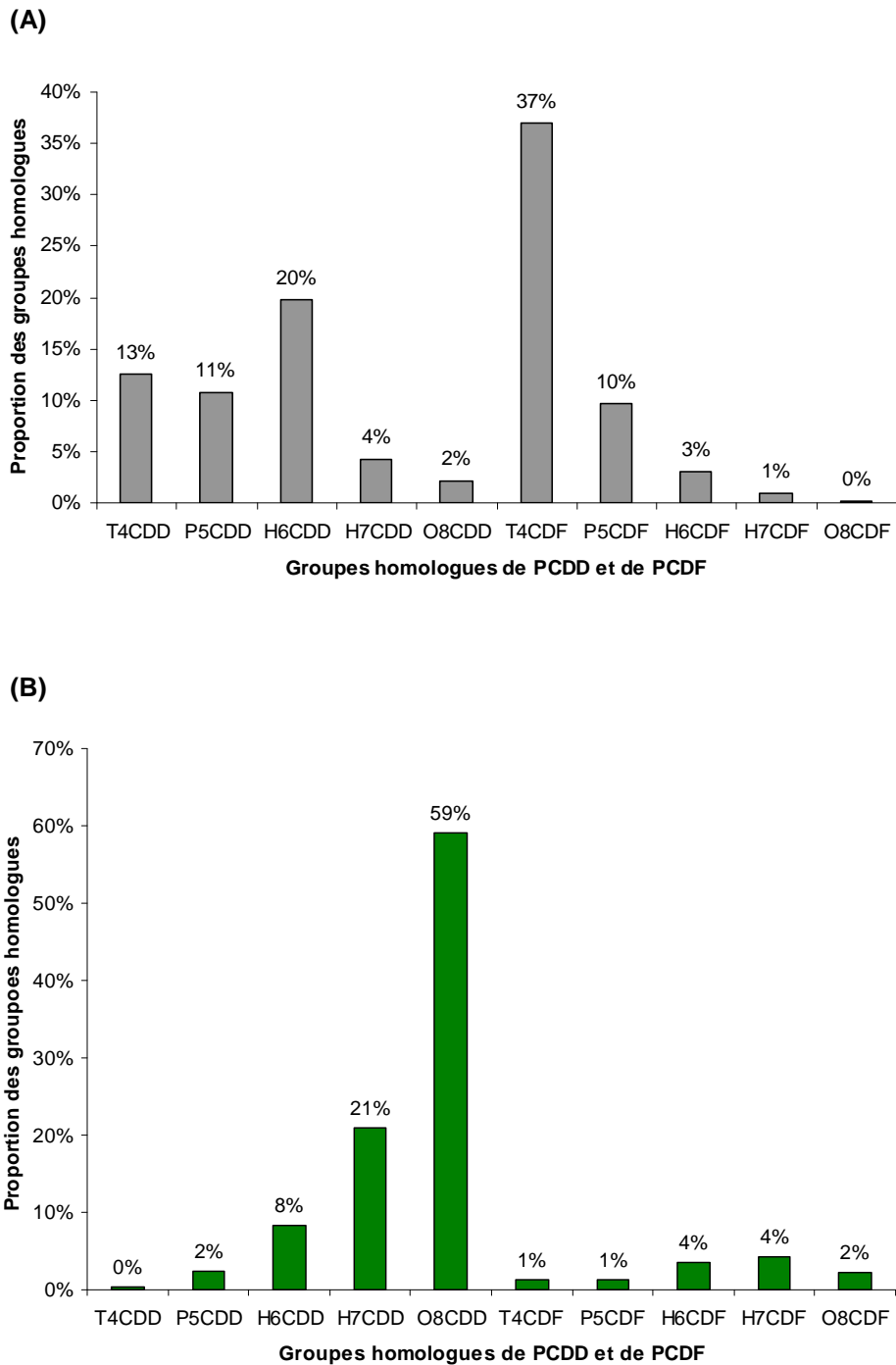


Figure 6 (A) Profil des groupes homologues de PCDD et de PCDF dans les émissions de l'incinérateur de Clean Harbors (d'après Ortech Environmental 2006) et (B) Proportion moyenne des groupes homologues de PCDD et de PCDF dans les échantillons d'aiguilles de conifères

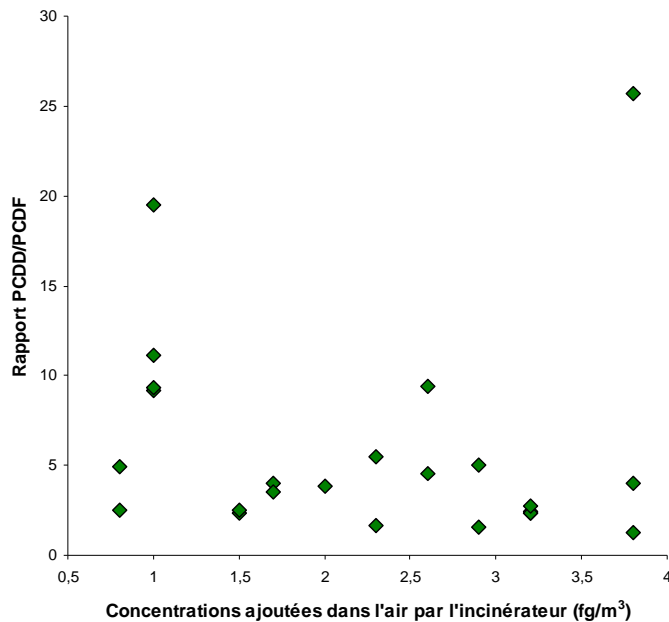


Figure 7 Relation entre le rapport PCDD/PCDF dans les aiguilles et les concentrations ajoutées dans l'air

2.2 BPC

Les différents BPC mesurés dans les aiguilles sont présentés à l'annexe 1. Les résultats sont examinés dans ce rapport sous l'angle des BPC totaux et des groupes homologues, c'est-à-dire en concentrations totales par groupes de molécules possédant le même nombre d'atomes de chlore.

Les concentrations de BPC totaux dans les échantillons d'aiguilles de conifères variaient de 230 à 4 700 pg/g en 2007 et de 230 à 2 000 pg/g en 2008. Les moyennes de 2007 et de 2008 sont respectivement de 923 et de 610 pg/g et la moyenne des deux années est de 754 pg/g (tableau 5). Ces résultats correspondent à ceux qu'on trouve généralement dans les secteurs ruraux, soit de 100 à 1 000 pg/g (tableau 1). La distribution des concentrations mesurées est présentée à la figure 8.

Les concentrations observées à chacun des sites pour les années 2007 et 2008 sont fortement corrélées (figure 9; $r = 0,774$; $P = 0,00181$). Par exemple, le site 2, situé à l'entrée des installations de Clean Harbors sur le boulevard Sainte-Marguerite, montrait la concentration de BPC la plus forte en 2007 (4 700 pg/g) ainsi qu'en 2008 (2 000 pg/g), et le site 7 présentait la deuxième plus forte concentration de BPC en 2007 (1 300 pg/g) et aussi en 2008 (1 200 pg/g). Il en va de même pour les résultats des sites présentant les concentrations les plus faibles.

Les concentrations de BPC pour les groupes homologues comprenant de 3 à 10 atomes de chlore sont présentées au tableau 4. Dans certains cas, la concentration de BPC est répartie différemment entre les groupes homologues. Ainsi, les plus fortes concentrations observées au site 2 en 2007 et en 2008 sont dues à une plus grande concentration des tétrachlorobiphényles et des pentachlorobiphényles, tandis que le site 7 présente les plus fortes concentrations de trichlorobiphényles (tableau 4 et figure 10). Cette observation peut s'expliquer soit par la présence de sources d'émission différentes et très localisées, soit par des propriétés d'absorption propres aux arbres échantillonnés aux deux sites. La forte prépondérance des pentachlorobiphényles est particulière au site 2. Le profil de distribution des groupes homologues de l'ensemble des autres sites s'apparente plutôt à celui du site 7.

Tableau 4 Concentrations (pg/g) des groupes homologues de BPC et des BPC totaux

Site									BPC totaux
	TRI	TÉTRA	PENTA	HEXA	HEPTA	OCTA	NONA	DÉCA	
2007									
1	130	240	200	140	31	ND	ND	ND	740
2	280	870	2 300	1 100	120	28	5	ND	4 700
4	120	140	140	110	42	ND	ND	ND	550
5	100	170	250	240	73	21	ND	ND	850
6	67	93	93	110	8	ND	8	ND	380
7	340	290	320	270	100	20	ND	ND	1 300
8	230	81	110	19	ND	ND	ND	ND	440
9	150	150	150	90	25	4	ND	ND	570
10	150	140	160	110	38	10	ND	3	610
11	130	95	110	72	19	5	ND	ND	430
12	64	79	65	46	18	ND	ND	ND	270
13	86	47	50	48	ND	ND	ND	ND	230
Moy. 2007	153,9	199,6	329,0	196,3	39,5	8,8	1,3	0,4	923
2008									
1	75	140	140	81	32	4	ND	ND	470
2	150	420	1 000	440	11	10	4	ND	2 000
3	25	99	140	72	29	7	ND	ND	370
4	100	180	230	240	73	7	4	ND	830
5	120	180	180	26	4	3	4	ND	520
6	160	100	65	ND	10	18	4	ND	360
7	480	320	310	91	6	5	3	ND	1 200
8	140	160	120	51	7	ND	ND	ND	480
9	200	180	140	71	22	4	ND	ND	620
10	78	78	89	57	27	4	4	ND	340
11	83	96	130	89	51	5	3	ND	460
12	90	94	85	36	14	4	3	ND	330
13	49	100	120	54	4	ND	ND	ND	330
14	44	75	63	27	17	4	ND	ND	230
Moy. 2008	128,1	158,7	200,9	95,4	21,9	5,4	2,1	0,0	610
Moy. 07-08	141,0	179,1	262,9	145,8	30,7	7,1	1,7	0,2	754

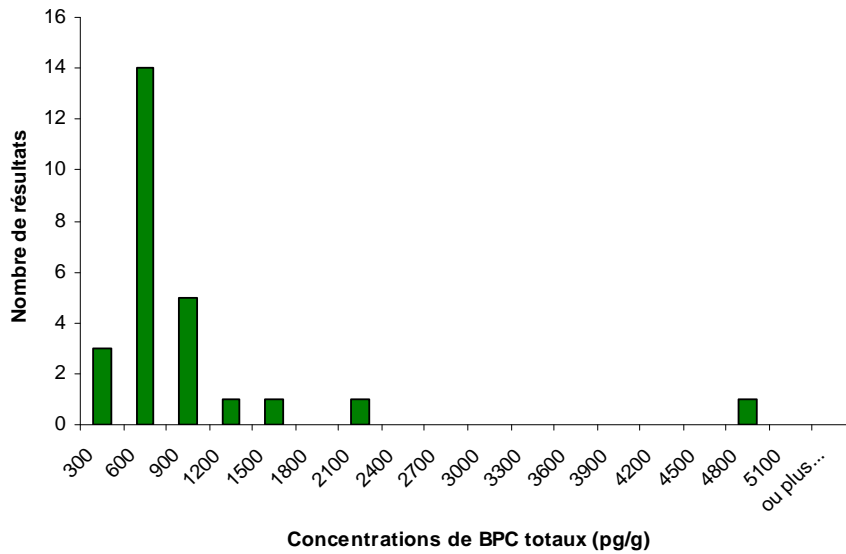


Figure 8 Distribution de fréquence des concentrations (pg/g) de BPC totaux dans les échantillons du secteur de Mercier prélevés en 2007 et en 2008 (n = 26)

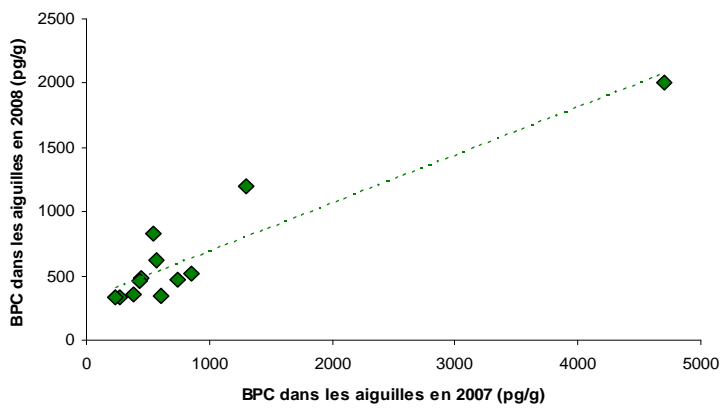


Figure 9 Relation entre les concentrations (pg/g) de BPC observées dans les aiguilles en 2007 et en 2008 pour chacun des sites échantillonnés ($r = 0,774$; $P = 0,00181$)

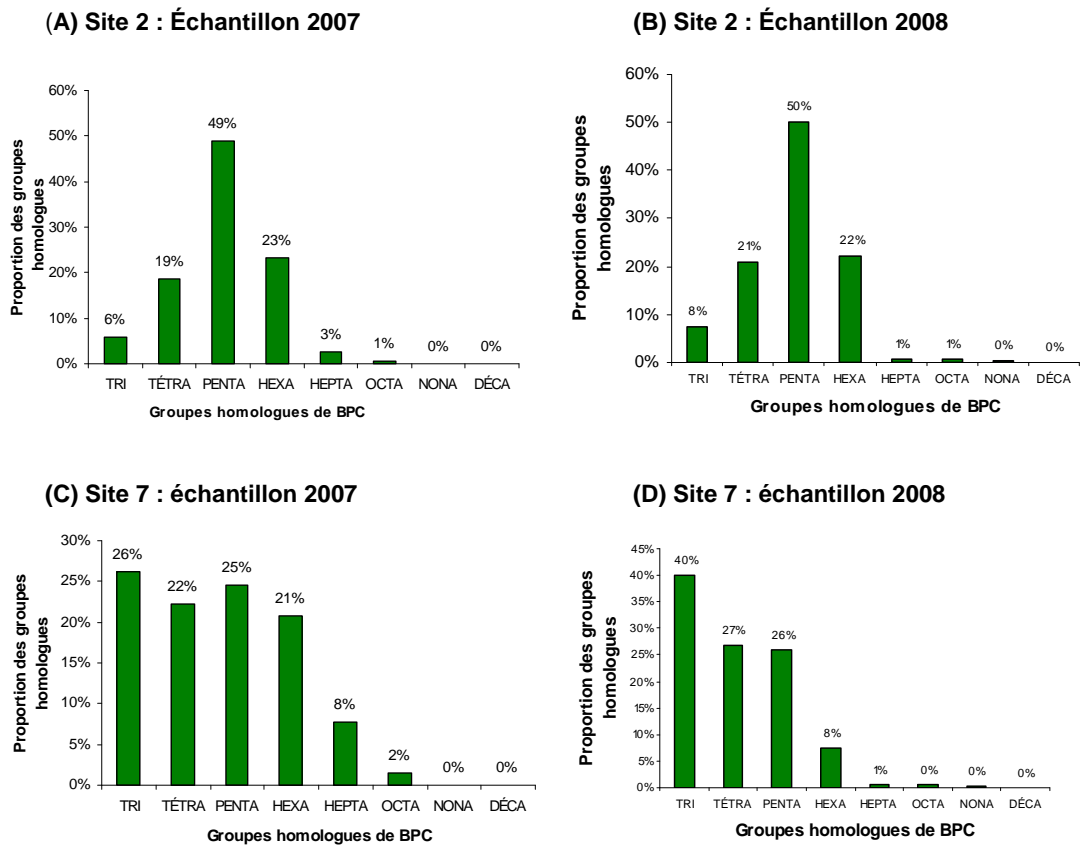


Figure 10 Profils de distribution des groupes homologues de BPC des sites 2 et 7 en 2007 et en 2008

La figure 11 présente la relation entre la concentration de BPC totaux dans les aiguilles et les concentrations moyennes de BPC totaux ajoutées dans l'air par les émissions de l'incinérateur de Clean Harbors à chacun des sites d'échantillonnage. Comme dans le cas des PCDD et des PCDF, il n'y a pas de relation statistiquement significative entre les émissions de BPC de l'incinérateur et les concentrations dans les aiguilles ($r = 0,299$; $P = 0,136$).

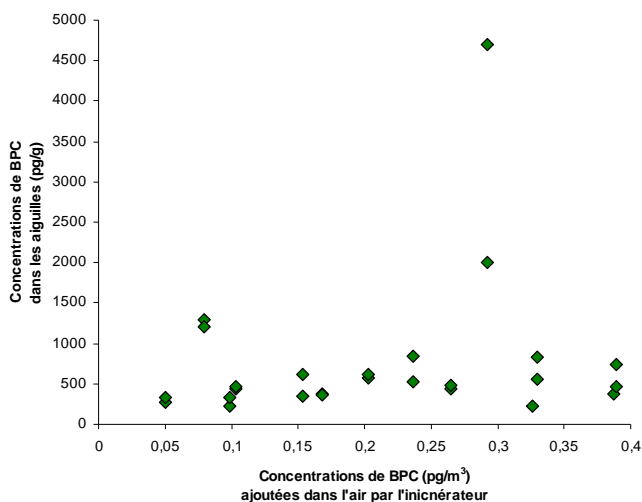


Figure 11 Relation entre les concentrations (pg/m^3) de BPC ajoutées dans l'air par les émissions de l'incinérateur et celles (pg/g) des aiguilles de conifères à chacun des sites d'échantillonnage en 2007 et en 2008 ($r = 0,299$; $P = 0,136$)

2.3 HAP

Les analyses réalisées par le CEAEQ présentent des résultats de concentration pour 48 HAP différents. Les HAP sont groupés en 7 sections qui réunissent des molécules de structures similaires, c'est-à-dire composées d'un même nombre de cycles de benzène fusionnés (annexe 2). Les concentrations de HAP de chaque section et les concentrations totales de HAP dans les aiguilles en 2007 et en 2008 sont présentées au tableau 5.

La figure 12 montre la proportion moyenne des HAP de chaque section par rapport aux HAP totaux dans les aiguilles. L'importance relative de chaque section dépend en partie du nombre de molécules différentes analysées dans chacune d'elles.

Par ailleurs, on remarque que les résultats des sections 3 à 7 et ceux des HAP totaux sont en général bien corrélés (tableau 6), mais que ceux des sections 1 et 2 ne sont pas reliés aux autres sections et aux HAP totaux (exception faite des résultats de la section 1 qui sont corrélés avec ceux de la section 7 et avec les HAP totaux). À cause de leur plus grande volatilité, il est possible que les HAP des sections 1 et 2 soient plus difficiles à analyser au laboratoire; des pertes par volatilisation pourraient se produire au moment de l'extraction et fausser ainsi les résultats (François Messier, CEAEQ, communication personnelle).

La figure 13 présente la distribution des concentrations de HAP totaux mesurées en 2007 et en 2008. La plupart des données se trouvent dans l'intervalle des concentrations rurales (5–40 ng/g) et urbaines (40–150 ng/g) (tableau 1). Seuls 4 échantillons, tous prélevés en 2007, ont montré des concentrations supérieures à 150 ng/g, soit les échantillons des sites 6, 7, 9 et 10. L'échantillon du site 7 a présenté, en 2007, une concentration beaucoup plus élevée que la moyenne, soit 554,3 ng/g, mais celle-ci est passée à un niveau beaucoup plus faible en 2008 (72,9 ng/g). La moyenne des concentrations en 2007 a été de

163,0 ng/g, et de 62,5 ng/g en 2008. La valeur la plus élevée en 2007 provient en partie de l'échantillon du site 7; sans ce dernier, la moyenne de 2007 serait de 127,5 ng/g, ce qui se rapproche de celle de 2008 et des concentrations urbaines moyennes.

Tableau 5 Concentrations (ng/g) des HAP dans les aiguilles de conifères en 2007 et en 2008

Site	Section							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
2007								
1	14,7	3,9	14,8	31,3	10	6,31	2,4	83,41
2	6,8	3,2	18	61	23,8	11,8	4,1	128,7
4	8,6	0	13,1	37,8	15,8	10,3	6	91,6
5	0	0	19,1	60	26,3	14	2,5	121,9
6	12,8	0	39,6	111,7	47,1	28,9	13,46	253,56
7	25	0	22,2	478	0	10,1	19	554,3
8	0	0	13,9	42	25,3	15,8	4,87	101,87
9	19,8	6,4	29,8	65,7	50	33,8	18,81	224,31
10	0	0	16,8	65,9	43,9	26,7	5	158,3
11	0	0	11,45	40,1	20,1	12,4	3,83	87,88
12	0	3,6	12,9	33,8	17,2	10,1	1,78	79,38
13	4,9	3,6	10	26,3	12,5	9,63	4,35	71,28
Moy.	7,72	1,73	18,47	87,80	24,33	15,82	7,18	163,0
2008								
1	0	0	12,1	16,7	6,36	2,4	0	37,56
2	1,4	0	5,7	37,9	22,9	9,7	2,2	79,8
3	0	0	9,1	17,4	8,8	6,2	1,2	42,7
4	0	0	4	21	12,4	8,44	1,94	47,78
5	9,3	1	12,3	27,4	11,6	6,5	2,8	70,9
6	8,6	0	8,4	40,1	16	11,9	5,97	90,97
7	30,2	0	7,2	20,3	10	4,3	0,9	72,9
8	6,5	0	15,8	23,59	12,29	5,68	2,45	66,31
9	10,2	0	21,5	35,83	22	13,49	6,24	109,26
10	5,4	0	15,5	36,7	18,8	9,8	1,95	88,15
11	6,7	0	9,9	20,2	10	6,1	1,96	54,86
12	0	0	5,7	10,5	4	1,1	0,4	21,7
13	2,4	0	10	11,6	9,3	5,5	1,2	40
14	6,9	1,8	11,4	13,3	8,4	8,1	1,9	51,8
Moy.	6,26	0,20	10,61	23,75	12,35	7,09	2,22	62,5
Moy. 2007-2008	6,99	0,96	14,54	55,78	18,34	11,45	4,70	112,76

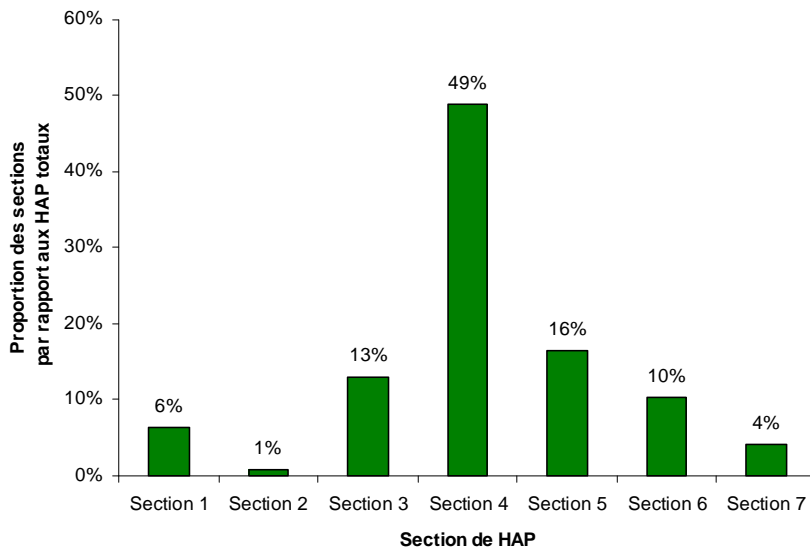


Figure 12 Proportion de chaque section de HAP par rapport aux HAP totaux dans les aiguilles de conifères

Tableau 6 Corrélation de rang de Spearman (r) des concentrations moyennes de HAP totaux et des sections 1 à 7 (moyenne 2007 et 2008; n = 14)

		Section (Moyenne 2007 et 2008)					HAP totaux
1	2	3	4	5	6	7	
	r = 0,260 P = 0,356	r = 0,497 P = 0,0663	r = 0,447 P = 0,105	r = 0,004 P = 0,976	r = 0,211 P = 0,453	r = 0,530 P = 0,0492	r = 0,585 P = 0,0262
		r = 0,0684 P = 0,808	r = - 0,333 P = 0,238	r = - 0,078 P = 0,785	r = - 0,172 P = 0,542	r = - 0,321 P = 0,251	r = - 0,252 P = 0,373
			r = 0,745 P = 0,0016	r = 0,596 P = 0,024	r = 0,670 P = 0,0081	r = 0,539 P = 0,0449	r = 0,789 P < 0,0001
				r = 0,538 P = 0,045	r = 0,631 P = 0,0148	r = 0,774 P = 0,0004	r = 0,974 P < 0,0001
					r = 0,925 P < 0,0001	r = 0,504 P = 0,0636	r = 0,538 P = 0,0449
						r = 0,706 P = 0,0042	r = 0,684 P = 0,0065
							r = 0,838 P < 0,0001
							1
							1

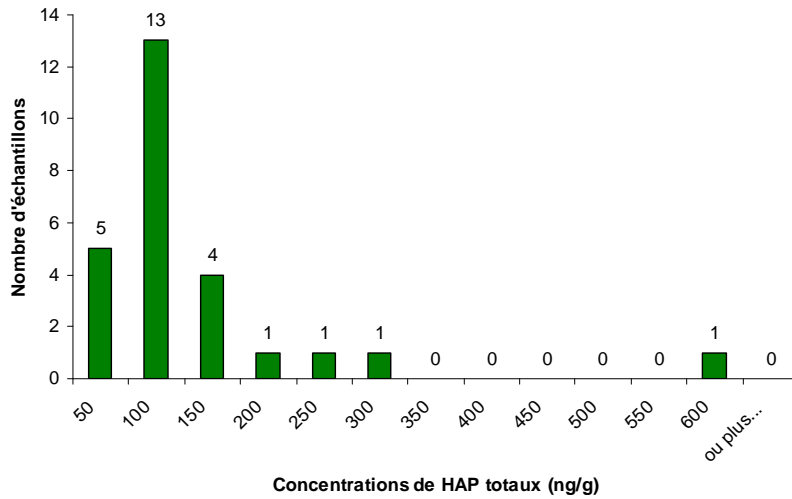


Figure 13 Distribution des concentrations (ng/g) de HAP dans les échantillons du secteur de Mercier prélevés en 2007 et en 2008

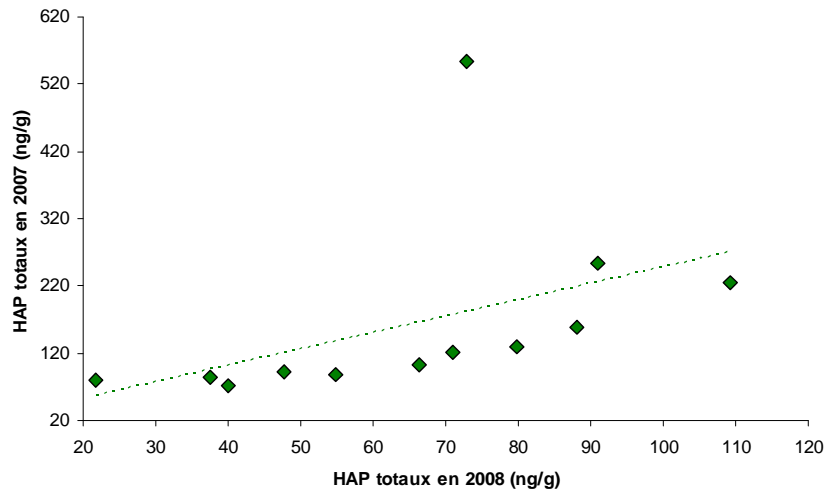


Figure 14 Relation entre les concentrations de HAP de 2007 et de 2008 à chacun des sites ($r = 0,895$; $P < 0,0001$)

Comme pour les concentrations de PCDD/F et de BPC, les concentrations de HAP de 2007 et de 2008 sont corrélées ($r = 0,895$; $P < 0,0001$); les sites présentant les moyennes les plus élevées ont tendance à être les mêmes en 2007 et en 2008 (figure 14).

Il n'y a pas de relation statistiquement significative entre les concentrations de HAP totaux dans les aiguilles et celles ajoutées dans l'air ambiant par les émissions de l'incinérateur à chacun des sites où les aiguilles ont été échantillonnées (figure 15). Le même constat a été fait pour les PCDD/F et les BPC.

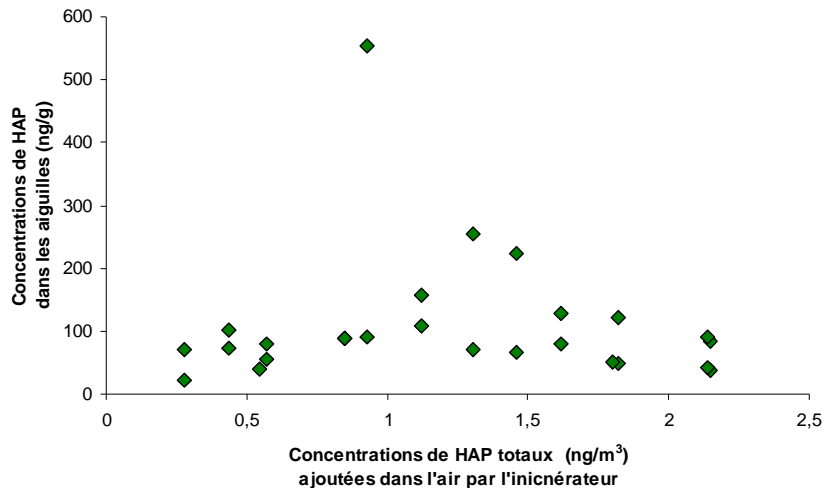


Figure 15 Relation entre les concentrations de HAP dans les aiguilles et celles ajoutées dans l'air par l'incinérateur de Clean Harbors à chacun des sites d'échantillonnage ($r = 0,0319$; $P = 0,875$)

CONCLUSION

Les résultats de mesure des PCDD et des PCDF, des BPC et des HAP sont en général typiques des concentrations qu'on trouve au Québec dans des secteurs ruraux ou urbains. Le patron des concentrations aux différents sites n'indique pas la présence d'une source majeure d'émission de PCDD et de PCDF, de BPC ou de HAP. Il n'y a pas de relation statistique significative entre les émissions de l'incinérateur et les concentrations de PCDD/F, de BPC et de HAP observées dans les aiguilles. Celles-ci sont vraisemblablement attribuables aux concentrations moyennes de PCDD/F, de BPC et de HAP dans l'air dans ce secteur ainsi qu'à des influences très locales comme, possiblement, le chauffage au bois ou la proximité des voies de circulation.

Les concentrations de PCDD/F, de BPC et de HAP de 2007 et de 2008 sont corrélées. La cohérence des résultats entre les deux années pourrait s'expliquer par la présence de conditions très locales, associées à chaque site, qui ont montré une certaine constance entre les deux années. La relation entre les deux années peut aussi découler du fait que, pour plusieurs sites, le même arbre a été échantillonné et que les caractéristiques d'absorption des aiguilles propres à un arbre seraient finalement le facteur dominant ayant déterminé les concentrations dans les aiguilles.

Nous avons tenté de relier les émissions de l'incinérateur aux concentrations de PCDD/F, de BPC et de HAP observées dans les aiguilles en utilisant les résultats d'une modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions de l'incinérateur. Que ce soit pour les PCDD/F, les BPC ou les HAP, les concentrations mesurées dans les aiguilles ne sont pas corrélées aux concentrations moyennes ajoutées dans l'air ambiant par l'incinérateur à chacun des sites d'échantillonnage. Cette observation est conséquente avec le fait que les concentrations ajoutées par l'incinérateur dans l'air, telles que calculées dans l'exercice de modélisation, sont finalement assez faibles par rapport aux concentrations moyennes dans l'air auxquelles on s'attend pour un secteur comme Mercier. En effet, les concentrations moyennes de PCDD/F dans l'air ambiant au Québec sont généralement de l'ordre de 10 à 30 fg ET/m³ (on les estime à 15 fg ET/m³ pour une région comme Mercier). Or, les concentrations ajoutées par l'incinérateur seraient de l'ordre d'au plus 3,8 fg ET/m³ au site d'échantillonnage le plus exposé. Dans le cas des BPC et des HAP, les concentrations maximales ajoutées par l'incinérateur dans l'air ambiant, en comparaison des concentrations moyennes attendues, sont encore plus faibles et elles ne représenteraient respectivement que soit 0,3 % et 0,01 % des concentrations moyennes attendues. Il est donc improbable que les émissions de l'incinérateur puissent entraîner une accumulation de PCDD/F, de BPC et de HAP dans les aiguilles suffisamment importante pour être décelable.

RÉFÉRENCES

- Bochentin I., *et al.*, 2007. « Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins (PCDDs) and -furans (PCDFs) in Pine Needles of Poland ». *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 42 (13) : 1969-1978.
- Calamari D., *et al.*, 1994. « Chlorinated Hydrocarbons in Pine Needles in Europe : Fingerprint for the Past and Present Use ». *Environmental Science & Technology*, 28 : 429-434.
- Eriksson G., *et al.*, 1989. « The Pine Needle As a Monitor of Atmospheric Pollution ». *Nature*, 341 : 42-44.
- Hellström A., 2003. *Uptake of Airborne Organic Pollutants in Pine Needles. Geographical and Seasonal Variations*. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Environmental Assessment. Uppsala. 39 p.
- Howe T.S., S. Billings et R.J. Stolzberg, 2004. « Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Hexachlorobenzene in Spruce Needles of Eastern Alaska ». *Environmental Science & Technology*, 38 : 3294-3298.
- Jensen S., 1992. « Atmospheric Pollution by Persistent Organic Compounds : Monitoring with Pine Needles ». *Chemosphere*, 24 : 229-245.
- Kirchner M., *et al.*, 2006. « Concentration Measurements of PCDD/F in Air and Spruce Needles in the Bavarian Forest and Bohemian Forest (Sumava) : First Results ». *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63 : 68-74.
- MDDEP, 2010. *Effets sur l'air ambiant des émissions de l'incinérateur Clean Harbors et de l'Unité de traitement des eaux souterraines (UTES) à Mercier : évaluation par modélisation de la dispersion atmosphérique*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. ISBN-978-2-550-60117-3 : (PDF) 29 p.
- MDDEP, 2007. « Lagunes de Mercier, Québec annonce un plan d'action ». 1^{er} octobre 2007. [Communiqué de presse]. [En ligne]. [<http://www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=1199>] (Page consultée le 21 septembre 2010).
- Messier F., 2010. Communication personnelle, Montréal, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.
- Moeckel C., *et al.*, 2008. « Uptake and Storage of PCBs by Plant Cuticles ». *Environmental Science & Technology*, 42 (1) : 100-105.
- Ortech Environmental, 2005. *Semi-Volatile Organic Sampling 2005 for Clean Harbors (Mercier) Inc.*, 18 p. et annexes.
- Tremolada P., *et al.*, 1996. « Spatial Distribution of PAHs in the U.K. Atmosphere Using Pine Needles ». *Environmental Science & Technology*, 30 : 3570-3577.
- Walsh P., 2006. « A survey of PCBs, PAHs, PCDFs and PCDDs in conifer needles », Colloque annuel de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (27^e), tenu à Montréal du 5 au 9 novembre 2006.

**Annexe 1 Biphényles polychlorés analysés dans les aiguilles identifiés selon le code
donné par l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)**

Biphényles polychlorés	
Trichlorobiphényles	Hexachlorobiphényles – suite
IUPAC # 18	IUPAC # 132
IUPAC # 17	IUPAC # 138
IUPAC # 31	IUPAC # 158
IUPAC # 28	IUPAC # 128
IUPAC # 33	IUPAC # 156
Tétrachlorobiphényles	IUPAC # 169
IUPAC # 52	Heptachlorobiphényles
IUPAC # 49	IUPAC # 187
IUPAC # 44	IUPAC # 183
IUPAC # 74	IUPAC # 177
IUPAC # 70	IUPAC # 171
Pentachlorobiphényles	IUPAC # 180
IUPAC # 95	IUPAC # 191
IUPAC # 101	IUPAC # 170
IUPAC # 99	Octachlorobiphényles
IUPAC # 87	IUPAC # 199
IUPAC # 110	IUPAC # 195
IUPAC # 82	IUPAC # 194
IUPAC # 118	IUPAC # 205
IUPAC # 105	Nonachlorobiphényles
Hexachlorobiphényles	IUPAC # 208
IUPAC # 151	IUPAC # 206
IUPAC # 149	Décachlorobiphényles
IUPAC # 153	IUPAC # 209

Annexe 2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques analysés dans les aiguilles

Hydrocarbures aromatiques polycycliques		
Section 1	Section 5	Section 7
Naphtalène	Benzo(c)phénanthrène	Anthanthrène
2-méthylnaphtalène	Benzo(c)acridine	Benzo(g,h,i)pérylène
1-méthylnaphtalène	Benzo(a)anthracène	Coronène
2-chloronaphtalène	Chrysène	Indéno(1,2,3-c,d)pyrène
1-chloronaphtalène	2-méthylchrysène	7H-dibenzo(c,g)carbazole
Section 2	3-méthylchrysène	Dibenzo(a,h)acridine
1,3-diméthylnaphtalène	4-méthylchrysène	Dibenzo(a,e)fluoranthène
Acénaphtylène	5-méthylchrysène	Dibenzo(a,c)anthracène
Acénaphène	6-méthylchrysène	Dibenzo(a,h)anthracène
Section 3	1-nitropyrene	Dibenzo(a,j)anthracène
2, 3, 5-triméthylnaphtalène	Section 6	Dibenzo(a,e)pyrène
Fluorène	Benzo(b)fluoranthène	Dibenzo(a,h)pyrène
Phénanthrène	Benzo(j)fluoranthène	Dibenzo(a,i)pyrène
Anthracène	Benzo(k)fluoranthène	Dibenzo(a,l)pyrène
Carbazole	7,12-diméthylbenzo(a)anthracène	
Section 4	Benzo(e)pyrène	
Fluoranthène	Benzo(a)pyrène	
Pyrene	Pérylène	
2-méthylfluoranthène	3-méthylcholanthrène	
