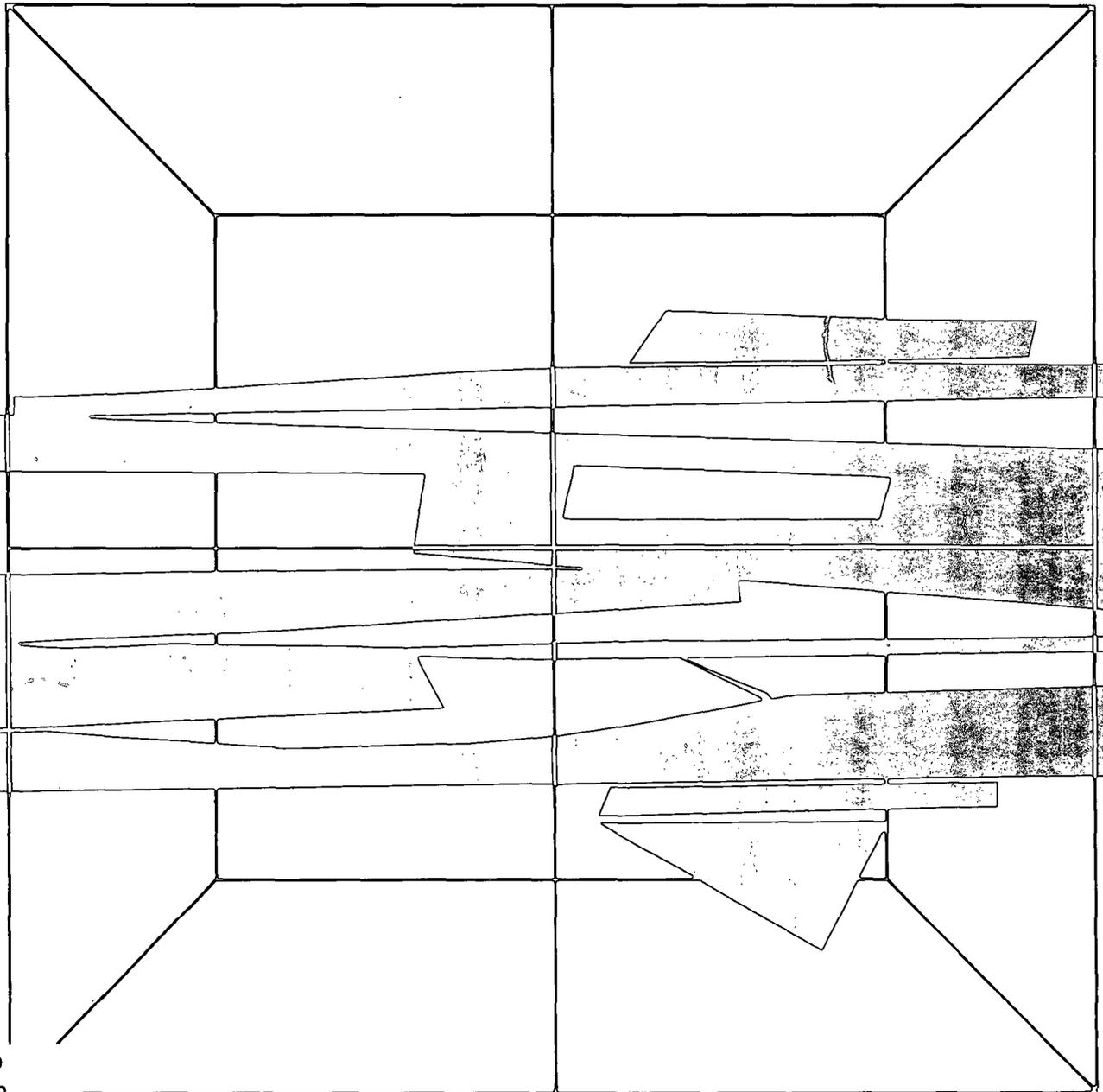


98489

Étude de l'amiante dans l'air ambiant des villes minières du Québec 2^e partie — Étude principale

Rapport SPE 5/AP/RQ-2F



TD
182
.R46
no.
1 5/AP/RQ/
2F
1986
ex. 2.

t Environment
Canada
Environmental
Protection
nt Service

Canada

98489 (H2)

ST 20.55

TD

182

R.46

no. 5/AP/RQ/2

1986

**ÉTUDE DE L'AMIANTE DANS L'AIR AMBIANT
DES VILLES MINIÈRES DU QUÉBEC
2^e PARTIE - ÉTUDE PRINCIPALE**

P. Sébastien, M. Plourde, R. Robb et M. Ross
Université McGill, École de santé au travail,
Unité de recherche sur les poussières et la santé

B. Nadon et T. Wypruk
Environnement Canada,
Service de la protection de l'environnement,
Région du Québec

Rapport SPE 5/AP/RQ-2F
1986

Édition française préparée par le Module d'édition française,
Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada,
Montréal (Québec)

Available also in English

©
Ministre des Approvisionnements et Services
1986

N° de catalogue: EN 49-5/5-RQ-2F
ISBN 0-662-93699-X

AVIS DE RÉVISION

Ce rapport a été revu par le Service de la protection de l'environnement, Région du Québec, qui en a approuvé la publication. Il ne faut pas pour autant conclure qu'il reflète nécessairement les vues et les politiques du Service. La mention de certains produits ou marques de commerce ne doit pas non plus être interprétée comme une recommandation aux utilisateurs éventuels.

COMMENTAIRES

Les lecteurs qui désirent formuler des commentaires au sujet du présent rapport sont priés de s'adresser à:

Mme Breda Nadon, ing.
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Région du Québec
1179, rue Bleury
Montréal (Québec)
H3B 3H9

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient témoigner leur reconnaissance à Environnement Québec pour avoir mis à leur disposition ses postes d'échantillonnage et facilité leur travail sur le terrain, et remercier plus particulièrement Serge Turcotte.

RÉSUMÉ

Durant l'année 1984, dans la région des mines d'amiante du Québec, les niveaux de pollution atmosphérique par l'amiante ont été mesurés en continu pendant 12 périodes successives de 4 semaines, à Asbestos (2 emplacements), Thetford-Mines (3 emplacements) et Black-Lake (2 emplacements). Ces points d'échantillonnage se trouvaient au coeur des villes minières, le plus souvent sur le toit des écoles. À des fins de comparaison, les mêmes types de prélèvements ont été réalisés à un endroit à Montréal et à un autre dans une région rurale (Saint-Étienne).

Les prélèvements effectués pendant 4 semaines ont été réalisés sur une membrane filtrante (Millipore® de 400 cm² avec mailles de 0,45 µm) avec un échantillonneur de type "Connecticut Lo-Vol", opérant à 110 l/mn et collectant environ 5000 m³ d'air sur chaque membrane.

Seules les concentrations des particules d'amiante plus longues que 5 microns ont été mesurées par microscopie électronique à transmission. Le type d'amiante ainsi que les distributions morphologiques et granulométriques des particules ont également été déterminés. Les membranes ont été préparées pour l'observation microscopique par une méthode dite "indirecte", comprenant l'incinération d'une partie de la membrane et le traitement des cendres aux ultrasons avant leur montage sur grilles. Ce protocole a été mis au point lors d'une étude méthodologique préliminaire (rapport SPE 3/AP/RQ-1F).

Les niveaux moyens s'élevaient à 0,9 part. d'amiante par litre pour Montréal-Saint-Étienne, 52,5 part. d'amiante par litre pour Asbestos, 73,7 part. d'amiante par litre pour Thetford-Mines et 188,7 part. d'amiante par litre pour Black-Lake. Un effet saisonnier important a été décelé dans la région minière, avec deux pics au printemps et en automne. Les variations des conditions météorologiques et de l'activité des compagnies minières permettent en partie d'expliquer ces deux pics. À Montréal et Saint-Étienne, un tel effet saisonnier n'a pu être observé.

La grande majorité des particules d'amiante reconstruites était constituée de chrysotile, mais des fibres de trémolite ont également été trouvées dans la région minière, notamment à Thetford Mines. La longueur des particules d'amiante mesurées se situait entre 5 et 20 microns. À Montréal et Saint-Étienne, seules des fibres individualisées de chrysotile étaient présentes. Dans la région minière, 13,5 p. 100 des particules de chrysotile avaient la forme de faisceaux ou d'agrégats de fibres, et 14,1 p. 100 des particules avaient des dimensions suffisantes pour être visibles en microscopie optique de contraste de phase. Les concentrations moyennes de fibres visibles sous le microscope

optique équivalaient à 0,026 fibre par cm^3 à Black Lake, 0,010 fibres/ cm^3 à Thetford Mines et 0,007 fibres/ cm^3 à Asbestos.

Cette étude constitue, à notre avis, la première tentative de mesure systématique de la pollution par l'amiante au voisinage des mines et moulins. Les teneurs mesurées sont nettement plus élevées que la pollution de fond urbaine.

ABSTRACT

In 1984, asbestos air pollution levels were monitored continuously for 12 successive four-week periods in Asbestos (2 sites), Thetford-Mines (3 sites) and Black-Lake (2 sites) in the asbestos-mining region of Québec. These sites were located in the centre of each mining town - usually on the roof of a school. By way of comparison, the same types of samples were taken at a site in Montreal and at another site in a rural area (St. Etienne).

The four-week samples were collected on a membrane filter (Millipore®, surface area 400 cm², pore size 0.45 µm) with a "Connecticut Lo-Vol" air sampling instrument, operating at a flow rate of 110 l/min. and filtering approximately 5,000 m³ of air through each membrane.

Only the concentrations of asbestos particles longer than 5 microns were measured by analytical transmission electron microscopy (ATEM). The type of asbestos and the shape and size distributions of the particules were also determined. The filters were prepared for microscopy by a method referred to as the "indirect method", involving low temperature ashing of part of the filter, ultrasonic treatment of the ash and transfer to electron microscope grids. This protocol was developed during a preliminary methodological study (Report EPS-3/AP/RQ-1E).

The mean levels for Montreal/St. Etienne, Asbestos, Thetford-Mines and Black-Lake were respectively 0.9, 52.5, 73.7 and 188.7 asbestos particles/litre. A significant seasonal effect was noted in the mining region where the levels increased in the spring and fall. These two peaks can be partially explained by weather conditions and the activities of the mining companies. No such seasonal effect was noted for Montreal or St. Etienne.

The vast majority of the asbestos particles encountered were of the chrysotile variety, but some tremolite fibres were also found in the mining region, especially in Thetford-Mines. The asbestos particles measured were between 5 and 20 microns long. In Montreal and St. Etienne, only individual chrysotile fibres were present. In the mining region, 13.5 % of the chrysotile particles were in bundles or aggregates of fibres, and 14.1 % of the asbestos particles were of such dimensions that they could have been visible with the phase-contrast optical microscope. The average concentration of optically visible fibres was 0.026 fibres/cm³ in Black Lake, 0.010 fibres/cm³ in Thetford Mines and 0.007 fibres/cm³ in Asbestos.

In our view, this is the first study which attempts to systematically measure

asbestos pollution levels near mines and mills. The measured levels were distinctly higher than the urban background pollution level.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé		V
Abstract		VII
Liste des figures		X
Liste des tableaux		XI
1	INTRODUCTION	1
2	PROGRAMME DE PRÉLÈVEMENTS	4
3	CHOIX D'UNE MÉTHODE ANALYTIQUE	16
4	ANALYSE DU CONTENU EN AMIANTE DES MEMBRANES FILTRANTES	21
5	RÉSULTATS	24
5.1	Concentrations de chrysotile	24
5.2	Distribution granulométrique et morphologique des particules de chrysotile	29
5.3	Teneurs en fibres de trémolite	35
5.4	Concentrations des particules en suspension	35
6	DISCUSSION	40
6.1	Aspects méthodologiques	40
6.2	Caractéristiques de la pollution dans les régions échantillonnées	41
6.3	Autres études sur le sujet	42
6.4	Effets sur la santé de l'amiante dans l'environnement	44
7	CONCLUSIONS	45
	Références bibliographiques	47

LISTE DES FIGURES

1	Évolution de la consommation aux États-Unis et des exportations canadiennes	2
2	Estrie	5
3	Emplacement des postes d'échantillonnage n ^{os} 722, 723, 725, 732, 736 à Thetford-Mines et Black-Lake	6
4	Emplacement des postes d'échantillonnage n ^{os} 706 à 709 à Asbestos	7
5	Postes d'échantillonnage à Thetford-Mines	10
6	Postes d'échantillonnage à Black-Lake	11
7	Postes d'échantillonnage à Asbestos	12
8	Échantillonneur Connecticut Lo-Vol et ses accessoires (manomètre Magnehelic®, débitmètre)	13
9	Analyse en microscopie électronique à transmission des particules prélevées sur membranes Millipore®. Étapes de la préparation des grilles par les méthodes directes et indirectes	17
10	Étude méthodologique préliminaire. Comparaison des concentrations numériques moyennes mesurées par les méthodes directe et indirecte sur 4 membranes de la région minière	19
11	Matrice granulométrique utilisée pour effectuer la distribution des dimensions des particules	22
12	Variation saisonnière de la pollution atmosphérique par l'amiante	31
13	Exemple de variations saisonnières dans la région des villes minières	32
14	Distribution granulométrique des fibres, faisceaux et agrégats	34
15	Classification des postes d'échantillonnage dans les villes minières en fonction des teneurs en chrysotile et en poussières totales	39

LISTE DES TABLEAUX

1	Lois, règlements et projets de règlements sur l'amiante publiés depuis 1971 dans le <i>Federal Register</i> des États-Unis.	3
2	Adresse, hauteur et emplacement des 9 postes d'échantillonnage	8
3	Dates (mois-jour) du début et de la fin des 12 périodes d'échantillonnage en 1984	14
4	Volumes (m ³) d'air filtré à travers chaque membrane	25
5	Concentration de particules de chrysotile par période et poste ¹	26
6	Concentrations de particules de chrysotile ¹ : moyennes annuelles par poste et par région	27
7	Concentrations de particules de chrysotile ¹ : moyennes par période pour tous les postes de la région minière	28
8	Données météorologiques	30
9	Distribution granulométrique et morphologique des particules de chrysotile: catégories granulométriques pour l'ensemble des postes de la région minière	33
10	Pourcentages moyens de particules de chrysotile (classées faisceaux en agrégats) par période d'échantillonnage	33
11	Concentrations moyennes des particules totales en suspension par période et par poste	36
12	Concentrations moyennes des particules totales en suspension par période pour l'ensemble des postes d'échantillonnage des villes minières	37
13	Concentrations annuelles de particules totales en suspension	38
14	Recommandations sur les normes de qualité de l'air pour l'amiante	46

1 INTRODUCTION

Depuis 1979, la consommation d'amiante a beaucoup diminué, notamment en Europe et aux États-Unis. Toutefois, les producteurs d'amiante ont trouvé d'autres marchés ailleurs, et, durant les trois dernières années, la consommation d'amiante dans le monde occidental s'est stabilisée à 2 millions de tonnes, dont 40 p. 100 proviennent du Canada (figure 1). La production mondiale d'amiante en 1984 a été d'environ 4 millions de tonnes.

En 1979, l'Organisation mondiale de la Santé (O.M.S.) classait l'amiante dans le groupe I des 14 substances chimiques aux propriétés cancérigènes démontrées⁽¹⁾. Dans les pays industrialisés, les conditions de travail ont été réglementées de façon à permettre un contrôle des expositions professionnelles à l'amiante. Ces règlements comprennent généralement des limites d'exposition à des teneurs données, la surveillance médicale des travailleurs et l'interdiction de certaines utilisations. Malgré ces mesures, l'amiante demeure un sujet d'inquiétudes, à cause notamment des incertitudes scientifiques sur le degré de protection à imposer lors d'une exposition, des difficultés techniques rencontrées dans la mesure des concentrations d'amiante dans l'air, des problèmes d'implantation des programmes de contrôle, et des expositions cumulatives qui remontent à une époque où il n'existait aucun contrôle^(2, 3).

Le problème de l'amiante a débordé le milieu de travail pour affecter également l'environnement en général. Il existe dans les grands centres urbains des pays industrialisés une pollution de fond atmosphérique par l'amiante. Cette pollution de fond a fait l'objet de mesures et s'est avérée généralement faible et uniforme⁽⁴⁾. Par contre, on a pu identifier certains cas où les niveaux de pollution ressortaient nettement⁽⁵⁾. Les trois endroits types les plus susceptibles d'être pollués par l'amiante se trouvent au voisinage des industries de l'amiante⁽⁶⁾, au domicile des travailleurs de l'amiante⁽⁷⁾ et dans les locaux où il y a un flochage à base d'amiante⁽⁸⁾. On distingue trois principaux types de sources d'émission d'amiante dans l'environnement: les mines et usines d'amiante aux émissions importantes mais localisées et contrôlables, l'utilisation et la dégradation des produits en amiante dont l'émission est probablement moins importante mais plus difficilement contrôlable, parce que les sources sont plus nombreuses et dispersées, et les émissions naturelles dans les régions amiantifères⁽⁹⁾. Afin de limiter les émissions de l'amiante dans l'environnement, les États-Unis ont promulgué progressivement depuis 1971 un grand nombre de lois et règlements (tableau 1).

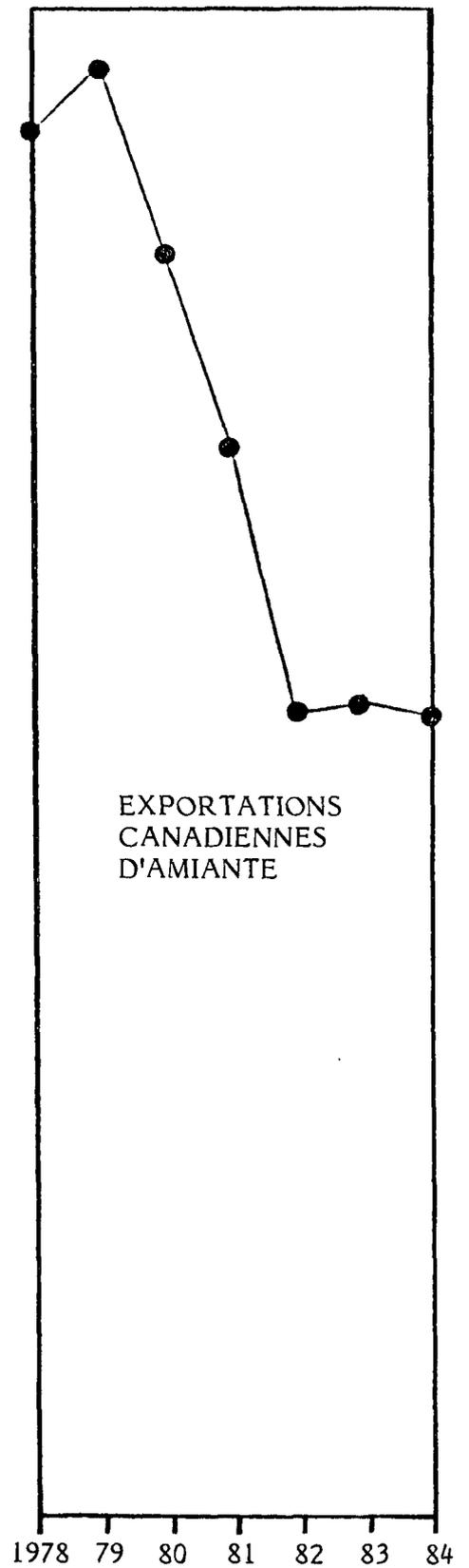
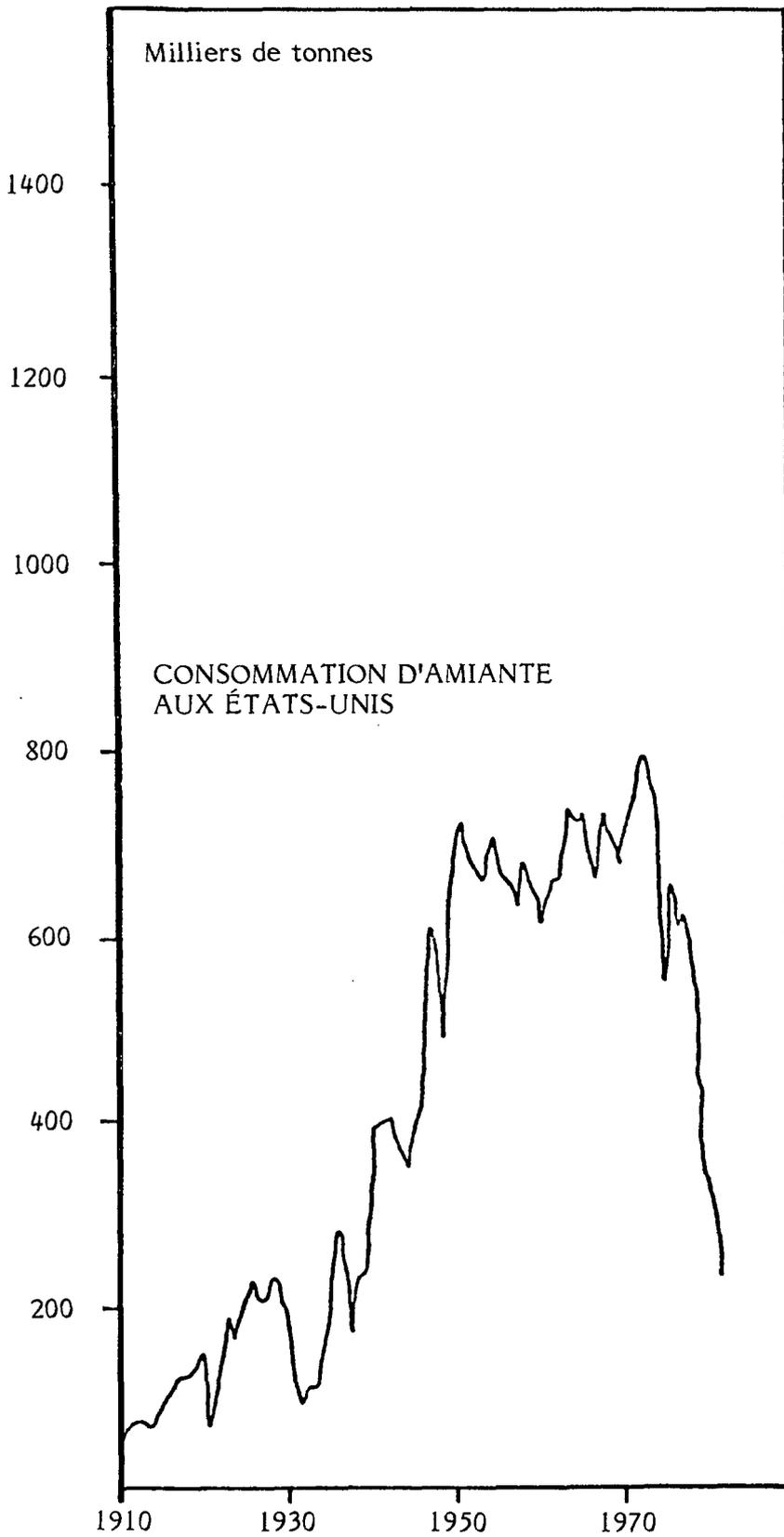


Figure 1
Évolution de la consommation aux États-Unis et des exportations canadiennes

En 1983, Environnement Canada a décidé de procéder à une étude systématique des teneurs en amiante de l'atmosphère dans la région des villes minières de Thetford-Mines, Black-Lake et Asbestos. Il existait peu de données antérieures sur ce sujet. Seulement 21 échantillonnages de courte durée avaient fait l'objet d'analyses en 1980 par le D^r Graham Gibbs et son équipe; les niveaux y atteignaient entre 170 ng/m³ et 11 000 ng d'amiante par mètre cube⁽¹⁷⁾. Le but de cette nouvelle étude consistait à mesurer les niveaux de pollution par l'amiante pendant une année complète (1984) à 7 endroits dans les villes minières et à 2 endroits à Montréal et dans une région rurale (Saint-Étienne) pour fins de comparaison. L'intérêt provenait du fait que des recherches épidémiologiques avaient déjà été faites chez les résidants des villes minières⁽¹²⁻¹⁵⁾. Ainsi, les résultats des mesures sur les niveaux de pollution pourraient être intégrés dans un contexte plus large en vue de trouver des relations doses-effets à une exposition à de faibles concentrations atmosphériques d'amiante.

TABLEAU 1 LOIS, RÈGLEMENTS ET PROJETS DE RÈGLEMENTS SUR L'AMIANTE PUBLIÉS DEPUIS 1971 DANS LE *FEDERAL REGISTER* DES ÉTATS-UNIS.

	Nombre de lois et règlements
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY	
<i>Clean Air Act</i>	12
<i>Federal Water Pollution Control Act</i>	8
<i>Toxic Substances Control Act</i>	20
CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION	
<i>Consumer Product Safety Act</i>	10
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION	
<i>Hazardous Materials Transportation Act</i>	4
FOOD AND DRUG ADMINISTRATION	
<i>Federal Food, Drug, and Cosmetic Act</i>	7
Total	61

2 PROGRAMME DE PRÉLÈVEMENTS

La figure 2 illustre une carte de l'Estrie, où est indiquée la localisation des villes minières de Thetford-Mines, Black-Lake et Asbestos. Thetford-Mines et Black-Lake constituent en fait un même complexe d'exploitation minière (figure 3), tandis que le complexe d'Asbestos est situé environ 180 kilomètres plus au sud-ouest (figure 4). Depuis 1974, Environnement Québec exploite dans les régions minières un réseau de mesure des particules totales en suspension et des retombées de poussières⁽³¹⁾. Un appareil d'échantillonnage Connecticut Lo-Vol a été installé à chacun des 7 postes d'échantillonnage du réseau existant. Le numéro de référence, la hauteur de l'installation, l'adresse et l'emplacement de chaque poste sont indiqués au tableau 2 (incluant les deux sites de référence). L'examen des figures 3 et 4 permet également de les localiser par rapport aux sources potentielles d'émission. À Asbestos, les deux postes d'échantillonnage (n^{os} 706 et 709) étaient situés à l'est du puits Jeffrey, l'un sur le toit d'un centre culturel et l'autre sur le toit d'une école. Parmi les trois postes d'échantillonnage de Thetford-Mines (n^{os} 722, 723, 725), deux étaient situés sur le toit des écoles dont l'une (école Saint-Noël, poste n^o 723) constituait le poste le plus éloigné des sources de pollution dans l'étude. À Black-Lake, l'école Saint-Louis (poste n^o 732) et le Bureau de poste (poste n^o 736) ont été choisis, parce qu'ils étaient situés respectivement à 1 et 2 kilomètres des haldes de la Société Asbestos Ltée. Soulignons qu'à l'exception du poste n^o 725 (patinoire, rue Notre-Dame à Thetford-Mines), tous les postes d'échantillonnage ont été installés au coeur des villes minières, le plus souvent sur le toit de bâtiments publics ou d'écoles. On peut voir aux figures 5 à 7 des photographies des 7 postes.

Deux autres postes d'échantillonnage ont été utilisés à des fins de comparaison, l'un à Montréal (Marché Saint-Jacques, rue Ontario est), et l'autre, dans une région rurale à Saint-Étienne (tableau 2).

Un appareil d'échantillonnage Connecticut Lo-Vol⁽³²⁾ a été installé à chaque poste (figure 8). La prise d'air s'effectue au niveau de l'espace rectangulaire entre la partie supérieure de l'enceinte métallique et le toit. L'enceinte abrite un cadre rectangulaire supérieur dans lequel est installée une membrane filtrante d'une superficie de 400 cm² (Millipore®, d'une porosité de 0,45 µm), une pompe à palette avec un débit de 110 l/mn limité par un orifice, et un compteur à gaz compensant les écarts de température enregistre le volume d'air échantillonné. Le compteur à gaz, situé sur la ligne de pompage, entre la pompe et la membrane filtrante, fonctionne en dépression. Il a été vérifié en laboratoire que ceci n'affectait pas le fonctionnement du compteur et que des

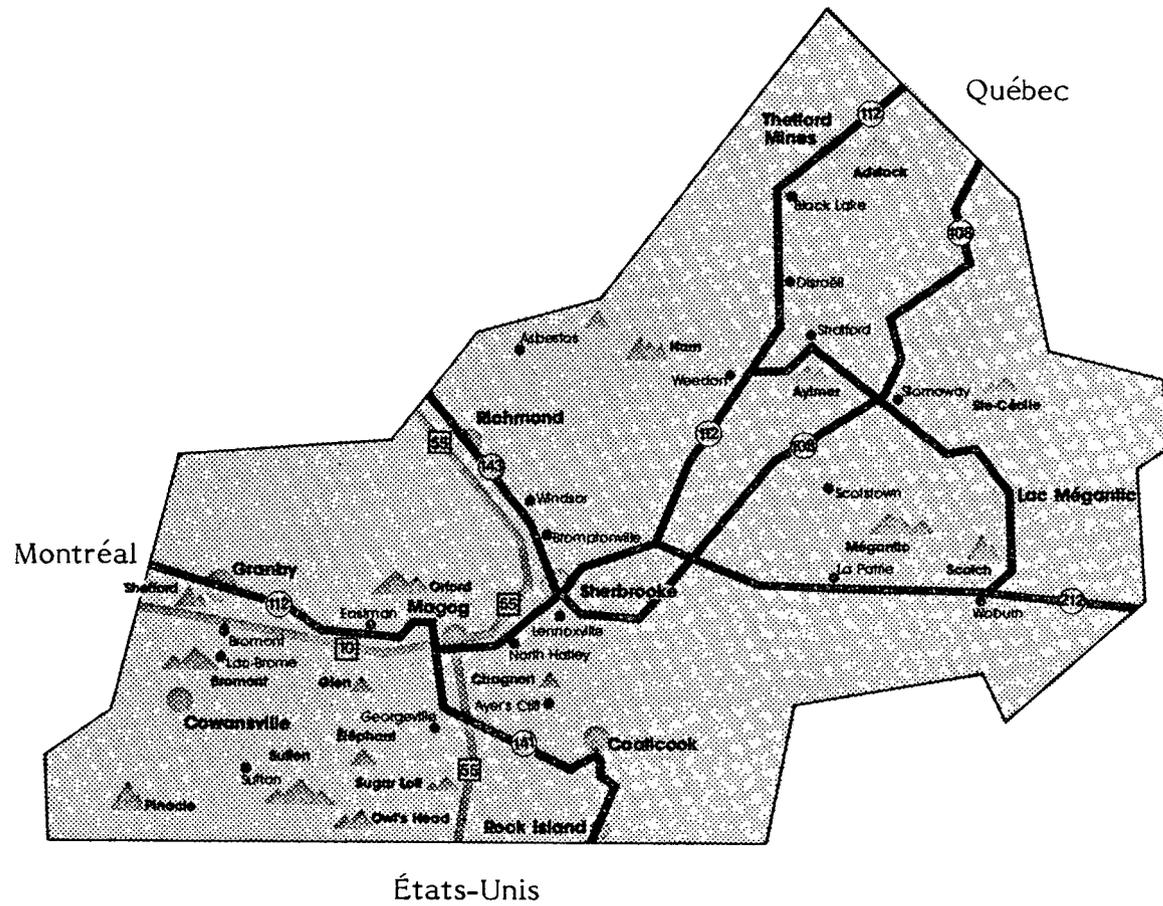
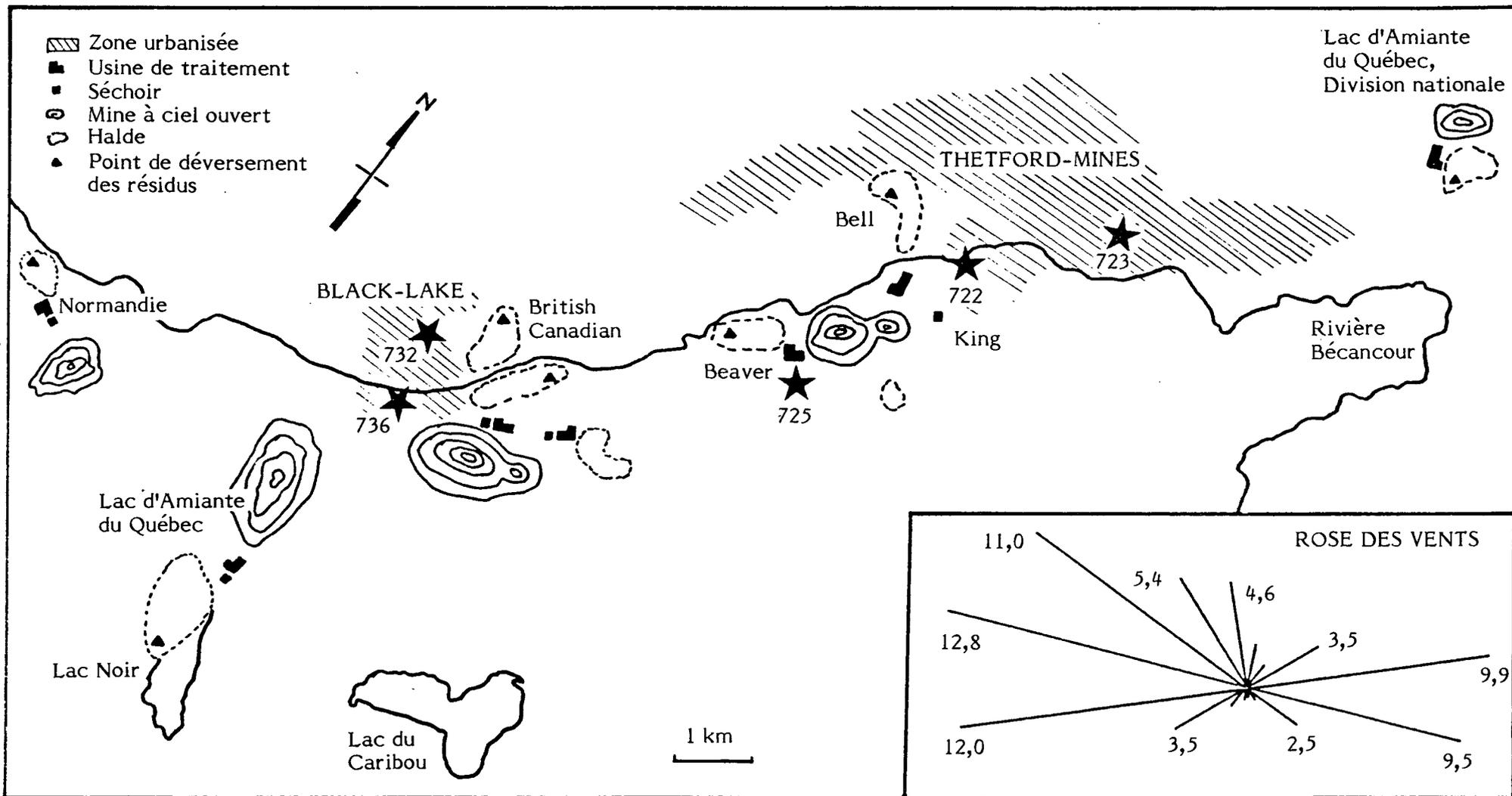
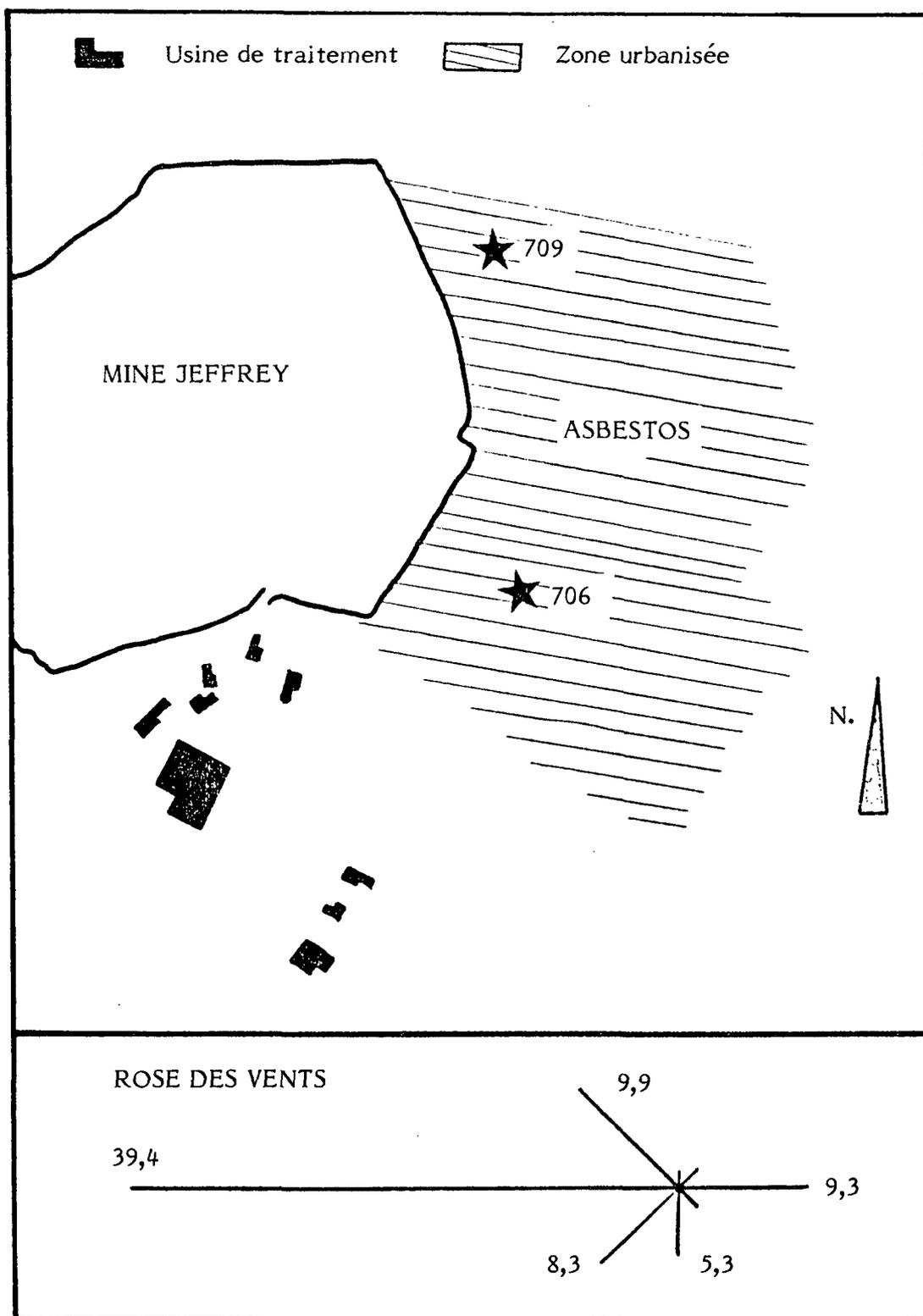


Figure 2
Estrie



La fréquence moyenne des directions du vent durant l'étude est reportée sur la rose des vents. La vitesse moyenne du vent (10 km/h) variait peu avec les directions.

Figure 3
 Emplacement des postes d'échantillonnage nos 722, 723, 725, 732, 736 à Thetford-Mines et Black-Lake



La rose des vents indique la fréquence moyenne des directions du vent en 1984.

Figure 4
Emplacement des postes d'échantillonnage n^{os} 706 et 709 à Asbestos

TABLEAU 2 ADRESSE, HAUTEUR ET EMPLACEMENT DES 9 POSTES D'ÉCHANTILLONNAGE

Poste et hauteur	Emplacement
<i>SAINT-ÉTIENNE</i>	
n° 000 (4 m)*	135, rue Dupuis
<i>MONTRÉAL</i>	
n° 012 (13 m)*	Marché St-Jacques, 1125 rue Ontario Est
<i>ASBESTOS</i>	
n° 706 (8 m)*	Centre culturel, boulevard Olivier - 0,35 km au sud-est du puits Jeffrey - 1,00 km au nord-est du moulin n° 5 - 1,25 km au nord-est du moulin n° 6
n° 709 (5 m)*	École Sacré-Coeur, boulevard Saint-Luc - 0,35 km à l'est du puits Jeffrey - 1,90 km au nord-est du moulin n° 5 - 2,15 km au nord du moulin n° 5
<i>THETFORD-MINES</i>	
n° 722 (10 m)*	École de Métiers, rue de la Fabrique - 6,25 km au sud-ouest des installations de Lac d'Amiante du Québec, Division nationale - 0,75 km au nord-ouest du moulin Bell - 1,6 km au sud-ouest de la halde Bell - 1,6 km au nord de la mine Beaver - 1,0 km au nord de la mine King
n° 723 (22 m)*	École St-Noël, 8 ^e Avenue - 4,4 km à l'ouest de Lac d'Amiante du Québec - 2,8 km à l'est du moulin Bell - 3,25 km au sud-est des haldes Bell - 2,8 km au nord-ouest de la mine King - 4,6 km au nord-ouest de la mine Beaver
n° 725 (7 m)*	Patinoire, rue Notre-Dame - 0,5 km au sud de la mine Beaver - 2,5 km au nord-ouest de la halde British Canadian n° 2 - 3,0 km au nord-ouest du moulin British Canadian n° 2
<i>BLACK-LAKE</i>	
n° 732 (9 m)*	École St-Louis, rue St-Louis - 1,0 km à l'ouest de la halde British Canadian n° 1 - 2,5 km au sud-est du moulin British Canadian n° 1 - 5,0 km à l'est de Normandie - 4,0 km au nord de Lac d'Amiante du Québec

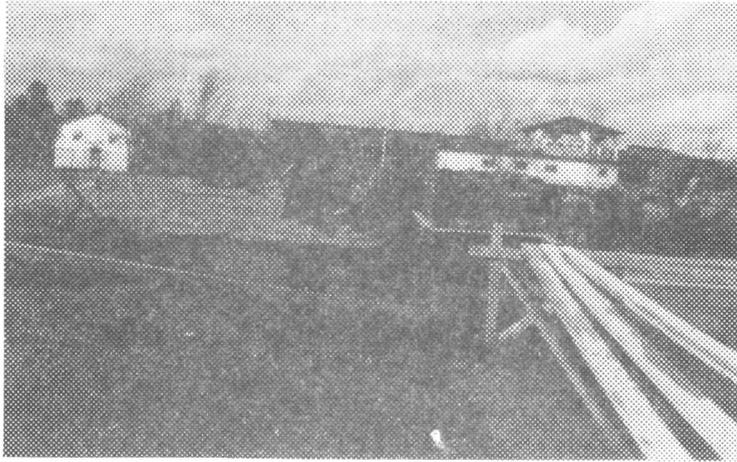
TABLEAU 2 ADRESSE, HAUTEUR ET EMPLACEMENT DES 9 POSTES D'ÉCHANTILLONNAGE (suite)

Poste et hauteur	Emplacement
n° 736 (4 m)*	Bureau de poste, rue Port - 2,0 km au sud de la halde British Canadian n° 1 - 1,25 km à l'ouest du moulin British Canadian n° 1 - 3,0 km au nord-ouest de la halde British Canadian n° 2 - 2,5 km au nord-ouest du moulin British Canadian n° 2 - 5,3 km à l'est de Normandie - 4,5 km au nord de la halde de Lac d'Amiante du Québec - 3,0 km au nord du moulin de Lac d'Amiante du Québec

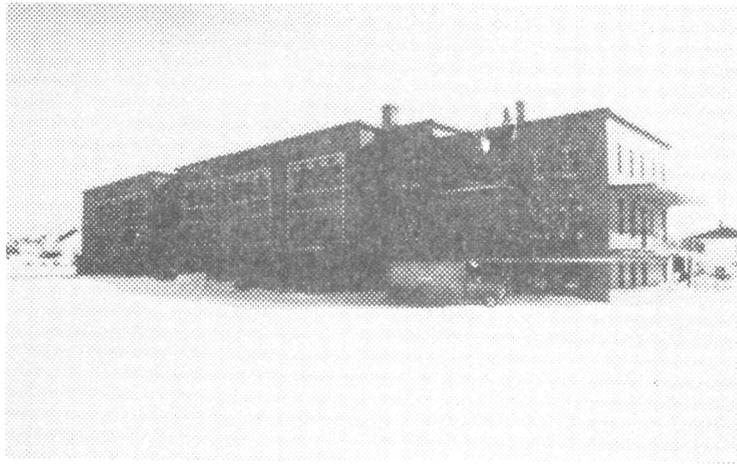
* La hauteur des postes est indiquée en mètres sous les numéros de poste.

corrections de la pression n'étaient pas nécessaires. Chaque Connecticut Lo-Vol a été équipé d'une canalisation d'échappement pour éjecter l'air filtré à distance et réduire ainsi le risque de retour de cet air dans l'appareil et par conséquent d'une sous-estimation des niveaux de pollution. L'appareil peut fonctionner sans arrêt pendant quatre semaines avec la même membrane filtrante Millipore®. L'emploi de cet échantillonneur, qui avait déjà été recommandé par le Dr Graham Gibbs et son équipe à la suite d'une étude méthodologique pilote⁽¹⁹⁾, présente le double avantage de permettre un échantillonnage sur une plus longue période et de réduire le nombre des membranes à analyser.

Des prélèvements continus ont été réalisés à chaque poste pendant 12 périodes successives de 4 semaines, du 17 janvier au 19 décembre 1984. Les membranes étaient remplacées à la fin de chacune des périodes aux dates indiquées au tableau 3; chaque membrane a servi à échantillonner environ 5000 m³ d'air (entre 4504 m³ et 5792 m³). Le débit de chaque Connecticut Lo-Vol a été vérifié à l'aide d'un rotamètre lors de l'installation et lors de la récupération de la membrane; lors de ces opérations, on vérifiait également toute anomalie sur la ligne de pompage à l'aide d'un manomètre Magnehelic®. Au total, seulement 8 membranes n'ont pu être analysées à cause d'une défectuosité. Pendant chacune des 12 périodes, une membrane vierge a été transportée dans sa cassette mais n'a pas été insérée dans un échantillonneur.



Poste n° 722 École de Métiers

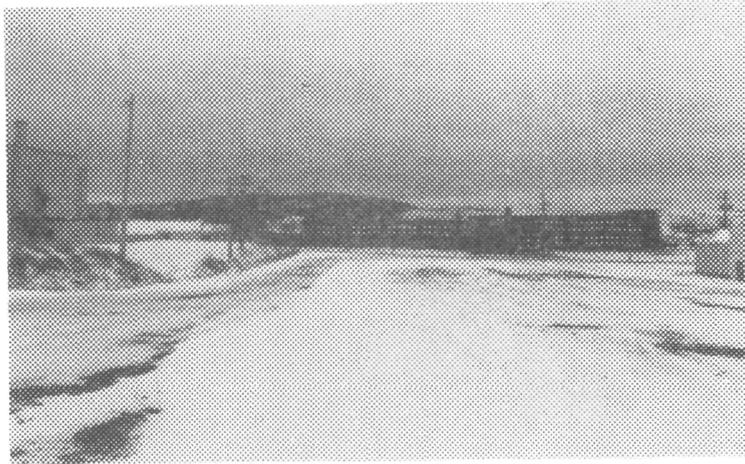


Poste n° 723 École Saint-Noël

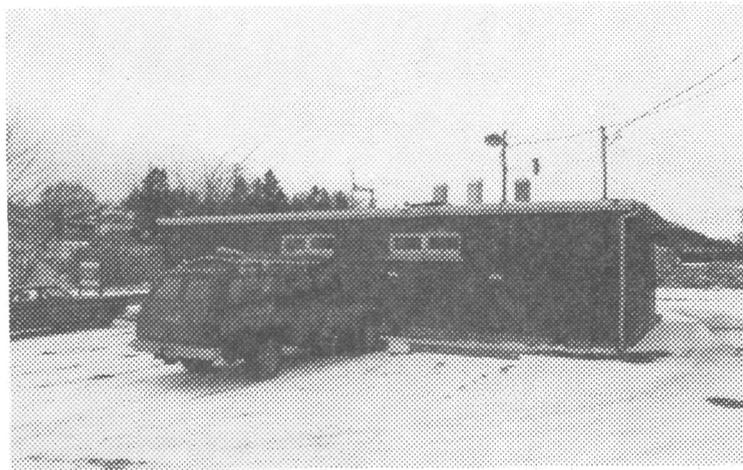


Poste n° 725 Patinoire

Figure 5
Postes d'échantillonnage à Thetford-Mines

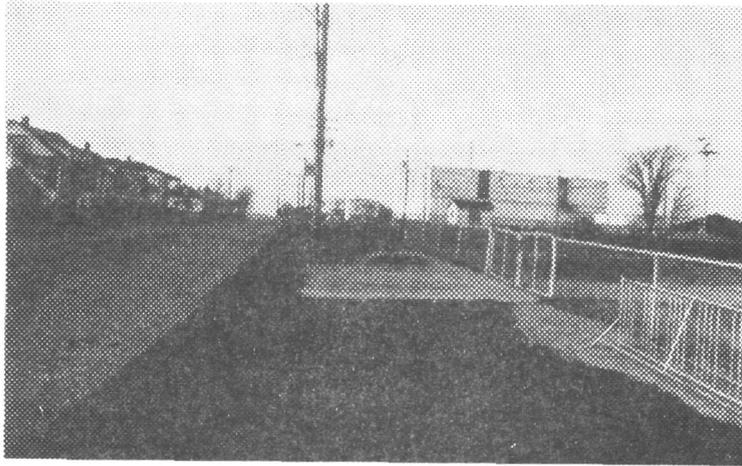


Poste n° 723
École Saint-Louis

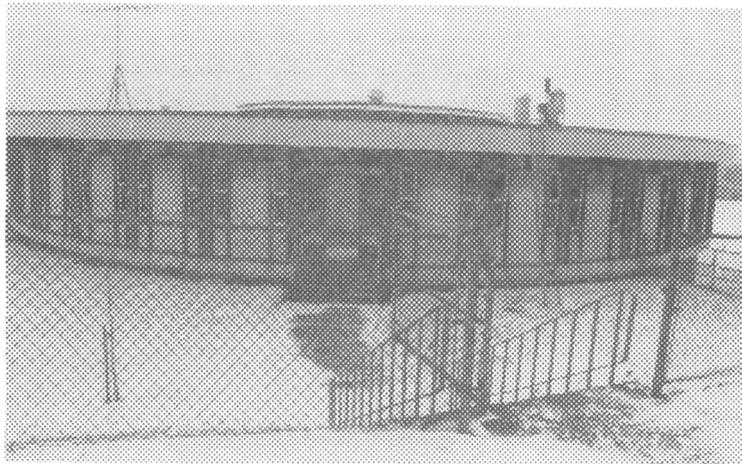


Poste n° 736
Bureau de poste

Figure 6
Postes d'échantillonnage à Black-Lake



Poste n° 706
Centre culturel



Poste n° 709
École Sacré-Coeur

Figure 7
Postes d'échantillonnage à Asbestos

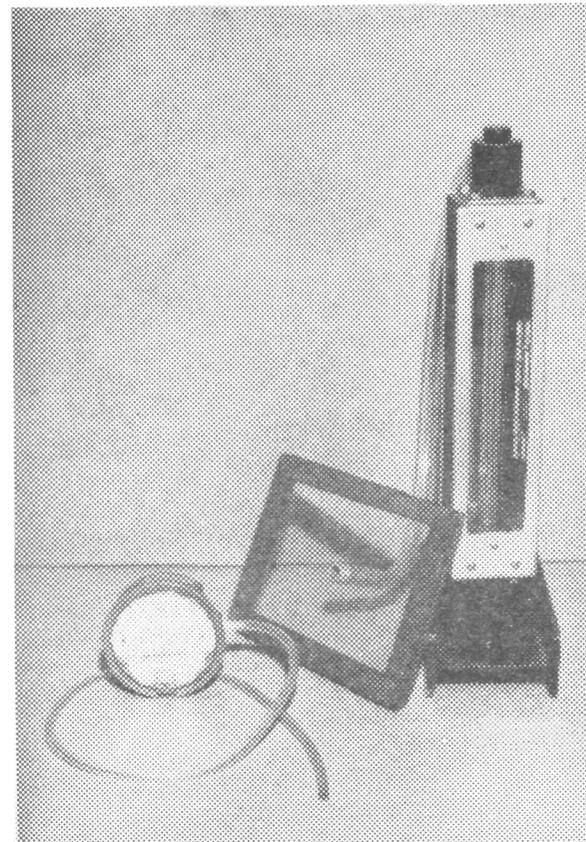
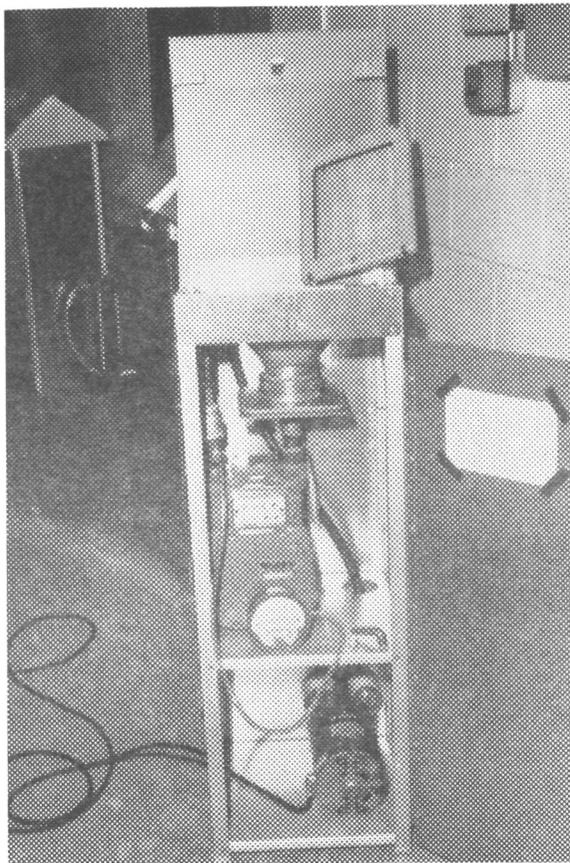
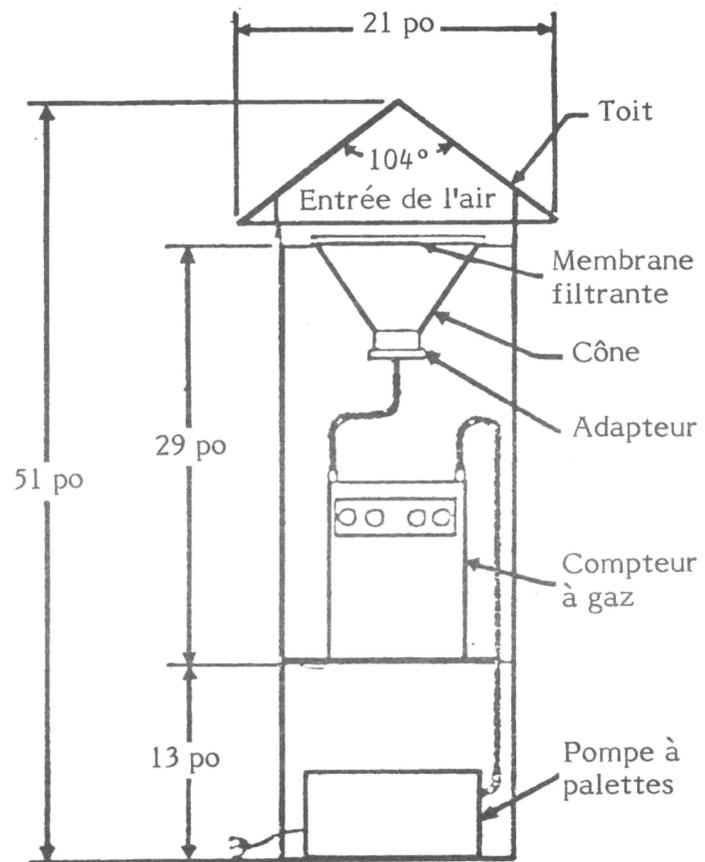


Figure 8
Échantillonneur Connecticut Lo-Vol et ses accessoires
(manomètre Magnehelic®, débitmètre)

TABLEAU 3 DATES (MOIS-JOUR) DU DÉBUT ET DE LA FIN DES 12 PÉRIODES
D'ÉCHANTILLONNAGE EN 1984

Poste n°	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
000 (Saint-Étienne)	01-30 02-13	02-13 03-12	03-12 04-09	04-09 05-07	05-07 06-04	06-04 07-03	07-03 07-30	07-30 08-27	08-27 09-24	incident	10-22 11-19	11-19 12-17
012 (Montréal)	01-30 02-13	02-13 03-12	03-12 04-09	04-09 05-07	05-07 06-04	06-04 07-03	07-03 07-30	07-30 08-27	08-27 09-24	09-24 10-22	10-22 11-19	11-19 12-17
706 (Asbestos)	01-31 02-14	02-14 03-13	03-13 04-10	04-10 05-08	05-08 06-05	06-05 07-04	07-04 07-31	07-31 08-28	08-28 09-25	09-25 10-23	10-23 11-20	11-20 12-18
709 (Asbestos)	01-17 02-15	02-14 03-13	03-13 04-10	04-10 05-08	05-08 06-05	06-05 07-04	07-04 07-31	07-31 08-28	08-28 09-25	09-25 10-23	10-23 11-20	11-20 12-18
722 (Thetford-Mines)	01-18 02-15	02-15 03-14	03-14 04-11	04-11 05-09	05-09 06-06	06-06 07-05	07-05 08-01	08-01 08-29	08-29 09-26	09-26 10-24	10-24 11-21	11-21 12-19
723 (Thetford-Mines)	01-18 02-15	02-15 03-14	03-14 04-11	04-11 05-09	05-09 06-06	06-06 07-05	07-05 08-01	08-01 08-29	08-29 09-26	09-26 10-24	10-24 11-21	11-21 12-19
725 (Thetford-Mines)	01-18 02-15	02-15 03-15	03-15 04-11	04-11 05-09	05-09 06-06	06-06 07-05	07-05 08-01	08-01 08-29	08-29 09-26	09-26 10-24	10-24 11-21	11-21 12-19
732 (Black-Lake)	01-18 02-15	02-15 03-15	03-15 04-11	04-11 05-09	05-09 06-06	06-06 07-05	07-05 08-01	08-01 08-29	08-29 09-26	09-26 10-24	10-24 11-21	11-21 12-19
736 (Black-Lake)	01-17 02-14	02-14 03-13	03-13 04-10	04-10 05-08	05-08 06-06	06-06 07-05	07-05 07-31	07-31 08-29	08-29 09-26	09-26 10-24	10-24 11-21	11-21 12-19

Tout au long de l'étude, Environnement Québec a continué d'exploiter son réseau d'échantillonnage. Pour les postes de l'étude (à l'exception du poste n° 000 à Saint-Étienne), on a pu ainsi obtenir des données sur les particules totales en suspension. Celles-ci ont été prélevées par un échantillonneur à grand débit, fonctionnant 24 heures tous les six jours. Des jauges pour les poussières ont également été installées aux postes d'échantillonnage, sauf à ceux de Montréal et de Saint-Étienne. Des données météorologiques ont été enregistrées à Thetford-Mines et Asbestos. Elles comprenaient les températures (minimales et maximales), les précipitations (hauteur, durée), la neige au sol et le vent (vitesse et direction). Les roses des vents pour les régions de Thetford-Mines et Asbestos sont représentées aux figures 3 et 4. Pour la neige au sol, la vitesse des vents et les précipitations totales, des moyennes arithmétiques ont été calculées pour chacune des 12 périodes de l'étude.

3 CHOIX D'UNE MÉTHODE ANALYTIQUE

La teneur en amiante de l'air peut être mesurée par microscopie électronique à transmission analytique (META) dont les performances font l'unanimité des experts pour l'analyse de l'amiante dans l'environnement⁽²⁰⁾. Toutefois, la méthode de préparation des membranes Millipore[®] avant l'analyse en META suscite encore des doutes. Il existe en fait deux méthodes de préparation des échantillons (figure 9).

- a) La méthode dite "directe" qui consiste en un lissage de la membrane suivi de la production d'une réplique, dans un film de carbone, des particules présentes à la surface^(21, 22).
- b) La méthode dite "indirecte" qui exige l'incinération d'une partie de la membrane, les cendres étant ensuite soumises à une agitation aux ultrasons dans l'eau et montées sur grille de META avec une densité de répartition appropriée pour une meilleure description microscopique des particules⁽²³⁾.

D'après les partisans de la méthode directe, seule une méthode de ce type permet d'obtenir sans modification la distribution granulométrique initiale des poussières de l'aérosol, paramètre de première importance dans l'appréciation des effets sur la santé⁽²⁴⁾. Ses détracteurs doutent cependant de la faisabilité à grande échelle de la méthode qui requiert une charge optimale de la membrane, craignent les pertes de particules lors de la préparation et dénoncent l'argument selon lequel la détermination de la distribution granulométrique des poussières d'amiante permettra de prévoir leurs effets biologiques. En effet, sur le plan scientifique, l'importance de la taille des fibres est loin d'être comprise, et, sur le plan pratique, aucun expert ne se risquerait à interpréter définitivement l'information en se basant sur la distribution des tailles des poussières d'amiante dans l'air. Une étude qui ne mesurerait pas la taille des poussières serait certainement criticable, mais cette information est d'interprétation et d'utilisation délicates.

Les partisans de la méthode indirecte garantissent sa faisabilité et rappellent qu'elle a été utilisée dans la majorité des études antérieures sur le même sujet⁽²⁵⁾. Ses détracteurs mentionnent, sans en avoir de preuves évidentes, que cette méthode altère la distribution granulométrique initiale des particules d'amiante et donc ne peut prétendre à une détermination des concentrations numériques.

Devant cette situation, il a été décidé de procéder à une étude méthodologique comparative préalable, en employant les deux méthodes avec des membranes prélevées

MÉTHODE DIRECTE



Membrane Millipore®
1 m³ d'air par centimètre carré



Lissage de la membrane

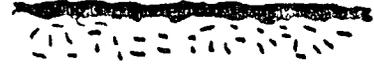


Dépôt d'un film de carbone



Dissolution du substrat

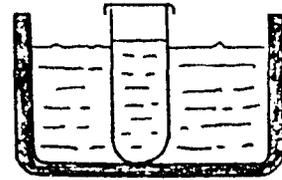
MÉTHODE INDIRECTE



Membrane Millipore®
12 m³ d'air par centimètre carré



Incineration à basse température



Traitement des cendres aux ultrasons



Filtration sur membrane Nuclepore®



Dépôt d'un film de carbone

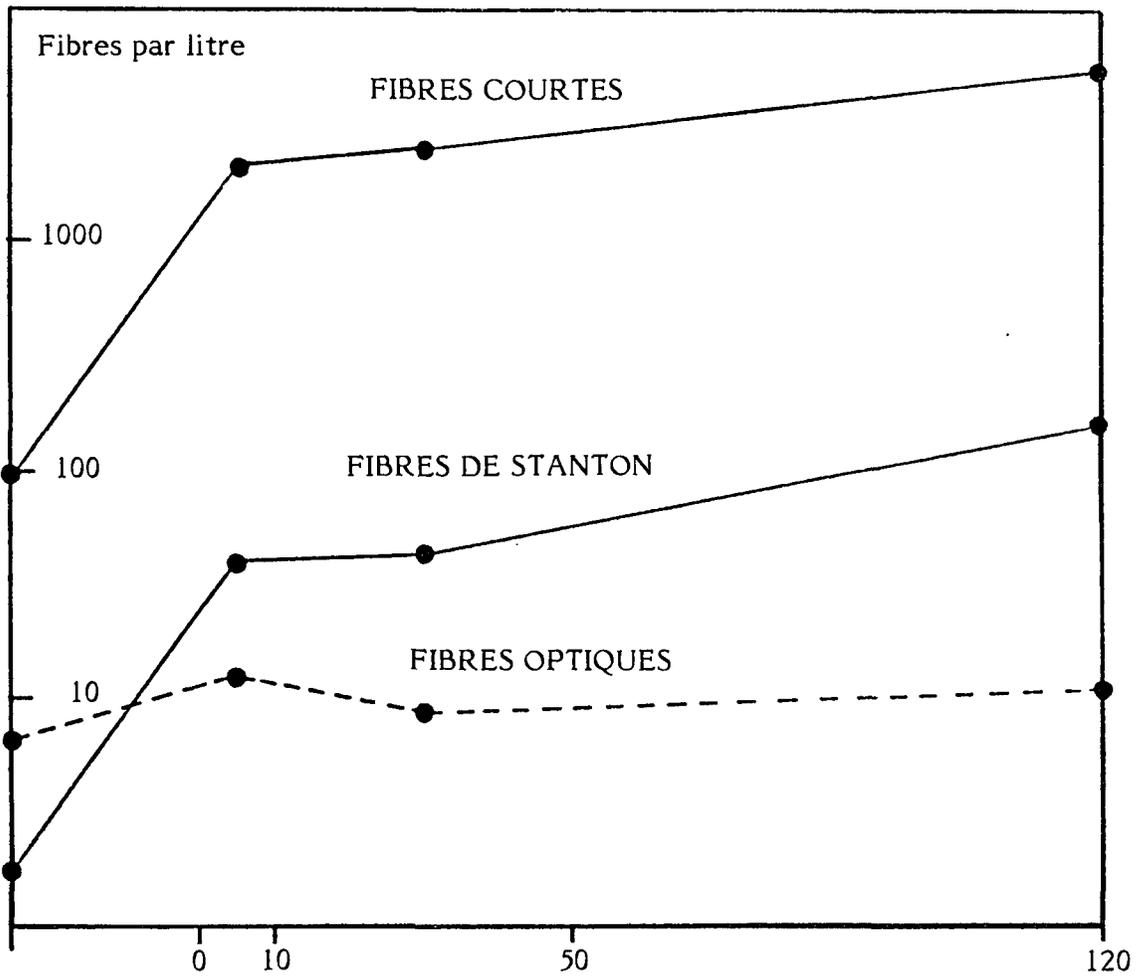


Dissolution du substrat

Figure 9
Analyse en microscopie électronique à transmission des particules prélevées
sur membrane Millipore®. Étapes de la préparation des grilles par
les méthodes directes et indirectes

aux postes d'échantillonnage. Au début de 1984 (du 16 janvier au 19 avril), 17 échantillons ont été prélevés sur membranes à Thetford-Mines, Black-Lake et Montréal avec le Connecticut Lo-Vol qui fonctionnait à un débit de 110 l/mn mais sur des périodes de moins d'un mois, afin de réduire la densité de filtration à $1 \text{ m}^3/\text{cm}^2$, valeur réputée optimale pour l'analyse par la méthode directe. Les résultats de l'étude méthodologique⁽²⁶⁾ peuvent être résumés comme suit.

- a) La méthode directe a un faible taux de réussite (35 p. 100). Même avec la densité de filtration réputée optimale de $1 \text{ m}^3/\text{cm}^2$, certaines membranes ont à leur surface une trop forte charge en poussières qui brise la fragile réplique de carbone.
- b) La méthode directe produit des préparations difficiles à observer en META à cause de leur texture filamenteuse.
- c) Environ 90 p. 100 des fines fibres de chrysotile échappent à l'observation microscopique par la méthode directe. On pense que ces fibres fines sont dissimulées par la texture filamenteuse ou ont pénétré à l'intérieur de la membrane et(ou) ont été perdues⁽²⁷⁾ lors de sa dissolution. Par contre, les grosses fibres, qui probablement ne pénètrent pas à l'intérieur de la membrane, sont détectées par les deux méthodes (figure 10).
- d) Dans ces conditions, le nombre de fibres comptées par la méthode directe est faible étant donné que les concentrations sont situées dans un grand intervalle de confiance; en outre, elle ne permet pas d'accéder à la distribution granulométrique initiale des poussières d'amiante, à cause de la perte sélective des fibres fines.
- e) La "faisabilité" de la méthode indirecte a déjà été confirmée.
- f) Dans le cas des prélèvements réalisés près des sources d'émission, les poussières de chrysotile peuvent présenter des morphologies complexes. Dans ces conditions, le calcul de leur masse à partir de l'observation microscopique constitue un exercice difficile. De plus, la détermination des concentrations gravimétriques comporte plus de variations statistiques que la détermination des concentrations numériques. Aussi la concentration gravimétrique semble-t-elle un indice plus difficile à trouver et moins stable que la concentration numérique⁽²⁸⁾.
- g) Avec la méthode indirecte, il semble qu'un traitement court (moins de 10 minutes) dans un bain d'ultrasons de faible énergie (20 000 Pa, 50 kHz) ne produise pas suffisamment de défibrage pour augmenter suffisamment de façon artificielle la concentration de fibres⁽²⁹⁾. Par contre, un traitement plus long (c'est-à-dire environ 2 heures) dans un bain d'ultrasons fait tripler la concentration des fibres fines. La production de fibres fines par un traitement aux ultrasons est toutefois très



MÉTHODE
DIRECTE

MÉTHODE INDIRECTE,
DURÉE DU TRAITEMENT AUX ULTRASONS (minutes)

Figure 10
Étude méthodologique préliminaire. Comparaison des concentrations numériques moyennes mesurées par les méthodes directe et indirecte sur 4 membranes de la région minière

inférieure à la perte des fibres fines occasionnée par la méthode directe (figure 10). Les concentrations des grosses fibres ne varient pas avec la durée du traitement aux ultrasons.

- h) La méthode indirecte permet de trouver les fines et courtes fibres de chrysotile, qui sont de loin les plus nombreuses, vu qu'elles représentent environ 90 p. 100 des numérations. Dans le processus habituel de numération, elle mobilise donc 90 p. 100 de l'effort analytique, au détriment d'une bonne description des autres particules plus longues. Pour obtenir des valeurs significatives, il faut effectuer une numération sélective négligeant les courtes fibres, inférieures à 5 microns. Le choix de la dimension seuil de 5 microns constitue une normalisation avec les méthodes standard de microscopie optique pour évaluer le degré d'exposition sur les lieux de travail⁽³⁰⁾.
- i) La numération sélective des fibres plus longues que 5 microns sous le META offre, sur le plan purement analytique, de nombreux avantages dont les principaux sont une meilleure visibilité, une plus grande facilité d'identification, moins de variations des résultats d'un microscope à l'autre et une rapidité accrue.
- j) Sur le plan scientifique, on peut trouver de nombreux arguments en faveur du choix des fibres longues⁽³⁰⁾.

Compte tenu des diverses conclusions de l'étude méthodologique, il a été décidé d'utiliser pour l'étude principale la méthode indirecte avec les caractéristiques suivantes:

- a) un échantillonnage en continu sur la même membrane pendant une période de 4 semaines à l'aide du Connecticut Lo-Vol fonctionnant à un débit de 110 l/mn,
- b) un traitement bref aux ultrasons (7 minutes),
- c) l'expression des concentrations numériques ainsi que des distributions morphologiques et dimensionnelles,
- d) la numération sélective des particules d'une longueur supérieure à 5 microns.

Remarque. - Dans ce rapport, lorsque nous faisons référence aux analyses effectuées par microscopie optique, les concentrations sont exprimées en fibres par centimètre cube. Quand les analyses sont effectuées par ATEM, les concentrations sont exprimées soit en particules d'amiante par litre, en fibres d'amiante par litre ou en nanogrammes (ou microgrammes) d'amiante par mètre cube. Une fibre d'amiante est définie comme étant une particule d'amiante possédant un rapport longueur-diamètre supérieur à 3.

4 ANALYSE DU CONTENU EN AMIANTE DES MEMBRANES FILTRANTES

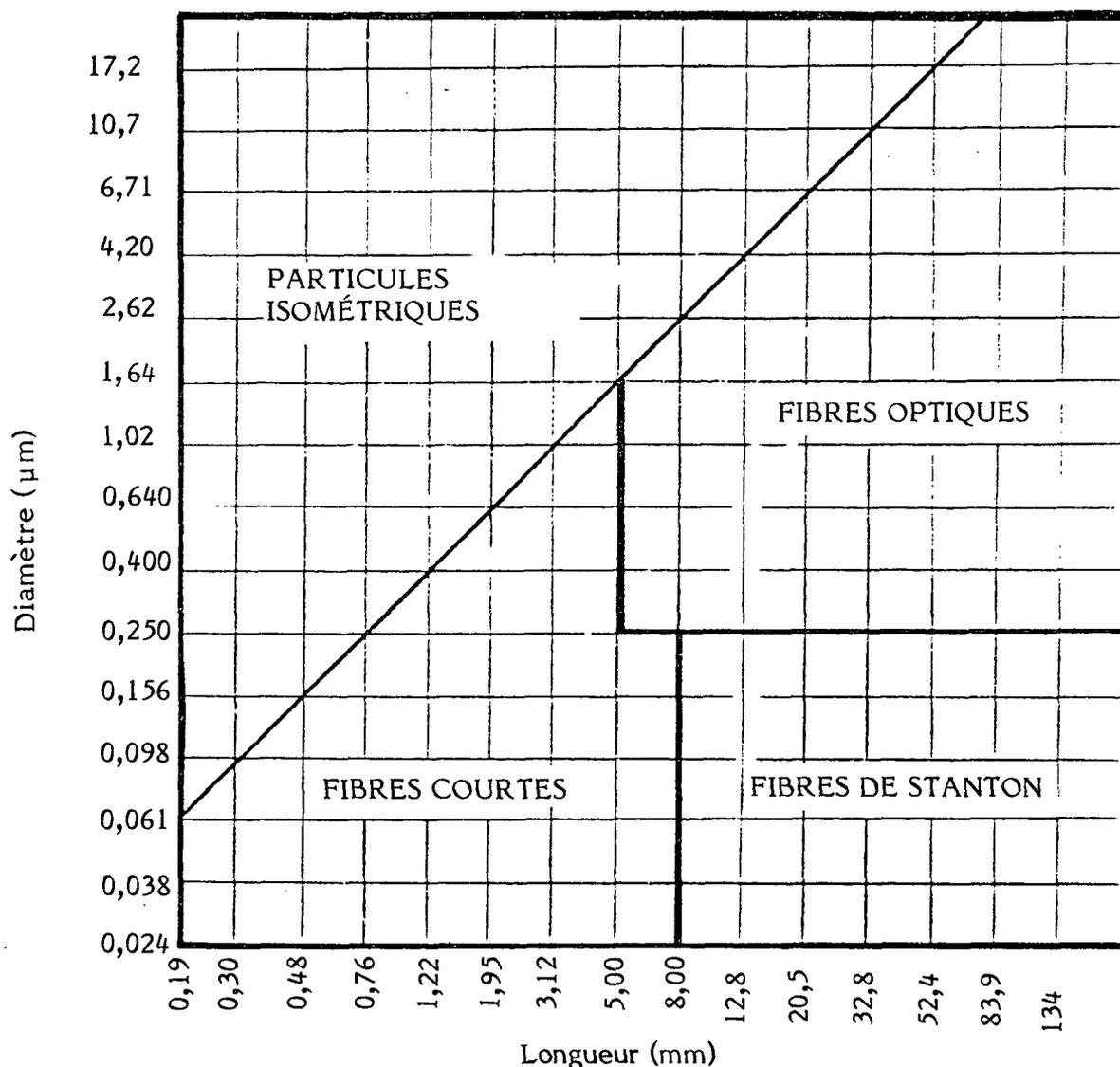
Par microscopie électronique à transmission, on a déterminé les paramètres suivants pour les particules d'amiante d'une longueur supérieure à 5 microns:

- type minéralogique,
- concentration numérique,
- classification morphologique,
- distribution granulométrique.

À partir de chaque membrane, des grilles de META ont été préparées comme suit. Cinq pastilles d'une superficie de 1 cm^2 ont été découpées au hasard dans la membrane filtrante, soit l'équivalent d'environ 50 m^3 d'air filtré. Elles ont ensuite été espacées les unes des autres dans un bocal (100 ml) en verre à large ouverture (le côté du prélèvement face à la paroi du bocal) pour être incinérées à basse température pendant une nuit dans un four à plasma d'oxygène. Le lendemain matin, le vide des nacelles a été rompu très doucement afin d'éviter la dispersion des cendres en dehors des bocal. Ceux-ci ont été alors remplis avec 100 ml d'eau "ultra propre" (Millipore Milli-Q®) de façon à "mouiller" toute la surface des parois et ont été ensuite immergés dans un bain d'ultrasons (20 000 Pa et 50 kHz) pendant 7 minutes. Les mêmes conditions physiques de traitement aux ultrasons (générateur, volume d'eau dans le bain, type de bocal, emplacement des bocal) ont été utilisées tout au long de l'étude. La pression et la fréquence des ultrasons ont été mesurées en utilisant un microphone comme sonde.

Après traitement aux ultrasons, un cinquième de la suspension (20 ml), soit l'équivalent d'environ 10 m^3 d'air, a été filtré à travers une membrane Nuclepore® (en polycarbonate, avec aire de filtration de 10 cm^2 et pores de $0,2 \mu\text{m}$ de diamètre). En utilisant la technique classique de la réplique⁽²³⁾, les particules retenues à la surface de la membrane Nuclepore® ont été enrobées dans un film de carbone et ensuite transférées sur des grilles de META (en cuivre, 200 mailles au pouce). Cinq grilles ont été ainsi préparées, répliquant la partie supérieure du filtre en cinq endroits choisis au hasard.

Les grilles ont été observées dans le mode de transmission (80 kV, 10 000 X) avec un microscope électronique JEOL 100 CX®, équipé d'un système de micro-analyse chimique élémentaire par spectroscopie dispersive en énergie de rayons X (SDEX) PGT Système IV®. Seules les particules d'une longueur supérieure à 5 microns ont été considérées. On a mis fin à l'analyse quand on a eu dénombré au moins 100 particules de chrysotile ou qu'on ait eu atteint la limite de détection de 0,5 particule par litre.



La graduation fine est constituée par 225 (15 x 15) classes dimensionnelles dont les limites suivent une progression géométrique. La matrice est divisée en quatre blocs.

PARTICULES ISOMÉTRIQUES. - Particules dont le rapport longueur-diamètre est inférieur à 3. Les particules dont ce rapport est supérieur à 3 sont considérées comme des fibres.

FIBRES OPTIQUES. - Fibres plus longues que 5 microns et plus larges que 0,25 micron. Elles sont théoriquement visibles en microscopie optique de contraste de phase. Elles constituent la base de la réglementation dans l'industrie.

FIBRES DE STANTON. - Fibres plus longues que 8 microns et plus fines que 0,25 micron. Elles ont les plus fortes potentialités cancérogènes dans le modèle de Stanton.

FIBRES COURTES. - Complément des trois blocs précédents.

Figure 11

Matrice granulométrique utilisée pour effectuer la distribution des dimensions des particules

Les particules de chrysotile ont été identifiées soit d'après leur morphologie particulière, soit d'après leur spectre SDEX; la diffraction électronique a été peu utilisée. Pour les autres fibres, le spectre SDEX a été systématiquement enregistré sur disquette et ensuite comparé avec des spectres standard de fibres de référence⁽³³⁾.

Suivant sa morphologie, chaque particule fibreuse a été classée dans une des trois catégories suivantes: fibre individualisée, faisceau de fibres, agrégat de fibres. Les dimensions de chaque particule ont été mesurées directement sur l'écran en utilisant soit un graticule oculaire spécialement conçu pour mesurer le diamètre des fibres à 0,03 μm près, soit un système de deux cercles concentriques de 10 mm et 50 mm de diamètre dessinés sur l'écran. Pour les faisceaux et agrégats, le concept de dimension cylindrique a été utilisé, inscrivant chaque particule dans un rectangle imaginaire dont la largeur et la longueur constituent la longueur et le diamètre de la particule. Les distributions granulométriques ont été obtenues en utilisant une matrice de 225 classes dimensionnelles regroupées en 4 blocs ayant des significations établies préalablement (figure 11).

5 RÉSULTATS

Deux types d'amiante ont été trouvés sur les membranes prélevées dans les villes minières: la chrysotile (largement majoritaire) et la trémolite (entre 0,5 p. 100 et 1 p. 100). À Montréal et Saint-Étienne, seule de la chrysotile a été trouvée.

5.1 Concentrations de chrysotile

L'expression "particules de chrysotile" sera utilisée dans ce rapport pour décrire l'ensemble des fibres, faisceaux et agrégats de chrysotile. Les concentrations de particules de chrysotile d'une longueur supérieure à 5 microns sont données au tableau 5; elles varient de la limite de détection (0,5 fibre par litre) à 1158 fibres par litre.

Ces concentrations ont été analysées par poste, région et période de prélèvement. Trois indicateurs statistiques ont été retenus: la moyenne géométrique, l'écart-type géométrique et un estimateur de la moyenne arithmétique, en cas de distribution log-normale⁽³⁴⁾.

Les moyennes annuelles par poste et par région sont reportées au tableau 6 qui révèle clairement les différences entre les postes d'échantillonnage des régions minières et ceux qui ont servi à la comparaison. Il n'y avait pas beaucoup de différence entre les niveaux mesurés à Montréal et Saint-Étienne. Dans la région minière, les niveaux mesurés à Black-Lake étaient en moyenne trois fois supérieurs à ceux de Thetford-Mines et d'Asbestos. Le poste n° 735 à Black-Lake était le plus pollué; le poste n° 723 à Thetford-Mines était le moins pollué parce qu'il était situé loin des sources de pollution. Les postes n°s 732 et 736 à Black-Lake étaient situés au coeur des sources d'émission (tableau 2 et figure 3). On notera que les écarts-types géométriques, bien que généralement supérieurs à 2, restent relativement peu élevés. L'écart-type pour Asbestos (2,9) est plus faible que pour Thetford-Mines (5,7). Cela provient probablement d'une situation plus complexe à Thetford-Mines concernant les sources d'émission. À Asbestos, les deux postes d'échantillonnage sont proches du puits unique. Les postes d'échantillonnage de Thetford-Mines sont plus dispersés géographiquement et captent des particules de sources multiples et variées.

Les statistiques par période pour l'ensemble des postes de la région minière sont indiquées au tableau 7. Les statistiques par période n'ont pas été calculées pour la région de comparaison, compte tenu du faible nombre de postes ($n=2$) et du faible nombre de fibres comptées, conduisant à des concentrations assorties d'un grand intervalle de confiance. Les données du tableau 7 sont reportées graphiquement à la figure 12 où un effet saisonnier important ressort clairement, deux maxima étant situés en avril et en

TABLEAU 4 VOLUMES (m³) D'AIR FILTRÉ À TRAVERS CHAQUE MEMBRANE

Poste n°	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
000 (Saint-Étienne)	-*	5466	5271	4894	-	5011	4649	4784	4845	-	4753	4708
012 (Montréal)	5201	-	-	4867	4751	4867	4518	4698	4785	4869	4947	4945
706 (Asbestos)	-	5475	5071	5003	4894	4955	4504	4768	4768	4811	4897	4961
709 (Asbestos)	-	5165	5005	4866	5792	4958	4541	4664	4675	4758	4800	4833
722 (Thetford-Mines)	5413	5405	5190	5081	4732	5183	4568	4814	4963	4989	5047	5068
723 (Thetford-Mines)	5176	5192	4994	4825	4675	4946	4601	4725	4796	4851	4967	5028
725 (Thetford-Mines)	-	5441	4951	5056	4962	4881	4545	4548	4627	9260?	4717	6139?
732 (Black-Lake)	5309	5468	4959	4963	4828	5045	4625	4725	4826	4890	4992	5033
736 (Black-Lake)	5505	5459	5093	5134	5195	4943	4463	4859	4811	4870	4915	4962

*-: prélèvement inadéquat.

TABLEAU 5 CONCENTRATIONS DE PARTICULES DE CHRYSOTILE PAR PÉRIODE ET POSTE¹

Poste n°	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
000 (Saint-Étienne)	-*	0,5	< 0,5	1,1	-	0,6	< 0,5	< 0,5	0,6	-	< 0,5	< 0,6
012 (Montréal)	< 0,5	-	-	1,9	0,6	1,1	1,2	< 0,5	< 0,5	5,7	< 0,5	1,1
706 (Asbestos)	-	11,2	28,4	20,0	33,5	47,8	37,7	189,1	150,1	38,1	11,9	3,4
709 (Asbestos)	-	8,6	24,4	45,7	25,9	98,1	38,0	242,9	169,8	30,4	20,2	8,1
722 (Thetford-Mines)	10,8	7,2	64,8	187,6	76,6	208,7	103,1	115,1	73,9	379,2	63,6	15,4
723 (Thetford-Mines)	2,2	4,8	28,9	159,5	4,2	17,9	22,3	36,4	37,3	23,4	14,5	12,7
725 (Thetford-Mines)	-	8,5	86,2	92,7	575,4	160,7	45,7	17,7	43,7	177,2	68,8	17,7
732 (Black-Lake)	27,6	25,4	1112,4	414,2	239,6	75,7	46,9	34,1	139,1	229,6	21,7	25,9
736 (Black-Lake)	60,1	33,7	385,8	1158,0	369,8	139,4	57,7	148,2	149,3	441,1	79,0	30,9

¹ Nombre de particules par litre, d'une longueur supérieure à 5 microns.

*-: prélèvement inadéquat.

TABLEAU 6 CONCENTRATIONS DE PARTICULES DE CHRYSOTILE¹:
MOYENNES ANNUELLES PAR POSTE ET PAR RÉGION

Poste n°	Nombre d'échantillonnages	Moyenne géométrique	Écart-type géométrique	Moyenne arithmétique estimée*
000 (Saint-Étienne)	9	0,6	1,3	0,6
012 (Montréal)	10	0,9	2,2	1,2
706 (Asbestos)	11	29,8	3,1	47,6
709 (Asbestos)	11	37,2	3,3	57,5
722 (Thetford-Mines)	12	64,2	3,4	107,9
723 (Thetford-Mines)	12	16,7	3,1	26,8
725 (Thetford-Mines)	11	61,5	3,3	102,3
732 (Black-Lake)	12	86,2	3,7	153,2 ✓
736 (Black-Lake)	12	141,4	3,1	223,4 ✓
000 et 012 (Saint-Étienne et Montréal)	19	0,7	1,9	0,9
706 et 709 (Asbestos)	22	33,3	2,9	52,5
722, 723 et 725 (Thetford-Mines)	35	39,9	5,7	73,7
732 et 736 (Black-Lake)	24	110,4	3,4	188,7 ✓

¹ Nombre de fibres de chrysotile par litre, d'une longueur supérieure à 5 microns.

* Suivant la technique de Oldham, *Biometrics*, 1965, n° 213, pp. 235-239.

TABLEAU 7 CONCENTRATIONS DE PARTICULES DE CHRYSOTILE¹: MOYENNES PAR PÉRIODE POUR TOUS LES POSTES DE LA RÉGION MINIÈRE

	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre d'échantillonnages	4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Moyenne géométrique	14,1	11,3	90,0	142,9	75,7	84,1	45,5	77,8	93,7	109,1	30,7	13,4
Écart-type géométrique	4,1	2,0	4,3	3,9	5,7	2,3	1,6	2,7	1,9	3,5	2,2	2,1
Moyenne* arithmétique estimée	24,8	13,7	173,2	255,0	174,3	109,6	49,8	111,7	110,1	182,6	39,2	16,6

¹ Nombre de fibres par litre, d'une longueur supérieure à 5 microns.

* Suivant la technique de Oldham, *Biometrics*, 1965, n° 213, pp. 235-239.

octobre, et deux minima en hiver et en juillet. Les données météorologiques (tableau 8) et l'activité des compagnies minières peuvent probablement expliquer en partie cette bimodalité. L'indice d'activité des compagnies minières, la somme des précipitations et la vitesse moyenne des vents pour chacune des douze périodes de prélèvement sont reportés sur les 3 courbes de la figure 13. La comparaison des figures 12 et 13 permet d'associer:

- le minimum de pollution hivernale avec la présence de neige au sol et une faible activité des compagnies minières,
- le minimum de juillet avec un relâchement dans l'indice d'activité des compagnies minières, de fortes précipitations et de faibles vitesses du vent,
- le maximum d'avril avec une reprise dans l'activité des compagnies minières et de plus grandes vitesses du vent.

Le maximum d'automne est plus difficilement explicable. Durant cette saison, l'indice d'activité des compagnies minières et la vitesse moyenne des vents étaient faibles; toutefois, les précipitations étaient faibles également.

Aucune particule d'amiante de plus de 5 microns n'a été détectée sur les 12 blancs analysés.

5.2 Distribution granulométrique et morphologique des particules de chrysotile

La distribution granulométrique et morphologique des particules de chrysotile pour l'ensemble des prélèvements réalisés dans la région minière est reportée au tableau 9. Il faudrait rappeler qu'on a distingué 3 types morphologiques (fibres, faisceaux, agrégats) et 4 catégories dimensionnelles (fibres courtes, fibres de Stanton, fibres optiques, particules isométriques, voir la figure 11). Les données du tableau 9 reposent sur l'observation de 5443 particules de chrysotile. Au total, 86 p. 100 des particules avaient une morphologie typiquement fibreuse. Les fibres appartenant à la catégorie dimensionnelle des fibres de Stanton étaient les plus nombreuses. Sur la base de leurs dimensions cylindriques, les faisceaux appartiennent à la catégorie des fibres "optiques", et les agrégats, à la catégorie des particules isométriques. Le tableau 9 indique également les dimensions moyennes (longueur et diamètre) des 7 groupes de particules.

La figure 14 illustre la distribution des particules de chrysotile dans la matrice granulométrique. Schématiquement, on peut dire que la très grande majorité des longueurs se situait dans la gamme de 5 à 20 microns. Le diamètre des fibres, faisceaux et agrégats se situait respectivement dans les gammes de 0,04 à 0,25 μm , de 0,4 à 2 μm et de 2,5 à 10 μm .

TABLEAU 8 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Sommes des précipitations (mm)											
Thetford-Mines	75	90	33	82	120	105	216	75	66	60	91	
Asbestos	31	86	35	97	114	93	172	86	89	46	69	
	Neige au sol (cm)											
Thetford-Mines	104	74	95	1	0	0	0	0	0	0	0	
Asbestos	45	18	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Vitesse moyenne des vents (km/h)											
Thetford-Mines	7,9	?	13,9	14,7	11,3	9,7	9,4	7,6	8,8	7,3	10,5	9,5
Asbestos	10,5	12,9	12,6	13,4	16,7	11,5	8,1	9,9	13,6	12,2	13,5	10,5

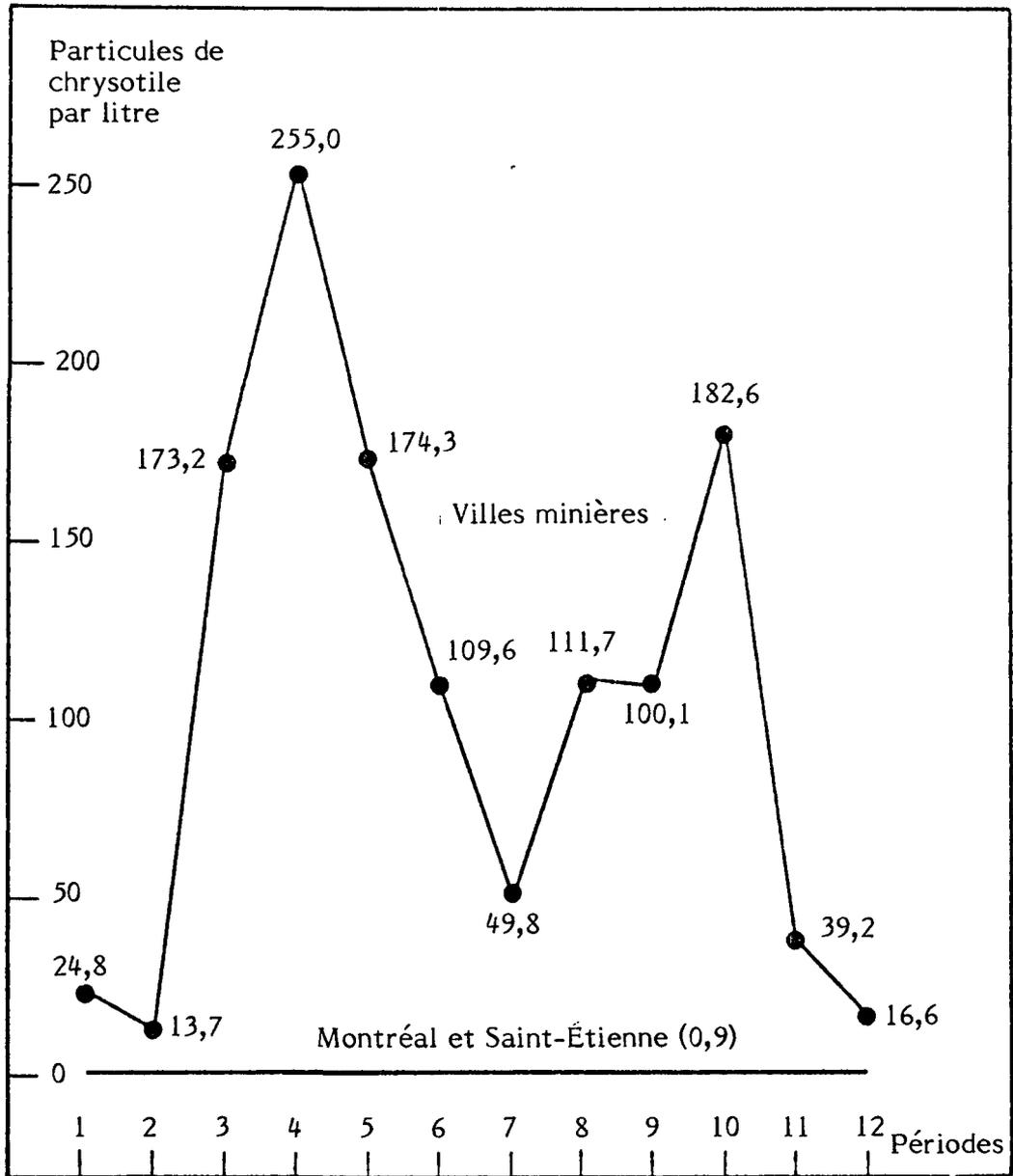


Figure 12
Variation saisonnière de la pollution atmosphérique par l'amiante

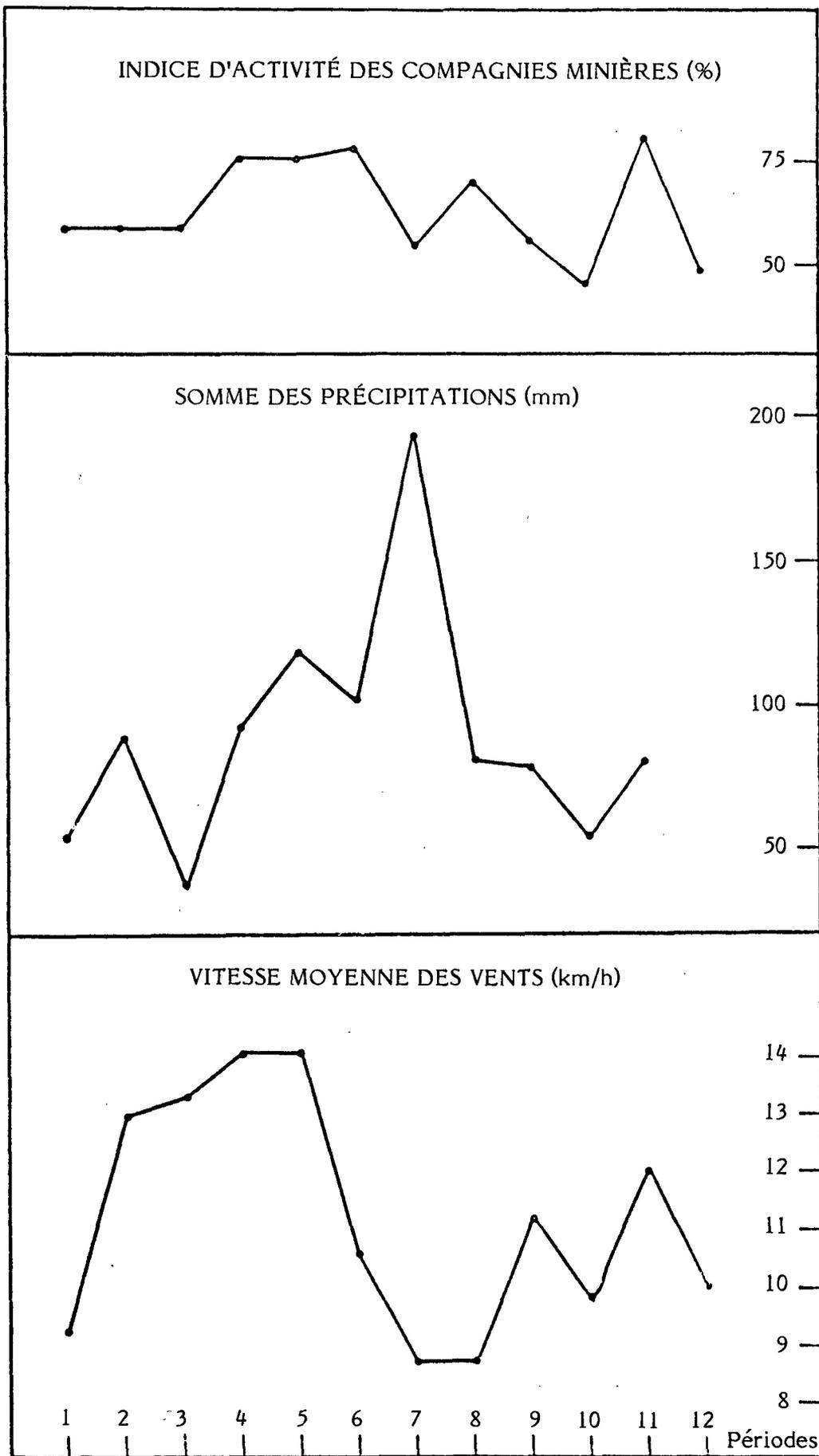


Figure 13
Exemple de variations saisonnières dans la région des villes minières

TABLEAU 9 DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE ET MORPHOLOGIQUE DES PARTICULES DE CHRYSOTILE: CATÉGORIES GRANULOMÉTRIQUES¹ POUR L'ENSEMBLE DES POSTES DE LA RÉGION MINIÈRE

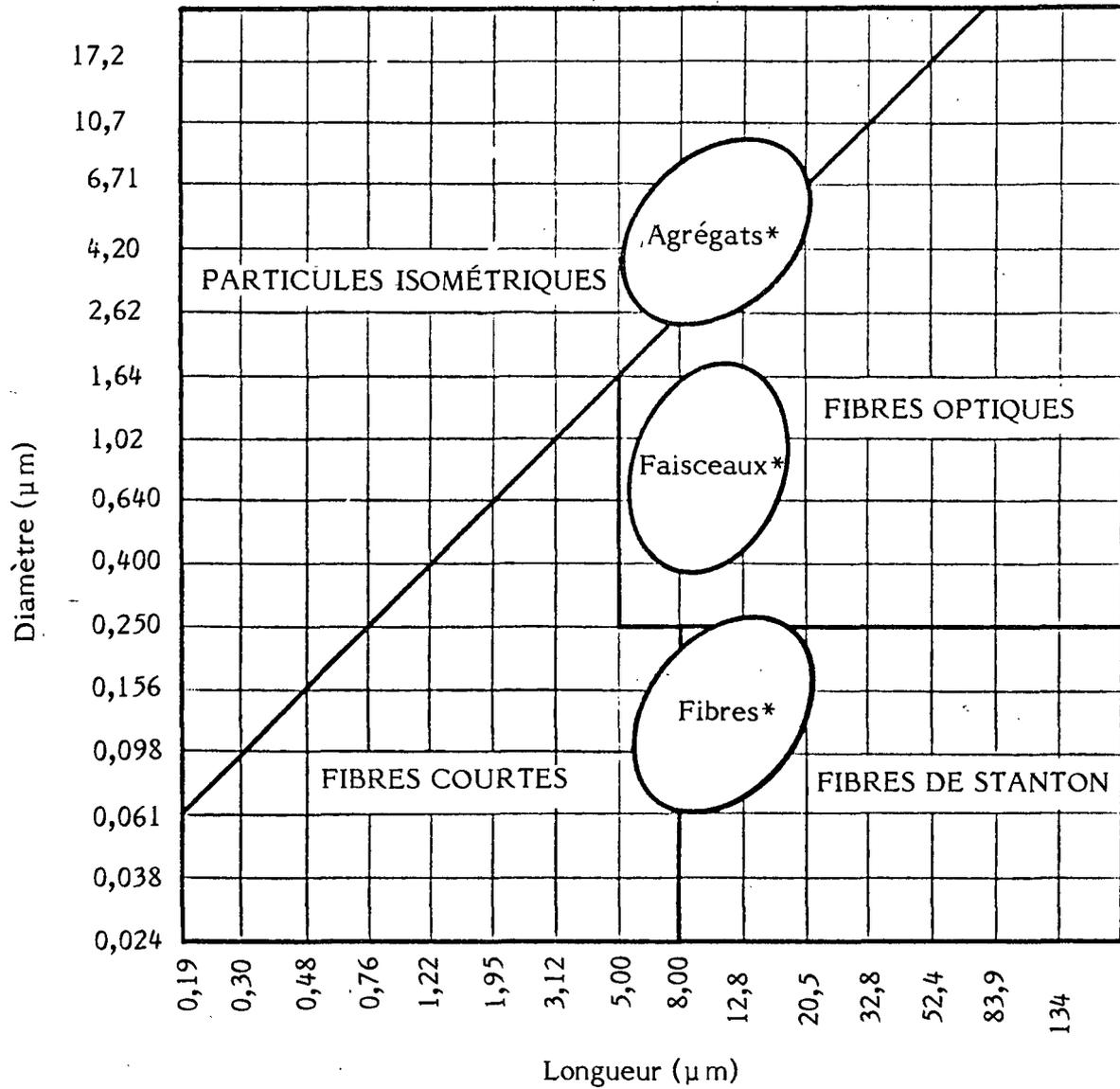
	Fibres courtes	Fibres de Stanton	Fibres optiques	Particules isométriques	Total
Fibres	32,5 % (6,8 µm/ 0,06 µm)*	47,7 % (13,3 µm/ 0,14 µm)	6,3 % (11 µm/ 0,33 µm)		86,5 %
Faisceaux			7,1 % (12,9 µm/ 1,3 µm)	0,6 % (9,5 µm/ 3,9 µm)	7,7 %
Agrégats			0,7 % (14,8 µm/ 3,3 µm)	5,1 % (9,5 µm/ 5,2 µm)	5,8 %
Total	32,5 %	47,7 %	14,1 %	5,7 %	

¹ Pour explication, voir le texte et la figure 11.

* Pour explication, voir le texte.

TABLEAU 10 POURCENTAGES MOYENS DE PARTICULES DE CHRYSOTILE (CLASSÉES FAISCEAUX OU AGRÉGATS) PAR PÉRIODE D'ÉCHANTILLONNAGE

	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	48,3	37,3	16,0	10,1	7,1	14,5	16,2	11,3	10,1	8,5	10,6	10,3



* Les ellipses contiennent environ 95 p. 100 de l'ensemble des particules mesurées sur toutes les membranes des villes minières.

Figure 14
Distribution granulométrique des fibres, faisceaux et agrégats
 (mesurées sur toutes les membranes des villes minières)

La distribution granulométrique et morphologique des particules de chrysotile ne variait pas significativement suivant les postes. Une variation saisonnière a été observée: les pourcentages de particules classées dans les faisceaux ou les agrégats étaient plus élevés pour les deux premières périodes de prélèvement (tableau 10). Cette observation, qui est concomitante avec la présence de neige au sol, n'a pas été expliquée.

La distribution différait dans la région de comparaison (Montréal et Saint-Étienne). Seules des fibres dont la longueur moyenne était de 7,9 μm , et leur diamètre moyen, de 0,06 μm , ont été rencontrées.

5.3 Teneurs en fibres de trémolite

Sur certaines membranes prélevées dans la région minière, des particules de trémolite ont été détectées. Il s'agissait toujours de fibres individualisées. Elles étaient en moyenne plus grandes que les fibres de chrysotile, avec un diamètre moyen de 0,53 μm et une longueur moyenne de 9,2 μm . Les concentrations moyennes de trémolite par région minière étaient respectivement de 1,5 fibre par litre à Thetford-Mines, de 0,9 fibre par litre à Black-Lake et de 0,2 fibre par litre à Asbestos.

5.4 Concentrations des particules en suspension

Le tableau 11 présente les concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules en suspension telles qu'elles ont été mesurées par Environnement Québec, en utilisant la méthode de l'échantillonneur à haut volume. Regrouper ces données par période de prélèvement pour l'ensemble des postes de la région minière ne montre pas un effet saisonnier important, les concentrations étant toutefois plus faibles en hiver et légèrement plus fortes au printemps (tableau 12). Le tableau 13 montre les concentrations regroupées par poste pour l'ensemble des périodes de prélèvement. Montréal détient le chiffre le plus élevé. Parmi les postes de la région minière, ceux de Black-Lake étaient les plus pollués. Toutefois, les différences entre les postes étaient moins marquées pour les particules en suspension que pour la chrysotile (figure 15).

Les niveaux de retombées de poussières totales n'ont pas fait l'objet d'une analyse, car ils n'ont pas été mesurés dans la région de comparaison (Montréal et Saint-Étienne), et de nombreux résultats manquaient dans la région minière. Les résultats disponibles indiquent cependant des retombées plus importantes à Black-Lake et Asbestos (3,3 t/km^2 par mois) qu'à Thetford-Mines (2,3 t/km^2 par mois), avec un pic en juin et des retombées plus faibles en hiver.

TABLEAU 11 CONCENTRATIONS MOYENNES DES PARTICULES TOTALES EN SUSPENSION¹
PAR PÉRIODE ET POSTE

Poste n°	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
012 (Montréal)	35	77	45,5	46	55	70	61	71	24	34,5	37	57,5
706 (Asbestos)	40	29	19,5	17	33	51	31	43	27	27	21	43,5
709 (Asbestos)	36	52	28	24	36	52,5	26	43	23	29	22	44
722 (Thetford-Mines)	29	24	33	35,5	32,5	49,5	29	45	34,5	49,5	43	21
723 (Thetford-Mines)	32	17	37	38	33	45,5	37	41	28	42	33	20,5
725 (Thetford-Mines)	23	21	15,5	38	38	38,5	36	29,5	26	30,5	33	14
732 (Black-Lake)	39	37	62	65	48	55	41	48	43,5	35,5	27	20
736 (Black-Lake)	29	41	46	40	41	51	23	41	40	31	34	21

¹ Microgrammes par mètre cube.

TABLEAU 12 CONCENTRATIONS MOYENNES DES PARTICULES TOTALES EN SUSPENSION¹ PAR PÉRIODE POUR L'ENSEMBLE DES POSTES D'ÉCHANTILLONNAGE DES VILLES MINIÈRES

	Période											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre d'échantillonnages	35	34	24	28	34	28	34	34	27	28	33	25
Moyenne géométrique	32,9	28,8	24,8	38,8	31,5	44,8	34,3	35,6	30,1	33,6	30,5	24,4
Écart-type géométrique	1,3	1,9	2,6	2,0	1,9	1,6	1,6	1,7	1,5	1,4	1,6	1,7
Moyenne* arithmétique estimée	34,2	35,4	35,5	47,9	37,6	49,8	37,8	40,3	32,7	35,5	34,1	27,7

¹ Microgrammes par mètre cube.

* Suivant la technique de Oldham, *Biometrics*, 1965, n° 213, pp. 235-239.

TABLEAU 13 CONCENTRATIONS ANNUELLES DE PARTICULES TOTALES
EN SUSPENSION¹

Poste n ^o	Nombre de mesures	Moyenne géométrique	Écart-type géométrique	Moyenne arithmétique estimée*
012 (Montréal)	53	51,7	1,7	58,9
706 (Asbestos)	55	31,2	1,6	34,9
709 (Asbestos)	51	33,0	1,6	36,7
722 (Thetford-Mines)	52	33,9	1,8	39,7
723 (Thetford-Mines)	51	28,6	1,9	35,0
725 (Thetford-Mines)	51	26,0	1,8	30,8
732 (Black-Lake)	54	39,2	1,7	44,9
736 (Black-Lake)	50	35,9	1,7	41,3

¹ Microgrammes par mètre cube.

* Suivant la technique de Oldham, *Biometrics*, 1965, n^o 213, pp. 235-239.

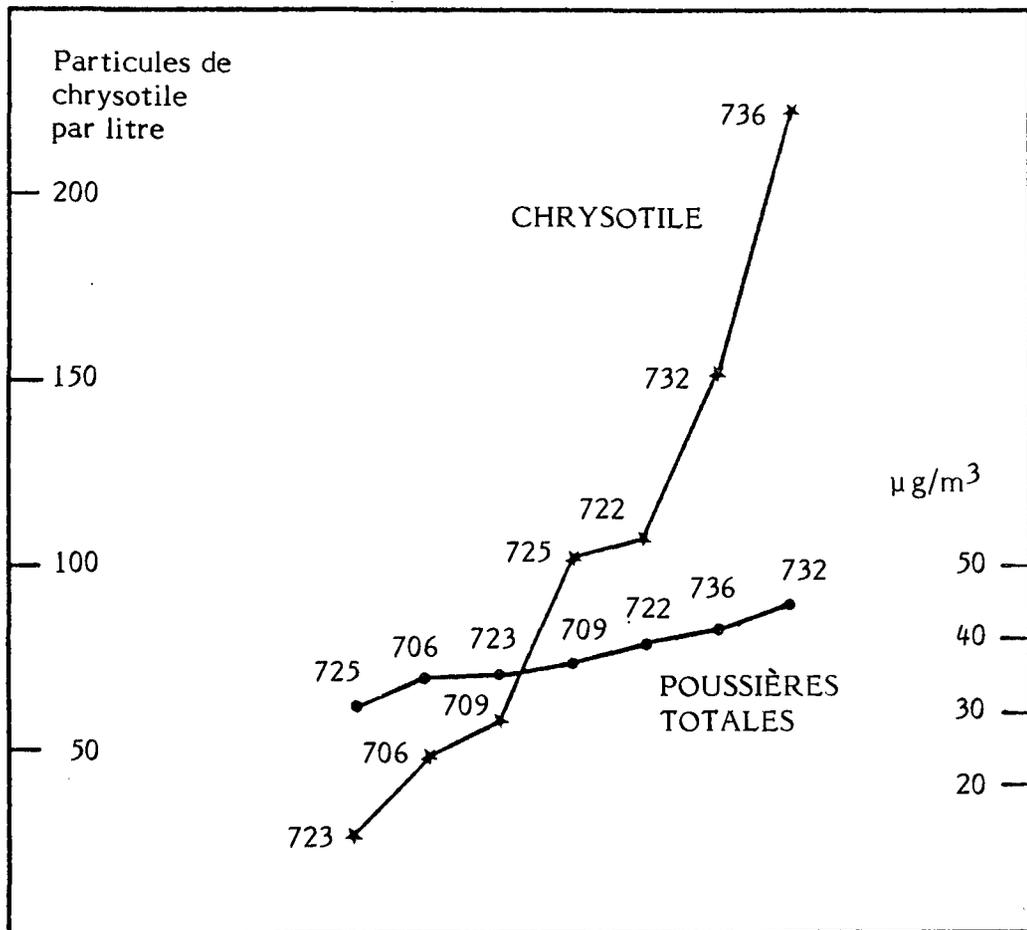


Figure 15
 Classification des postes d'échantillonnage dans les villes minières
 en fonction des teneurs en chrysotile et en poussières totales

6 DISCUSSION

6.1 Aspects méthodologiques

La présente étude constitue la première tentative de mesure systématique, sur une période d'une année, des niveaux de pollution atmosphérique par l'amiante dans les villes minières du Québec. En 1980, des échantillons de l'air des villes minières avaient déjà été analysés en microscopie électronique à transmission par Singh et Thouez⁽³⁵⁾. Les auteurs s'intéressaient principalement aux phénomènes de transport des polluants, et leur étude n'avait porté que sur une période de temps limitée. En 1980, Gibbs et coll. présentaient les résultats d'analyse de 21 échantillons prélevés dans la région minière, mais ces résultats n'ont pas été publiés⁽¹⁷⁾.

La présente étude a bénéficié de l'amélioration récente des méthodes d'analyse de l'amiante par microscopie électronique à transmission et des conclusions de l'étude méthodologique préliminaire⁽²⁶⁾. On a également tenu compte des conclusions de l'étude pilote de G. Gibbs, recommandant l'utilisation du Connecticut Lo-Vol. Cet échantillonneur a effectivement donné satisfaction. Toutefois, son efficacité au niveau de la collecte à l'entrée, pour différents diamètres aérodynamiques et différentes vitesses de vent, n'a jamais été déterminée. Vu les faibles dimensions des particules d'amiante retrouvées sur les membranes, l'efficacité à l'entrée ne devrait pas constituer un problème majeur, sauf peut-être dans le cas où les fibres sont "piégées" par de plus grosses poussières. Ces conclusions concordent avec celles formulées récemment par Johnston et coll.⁽³⁶⁾ au sujet de l'influence des facteurs aérodynamiques sur l'efficacité du ramassage des poussières d'amiante.

La recherche méthodologique préliminaire a été déterminante dans le succès de l'étude principale. Elle a clairement levé plusieurs doutes qui subsistaient dans le domaine de l'analyse des fibres d'amiante par les deux méthodes META. Deux aspects de la méthode utilisée méritent d'être mentionnés: la préparation indirecte de la membrane et la numération sélective des particules plus longues que 5 microns. Cette numération sélective augmente considérablement la rapidité et la fiabilité des analyses META. Il est également encourageant de faire observer que la méthode utilisée pour cette étude (prélèvement d'air sur membrane filtrante, préparation indirecte, analyse META sélective des fibres plus longues que 5 microns) pourrait devenir une méthode de référence pour le dosage de l'amiante dans l'air ambiant⁽³⁷⁾.

6.2 Caractéristiques de la pollution dans les régions étudiées

Les niveaux de pollution par l'amiante mesurés à Thetford-Mines et Asbestos sont en moyenne environ 70 fois plus élevés que ceux mesurés dans la région de comparaison (Montréal et Saint-Étienne). Les niveaux de pollution mesurés à Black-Lake sont en moyenne environ 200 fois plus élevés que ceux mesurés dans la région de comparaison. Lors des pics de pollution, les niveaux peuvent être jusqu'à 1000 fois plus élevés. Dans la région de comparaison, les niveaux sont en moyenne plus faibles à Saint-Étienne qu'à Montréal, mais la différence n'est pas significative.

Dans la région minière, 99 p. 100 des particules d'amiante sont de type chrysotile, mais des fibres de trémolite sont également présentes, notamment à Thetford-Mines. Les particules de chrysotile se présentent principalement sous forme de fibres (86,5 p. 100) mais également sous forme de faisceaux et d'agrégats. Les longueurs de ces particules mesurées se situent presque toutes dans la gamme de 5 à 20 microns. Seules des fibres de chrysotile (pas de faisceaux ni d'agrégats) ont été rencontrées dans la région de comparaison à Montréal et Saint-Étienne. L'observation de la présence de trémolite dans l'air revêt une importance particulière. On savait que la trémolite était présente dans les gisements d'amiante du Québec; on savait également que la rétention pulmonaire de la trémolite était plus élevée que celle de la chrysotile, mais on ne possédait aucune information sur la proportion de trémolite dans les poussières d'amiante. Les données obtenues ici permettront d'interpréter les quantités d'amiante présent dans les poumons des mineurs où la concentration de trémolite dépasse presque toujours la concentration de chrysotile(38, 39).

Dans la région minière, environ 14 p. 100 des particules de chrysotile ayant une longueur supérieure à 5 μm ont un rapport d'élongation supérieur à 3 et un diamètre supérieur à 0,25 μm ; elles devraient donc être visibles sous le microscope optique en contraste de phase. Comme elles répondent aux spécifications dimensionnelles en vigueur dans la méthode standard de mesure des fibres sur les lieux de travail (en fibres par cm^3), ceci permet de calculer les concentrations de fibres optiques telles qu'elles auraient pu être mesurées par cette même méthode (au microscope optique), qui utilise des prélèvements de courte durée (de 2 h à 8 h) sur membrane filtrante et une numération des fibres d'une longueur supérieure à 5 microns sous le microscope optique en contraste de phase.

Ces calculs aboutissent aux concentrations moyennes suivantes dans l'air ambiant des villes minières: Asbestos, 0,007 f/cm^3 ; Thetford-Mines, 0,010 f/cm^3 ; Black-Lake, 0,026 f/cm^3 . Il faut insister sur le fait que ces concentrations dérivent de calculs théoriques, et que l'emploi de la méthode standard d'analyse, conçue pour les mesures sur

les lieux de travail, apparaît discutable pour mesurer les niveaux de pollution par l'amiante dans l'environnement en général. Toutefois, Chatfield⁽²⁰⁾ a montré récemment, au moins sur des membranes expérimentales, que les numérations des fibres "optiques" par la méthode standard et par une méthode indirecte META similaire à celle employée ici, conduisaient à des concentrations très similaires. On ne possède pas de données équivalentes obtenues sur des membranes prélevées sur le terrain.

6.3 Autres études sur le sujet

Le principal intérêt des calculs précédents est de pouvoir comparer les concentrations d'amiante dans l'environnement à la norme d'exposition professionnelle à l'amiante qui, au Québec correspond à 2 f/cm^3 et est mesurée au microscope optique par la méthode standard. Les épidémiologistes considèrent actuellement que le risque de cancer asbestosique croît linéairement avec une exposition cumulative à l'amiante⁽¹⁰⁾. On calcule qu'un ouvrier de l'amiante exposé 8 heures par jour pendant 30 ans à la norme de 2 f/cm^3 accumule en 30 ans $30 \times 2 \text{ f} = 60$ fibres-années. Utilisant le même schéma, il est possible de calculer qu'une personne vivant par exemple 75 ans à Black-Lake et exposée 24 h par jour à $0,026 \text{ f/cm}^3$ accumulerait $0,026 \text{ f} \times 75 \times 3 = 5,8$ fibres-années, soit environ dix fois moins. On ne saurait pousser plus avant ces considérations, compte tenu des incertitudes sur les relations dose-effet en matière d'exposition à l'amiante. Nous faisons simplement observer que les niveaux mesurés dans les villes minières conduisent à des expositions seulement dix fois inférieures aux expositions professionnelles. Pour certaines substances, les écarts entre les normes d'exposition professionnelles et environnementales sont plus grands⁽⁴⁰⁾. Il faut également rappeler que ces niveaux ont été mesurés au coeur même des villes minières, le plus souvent sur le toit des écoles.

Aux États-Unis, la majorité des études ont utilisé la méthode META indirecte avec expression des concentrations gravimétriques en nanogrammes par mètre cube. La pollution de fond par la chrysotile dans les grands centres urbains se situait entre 1 ng/m^3 et 10 ng/m^3 ⁽⁴¹⁾. Le taux de pollution était plus élevé à New York et augmenté par le freinage automobile au voisinage des postes de péage des autoroutes et dans les tunnels^(32, 42). Au voisinage des usines d'amiante, on a mesuré des niveaux atteignant 8200 ng/m^3 ⁽⁴³⁾. L'utilisation de roches serpentines pour les routes s'est également avérée une pratique très polluante⁽⁴⁴⁾. Deux études majeures ont été réalisées dans des locaux dont l'isolation avait été faite avec de l'amiante^(45, 46). Dans certains locaux, les niveaux atteignaient 800 ng/m^3 .

La méthode indirecte META (en nanogrammes par mètre cube) a beaucoup été utilisée en France également, confirmant les données américaines sur la pollution de fond et la pollution à l'intérieur des habitations⁽⁴⁷⁾.

Au Canada, des mesures ont été réalisées par Chatfield dans 5 localités de l'Ontario, dans le métro de Toronto et dans certains bâtiments en utilisant une méthode META directe sur filtre Nuclepore[®]⁽⁴⁸⁾. Ces études n'ont pas identifié de situations anormales de pollution, même dans les bâtiments. D'autres études en cours utilisent cette fois une méthode indirecte. Un relevé a également été fait à Baie-Verte à Terre-Neuve⁽⁴⁹⁾, utilisant une méthode directe. Dans l'ensemble, les niveaux mesurés étaient très similaires, quoique inférieurs à ceux rapportés ici, avec une moyenne de 24 fibres par litre (> 5 µm); 23,5 p. 100 des niveaux étaient supérieurs à 40 fibres par litre. Les auteurs concluaient à l'absence de corrélation entre les niveaux mesurés et la direction des vents par rapport au complexe minier. Ils suggéraient l'existence d'émissions fugitives avec une possible remise en suspension des poussières sédimentées.

Aux Pays-Bas, Lanting et den Doeft⁽⁵⁰⁾ ont utilisé une méthode similaire à la nôtre (prélèvement mensuel sur membrane Millipore[®], préparation indirecte, numération des fibres plus longues que 5 microns) pour mesurer les concentrations de chrysotile au voisinage d'une usine d'amiante-ciment (4 fibres par litre) et dans un tunnel routier (3,6 fibres par litre) qu'ils ont comparées à la pollution de fond à Amsterdam et Rotterdam (0,7 fibre par litre) et à celle des régions rurales (0,1 fibre par litre). On notera que la pollution de fond dans les centres urbains néerlandais avoisine celle mesurée à Montréal. À proximité des usines d'amiante, les niveaux étaient six fois supérieurs.

En Allemagne, à l'aide d'un microscope électronique à balayage, Teichert a trouvé au voisinage des usines d'amiante-ciment et des usines de matériaux de friction des concentrations variant entre 0,1 et 18 fibres par litre⁽⁵¹⁾.

En Grande-Bretagne, l'organisme Health and Safety Executive Agency a réalisé depuis plusieurs années un programme de mesure dans l'environnement à l'aide de diverses méthodes de microscopie électronique^(52, 53). La pollution de fond moyenne urbaine était toujours inférieure à 4 ng/m³. Des pollutions plus graves ont été trouvées au voisinage des usines d'amiante (35 à 1300 ng/m³) et au voisinage des décharges de produits d'amiante (jusqu'à 200 ng/m³), mais pas à l'intérieur des locaux.

Il est difficile de comparer les résultats de ces études qui utilisaient des méthodes différentes. Toutefois, deux impressions émergent de l'étude des rapports faits sur le sujet:

- l'existence d'une pollution de fond par la chrysotile, faible et homogène,

- la possibilité d'atteindre des niveaux 1000 fois supérieurs en certaines circonstances.

Nos résultats concordent parfaitement avec ces deux observations. De plus, rappelons qu'aucune étude n'avait mesuré au préalable la pollution atmosphérique par l'amiante sur une période de temps aussi longue qu'une année.

6.4 Effets sur la santé de l'amiante dans l'environnement

Les effets sur la santé de la présence d'amiante dans l'environnement sont mal connus et probablement le resteront encore un certain temps, étant donné les difficultés méthodologiques que pose leur appréciation⁽¹⁰⁾. À notre connaissance, seules trois situations de pollution environnementale ont été associées à un risque excessif de cancer des voies respiratoires (pulmonaire ou pleural): le voisinage des mines de crocidolite en Afrique du Sud⁽⁶⁾, le voisinage d'une usine en Allemagne de l'Ouest utilisant cette même crocidolite⁽¹¹⁾, les expositions des familles des travailleurs de l'amiante⁽⁷⁾. Les autres tentatives d'observation directe d'un risque de cancer asbestosique dans l'environnement ont été négatives⁽¹⁰⁾.

Ceci vaut également pour les études de mortalité réalisées au Québec chez les résidents des villes minières de Thetford-Mines, Black-Lake et Asbestos⁽¹²⁻¹⁵⁾. Plusieurs observations de morbidité ont été également faites mais ne seront pas discutées ici à cause des difficultés d'interprétation de leurs résultats.

Lors d'autres études, le risque de maladie causée par l'amiante dans l'environnement en général a été calculé, soit en extrapolant des courbes des relations doses-effets obtenues en épidémiologie du travail, soit en utilisant le "traceur" mésothéliome⁽¹⁶⁾. Compte tenu du modèle utilisé (relation dose-effet linéaire sans seuil), ces rapports concluent tous à l'existence d'un risque, mais avec une marge d'erreur tellement grande que leur utilité en matière de santé publique n'est pas évidente. Ces notions mériteraient d'être révisées à la lumière de faits scientifiques nouveaux concernant la possibilité de l'existence d'un seuil d'exposition précédant l'apparition de l'asbestose ou la stabilité de l'incidence du mésothéliome chez les femmes⁽¹⁰⁾.

7 CONCLUSIONS

Les points suivants méritent d'être soulignés:

- a) *Échelle de l'étude:* 100 membranes filtrantes (5000 m³ d'air sur chacune), 9 postes d'échantillonnage, presque une année complète de prélèvement subdivisée en 12 périodes de quatre semaines, 5494 particules d'amiante identifiées, dénombrées et mesurées (longueur et diamètre) sous le microscope électronique à transmission. Il s'agit de la première étude de cette envergure dans le domaine de la pollution atmosphérique par l'amiante.
- b) *Fiabilité de la méthodologie analytique:* l'étude a profité des progrès importants réalisés durant les dix dernières années dans l'analyse de l'amiante en microscopie électronique à transmission analytique. Des conclusions de l'étude méthodologique préliminaire ont également été déterminantes. La méthode utilisée ici pourrait devenir une méthode de référence pour le dosage de l'amiante dans l'environnement en général.
- c) *Contraste des niveaux de pollution:* l'étude a clairement révélé que les niveaux de pollution par la chrysotile dans la région minière étaient plus élevés que la pollution de fond urbaine. De plus, il existe dans la région minière une pollution par l'amiante trémolite. Bien qu'il n'existe pas de normes réglementaires pour l'amiante dans l'environnement en général, certains organismes ont émis des recommandations sur la qualité de l'air (tableau 14).
- d) *Interprétation épidémiologique:* On connaît peu de choses des effets sur la santé causés par des poussières de chrysotile à des niveaux inférieurs à ceux auxquels sont exposés les travailleurs des mines et moulins d'amiante. Étant donné les niveaux mesurés et les incertitudes concernant la relation exposition-effets, nous recommandons que les résultats de cette étude soient examinés de près. L'existence de ces données recueillies sur les niveaux d'amiante dans l'air ambiant offre une occasion unique d'accroître nos connaissances sur la relation dose-effets pour une exposition à de faibles concentrations. Cependant, une telle étude nécessiterait des recherches épidémiologiques très élaborées.

TABLEAU 14 RECOMMANDATIONS SUR LES NORMES DE QUALITÉ DE L'AIR
POUR L'AMIANTE

CANADA

Ontario 40 f/l (> 5 μ m), moyenne 24 h
Microscopie électronique

Colombie-Britannique 0,04 f/cm³
Microscopie optique

Ville de Montréal 0,05 f/cm³ (moyenne 24 h)
Microscopie optique

ÉTATS-UNIS

Connecticut 30 ng/m³ ou 30 f/l (moyenne 30 jours)
Microscopie électronique

Ville de New York 100 ng/m³
Microscopie électronique .

FRANCE

Conseil supérieur
d'hygiène publique
de France (intérieur
des locaux) 50 ng/m³ (moyenne 5 jours)
Microscopie électronique .

ALLEMAGNE FÉDÉRALE

1 f/l
Microscopie électronique .

Remarque: f/l signifie dans le présent texte fibres par litre.

Source: ED. CHATFIELD. "Short mineral fibres in airborne dust", dans *Short and Thin Mineral Fibres. Identification, Exposure and Health Effects. Proceedings from a Symposium*. National Board of Occupational Safety and Health Research Department. Solna, Suède, 1983. ✓

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. International Agency for Research on Cancer (1979). *Chemicals and Industrial Processes Associated with Cancer in Humans*. IARC Monographs, Lyon, vol. 1 à 20.
2. J.C. McDonald (1984). "Aspect of the asbestos standard", dans *Occupational Lung Disease*. Édité par J. Bernard, L. Gee, W. Keith, C. Morgan et M. Stuart. Brooks, Raven Press, New York, pp. 139-149.
3. J.C. McDonald et P. Sébastien (1985). "Alternative strategies for control of mineral fibres". Présenté à l'*International Symposium on Occupational Exposure Limits*. Organisation Mondiale de la Santé, Copenhague, 16 au 19 avril 1985.
4. R.W. Lanting et J. den Boeft (1979). *Atmospheric Pollution by Asbestos Fibres*. Rapport n° G908, Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek, T.N.O., postbus 214, 2600 AE, Delft, Holland.
5. P. Sébastien, M.A. Billon, G. Dufour, A. Gaudichet, G. Bonnaud et J. Bignon (1979). "Levels of asbestos air pollution in some environmental circumstances", *New York Academy of Sciences Annals*, vol. 330, pp. 401-415.
6. J.C. Wagner, C.A. Sleggs et P. Marchand (1960). "Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in N.W. Cape Province", *Brit. J. Ind. Med.*, vol. 17, pp. 250-271.
7. H.A. Anderson, R. Lilis, S.M. Daum et A.S. Fishbein (1975). "Household-contact asbestos neoplastic risk", *Ann. New York Academy of Sciences*, vol. 271, pp. 311-323.
8. P. Sébastien, J. Bignon et M. Martin (1982). "Indoor airborne asbestos pollution: from the ceiling and the floor", *Science*, vol. 216, pp. 1410-1413.
9. M. Ross (1984). "A survey of asbestos-related disease in trades and mining occupations and in factory and mining communities as a means of predicting health risks of nonoccupational exposure to fibrous minerals", dans *Definitions for Asbestos and other Health-Related Silicates*. ASTM STP 834. Édité par B. Levadie, American Society for Testing and Materials, Philadelphie, pp. 51-104.
10. J.C. McDonald (1985). "Health implications of environmental exposure to asbestos", *Environmental Health Perspectives*, vol. 62, pp. 319-328.
11. E. Hain, P. Dalquen, H. Bohlig, A. Dahbert et I. Hing (1974). "Retrospective study of 150 cases of mesothelioma in Hamburg area", *Int. Arch. Arbeitsved.*, vol. 33, pp. 15-37.
12. G. Thériault et L. Grand-Bois (1978). "Mesothelioma in the Province of Quebec 1969-1972", *Arch. of Environ. Health*, janvier-février, pp. 15-19.
13. R. Pampalon, J. Siemiatycki et M. Blanchet (1982). "Environmental asbestos pollution and public health in Quebec", *L'Union médicale du Canada*, vol. III, pp. 475-489.

14. J. Siemiatycki (1983). "Health effects on the general population (mortality in the general population in asbestos mining areas)", *Proceedings of the World Symposium on Asbestos*, Montréal, pp. 337-348.
15. F.D.K. Liddell (1983). "Tumour incidence after asbestos exposure in the general population of Canada", *VDI-Berichte*, vol. 475, pp. 179-183.
16. J.C. McDonald et A.D. McDonald (1981). "Mesothelioma as an index of asbestos impact", *Banbury Report 9: Quantification of Occupational Cancer*. Cold Spring Harbor Laboratory, pp. 73-85.
17. G.W. Gibbs, N. Rowlands et R. Brulotte. "A Pilot Study on the Measurement of Airborne Asbestos Fiber Concentrations in Ambient Air". Rapport présenté lors de l'assemblée annuelle de l'Air Pollution Control Association en 1980.
18. J.C. McDonald, F.D.K. Liddell, G.W. Gibbs, G.E. Eyssen et A.D. McDonald (1980). "Dust exposure and mortality in chrysotile mining, 1910-1975", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 37, pp. 11-24.
19. G.W. Gibbs, N. Rowlands et R. Brulotte (1982). "A pilot study on the measurement of airborne asbestos fibre concentrations in ambient air". Communication personnelle.
20. E.J. Chatfield (1984). *Measurement and Interpretation of Asbestos Fibre Concentrations in Ambient Air*. Rapport présenté au Fifth AIA Colloquium, Johannesburg, 29 au 31 octobre 1984.
21. L.W. Ortiz et B.L. Isom (1974). "Transfer technique for electron microscopy of membrane filter samples", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 35, n° 7, pp. 423-425.
22. A.P. Middleton et E.A. Jackson (1982). "A procedure for the estimation of asbestos collected on membrane filters using transmission electron microscopy (TEM)", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 25, n° 4, pp. 381-391.
23. P. Sébastien, M.A. Billon, X. Janson, G. Bonnaud et J. Bignon (1978). "Utilisation du microscope électronique à transmission (MET) pour la mesure des contaminations par l'amiante", *Archives des maladies professionnelles*, vol. 39, pp. 229-248.
24. E.J. Chatfield (1983). "Methods of fibre measurement in ambient air", *VDI-Berichte*, vol. 475, pp. 33-63.
25. P. Sébastien (1980). "Ambient air monitoring for asbestos using the analytical transmission electron microscope", *Third Colloquium on Dust Measuring Technique and Strategy*, Asbestos International Association, Cannes, 10 au 12 juin 1980.
26. P. Sébastien, M. Plourde, R. Robb et M. Ross (1984). *Étude de l'amiante dans l'air ambiant des villes minières du Québec. 1^{re} partie - Étude méthodologique*. Environnement Canada, 1984, rapport SPE 3/AP/RQ-1F.
27. C.-Y. Hwang et Z.M. Wang (1983). "Comparisons of methods for assessing asbestos fibre concentrations", *Archives of Environmental Health*, vol. 38, pp. 5-10.

28. P. Sébastien (1985). "Assessing asbestos exposure in buildings", présenté à l'*Asbestos Fibre Measurements in Building Atmosphere Workshop*. Ontario Research Foundation, Mississauga, Ontario, 20 au 22 mars 1985.
29. K.R. Spurny, H. Opiela et G. Weiss (1980). "On the milling and ultrasonic treatment of fibres for biological and analytical applications", dans *Biological Effects of Mineral Fibres*. Édité par J.C. Wagner, IARC Scientific Publications, n° 30 pp. 931-933.
30. W.H. Walton (1982). "The nature, hazards and assessment of occupational exposure to airborne asbestos dust: a review", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 25, n° 2, pp. 117-247.
31. R. Brulotte (1976). *Rapport sur la qualité de l'air dans les villes de Thetford-Mines et Black-Lake, 1974-1978*. Gouvernement du Québec, Service de protection de l'environnement.
32. L. Bruckman et R.A. Rubino (1978). "Monitored asbestos concentrations in Connecticut", *Air Pollution Control Association Journal*, vol. 28, n° 12, pp. 1221-1226.
33. P. Sébastien, A. Gaudichet, M.A. Billon-Galland et X. Janson (1980). "Spectrométrie X par dispersion d'énergie en microscopie électronique à transmission: application à la caractérisation des fibres minérales", *J. Microsc. Spectrosc. Electron.*, vol. 5, pp. 83-97.
34. P.D. Oldham (1965). "On estimating the arithmetic means of lognormally-distributed populations", *Biometrics*, mars 1965, pp. 235-239.
35. B. Singh et J.P. Thouez (1985). "Ambient air concentrations of asbestos fibres near the town of Asbestos, Quebec", *Envir. Res.*, vol. 36, pp. 144-159.
36. A.M. Johnston, A.D. Jones et J.H. Vincent (1982). "The influence of external aerodynamic factors on the measurement of the airborne concentration of asbestos fibres by the membrane filter method", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 25, n° 3, pp. 309-316.
37. Santé nationale et Bien-être social Canada (1985). *Asbestos Fibre Measurements in Building Atmospheres*. Atelier organisé par l'Ontario Research Foundation, 20 au 27 mars 1985.
38. F.D. Pooley (1976). "An examination of the fibrous mineral content of asbestos lung tissues from the Canadian chrysotile mining industry", *Envir. Research*, vol. 12, pp. 281-298.
39. N. Rowlands, G.W. Gibbs et A.D. McDonald (1982). "Asbestos fibres in the lungs of chrysotile miners and millers - A preliminary report", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 26, pp. 1-4, 411-415.
40. J.P. Gauvin. Communication personnelle.

41. W.J. Nicholson, A.N. Rohl, I. Weisman et I.J. Selikoff (1980). "Environmental asbestos concentrations in the United States", dans *Biological Effects of Mineral Fibres*. Édité par J.C. Wagner, IARC Scientific Publication No. 30, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, pp. 823-827.
42. J.C. Murchio, W.C. Cooper et A. de Leon (1973). *Asbestos Fibres in Ambient Air of California*. Air Research Board Report, ARB-R-PCA 274-73-01, mars 1973.
43. R.J. Thompson (1978). "Ambient air monitoring for chrysotile in the United States", dans *Workshop on Asbestos: Definitions and Measurements Methods*. NBS special publication 506, pp. 355-363.
44. A.N. Rohl, A.M. Langer et I.J. Selikoff (1977). "Environmental asbestos pollution related to use of quarried serpentine rock", *Science*, vol. 196, pp. 1319-1322.
45. W.J. Nicholson, A.N. Rohl et I. Weisman (1975). *Asbestos Contamination of the Air in Public Buildings*. U.S. Environmental Protection Agency, Rapport n° 450/3-76-00-4.
46. P.C. Constant Jr, F.J. Bergman, G.R. Atkinson, D.R. Rose, D.L. Watts, E.E. Logue, T.D. Hartwell, B.P. Price et J.S. Ogden (1983). *Airborne Asbestos Levels in School*. U.S. Environmental Protection Agency. Rapport n° 560/5-83-003.
47. P. Sébastien, M.A. Billon-Galland et A. Gaudichet (1983). "Données météorologiques sur la pollution atmosphérique par l'amiante en environnement urbain", *VDI-Berichte*, vol. 475, pp. 105-108.
48. E.J. Chatfield (1983). "Short mineral fibres in airborne dust", dans *Short and Thin Mineral Fibres, Identification, Exposure and Health Effects*. Compte rendu d'un symposium, National Board of Occupational Safety and Health Research Department, Solna, Suède, pp. 9-81.
49. J.H. Kozak et G.J. Ternan (1981). *Ambient Air Asbestos Survey in the "Baie Verte" Area, New foundland*. Environnement Canada, rapport EPS5-AR-81-8.
50. R.W. Lanting et J. den Boeft (1983). "Atmospheric pollution by asbestos fibres", *VDI-Berichte*, vol. 475, pp. 123-128.
51. V. Teichert (1983). "Ergebnisse Quellenbezogener Messungen faser förmiger Teilchen in der Außenluft" *VDI-Berichte*, vol. 475, pp. 117-122.
52. J.M. LeGuen et G. Burdett (1981). "Asbestos concentrations in public buildings. A preliminary report", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 24, n° 2, pp. 185-189.
53. G.J. Burdett, J.M.M. Le Guen et A.P. Riord (1984). "Mass concentrations of airborne asbestos in the non-occupational environment. A preliminary report of UK measurements", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 28, n° 1, pp. 31-38.
54. *Report of the Royal Commission on Matters of Health and Safety Arising from the Use of Asbestos in Ontario*, vol. II, pp. 639-689, Ontario Ministry of Government Services, Toronto, 1984.

PUBLICATIONS D'ENVIRONNEMENT CANADA

Voici une liste partielle des publications régionales d'Environnement Canada. Vous pouvez obtenir une copie de ces publications en vous adressant à:

Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement
Région du Québec
1179, rue Bleury
Montréal (Qc) H3B 3H9
(514) 283-4670

Étude de l'amiante dans l'air ambiant des villes minières du Québec. 1^{re} partie - Étude méthodologique, SPE 3/AP/RQ-2F.

Mesure et analyse des hydrocarbures légers dans l'air ambiant - Montréal 1982, SPE 5/AP/RQ-2F.

Émission de poussières résultant de l'exploitation minière et de l'élimination des déchets d'amiante - Étude des sources d'émission à l'air libre et des techniques de contrôle, SPE 4/MM/RQ-1F.

Mesure des émissions de polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzofurannes (PCDF) provenant de l'incinérateur Des Carrières à Montréal, SPE 5/UP/RQ-1F.

ENVIRONMENT CANADA PUBLICATIONS

Here is a partial list of Environment Canada regional publications. You can obtain a copy of these publications by contacting:

Environment Canada
Environmental Protection Service
Quebec Region
1179 Bleury Street
Montreal, Qc H3B 3H9
(514) 283-4670

Ambient Air Asbestos Survey in Quebec mining towns. Part 1 - Methodological Study, EPS 3/AP/RQ-1E.

Measurement and Analysis of Ambient Light Hydrocarbons - Montreal 1982, EPS 5/AP/RQ-1E.

Dust Emission in Asbestos Mining Operations and Asbestos Waste Disposal - A Survey of Open Sources and Control Technology (unpublished).

Measurement of Emissions of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxin (PCDD) and of Polychlorinated Dibenzofuran (PCDF) from the Des Carrières Incinerator in Montreal, EPS 5/UP/RQ-1E.