

Caractérisation des composés organiques provenant de poêles à bois résidentiels et de combustibles choisis



Une étude coopérative effectuée par
Environnement Canada et la
Hearth Products Association of Canada

Rapport DRME 2000-01

Décembre 2000

Division de recherche et mesure des émissions

Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales

Environnement
Canada

Environnement
Canada

Environmental
Technology
Centre



Centre de
Technologie
Environnementale

Caractérisation des composés organiques provenant de poêles à bois résidentiels et de combustibles choisis

Avis

Le présent rapport a été préparé par Environnement Canada et revu par la *Hearth Products Association of Canada*. Toute mention de noms de marque et de produits commerciaux ne constitue ni une recommandation ni une approbation d'utilisation.

Pour tout complément d'information concernant la documentation à l'appui utilisée pour compiler le présent rapport, veuillez communiquer avec les personnes suivantes :

Dominic Cianciarelli
Division de recherche et mesure des émissions

Centre de technologie environnementale
Ottawa, ON K1A 0H3

Tél. : (613) 991-9457

Télec. : (613) 998-4032

Courriel : Cianciarelli.Dominic@etc.ec.gc.ca

Raouf Morcos
Bureau national de la prévention de la
pollution
Place Vincent Massey
Hull, QC K1A 0H3

Tél. : (819) 953-1137

Télec. : (819) 997-7121

Courriel : Raouf.Morcos@ec.gc.ca

This publication is also available in English.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- Il s'agit de la première étude canadienne comparant les rejets d'un poêle à bois conventionnel et d'un poêle à bois certifié (non catalytique, technologie de pointe) pour un certain nombre de polluants, l'accent étant mis sur les dioxines et les furannes. L'étude vérifie également le facteur d'émission des dioxines et des furannes utilisé pour la combustion du bois à des fins résidentielles (CBR) dans l'« Inventaire des rejets » de dioxines et de furannes publié en 1999 (Environnement Canada, 1999).
- L'étude a été menée conjointement par le gouvernement et l'industrie.
- C'est en 1999 que s'est fait sentir le besoin d'une telle recherche lorsque la CBR a été identifiée comme l'une des principales sources d'émission de dioxines et de furannes (Environnement Canada, 1999). La CBR a par conséquent été ciblée comme un secteur prioritaire dans le cadre du processus entourant les normes pancanadiennes (NPC). Il a été cependant reconnu que le chiffre correspondant au niveau d'activité en matière de CBR n'était qu'un résultat préliminaire et que le facteur d'émission utilisé s'était vu octroyer, après évaluation, un degré de confiance qualifié de « faible » par la *Environmental Protection Agency* des États-Unis (USEPA).
- L'étude a été effectuée de la manière décrite dans le plan de projet sur l'assurance de la qualité (PPAQ) préparé par un conseiller indépendant, détaillant les étapes et les procédures suivies durant la mise au point/l'exploitation du poêle, l'échantillonnage ainsi que l'analyse et l'interprétation des résultats (*Conor Pacific Environmental Technologies Inc.*, 2000).
- Les poêles et le bois ont été choisis et fournis par la *Hearth Products Association of Canada* (HPAC) à la suite d'une consultation entre les représentants de l'industrie et du gouvernement. On estime que les appareils de chauffage au bois conventionnels comptent pour plus de 90 p. cent de tous les appareils de CBR en usage. Le poêle non catalytique de technologie de pointe utilisé dans le cadre de l'étude était un modèle de série courant, populaire dans l'ensemble du pays. Il est certifié comme satisfaisant aux exigences de la USEPA concernant les émissions de particules de moins de 7,5 grammes par heure d'exploitation.
- Environnement Canada et l'HPAC ont accepté d'utiliser deux types de bois pour ce programme d'essai : l'érable à sucre, un bois de chauffage courant dans le centre et dans l'est du Canada, et l'épinette, une variété de bois tendre utilisée dans l'ouest et dans le nord du Canada.
- Après un essai préliminaire visant à définir la vitesse de combustion et le volume minimal d'échantillonnage requis pour détecter les composés cibles, 12 essais ont été effectués au total : trois essais répétés avec chacune des deux essences de bois dans chaque poêle.
- Les poêles ont été montés et exploités par le personnel de *Intertek Testing Services* (ITS) à Montréal, conformément aux directives et aux recommandations de l'industrie et de l'HPAC.
- *Intertek Testing Services* s'est acquittée du contrôle d'un certain nombre de polluants et a préparé un rapport (ITS, 2000).
- Les scientifiques d'Environnement Canada ont effectué les essais conformément aux

méthodes d'échantillonnage et d'analyse publiées.

- Conformément au plan de projet sur l'assurance de la qualité, un nombre restreint d'échantillons ont été envoyés à un laboratoire indépendant pour analyse.
- Une analyse statistique indépendante a été effectuée pour déterminer si les résultats relatifs aux émissions de dioxines et de furannes étaient importants entre les poêles et les combustibles.

CONCLUSIONS

En raison de l'approche rigoureuse employée dans le cadre de ce projet à la fois durant la procédure d'installation pour l'essai et l'échantillonnage et l'analyse des émissions, nous avons une grande confiance en les résultats de l'étude.

Dans le cadre des conditions de ce programme d'essai, les résultats ont démontré ce qui suit :

1. Les rejets de matières particulaires (MP), de composés organiques volatils (COV) et de composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) provenant du poêle certifié (non catalytique, technologie de pointe) sont de beaucoup inférieurs à ceux produits par le poêle conventionnel. En moyenne, les rejets de ces substances provenant du poêle certifié sont de 94 p. cent inférieurs à ceux du poêle conventionnel pour ce qui est des MP, de 80 p. cent pour les COV et de 85 p. cent pour les HAP.
2. Dioxines et furannes
 - a) À poids égal, le facteur d'émission moyen pour les poêles à bois résidentiels est de quatre fois inférieur au facteur d'émission utilisé dans l'élaboration de l'inventaire des dioxines et des furannes publié en janvier 1999 (Environnement Canada, 1999). À la suite des essais et de la révision de la quantité de bois brûlé, les valeurs estimatives de rejet de dioxines et de furannes pour ce secteur sont passées de 36,5 à 3 grammes d'équivalents toxiques (ÉT) par an.
 - b) Dans les deux poêles, les rejets de dioxines et de furannes découlant de la combustion de l'érable sont supérieurs à ceux découlant de la combustion de l'épinette.
 - c) Les rejets de dioxines et de furannes provenant du poêle certifié sont supérieurs à ceux du poêle conventionnel.

Bien qu'une analyse statistique de ces résultats ait démontré qu'ils soient représentatifs des poêles, du combustible utilisé et des conditions d'exploitation au moment de l'essai, des conditions différentes durant l'essai préliminaire dans le cadre duquel on a brûlé de l'érable dans un poêle certifié a produit un résultat similaire à celui obtenu avec le poêle conventionnel durant le programme d'essai. Malheureusement, nous n'en avons pas appris beaucoup sur les relations de cause à effet sous-tendant les résultats obtenus pour les deux types de poêles et d'essence de bois utilisés dans cette étude.

Il est évident qu'une recherche plus approfondie doit être menée pour nous permettre de mieux déterminer comment se forment les dioxines et les furannes dans un appareil de chauffage au bois résidentiel.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
REMERCIEMENTS	viii
LISTE D'ACRONYMES	ix
1. INTRODUCTION	1
1.1 Objectif	1
1.2 Sommaire du programme d'essai.....	2
2. POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE.....	2
3. PROCÉDURES	4
3.1 Préparation et conditionnement du combustible.....	4
3.2 Exploitation du poêle à bois	4
3.3 Résidus de combustion	5
3.4 Méthodes d'échantillonnage	5
3.4.1 Particules	5
3.4.2 Ligne de prélèvement des composés organiques semi-volatils (COSV).....	6
3.4.3 Composés organiques volatils (COV)	8
4. ASSURANCE DE LA QUALITÉ/CONTRÔLE DE LA QUALITÉ (AQ/CQ)	9
5. MÉTHODES ANALYTIQUES	9
5.1 Particules.....	9
5.2 Composés organiques semi-volatils (COSV)	9
5.3 Composés organiques volatils (COV)	10
6. RÉSULTATS	11
6.1. Données opérationnelles	11
6.2 Matières particulaires.....	11
6.3 Dioxines et furannes	12
6.3.1 Distribution particulaire/gazeuse	13
6.3.2 Distribution de congénères et d'homologues.....	14
6.3.3 Facteurs de concentration et d'émission de masse	15
6.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	16
6.5 Composés organiques volatils (COV)	17
6.6 Résidus de combustion	18
6.7 Propagation de l'erreur	19
6.8 Échantillons soumis à une assurance de la qualité de l'air	20
7. DISCUSSION.....	21
7.1 Matières particulaires.....	21

7.2	Dioxines et furannes	21
7.2.1	Facteurs de concentration et d'émission	21
7.2.2	Analyse statistique	24
7.2.3	Autres études.....	25
7.2.4	Essai préliminaire.....	25
7.3	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	27
7.4	Composés organiques volatils (COV)	27
8.	CONCLUSIONS.....	29
9.	RÉFÉRENCES	31
ANNEXE A – TABLEAUX DÉTAILLÉS		
A-1	Sommaire des conditions d'exploitation	34
A-2	Sommaire des émissions de matières particulaires (g/kg de bois).....	35
A-3	Concentration de dioxines et de furannes (pg ÉT/m ³)	36
A-4	Facteurs d'émission des dioxines et des furannes (pg ÉT/kg de bois)	37
A-5	Concentrations de HAP (µg/m ³).....	38
A-6	Facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois).....	39
A-7	Concentrations de COV (µg/m ³).....	40
A-8	Facteurs d'émission des COV (mg/kg de bois)	40
A-9	Analyse de la propagation de l'erreur	41

LISTE DES FIGURES

	Page
1 Configuration générale.....	3
2 Points d'échantillonnage du tunnel de dilution	3
3 Ligne de prélèvement des composés organiques semi-volatils	7
4 Ligne de prélèvement des composés organiques volatils	8
5 Effet du seuil de détection sur la quantité d'ÉT recueillie dans la ligne de prélèvement.....	13
6 Distribution moyenne des ÉT de congénères pour chaque condition de vérification (%).....	14
7 Distribution moyenne d'homologues pour chaque condition de vérification (%).....	15
8 Particules par opposition à CO dans le tunnel de dilution	21
9 Sommaire des concentrations de dioxines et de furannes (pg ÉT/m ³).....	22
10 Sommaire des facteurs d'émission de dioxines et de furannes (pg ÉT/kg de bois).....	22
11 ÉT par opposition à matières particulaires	23
12 Facteurs d'émission moyens de dioxines et de furannes (ng ÉT/kg de bois)	23
13 Comparaison des émissions moyennes d'ÉT avec l'essai préliminaire.....	26
14 Facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois).....	27
15 Facteurs d'émissions totales de COV (mg/kg de bois).....	27
16 Facteurs d'émission des COV choisis (mg/kg de bois)	28
17 Facteurs d'émission des BTEX (mg/kg de bois)	28
18 Émissions relatives des composés de BTEX (mg/kg de bois).....	28
19 Facteurs d'émission du 1,3-butadiène (mg/kg de bois)	29
20 Émissions relatives des polluants cibles	30

LISTE DES TABLEAUX

	Page
1 Paramètres de réglage d'air des poêles à bois	4
2 Séquence d'exploitation du poêle à bois	5
3 Sommaire des facteurs d'émission de particules (g/kg de bois)	12
4 Sommaire de la fraction gazeuse des équivalents toxiques des dioxines et des furannes (%).....	14
5 Sommaire des concentrations de dioxines et de furannes (pg ÉT/m ³).....	15
6 Sommaire des facteurs d'émission de dioxines et de furannes (pg ÉT/kg de bois).....	16
7 Sommaire de la fraction gazeuse des HAP (%)	17
8 Sommaire des facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois).....	17
9 Sommaire des tubes d'échantillonnage.....	18
10 Sommaire des facteurs d'émission de COV (mg/kg de bois)	19

REMERCIEMENTS

Environnement Canada reconnaît et apprécie la participation, la coopération et l'appui des organismes suivants dans le cadre du présent programme d'essai.

- L'industrie, grâce à l'organisation de la *Hearth Products Association of Canada*.
- *Intertek Testing Services*.
- Le ministère ontarien de l'Environnement.
- Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) – Comité de développement des normes pancanadiennes sur les dioxines et les furannes.

LISTE D'ACRONYMES

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAEAL	<i>Canadian Association of Environmental Analytical Laboratories</i>
CBR	Combustion du bois à des fins résidentielles
CG-DM	Chromatographe gazeux – discriminateur de masse
COSV	Composés organiques semi-volatils
COV	Composés organiques volatils
CTE	Centre de technologie environnementale
DAQA	Division de l'analyse et de la qualité de l'air
DRME	Division de recherche et mesure des émissions
EC	Environnement Canada
ÉT	Équivalents toxiques
FÉTI	Facteur d'équivalence de toxicité international
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCB	Hexachlorobenzène
HPAC	<i>Hearth Products Association of Canada</i>
ITS	<i>Intertek Testing Services</i>
MP	Matières particulaires
ND	Non détectable
NPC	Normes pancanadiennes
OCDD	Octachlorodibenzo paradioxines
OCDF	Octachlorodibenzo furannes
PCDD	Polychlorodibenzo paradioxines (dioxines)
PCDF	Polychlorodibenzo furannes (furannes)
PPAQ	Plan de projet sur l'assurance de la qualité
SGDL	Système de gestion des données de laboratoire
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

1. INTRODUCTION

1.1 Objectif

La combustion du bois à des fins résidentielles (CBR) constitue une contribution valable aux diverses sources d'énergie utilisées au Canada, en particulier à l'extérieur des principaux centres urbains. Cette contribution deviendra particulièrement importante à mesure que l'on acquerra une compréhension accrue du rôle potentiel que joueront les combustibles renouvelables tels que le bois pour répondre aux obligations du Canada en matière de changements climatiques dans le cadre du Protocole de Kyoto.

La combustion du bois à des fins résidentielles est à l'origine d'importants rejets de dioxines et de furannes¹ dans l'atmosphère au Canada. Afin d'élaborer une stratégie de réduction des émissions de ces substances, la moyenne des émissions émanant de poêles à bois conventionnels doit être comparée à celle des appareils certifiés de combustion de technologie de pointe (*Nota* : Dans le cadre du présent rapport, nous ferons référence à ce type de poêle en l'appelant tout simplement « poêle certifié ».) Il existe peu de données sur les émissions de dioxines et de furannes provenant de poêles à bois, de foyers et de fournaies résidentiels, et le facteur d'émission utilisé précédemment s'est vu octroyer par la USEPA un degré de confiance qualifié de « faible ».

Le principal objectif de cette première étude canadienne menée conjointement par le gouvernement et l'industrie est de :

- comparer les rejets provenant d'un poêle à bois conventionnel et d'un poêle à bois certifié à l'égard d'un certain nombre de polluants, en mettant toutefois l'accent sur les dioxines et les furannes;
- de vérifier le facteur d'émission des dioxines et des furannes utilisé pour la combustion du bois à des fins résidentielles (CBR) dans l'« Inventaire des rejets » de dioxines et de furannes (Environnement Canada, 1999).

Selon les données découlant d'une étude effectuée par Environnement Canada en 1995, les poêles à bois représentent environ 37 p. cent des appareils de chauffage au bois utilisés au Canada, les foyers comptent pour 54 p. cent et les fournaies et autres équipements pour les 9 p. cent restants. Bien que les poêles ne comptent que pour un peu plus du tiers de tous les appareils de chauffage au bois, leur utilisation compte pour environ 55 p. cent du bois brûlé car les poêles constituent l'appareil le plus courant pour le chauffage au bois, par opposition aux foyers que l'on utilise plus superficiellement.

Les poêles à bois conventionnels n'emploient qu'une technologie de réduction des émissions modeste; elle est même parfois inexistante. Ces poêles constituent la majorité de l'inventaire de poêles à bois canadiens, plusieurs d'entre eux ayant été installés durant les années 80, dans le cadre de la politique de « remplacement du pétrole ». Les poêles non catalytiques à combustion avancée utilisent des dispositifs de réduction, tels que des déflecteurs et des chambres de combustion secondaires pour arriver à réduire les émissions. L'autre catégorie de poêles à

¹ Dans le cadre de ce rapport, on entend par dioxines et furannes « polychlorodibenzo paradioxines et polychlorodibenzo furannes (PCDD/PCDF) ».

combustion certifiés utilisant une technologie avancée ont recours à un catalyseur en aval de la chambre de combustion pour contrôler les émissions. Les poêles catalytiques occupent au sein du marché canadien, une proportion inférieure à celle des modèles non catalytiques de technologie avancée. Bien que les deux catégories de poêles utilisant une technologie avancée représentent seulement environ 10 p. cent des poêles installés, il s'agit d'une importante proportion des nouveaux appareils achetés au Canada.

1.2 Sommaire du programme d'essai

Le programme d'essai et d'évaluation a fait l'objet d'un effort conjoint entre un certain nombre d'organismes gouvernementaux fédéraux et provinciaux, ainsi que d'intervenants de l'industrie. Viennent au rang des principaux participants Environnement Canada, *Intertek Testing Services NA Ltd.* ainsi que la *Hearth Products Association of Canada* (HPAC). Ont été mesurées dans le cadre du programme d'essai les émissions des deux poêles à bois suivants choisis par l'industrie comme étant représentatifs des appareils utilisés au Canada :

- un modèle de poêle conventionnel qui était l'un des plus populaires au début des années 1980;
- un poêle non catalytique à combustion avancée certifié par la USEPA et qui figure actuellement parmi les modèles les plus populaires.

Chacun des poêles a été testé en utilisant deux essences de bois, l'érable à sucre (représentatif du bois brûlé dans l'est du Canada), et l'épinette noire (représentative du bois brûlé dans le nord et dans l'ouest du Canada). Ces essais ont été menés à un taux de combustion simple et ont débuté avec un démarrage à chaud. L'essai a été effectué à trois reprises pour chaque poêle à bois et chaque type de combustible, pour un total de 12 essais de combustion cycliques. Un essai préliminaire a été effectué en utilisant de l'érable dans le modèle de poêle certifié afin d'évaluer le montage d'essai proposé, le protocole d'exploitation et le volume minimal d'échantillon requis pour la détection des composés cibles.

L'échantillonnage a été effectué dans le tunnel de dilution. Outre les échantillons de dioxines et de furannes, des échantillons ont été recueillis et analysés en ce qui a trait aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), à l'hexachlorobenzène (HCB), aux composés organiques volatils (COV) et aux matières particulaires. Des échantillons de résidus de combustion ont été recueillis et analysés pour y découvrir des dioxines/furannes et du chlorure.

2. POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE

On a utilisé dans le cadre de ce programme un type de montage conforme à la méthode 28 de la USEPA. Les poêles à bois ont été montés à l'intérieur de l'édifice de manière à ce que le système de cheminée évacue les rejets vers une hotte extérieure d'une hauteur globale de 24 pieds, se composant d'environ 6 pieds de tuyau noir à simple paroi connecté au poêle et 16 pieds de cheminée compacte à paroi de un pouce. Ce système permet aux produits de la combustion de se refroidir et de se mêler à l'air extérieur dans le tunnel de dilution en amont des points de prélèvement. Vous trouverez à la Figure 1 une configuration générale du poêle, du système de gaines et des points d'échantillonnage.

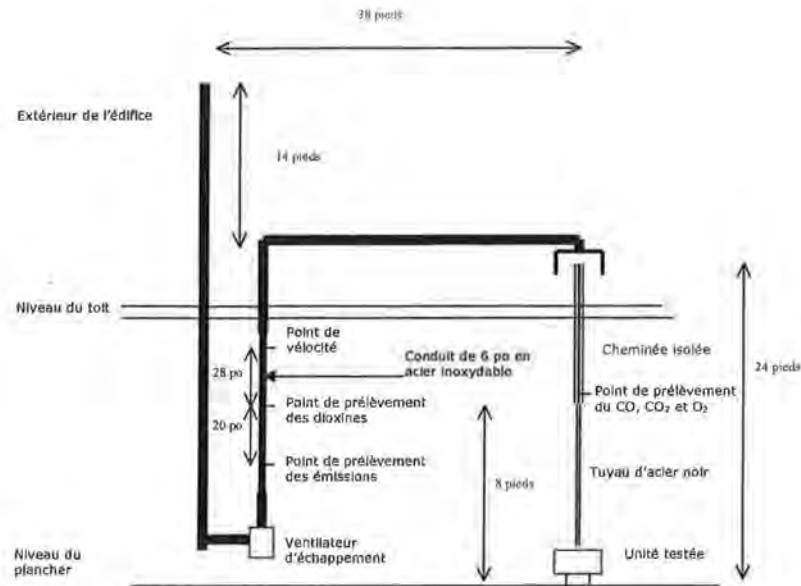


Figure 1 Configuration générale

L'échantillonnage a été effectué à la sortie du poêle à bois ainsi qu'à la jambe de débit inférieure du tunnel de dilution. Du dioxyde et du monoxyde de carbone ainsi que de l'oxygène ont été mesurés à la fois à la sortie du poêle et dans le tunnel de dilution. Des échantillons de matières particulaires et de composés organiques semi-volatils et volatils ont été extraits de différents emplacements dans le tunnel de dilution. On trouve à la figure 2 un schéma des emplacements d'échantillonnage.

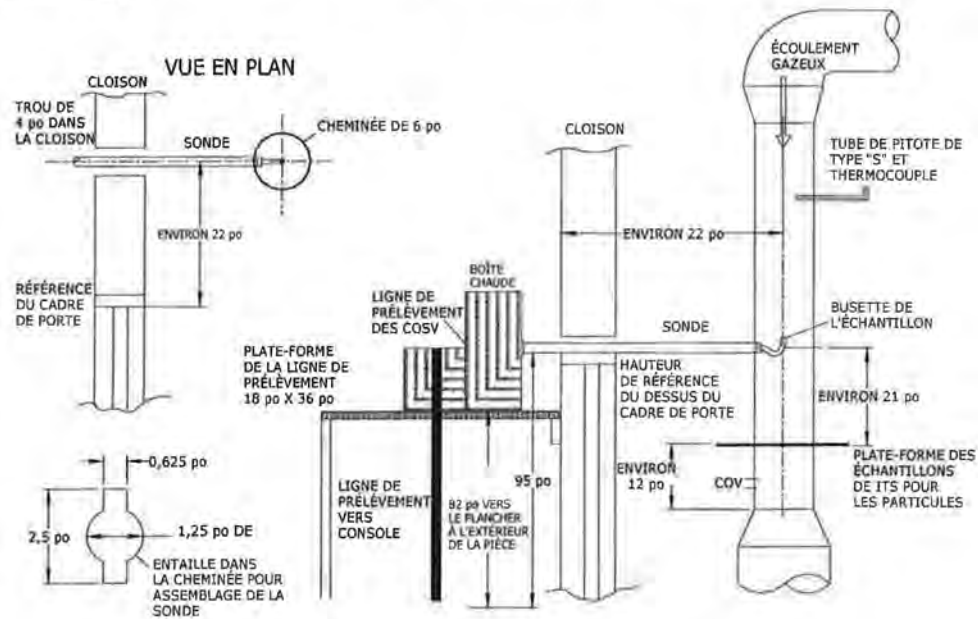


Figure 2 Points d'échantillonnage du tunnel de dilution

3. PROCÉDURES

3.1 Préparation et conditionnement du combustible

Le bois a été coupé à partir d'arbres morts sur pied, fractionné et conditionné à environ 20 p. cent d'humidité. Les morceaux de bois de chauffage ont été triés en deux tailles. On a utilisé une plaque de métal comportant des trous de 3, 5 et 7 pouces de diamètre pour diviser les deux dimensions, comme suit :

- les morceaux de plus de 3 pouces et de moins de 5 pouces ont été utilisés pour l'embrasement;
- les morceaux de plus de 5 pouces et de moins de 7 pouces ont été utilisés pour les cycles de combustion.

La teneur en humidité a été déterminée au moyen d'un humidimètre Delmhorst. L'érable a été séché dans un caisson à air forcé pour faire passer la teneur en humidité de 30 à environ 20 p. cent. L'épinette a été séchée à l'air pour atteindre une teneur en humidité inférieure à 20 p. cent. Le bois a été entreposé dans une pièce/un abri à température et à humidité relative contrôlées jusqu'au moment de l'essai.

3.2 Exploitation du poêle à bois

Les unités testées ont été fournies par l'HPAC. Le poêle conventionnel était un poêle en acier de 20 ans d'âge, à cheminée par le haut, équipé de portes avant en fonte. La chambre de combustion consistait en une construction à paroi simple sur tous les côtés, sauf à l'arrière où l'on retrouvait une paroi double pour le ventilateur à combustion facultatif (non utilisé dans le cadre des essais). Le second poêle était une unité d'acier non catalytique, à cheminée par le haut, répondant aux critères d'émission de la USEPA. La chambre de combustion était entourée de tous les côtés, exception faite de l'avant, par des écrans thermiques et la porte à chargement frontal était en fonte et comportait un panneau de verre. Comme le poêle conventionnel était déjà en usage depuis plusieurs années, aucune période de pré-combustion n'a été nécessaire pour conditionner l'unité. Toutefois, le poêle à bois certifié a été soumis à une période de rodage d'environ 50 heures avant d'être mis à l'essai, ce qui correspond à la procédure normale de la USEPA pour la mise à l'essai de poêles à bois. Avant chacune des séries de tests, le système de cheminée et le tunnel de dilution de laboratoire ont été nettoyés au moyen d'une brosse métallique normalement utilisée pour les cheminées.

Les paramètres de réglage de l'entrée d'air du poêle à bois utilisés pour chaque condition de vérification ont été visuellement déterminés de manière à correspondre à l'intensité typique du feu pour le chauffage domestique. Ces paramètres figurent au Tableau 1.

Tableau 1 Paramètres de réglage d'air des poêles à bois

Poêle	Érable	Épinette
Conventionnel	1 tour ½ à partir de la position de fermeture	1 tour à partir de la position de fermeture
Certifié	Ouvert au quart à partir de la position de fermeture	Ouvert aux 3/16 à partir de la position de fermeture

La routine d'exploitation de chacune des unités a été déterminée avant le début du programme d'essai. Les séquences de chargement et d'exploitation pour chacun des poêles sont décrites au Tableau 2. La charge d'essai a été ajoutée environ 100 minutes après l'allumage, et l'échantillonnage a commencé environ cinq minutes après. L'essai préliminaire et les charges d'essai (poids, longueur et humidité) sont détaillés dans le rapport d'*Intertek* (ITS, 2000).

Tableau 2 Séquence d'exploitation du poêle à bois

Certifié	Conventionnel
Démarrer le feu avec l'embrasement et 5 feuilles de journal incolores froissées.	
Laisser la porte ouverte pour permettre l'embrasement.	
Fermer la porte en veillant à ce que la bouche d'entrée d'air soit entièrement ouverte.	
Ajouter la charge d'essai préliminaire et fermer immédiatement la porte.	
Régler la bouche d'entrée d'air à ¼ (érable) ou aux 3/16 (épinette) de sa pleine capacité.	Régler la bouche d'entrée d'air en lui faisant faire 1 tour ½ (érable) ou 1 tour (épinette) à partir de la position de fermeture.
Attiser le feu.	
Ajouter la charge d'essai et fermer la porte en veillant à laisser la bouche d'entrée d'air entièrement ouverte.	Ajouter la charge d'essai et laisser la porte ouverte.
Débuter l'échantillonnage.	
Régler la bouche d'entrée d'air à ½ (érable et épinette).	Fermer la porte en veillant à laisser la bouche d'entrée d'air entièrement ouverte.
Régler la bouche d'entrée d'air au quart (érable) ou aux 3/16 (épinette) de sa pleine capacité.	Régler la bouche d'entrée d'air en lui faisant faire 1 tour ½ (érable) ou un tour (épinette) à partir de la position de fermeture.
Arrêter l'essai après 4 heures de combustion.	

3.3 Résidus de combustion

Les résidus imbrûlés, composés de cendres inorganiques et de morceaux de charbon, ont été laissés dans le poêle pour les trois essais en triple exemplaire. Tous les résidus ont été recueillis dans des flacons de verre ambré 96 heures après la fin du troisième essai. Par conséquent, un échantillon composite par type de combustible, par poêle à bois, a été recueilli et analysé en regard des dioxines, des furannes et du chlorure. La préparation de l'échantillon de résidus a été effectuée conformément à la méthode ASTM D2013-86 (ASTM, 1994). Les morceaux de charbon retrouvés dans les résidus ont été broyés et ajoutés aux cendres inorganiques avant la séparation. Quatre aliquotes (d'environ 250 ml chacune) ont été préparées pour chaque condition de vérification. L'analyse du chlorure a été déterminée par chromatographie d'échange d'ions.

3.4 Méthodes d'échantillonnage

3.4.1 Particules L'échantillonnage de matières particulaires a été effectué suivant une version modifiée de la méthode 5G de la USEPA (USEPA, 1996), la méthode utilisée par la USEPA pour procéder à la certification des nouveaux poêles à bois. Des échantillons répétés de

particules ont été recueillies durant chacun des essais. La méthode des particules est décrite en détails dans le rapport sur le programme d'*Intertek* (ITS, 2000).

3.4.2 Ligne de prélèvement des composés organiques semi-volatils (COSV)

3.4.2.1 Description de la ligne de prélèvement des COSV La ligne se composait d'une sonde chauffée, d'une enceinte de filtre chauffée, d'une conduite de dépression étanche, d'un vacuomètre, de soupapes de régulation de débit, d'une pompe à vide, d'un compteur à gaz type sec et d'un débitmètre à diaphragme. Les niveaux de pression du tunnel de dilution et de l'orifice ont été mesurés au moyen d'un manomètre à tube incliné. Les températures ont été mesurées dans la boîte chaude, à la sortie de l'impacteur ainsi qu'à l'entrée et à la sortie du compteur à gaz type sec. Dans le cas des COSV, la température a également été contrôlée à l'entrée du Amberlite XAD-2. Toutes les lignes ont été assemblées sur les lieux dans le laboratoire mobile de la DRME.

Des vérifications de fuites ont été effectuées au début à la fin de chaque essai, ou chaque fois qu'un joint de la ligne était ouvert. L'échantillonnage a été effectué proportionnellement à partir d'un point unique. Des relevés ont été faits toutes les dix minutes pendant toute la durée de l'échantillonnage, soit quatre heures. Cela a permis de prélever environ 5,8 m³ d'échantillon.

La méthode d'échantillonnage d'Environnement Canada a été utilisée pour déterminer les émissions de dioxines, de furannes, d'HCB et de HAP dans le tunnel de dilution (Environnement Canada, 1989). Il s'agit de la méthode généralement reconnue pour mesurer les composés organiques avec des points d'ébullition de plus de 100°C. Les matières organiques gazeuses étaient contenues dans un tube absorbant unique contenant environ 40 g de résine Amberlite XAD-2. La méthode d'Environnement Canada correspond à la méthode 23 de la USEPA.

La température de la résine devant être gardée à un degré inférieur à 20°C pour permettre une cueillette optimale, les gaz chauds quittant l'enceinte du filtre étaient refroidis en passant à travers un condensateur refroidi au moyen d'un bain d'eau glacée. Le tube renfermant la résine XAD-2 a également été refroidi à l'eau froide. Le condensat qui s'est formé dans le serpentin refroidisseur est passé au travers du lit de résine avant d'être recueilli dans un purgeur de condensats. Un impacteur contenant de l'éthylène glycol inséré en aval de l'Amberlite agissait comme méthode de cueillette de rechange advenant la percée des matières organiques à travers la résine. Le tube de résine a été recouvert de papier d'aluminium durant l'échantillonnage et l'entreposage afin de prévenir la photodégradation des matières organiques piégées. Tous les joints de vitre ont été enveloppés de ruban à joints en Teflon, la graisse pour technique de vide étant interdite dans le cas de l'échantillonnage de matières organiques. On retrouve un schéma de la ligne de prélèvement à la Figure 3.

3.4.2.2 Nettoyage et vérification des flacons de verre Avant le programme d'essai, tous les flacons de verre de la ligne, les brosses pour sondes, la laine de verre et le papier d'aluminium ont été nettoyés suivant une procédure rigoureuse décrite dans le rapport d'Environnement Canada (1989). Les procédures de nettoyage de ces flacons ont été vérifiées en analysant les agents de rinçage de vérification de toutes les lignes de prélèvement. On a utilisé dans le cadre de cet essai des flacons commerciaux pré-nettoyés et vérifiés. Au total, 16 jeux complets de flacons

de la ligne de prélèvement ont été préparés pour ce programme. Le XAD-2 a été pré-nettoyé et analysé pour découvrir des risques de contamination avant l'étude. Tous les réactifs étaient de qualité CLHP. Les détails des procédures de nettoyage et de vérification sont donnés dans le rapport d'Environnement Canada (1989).

3.4.2.3 Récupération des échantillons Au terme de chacun des essais, la ligne de matières organiques a été récupérée dans le laboratoire mobile de la DRME. Durant le transport entre le point d'échantillonnage et le laboratoire, toutes les ouvertures ont été scellées au moyen d'obturateurs de verre pré-nettoyés, de bouchons ou de papier d'aluminium. Les procédures de récupération comprenaient le brossage et le rinçage des composantes de la ligne de prélèvement à l'aide d'acétone et d'hexane. Seules des flacons laveurs enduits de Teflon ont été utilisés durant la récupération des échantillons. Des tubes d'Amberlite ont été bouchés et ré-enveloppés dans du papier d'aluminium. Les échantillons liquides ont été entreposés dans des flacons ambre pré-nettoyés pour prévenir la photodégradation des matières organiques. Les bouchons des flacons étaient enduits de Teflon. Tous les échantillons ont été gardés au réfrigérateur une fois récupérés. Les procédures de récupération des échantillons sont détaillées dans le rapport d'Environnement Canada (1989). Tous les échantillons ont été transmis à la Division de l'analyse et de la qualité de l'air (DAQA) d'Environnement Canada pour être soumis à une analyse organique. La détermination des dioxines et des furannes à partir des lignes de prélèvement a été effectuée conformément aux directives d'Environnement Canada (1990).

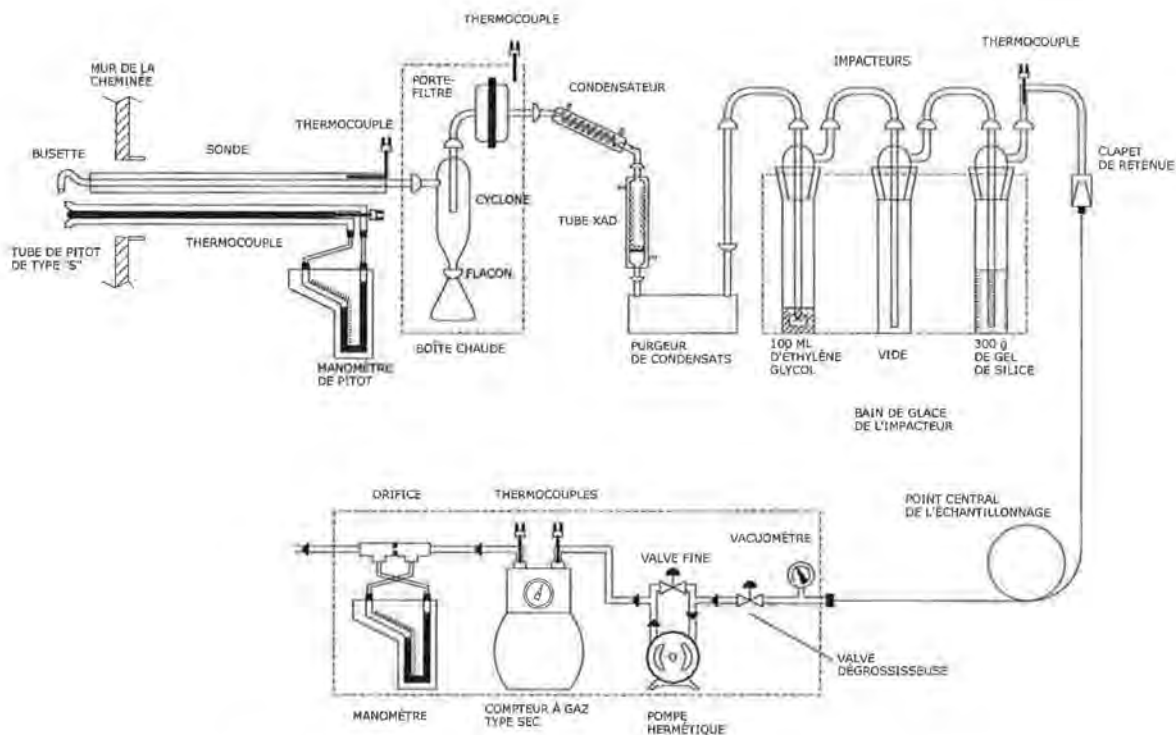


Figure 3 Ligne de prélèvement des composés organiques semi-volatils

Outre les lignes de prélèvements régulières, une ligne à blanc a été assemblée pour chacune des conditions de vérification. Cette ligne a été traitée de la même manière que les lignes de prélèvement, à la différence qu'aucun gaz de combustion n'a fait l'objet d'un échantillonnage. Cependant, un volume d'air ambiant équivalent à celui prélevé durant les vérifications d'étanchéité a été prélevé dans l'ensemble de la ligne à blanc. En clair, cette ligne sert de moyen de vérification des niveaux naturels de matières organiques provenant du traitement des flacons de verre utilisés dans la ligne et des agents de rinçage.

3.4.3 Composés organiques volatils (COV) Les composés organiques volatils sont classés comme des matières organiques possédant des pressions de vapeur saturante de 25°C supérieures à 10^{-1} mm Hg. La méthode repose sur la collecte d'un échantillon gazeux dans un récipient d'acier inoxydable d'une capacité de 6L préalablement nettoyé, vérifié et mis sous vide. La surface interne du récipient est recouverte d'oxyde de chrome-nickel pur, qui s'est formé durant le processus de passivation SUMMA®. Ce type de récipient est utilisé pour la collecte d'échantillons et la stabilité d'entreposage pour plusieurs composés organiques. Vous trouverez à la Figure 4 un schéma de la ligne de prélèvement.

Les échantillons de COV ont été recueillis dans le tunnel de dilution. L'équivalent de deux à trois tubes a été recueilli durant chaque essai portant sur les COSV. La durée de l'échantillonnage pour les échantillons de COV était variable, allant de 70 à 80 minutes. L'échantillon a été recueilli dans le récipient sous vide, à une pression finale de 28 à 30 pression manométrique en psi. À la suite de la cueillette de l'échantillon, la valve du tube a été fermée et les tubes ont été transportés au laboratoire de la DAQA pour analyse.

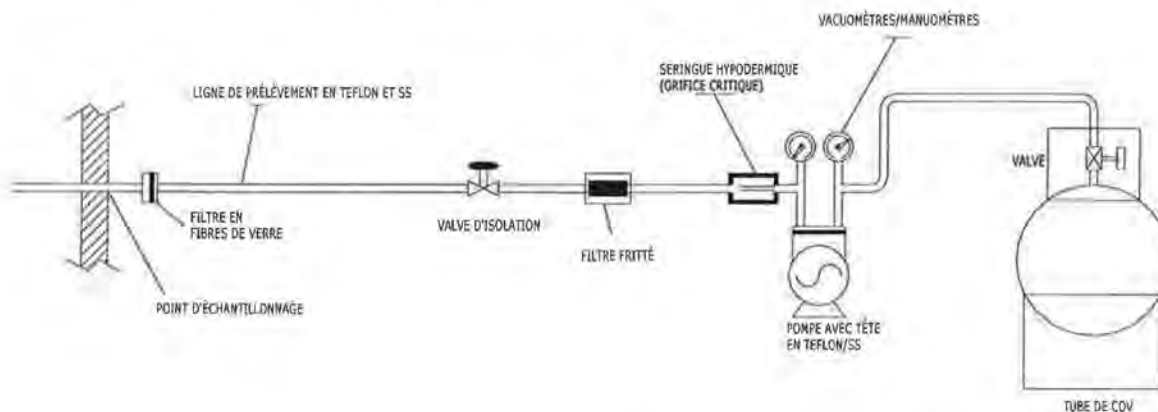


Figure 4 Ligne de prélèvement des composés organiques volatils

On a utilisé une méthode TO-15 modifiée (USEPA, 1988) comme base pour la ligne de prélèvement des COV. La ligne consistait en un filtre à particules et une sonde en acier inoxydable connectée par tube de Téflon au tube. Les gaz étaient tirés par une pompe recouverte de Téflon vers un orifice critique (aiguille hypodermique) dans le tube (Figure 4).

4. ASSURANCE DE LA QUALITÉ/CONTRÔLE DE LA QUALITÉ (AQ/CQ)

Un plan de projet sur l'assurance de la qualité (PPAQ) a été préparé pour le programme d'essai des poêles à bois (*Conor Pacific Environmental Technologies Inc.*, 2000). Ce document détaille les objectifs, les activités et les activités précises d'assurance de la qualité (AQ) et de contrôle de la qualité (CQ) ainsi que les objectifs de qualité des données pour le programme d'essai. Toutes les activités telles que le conditionnement du combustible, la préparation et l'exploitation des poêles à bois, les séquences de chargement, les méthodes d'échantillonnage, l'intégrité des échantillons et l'analyse des échantillons sont couverts dans ce PPAQ.

5. MÉTHODES ANALYTIQUES

5.1 Particules

Les niveaux d'émission ont été déterminés conformément à la méthode 5G (USEPA, 1996). Les quantités de particules recueillies ont été déterminées de manière gravimétrique.

5.2 Composés organiques semi-volatils (COSV)

À leur arrivée au laboratoire, les échantillons ont été inspectés pour assurer leur intégrité et veiller à ce qu'ils soient bien étiquetés. Ils ont ensuite été entrés dans le système de gestion de l'information du laboratoire (SGIL) où on leur a affecté un code de laboratoire. Chaque flacon a été codé et entreposé dans un réfrigérateur à une température de 4°C, jusqu'au traitement des échantillons.

Les échantillons prélevés ont été divisés en deux sections : première moitié de la ligne (agent de rinçage de la sonde, filtre et agent de rinçage du porte-filtre de la moitié avant) et deuxième moitié (agent de rinçage du porte-filtre de la moitié arrière, XAD, purgeur automatique de vapeur d'eau, impacteur de glycol et agents de rinçage des flacons de la moitié arrière). Les fractions de solvant ont été séchées en passant à travers du sulfate de sodium et leur volume a été réduit par évaporation rotative. Les solides (filtre et XAD) ont été séchés à l'air avant d'être soumis à une extraction d'une durée de 20 heures au moyen d'un soxhlet en utilisant du toluène. Avant l'extraction, chaque échantillon a été artificiellement traité avec une solution renfermant une quantité connue de dioxines/furannes et de hexachlorobenzène marqués au carbone-13. Ces substances ont été utilisées pour évaluer les pertes encourues durant les procédures d'extraction et de nettoyage des échantillons. Les résultats analytiques afférents aux dioxines/furannes et à l'hexachlorobenzène ont été corrigés pour illustrer la récupération de ces éléments auxiliaires. Après l'extraction, les extraits au solvant des solides ont été réduits en volume et combinés aux agents de rinçage de la ligne de prélèvement avant le nettoyage. Les échantillons ont été divisés en deux fractions égales – l'une a été utilisée pour le nettoyage et l'analyse des HAP alors que l'autre a été utilisée pour le nettoyage et l'analyse des dioxines/furannes et de l'hexachlorobenzène.

Le nettoyage des dioxines/furannes et de l'hexachlorobenzène est une opération plus rigoureuse car les concentrations de dioxines/furannes sont de beaucoup inférieures à celles des autres composés qui peuvent être présents dans l'extrait. Ces co-agents d'extraction pourraient interférer avec l'analyse finale. Initialement, l'échantillon prélevé est passé au travers d'une colonne de silice multi-couches contenant des couches d'acide, de base et du nitrate d'argent. Certains des co-agents d'extraction ont été retenus dans la colonne, alors que d'autres ont été réduits ou oxydés. Les composés renfermant du soufre ont été enlevés par le nitrate d'argent. L'extrait a ensuite été passé par une colonne d'alumine pour séparer les dioxines/furannes des autres composants tels que les BPC et l'hexachlorobenzène. Le volume de la fraction contenant l'hexachlorobenzène a été réduit à 500 µL et un étalon interne a été ajouté pour contrôler le rendement de l'instrument et corriger toute variation dans l'injection et le volume de l'échantillon. L'échantillon a été analysé en utilisant une spectroscopie de masse à faible résolution. La fraction contenant les dioxines et les furannes a été réduite à 20 µL et un étalon interne a été ajouté pour contrôler le rendement de l'instrument et corriger toute variation dans l'injection et le volume de l'échantillon. L'échantillon a été analysé en utilisant une spectroscopie de masse à haute résolution.

Dans le cadre de la démarche d'assurance et de contrôle de la qualité, un échantillon à blanc ne contenant aucune des substances à analyser a été traité avec les autres échantillons en vue de procéder à une contre-vérification. La Division de l'analyse et de la qualité de l'air d'Environnement Canada a participé à des études entre laboratoires pour comparer les résultats provenant de divers laboratoires en vue de découvrir diverses substances à analyser provenant d'une variété de matrices. La DAQA est accréditée par la *Canadian Association of Environmental Analytical Laboratories* (CAEAL) pour l'analyse des dioxines et des furannes.

5.3 Composés organiques volatils (COV)

Les échantillons d'air contenus dans les tubes ont été analysés au moyen d'une technique de préconcentration cryogénique avec une chromatographie en phase gazeuse à haute résolution et un discriminateur de masse quadripôle (CG-DM) tel que décrit dans les méthodes TO-14 et TO-15 (USEPA, 1988). Un concentrateur cryogénique NuTech de modèle 3550A avec passeur d'échantillons (modèle 3600) a été utilisé pour la préconcentration des échantillons. Un chromatographe gazeux Hewlett-Packard 5890 série II et un instrument MSD Hewlett-Packard 5970 ont été utilisés pour la différenciation des espèces et la quantification. Les composés organiques volatils ont été séparés sur une colonne capillaire de silice fondue de 60-m, 0,32-mm d.i. avec épaisseur de feuille de 1,0 µm de phase liquide liée J&W DB-1.

Un échantillon de gaz a été prélevé du tube par le dispositif de séchage du préconcentrateur Nafion PermaPure™ afin d'enlever l'eau et de prévenir le blocage du filtre ou de la colonne capillaire par une formation de glace à faible température. Les volumes d'échantillons ont été mesurés au moyen d'un régulateur de débit de masse. En règle générale, 500 ml d'air ambiant (50 ml pour un échantillon de fumée) ont été passés dans un filtre à perles de verre dont la température est maintenue à -170°C puis un mélange gazeux d'étalon interne a été directement ajouté au filtre cryogénique. Les COV ont été lavés avec un jet en étant chauffés à une température de 150°C pour être davantage concentrés sur une trappe de concentration tubulaire ouverte à -180°C. Ce filtre de cryoconcentration a été chauffé ballistiquement à 150°C, résultant

en une injection rapide de COV dans la colonne analytique.

Des résultats optimaux ont été obtenus en programmant la température de la colonne de chromatographie gazeuse. La température de la colonne a été initialement maintenue durant 3 minutes à -60°C , puis élevée à 250°C à une vitesse de 8°C la minute. Le CG-DM a fonctionné dans le mode de contrôle ionique choisi (MCI). L'identification des substances cibles à analyser par MCI repose sur la combinaison d'une durée de rétention chromatographique et l'abondance relative des ions contrôlés choisis. Deux ou trois ions caractéristiques ont été contrôlés pour chacun des quelque 145 mélanges d'hydrocarbures trouvés dans les échantillons d'air urbain. Comme le DM obtient des données uniquement pour les ions cibles, cette technique de détection est considérée comme étant hautement précise et sensible. Un étalon de calibrage de l'instrument a été élaboré à partir d'étalons gazométriques préparés dans le laboratoire de la DAQA à partir de trois mélanges liquides à composantes multiples et de vérins de mélanges gazeux achetés chez *Scott Environmental Technology Inc.* La quantification a été basée sur des courbes d'étalonnage de régression linéaires à cinq points.

6. RÉSULTATS

6.1 Données opérationnelles

Les données opérationnelles des essais sont résumées au Tableau A-1 de l'Annexe A. Les données finales sur les combustibles et les poêles sont tirées du rapport d'*Intertek Testing Services* (ITS, 2000). La charge de combustible se composait de cinq morceaux de bois de corde. Le degré d'humidité a été mesuré pour chacun des cinq morceaux mis dans le poêle. Les valeurs d'humidité figurant au Tableau A-1 représentent les moyennes arithmétiques des cinq mesures du degré d'humidité.

Les données figurant dans ce tableau sont limitées aux paramètres utilisés dans le rapport pour le calcul des taux d'émission et pour des fins de discussion. Les données relatives aux émissions sont exprimées en terme de masse de polluant émise par masse de combustible sec brûlé durant un essai. Le calcul des taux d'émission de masse a été fait en fonction d'une période de quatre heures. Les niveaux d'oxygène, de dioxyde et de monoxyde de carbone rapportés pour le tunnel de dilution au Tableau A-1 représentent des moyennes de lectures prises tous les 20 minutes au moyen d'un analyseur de gaz de combustion Nova, de modèle 376WP.

6.2 Matières particulaires

Les résultats relatifs aux matières particulaires tirés du rapport d'*Intertek Testing Services* sont rapportés au Tableau A-2 de l'Annexe A. Des échantillons répétés de matières particulaires ont été recueillis pour chaque essai. Ces échantillons ont été recueillis en suivant la méthode 5G (USEPA, 1996). Les émissions de particules sont exprimées sur la base de la masse de combustible utilisé durant l'essai. Une moyenne des concentrations des essais répétés et du débit du tunnel de dilution mesurés par *Intertek* ont été utilisés pour calculer les valeurs d'émission. Les facteurs d'émission de particules sont résumés au Tableau 3.

**Tableau 3 Sommaire des facteurs d'émission de particules
(g/kg de bois)**

Poêle	Combustible	Champs d'émissions	Moyenne
Certifié	Érable – CV1*	0,40 à 0,83	0,61
	Épinette – CV2	0,52 à 0,84	0,67
Conventionnel	Érable – CV3	1,70 à 5,17	2,86
	Épinette – CV4	12,7 à 23,8	17,9

* CV1, CV2, CV3 et CV4 – Conditions de vérification 1, 2, 3 et 4.

6.3 Dioxines et furannes

Les données sur les polychlorodibenzo paradiioxines et les polychlorodibenzo furannes (PCDD/PCDF) sont rapportées sur la base des 17 congénères de dioxines et de furannes de substitution 2,3,7,8. Cette donnée est encore transformée en multipliant chacun des 17 congénères par leur facteur d'équivalence de toxicité international respectif (FÉTI). Les facteurs vont de 1,0 pour les 2,3,7,8-TCDD à 0,001 pour les octachlorodibenzo paradiioxines (OCDD) et les octachlorodibenzo furannes (OCDF).

Avant le programme d'essai, un essai préliminaire a été effectué par *Intertek* à Montréal pour déterminer le volume d'échantillon requis pour recueillir une charge fiable des substances cibles à analyser. L'essai préliminaire a été effectué avec le poêle certifié en utilisant des bûches d'érable. Le fonctionnement du poêle durant cet essai a différé du programme d'essai par deux aspects. Deux charges d'érable ont été brûlées dans le poêle l'une après l'autre pour prolonger le fonctionnement du poêle afin de recueillir des volumes d'échantillons plus importants. La distance entre la surface sur laquelle était installé le poêle et le haut de la cheminée était de 15 pieds, conformément à l'installation certifiée d'un poêle à bois en vertu des normes de l'USEPA ou environ 9 pieds de moins que l'installation utilisée pour le programme d'essai. En outre, le ventilateur capteur pour le tunnel de dilution était situé à l'intérieur de manière à ce que l'air ambiant soit utilisé pour la dilution. Bien que l'essai préliminaire ait été effectué principalement à des fins de filtrage, les résultats de cet essai ont une incidence sur l'applicabilité des résultats discutés à la Section 7.

Les composantes de l'avant et de la moitié arrière de la ligne de prélèvement de COSV, qui correspondent respectivement aux fractions particulaires et gazeuses dans le gaz ayant fait l'objet d'un échantillon, ont été analysées séparément, mais sont rapportées comme le total de la ligne de prélèvement dans les tableaux récapitulatifs. Les quantités recueillies dans les lignes de prélèvement ont été corrigées pour l'échantillon à blanc (qui se composait uniquement de OCDD). Les concentrations n'ont pas été corrigées à 11 % O₂ car les niveaux élevés d'oxygène mesurés dans le tunnel de dilution donnent lieu à une profonde incertitude quant aux données de concentration corrigées.

Deux échantillons à blanc d'air ambiant ont été recueillis durant le programme. Seuls de très faibles degrés de dioxines et de furannes ont été détectés dans ces deux échantillons. La contribution maximale d'air ambiant (les résultats n'ont pas été corrigés pour les échantillons en blanc) était de 3 pg ÉT/kg de bois pour le poêle certifié et de 1 pg/kg de bois pour le

poêle conventionnel. Bien que l'hexachlorobenzène ait été analysé, ces données n'ont pas été rapportées car les niveaux détectés correspondaient au seuil de détection ou se situaient près de celui-ci.

Dans le cadre de l'analyse des PCDD/PCDF au moyen d'une colonne J&W Scientific DB-5 (pratique courante), d'autres isomères tetra furannes peuvent co-éluer avec le congénère 2,3,7,8-TCDF. Cela signifie que, lorsque l'on utilise une colonne DB-5, les quantités de ce congénère peuvent faire l'objet d'une sur-déclaration. En conséquence, le laboratoire analytique a procédé à une nouvelle analyse des extraits au moyen d'une colonne J&W Scientific DB-225 afin de confirmer la véritable quantité de ce congénère. Cette situation a résulté en des quantités inférieures rapportées pour ce congénère. Les données de la colonne DB-225 pour le congénère 2,3,7,8-TCDF ont été utilisées pour déterminer le chargement d'équivalents toxiques. Dans l'ensemble, en ce qui a trait aux équivalents toxiques, la contribution du congénère 2,3,7,8-T4CDF avec une colonne DB-225 a été réduite à 25 p. cent de la colonne DB-5. Sur la base d'une condition de vérification, les réductions d'équivalents toxiques pour les 2,3,7,8-T4CDF ont été respectivement de 27, 29, 24 et 15 p. cent pour les conditions de vérification (CV) 1, 2, 3 et 4.

Des niveaux non détectables (ND) ont été rapportés pour certains des 17 congénères 2,3,7,8-substitués. Il n'existe pas de règles fermes pour le traitement des niveaux non détectables. Le plus souvent, leur traitement dépend de la juridiction et des applications des données. Selon toute vraisemblance, l'utilisation du seuil de détection total (100 p. cent) résultera en une surestimation de la véritable valeur des équivalents toxiques. Ce biais devient plus prononcé lorsque les seuils de détections vont en augmentant.

D'un autre côté, l'exclusion des niveaux non détectables donnera lieu à une estimation faible de la véritable quantité totale d'équivalents toxiques. Pour les fins du rapport des émissions, on adoptera un compromis dans le cadre duquel les niveaux non détectables seront fixés à 50 p. cent du seuil de détection déclaré. L'effet du traitement du seuil de détection est illustré à la Figure 5. Toutefois, les niveaux non détectables ne seront pas considérés dans le cas du partitionnement particulaire/gazeux et de la distribution de congénères. Dans le cas des essais statistiques, les deux scénarios seront présentés.

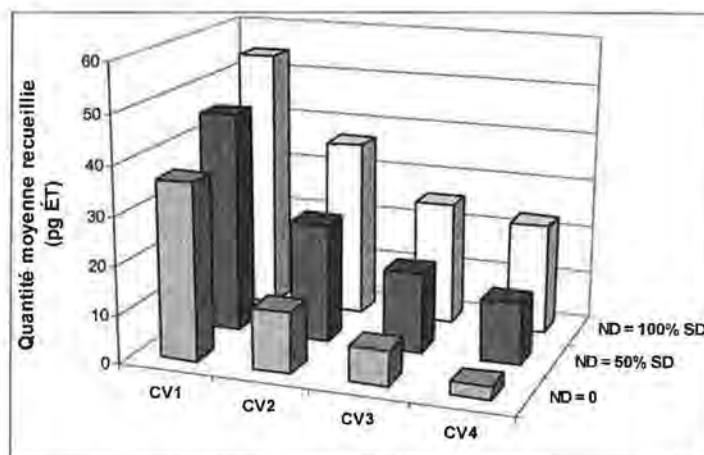


Figure 5 Effet du seuil de détection sur la quantité d'ÉT recueillie dans la ligne de prélèvement

6.3.1 Distribution particulaire/gazeuse Pour la plus grande partie, les équivalents toxiques des dioxines et des furannes ont été découverts dans la portion de la ligne de prélèvement associée à la fraction gazeuse. Un sommaire de la fraction gazeuse des équivalents toxiques

totaux prélevés dans chaque ligne figure au Tableau 4.

Tableau 4 – Sommaire de la fraction gazeuse des équivalents toxiques des dioxines et des furannes (%)

Poêle	Combustible	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Certifié	Érable – CV1	11	92	99
	Épinette – CV2	100	100	100
Conventionnel	Érable – CV3	63	100	77
	Épinette – CV4	28	97	49

Les distributions ont été similaires parmi les essais en trois exemplaires pour chaque condition de vérification, exception faite du premier essai sur l'unité certifiée employant de l'érable et du premier essai sur l'unité conventionnelle utilisant de l'épinette. La fraction particulière plus élevée dans le premier essai (unité certifiée, érable) a été attribuée aux congénères 2,3,7,8-T4CDD et 2,3,4,7,8-P5CDF. Il s'agit du seul essai dans le cadre duquel le congénère de tetra dioxine a été détecté dans les matières particulaires. Le congénère 2,3,4,7,8-P5CDF repéré dans le cadre du premier essai (unité conventionnelle, épinette) comptait pour la majorité des congénères détectés dans la fraction particulière.

Les distributions susmentionnées ont été basées sur l'exclusion de niveaux non détectables. Tenir compte des niveaux non détectables, que l'on utilise le seuil de détection à moitié ou en totalité, mène à des distributions particulières/gazeuses biaisées. Ce biais est critique car le principal objectif du programme d'essai est de déterminer si un poêle à bois qui émet moins de particules rejette également moins de dioxines et de furannes. Le partitionnement des équivalents toxiques vers la phase gazeuse démontre que le rejet d'équivalents toxiques à partir de l'activité de combustion du poêle à bois n'a aucun lien avec les matières particulaires.

6.3.2 Distribution de congénères et d'homologues La distribution moyenne d'équivalents toxiques pour les 17 congénères pour chaque condition de vérification est illustrée à la Figure 6. Les furannes chlorés les plus faibles, soit les 2,3,7,8-T4CDF et les 2,3,4,7,8-P5CDF, comptaient pour la majorité des équivalents toxiques détectés. Ces deux congénères comptaient respectivement pour 57, 81, 74 et 72 p. cent des équivalents toxiques totaux pour les conditions de vérification 1, 2, 3 et 4. Des dioxines étaient présentes dans certains essais. Les contributions d'équivalents toxiques des hexa à octa dioxines et furannes étaient minimales.

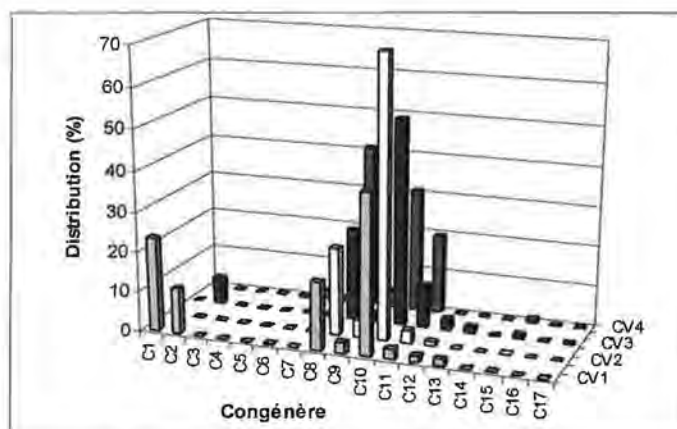


Figure 6 Distribution moyenne des ET de congénères pour chaque condition de vérification (%)

pour les deux fractions des de tous les essais.

Tel qu'illustré à la Figure 7, en ce qui a trait aux homologues, la majeure partie des dioxines et

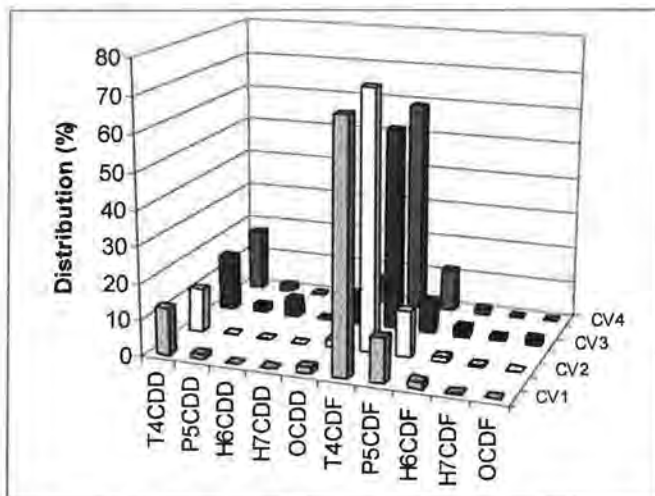


Figure 7 Distribution moyenne d'homologues pour chaque condition de vérification (%)

l'érable et l'épinette respectivement pour le poêle certifié, comparativement à 1,0 et 0,4 p. cent pour l'unité conventionnelle.

des furannes ressemblaient à la distribution pondérée d'ÉT de congénères. Alors que l'on a rapporté des T4CDD dans toutes les conditions de vérification, les 2,3,7,8-T4CDD ont été détectés dans seulement trois échantillons, tous dans la première condition de vérification. Sur une base d'équivalents toxiques, les 17 congénères représentaient 1,9 et 0,7 p. cent du total des homologues des dioxines et des furannes (tetra à octa) pour les poêles certifiés et conventionnels respectivement. Sur la base du combustible, les 17 congénères représentaient 1,9 et 0,9 p. cent du total des homologues pour

6.3.3 Facteurs de concentration et d'émission de masse Les données d'émission pour les équivalents toxiques de dioxines et furannes mesurés dans le tunnel de dilution sont fournies au Tableau A-3 (concentration) et au Tableau A-4 (facteurs d'émission) de l'Annexe A. Le sommaire des concentrations des 17 congénères mesurés dans le tunnel de dilution pour chacun des essais figure au Tableau 5. Tel que susmentionné, les résultats de l'avant et de la moitié arrière de la ligne sont exprimés sous forme de total de la ligne et ces totaux ne sont pas corrigés à 11 p. cent d'oxygène.

Tableau 5 Sommaire des concentrations de dioxines et de furannes (pg ÉT/m³)

Poêle	Combustible	Champs d'émissions	Moyenne
Certifié	Érable – CV1	7,0 à 8,5	7,9
	Épinette – CV2	3,9 à 4,8	4,3
Conventionnel	Érable – CV3	2,5 à 3,1	2,8
	Épinette – CV4	2,0 à 2,5	2,2

Le rapport des équivalents toxiques des dioxines et des furannes sur la base du combustible consommé (Tableau 6) offre une base normalisée pour les émissions. Les échantillons de COSV ont été recueillis sur une période de quatre heures. On a présumé que le combustible avait été brûlé durant cette période de temps. En raison de la petitesse de sa chambre de combustion, la

consommation de combustible dans le poêle certifié a été de 8,0 à 9,2 kg par opposition à 9,7 à 10,9 kg (base sèche) dans l'unité conventionnelle.

Tableau 6 Sommaire des facteurs d'émission de dioxines et de furannes (pg ÉT/kg de bois)

Poêle	Combustible	Champs d'émissions	Moyenne
Certifié	Érable – CV1	850 à 1 010	950
	Épinette – CV2	490 à 630	540
Conventionnel	Érable – CV3	270 à 330	300
	Épinette – CV4	200 à 240	220

L'application de 50 p. cent du seuil de détection pour les niveaux non détectables a deux effets. Premièrement, l'ajout de la moitié des niveaux non détectables réduit l'écart entre les valeurs en trois exemplaires dans chaque condition de vérification. Cet effet est plus évident avec le bois tendre (épinette) dans le poêle conventionnel, où la plus faible concentration de PCDD/PCDF a été mesurée. Deuxièmement, les différences entre les conditions d'essais ont diminué. Une fois encore, cet effet est exagéré avec la quatrième condition de vérification. Nous discuterons de l'effet des niveaux non détectables sur l'interprétation statistique des données d'essai à la Section 7.

6.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les émissions de HAP relativement à tous les essais figurent au Tableau A-5 (concentration) et au Tableau A-6 (facteurs d'émission) à l'Annexe A. Les quantités recueillies dans les lignes de prélèvement ont été corrigées pour l'échantillon à blanc et les fractions de l'avant et de la moitié arrière sont rapportées comme une valeur unique. Exception faite du 3-méthyl-cholanthrène, tous les composés des HAP ont été détectés dans les échantillons de chacun des essais à la fois pour les fractions avant et moitié arrière de la ligne de prélèvement.

Dans l'ensemble, la fraction gazeuse des HAP (résumée au Tableau 7) était relativement stable, allant de 86 à 96 p. cent du total détecté dans la ligne de prélèvement. Cinq composés (acénaphthylène, fluorène, phénanthrène, fluoranthène et pyrène) ont compté pour 76 à 91 p. cent de la portion gazeuse totale. Quatre composés représentant la fraction la plus élevée des HAP cibles, ont compté pour la majorité des HAP particuliers rapportés. Il s'agit du benzo(b)fluoranthène, du benzo(a)pyrène, de l'indéno(1,2,3-cd)pyrène et du benzo(g,h,i)pérylène.

Tableau 7 Sommaire de la fraction gazeuse des HAP (%)

Poêle	Combustible	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Certifié	Érable – CV1	86	93	94
	Épinette – CV2	93	95	96
Conventionnel	Érable – CV3	92	92	92
	Épinette – CV4	89	90	86

Le sommaire des facteurs d'émission des HAP et des champs d'émissions pour chaque condition de vérification figure au Tableau 8.

Tableau 8 Sommaire des facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois)

Poêle	Combustible	Champs d'émissions	Moyenne
Certifié	Érable – CV1	1, 2 à 6.3	4
	Épinette – CV2	13 à 25	18
Conventionnel	Érable – CV3	21 à 26	23
	Épinette – CV4	30 à 62	43

6.5 Composés organiques volatils (COV)

La liste complète de COV comprend 144 composés. Cependant, cette liste a été réduite car plusieurs espèces sont d'intérêt moindre. Les composés organiques volatils d'intérêt comprennent les SACO (substances appauvrissant la couche d'ozone) telles que les fréons, les BTEX (benzène, éthylbenzène, toluène et xylènes) ainsi que les hydrocarbures halogénés. Le benzène et le dichlorométhane sont définis comme des composés toxiques aux termes de la LCPE. Un COV additionnel (1,3-butadiène) ne correspondait à aucune des catégories susmentionnées, mais a été ajouté à la liste des composés rapportés car il correspondait également à un composé jugé toxique aux termes de la LCPE.

La naphthalène, un composé des HAP, a également été incluse car elle n'est pas déterminée de façon fiable au moyen de la méthode d'échantillonnage des COSV.

Dans ce rapport, les fréons et les cinq composés jugés toxiques aux termes de la LCPE (tétrachlorure de carbone, chlorure de vinyle, 1,2-dichloroéthane, trichloroéthylène et tétrachloroéthylène) ne sont pas rapportés car les niveaux détectés dans les tubes affichaient des niveaux d'air ambiant. Les composés rapportés ne comprennent pas d'autres COV d'intérêt tels que des aldéhydes, des cétones et des alcools.

Au moins deux tubes ont été recueillis pour chaque essai pour toutes les conditions de vérification. Dans le cas du poêle conventionnel, trois tubes ont été recueillis dans quatre des six

essais. Un sommaire des tubes d'échantillonnage et de la durée de l'échantillonnage est donné au Tableau 9.

Tableau 9 Sommaire des tubes d'échantillonnage

Poêle	Combustible	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
		Tubes recueillis	Durée (min)	Tubes recueillis	Durée (min)	Tubes recueillis	Durée (min)
Certifié	Érable – CV1	2	142	2	140	2	157
	Épinette – CV2	2	157	2	155	2	155
Conventionnel	Érable – CV3	2	144	3	220	3	221
	Épinette – CV4	3	222	2	151	3	230

La durée maximale de l'échantillonnage par essai était de 240 minutes.

Des tubes d'échantillons ont également été recueillis pour l'air ambiant afin d'évaluer la contribution naturelle des COV dans le système de dilution. Certains des tubes montraient des niveaux élevés de COV. On soupçonne que des gaz provenant de la hotte de dilution ont été tirés vers le tuyau d'alimentation du tube, situé à côté de la hotte de dilution.

Les résultats obtenus dans les tubes exprimés en termes de concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou de facteur d'émission (mg/kg de bois) sont détaillés aux tableaux A-7 et A-8 respectivement (Annexe A). Le sommaire des facteurs d'émission totaux de COV et les champs d'émissions pour chaque condition de vérification figure au Tableau 10. Les résultats sont résumés par condition d'essai, représentant en moyenne six ou huit tubes. Comme aucun taux de consommation du bois en temps réel n'a été mesuré durant le programme d'essai, il était impossible d'exprimer les taux d'émission des COV pour ce qui est du combustible consommé durant la période d'échantillonnage. Par conséquent, les résultats d'émissions ont été basés sur un taux d'émission horaire divisé par la moyenne horaire de combustion du bois. Cette approche assume que les émissions sont constantes durant le cycle. Cette hypothèse n'a qu'une faible incidence sur les données d'émission relatives au poêle conventionnel, car les tubes couvraient près de la totalité de la consommation dans quatre des six essais. Malheureusement, il est difficile de quantifier l'incidence de cette hypothèse sur les données relatives au poêle certifié.

6.6 Résidus de combustion

Quatre échantillons composites de résidus de combustion (cendres et charbon) ont été soumis pour analyse. Deux de ces échantillons ont été soumis à une analyse d'assurance de la qualité. On n'a découvert que de très faibles taux d'éléments auxiliaires pour les PCDD/PCDF et les HAP. Les échantillons de résidus ont été extraits de nouveau et analysés, mais on n'a noté aucune amélioration significative dans les rendements organiques. On soupçonne que les faibles taux d'éléments auxiliaires recueillis provenant des échantillons de résidus étaient attribuables à la présence de carbone élémentaire. Les concentrations d'équivalents toxiques allaient de 0,04 à 0,25 pg ÉT/g de résidus. Les concentrations de HAP allaient de 40 à 529 ng/g de résidus. On n'a détecté aucune trace d'hexachlorobenzène dans les échantillons de résidus de combustion.

**Tableau 10 Sommaire des facteurs d'émission de COV
(mg/kg de bois)**

Poêle	Combustible	Moyenne
Certifié	Érable – CV1	294
	Épinette – CV2	734
Conventionnel	Érable – CV3	1 072
	Épinette – CV4	4 157

6.7 Propagation de l'erreur

La détermination des équivalents toxiques implique la mesures de nombreuses variables. La fiabilité de la valeur des équivalents toxiques est fonction des variables mesurées. Dans le cadre d'une analyse de la propagation de l'erreur, l'incertitude entourant l'émission d'équivalents toxiques peut être calculée en utilisant les incertitudes des paramètres individuels.

Dans le cadre de la méthode d'échantillonnage 5 en vertu de laquelle on procède à l'extraction isocinétique à partir d'une source, la détermination du volume de référence normalisée contribue généralement pour beaucoup à l'écart. Toutefois, dans ce programme, l'échantillonnage a été effectué de manière proportionnelle et une vitesse constante dans le tunnel de dilution n'a nécessité aucun changement dans la fréquence d'échantillonnage. Cela a permis d'éliminer l'incertitude associée à la mesure de la vitesse des gaz de combustion utilisée pour déterminer la mise au point de l'orifice requise pour l'échantillonnage isocinétique. Ce faisant, l'effet du volume du compteur à gaz type sec a été minimisé et l'écart causé par le volume de l'échantillon n'a pas été important.

Le facteur d'émission de masse des équivalents toxiques des dioxines et des furannes a été déterminé au moyen de l'équation suivante :

$$FE_{ET} = 3600 (U_s)_{moy} A_s (1 - B_{wo}) \frac{T_{réf}}{(T_s)_{moy}} \frac{P_s}{P_{réf}} \frac{M_{ET}}{(V_m)_{réf}} \frac{1}{M_b(1-H)}$$

L'écart dans le facteur d'émission de masse a été déterminé au moyen de l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \left[\frac{\sigma_{FE_{ET}}}{FE_{ET}} \right]^2 &= \left[\frac{\sigma_{(U_s)_{moy}}}{(U_s)_{moy}} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{A_s}}{A_s} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{B_{wo}}}{B_{wo}} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{P_s}}{P_s} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{(T_s)_{moy}}}{(T_s)_{moy}} \right]^2 \\ &+ \left[\frac{\sigma_{M_{ET}}}{M_{ET}} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{(V_m)_{réf}}}{(V_m)_{réf}} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_{M_b}}{M_b} \right]^2 + \left[\frac{\sigma_H}{H} \right]^2 \end{aligned}$$

La magnitude de chaque composante ainsi que les contributions relatives sont résumées au Tableau A-9 de l'Annexe A.

L'écart total dans le facteur d'émission de masse des équivalents toxiques des dioxines et des furannes est de 0,063, ce qui correspond à un coefficient d'écart de 25 p. cent. Le principal facteur de contribution à l'erreur aléatoire était la mesure de la vitesse du gaz de combustion comptant pour 80 p. cent de l'écart total.

6.8 Échantillons soumis à une assurance de la qualité

Dans le cadre du programme d'assurance de la qualité, les échantillons de ligne et de résidus ont été envoyés à un laboratoire indépendant. Les échantillons de ligne couvraient les composantes de l'avant et de la moitié arrière de la ligne du deuxième essai de la deuxième condition de vérification (poêle certifié, épinette) et du deuxième essai de la troisième condition de vérification (poêle conventionnel, érable). Le laboratoire d'assurance de la qualité a reçu des extraits artificiellement traités des éléments auxiliaires. On a utilisé des échantillons pour les deuxième et troisième conditions de vérification pour l'analyse des cendres.

Les deux laboratoires partagent la même opinion sur la solution d'AQ pour les dioxines et les furannes. Relativement aux échantillons de la ligne, le laboratoire d'AQ possédait des instruments plus sensibles lui permettant de détecter plusieurs congénères rapportés comme se situant sous le seuil de détection par le laboratoire analytique. En excluant les niveaux non détectables, le total des équivalents toxiques pour le laboratoire d'AQ étaient nettement supérieurs à ceux du laboratoire analytique. Cependant, lorsque la totalité du seuil de détection a été appliquée aux niveaux non détectables, les totaux du laboratoire analytique ont dépassés ceux rapportés par le laboratoire d'AQ. Selon toute vraisemblance, les congénères se situaient bien au-dessus de 0, mais cependant en-dessous des seuils de détection rapportés par le laboratoire analytique. Pour cette raison, l'utilisation d'un seuil de détection de 50 p. cent pour le traitement des niveaux non détectables a été jugé raisonnable et a constitué une valeur réaliste pour les émissions.

Les concentrations d'équivalents toxiques pour les dioxines et les furannes rapportés par le laboratoire d'AQ étaient de 3,98 et 2,50 pg ÉT/g de résidus pour la deuxième et la troisième conditions d'essai respectivement, par opposition aux 0,12 et 0,35 rapportés par le laboratoire analytique. Ces différences sont réduites lorsque l'on utilise la totalité du seuil de détection pour les niveaux non détectables.

En ce qui a trait aux HAP, les résultats obtenus dans les quatre lignes de prélèvement étaient comparables. La différence entre les deux laboratoires concernant la solution d'AQ était de 30 p. cent. Pour ce qui est des résidus, le laboratoire d'AQ affichait un meilleur rendement organique en raison des longues périodes d'extraction (trois jours), ce qui lui a permis de détecter plus de composés de HAP.

7. DISCUSSION

7.1 Matières particulaires

En règle générale, on notait une concordance entre les paires d'échantillons pour chaque essai. Les émissions de matières particulaires différaient davantage parmi les trois essais pour chaque condition de vérification. Cette situation est illustrée au Tableau A-2 de l'Annexe A.

Les émissions de particules provenant du poêle certifié par la USEPA étaient inférieures à celles de l'unité conventionnelle. Elles se situaient bien en-deçà de 1 g/kg de bois brûlé. Aucune différence évidente n'a été notée entre l'érable et l'épinette dans le cas du poêle certifié. Bien que le type de combustible n'ait pas affecté les émissions de particules du poêle certifié, une importante différence a été remarquée entre les émissions de l'érable et de l'épinette dans le poêle conventionnel. Les émissions particulaires relatives au bois tendre (épinette) étaient environ six fois supérieures à celles de l'érable.

La Figure 8 illustre la tendance entre les niveaux de matières particulaires et de CO dans le tunnel de dilution. Les niveaux moyens de CO pour le poêle certifié n'ont pas dépassé 250 ppm. Les niveaux de matières particulaires n'ont pas été touchés par les niveaux croissants de CO jusqu'à environ 500 ppm, point à partir duquel les émissions de particules ont connu une hausse marquée avec des niveaux de CO plus élevés.

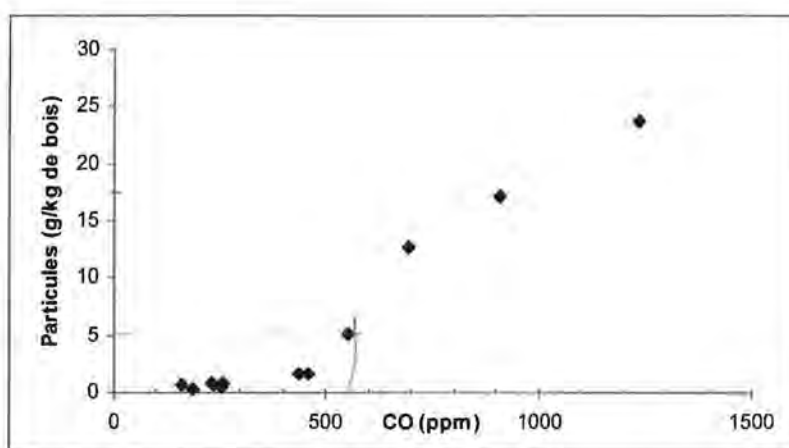


Figure 8 Particules par opposition à CO dans le tunnel de dilution

7.2 Dioxines et furannes

7.2.1 Facteurs de concentration et d'émission Les niveaux d'équivalents toxiques pour le poêle certifié étaient supérieurs à ceux mesurés pour l'unité conventionnelle. Les concentrations (Figure 9) allaient de 3,9 à 8,5 pg ÉT/m³ pour le poêle certifié comparativement à 2,0 à 3,1 pg ÉT/m³ pour le poêle conventionnel. Les niveaux d'équivalents toxiques pour l'épinette étaient plus faibles que dans le cas de l'érable pour le poêle certifié. La différence entre les deux types de combustibles était marginale en regard du poêle conventionnel. Alors que certaines des

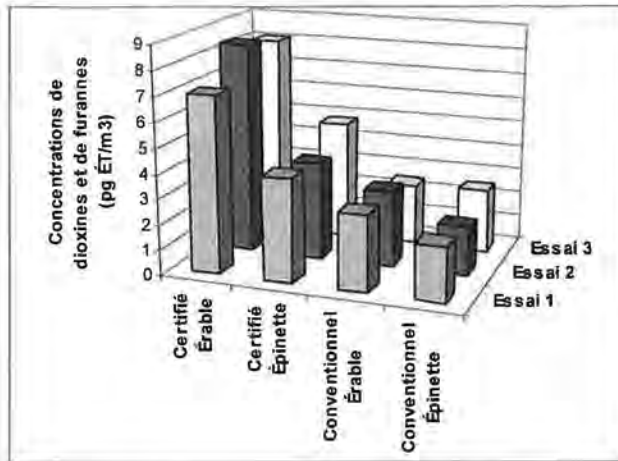


Figure 9 Sommaire des concentrations de dioxines et de furannes (pg ET/m³)

Les différences entre les facteurs d'émission d'équivalents toxiques entre les deux combustibles et les deux poêles à bois sont illustrées à la Figure 10. Le diagramme en bâtons des émissions individuelles d'équivalents toxiques illustre que la différence entre les deux poêles est plus évidente lorsque les données d'émission sont exprimées sur une base d'équivalents toxiques par masse. Cette situation est due à la charge de combustible moins élevée utilisée pour le poêle certifié. Sur la base d'une émission de masse, les émissions d'équivalents toxiques vont de 490 à 1 010 pg ET/kg de bois pour le poêle certifié, comparativement à une répartition entre 200 et 330 pg ET/kg de bois pour l'unité conventionnelle. On a remarqué des émissions plus élevées avec l'érable qu'avec l'épinette dans l'unité certifiée. Les différences entre les deux combustibles brûlés dans le poêle conventionnel n'étaient pas importantes.

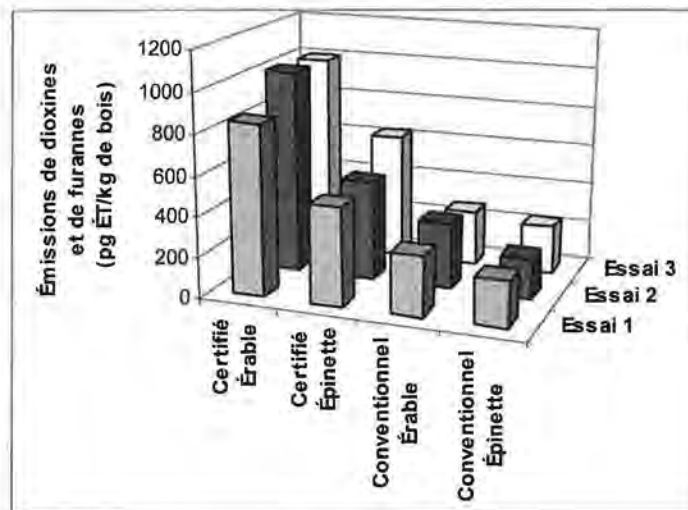


Figure 10 Sommaire des facteurs d'émission de dioxines et de furannes (pg ET/kg de bois)

Une question évoquée avant l'étude était si la diminution de particules provenant d'un poêle à bois de conception perfectionnée résulterait en une réduction des émissions de dioxines et de furannes. Les poêles choisis étaient représentatifs des deux types d'appareils brûlant les deux types de bois typiques des habitudes en vigueur au Canada. Les 12 lectures individuelles pour les taux d'émission de dioxines et de furannes sont indiquées à la Figure 11. On peut voir que la réduction de la quantité de matières particulaires provenant du poêle certifié n'a pas donné lieu à

une diminution des dioxines et des furannes.

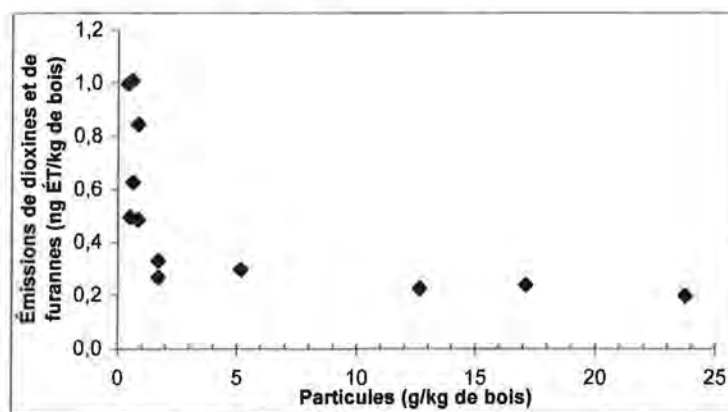


Figure 11 ÉT par opposition à matières particulières

Les moyennes des équivalents toxiques en trois exemplaires pour chaque essai sont indiquées à la Figure 12.

- Les émissions du poêle certifié sont plus élevées que celles du poêle conventionnel.
- Les émissions du poêle certifié sont plus élevées lorsque l'appareil brûle de l'érable au lieu de l'épinette.
- Il n'y a pas de différence claire entre les émissions du poêle conventionnel pour l'utilisation des deux combustibles.
- Le facteur d'émission global pour les quatre conditions de vérification était de 0,5 ng ET/kg de bois sec.

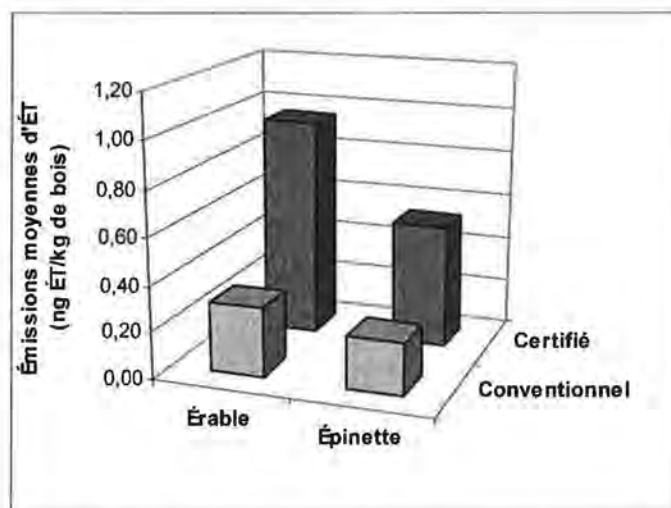


Figure 12 Facteurs d'émission moyens de dioxines et de furannes (ng ET/kg de bois)

7.2.2 Analyse statistique Une analyse statistique indépendante a été effectuée pour déterminer si les résultats afférents aux émissions de dioxines et de furannes étaient importants entre les poêles et les combustibles (*Zajdlik & Associates, 2000*). Deux jeux de données sur les taux d'émission des équivalents toxiques ont été soumis pour analyse. Ces deux jeux représentent les émissions d'équivalents toxiques basées sur l'application de niveaux non détectables = 0 et de niveaux non détectable = 50 p. cent du seuil de détection.

La performance relative d'un poêle dépend du type de combustible utilisé. Statistiquement parlant, cette situation est connue sous le nom d'interaction. L'interaction empêche de faire un énoncé du type : le poêle A produit moins d'équivalents toxiques que le poêle B. Dans cette étude, des conclusions ne pourront être faites que sur l'effet d'un poêle à l'égard d'un certain type de combustible. De la même manière, la même qualification a été appliquée à l'effet des combustibles sur les poêles.

Voici les principales conclusions découlant de l'analyse statistique :

- La combustion de l'érable dans un poêle certifié a donné lieu à une mesure d'équivalents toxiques supérieure à celle obtenue dans un poêle conventionnel, dans le cadre des deux méthodes traitant avec les niveaux non détectables.
- La combustion de l'épinette dans un poêle certifié a donné lieu à une mesure d'équivalents toxiques supérieure à celle obtenue dans un poêle conventionnel, dans le cadre des deux méthodes traitant avec les niveaux non détectables.
- La combustion de l'érable dans le poêle certifié a donné lieu à une mesure d'équivalents toxiques supérieure à celle obtenue avec l'épinette, pour les deux cas utilisant des niveaux non détectables.
- Aucune différence n'a été notée dans le taux d'émission des équivalents toxiques entre l'érable et l'épinette dans le poêle conventionnel, pour les deux cas utilisant des niveaux non détectables.

Une analyse d'un écart dans les observations a indiqué que la contribution des sources d'écart (poêle, combustible et l'interaction poêle/combustible) était importante dans les deux scénarios utilisant des niveaux non détectables. Dans les deux cas, le poêle a été à l'origine de la source d'écart la plus importante, suivi par le combustible et l'interaction poêle/combustible. La variation inexpliquée (résiduelle) était faible pour les deux cas comparativement à ces trois facteurs. Cette réduction de l'écart accroît le pouvoir statistique d'une expérience et permet la résolution de différences plus petites entre les moyennes. Cela suggère que des effets possibles causés par la « propagation de l'erreur » étaient négligeables compte tenu des oppositions décrites dans le rapport statistique (*Zajdlik & Associates, 2000*).

L'analyse statistique a montré des différences claires entre les poêles et les combustibles testés. Les résultats des quatre conditions de vérification ont été représentatifs des deux poêles, des deux combustibles, de l'installation d'essai et du fonctionnement du poêle à bois. Les résultats obtenus dans cette étude peuvent-ils être appliqués à toutes les applications et installations de poêles à bois résidentiels? Malheureusement, il existe très peu de données sur les émissions de dioxines et de furannes pour nous donner une compréhension approfondie des paramètres de la combustion de bois à des fins résidentielles affectant les niveaux de dioxines et de furannes. Les documents existant à cet égard montrent que les résultats de dioxines et de furannes provenant de

la combustion de poêles à bois résidentiels sont variables.

7.2.3 Autres études Une ébauche d'inventaire de la USEPA sur la combustion de bois à des fins résidentielles cite deux études menées en Suisse et au Danemark traitant des dioxines et des furannes (Schatowitz et al., 1993 et Vikelsoe et al., 1994). Les résultats de ces études sont conformes aux résultats du présent programme d'essai, bien que le présent programme a déterminé que les émissions étaient généralement inférieures. Dans l'étude suisse, la combustion de bois de hêtre a donné lieu à des niveaux de 0,77 à 1,25 ng ÉT/kg de bois, correspondant à des conditions de combustion avec porte ouverte et porte fermée respectivement.

L'étude danoise se penchait sur quatre différents types de poêles brûlant trois différents combustibles (bouleau, hêtre et épinette) dans des conditions normales et optimales. Les conditions d'opération considérées comme « optimales » par les chercheurs danois ont donné lieu à des émissions de PCDD/PCDF significativement plus élevées pour deux des types de poêles, mais non pour les deux autres. Les émissions découlant de la combustion de l'épinette étaient deux fois supérieures à celles obtenues en brûlant le hêtre et le bouleau. Le facteur d'émission global déterminé dans l'étude danoise était de 1,9 ng ÉT/kg de bois. Il est important de noter que l'étude ne mesurait pas les congénères, mais supposait que la distribution de congénères étaient la même que celle obtenue par les incinérateurs de déchets municipaux.

7.2.4 Essai préliminaire La configuration physique du poêle ainsi que le système de ventilation et le fonctionnement du poêle peuvent avoir affecté les émissions de PCDD/PCDF. Cela a été démontré dans le cadre de l'essai préliminaire pour ce programme en décembre 1999, lorsque le poêle brûlant de l'érable a été utilisé. Cet essai a été fait principalement pour déterminer le volume d'échantillon requis pour obtenir une bonne charge de substance à analyser et établir un protocole approprié relativement au combustible et au fonctionnement.

Durant l'essai préliminaire, le poêle a été alimenté au moyen de deux charges entrées l'une après l'autre pour faire durer plus longtemps le fonctionnement du poêle, et accroître par le fait même le volume d'échantillon. La hauteur du système de ventilation (la distance entre la surface sur laquelle était installé le poêle et le haut de la cheminée sous la hotte de dilution) était de 15 pieds, soit la même que celle utilisée dans le cadre de la procédure de certification du poêle à bois de la USEPA. Dans ce programme d'essai, la hauteur a été augmentée à 24 pieds afin d'être davantage représentative de la hauteur moyenne des systèmes de ventilation canadiens. Cette situation a également permis la dilution des gaz d'échappement avec l'air extérieur ambiant pour représenter des conditions de refroidissement et de mélange de la plume durant un hiver canadien.

Les résultats de cet essai préliminaire montrent que le facteur d'émission (Figure 13) pour l'érable dans le poêle certifié était d'environ 0,29 ng ÉT/kg de bois. Cette valeur est inférieure à la moyenne de la condition de vérification 1 (0,95 ng ÉT/kg de bois), mais similaire à celle obtenue pour l'érable dans le poêle conventionnel durant la condition de vérification 3 (0,30 ng ÉT/kg de bois).

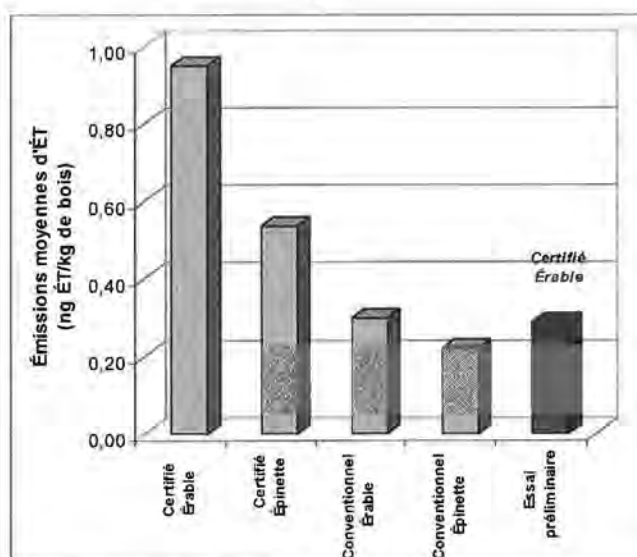


Figure 13 Comparaison des émissions moyennes d'ÉT avec l'essai préliminaire

Les données découlant de cette étude ou de d'autres études sont insuffisantes pour suggérer pourquoi les émissions produites dans le cadre de l'essai préliminaire diffèrent grandement de celles produites durant le programme d'essai. On a noté deux différences significatives entre les conditions de l'essai préliminaire et le programme d'essai, une liée à la mise au point de l'essai et l'autre au fonctionnement du poêle. Dans l'essai préliminaire, la hauteur totale était moindre et le combustible a été brûlé plus rapidement (3 heures par charge au lieu de 4). On peut spéculer qu'une ou ces deux différences ont contribué au facteur d'émission plus faible. D'autres différences opérationnelles, soit la teneur en humidité et le fait que le poêle était nouveau et non conditionné au moment de l'essai préliminaire, ont également pu avoir un impact sur les émissions. Ces facteurs illustrent clairement la sensibilité apparente des émissions de PCDD/PCDF à la mise au point expérimentale, au type de combustible et au protocole d'exploitation.

En général, les résultats relatifs aux dioxines et aux furannes découlant de ce programme d'essai sont représentatifs des poêles, du bois et des conditions d'opération au moment de l'essai. Il est possible que la différence entre les poêles était véritable pour cette étude, mais non nécessairement applicable à d'autres scénarios. **Il faut donc faire preuve de prudence en appliquant les résultats de cette étude à des poêles de technologie avancée et conventionnels et aux combustibles en général. Il est clair que nous avons besoin de plus de données d'émission pour établir des différences entre les poêles, les combustibles et les paramètres d'opération.**

L'inventaire d'Environnement Canada (Environnement Canada, 1999) utilisait le facteur d'émission donné dans l'étude danoise (Vikelsee et al., 1994) pour estimer la contribution des émissions de PCDD/PCDF découlant de la combustion de bois à des fins résidentielles pour les rejets atmosphériques au Canada. Dans l'ensemble, cette étude montre que le facteur d'émission moyen pour la combustion de bois à des fins résidentielles est d'environ 0,5 ng ET par kg de bois. Cette valeur est de beaucoup inférieure au facteur d'émission de 2 ng ET par kg de bois

utilisé pour l'inventaire de 1999, ce qui indique que la contribution du secteur de la combustion du bois à des fins résidentielles peut être surestimée.

7.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Un examen des valeurs d'émission de la Figure 14 révèle que le poêle conventionnel a émis plus de HAP que le poêle certifié et que les émissions découlant de la combustion de l'épinette étaient plus élevées que dans le cas de l'érable. Les émissions plus élevées provenant de la combustion de l'épinette étaient plus prononcées dans le poêle certifié que dans le poêle conventionnel. En moyenne, les émissions découlant de la combustion de l'épinette étaient quatre fois supérieures à celles de l'érable dans le poêle certifié, comparativement à deux fois la quantité de HAP découlant de la combustion de l'érable par opposition à l'épinette dans le poêle conventionnel. L'accord était variable entre les valeurs triples pour chaque condition de vérification. À la lumière de la nature de la source et du combustible utilisé, cet écart est considéré comme normal.

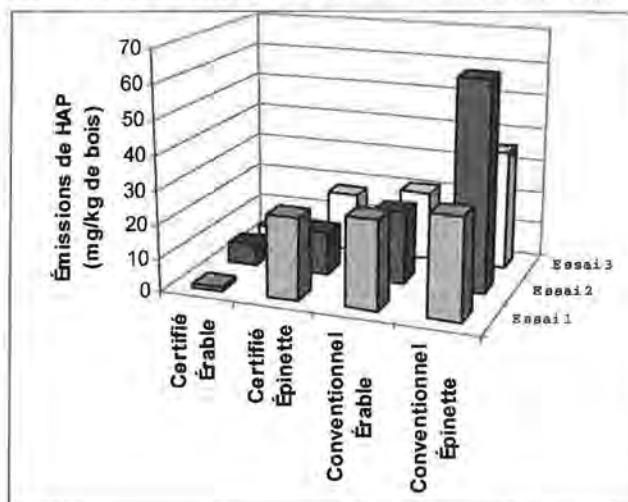


Figure 14 Facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois)

7.4 Composés organiques volatils (COV)

Un examen des profils d'émission pour les quatre conditions de vérification révèle deux tendances (Figure 15). Les émissions provenant du poêle certifié sont inférieures à celles provenant du poêle conventionnel et les émissions sont plus présentes lorsque l'on brûle de l'épinette que lorsque l'on brûle de l'érable. En ce qui a trait aux émissions, l'érable brûlé dans le poêle conventionnel était similaire à l'épinette brûlée dans le poêle certifié. Cette tendance a également été notée dans le cas des HAP.

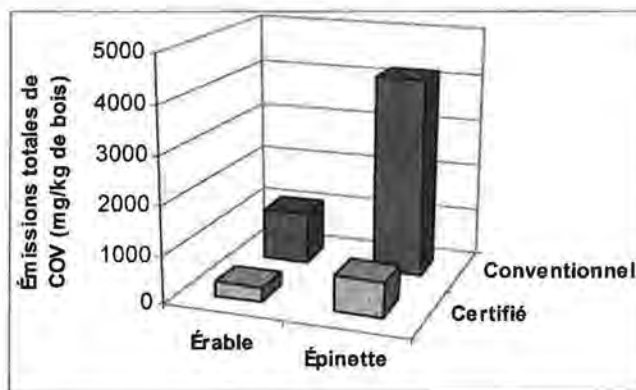


Figure 15 Facteurs d'émissions totales de COV (mg/kg de bois)

Les dix COV choisis (Figure 16) comptaient pour la majorité de la masse de COV émise par l'unité certifiée (de 58 à 65 p. cent). Dans le cas du poêle conventionnel, les COV choisis comptaient pour 29 à 39 p. cent du total. Un examen plus approfondi des COV individuels pour les poêles conventionnels a révélé une augmentation marquée de trois composés – le propène, le propane et le butène-1. Ces trois composés comptaient pour 36 et 46 p. cent de la masse totale de COV rapportés pour le poêle conventionnel pour l'érable et l'épinette respectivement. Le benzène et le toluène représentaient les deux plus importantes composantes des COV choisis.

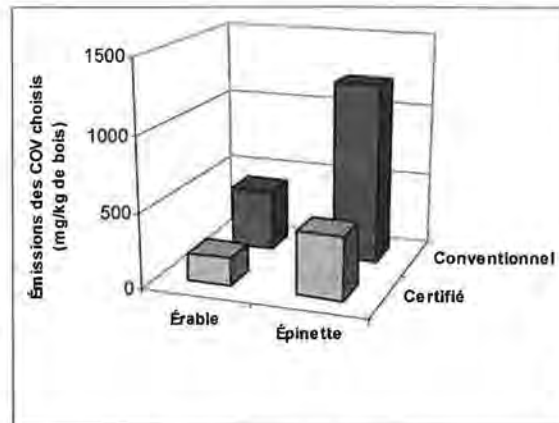


Figure 16 Facteurs d'émission des COV choisis (mg/kg de bois)

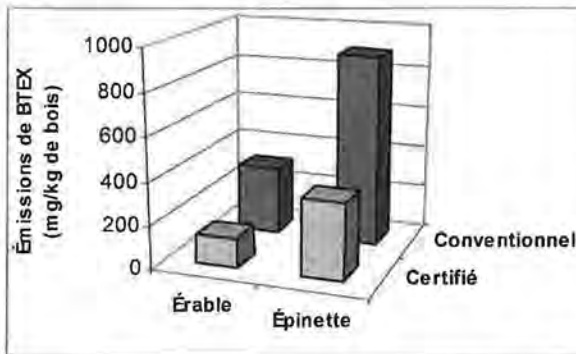


Figure 17 Facteurs d'émission des BTEX (mg/kg de bois)

De la même manière, on peut voir à la Figure 17 que le total des composés de BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont distribués d'une manière similaire aux COV choisis. Les BTEX comptaient pour la majorité des composés organiques volatils choisis. Une fois encore, les émissions de BTEX étaient similaires entre les conditions de vérification 2 (CV2) et 3 (CV3).

Les émissions relatives des composés individuels de BTEX sont indiquées à la Figure 18. Des émissions similaires ont été notées pour le benzène et le toluène entre les CV 2 et 3. L'effet de la combustion de l'épinette dans un poêle conventionnel est démontré dans la figure. Des augmentations plus importantes ont été notées pour l'éthylbenzène et les xylènes dans la CV4 (poêle conventionnel, épinette).

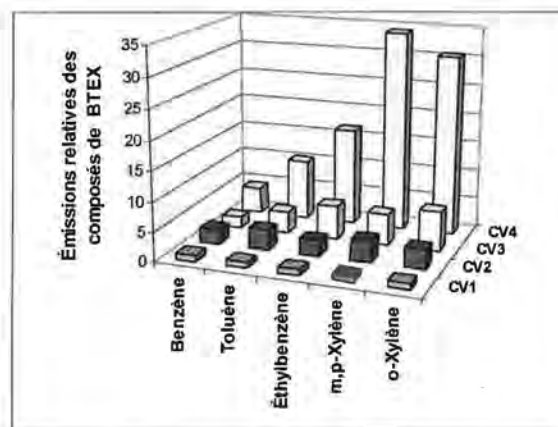


Figure 18 Émissions relatives des composés de BTEX (mg/kg de bois)

De la même manière, le niveau de 1,3-butadiène était supérieur dans le poêle conventionnel, mais l'augmentation des émissions entre les deux poêles était davantage prononcée en comparaison aux composés de BTEX et aux COV choisis. Cette situation est illustrée à la Figure 19.

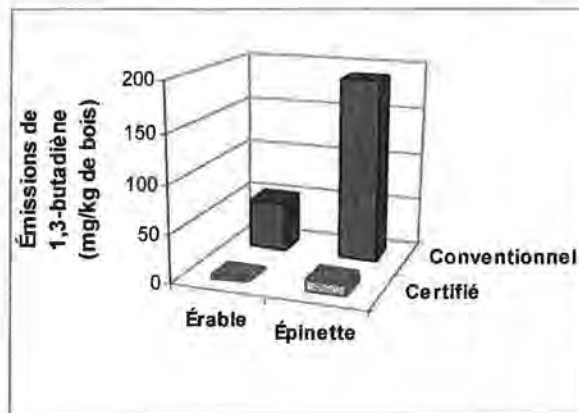


Figure 19 Facteurs d'émission du 1,3-butadiène (mg/kg de bois)

Tel que mentionné à la Section 6.5, certains échantillons d'air ambiant ont révélé des niveaux élevés de COV. Les composés organiques volatils des tubes de contrôle peuvent provenir d'usines de fabrication voisines de l'installation d'essai ou de l'échappement du poêle/de la hotte de dilution. Sur une base de concentration, les niveaux des COV choisis dans les échantillons de contrôle n'étaient significatifs que dans la première condition de vérification. De façon plus précise, les niveaux de contrôle du dichlorométhane, du toluène, de l'éthylbenzène et des xylènes étaient significatifs comparativement aux niveaux découverts dans le tunnel de dilution. Comme l'origine des COV de fond était difficile à établir, il est difficile d'évaluer l'impact de ces résultats sur la première condition de vérification. Dans le pire des scénarios, cela signifie que les niveaux déclarés pour la condition de vérification 1 ont été biaisés à la hausse.

8. CONCLUSIONS

Les conclusions suivantes sont basées sur les résultats de l'étude.

- Le poêle certifié (non catalytique, technologie avancée) a produit des émissions nettement plus faibles de matières particulaires, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de composés organiques volatils que le poêle à bois conventionnel.
- À la suite de cette étude, on a démontré que le facteur d'émission moyen des dioxines et des furannes provenant des activités de combustion des poêles à bois à des fins résidentielles étaient quatre fois moindres que le facteur utilisé dans le rapport d'inventaire d'Environnement Canada – 0,5 ng ÉT/kg de bois au lieu de 2 ng ÉT/kg (Environnement Canada, 1999).
- Le poêle certifié rejetait plus de dioxines et de furannes que le poêle conventionnel, et ce, pour chaque type de combustible.

- Les émissions de dioxines et de furannes provenant de la combustion de l'érable étaient plus élevées que celles provenant de la combustion de l'épinette pour le poêle certifié.

La similitude entre les résultats des essais en trois exemplaires et l'analyse statistique indépendante démontre que ces différences sont réelles et représentatives des conditions en vigueur durant l'essai.

En utilisant la condition de vérification 1 (unité certifiée, érable) comme base, les émissions moyennes des divers polluants pour chacun des poêles et des combustibles sont exprimées sous forme de rapport à la Figure 20. Les émissions de CO, de matières particulaires (MP), de HAP et de COV dans le tunnel de dilution révélaient la même tendance. Les émissions les plus élevées ont été mesurées à partir du poêle conventionnel pour l'érable et l'épinette. En contraste avec les HAP et les COV, la quantité de matières particulaires était nettement plus élevée avec l'épinette dans l'unité conventionnelle, mais le type de combustible n'a pas affecté les émissions de MP dans le poêle certifié. En général, la formation croissante de MP, de HAP et de COV avec des niveaux de CO plus élevés était attendue

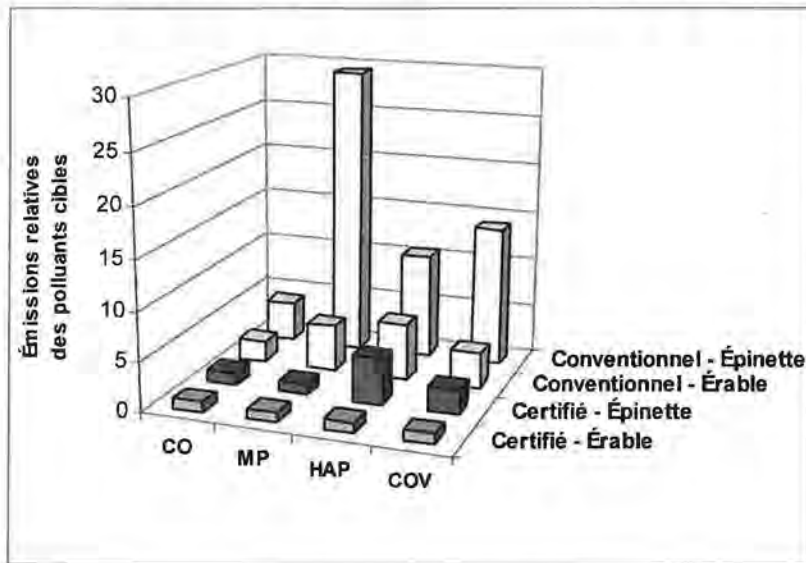


Figure 20 Émissions relatives des polluants cibles

car ces composés sont tous les produits d'une combustion incomplète. Exception faite des matières particulaires, les émissions provenant de l'épinette étaient plus élevées que celles provenant de l'érable, et ce, pour chaque type de poêle.

Cependant, d'autres études et le résultat de l'essai préliminaire viennent à la fois contredire et appuyer les résultats de la présente étude. Cela démontre qu'il existe d'autres facteurs critiques outre le type de poêle et de combustible ayant une incidence sur les émissions des dioxines et des furannes. **Pour cette raison, il serait imprudent d'étendre les résultats de la présente étude à toutes les pratiques de fonctionnement des poêles à bois résidentiels. Selon toute vraisemblance, d'autres études sont nécessaires pour obtenir une meilleure compréhension des facteurs affectant les émissions de dioxines et de furannes provenant des poêles à bois résidentiels.**

Le facteur d'émission global déterminé à partir de cette séquence d'essais est réduit de manière significative comparativement à la valeur actuelle apparaissant dans l'inventaire. Bien que l'on

doive faire preuve de prudence en appliquant ces résultats à toutes les situations, il est fort probable que la contribution/impact total des rejets de dioxines et de furannes au Canada provenant des activités de combustion des poêles à bois résidentiel ait diminué.

Bien que cet élément ne fasse pas partie du présent programme d'essai, il est important de noter que d'autres études ont démontré que les poêles à bois de technologie avancée étaient plus efficaces que les poêles conventionnels. En général, ils ont besoin de moins de bois pour produire la même quantité de chaleur.

À la suite de cette étude, il convient de procéder à d'autres essais pour mieux comprendre la formation de dioxines et de furannes dans des poêles à bois résidentiels. Parmi les points à examiner durant la conception d'autres études, on compte notamment l'impact des concentrations de fond de polluants sur les résultats de l'essai, l'extraction des polluants cibles du carbone élémentaire, la hauteur et la configuration de la cheminée ainsi que le taux de combustion du bois.

9. RÉFÉRENCES

- ASTM, "Standard Method of Preparing Coal Samples for Analysis", American Society for Testing and Materials, ASTM Method D2013-86, West Conshohocken, PA, approuvé en 1994.
- Conor Pacific Environmental Technologies Inc., "Residential Wood Stove Appliance Test Program, Quality Assurance Plan", CP Project 941-6227, Mars, 2000.
- Environnement Canada, « Inventaire des rejets de dioxines et furannes et hexachlorobenzène », préparé par 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*, Ottawa, ON, 1999.
- Environnement Canada, « Une méthode d'analyse des polychlorodibenzoparadioxines (PCDD), des polychlorodibenzofurannes (PCDF) et des polychlorobiphényles (PCB) dans les échantillons de résidus de combustion d'incinérateurs de BPC », Rapport SPE 1/RM/3 (révisé), Ottawa, ON, Mai 1990.
- Environnement Canada, « Méthode de référence en vue d'essais aux sources : dosage des composés organiques semi-volatils dans les émissions de sources fixes », Rapport SPE 1/RM/2, Ottawa, ON, Juin 1989.
- ITS (Intertek Testing Services), "Test of Two Wood Burning Stoves for Emissions per Highlights of EPA Method 5G-3", Intertek Testing Services NA Ltd., Lachine, QC, 2000.
- Schatowitz, B., G. Brandt, F. Gafner, E. Schlumpf, P. Hasler and T. Nussbaumer, *Organohalogen Compounds*, 11:307-310, 1993.

- U.S. EPA, "Compendium Methods TO-14 and TO-15", *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*, Second Edition, EPA/625/R-96/010b, 1988.
- U.S. EPA., "Method Determination of Particulate Matter Emissions from Wood Heaters", 40 Code of Federal Regulations (CFR) Part 60, Appendix A, Method 5G, 1996.
- Vikelsee, J., H. Madsen and K. Hansen, *Chemosphere*, Vol. 29, pp. 2019-2027, 1994.
- Zajdlik & Associates, "Analysis of TEQ Emission Rates", prepared for Emissions Research and Measurement Division, Environment Canada, Ottawa, ON, 2000.

ANNEXE A

TABLEAUX DÉTAILLÉS

Tableau A-1 Sommaire des conditions d'exploitation

Numéro de l'essai	CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
	Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Charge de combustible												
Charge mouillée (kg)	10,46	10,64	10,68	10,66	9,48	9,17	12,66	11,50	11,62	11,43	11,73	12,16
Nombre de morceaux	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Humidité moyenne (%)	17,5	18,5	18,0	13,8	13,7	13,1	14,2	15,9	15,3	12,4	12,1	12,5
Charge sèche (kg)	8,63	8,67	8,76	9,19	8,18	7,96	10,86	9,67	9,84	10,02	10,31	10,64
Chlorure de cendres (ppm)	243			104			278			206		
Rejet moyen du poêle à bois – Données de ITS												
Température (°C)	324	331	336	359	339	337	300	317	278	288	249	288
O ₂ (%)*	14,41	14,60	14,38	13,74	14,68	16,02	13,41	13,66	15,36	10,86	14,35	14,79
CO ₂ (%)*	6,09	5,88	6,07	6,64	5,79	4,56	6,87	7,01	5,06	9,30	5,82	5,54
CO (%)*	0,27	0,24	0,28	0,33	0,24	0,19	0,62	0,48	0,38	1,14	1,09	0,73
Tunnel de dilution (Ligne de prélèvement - COSV) – Données de la DRME												
Température (°C)	13,9	15,3	15,4	21,7	16,2	17,6	15,2	20,3	13,4	13,6	16,5	21,8
Vélocité (m/s)	3,80	3,85	4,06	4,13	3,90	3,98	3,97	4,02	3,92	3,85	3,87	3,86
Débit (m ³ /min)	4,32	4,31	4,51	4,53	4,35	4,37	4,45	4,37	4,50	4,38	4,35	4,23
Volume de l'échantillon (m ³)	5,786	5,797	5,799	5,798	5,825	5,785	5,810	5,787	5,847	5,804	5,797	5,768
O ₂ (%)*	19,8	20,0	20,1	20,2	19,9	20,2	20,1	19,8	19,9	19,9	20,0	19,9
CO ₂ (%)*	1,13	1,04	0,90	0,90	1,03	0,90	0,97	1,23	1,14	1,07	1,00	0,96
CO (ppm)*	231	162	189	259	254	235	553	436	459	694	1 236	910
Humidité (%)	0,63	0,79	0,81	1,04	0,77	0,90	1,00	1,24	0,82	1,10	1,37	1,60

Les volumes sont exprimés sur une base sèche, avec comme référence 25°C et 101,325 kPa.

L'humidité du bois est exprimée sur une base mouillée.

* Base sèche.

**Tableau A-2 Sommaire des émissions de matières particulaires
(g/kg de bois)**

Numéro de l'essai		CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
		Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
		Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Données de la ligne de prélèvement													
Quantité de particules (mg)	Échantillon 1	4,0	3,8	2,6	5,3	2,9	3,4	31,5	13,4	14,6	103,9	269,5	233,4
	Échantillon 2	5,1	3,0	1,9	4,7	2,4	3,2	28,2	13,0	14,4	103,3	265,8	232,9
Volume de l'échantillon (pi³)	Échantillon 1	23,76	24,81	23,07	23,24	22,90	23,37	19,06	28,05	29,13	28,54	36,50	41,22
	Échantillon 2	22,79	22,64	22,72	22,34	21,77	22,34	16,93	29,33	29,84	28,98	36,38	41,47
Débit (pi³/min)		151,8	148,7	149,6	147,4	149,8	146,5	140,9	149,1	142,6	146,6	139,0	134,8
Émissions de particules (sur une période d'essai de 4 heures)													
Émissions de particules (g)	Échantillon 1	6,13	5,46	4,04	8,07	4,55	5,12	55,90	17,09	17,14	128,08	246,29	183,10
	Échantillon 2	8,15	4,73	3,00	7,44	3,96	5,03	56,30	15,86	16,51	125,40	243,72	181,61
Émissions moyennes de particules (g/kg de bois)		0,83	0,59	0,40	0,84	0,52	0,64	5,17	1,70	1,71	12,65	23,77	17,14
Émission moyenne de particules par condition (g/kg de bois)		0,61			0,67			2,86			17,85		
Émission moyenne de particules par poêle (g/kg de bois)		0,64						10,36					

*Les volumes sont exprimés sur une base sèche, avec comme référence 25°C et 101,325 kPa.
Le combustible est exprimé sur une base sèche.*

Tableau A-3 Concentration de dioxines et de furannes (pg ÉT/m³)
(Seuil de détection de 50 % appliqué pour les niveaux non détectables)

Congénère	CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
	Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2378-T4CDD	1,76	1,79	2,07	0,69	0,86	0,69	0,69	0,69	0,51	0,60	0,69	0,69
12378-P5CDD	0,90	1,16	0,95	0,34	0,52	0,43	0,34	0,52	0,43	0,26	0,39	0,43
123478-H6CDD	0,17	0,14	0,14	0,09	0,14	0,10	0,09	0,12	0,09	0,07	0,07	0,10
123678-H6CDD	0,17	0,14	0,14	0,09	0,14	0,10	0,09	0,12	0,09	0,07	0,07	0,10
123789-H6CDD	0,17	0,14	0,14	0,09	0,14	0,10	0,09	0,12	0,09	0,07	0,07	0,10
1234678-H7CDD	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
OCDD	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
2378-T4CDF	1,07	1,12	1,03	0,80	0,37	0,42	0,28	0,35	0,33	0,25	0,16	0,19
12378-P5CDF	0,18	0,20	0,19	0,10	0,10	0,13	0,06	0,04	0,03	0,04	0,02	0,05
23478-P5CDF	2,02	3,11	2,83	1,57	1,17	2,29	0,86	0,72	0,60	0,52	0,17	0,35
123478-H6CDF	0,18	0,26	0,19	0,10	0,10	0,17	0,28	0,11	0,09	0,16	0,07	0,19
123678-H6CDF	0,12	0,15	0,16	0,07	0,10	0,11	0,10	0,07	0,05	0,03	0,07	0,09
234678-H6CDF	0,15	0,14	0,12	0,07	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,03	0,07	0,09
123789-H6CDF	0,08	0,08	0,09	0,07	0,10	0,08	0,04	0,07	0,05	0,03	0,07	0,09
1234678-H7CDF	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
1234789-H7CDF	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
OCDF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	7,04	8,47	8,07	4,11	3,88	4,77	3,03	3,05	2,45	2,18	1,95	2,51
Moyenne	7,86			4,25			2,84			2,21		

Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution. Toutes les valeurs sont exprimées sur une base sèche, avec référence à 25°C et 101,325 kPa.

Tableau A-4 Facteurs d'émission des dioxines et des furannes (pg ÉT/kg de bois)
(Seuil de détection de 50 % appliqué aux niveaux non détectables)

Congénère	CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
	Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
2378-T4CDD	212	214	256	82	110	91	68	75	56	63	70	66
12378-P5CDD	108	138	117	41	66	57	34	56	47	27	39	41
123478-H6CDD	21	16	17	10	18	14	8	13	9	7	7	10
123678-H6CDD	21	16	17	10	18	14	8	13	9	7	7	10
123789-H6CDD	21	16	17	10	18	14	8	13	9	7	7	10
1234678-H7CDD	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1
OCDD $\frac{45\%}{38\%} \Sigma$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
2378-T4CDF	129	134	127	95	47	55	28	38	36	27	16	18
12378-P5CDF	22	24	23	12	13	17	6	4	4	5	2	5
23478-P5CDF	243	371	350	186	149	302	85	78	66	54	17	33
123478-H6CDF	22	31	23	12	13	23	27	11	10	16	7	18
123678-H6CDF	15	18	20	8	13	15	10	8	6	4	7	8
234678-H6CDF	17	17	14	8	13	10	7	8	6	4	7	8
123789-H6CDF	10	10	11	8	13	10	4	8	6	4	7	8
1234678-H7CDF	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
1234789-H7CDF	2	1	1	1	2	2	1	1	1	0	1	1
OCDF	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
TOTAL	846	1012	998	486	496	628	298	331	269	228	198	240
Moyenne	952			537			299			222		

Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution.
Combustible exprimé sur une base sèche.

Tableau A-5 Concentrations de HAP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Composé	CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
	Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Acénaphthylène	0,9	5,8	2,0	23,4	8,7	20,0	57,4	20,7	28,2	36,9	122,7	64,9
Acénaphthène	0,1	0,5	0,1	1,3	0,5	1,9	6,9	2,1	1,9	5,3	11,8	6,8
Fluorène	0,5	2,6	0,9	9,8	3,7	7,8	23,8	10,7	12,8	24,6	66,5	34,8
2-Méthyl-Fluorène	0,1	0,2	0,1	0,6	0,3	0,4	3,6	0,9	1,3	7,0	18,8	10,0
Phénanthrène	4,6	20,0	15,6	60,2	34,3	44,5	67,9	57,2	49,2	83,1	166,9	96,0
Anthracène	0,2	1,8	0,6	10,6	3,4	6,6	15,0	7,7	8,5	13,7	32,3	16,9
Fluoranthène	1,2	7,1	5,8	27,4	14,3	15,4	25,2	28,1	24,0	30,5	47,9	33,5
Pyrène	0,8	6,5	4,6	20,1	9,9	11,3	20,8	22,6	17,6	20,2	38,6	23,2
Benzo(a)Fluorène	0,0	0,7	0,2	2,7	1,3	1,5	3,9	1,9	2,4	4,1	9,6	5,9
Benzo(b)Fluorène	0,0	0,4	0,1	0,9	1,0	0,9	2,4	1,0	1,5	1,8	5,2	2,9
1-Méthyl-Pyrène	0,0	0,6	0,2	2,3	0,8	1,7	2,7	1,5	1,5	5,9	14,1	8,4
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	0,2	1,2	0,9	4,5	2,2	2,5	3,6	4,4	3,9	4,1	6,4	4,8
Benzo(a)Anthracène	0,1	1,1	0,8	7,3	3,3	3,5	6,4	4,9	5,4	7,9	13,3	10,7
Chrysène	0,2	1,2	0,9	7,2	2,9	3,9	5,2	5,1	5,2	8,0	12,4	10,4
Triphénylène	0,1	0,2	0,2	1,5	0,5	0,5	1,0	0,9	0,9	1,6	1,4	1,1
7-Méthyl-Benzo(a)Anthracène	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	0,6	0,5
Benzo(b)Fluoranthène	0,3	1,6	1,2	8,6	4,0	4,1	6,3	7,7	6,6	9,1	12,1	12,5
Benzo(k)Fluoranthène	0,1	0,5	0,3	2,4	1,0	1,0	1,8	1,9	1,7	2,3	2,5	2,3
Benzo(c)Pyrène	0,1	0,7	0,5	3,4	1,8	1,6	2,7	3,5	2,9	3,7	5,1	5,0
Benzo(a)Pyrène	0,1	1,1	0,4	5,1	1,9	2,3	5,1	5,2	4,4	6,4	10,2	9,4
Pérylène	0,0	0,1	0,1	0,7	0,2	0,3	0,7	0,7	0,6	0,8	1,4	1,3
3-Méthyl-Cholanthrène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	0,2	0,9	0,5	3,1	1,5	1,6	2,6	3,6	3,7	3,8	4,9	4,9
Dibenzo(a,h)Anthracène	0,0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	1,0	0,9
Benzo(b)Chrysène	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,4	0,7	0,7
Benzo(g,h,i)Pérylène	0,2	0,9	0,5	2,5	1,3	1,4	2,3	3,5	3,9	2,9	4,4	4,2
Anthanthrène	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,2	0,8	0,8	0,6	1,0	2,0	1,6
TOTAL	10	53	37	207	99	135	269	198	190	286	613	374
Moyenne	33			147			219			424		

Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution. Tous les volumes sont exprimés sur une base sèche, avec référence à 25°C et 101,325 kPa.

Tableau A-6 Facteurs d'émission des HAP (mg/kg de bois)

Composé	CERTIFIÉ PAR LA USEPA						CONVENTIONNEL					
	Érable (CV1)			Épinette (CV2)			Érable (CV3)			Épinette (CV4)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Acénaphthylène	0,11	0,69	0,24	2,77	1,11	2,63	5,64	2,25	3,09	3,87	12,44	6,19
Acénaphthène	0,01	0,06	0,01	0,15	0,06	0,25	0,68	0,23	0,20	0,56	1,20	0,65
Fluorène	0,06	0,32	0,11	1,16	0,48	1,03	2,34	1,16	1,41	2,58	6,74	3,32
2-Méthyl-Fluorène	0,01	0,02	0,01	0,08	0,04	0,05	0,36	0,10	0,15	0,73	1,90	0,95
Phénanthrène	0,55	2,03	1,93	7,12	4,38	5,86	6,68	6,21	5,40	8,72	16,93	9,16
Anthracène	0,02	0,22	0,07	1,25	0,43	0,87	1,47	0,83	0,93	1,44	3,28	1,62
Fluoranthène	0,15	0,85	0,72	3,24	1,83	2,03	2,47	3,06	2,63	3,20	4,86	3,20
Pyrène	0,10	0,78	0,57	2,38	1,26	1,48	2,04	2,46	1,93	2,12	3,92	2,21
Benzo(a)Fluorène	0,00	0,08	0,03	0,32	0,16	0,20	0,39	0,21	0,27	0,43	0,97	0,56
Benzo(b)Fluorène	0,00	0,05	0,01	0,11	0,12	0,13	0,24	0,11	0,16	0,19	0,53	0,28
1-Méthyl-Pyrène	0,00	0,07	0,02	0,27	0,11	0,22	0,27	0,16	0,16	0,61	1,43	0,80
Benzo(g,h,i)Fluoranthène	0,02	0,14	0,11	0,53	0,28	0,33	0,35	0,48	0,43	0,43	0,65	0,45
Benzo(a)Anthracène	0,01	0,14	0,10	0,87	0,42	0,46	0,63	0,53	0,59	0,83	1,34	1,02
Chrysène	0,02	0,14	0,12	0,85	0,37	0,51	0,51	0,55	0,57	0,84	1,26	1,00
Triphénylène	0,01	0,03	0,03	0,18	0,06	0,07	0,09	0,10	0,10	0,17	0,14	0,11
7-Méthyl-Benzo(a)Anthracène	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,06	0,05
Benzo(b)Fluoranthène	0,03	0,19	0,14	1,01	0,52	0,54	0,62	0,84	0,72	0,96	1,23	1,19
Benzo(k)Fluoranthène	0,01	0,06	0,04	0,28	0,13	0,14	0,17	0,21	0,18	0,25	0,26	0,22
Benzo(e)Pyrène	0,02	0,09	0,07	0,40	0,22	0,21	0,27	0,38	0,32	0,39	0,52	0,48
Benzo(a)Pyrène	0,01	0,13	0,05	0,60	0,24	0,31	0,50	0,57	0,48	0,67	1,03	0,89
Pérylène	0,00	0,02	0,01	0,08	0,03	0,04	0,07	0,08	0,07	0,09	0,14	0,12
3-Méthyl-Cholanthrène	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	0,02	0,10	0,06	0,37	0,19	0,21	0,26	0,39	0,41	0,40	0,50	0,47
Dibenzo(a,h)Anthracène	0,00	0,01	0,01	0,07	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06	0,10	0,09
Benzo(b)Chrysène	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,04	0,04	0,03	0,05	0,08	0,07
Benzo(g,h,i)Pérylène	0,02	0,11	0,07	0,30	0,16	0,18	0,23	0,38	0,43	0,30	0,45	0,40
Anthanthrène	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01	0,02	0,08	0,08	0,06	0,10	0,20	0,15
TOTAL	1,20	6,34	4,53	24,51	12,67	17,80	26,45	21,45	20,80	30,01	62,16	35,65
Moyenne	4,02			18,33			22,90			42,61		

Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution.
Combustible exprimé sur une base sèche.

Tableau A-7 Concentrations de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Composé	CERTIFIÉ PAR LA USEPA		CONVENTIONNEL	
	Érable (CV1)	Épinette (CV2)	Érable (CV3)	Épinette (CV4)
Chlorométhane	10	10	80	52
1,3-butadiène	19	85	496	1 884
Dichlorométhane	16	9	23	15
Benzène	820	1 941	1 749	4 416
Toluène	213	708	900	2 626
Éthylbenzène	23	62	153	470
m,p-xylène	26	91	155	1 057
o-xylène	9	29	70	339
Styrène	48	118	169	643
Naphthalène	385	328	206	652
Total des composés susmentionnés	1 571	3 379	4 001	12 153
Total de tous les COV	2 428	5 848	10 185	41 377

Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution. Tous les volumes sont exprimés sur une base sèche, avec référence à 25°C et 101,325 kPa

Tableau A-8 Facteurs d'émission des COV (mg/kg de bois)

Composé	CERTIFIÉ PAR LA USEPA		CONVENTIONNEL	
	Érable (CV1)	Épinette (CV2)	Érable (CV3)	Épinette (CV4)
Chlorométhane	1	1	8	5
1,3-butadiène	2	11	52	189
Dichlorométhane	1,9	1,1	2,4	1,5
Benzène	99	244	184	444
Toluène	26	89	95	264
Éthylbenzène	3	8	16	47
m,p-xylène	3	11	16	106
o-xylène	1	4	7	34
Styrène	6	15	18	65
Naphthalène	47	41	22	65
Total des composés susmentionnés	190	424	421	1 221
Total de tous les COV	294	734	1 072	4 157

*Échantillon recueilli dans le tunnel de dilution.
Combustible exprimé sur une base sèche.*

Tableau A-9 Analyse de la propagation de l'erreur

Terme d'écart	Magnitude	Contribution à l'écart total (%)
Vélocité moyenne du gaz de combustion $\left\{ \sigma_{(U_s)_{\text{moy}}} / (U_s)_{\text{moy}} \right\}^2$	0,0502	80
Secteur de combustion $\left\{ \sigma_{A_s} / A_s \right\}^2$	0,00692	11
Humidité du gaz de combustion $\left\{ \sigma_{B_{\text{wo}}} / B_{\text{wo}} \right\}^2$	0,0000257	Négligeable
Pression absolue du gaz de combustion $\left\{ \sigma_{P_s} / P_s \right\}^2$	0,000001	Négligeable
Température du gaz de combustion $\left\{ \sigma_{(T_s)_{\text{moy}}} / (T_s)_{\text{moy}} \right\}^2$	0,001479	2,4
Masse des équivalents toxiques $\left\{ \sigma_{M_{\text{ET}}} / M_{\text{ET}} \right\}^2$	0,003824	6,1
Volume total de l'échantillon $\left\{ \sigma_{(V_m)_{\text{réf}}} / (V_m)_{\text{réf}} \right\}^2$	0,0004678	0,7
Poids du bois $\left\{ \sigma_{M_b} / M_b \right\}^2$	0,0000042	Négligeable
Humidité du bois $\left\{ \sigma_H / H \right\}^2$	0,000041	0,1
Facteur d'émission $\left\{ \sigma_{FE_{\text{ET}}} / FE_{\text{ET}} \right\}^2$	0,063	100