

Utilisation d'aiguilles de pins pour l'identification  
de sources de polychlorodibenzo-*p*-dioxines et de  
polychlorodibenzofurannes à l'atmosphère  
dans la région de Jonquière

André Germain,  
Direction de la protection de l'Environnement, région du Québec

Chung Chiu et Gary Poole  
Centre de technologie environnementale  
Environnement Canada

Montréal (Québec)

2002

## Remerciements

Ce projet n'aurait pu se faire sans la collaboration de plusieurs partenaires, soient :

- le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN),
- le ministère de l'Environnement du Québec (MENV),
- le laboratoire du ministère de l'Environnement du Québec,
- la Commission scolaire des rives du Saguenay,
- la ville de Jonquière,
- la ville de Chicoutimi,
- le Conseil régional de l'environnement Saguenay-Lac-Saint-Jean,
- la compagnie Alcan Ltée,
- la compagnie Abitibi-Consolidated Ltée,
- la SITQ Immobilier,
- la Direction de la prévention de la pollution par les toxiques et la Direction de la prévention de la pollution atmosphérique d'Environnement Canada,
- le laboratoire du Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada.

Sans nommer tous les participants, nous tenons quand même à remercier spécialement :

- madame Guertin pour l'utilisation de son terrain à Saint-Ignace-de-Loyola,
- monsieur Jean-Pierre Girard du MRN du Québec qui nous a fourni les pins,
- monsieur Stéphane Gagné du MENV pour l'opération de la station de Chicoutimi,
- monsieur Daniel Labrecque du MENV pour les commentaires du contenu du rapport et les informations sur les industries de la région,
- messieurs Lucien Simard de la compagnie Alcan Ltée et Pierre Arseneault de la ville de Jonquière pour l'aide apportée lors de la plantation des arbres et pour l'entretien ultérieur,
- monsieur Pierre Walsh du MENV pour les analyses de laboratoire supplémentaires et les commentaires sur le rapport.

En plus, nous remercions mesdames Anne-Marie Carter et Thérèse Drapeau d'Environnement Canada pour les commentaires sur la version préliminaire du rapport.

Nous nous excusons à l'avance auprès des organismes ou personnes que nous aurions oubliés de nommer. Nos remerciements s'adressent aussi à eux.

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement

© Travaux publics et Services gouvernementaux, 2002

Numéro de catalogue : En40-656/2002

ISBN : 0-662-66386-1

## Sommaire exécutif

En 1998, Environnement Canada divulguait les résultats des analyses d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzofurannes (PCDF) mesurés entre 1987 et 1997 au Canada. Le rapport montrait que les niveaux moyens de HAP et la valeur 90<sup>e</sup> centile de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière étaient élevés. Les niveaux élevés de HAP ne surprenaient pas puisque la station est située à proximité d'une aluminerie utilisant la technologie Söderberg à goujons horizontaux mais les valeurs élevées de PCDD et de PCDF étaient surprenantes et ont soulevé beaucoup de questions de la part de la population sur la pollution atmosphérique de la région. Elles ont amené la Direction de la protection de l'environnement région du Québec à examiner les résultats. Lors d'une rencontre avec des intervenants de la région et des représentants de la population, le ministère a indiqué ce qu'il comptait faire pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF. L'examen des données disponibles ayant conclu que la ou les sources étaient locales, Environnement Canada a mis sur pied, à l'été 2000, un projet utilisant des aiguilles de pins comme bioindicateurs pour vérifier s'il y avait plus de PCDD et de PCDF dans l'air de certains secteurs de la ville de Jonquière et voir s'il était possible de les relier à des sources. Des stations témoins ont aussi été installées à Montréal et à Saint-Ignace-de-Loyola, à proximité de Sorel. De plus, la collecte régulière d'échantillons d'air s'est poursuivie à Jonquière et une station a été ajoutée à Chicoutimi.

Les résultats des aiguilles de pins recueillies à la fin août à différents endroits du Québec montrent que les valeurs de PCDD et de PCDF sont plus élevées dans les aiguilles prélevées à Saint-Ignace-de-Loyola, près de Sorel, à Montréal et à la station témoin située en milieu rural près de Jonquière. En décembre, les niveaux augmentent à toutes les stations, sauf à Montréal où ils demeurent semblables à ceux du mois d'août. Ils sont légèrement plus élevés aux stations situées dans la partie sud de Jonquière, incluant celle située en milieu rural. La durée d'exposition des aiguilles à la pollution atmosphérique pourrait être une cause de l'augmentation des niveaux par rapport à ceux mesurés en août mais nous n'avons pas observé d'augmentation qui corroborerait cette hypothèse à la station témoin influencée par le trafic routier à Montréal. Le chauffage résidentiel au bois est probablement une source importante de PCDD et de PCDF à l'atmosphère dans la région de Jonquière. La circulation est aussi une source de PCDD et de PCDF, mais à un niveau moindre qu'à Montréal. Parmi les autres sources, mentionnons le brûlage à ciel ouvert et les activités de certaines industries, dont des ferrailleurs et des recycleurs qui chauffent des fils ou des moteurs électriques pour enlever la gaine de plastique ou le vernis présent sur les fils. À Saint-Ignace-de-Loyola, les industries reliées au secteur de la sidérurgie expliquent en bonne partie les niveaux de PCDD et de PCDF retrouvés dans la région de Sorel.

Les résultats de la campagne de l'été 2000 montrent que les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles de pins recueillies à Jonquière sont semblables à ceux mesurés en milieu urbain aux États-Unis et environ 5 fois plus bas que ceux mesurés près d'usines de préservation de bois des États-Unis. Ils sont jusqu'à 40 fois plus bas qu'en Corée ou au Japon où les PCDD et les PCDF sont présents en grande quantité dans l'air.

Dans l'air ambiant, il n'y a pas de différences significatives dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière, Chicoutimi et Montréal et les niveaux sont semblables à ce qui a été trouvé ailleurs au Canada entre 1997 et 1999. Par contre, ils sont environ 10 fois plus faibles que

ceux mesurés à proximité d'un incinérateur de déchets municipaux et d'un récupérateur de fils électriques recouverts de PVC aux États-Unis, 20 fois plus faibles que ceux mesurés au Japon ou 40 fois plus faibles que ceux mesurés en Saxe en Allemagne.

Depuis 1995-1996, les niveaux moyens de PCDD et de PCDF présents dans l'air ont baissé d'environ 50 % à Jonquière et à Montréal et sont 2 à 3 fois plus bas que la ligne directrice annuelle révisée du MENV.

Lorsque nous examinons les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles et dans l'air ambiant, nous constatons que les aiguilles de pins sont capables d'adsorber les PCDD et les PCDF et de servir de bioindicateur. Le rapport entre les teneurs mesurées dans l'air et les aiguilles est relativement constant, peu importe les niveaux présents dans l'air.

Parmi les sources de PCDD et de PCDF, mentionnons le chauffage au bois, le trafic routier, le brûlage de déchets à ciel ouvert (ou *back yard burning*), et certaines installations industrielles. Comme le niveau de contamination de l'air ambiant par les PCDD et les PCDF à Chicoutimi et à Jonquière est semblable à celui de Montréal, qu'il est inférieur au critère du MENV, et que l'échantillonnage régulier se poursuit à Jonquière, nous recommandons de mesurer les émissions des ferrailleurs et des recycleurs qui récupèrent le métal en chauffant les câbles et les moteurs électriques. Une campagne d'éducation sur un meilleur usage de poêles à bois et sur les effets du brûlage de déchets à ciel ouvert dans les cours arrières permettrait aussi de réduire les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans l'air.

Pour ce qui est des HAP et du benzo(a)pyrène ou B(a)P, les niveaux sont semblables à Jonquière et Chicoutimi alors qu'ils sont plus bas à Montréal. Entre 1989-1990 et 2000-2001, nous avons observé une baisse de 96 % pour le B(a)P et 85 % pour les HAP à Jonquière ; à Montréal, les baisses sont de 27 % et 60 % respectivement. À Jonquière, la baisse la plus marquée s'est produite entre 1999-2000 et 2000-2001 alors que la compagnie Alcan a modifié la composition de la pâte anodique des cuves d'électrolyse. À Chicoutimi, les niveaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont semblables à ceux obtenus en 1993-1994 par le MENV.

Les niveaux de PCDD et de PCDF varient un peu en fonction de l'origine des vents mais moins que ceux des HAP qui sont plus élevés lorsque les stations sont sous le vent de l'aluminerie. La plus haute valeur de HAP a d'ailleurs été mesurée à Jonquière alors que la station était sous le vent de l'aluminerie pour 18 des 24 heures de la journée d'échantillonnage.

## Introduction

En 1998, la Division de l'analyse et de la qualité de l'air d'Environnement Canada rendait public un rapport sur les niveaux d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofurannes (PCDF) mesurés entre 1987 et 1997 aux stations du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA) du Canada (Dann, 1998). Ce rapport indiquait que c'est à Jonquière que les niveaux de HAP dans l'air étaient les plus élevés parmi les 35 stations de mesure en opération entre 1994 et 1997. Pour ce qui est des PCDD et des PCDF, une station située à Toronto montrait la valeur moyenne la plus haute au pays, soit 0,105 pg FET/m<sup>3</sup> (picogramme facteur équivalent toxique par mètre cube). Lorsque la valeur 90<sup>e</sup> centile<sup>1</sup> était utilisée, la station située à Jonquière montrait la valeur la plus élevée pour la période 1994-1997.

La présence de HAP à des niveaux élevés à Jonquière est connue depuis longtemps (Allaire *et al.*, 1993; Germain et Bisson, 1992) mais la présence de PCDD et PCDF aux niveaux mentionnés par Dann (1998) surprenait. La divulgation de ces résultats a soulevé maintes préoccupations de la part de la population de la région de Jonquière sur la pollution atmosphérique de la région et a amené la Direction de la protection de l'environnement, région du Québec à examiner les résultats en détails. Le 2 février 2000, une rencontre a eu lieu à Jonquière et le rapport de 1998 a été présenté à plusieurs intervenants de la région ainsi qu'à différents représentants de la population. Le personnel d'Environnement Canada a profité de l'occasion pour faire une mise à jour des résultats (jusqu'en septembre 1999), ce qui a permis de diminuer l'inquiétude de la population face aux niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans la région. Suite à cette rencontre, l'ensemble des données disponibles a été examiné en tenant compte de la météorologie (Rousseau, 2000). Nous avons pu constater que la ou les sources de PCDD et de PCDF étaient locales et que les valeurs les plus hautes étaient mesurées lorsque le vent venait du sud. Un résumé des résultats a été diffusé par l'intermédiaire du Conseil régional de l'environnement Saguenay-Lac-Saint-Jean en décembre 2000.

Environnement Canada a développé un projet pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF. À cause de l'étendue de la région et du coût élevé des analyses, il a été décidé d'utiliser des bioindicateurs pour vérifier s'il y avait des différences dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à plusieurs endroits de la région. La littérature mentionne que plusieurs bioindicateurs peuvent servir à mesurer les polluants présents dans l'air (Safe *et al.*, 1992; GDG Environnement, 1995; Fiedler *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000; Viskari, 2000) et que ces derniers ont l'avantage de capter les produits sur des périodes de temps assez longues. Parmi les bioindicateurs considérés, il y a la mousse de sphaigne que nous avons déjà utilisée dans la région de Sorel (Grenon et Lafortune, 1997) et les aiguilles de pins (Myata *et al.*, 2000; Ok *et al.*, 2000). Safe *et al.* (1992) et Viskari (2000) rapportent que la partie cireuse des aiguilles de pins peut servir de bioindicateurs de la déposition de polluants et servir à mesurer les composés organiques lipophiliques présents dans l'air dont les BPC, les pesticides organochlorés comme le DDT ou les PCDD et les PCDF. La collecte d'aiguilles correspondant à la pousse de l'année

---

<sup>1</sup> Cette valeur s'obtient en classant les valeurs de la plus petite à la plus grande et en choisissant celle qui correspond à la 90<sup>e</sup> plus grande si le nombre de valeurs est de 100. Lorsque le nombre de valeurs est différent de 100, la valeur retenue est celle qui représente le multiple de 90 par rapport à 100 (exemple : la 9<sup>e</sup> valeur si nous en avons 10, la 900<sup>e</sup> si nous en avons 1000)

permet de connaître et de limiter la durée d'exposition. Un programme de mesure utilisant des aiguilles de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) comme bioindicateur a été développé et mis en place pour tenter d'identifier la ou les sources de PCDD et de PCDF.

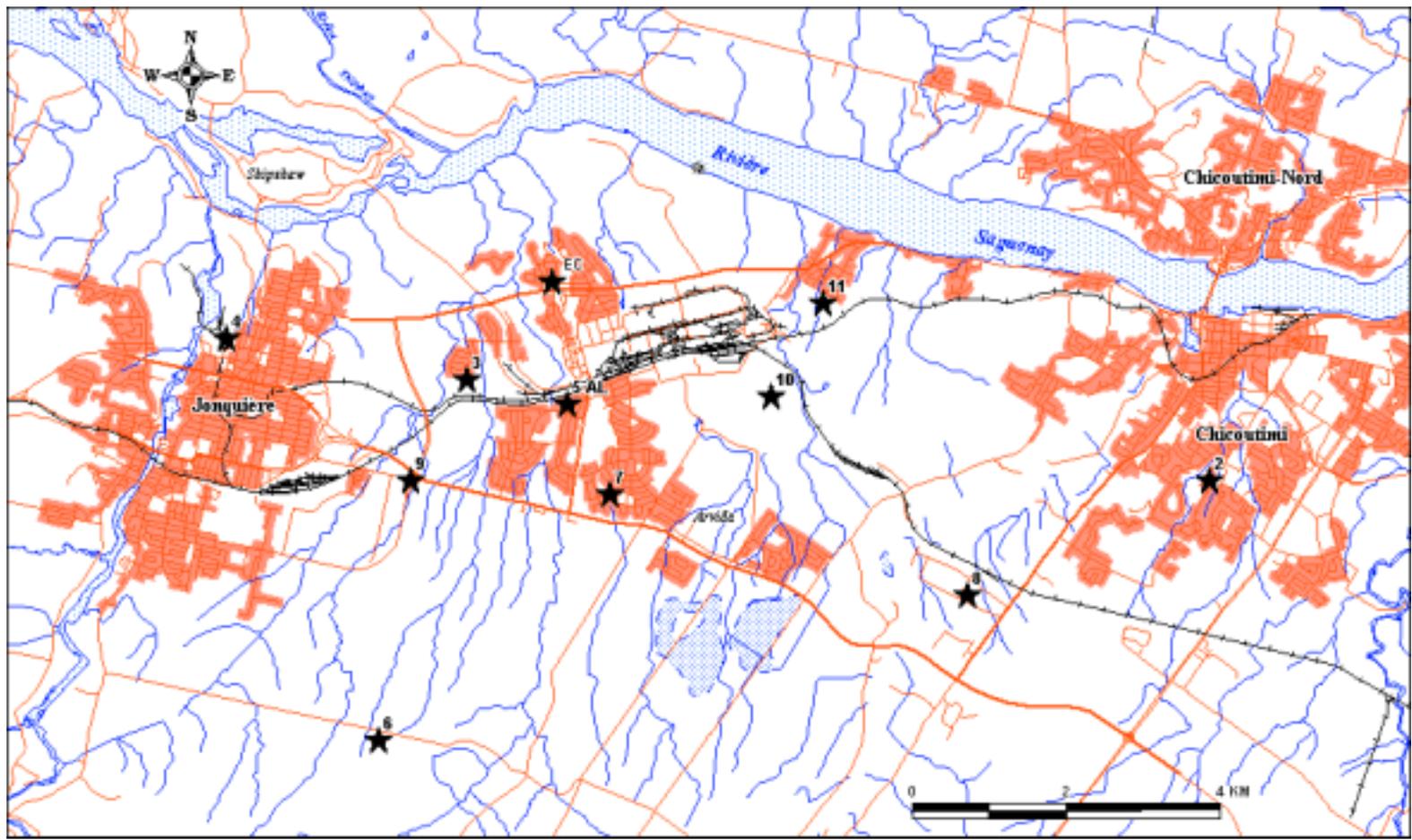
Une station d'échantillonnage d'air « conventionnelle » utilisant un appareil qui pompe l'air à travers un système captant les produits désirés sur une période de temps connue (généralement 24 heures) a aussi été installée à Chicoutimi pour mesurer les niveaux de HAP, de PCDD et de PCDF présents dans l'air ambiant et les comparer à ceux de Jonquière. Le ministère de l'Environnement du Québec (MENV) a permis d'augmenter le nombre d'échantillons d'air en faisant l'analyse des HAP, des PCDD et des PCDF de quelques échantillons à son laboratoire.

## **Méthodologie**

Les 11 et 12 juillet 2000, des pins sylvestres d'environ 125 cm de hauteur ont été plantés à 11 sites de la région pour vérifier s'il y avait des différences dans le niveau de PCDD et de PCDF (figure 1). Ces sites ont été choisis en tenant compte de la direction des vents dominants et des activités urbaines et industrielles présentes dans la région. Des pins ont été plantés à la station utilisée depuis 1989 par Environnement Canada pour faire le suivi de la qualité de l'air (station EC ou station 1), sur les terrains de l'école Dominique-Racine à Chicoutimi (station 2), dans le champ situé à l'arrière de maisons de la rue Dubuisson (station 3), sur les terrains de la papetière Abitibi-Consolidated Ltée (station 4), à la station 5 du réseau de suivi de la qualité de l'air de l'Alcan (station 5), en milieu urbain au parc Poitras (stations 7 et 14), dans le parc industriel de Chicoutimi (station 8), à la bordure du parc industriel de Jonquière (station 9), à la station météorologique située sur les terrains de l'Alcan (station 10), en bordure du quartier Saint-Jean-Eudes (station 11) et enfin, une en milieu rural au sud de Jonquière pour servir de station de référence (station 6). Nous avons aussi planté des pins à deux stations témoins situées à l'extérieur de la région. Ces stations sont situées à Saint-Ignace-de-Loyola (station 12), sous les vents dominants du secteur des usines sidérurgiques de Sorel et à proximité des autoroutes Décarie et Métropolitaine à Montréal (station 13).

Pour connaître le niveau de PCDD et de PCDF présent au départ dans les aiguilles de pins, nous avons coupé les extrémités de deux ou trois branches correspondant aux pousses de l'année de chacun des arbres utilisés. Ces branches étaient ensuite regroupées et gardées au congélateur jusqu'à l'analyse en laboratoire. La mise en commun des branches et leur analyse comme un seul échantillon était justifiée puisque les arbres provenaient tous du même endroit.

Une première série d'aiguilles a été recueillie à la fin août (29-31 août 2000) et une seconde au début décembre (4-5 décembre 2000). Ces périodes ont été retenues pour connaître les niveaux correspondant à l'été alors qu'il n'y a pas de chauffage au bois, et au début de l'hiver, alors que la température a refroidi et que les gens ont commencé à chauffer. À chaque site, les extrémités de 10 et 20 branches correspondant à la pousse de l'année étaient coupées et enveloppées dans du papier d'aluminium nettoyé au préalable à 550 °C, mis dans un sac puis fermé hermétiquement. Les sacs étaient ensuite gardés dans une glacière à 4 °C et envoyés au laboratoire où ils étaient gardés au congélateur jusqu'à l'analyse. En laboratoire, les aiguilles étaient séparées des branches, mises dans un appareil d'extraction aux micro-ondes, puis l'extrait purifié avant d'être analysé par chromatographie en phase gazeuse. L'identification des produits



**Environnement  
Canada**

**Environnement  
Canada**

7-12-2001

Figure 1 Localisation des stations de mesure de Jonquière et Chicoutimi

est faite au moyen d'un spectromètre de masse à haute définition. Cette méthode d'extraction a été mise au point pour l'analyse des BPC par le Centre de technologie environnementale d'Environnement Canada (Environnement Canada, 1997). Elle a été reconnue par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (U. S. EPA) et sert de méthode de référence pour l'analyse de matériel biologique. La teneur en humidité des aiguilles a aussi été déterminée pour permettre d'exprimer les résultats sur une base sèche.

Lors de la campagne d'échantillonnage de l'été 2000, une station « conventionnelle » de collecte d'air a été installée sur le toit de l'école Dominique-Racine à Chicoutimi (station 2). Entre août 2000 et la fin de mars 2001, neuf échantillons d'air ont été prélevés aux 28 jours et analysés pour les HAP, les PCDD et les PCDF par Environnement Canada. En plus, trois échantillons supplémentaires ont été recueillis et analysés au laboratoire du MENV. Pendant ce temps, la collecte d'échantillons d'air a continué en parallèle à la station d'Environnement Canada à Jonquière (dates d'échantillonnage fournies à l'annexe 1). Pour vérifier l'évolution temporelle des HAP, des PCDD et des PCDF, nous avons regroupé les résultats selon l'année financière du gouvernement, soit du 1<sup>er</sup> avril au 31 mars.

Les analyses des échantillons d'air ont été faites selon les méthodes couramment utilisées par les laboratoires ; les contrôles de qualité comprenaient un échantillon témoin de terrain (ou blanc de terrain), l'analyse d'échantillons témoins de laboratoire, pour vérifier la pureté des solvants et la propreté du matériel, et le dopage de chaque échantillon avec une solution d'étalons marqués avec des radio-isotopes pour vérifier l'efficacité de la méthode à récupérer les produits recherchés. Les résultats fournis par les laboratoires ont été corrigés en tenant compte de la récupération de chacun des étalons.

Pour faciliter l'interprétation des résultats, nous avons utilisé les données météorologiques provenant de la station de l'Alcan, station située à Jonquière et certifiée par le Service météorologique du Canada qui l'a intégrée à son réseau d'observation. Au besoin, les résultats de la station météo de l'aéroport de Bagotville ont permis de combler les données manquantes. Nous avons ainsi déterminé les roses des vents des vents pour l'ensemble du projet et pour chaque journée d'échantillonnage d'air. Les directions des vents observées pour les périodes juillet-fin août et juillet-début décembre (voir annexe 2) correspondent à celles généralement observées dans la région.

## **Résultats**

### *PCDD et PCDF retrouvés dans les aiguilles de pins*

Nous avons retrouvé uniquement deux dioxines et aucun furanne dans les aiguilles de pins prélevées avant que les arbres ne soient plantés (témoin début) ; la 1,2,3,7,8-pentachlorodibenzodioxine (ou 1,2,3,7,8-P5CDD) et l'octachlorodibenzodioxine (ou T8CDD). Au total, leurs concentrations s'élevaient à 7,6 pg/g p.s. (poids sec) de PCDD ou 0,8 pg FET/g p.s. lorsque exprimées en facteur d'équivalent toxique (tableau 1).

Les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à la fin de l'été sont près des limites de détection des différents produits et dans la région de Chicoutimi-Jonquière, c'est la station 6 (station témoin)

qui montre le plus haut total avec 129 pg/g p.s. Généralement, les niveaux sont plus faibles dans la région (moyenne globale de 35,9 pg/g p.s.) qu'à Saint-Ignace-de-Loyola (91,7 pg/g p.s.) ou à Montréal (369 pg/g p.s.). Exprimé en FET, les niveaux de PCDD et de PCDF sont plus élevés aux stations de Saint-Ignace-de-Loyola (0,79 pg FET/g p.s.), Montréal (0,68 pg FET/g p.s.) et à la station 8 située dans le parc industriel de Chicoutimi (0,77 pg FET/g p.s.). Les résultats de la région montrent une légère variation selon l'emplacement des stations mais comme les niveaux de PCDD et de PCDF et les FET correspondants sont près des limites de détection il est risqué d'en tirer des conclusions.

Tableau 1 Concentrations totales et équivalent toxique (FET) des PCDD et des PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies à la fin août (poids sec)

Station	PCDD	PCDF	Total	FET	FET
	pg/g	pg/g	PCDD + PCDF pg/g	pg FET/g	corrigé pg FET/g
Station EC (1)	14,0	3,1	17,0	0,28	0,07
Station 2	5,4	1,5	6,9	0,34	0,02
Station 3	3,6	1,2	4,8	0,07	< 1.d.
Station 4	16,4	8,2	24,2	0,35	0,20
Station 5	8,8	3,2	12,0	0,13	0,04
Station 6	116,0	13,7	129,7	0,44	0,14
Station 7	14,1	4,0	18,1	0,32	0,07
Station 7 (duplicata)	11,4	6,0	17,4	0,09	< 1.d.
Station 7 (moyenne)	12,8	5,0	17,8	0,20	0,03
Station 8	81,9	15,3	97,2	0,77*	0,39*
Station 9	24,6	8,3	32,9	0,49	0,21
Station 10	11,1	3,8	14,9	0,2	0,05
Station 11	33,5	3,5	37,0	0,18	0,03
Moyenne (région)	29,8	6,1	35,9	0,31	0,11
Station 12 (SIL)	71,7	19,9	91,7	0,79	0,52
Station 13 (Montréal)	348,5	20,7	369,2	0,68	0,11
Témoin terrain	7,6	0,0	7,6	0,8	

\* : valeurs corrigées pour un taux d'humidité de 57 % : 0,48 pg/m<sup>3</sup> et 0,27 pg FET/m<sup>3</sup>

À la station 8, il faut noter que la teneur en humidité des aiguilles était plus haute (79,8 %) qu'aux autres stations (environ 57 %) ; il se pourrait qu'une erreur soit survenue dans une des pesées et que le poids sec de l'échantillon soit supérieur. Si nous supposons que le pourcentage en eau de cet échantillon est de 57 %, le niveau de PCDD et de PCDF baisse alors à 0,27 pg FET/g p.s. En hiver, la teneur en eau des aiguilles de pins de cette station (58,3 %) est semblable à celle des autres stations (57,7 %). La teneur plus élevée en eau (85,8 %) des aiguilles prélevées dans les arbres au moment de la plantation en juillet s'explique par la « jeunesse » des aiguilles. En effet, les jeunes pousses contiennent plus d'eau et sont plus tendres qu'à la fin août ou au début décembre alors qu'elles ont vieilles.

Lorsque nous corrigeons les concentrations FET pour tenir compte des deux produits retrouvés au départ dans les aiguilles, la station de Saint-Ignace-de-Loyola montre la valeur la plus haute, suivie des stations des deux parcs industriels. La valeur FET de la station de Montréal diminue

beaucoup car la majorité du total PCDD/PCDF provient du T8CDD qui a un facteur d'équivalence de 0,001 et du P5CDD, qui a un facteur d'équivalence de 0,5.

Les niveaux de PCDD et de PCDF des aiguilles de pins recueillies au début du mois de décembre ont augmenté à toutes les stations de la région (tableau 2) par rapport à ceux du mois d'août. La station 9 située en bordure du parc industriel de Jonquière montre la plus haute valeur (265 pg/g p.s.), suivie de la station témoin (6) située en milieu rural (205 pg/g p.s.). Ils ont aussi augmenté à Saint-Ignace-de-Loyola (129 pg/g p.s.) mais légèrement diminué à Montréal (52 pg/g p.s.). Le niveau moyen mesuré dans la région (105,4 pg/g p.s.) est plus bas que celui mesuré à Saint-Ignace-de-Loyola mais plus haut qu'à Montréal. Les résultats montrent que les niveaux sont un peu plus élevés dans la partie sud de la région. Lorsque nous exprimons les résultats en FET, les niveaux les plus hauts se retrouvent aux stations des parcs industriels, suivi de ceux obtenus à la station historique d'Environnement Canada et à Saint-Ignace-de-Loyola. La station située en milieu rural montre aussi des niveaux élevés. La correction des résultats pour tenir compte des niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles au départ conduit aux mêmes conclusions, soit des niveaux plus hauts aux stations des parcs industriels, suivis de la station historique et de Saint-Ignace-de-Loyola.

Tableau 2 Concentrations totales et équivalent toxique (FET) des PCDD et des PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies au début décembre (poids sec)

Station	PCDD	PCDF	Total	FET	FET
	pg/g	pg/g	PCDD/PCDF	pg FET/g	corrigé
	pg/g	pg/g	pg/g	pg FET/g	pg FET/g
Station EC (1)	60,5	24,0	84,5	1,82	1,38
Station 2	37,3	12,5	49,8	1,26	0,69
Station 3	52,2	19,6	71,8	0,57	0,53
Station 4	42,5	30,0	72,5	1,35	0,86
Station 5	30,5	19,7	50,2	1,09	0,83
Station 6	158,1	46,7	204,8	1,55	1,25
Station 7	88,6	38,8	127,4	0,67	0,61
Station 7 (duplicata)	77,5	39,1	116,6	1,18	0,96
Station 7 (moyenne)	83,1	38,9	122,0	0,92	0,78
Station 8	94,1	56,5	150,6	2,21	1,91
Station 9	222,5	42,1	264,6	2,2	1,55
Station 10	44,7	16,2	60,9	0,85	0,67
Station 11	19,7	8,3	28,0	0,46	0,45
Moyenne (région)	76,8	28,6	105,4	1,29	0,99
Station 12 (SIL)	97,9	31,1	129,0	1,73	1,31
Station 13 (Montréal)	36,7	15,1	51,7	0,76	0,61
Témoin terrain	7,6	0,0	7,6	0,8	

### *Comparaison avec la littérature*

Les niveaux moyens de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies à la fin août et au début décembre 2000 au Québec et dans la région de Jonquière en particulier se comparent à ceux mesurés au Texas (figure 2). Ils sont toutefois inférieurs à ceux mesurés près

d'usines de préservation de bois situées au Texas (5,4 pg FET/g p.s) et au Montana (7,7 pg FET/g p.s. ; Safe *et al.*, 1992) ou encore à ceux mesurés en Corée (milieu urbain influencé par la circulation automobile : 4,5 – 8,2 pg FET/g p.s. ; Ok *et al.*, 2000) ou au Japon (13,6 et 18,3 pg FET/g p.s. ; Myata *et al.*, 2000). Les teneurs de PCDD et de PCDF mesurées dans les aiguilles de pins recueillies au *Kootenai National Park Forest* et au *Glacier-Waterton International Peace Park*, milieux de référence utilisés par Safe *et al.* (1992), atteignent moins de 0,32 et moins de 0,30 pg FET/g p.s. respectivement alors qu'à Cheju, site de référence utilisé par Ok *et al.* (2000), elle est de 0,5 pg FET/g p.s. Les niveaux mesurés par Fiedler *et al.* (2000) dans des aiguilles d'épinettes varient entre 0,31 et 1,12 pg FET/g p.s. en Bavière (Allemagne) et entre 1,2 et 2,67 pg FET/g p.s. à Hesse (Allemagne).

### PCDD/PCDF mesurés dans les aiguilles de pins

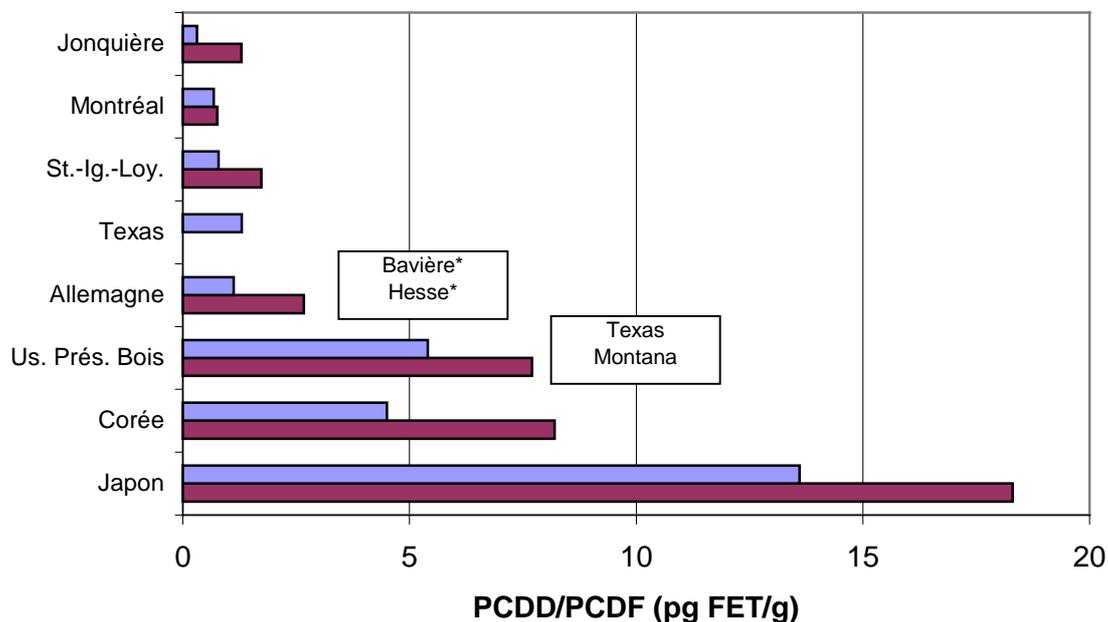


Figure 2 Comparaison des niveaux moyens de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles de pins recueillies au Québec à ceux rapportés dans la littérature (\*aiguilles d'épinettes)

#### PCDD et PCDF retrouvés dans l'air ambiant

Le tableau 3 montre les valeurs statistiques des PCDD et des PCDF mesurés entre le 1<sup>er</sup> juillet 2000 et le 31 mars 2001 à Chicoutimi, Jonquière et Montréal. Bien que les valeurs moyennes, médianes et maximales soient plus élevées à Chicoutimi au cours de cette période, l'analyse statistique ne montre pas de différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes géométriques et les valeurs médianes des trois stations.

Tableau 3 Résumé statistique des PCDD et des PCDF mesurés entre le 1<sup>er</sup> juillet 2000 et le 31 mars 2001 dans l'air ambiant de Chicoutimi, Jonquière et Montréal (pg/m<sup>3</sup> et pg FET/m<sup>3</sup>)

Endroit et paramètres	Moyenne		Médiane	Maximum
	Arithmétique	Géométrique		
Chicoutimi (n* = 12)				
PCDD (pg/m <sup>3</sup> )	2,104	0,924	0,617	12,720
PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	0,781	0,515	0,599	1,631
PCDD + PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	2,885	1,517	1,293	14,040
pg FET/m <sup>3</sup>	0,039	0,021	0,024	0,102
Jonquière (n = 10)				
PCDD (pg/m <sup>3</sup> )	1,302	0,735	0,572	4,110
PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	0,552	0,283	0,278	1,365
PCDD + PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	1,854	1,174	1,719	5,016
pg FET/m <sup>3</sup>	0,029	0,015	0,019	0,071
Montréal (n = 12)				
PCDD (pg/m <sup>3</sup> )	0,962	0,726	0,831	2,058
PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	0,426	0,355	0,376	1,057
PCDD + PCDF (pg/m <sup>3</sup> )	1,388	1,110	1,207	2,912
pg FET/m <sup>3</sup>	0,025	0,020	0,023	0,054

\* : nombre d'échantillons

La figure 3 montre que les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés au Saguenay et à Montréal se comparent à la moyenne calculée (0,036 pg FET/m<sup>3</sup>) pour l'ensemble des stations pour lesquelles il y a eu des mesures faites par Environnement Canada entre 1997 et 1999 (Dann, 2000). Ils sont toutefois inférieurs à ceux obtenus dans le quartier de Rivière-des-Prairies (RDP) de Montréal, quartier influencé par le chauffage au bois (Germain *et al.*, 2001). Ils sont aussi environ deux fois plus faibles que ceux obtenus par Fiedler *et al.* (2000) à Hesse (moyenne de 0,058 pg FET/m<sup>3</sup>) en Allemagne et environ 20 fois plus faibles que ceux mesurés par Myata *et al.* (2000) à Hiraka au Japon (moyennes de 0,408 et 0,535 pg FET/m<sup>3</sup>). La teneur moyenne la plus élevée retrouvée dans la littérature est de 0,900 pg FET/m<sup>3</sup>, rapportée par Fiedler *et al.* (2000) pour la Saxe en Allemagne. En faisant abstraction des unités, il est intéressant de constater que le rapport air/aiguille oscille entre 0,025 et 0,034 pour Jonquière, Montréal, Hiraka (Japon) et Hesse (Allemagne), bien que les niveaux moyens de PCDD et de PCDF soient plus élevés à Hesse (environ 2,5 fois) et à Hiraka (environ 20 fois) qu'à Jonquière et ce, autant pour l'air que pour les aiguilles de conifères. Les données limitées utilisées montrent que le ratio  $\text{PCDD}_{\text{air}}/\text{PCDF}_{\text{aiguilles}}$  est relativement constant, peu importe le niveau présent dans l'air.

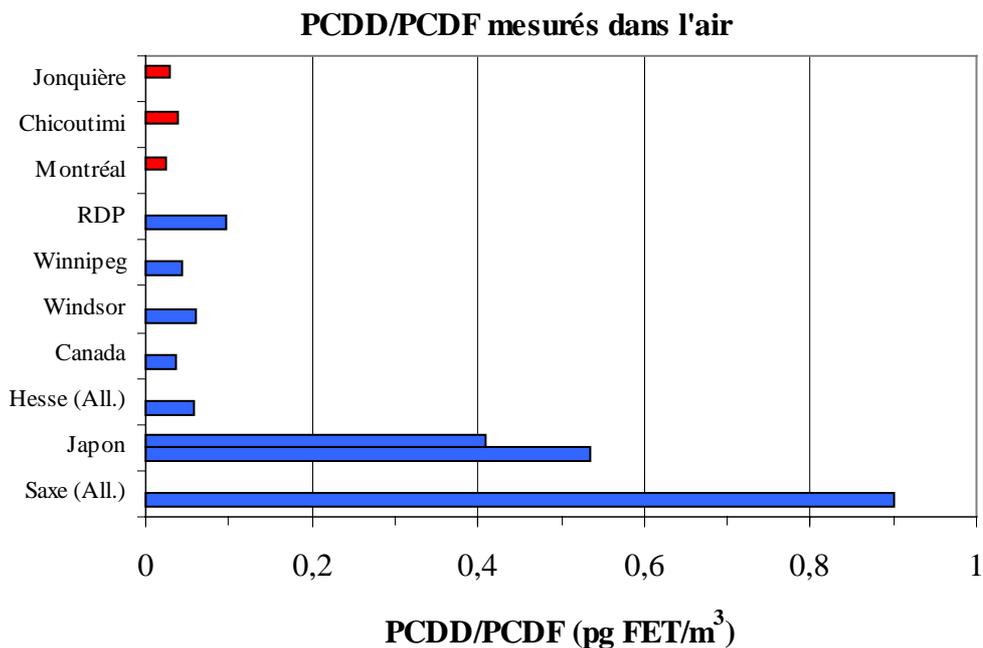


Figure 3 Comparaison des niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Chicoutimi, Jonquière et Montréal à ceux rapportés dans la littérature

*HAP et B(a)P retrouvés dans l'air ambiant*

Le tableau 4 montre les valeurs statistiques du benzo(a)pyrène ou B(a)P et des HAP totaux mesurés entre le début juillet et la fin mars à Chicoutimi, Jonquière et Montréal. Tout comme pour les PCDD et les PCDF, les concentrations moyennes (géométriques) et médianes ne sont pas significativement différentes entre Chicoutimi et Jonquière mais sont plus basses ( $p < 0,05$ ) à Montréal. Lorsque nous regardons les valeurs journalières, la valeur la plus élevée a été mesurée à Jonquière et cette valeur est environ six fois plus haute que la plus forte valeur obtenue à Chicoutimi. La proximité de l'aluminerie et la direction des vents dominants sont responsables de ces résultats. L'étendue des résultats est aussi plus grande à Jonquière et Chicoutimi qu'à Montréal. Pour faire les comparaisons statistiques, nous avons inclu les résultats de B(a)P mesurés par le MENV mais ne l'avons pas fait pour les HAP totaux car le nombre de produits mesurés par les deux laboratoires était différent.

À Jonquière, les niveaux moyens et maxima de B(a)P et de HAP totaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont plus faibles que ceux mesurés entre 1997 et 1999 (Dann, 2000). Au cours de cette période (1997-1999), Jonquière avait les plus hauts niveaux de B(a)P et de HAP mesurés au pays et ces niveaux s'expliquaient par la proximité d'une usine de production d'aluminium utilisant le procédé Söderberg à goujons horizontaux. Nous ne pouvons comparer les résultats de 2000-2001 de Jonquière à ceux mesurés ailleurs au pays car les données ne sont pas disponibles pour la période juillet 2000 – fin mars 2001 aux autres endroits. À Chicoutimi, les niveaux de B(a)P sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés par le MENV entre juin 1993 et mars 1994 (Bisson, 2001).

Tableau 4 Résumé statistique du B(a)P et des HAP totaux mesurés entre le 1<sup>er</sup> juillet 2000 et le 31 mars 2001 dans l'air ambiant de Chicoutimi, Jonquière et Montréal (ng/m<sup>3</sup>)

Produit et endroit	Moyenne		Médiane	Maximum
	Arithmétique	Géométrique		
<b>B(a)P</b>				
Chicoutimi (n* = 12)	3,7	1,2	1,8	15,2
Jonquière (n = 16)	8,9	0,9	1,6	91,0
Montréal (n = 19)	0,3	0,2	0,2	1,2
<b>HAP</b>				
Chicoutimi (n** = 9)	183,6	103,2	167,1	669,0
Jonquière (n = 16)	508,3	121,1	113,9	3834,3
Montréal (n = 19)	27,9	23,9	22,2	73,8

\* : nombre de données, incluant celles du MENV

\*\* : nombre de données, excluant celles du MENV à cause du nombre de produits différents mesurés par les laboratoires

#### *Évolution temporelle des PCDD, des PCDF, des HAP et du B(a)P mesurés dans l'air ambiant*

La figure 4 montre l'évolution temporelle des niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière et à Montréal entre 1995 et 2001. Aux deux endroits, la tendance est à la baisse et les niveaux mesurés en 2000-2001 sont environ deux fois plus bas que ceux de 1995-1996. Sauf pour 1996-1997, les niveaux de PCDD et de PCDF sont semblables aux deux endroits. En 1996-1997, l'écart observé entre les deux stations s'explique par les deux valeurs élevées mesurées en novembre et décembre 1996 à Jonquière. Les valeurs moyennes annuelles calculées depuis 1995-1996 sont environ 2 à 3 fois plus faibles que la ligne directrice révisée du MENV, soit de 0,06 pg FET/m<sup>3</sup> ; cette valeur ne doit pas être dépassée sur une base annuelle.

La figure 5 illustre l'évolution annuelle des HAP depuis le début des mesures en 1989-1990. À Jonquière, la valeur moyenne (géométrique) des HAP totaux a augmenté et baissé quelques fois au cours de la période mais globalement, il y a eu une baisse de 85 % entre 1989-1990 et 2000-2001. La baisse la plus marquée entre deux années a été entre 1999-2000 et 2000-2001 alors qu'elle a atteint 60 %. À Montréal, le niveau moyen des HAP totaux varie moins qu'à Jonquière et la baisse observée depuis le début des mesures atteint 60 %. Alors que le niveau moyen mesuré à Jonquière était dix fois plus haut qu'à Montréal en 1989-1990, il est quatre fois plus haut en 2000-2001.

### Évolution temporelle des PCDD et PCDF

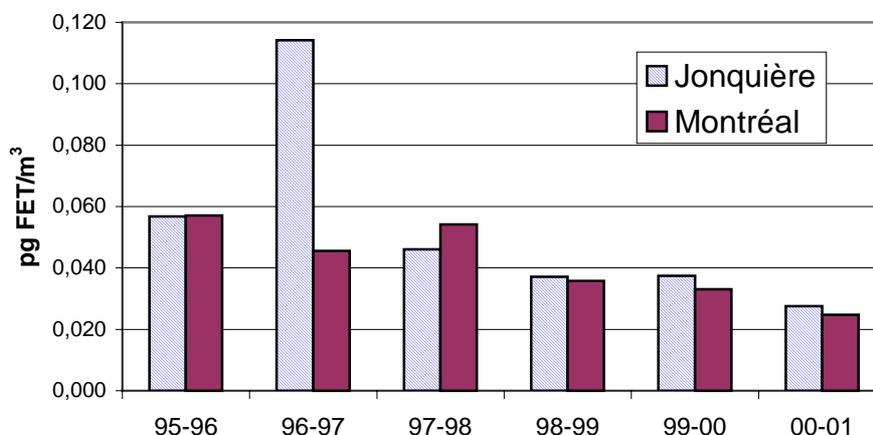


Figure 4 Évolution temporelle des PCDD et des PCDF (exprimés en équivalent toxique) à Jonquière et Montréal

### Évolution temporelle des HAP totaux

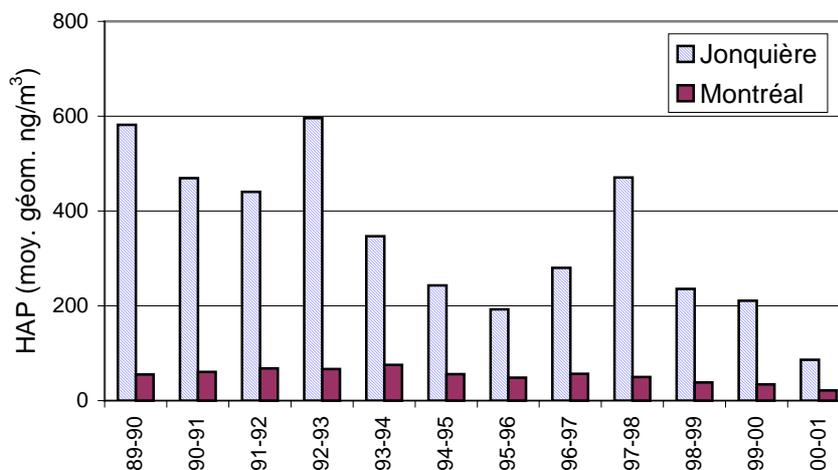


Figure 5 Évolution temporelle des HAP totaux mesurés à Jonquière et Montréal

La figure 6 montre que tout comme pour les HAP totaux, le B(a)P varie au fil des ans à Jonquière et à Montréal et que dans l'ensemble, il diminue entre 1989-1990 et 2000-2001. La baisse de la moyenne géométrique est plus marquée à Jonquière (96 %) qu'à Montréal (27 %).

### Évolution temporelle du B(a)P

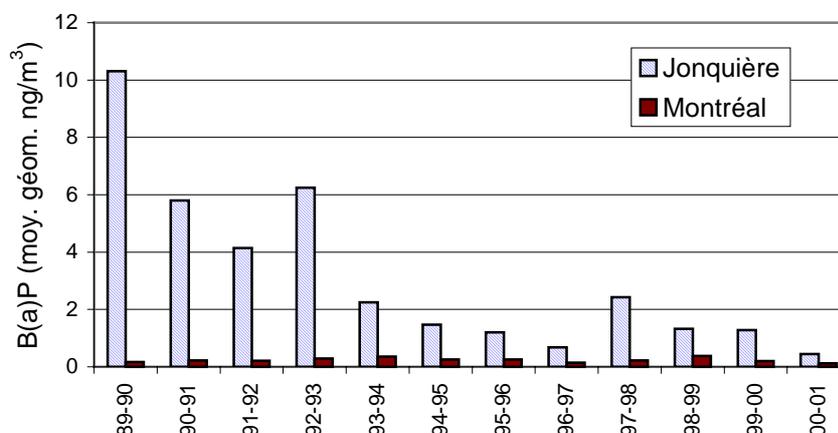


Figure 6 Évolution annuelle du B(a)P mesuré à Jonquière et Montréal

#### *Relation avec les vents*

Les PCDD, les PCDF et les HAP [dont le B(a)P] montrent des variations importantes des niveaux mesurés à Jonquière et Chicoutimi, alors qu'elles sont moindres à Montréal. Lorsque nous calculons les statistiques, nous pouvons penser, à première vue, que certains échantillons aient pu être contaminés compte tenu des écarts importants observés; d'ailleurs, certaines valeurs sont identifiées comme valeurs aberrantes par le logiciel statistique utilisé. L'examen des conditions météorologiques, incluant l'origine des vents pour chacune des journées d'échantillonnage, permet toutefois d'expliquer les résultats.

Le tableau 5 montre les concentrations de PCDD, de PCDF et du B(a)P pour les journées où le vent a soufflé surtout d'un secteur lors de l'échantillonnage (sauf pour un cas, les jours où le vent a soufflé de plusieurs secteurs ne sont pas considérés dans ce qui suit). Lorsque le vent soufflait de l'ouest, soit de Jonquière vers Chicoutimi, nous avons un premier bloc avec des valeurs de PCDD, de PCDF et B(a)P élevés et un second avec des niveaux plus faibles. Lorsque le vent soufflait de l'est, soit de Chicoutimi vers Jonquière, des échantillons de PCDD et de PCDF ont été pris simultanément aux deux endroits en une seule occasion. Parce qu'il n'y avait qu'une seule paire de résultats, nous avons choisi d'inclure une autre paire de résultats alors que le vent avait aussi une composante nord importante. Il faut aussi se rappeler que l'échantillonnage d'air ambiant était plus fréquent à Jonquière qu'à Chicoutimi et qu'en certaines occasions, des échantillons étaient pris à Jonquière mais pas à Chicoutimi alors que le vent provenait de l'est. Dans un précédent rapport, Rousseau (2000) indiquait que les plus hautes valeurs de PCDD et de PCDF étaient observées lorsque le vent soufflait du sud. Malheureusement, nous n'avons pas d'échantillon prélevé lorsque le vent provenait principalement de cette zone entre juillet 2000 et la fin mars 2001.

Dans le premier bloc, les valeurs de PCDD et de PCDF sont assez élevées à Chicoutimi où elles varient entre 0,073 et 0,102 pg FET/m<sup>3</sup> alors qu'à Jonquière, il y a deux jours avec des valeurs plus élevées et deux avec des valeurs plus faibles. Aussi, il y a une journée où les niveaux de

PCDD et de PCDF sont plutôt semblables à Jonquière et à Chicoutimi. Du côté du B(a)P, les niveaux sont généralement plus hauts à Chicoutimi. Pour le bloc des faibles valeurs, les PCDD et les PCDF diminuent en allant vers Chicoutimi dans un cas et sont semblables dans l'autre ; le B(a)P augmente dans les deux cas. Le rapport des concentrations observées aux deux endroits montre que le B(a)P augmente plus à Chicoutimi que les PCDD et les PCDF lorsque le vent souffle vers l'ouest. Lorsque le vent provient de l'est, les niveaux de PCDD et de PCDF sont plus hauts à Jonquière, tout comme le B(a)P. C'est justement lorsque le vent soufflait surtout de l'est et que la station était sous le vent de l'aluminerie 18 heures sur les 24 heures qu'a duré l'échantillonnage que nous avons mesuré les plus hautes valeurs de B(a)P à Jonquière. Les HAP n'ont pas été montrés au tableau 5 mais ils se comportent comme le B(a)P.

Tableau 5 Niveaux de PCDD, de PCDF et B(a)P mesurés lors des journées où le vent a soufflé surtout d'un secteur

Date et origine du vent	Jonquière	Chicoutimi	Jonquière	Chicoutimi	Rapport Chicoutimi/Jonquière	
	PCDD+PCDF	PCDD+PCDF	B(a)P	B(a)P	PCDD+PCDF	B(a)P
	pg FET/m <sup>3</sup>	pg FET/m <sup>3</sup>	Ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>		
Vent de l'ouest						
1 <sup>er</sup> bloc						
8 décembre	0,071	0,073	1,5	4,8	1,0	3,2
6 février	0,017	0,098	3,4	2,8	5,6	0,7
25 février	0,049	0,079	1,7	15,2	1,6	10,6
26 mars	0,001	0,102	0,02	5,4	146	270
2 <sup>e</sup> bloc						
3 septembre	0,014	0,008	0,02	1,8	0,6	90
1 <sup>er</sup> janvier	0,002	0,002	0,06	0,36	1,3	6
Vent de l'est						
14 novembre	0,057	0,002	91	0,02	0,03	0,002
2 mars*	0,051	0,034	2,9	11,0	0,6	3,8

\* : Composantes nord et nord-est importantes

La vitesse du vent influence aussi les niveaux. Ainsi, le premier janvier 2000, les niveaux de PCDD, de PCDF et de B(a)P sont faibles aux deux endroits alors que la vitesse moyenne du vent était de 23,6 km/h. Rousseau (2000) avait montré que les niveaux de PCDD, de PCDF et de HAP étaient inversement proportionnels à la vitesse du vent à Jonquière.

## Discussion

Nous savons que les camions diesel sont responsables de 5 % des émissions canadiennes de PCDD et de PCDF à l'atmosphère et les résultats obtenus près de l'autoroute Métropolitaine à Montréal tendent à prouver l'impact de la circulation puisque les niveaux y sont élevés. Nous savons qu'il n'y a pas de chauffage au bois ou d'industries reconnues pour émettre des PCDD et des PCDF à proximité de cette station ; de plus les niveaux exprimés en FET n'ont pas augmenté entre la fin de l'été et le début de l'hiver. La circulation routière peut être une source de PCDD et de PCDF aux stations 8 (Chicoutimi) et 9 (Jonquière), mais son impact n'est pas aussi important qu'à la station de Montréal puisque le volume de circulation y est plus faible.

Le chauffage au bois, populaire dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, est sûrement une des sources à considérer. En effet, nous savons qu'il est une source de PCDD et de PCDF comme le démontrent les résultats obtenus dans les quartiers plus résidentiels de Jonquière où les niveaux augmentent entre la fin août et le début de décembre. Bremmer *et al.* (1994) indiquent que les rejets de PCDD et de PCDF d'un poêle à bois peuvent augmenter de 5 à 25 fois si du bois contaminé (peint, traité ou autre) est brûlé plutôt que du bois sec destiné au chauffage au bois. Launhardt *et al.* (1998) mentionnent aussi que la combustion de bois peint ou d'un mélange de bois et plastique génèrent jusqu'à 40 fois plus de PCDD et de PCDF que le bois sec et destiné à être brûlé. Ils rapportent aussi que la combustion de papier et de carton émet 2 à 20 fois plus de PCDD et de PCDF. Les cendres contiennent aussi beaucoup plus de contaminants lorsque des déchets ou du bois traité ou peint sont brûlés. La combustion résidentielle de bois représente 2 % du total des émissions canadiennes de PCDD et de PCDF.

La présence de ferrailleurs (ou entreprises de recyclage de métaux) dans le parc industriel de Jonquière pourrait expliquer en partie les valeurs de PCDD et de PCDF plus élevées observées dans la partie sud de Jonquière. Bremmer *et al.* (1994) rapportent que le chauffage ou la combustion de rebuts de câbles électriques pour se débarrasser de la gaine de plastique émet environ 40 µg FET de PCDD et de PCDF par tonne (µg FET/t) de câbles lorsqu'elle est faite dans des équipements appropriés. Ils estiment que cette pratique faite de façon illégale dans des installations de fortune en émet 500 µg FET/t, parfois plus. Tiernan *et al.* (1989) ont mesuré les PCDD et les PCDF à plusieurs endroits à Dayton (Ohio), dont un situé à environ 300 m d'un incinérateur de déchets domestiques (capacité de 150 000 tonnes/an) et à moins d'un kilomètre d'une usine qui enlevait le PVC recouvrant les métaux par pyrolyse dans un four. Lorsqu'il n'y avait que l'incinérateur en fonction, ils mesuraient une moyenne de 3,36 pg/m<sup>3</sup> de PCDD et de PCDF alors qu'elle montait à 16,12 pg/m<sup>3</sup> lorsque le four de pyrolyse était en marche. La capacité du four de cette usine était de 182 kg par période de 9 heures. Trois ferrailleurs de Jonquière ont déjà été condamnés pour avoir brûlé des rebuts de câbles dans des installations « maison » alors qu'un autre possède un certificat d'autorisation du MENV pour une installation conforme destinée à la refonte des métaux (Labrecque, 2001).

À Jonquière, une entreprise qui répare des moteurs électriques chauffe les moteurs dans des fours pour brûler et cuire le vernis présent sur les fils. Ces fours ont été installés sans autorisation du MENV. Ce dernier a exigé que l'entreprise réalise une caractérisation de ses émissions et qu'elle fasse la demande d'un certificat d'autorisation pour continuer ses activités (Labrecque, 2001). Le chauffage de moteur dans un four pour récupérer le métal s'apparente à brûler des fils électriques et Bremmer *et al.* (1994) l'identifient comme une source de PCDD et de PCDF à l'air. Les installations de cette entreprise se trouvent au sud de la station utilisée depuis 1989 par Environnement Canada. En décembre, les PCDD et les PCDF étaient semblables dans les aiguilles des pins plantés aux stations 3 et 5, situées de part et d'autre des installations de ce recycleur (en tenant compte des vents dominants) ; par contre, il y en avait plus à la station 5, plus proche des installations du recycleur de moteurs lorsqu'ils étaient exprimés en FET. En août, les niveaux étaient trop proches des limites de détection pour tirer des conclusions. Rappelons que les vents provenaient du sud lorsque nous avons mesuré deux valeurs élevées en 1996 mais que nous n'avons pas pris d'échantillons lorsque le vent provenait de ce secteur lors de la campagne de 2001.

Germain *et al.* (2000) ont montré que la station de Saint-Ignace-de-Loyola, située sous les vents dominants des usines sidérurgiques de Sorel, était influencée par ces usines situées à environ 3,5 km. Nous savons que les fours à arc électriques utilisés dans la production d'acier émettent dans l'air environ 7 % du total canadien de PCDD et de PCDF (Environnement Canada, 2001). Les niveaux retrouvés dans les aiguilles de pins à Saint-Ignace-de-Loyola semblent montrer un impact des activités industrielles de Sorel sur l'air de cette région. Les fours à arcs électriques sont la principale source de PCDD et de PCDF des usines sidérurgiques.

La teneur élevée mesurée en milieu rural en été peut surprendre à première vue, mais le brûlage de déchets dans des barils ou brûlage à ciel ouvert est une source importante d'émissions de PCDD et de PCDF à l'atmosphère. Lemieux *et al.* (2000), du U. S. EPA, mentionnent que le brûlage de déchets dans des barils de 220 litres (ou 45 gallons) rejette entre 6 et 264 µg de PCDD et de PCDF par kg de déchet, ce qui est beaucoup plus que les 0,0035 µg/kg émis par un incinérateur de déchets municipaux d'une capacité de 180 000 kg de déchets par jour. Ils estiment qu'entre 40 % et 50 % des gens qui vivent en milieu rural en Illinois agissent ainsi et que brûler des déchets dans 2 à 40 barils émet autant de PCDD et de PCDF dans une journée que ne le fait un incinérateur municipal qui en brûle 180 000 kg. Les Américains estiment que le brûlage de déchets dans des barils, qu'ils appellent « *backyard burning* » rejette près de 30 % de tous les PCDD et les PCDF émis à l'atmosphère dans une année. En Suisse, le Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication (DETEC, 2000) estime que le brûlage illégal d'ordures ménagères représente 1 à 2 % des déchets incinérés et que ce brûlage émet plus du double de toutes les émissions des usines d'incinération de déchets ménagers et déchets spéciaux réunies. Ces observations ont amené Environnement Canada à inclure cette source dans l'inventaire canadien ; elle représente un peu plus de 10 % de tous les rejets de PCDD et de PCDF à l'atmosphère (Environnement Canada, 2001).

À Jonquière et Chicoutimi, l'augmentation des PCDD et des PCDF observée dans les aiguilles de pins de l'été au début de l'hiver pourrait s'expliquer en partie par l'exposition plus longue (145 jours vs 50 jours), mais surtout par l'apport de sources comme le chauffage au bois, le brûlage à ciel ouvert ou « *backyard burning* », le transport routier et possiblement par certaines sources industrielles dont les ferrailleurs et recycleurs. Dans la municipalité de Jonquière, le Service des incendies de Jonquière émet moins de 20 permis par année pour permettre le brûlage de déchets dans des barils mais il y a des gens qui le font sans demander de permis (Laplante, 2001). Lorsque nous examinons les résultats en fonction de la direction des vents dominants, nous constatons que les résultats de PCDD et de PCDF dans les aiguilles de pins semblent un peu plus élevés dans la partie sud de la région de Jonquière.

## **Conclusion**

En août, il y a plus de PCDD et de PCDF dans les aiguilles prélevées à Saint-Ignace-de-Loyola, à Montréal et à la station témoin située en milieu rural. En décembre, les niveaux augmentent à toutes les stations, sauf à Montréal où ils demeurent semblables à ceux du mois d'août. La durée d'exposition des aiguilles à la pollution atmosphérique pourrait être une cause de l'augmentation des niveaux par rapport à ceux mesurés en août mais nous n'avons pas observé d'augmentation à la station témoin située à Montréal, station influencée par le trafic routier. Au Saguenay, la circulation est une source probable de PCDD et de PCDF, mais à un niveau moindre qu'à

Montréal. Le chauffage résidentiel au bois est probablement une source d'émissions importante de PCDD et de PCDF à l'atmosphère dans la région de Jonquière. Le brûlage de déchets à ciel ouvert et certaines industries, dont les ferrailleurs et les recycleurs qui se débarrassent des gaines de plastique entourant les fils ou le vernis qui entoure les fils des moteurs électriques peuvent aussi en émettre lors de processus impliquant la combustion. Nous savons que trois ferrailleurs ont déjà été condamnés pour avoir brûlé illégalement des câbles ou fils électriques pour récupérer le métal ; un autre le fait légalement et un recycleur de moteurs électriques a demandé un certificat d'autorisation auprès du MENV (Labrecque, 2001). Les niveaux de PCDD et de PCDF ne sont pas plus élevés dans les aiguilles prélevées chez des pins plantés de part et d'autre de ses installations mais le sont à la station la plus proche lorsqu'ils sont exprimés en FET ou équivalent toxique. À Saint-Ignace-de-Loyola, les industries reliées au secteur de la sidérurgie expliquent en bonne partie les niveaux de PCDD et de PCDF retrouvés dans la région de Sorel.

Dans ce projet, les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans les aiguilles de pins sont semblables à ceux mesurés en milieu urbain aux États-Unis et environ 5 fois plus bas que ceux mesurés près d'usines de préservation de bois des États-Unis. Ils sont jusqu'à 40 fois plus faibles qu'en Corée ou au Japon où les PCDD et les PCDF sont présents en grande quantité dans l'air.

Dans l'air ambiant, il n'y a pas de différences significatives dans les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés à Jonquière, Chicoutimi et Montréal et les niveaux sont semblables à ce que nous avons trouvé ailleurs au Canada entre 1997 et 1999. Par contre, ils sont environ 10 fois plus faibles que ceux mesurés à proximité d'un incinérateur de déchets municipaux et d'un récupérateur de fils électriques recouverts de PVC aux États-Unis, 20 fois plus faibles que ceux mesurés au Japon ou 40 fois plus faibles que ceux mesurés en Saxe (Allemagne).

Bien que les niveaux de PCDD et de PCDF varient un peu en fonction de l'origine des vents, ils ne montrent pas de tendance significative puisque nous avons mesuré des valeurs élevées et faibles pour un même secteur d'origine. Depuis 1995-1996, les niveaux moyens ont baissé d'environ 50 % à Jonquière et à Montréal et sont 2 à 3 fois plus bas que la ligne directrice annuelle révisée du MENV.

Lorsque nous examinons les niveaux de PCDD et de PCDF mesurés dans les aiguilles et dans l'air ambiant, nous constatons que les aiguilles de pins sont capables d'adsorber les PCDD et les PCDF et de servir de bioindicateur. Le rapport entre les teneurs mesurées dans l'air et les aiguilles est relativement constant, peu importe le niveau présent dans l'air.

Pour ce qui est des HAP et du B(a)P, les niveaux sont semblables à Jonquière et Chicoutimi alors qu'ils sont plus bas à Montréal. À Jonquière, les valeurs mesurées entre juillet 2000 et mars 2001 sont plus basses que celles rapportées par Dann en 1998 et depuis 1989, la tendance est à la baisse pour les HAP et le B(a)P, soit de 96 % pour le B(a)P et 85 % pour les HAP dans l'air ambiant à Jonquière ; à Montréal, les baisses atteignent 27 % et 60 % respectivement. À Jonquière, la diminution la plus marquée s'est produite entre 1999-2000 et 2000-2001, alors que la compagnie Alcan a modifié la composition de la pâte anodique des cuves d'électrolyse. À Chicoutimi, les niveaux mesurés entre juillet 2000 et la fin mars 2001 sont semblables à ceux obtenus en 1993-1994 par le MENV. Contrairement aux PCDD et aux PCDF, les HAP varient beaucoup en fonction de l'origine des vents puisque les valeurs les fortes sont mesurées lorsque

les stations sont sous le vent de l'aluminerie. La plus haute valeur a d'ailleurs été mesurée à Jonquière alors que la station était sous le vent de l'aluminerie pour presque toute la journée d'échantillonnage.

## Recommandations

Parmi les sources de PCDD et de PCDF soupçonnées à Jonquière, mentionnons le chauffage au bois, le brûlage de déchets à ciel ouvert (ou « *back yard burning* »), le trafic routier et certaines installations industrielles. Comme les niveaux à Chicoutimi et à Jonquière sont similaires à ceux de Montréal, qu'ils sont inférieurs au critère du MENV et que l'échantillonnage régulier se poursuit à Jonquière, nous recommandons plutôt de mesurer les émissions des ferrailleurs et des recycleurs qui récupèrent le métal en chauffant les câbles et les moteurs électriques. Une campagne d'éducation pour un meilleur usage de poêles à bois et sur les effets du brûlage de déchets à ciel ouvert permettrait aussi de réduire les niveaux de PCDD et de PCDF présents dans l'air.

## Références :

- Allaire, M., M. Barber, R.S. Friar et R. Roussel (1993). Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) at a Point Source of Emissions. Part B : PAH Emissions Reduction at a Horizontal Stud Soderberg Plant at Jonquiere, Quebec, Canada and the Evolution of B[a]P in Ambient Urban Air. *J. Air Waste. Manage. Assoc.* 43 :85-90
- Bisson, M. (2001). Niveaux de B(a)P mesurés par le MENV entre juin 1993 et mars 1994. Ministère de l'Environnement du Québec. Communication personnelle à A. Germain
- Bremmer, H.J., L.M. Troost, G. Kuipers, J. DeKoning et A.A. Sein (1994). *Emissions of dioxins in The Netherlands*. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven and Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Apeldoorn. Report No. 770501018.
- Dann, T. (2000). Valeurs statistiques de PCDD/PCDF pour 13 stations de surveillance au Canada. Environnement Canada. Communication personnelle à A. Germain
- Dann, T. (1998). Mesure des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofurannes (PCDF) dans l'air ambiant du Canada (1987-1997). Environnement Canada, Centre de technologie environnementale, Division de l'analyse et de la qualité de l'air, Rapport DAQA 98-3, Ottawa (Ont), 48 p.
- DETEC (Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication; 2000). Communiqué de presse *Pollution indigène de dioxine par l'incinération sauvage des déchets*. Site internet accédé le 16 février 2000 <http://www.evek.admin.ch/doku/presse/f/99092101.htm>

- Environnement Canada (2001). Inventaire des rejets de Dibenzo-*p*-dioxines polychlorées substituées aux positions 2,3,7,8 (PCDDs) et Dibenzofurannes polychlorées substituées aux positions 2,3,7,8 (PCDFs) “Mise à jour”. Environnement Canada et le Groupe de travail fédéral/provincial sur les dioxines et furannes pour le Comité consultatif fédéral-provincial sur la *Loi canadienne sur la protection de l’environnement*, Hull (Qc) 41 p.
- Environment Canada (1997). PCB Reference Method EPS 1/RM/31, March, 1997.
- Fiedler, H., H. Rottler, L. Peichl, G. Knetsch et A. Basler (2000). Concentrations of PCDD/PCDF in Atmospheric Samples in Germany in Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Monterey, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 45 : 364-268
- GDG Environnement (1995). Inventaire des bio-indicateurs atmosphériques utilisables au Québec Tome 1. Rapport présenté à Environnement Canada, Direction de la protection de l’environnement, région du Québec. 70 p + annexes
- Germain, A., P. Beaudoin et B. Lafortune (2000). Qualité de l’air observée dans la région de Sorel en 1995. Environnement Canada, Direction de la protection de l’environnement, Région du Québec, Enjeux atmosphériques, Montréal (Qc) 9 p.
- Germain, A., M. Benjamin et C. Gagnon (2001). Impact du chauffage au bois sur la qualité de l’air d’un quartier résidentiel de Montréal in Americana 2001, Sommaire exécutif des conférences. Des solutions pour un monde en changement. Salon des technologies environnementales, Réseau Environnement, Montréal, mars 2000, pp 247-248
- Germain, A. et M. Bisson (1992). Mesure d’hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l’air ambiant au Québec (Canada) in Compte Rendu 5<sup>e</sup> Colloque sur les substances toxiques tenu à Montréal les 1<sup>er</sup> et 2 avril 1992 pp 47-57
- Grenon, S. et B. Lafortune (1997). Moss Bags Technique as a Reliable Atmospheric Monitoring Tool : Comparison with PM10-2.5 Analyzer Poster PHA 134 présenté à SETAC 18<sup>th</sup> Annual Meeting, Bridging the Global Environment : Technology, Communication, and Education. 16-20 Novembre 1997, San Francisco, CA
- Labrecque, D. (2001). Ferrailleurs et recycleurs de moteurs électriques. Ministère de l’Environnement du Québec. Communication personnelle à A. Germain
- Lapointe, N. (2001). Émissions de permis pour le brûlage de déchets domestiques dans des barils à Jonquière. Service des incendies de Jonquière. Communication personnelle à A. Germain
- Launhardt, L., A. Strehler, R. Dumler-Grادل, H. Thoma et O. Vierle (1998) PCDD/F- and PAH-Emission from House Heating Systems. *Chemos.* 37 : 2013-2020

- McLachlan, M.S., A. Reischl et M. Reissinger (1989). Monitoring of Organic Air Pollutants using Terrestrial Plants in Man and his Ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989 Brassler, L.J. et W.C. Mulder (eds) Delft (The Netherlands) 87-93
- Miyata, H., S. Takamitsu, N. Iwata, T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta (2000). Investigation of Assessment of Air Pollution by Dioxin Analogues using Japanese Black Pine Needle as an Indicator in Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Monterey, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 373-376
- Ok, G., S.H. Hi, S.J. Kim, H.B. Moon, Y.K. Kim, Y.S. Kim et Y.S.H. Han (2000). Monitoring of Air Pollution by Polychlorinated Dibenzop-Dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans in Korea Using Pine Needles in Proceeding of Dioxin 2000, 20th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, Monterey, California, USA, August 13-17, 2000 vol. 46 : 419-422
- Rousseau, J. (2000). Identification des sources potentielles des polychlorodibenzo-*p*-dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofurannes (PCDF) à l'atmosphère mesurées dans la région de Jonquière entre 1991 et 1999. Document de travail. Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, région du Québec, Enjeux atmosphériques, Montréal (Québec), 62 p. + annexes
- Safe, S.; K.W. Brown, K.C. Donnelly, C.S. Anderson, K.V. Markiewicz, M. S. McLachlan, A. Reischl et O. Hutzinger (1992). Polychlorinated Dibenzop-dioxins and Dibenzofurans Associated with Wood-Preserving Chemical Sites : Biomonitoring with Pine Needles. *Environm. Sci. Technol.* 26 :394-396
- Tiernan, T.O., D.J. Wagel, G.F. Vanness, J.H. Garrett, J.G. Solch et L.A. Harden (1989). PCDD/PCDF in the Ambient Air of Metropolitan Area in the U.S. *Chemos.* 19 : 541- 546
- Viskari, Eeva-Liisa (2000). Epicuticular Wax of Norway Spruce Needles as Indicator of Traffic Pollutant Deposition *Water, Air and Soil Pollution* 121 :327-337

Annexe 1 Date d'échantillonnage des HAP, des PCDD et des PCDF à Jonquière, Chicoutimi et Montréal

	Jonquière		Chicoutimi		Montréal	
	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP	PCDD/PCDF	HAP
05-juil-00		X				
17-juil-00						
29-juil-00		X				X
10-août-00	X	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	X	X
22-août-00						X
03-sept-00	X	X	X	X	X	X
15-sept-00						
27-sept-00			X	X		
09-oct-00		X				X
21-oct-00			X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>		
27-oct-00			X	X		
02-nov-00		X				X
14-nov-00	X	X	X	X		X
26-nov-00		X				X
08-déc-00	X	X	X	X	X	X
20-déc-00		X			X	X
26-déc-01						X
01-janv-01	X	X	X	X	X	X
13-janv-01		X			X	X
25-janv-01	X	X	X	X	X	X
06-févr-01	X	X	Y <sup>4</sup>	Y	X	X
18-févr-01	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>	X	X		X
02-mars-01	X	X	Y	Y	X	X
14-mars-01	X	X	X	X	X	X
26-mars-01	X	X	Y	Y	X	X

1 : blanc de terrain

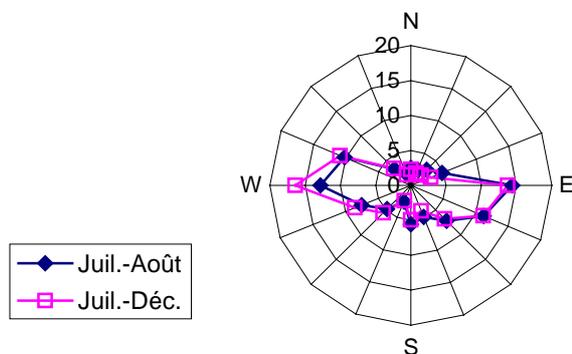
2 : résultats non-disponibles, problèmes lors du transport vers le laboratoire

3 : échantillon perdu à cause de vandalisme à la station, repris le 27 octobre

4 : Y : échantillons analysés par le MENV

Annexe 2 Rose des vents observées à Jonquière pour les périodes « Juillet-Fin août » et « Juillet-décembre »

Rose des vents



Annexe 3 Récupération moyenne des produits marqués avec des radio-isotopes lors de l'analyse des échantillons d'aiguilles de pins

Produit marqué	Août		Décembre	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
$^{13}\text{C}_{12}$ -TCDD	74,2	7,6	63,2	8,0
$^{13}\text{C}_{12}$ -TCDF	72,9	13,2	65,4	8,7
$^{13}\text{C}_{12}$ -P5CDD	65,1	8,3	56,9	16,8
$^{13}\text{C}_{12}$ -P5CDF	69,3	5,9	61,4	9,4
$^{13}\text{C}_{12}$ -H6CDD	66,8	5,7	61,3	10,1
$^{13}\text{C}_{12}$ -H6CDF	74,4	7,9	65,9	7,6
$^{13}\text{C}_{12}$ -H7CDD	66,1	13,5	65,1	10,6
$^{13}\text{C}_{12}$ -H7CDF	63,6	7,7	65,3	8,3
$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD	49,2	9,5	59,6	8,3

Annexe 4 Récupération moyenne des produits marqués avec des radio-isotopes lors de l'analyse des échantillons d'air

Produit marqué	Jonquière	Chicoutimi
$^{13}\text{C}_{12}$ -TCDD	79,3	76,7
$^{13}\text{C}_{12}$ -TCDF	86,3	79,3
$^{13}\text{C}_{12}$ -P5CDD	80,1	76,2
$^{13}\text{C}_{12}$ -P5CDF	79,1	75,7
$^{13}\text{C}_{12}$ -H6CDD	84,1	76,9
$^{13}\text{C}_{12}$ -H6CDF	86,9	80,3
$^{13}\text{C}_{12}$ -H7CDD	77,2	71,7
$^{13}\text{C}_{12}$ -H7CDF	79,0	73,3
$^{13}\text{C}_{12}$ -OCDD	70,3	65,7

Annexe 5 Pourcentage d'humidité dans les aiguilles de pins

Station	Automne	Hiver
	Pourcent (%)	Pourcent (%)
Station EC (1)	56,9	59,1
Station 2	55,5	55,9
Station 3	56,5	59,7
Station 4	54,9	58,0
Station 5	53,1	56,9
Station 6	57,9	57,2
Station 7	58,8	58,3
Station 7 (duplicata)	55,5	56,4
Station 7 (moyenne)	57,2	57,4
Station 8	79,8	58,3
Station 9	57,0	58,4
Station 10	59,0	56,5
Station 11	58,5	57,7
Moyenne (région)	58,8	57,7
Station 12 (SIL)	59,8	55,1
Station 13 (Montréal)	63,1	65,0
Témoin terrain	85,8	85,8

Annexe 6 Concentrations moyennes des PCDD/PCDF mesurées dans l'air de Jonquière, Chicoutimi et Montréal (pg/m<sup>3</sup>)

Congénère	Chicoutimi				Jonquière				Montréal			
	moyenne	écart type	médiane	maximum	moyenne	écart type	médiane	maximum	moyenne	écart type	médiane	maximum
2378-TCDD	0,003	0,002	0,002	0,007	0,002	0,001	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002	0,005
12378-P5CDD	0,013	0,013	0,006	0,040	0,008	0,008	0,006	0,026	0,010	0,006	0,009	0,019
123478-H6CDD	0,016	0,018	0,006	0,049	0,009	0,010	0,004	0,031	0,008	0,007	0,007	0,018
123678-H6CDD	0,031	0,047	0,012	0,170	0,014	0,017	0,005	0,053	0,014	0,011	0,013	0,030
123789-H6CDD	0,044	0,067	0,014	0,230	0,027	0,030	0,018	0,095	0,021	0,018	0,019	0,053
1234678-H7CDD	0,285	0,414	0,099	1,500	0,199	0,236	0,084	0,649	0,150	0,100	0,114	0,320
OCDD	0,869	1,472	0,363	5,400	0,547	0,646	0,213	1,931	0,426	0,278	0,370	0,862
2378-TCDF	0,062	0,044	0,044	0,140	0,050	0,064	0,019	0,210	0,030	0,018	0,026	0,076
12378-P5CDF	0,010	0,009	0,006	0,024	0,007	0,006	0,004	0,015	0,005	0,004	0,005	0,011
23478-P5CDF	0,015	0,013	0,012	0,039	0,013	0,013	0,006	0,035	0,009	0,006	0,008	0,019
123478-H6CDF	0,039	0,034	0,025	0,097	0,028	0,028	0,017	0,068	0,019	0,012	0,017	0,043
123678-H6CDF	0,015	0,014	0,009	0,045	0,011	0,010	0,007	0,027	0,007	0,004	0,007	0,015
234678-H6CDF	0,020	0,019	0,015	0,061	0,013	0,014	0,009	0,037	0,010	0,008	0,009	0,027
123789-H6CDF	0,004	0,005	0,002	0,016	0,002	0,001	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,004
1234678-H7CDF	0,065	0,057	0,047	0,190	0,052	0,042	0,039	0,118	0,041	0,023	0,036	0,080
1234789-H7CDF	0,008	0,009	0,004	0,029	0,007	0,006	0,004	0,020	0,005	0,004	0,003	0,014
OCDF	0,112	0,146	0,058	0,510	0,059	0,057	0,031	0,191	0,043	0,026	0,042	0,083
Total TCDD	0,045	0,046	0,026	0,140	0,037	0,048	0,011	0,124	0,022	0,029	0,010	0,086
Total P5CDD	0,125	0,146	0,053	0,400	0,071	0,100	0,024	0,314	0,063	0,066	0,038	0,182
Total H6CDD	0,427	0,693	0,125	2,400	0,210	0,253	0,111	0,812	0,152	0,137	0,141	0,378
Total H7CDD	0,687	1,247	0,180	4,500	0,439	0,547	0,163	1,489	0,300	0,202	0,237	0,593
OCDD	0,869	1,472	0,363	5,400	0,547	0,646	0,213	1,931	0,426	0,278	0,370	0,862
<b>Total PCDD</b>	<b>2,104</b>	<b>3,501</b>	<b>0,617</b>	<b>12,720</b>	<b>1,302</b>	<b>1,455</b>	<b>0,572</b>	<b>4,110</b>	<b>0,962</b>	<b>0,685</b>	<b>0,831</b>	<b>2,058</b>
Total TCDF	0,265	0,205	0,185	0,713	0,179	0,210	0,062	0,609	0,149	0,121	0,104	0,476
Total P5CDF	0,165	0,131	0,127	0,380	0,125	0,134	0,052	0,346	0,091	0,063	0,086	0,216
Total H6CDF	0,159	0,142	0,127	0,410	0,104	0,101	0,070	0,271	0,080	0,050	0,068	0,186
Total H7CDF	0,102	0,077	0,097	0,240	0,085	0,068	0,077	0,217	0,065	0,036	0,060	0,123
OCDF	0,121	0,149	0,070	0,510	0,059	0,057	0,031	0,191	0,043	0,026	0,042	0,083
<b>Total PCDF</b>	<b>0,781</b>	<b>0,585</b>	<b>0,599</b>	<b>1,631</b>	<b>0,552</b>	<b>0,538</b>	<b>0,278</b>	<b>1,365</b>	<b>0,426</b>	<b>0,270</b>	<b>0,376</b>	<b>1,057</b>
<b>PCDD + PCDF</b>	<b>2,885</b>	<b>3,840</b>	<b>1,293</b>	<b>14,040</b>	<b>1,854</b>	<b>1,593</b>	<b>1,719</b>	<b>5,016</b>	<b>1,388</b>	<b>0,927</b>	<b>1,207</b>	<b>2,912</b>
<b>FET (facteur équivalent)</b>	<b>0,039</b>	<b>0,038</b>	<b>0,024</b>	<b>0,102</b>	<b>0,029</b>	<b>0,026</b>	<b>0,019</b>	<b>0,071</b>	<b>0,025</b>	<b>0,016</b>	<b>0,023</b>	<b>0,054</b>

Annexe 7a Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Jonquière (n = 16)  
entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m<sup>3</sup>)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	4,897	1,825	2,875	0,161	21,843
Acénaphthène	100,0	14,144	2,706	3,117	0,088	68,907
Fluorène	100,0	12,933	4,291	4,996	0,312	69,111
2-Me-Fluorène	100,0	2,166	0,758	0,685	0,061	12,531
Phénanthrène	100,0	103,228	28,027	30,390	2,242	649,965
Anthracène	100,0	9,577	2,140	2,598	0,120	60,605
Fluoranthène	100,0	83,428	24,938	23,701	2,292	604,983
Pyrène	100,0	60,715	15,269	14,284	0,773	467,743
Benzo(a)Fluorène	100,0	5,120	1,077	1,210	0,031	43,954
Benzo(b)Fluorène	100,0	2,758	0,474	0,581	0,011	26,645
1-Me-Pyrène	100,0	1,736	0,400	0,555	0,009	13,105
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	3,060	0,976	1,412	0,064	21,030
Benz(a)Anthracène	100,0	14,598	1,485	2,435	0,020	148,150
Chrysène	100,0	42,989	5,632	4,382	0,186	397,897
Triphénylène	100,0	9,288	1,923	1,222	0,098	78,291
7-Me-Benz(a)Anthracène	31,3	0,016	0,008	0,005	< l.d.	0,094
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	61,246	7,678	5,680	0,179	514,584
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	13,955	1,716	1,466	0,040	117,592
Benzo(e)Pyrene	100,0	30,012	3,495	2,668	0,077	253,674
Benzo(a)Pyrène	100,0	8,868	0,889	1,609	0,018	90,984
Pérylène	81,3	1,316	0,254	0,321	0,009	10,953
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	9,219	1,496	1,877	0,057	73,802
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	87,5	2,082	0,221	0,250	< l.d.	19,233
Benzo(b)Chrysène	62,5	0,637	0,077	0,101	< l.d.	5,365
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	10,273	1,552	2,095	0,048	84,993
Anthanthrène	56,3	0,238	0,060	0,105	< l.d.	1,684
TOTAL HAP	100,0	508,290	121,119	113,905	8,772	3834,341

Annexe 7b Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Chicoutimi (n = 12)  
entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m<sup>3</sup>)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	6,033	2,084	3,141	0,182	23,078
Acénaphthène	100,0	13,240	2,995	4,089	0,040	48,000
Fluorène	100,0	9,495	4,865	5,611	0,312	26,000
2-Me-Fluorène	100,0	0,939	0,538	0,572	0,054	3,432
Phénanthrène	100,0	41,960	25,087	26,945	1,363	123,388
Anthracène	100,0	2,715	1,560	1,887	0,094	9,728
Fluoranthène	100,0	34,739	23,967	29,451	2,698	97,236
Pyrène	100,0	24,799	16,149	19,833	1,792	73,481
Benzo(a)Fluorène	100,0	2,022	1,129	1,972	0,137	7,104
Benzo(b)Fluorène	100,0	0,916	0,473	0,868	0,054	3,505
1-Me-Pyrène	100,0	0,654	0,372	0,547	0,087	2,481
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	1,597	1,026	1,356	0,190	4,184
Benz(a)Anthracène	100,0	5,730	2,470	4,286	0,145	20,567
Chrysène	100,0	3,625	2,112	3,004	0,250	12,689
Triphénylène	100,0	19,739	10,856	17,757	0,328	52,046
7-Me-Benz(a)Anthracène	11,1	0,009	0,006	0,006	< l.d.	0,044
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	24,577	13,239	26,752	0,223	72,195
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	7,540	3,625	6,589	0,053	22,000
Benzo(e)Pyrene	100,0	13,001	6,894	13,710	0,103	36,812
Benzo(a)Pyrène	100,0	4,357	1,730	3,179	0,019	15,210
Pérylène	83,3	0,446	0,162	0,362	< l.d.	1,550
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	4,180	2,364	3,840	0,074	11,468
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	83,3	0,923	0,379	0,835	< l.d.	2,672
Benzo(b)Chrysène	66,7	0,159	0,078	0,113	< l.d.	0,642
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	4,672	2,718	4,427	0,120	13,807
Anthanthrène	75,0	0,193	0,091	0,150	< l.d.	0,700
TOTAL HAP	100,0	225,837	137,780	183,495	8,374	668,983

Annexe 7c Synthèse des résultats des différents HAP mesurés dans l'air de Montréal (Ontario et Amherst; n = 19)  
entre juillet 2000 et mars 2001 (ng/m<sup>3</sup>)

	Fréquence de détection	Moyenne		Médiane	Minimum	Maximum
		arithmétique	géométrique			
Acénaphthylène	100,0	2,004	1,218	1,451	0,141	6,552
Acénaphthène	100,0	0,842	0,652	0,681	0,162	2,923
Fluorène	100,0	2,582	2,152	2,245	0,59	5,586
2-Me-Fluorène	100,0	0,912	0,758	0,706	0,235	2,334
Phénanthrène	100,0	9,543	8,223	7,827	3,66	23,218
Anthracène	100,0	0,670	0,549	0,556	0,204	1,881
Fluoranthène	100,0	2,963	2,593	2,499	1,212	7,085
Pyrène	100,0	2,090	1,805	1,778	0,786	5,698
Benzo(a)Fluorène	100,0	0,196	0,155	0,142	0,059	0,712
Benzo(b)Fluorène	100,0	0,093	0,074	0,074	0,024	0,302
1-Me-Pyrène	100,0	0,120	0,095	0,092	0,031	0,373
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	100,0	0,348	0,279	0,237	0,117	0,962
Benz(a)Anthracène	100,0	0,304	0,203	0,192	0,036	1,297
Chrysène	100,0	0,878	0,627	0,781	0,123	3,502
Triphénylène	100,0	0,260	0,188	0,199	0,048	1,093
7-Me-Benz(a)Anthracène	5,3	0,005	0,004	0,005	< l.d.	0,011
Benzo(b)Fluoranthène	100,0	1,422	0,944	1,133	0,175	6,362
Benzo(k)Fluoranthène	100,0	0,365	0,254	0,263	0,049	1,519
Benzo(e)Pyrene	100,0	0,762	0,497	0,513	0,093	3,520
Benzo(a)Pyrène	100,0	0,299	0,185	0,203	0,037	1,174
Pérylène	57,9	0,040	0,019	0,019	< l.d.	0,206
3-Me-Cholanthrène	0,0	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	100,0	0,467	0,349	0,420	0,075	1,749
Dibenz(a,c)&(a,h)Anthracène	84,2	0,059	0,038	0,044	< l.d.	0,292
Benzo(b)Chrysène	42,1	0,017	0,012	0,011	< l.d.	0,071
Benzo(g,h,i)Pérylène	100,0	0,594	0,444	0,483	0,125	2,458
Anthanthrène	52,6	0,037	0,024	0,021	< l.d.	0,160
TOTAL HAP	100,0	27,890	23,905	22,169	9,112	73,774