

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence



Comité d'étude sur la salubrité
dans l'industrie de l'amiante.

document 1

ETUDE MINÉRALOGIQUE DE L'AMIANTE AU QUÉBEC en relation avec son **EXPLOITATION, EXTRACTION ET UTILISATION**

étude réalisée par J.-Robert Assad et associés
octobre 1976

COMITE D'ETUDE SUR LA SALUBRITE
DANS L'INDUSTRIE DE L'AMIANTE.
DOCUMENT I

ETUDE MINERALOGIQUE
DE L'AMIANTE AU QUEBEC
en relation avec son
EXPLOITATION, EXTRACTION
ET UTILISATION

Université Laval
Québec, le 28 juin 1976.
J.-Robert Assad et associés

RESUME

Ce rapport constitue un essai d'étude en minéralogie intégrée de l'amiante et des poussières amiantifères. Il traite donc des aspects scientifiques, techniques et économiques de la minéralogie de l'amiante et des poussières amiantifères et ce, en relation avec les modes d'exploitation, de traitement et d'utilisation de l'amiante. L'étude tente de bien caractériser les aspects et paramètres minéralogiques significatifs de l'amiante et des poussières, mais elle n'est pas pour autant exhaustive et complète de toutes les mines et usines au Québec.

Les premières parties du texte traitent de la minéralogie détaillée de l'amiante, des gisements et minerais du Québec, des procédés de traitement en usine et de ses utilisations industrielles, ce qui permet une familiarisation avec la nature, la structure et la taille, ainsi qu'avec les aspects techniques et économiques de l'industrie de l'amiante au Québec.

Dans les parties principales du texte, nous présentons des analyses et évaluations des paramètres minéralogiques significatifs des gisements, des minerais, des poussières et des fibres commerciales. Ceci nous permet, dans la dernière partie, de comparer et d'évaluer les diverses méthodes d'échantillonnage et d'analyse susceptibles de bien caractériser le degré d'empoussièrement dans ce milieu.

Les conclusions et recommandations principales sont que:

- 1) Le compte de fibres sur membrane est encore nécessaire pour évaluer l'empoussièrement dans l'industrie de l'amiante;
- 2) Il est nécessaire d'avoir accès à une deuxième méthode de mesure susceptible d'opération automatique en continu (un "monitoring"), afin de pourvoir à un système éventuel de contrôle et d'application de la norme principale;

- 3) La méthode de "monitoring" la mieux adaptée à la nature même des poussières est celle basée sur des mesures gravimétriques des poussières respirables;
- 4) Tous les postes et endroits de travail typiques fassent l'objet d'une évaluation régulière par la méthode des "comptes de fibres" et que le "monitoring" soit effectué d'abord sur l'air de recirculation provenant du plenum et à l'ensachage, et possiblement à 1 ou 2 autres endroits dans l'usine.

II-E-2 : Le secteur de transformation au Canada et au Québec	55
II-E-3 : Les industries de fabrication au Québec	56

PARTIE III

Nature et composition minéralogique des poussières d'amiante

III-A : Introduction	58
III-B : Le cadre géologique des gisements et la pétrographie - minéralogie des minerais	58
III-C : Echantillonnage	63
III-C-1 : Endroits échantillonnés	63
a) Les usines de traitement des minerais	63
b) Le secteur manufacturier	64
- Canadian Johns-Manville Co. Ltd.....	65
- Armstrong Cork Industries Ltd.....	68
- Atlas Asbestos Co. Ltd.....	70
III-C-2 : Echantillonnage des poussières dans l'air à l'aide d'appareils à grand débit	73
III-C-3 : Autres échantillons	74
III-D : Méthodes d'analyses et données	75
III-D-1 : Analyses granulométriques, aspects morphologiques	75
a) Tamisage	75
b) Les fractions fines - balance sédimentologique et le compteur "Coulter"	78
c) Morphologie des particules dans les poussières	92
III-D-2 : Minéralogie des poussières	103
a) Minéralogie générale	103
b) Analyses quantitatives du chrysotile	107
III-D-3 : Chimisme des poussières	110
III-E : Evaluation intégrée et appréciation des données sur les poussières	114

PARTIE IV

Etudes comparatives des méthodes d'échantillonnage et d'analyses quantitatives des poussières d'amiante

IV-A : Introduction	119
IV-B : Echantillonnage comparatif	120
IV-B-1 : Méthodes et appareils d'échantillonnage	120
IV-B-2 : Endroits échantillonnés	121
IV-C : Mesures et analyses	121

IV-D :	Compilation et comparaison des résultats	122
IV-D-1 :	Examens des diverses catégories de mesures d'empoussièrement	122
a)	Gravimétrique	122
b)	Comptes de fibres	126
c)	Comptes de particules (Midget Impinger) ...	127
d)	Paramètres minéralo-granulométriques	128
IV-D-2 :	Comparaison des mesures d'empoussièrement et études de corrélations	130
IV-E :	Tentative d'évaluation intégrée des méthodes de mesure d'empoussièrement	135
IV-E-1 :	Aspects techniques d'une norme et son application	135
IV-E-2 :	Généralités sur le procédé de traitement et sur l'environnement dans les usines	136
IV-E-3 :	Méthodes d'échantillonnage et de mesure des poussières amiantifères	138
a)	L'échantillonnage	139
b)	Les mesures d'empoussièrement	140
IV-E-4 :	Endroits à contrôler	142

PARTIE V

<u>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</u>	144
<u>Bibliographie générale</u>	150
<u>Liste des figures, schémas, tableaux, graphiques et microphotographies</u>	

Tableaux principaux:

No. 1 :	Echantillonnage et résultats - Can. Johns- Manville	152
No. 2 :	Echantillonnage et résultats - Lake Asbestos of Québec	153
No. 3 :	Echantillonnage et résultats - Usines de fabrication	74

<u>Schémas</u> No. 1 :	Etapas et opérations de traitement des minerais d'amiante; bilan de masse	151
No. 2 :	Evolution du minerai en traitement	47
No. 3 :	Les aspirations d'air lors du traitement	49

<u>Tableaux</u> II-B-1 et 2:	Analyses des serpentines	20-21
II-B-2:	Composition chimique de la chrysotile	22
II-B-3:	Composition minéralogique de l'amiante commerciale	26
II-B-4:	Résumé des propriétés des amphiboles	34
II-B-5:	Propriétés physiques des fibres d'amiante	35
II-C-1:	Les producteurs québécois d'amiante	42
II-D-1:	Classification canadienne de l'amiante	52
III-D-1:	Séparations granulométriques - fraction respirable	80

III-D-2: Magnétite (%) et susceptibilité magnétique des poussières	106
III-E-1: Tableau synthétique des données sur l'empoussiè- ment	115
<u>Figures</u> II-B-1 et 2: Classification des silicates	10-11
II-B-3 et 4: Structures de phyllosilicates	13
II-B-5: Représentation schématique d'une fibre	15
II-B-6: Processus de croissance d'une fibre	15
II-B-7: Morphologie d'une fibre	16
II-B-8: Sections de fibres	18
II-B-9: Structure de l'anthophyllite	33
III-B-1: Carte géologique - tectonique de la région des Appalaches du Québec	59
<u>Graphiques</u> III-D-1 à III-D-XI: Analyses granulométriques- courbes de fréquences	81-91
IV-D-1: Comptes de fibres et mesures gravimétriques Canadian Johns Manville	124
IV-D-2: Comptes de fibres et mesures gravimétriques Lake Asbestos of Quebec	125
IV-D-3: Poids vs susceptibilité magnétique des pous- sières	134
<u>Microphotographies</u> #1, 2 et 3: Poussière sur filtre-membrane	96
3, 4 et 5:	98
7, 8 et 9: Poussière respirable	100
10 et 11: Poussière respirable	102

ETUDE MINERALOGIQUE DE L'AMIANTE

AU QUEBEC

en relation avec son
EXPLOITATION, EXTRACTION et UTILISATION

PARTIE I

Description du Projet d'Etude

("le pourquoi et le comment")

I-A: Introduction

Cette étude minéralogique de l'amiante a été commandée par le "Comité d'Etude sur la salubrité dans l'industrie de l'amiante" qui a comme tâche principale de fournir au Gouvernement du Québec un avis sur une norme d'exposition aux poussières fibreuses qui se trouvent dans les environnements de travail où on exploite les minerais d'amiante, où on en fait l'extraction en usine et où il y a utilisation d'amiante dans les diverses industries de fabrication.

Pour arriver à un avis objectif et éclairé en la matière, on doit procéder à des études et à des recherches médicales sur les effets biologiques des fibres d'amiante aspirées avec l'air et, en parallèle, effectuer des études sur les aspects techniques de la formation et du contrôle des poussières amiantifères dans les environnements de travail. Le but des études médicales est d'établir une relation "dosage (de fibre) vs réponse (biologique)" afin de pouvoir déterminer un seuil d'exposition comportant un risque minimal de danger pour la santé. Du côté technique, on doit connaître les paramètres d'empoussièrement en fonction des procédés de traitements et des procédures de travail afin de limiter les contacts avec la poussière amiantifère à un seuil acceptable (norme).

Techniquement, on doit aussi voir à ce que la ou les méthodes de mesure d'empoussièrement soit intégrée(s) à un système de contrôle (monitoring) qui serait conforme à la norme définie.

L'amiante est un minéral très particulier dont les paramètres minéralogiques sont à la fois responsables de sa grande valeur industrielle et responsables d'un souci réel quant à ses effets biologiques. Pour ces raisons, l'évaluation des aspects techniques de l'amiante nécessite des connaissances fondamentales sur la minéralogie de l'amiante à toutes les étapes de son exploitation, de son extraction et de ses utilisations.

I-B: But et moyens:

Cette étude minéralogique vise d'abord à bien caractériser, en tant que minéral, tous les paramètres et propriétés physiques et chimiques de l'amiante. Cet aspect est considéré dans la Partie II de ce rapport, lequel contient aussi des descriptions et statistiques permettant d'apprécier la structure, la taille et la nature des opérations techniques qui caractérisent l'industrie de l'amiante.

Le but ultime de ce travail est de déterminer la nature et la composition des poussières amiantifères qui sont générées aux diverses étapes de la manutention et du traitement des minerais et produits d'amiante. Ceci est réalisé en suivant l'évolution de l'amiante à partir de son occurrence en tant que minerai en place dans la carrière en passant par la production de fibres commerciales et jusqu'à ses utilisations industrielles. Pour chaque étape significative dans cette évolution des minerais et concentrés d'amiante, nous établirons, dans la Partie III

de ce rapport, la concentration, la composition minéralogique et la granulométrie des poussières. Plus particulièrement nous déterminerons la proportion et la concentration des fibres d'amiante, leurs granulométries et leurs morphologies.

Dans la Partie IV nous rapporterons les résultats préliminaires d'une étude comparative et quantitative des diverses méthodes d'échantillonnages et d'analyses utilisées pour déterminer la concentration et la composition des poussières amiantifères. Cet essai a pour but d'évaluer l'utilité et la précision des différentes méthodes de mesures face à la nature particulière des poussières d'amiante.

Signalons toutefois que même si cette étude tente de bien caractériser les paramètres minéralogiques de l'empoussièrement amiantifère dans l'industrie de l'amiante, elle n'est pas pour autant une étude exhaustive et complète de toutes les mines et usines au Québec. L'envergure de l'étude étant limitée aussi bien dans le temps que par les moyens financiers et matériels disponibles, nous avons dû baser notre étude sur deux usines typiques de traitement de minerai d'amiante, soit celle de la Canadian Johns Manville à Asbestos et celle de la Lake Asbestos Mines à Black Lake. Concernant le secteur manufacturier, seulement trois fabriques différentes furent échantillonnées. Il en a été de même au niveau de l'échantillonnage où nous avons pu utiliser seulement des appareils simples, moins coûteux, et assez facilement disponibles. Les appareils d'échantillonnages spécialisés et plus sophistiqués n'étaient ni disponibles à court terme ni financièrement abordables.

I-C: Sommaire des travaux réalisés

Les travaux ont débuté fin novembre 1975, par des études bibliographiques et des compilations concernant les travaux antérieurs sur les poussières, sur les aspects minéralogiques et biologiques des minéraux d'amiante, et sur les appareils et les matériaux d'échantillonnage et d'analyses.

Les travaux d'échantillonnage ont débuté à la mi-janvier et ont continué jusqu'à la fin de mars 1976.

Les analyses, la compilation et l'évaluation des résultats ont été faits surtout de la fin février à la fin mai 1976.

I-C-1: Personnel

M. Claude Tardif, ing. a travaillé de décembre 1975 à février 1976.

Pendant les deux premiers mois, il a été responsable du travail bibliographique ainsi que de l'achat et de la préparation de l'équipement d'échantillonnage. Il a fait trois semaines d'échantillonnage pendant le mois de février.

M. André Carrier, M.Sc. ing., a travaillé de la mi-février jusqu'au début mai 1976. Il a fait un mois d'échantillonnage et il a participé à l'analyse des poussières et à la compilation et l'évaluation des résultats.

Etudiants, aides-techniques: Un total d'un mois et demi de travail, fourni par des étudiants, porta sur l'échantillonnage, la préparation des échantillons, sur les dessins et sur la mise en graphiques.

Les laboratoires de minéralogie de l'Université Laval ont été utilisés pour la préparation des analyses minéralogiques, y compris les comptages de fibres (sur membrane) et les comptages de particules (midget impinger). Pour ces derniers travaux, des techniciens expérimentés ont été engagés pour faire les comptages.

I-C-2: Equipement et matériel d'échantillonnage:

Nous nous sommes procurés trois échantillonneurs à grand débit, cinq échantillons personnels à faible débit, dits "pompes personnelles" et une vingtaine de "midget impinger".

Pour ce qui est du matériel, nous avons utilisé les filtres et cassettes normalement utilisés pour de tels travaux:

- i) Pour l'aspirateur à grand débit - filtre de fibre de verre ("type" high efficiency), 8" X 10";
- ii) Les "pompes personnelles" - filtre "Millipore" à 0.8 de porosité pour les comptes de fibres;
- filtre "Gelman" à 0.8 de porosité pour l'analyse gravimétrique.

Les deux types de pompes pour l'échantillonnage nécessiteront aussi de l'équipement de calibration.

I-C-3: Méthodes analytiques:

L'analyse des poussières d'amiante a été effectuée en utilisant diverses méthodes analytiques, comme suit:

- i) pesée;
- ii) analyse granulométrique (tamisage, balance sédimentologique, "Coulter Counter");

- iii) diffraction par rayons-X;
- iv) séparations minéralogiques dans des liquides lourds;
- v) mesures de susceptibilité magnétique;
- vi) observations microscopiques (en lumière ordinaire et en contraste de phase pour les comptages de fibre).

De plus, quelques exemples de poussières ont été examinés par voie d'images sur un microscope électronique.

I-C-4: Statistiques relatives à l'échantillonnage et aux analyses:

Echantillons volumineux de poussières (pompe à grand débit)	24
Mesures gravimétriques (pompe personnelle 31, à grand débit 24)	55
Filtres "millipore" exposés (dont 82 comptés)	98
Echantillons "Midget Impinger"	40
Echantillons de poussières sédimentées	35
Echantillons de minerais, rejets, etc...	22

PARTIE II: LA MINÉRALOGIE DES FIBRES D'AMIANTE en relation
avec ses modes d'occurrence, d'exploitation,
d'extraction et d'utilisation.

II-A: Introduction:

Toute une industrie primaire et plusieurs secteurs particuliers des industries manufacturières sont basés sur les minéraux d'amiante à caractère fibreux. Le chrysotile, si abondant au Québec, est de loin le plus important parmi ces minéraux d'amiante. Dans cette partie II nous jetterons la base technique des caractéristiques physiques et chimiques de l'amiante. Ceci sera suivi de descriptions et statistiques utiles à une familiarisation générale sur l'organisation et sur la structure de l'industrie de l'amiante au Québec. Un résumé des aspects techniques du traitement des minerais, de l'extraction de l'amiante et de ses utilisations industrielles terminera cette Partie II.

PARTIE II

II-B: Les aspects physiques et chimiques des minéraux d'amiante

B-1: Les amiantes et les structures des silicates

Le terme amiante est utilisé de façon générale pour désigner un ensemble de minéraux de nature fibreuse appartenant à deux groupes bien distincts: le groupe des serpentines, et le groupe des amphiboles.

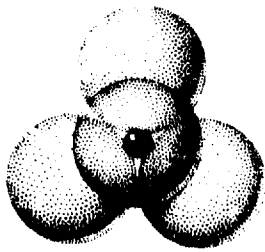
Avant d'aborder le sujet de façon plus précise, il serait bon de rappeler un certain nombre de notions de base. Les serpentines et les amphiboles appartiennent à la classe des silicates. A ce jour, les minéralogistes ont établi une classification des silicates fondée sur les modalités de liaisons entre les unités tétraédriques (groupements SiO_4). On retrouve donc six sous-classes principales qui diffèrent par l'arrangement mutuel des polyèdres tétraédriques:

- Les nésosilicates
- Les sorosilicates
- Les cyclosilicates
- Les tectosilicates
- Les inosilicates (Chain Silicates)
- Les phyllosilicates (Sheet Silicates)

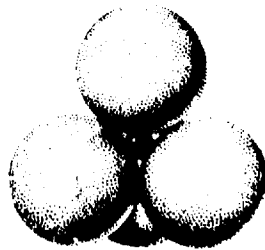
Les deux dernières nous intéressent plus particulièrement. Chez les inosilicates (Inos=fibre) on distingue deux groupes: les inosilicates à chaînes simples et les inosilicates à chaînes doubles. Les amphiboles appartiennent à ce dernier groupe. Dans le cas de chaînes doubles, les tétraèdres mettent alternativement en commun deux et trois atomes d'oxygène pour former des chaînes peu compactes constituées de mailles hexagonales. Le radical de la formule est $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{-6n}_n$. (Fig. B-1).

Chez les phyllosilicates (Phyllon=feuillet) on distingue trois groupes: le groupe à radical bivalent, à radical tétravalent et de remplacement. Les serpentines appartiennent au groupe dit à radical bivalent. Ici les tétraèdres (SiO_4) se trouvent réunis de façon à mettre en commun trois de leurs quatre anions oxygène avec des tétraèdres voisins. Cet arrangement est réalisé en liant ensemble, suivant un réseau bidimensionnel, c'est-à-dire en plan, plusieurs chaînes de tétraèdres formant un réseau plan à maille hexagonale. Le radical de la formule est $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$. (Fig. B-2).

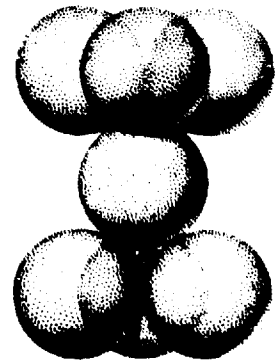
CLASSIFICATION DES SILICATES



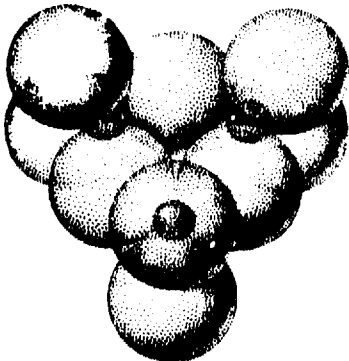
1- Tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{-4}$



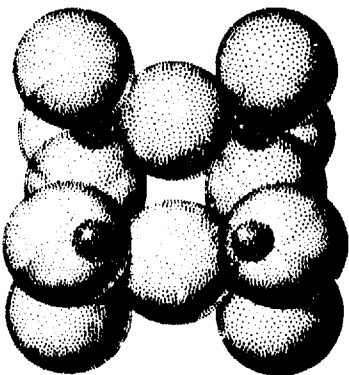
2- Nésosilicate $(\text{SiO}_4)^{-4}$



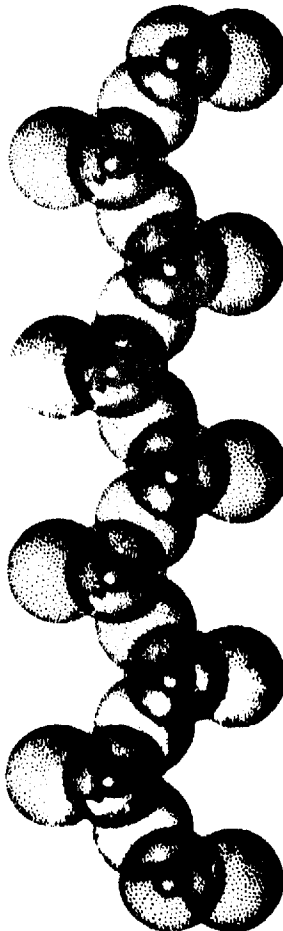
3- Sorosilicate $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$



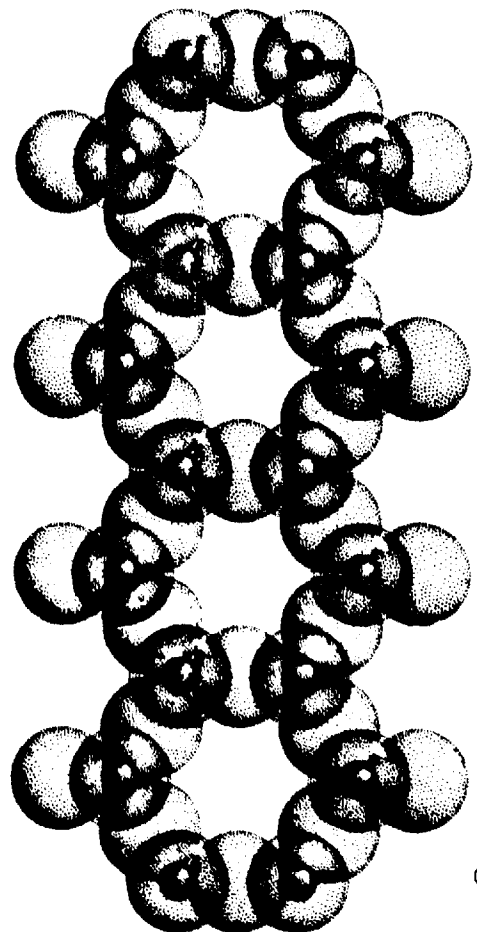
4- Cyclosilicate $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{-6}$



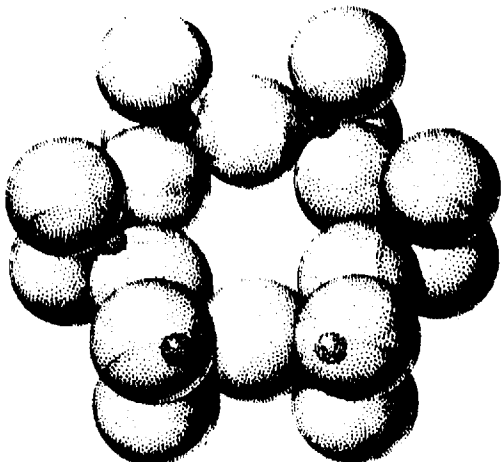
5- Cyclosilicate $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{-8}$



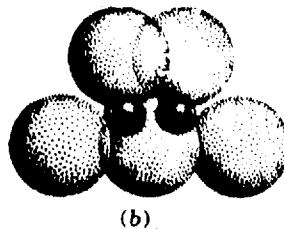
7- Inosilicate,
chaîne simple
 $(\text{SiO}_3)^{-2}$



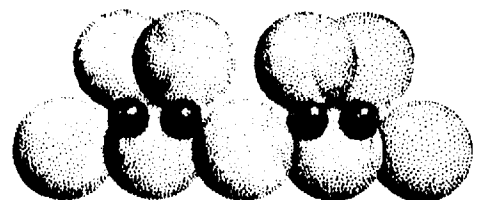
8- Inosilicate, chaîne
double $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{-6}$



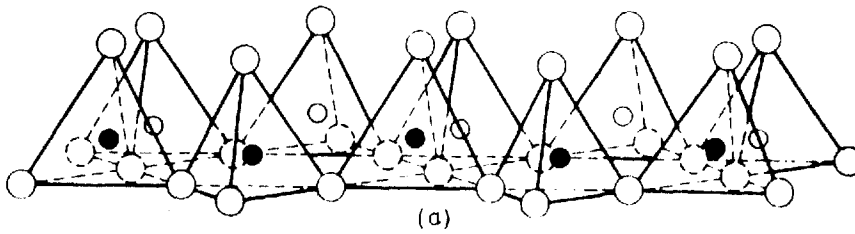
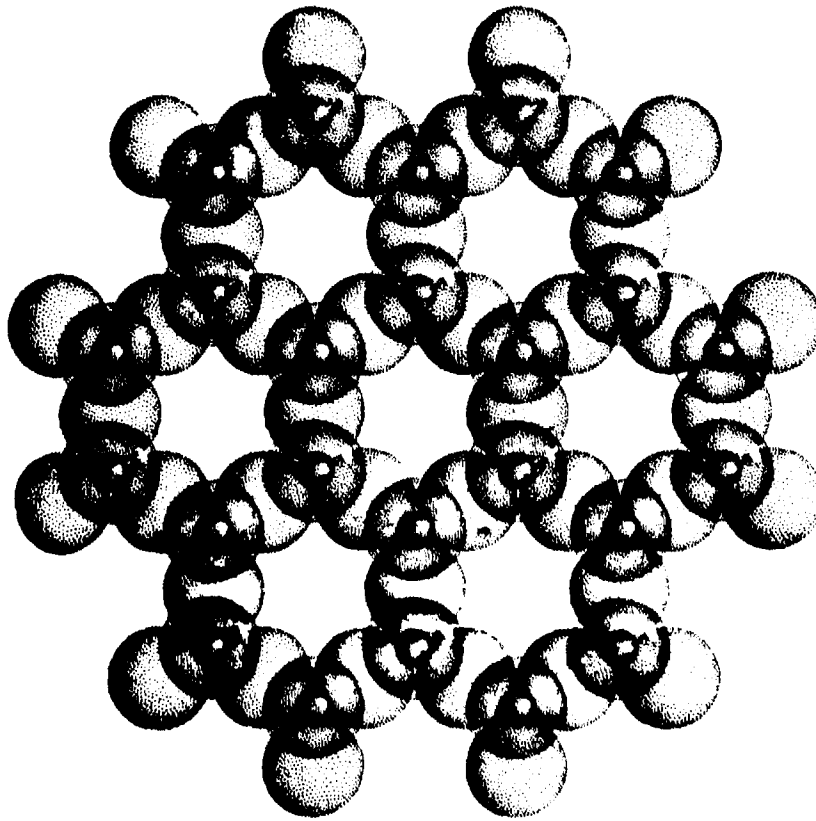
6- Cyclosilicate $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$



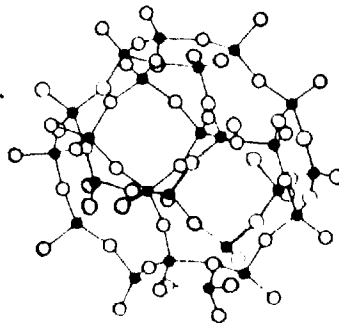
(b)



(b)



9- Phyllosilicate $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$



10- Tectosilicate SiO_2

Figure B-2

II-B-2: Le chrysotile - paramètres minéralogiques, chimiques et physiques

A ce jour, on a retrouvé trois formes de serpentine: deux variétés dites à clivage parfait, la lizardite et l'antigorite, et une variété fibreuse, le chrysotile. Ce dernier est de loin le plus connu des minéraux de serpentine. On le retrouve normalement sous forme de fibre et il constitue la plus importante source commerciale d'amiante, soit environ 95% de la production mondiale.

Structure du chrysotile: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

En dépit de son apparence fibreuse, il est bien établi que le chrysotile présente une structure en feuillets similaire à celle de la kaolinite. De façon plus précise, une partie du feuillet est constituée d'un réseau hexagonal de tétraèdres de SiO_4 dont les paramètres approximatifs sont $a = 5.3 \text{ \AA}$ et $b = 9.2 \text{ \AA}$ (couche tridymite). Tous ces tétraèdres ont leur pointe dirigée dans la même direction et à cette couche de tétraèdres se joint une autre couche d'octaèdres, dite couche brucite. (Figs. B3 et 4).

Comme Deer, Howie et Zussman le mentionnent dans leur ouvrage, "Rock-Forming Minerals" 1961, si l'on considère les dimensions respectives des deux couches, soit la couche tétraédrique (tridymite) et la couche octaédrique (brucite) avec les paramètres idéaux suivants:

Couche brucite	$a = 5.4 \text{ \AA}$
	$b = 9.3 \text{ \AA}$
Couche tridymite	$a = 5.0 \text{ \AA}$
	$b = 8.7 \text{ \AA}$

on constate que ces deux couches ne correspondent pas exactement lorsque

PHYLLOSILICATES

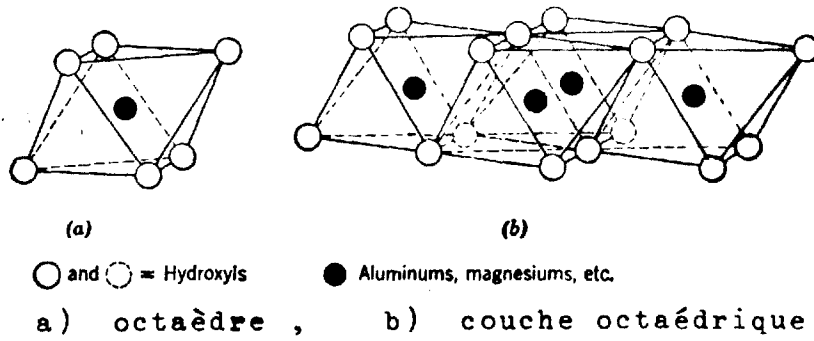
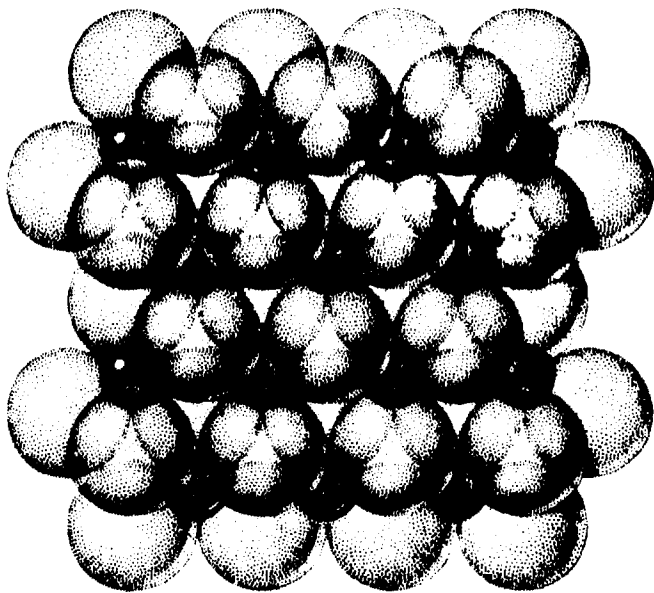
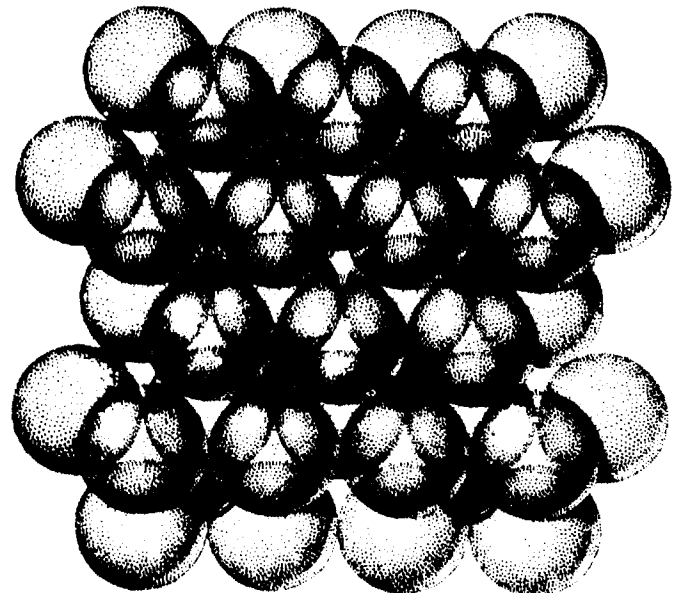


Figure B-3



couche trioctaédrique



couche dioctaédrique

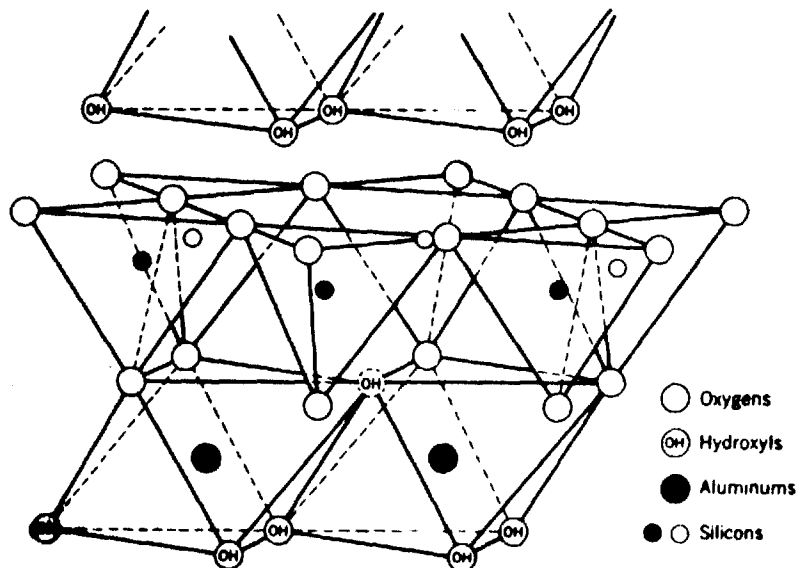


Figure B-4

Kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, type 1:1 dioctaédrique

reliées l'une à l'autre. Ici, Deer, Howie et Zussman font intervenir trois mécanismes pouvant amener une meilleure correspondance entre les couches de chaque feuillet:

- 1) substitution de Si par des ions plus volumineux dans la couche tétraédrique ou substitution de Mg par de plus petits ions dans la couche octaédrique;
- 2) distorsion du réseau d'octaèdres ou de tétraèdres;
- 3) courbure du feuillet, la couche tétraédrique étant alors du côté concave.

La morphologie de la fibre de chrysotile reflète très bien ce troisième point. Indirectement ce processus du réajustement peut également expliquer pourquoi le chrysotile admet si peu de remplacement. En effet, la courbure des feuillets réussit à elle seule à réajuster la structure, d'où la non-nécessité de remplacement pour arriver à cette fin. (Figure B-5)

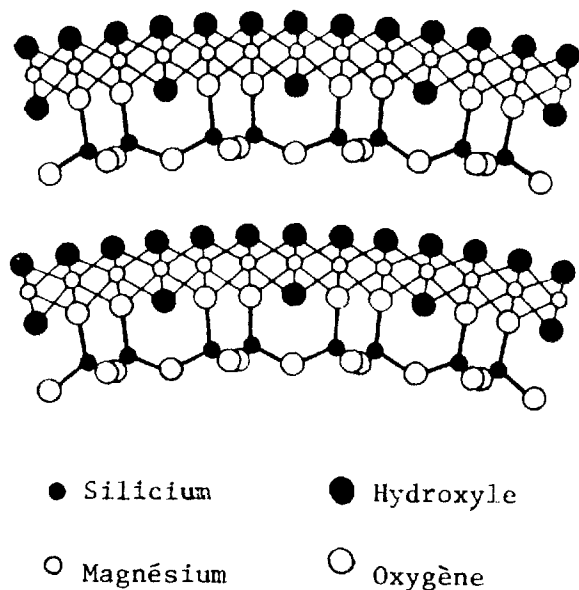


Figure B-5

Représentation schématique d'une portion de fibre de chrysotile. Chaque feuillet est composé d'une couche de tétraèdres de SiO_2 et d'une couche d'octaèdres de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Martinez, 1966)

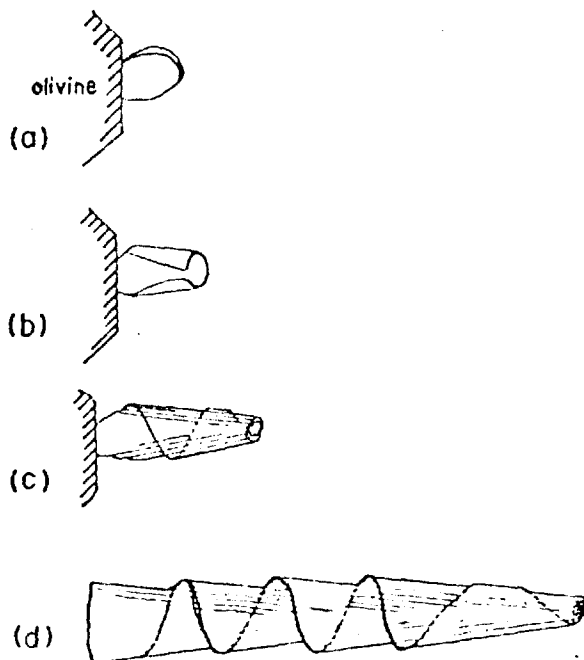


Figure B-6

Processus de croissance d'une fibre de chrysotile. (Yada, Iishi, 1975).

Morphologie de la fibre de chrysotile:

A ce jour, le fait suivant ne fait plus aucun doute: la fibre de chrysotile est constituée d'un feuillet enroulé sur lui-même. On peut se représenter cette fibre en imaginant comme un genre de vrille (Figure 6). On parle donc d'un enroulement en tire-bouchon, ou d'un enroulement hélicoïdal qui confère à la fibre une apparence tubulaire. Il est à noter que tous les auteurs ne s'entendent pas sur cette dernière affirmation: en effet, certains parlent de cylindres concentriques, d'autres parlent d'enroulements hélicoïdaux allongés et finalement plusieurs supposent l'existence de ces deux formes.

Ce "tortillement" de la fibre est justement dû au réajustement dont nous parlions précédemment. La couche octaédrique ($Mg(OH)_2$), plus grande que la couche tétraédrique (SiO_4), oblige le feuillet à se courber. De façon générale, on observe cette courbure autour de l'axe x, lui-même perpendiculaire à l'axe cristallographique c.

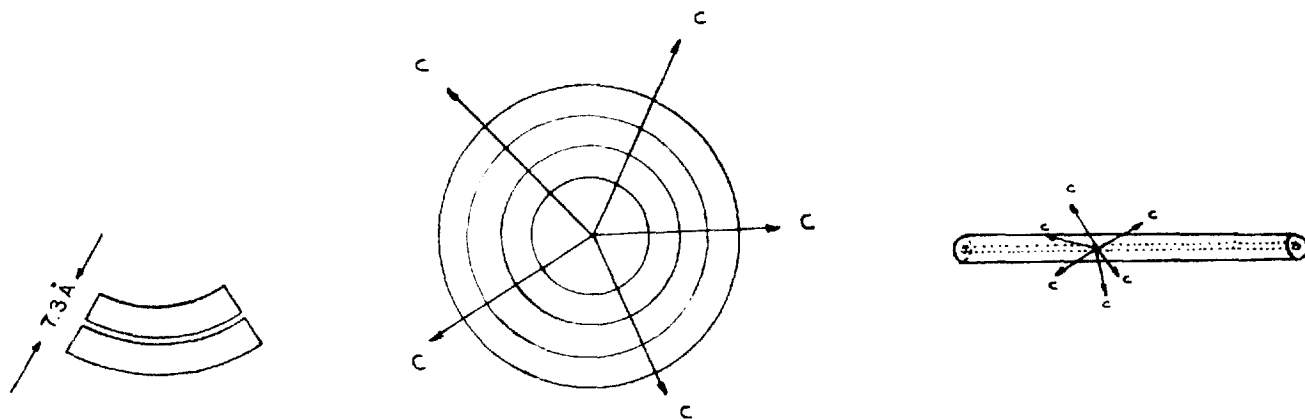


Figure B-7

a) un feuillet

b) une section

c) une fibre

Nous sommes amenés ici à faire une précision. Les "spécialistes" ont reconnu à date trois types de chrysotile: le clino-chrysotile, l'ortho-chrysotile et le para-chrysotile. Plusieurs détails au niveau de la structure atomique distinguent chacun de ces types. Qu'il nous suffise de mentionner ici que le clino-chrysotile est monoclinique et son enroulement se fait autour de l'axe x; l'ortho-chrysotile est orthorhombique et son enroulement se fait autour de l'axe y plutôt qu'autour de l'axe x. (Figure B-8)

Finalement, on peut se poser une dernière question: est-ce que ces "tubes" sont pleins ou vides ? Encore là, on ne s'entend pas dans la littérature. Mais on peut raisonnablement supposer que ces tubes peuvent contenir dans leur partie centrale, certaines matières amorphes ou cristallines, matières qui peuvent être distribuées à l'intérieur des tubes de façon aléatoire. Ainsi, selon la section observée, le tube pourra vous apparaître plein ou vide.

En fait, il peut être raisonnable de croire à l'une des trois hypothèses suivantes:

- 1) la plupart des fibres sont vides;
- 2) la plupart des fibres sont partiellement remplies;
- 3) la plupart des fibres sont pleines.

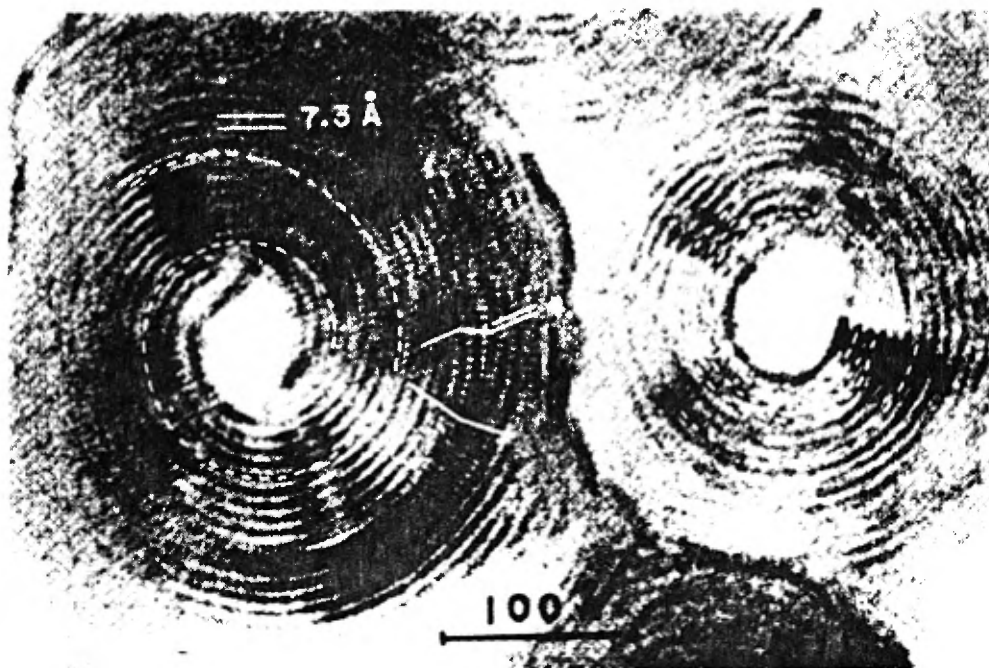
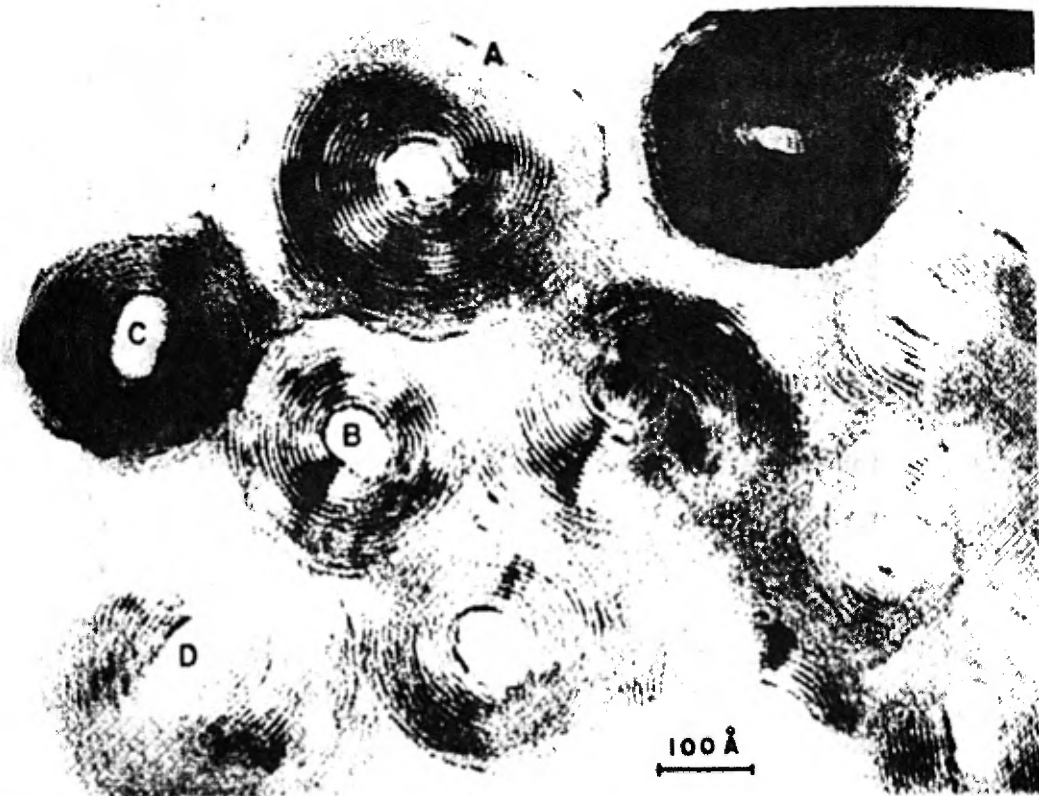


Figure B-8
Sections perpendiculaires à l'axe
d'enroulement des fibres. (Yada, 1971).

Composition chimique du chrysotile:

De façon générale, la composition chimique des minéraux de serpentine dévie très peu de la forme idéale établie, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Le chrysotile ne fait pas exception à cette règle et sa composition est relativement constante. (Tableaux I et II)

Certaines substitutions, apparemment moins nombreuses que pour l'antigorite et la lizardite, sont également observées chez le chrysotile. Les principales sont:

Si $\equiv$ Al

Mg $\equiv$ Al, Fe^{+2} , Fe^{+3}

Mg $\equiv$ Ni

A l'état de trace, on peut retrouver les éléments suivants, Cr, Cu, Pt et Ni. La présence de Ni en assez grande abondance donne une serpentine appelée garniérite. Chauffé à une température suffisante (680-750°F), le chrysotile libère son eau "structurale".

Tableau II-B-1

176

Sheet Silicates

Table 29. SERPENTINE ANALYSES

	Chrysotiles				Lizardites		
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
SiO ₂	41.80	41.97	41.83	42.02	41.80	41.26	44.29
TiO ₂	0.05	—	0.02	0.00	0.10	0.02	0.03
Al ₂ O ₃	0.11	0.10	0.30	0.52	0.19	0.54	2.18
Fe ₂ O ₃	0.68	0.38	1.29	0.19	0.93	1.32	0.50
Cr ₂ O ₃	0.003	—	—	—	0.003	—	—
FeO	0.05	1.57	0.08	0.11	0.06	0.09	—
NiO	0.00	—	—	—	0.00	—	—
MnO	0.04	—	0.04	0.03	0.04	0.07	—
MgO	42.82	42.50	41.39	41.44	42.67	41.84	40.43
CaO	0.10	—	tr.	0.00	0.19	0.02	0.03
Na ₂ O	0.03	—	—	—	0.02	—	—
K ₂ O	0.01	0.08	—	—	0.01	—	—
SO ₂	0.09	—	—	—	0.08	—	—
CO ₂	0.01	—	—	—	0.04	—	—
H ₂ O ⁺	14.04	13.56	13.66	14.04	13.88	13.68	12.42
H ₂ O ⁻	0.28	—	1.57	1.64	0.24	0.27	—
Total	100.11	100.26	100.18	99.99	100.25	99.80	99.88
α	—	1.549	—	—	—	—	1.545
β	—	—	—	—	—	—	1.545
γ	—	1.556	—	1.540	—	—	1.556
2V ^a	—	—	—	—	—	—	2°
D ^a	—	2.56	—	—	—	—	2.55

NUMBERS OF IONS ON THE BASIS OF 9(O,OH)

Si	1.921	1.945	1.955	1.954	1.925	1.924	2.001
Al	—	0.001	—	0.026	0.019	0.030	—
Fe ⁺⁺	—	0.014	—	0.001	0.032	—	—
Al	0.006	—	0.016	—	—	—	0.117
Fe ⁺⁺	0.024	—	0.045	—	—	0.046	0.018
Cr	—	—	—	—	—	—	—
Fe ⁺⁺	0.001	0.061	0.003	0.004	0.002	0.004	—
Mn	0.001	—	0.001	0.001	0.002	0.002	—
Mg	2.937	2.932	2.877	2.871	2.930	2.904	2.738
Ca	0.005	—	—	—	0.003	0.001	0.002
Na	0.001	—	—	—	0.002	—	—
K	—	0.004	—	—	—	—	—
(OH)	4.00	4.188	4.248	4.352	4.00	4.250	3.87
(H ₂)	0.079	—	—	—	0.066	—	—

1. Chrysotile, cross-fibre vein, Aboutville, New York (Kalousek and Muttart, 1957). Anal. W. E. Smith.
2. Chrysotile fibre, Danville area of Quebec, Canada (Pundsack, 1955a). Anal. T. Sopoci and R. Wiley (Includes 0.10 other oxides).
3. Chrysotile, cross-fibre vein (metamorphosed limestone occurrence), Transvaal (Brindley and Zussman, 1957). Anal. W. A. Deer.
4. Chrysotile, asbestos deposits, Gila County, Arizona (Nagy and Faust, 1956). Anal. J. J. Fahey.
5. Lizardite, matrix containing chrysotile vein of analysis no. 1, Aboutville, New York (Kalousek and Muttart, 1957). Anal. W. E. Smith.
6. Lizardite, matrix containing chrysotile vein of analysis no. 3, Transvaal (Unpublished). Anal. W. A. Deer.
7. Lizardite, white serpentine mineral, Kennack Cove, Lizard, Cornwall (Midgley, 1951; Whittaker and Zussman, 1956). Anal. L. J. Larner. 2nd analysis by W. A. Deer (Mean of two analyses given: formula calculated using cell volume and density).

† Includes 0.003 Ti.

‡ Includes 0.004 Ti.

§ Includes 0.001 Ti.

(Deer, Howie, Zussman, 1962)

Tableau B-1 (suite)

Serpentines

177

Table 29. SERPENTINE ANALYSES—continued

	Antigorites			Al-Serpentine		Ni-Serpentine
	8.	9.	10.	11.	12.	13.
SiO ₂	43.60	43.45	44.70	44.50	42.54	41.00
TiO ₂	0.01	0.02	0.00	0.00	—	—
Al ₂ O ₃	1.03	0.81	0.50	1.41	5.68	0.22
Fe ₂ O ₃	0.90	0.88	0.07	0.00	1.06	3.28
Cr ₂ O ₃	0.02	n.d.	—	0.06	—	—
FeO	0.81	0.69	0.29	0.35	0.74	0.40
NiO	0.18	n.d.	—	0.095	—	15.56
MnO	0.04	0.00	—	0.00	—	—
MgO	41.00	41.90	42.05	41.56	35.57	22.86
CaO	0.05	0.04	0.12	0.02	0.13	0.30
Na ₂ O	0.01	0.05	—	0.00	—	—
K ₂ O	0.03	0.02	—	0.00	—	—
SO ₃	—	—	—	—	—	—
CO ₂	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	12.18	12.29	12.43	12.36	18.26	9.74
H ₂ O ⁻	0.08	0.04	0.06	0.00	0.33	6.22
Total	99.92	100.19	100.22	100.36	99.36	99.58
a	1.5615	1.560	—	—	—	—
β	1.5660	1.563	—	—	—	—
γ	1.5670	1.564†	1.564	1.568	—	—
2V _a	47½°	55°	—	—	—	—
D	2.607	2.60	—	—	—	—

NUMBERS OF IONS ON THE BASIS OF 9(O,OH)

Si	2.028	2.022	2.060	2.055	1.970	2.225
Al	—	—	—	—	0.030	—
Fe ⁺⁺	—	—	—	—	—	—
Al	0.057	0.044	0.024	0.060	0.280	0.013
Fe ⁺⁺	0.032	0.030	0.024	—	0.037	0.134
Cr	—	—	—	0.001	—	—
Fe ⁺⁺	0.032	0.027	0.011	0.014	0.029	0.018
Ni	0.006	—	—	0.003	—	0.078
Mn	0.002	—	—	—	—	—
Mg	2.863	2.905	2.886	2.859	2.246	1.849
Ca	0.008	0.002	—	0.001	0.006	0.017
Na	0.001	0.004	—	—	—	—
K	0.001	—	—	—	—	—
(OH)	3.807	3.814	3.818	3.806	4.098	3.528

8. Antigorite, vicinity of Caracas, Venezuela (Hess *et al.*, 1952). Anal. L. C. Peck.
9. Antigorite, Cropp river, Mikonnui, New Zealand (Zussman, 1954). Anal. R. A. Howie.
10. Antigorite, "Yu-Yen Shi Stone", Pei-wa-ku and Lao-yeh-ling, Hsiu-yen-Hsien, Liaoning Province, Manchuria (Nagy and Faust, 1956). Anal. J. J. Fahey.
11. Antigorite, State Line pits, Lowes Mine, Rock Springs, Cecil County, Maryland, U.S.A. (Nagy and Faust, 1956). Anal. J. J. Fahey.
12. Aluminous chrysotile, Contact ravine, Markopidj river basin, North Caucasus (Serduchenko, 1945).
13. Ni-serpentine, hydrothermal vein in dunite, Webster, North Carolina, U.S.A. (Ross *et al.*, 1928). Anal. F. A. Gonyer.

† Kunze (1956) gives γ 1.568, 2V_a = 37°.

TABLEAU No. II-B-2
COMPOSITION CHIMIQUE ⁽¹⁾
(en %)

Variété et localisation	SiO ₂ Silicate	FeO Oxyde ferreux	Fe ₂ O ₃ Oxyde ferrique	Al ₂ O ₃ Alumine	MgO Magnésium	CaO Chaux	MnO Oxyde Magnèse	Na ₂ O Oxyde Sodium	K ₂ O Oxyde Potassium	H ₂ O— Eau —	H ₂ O+ Eau +
Chrysotile (Québec)	40.2	1.0	0.5	2.9	39.9	1.1	0.1	0.1	0.1	0.8	13.4
Chrysotile (Rhodésie Sud)	39.7	0.7	0.3	3.2	40.3	1.1	0.3	0.1	0.1	0.6	12.2
Chrysotile (Monts Oural)	38.1	1.3	1.4	5.0	37.7	2.2	0.1	0.1	0.1	0.8	11.1
81 Crocidolite (Province Cape)	50.9	20.5	16.9	nil	1.1	1.5	0.1	6.2	0.2	0.2	2.2
Crocidolite (Australie)	52.8	14.9	18.6	0.2	4.6	1.1	trace	6.0	0.1	0.2	2.8
Crocidolite (Bolivie)	55.7	3.8	13.0	4.0	13.1	1.5	trace	6.9	0.4	trace	1.8
Amosite (Transvaal)	49.4	40.6	0.1	nil	6.7	0.7	0.7	0.1	0.2	0.1	1.9
Anthophyllite (Finlande)	59.1	6.7	1.0	0.9	29.7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.5	2.4
Tremolite (Pakistan)	55.1	2.0	0.3	1.1	25.7	11.5	0.1	0.3	0.2	3.5	0.2
Actinolite (Province Cape)	53.8	25.3	2.0	1.2	4.3	10.2	0.4	0.4	0.1	0.2	2.6

(PERRAULT, 1974)

Quelques propriétés chimiques du chrysotile:

- 1) Le chrysotile est facilement décomposé par l'acide.
N.B.: L'antigorite y résiste beaucoup mieux.
- 2) En solution acide, les particules du chrysotile deviennent chargées positivement. Dans une solution alcaline, ou dans de l'eau distillée (sans CO_2), elles deviennent chargées négativement.
(Deer, Howie, Zussman).
- 3) La décomposition de la couche octaédrique (couche supérieure de $\text{Mg}(\text{OH})_2$) se trouve donc activée en solution acide et ralentie ou empêchée en solution alcaline.
- 4) Lorsque la fibre est chauffée entre 300°C et 650°C , elle perd environ 30% de son eau, et elle devient ainsi plus dure, moins flexible, ce qui améliore ses propriétés filtrantes. (Martinez 1966)
- 5) Le chrysotile accepte très peu de substitutions cationiques, la stabilité de sa structure étant associée à la courbure des feuillets, stabilité qui pourrait être grandement perturbée par la venue de cations indésirables.

Composition minéralogique de la fibre de chrysotile:

La fibre de chrysotile peut contenir un grand nombre d'impuretés. A l'analyse, on peut donc observer plusieurs oxydes distincts de ceux du chrysotile (MgO , SiO_2 , H_2O). La présence de ces oxydes est généralement attribuée à la présence de minéraux accessoires tels:

- les olivines $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 (\text{SiO}_4)$
- les pyroxènes $\text{XY}(\text{Si}_2)_6$
- la magnétite Fe_3O_4
- la chromite $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Cr}_2\text{O}_4$
- la brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- la magnésite $\text{Mg}(\text{CO})_3$
- l'awaruite FeNi_3

Parmi ces minéraux, ceux que l'on retrouve le plus communément comme partie intégrante de la fibre de chrysotile sont la magnétite, la brucite et la magnésite. Lors de la récupération du chrysotile, ces mêmes minéraux constituent une partie importante des poussières produites. (Tableau III)

Propriétés physiques du chrysotile:

- Densité: 2.2 à 2.6 g/cm³

C'est ici qu'entre en ligne de compte la question de l'absence ou de la présence de matériel à l'intérieur de ces "tubes". De fait, des déterminations de densité faites sur certains échantillons ont donné des valeurs plus grandes que les valeurs que l'on aurait pu prévoir dans le cas de "tubes" vides.

Exemples:

Valeur mesurée	Valeur théorique calculée si l'on ne suppose que des "tubes" vides
----------------	--

2.56 g/cm³

1.9 g/cm³

(Deer, Howie et Zussman)

- Dureté: 4 à 6 mohs
- Clivage: ———
- Flexibilité: Très bonne
- Force de tension: 80 à 100,000 lb/po²
- Résistance à la chaleur: Bonne. Devient cassante à haute température.
- Le chrysotile a une conductibilité thermique faible, due peut-être en partie à l'espace poreux entre les fibres. Cette qualité, ainsi que son incombustibilité, le prédestinent à jouer un rôle dans la protection contre les incendies.
- Faible conductibilité électrique
- Les fibres de chrysotile dites respirables, peuvent être alignées par des champs magnétiques, qu'elles soient en suspension dans l'eau ou dans l'air. (Timbrell)
- Pouvoir d'absorption: A 25°C avec un taux d'humidité de 100%, le chrysotile peut absorber jusqu'à 2.5% d'eau, causant ainsi une augmentation de volume de 6.7%. L'absorption de gaz tels l'azote, l'argon et le bioxyde de carbone n'est pas plus considérable que pour des matières non-fibreuses. Par contre, des quantités anormales d'ammoniac sont absorbées par cette fibre. Une telle sélectivité peut laisser songeur

Table 1: Thermogravimetric Analysis — *TABLEAU II-B-III*

Sample No.	Grade	Mine and Location	Dust-free Fibre				Dust from Fibre			
			Chrysotile	Brucite	Magnesite	Magnetite	Chrysotile	Brucite	Magnesite	Magnetite
	<u>Eastern & Northern Canada</u>									
1	Advocate A25	: Baie Verte, Newfoundland	93.1	0.8	1.0	1.1	80.8	3.0	0.7	3.1
2	Bell 4T-500	: Thetford Mines, Quebec	89.4	1.4	0.7	3.4	72.6	4.2	0.5	3.4
3	BC-4T	: British-Canadian Mine, Quebec	89.1	4.0	0.8	3.8	74.2	6.8	0.7	6.4
4	Carey 4T-1	: East Broughton, Quebec	76.5	17.3	2.1	12.0	68.2	14.7	3.1	10.9
5	Flintkote 4T-104	: Thetford Mines, Quebec	92.7	2.6	1.4	1.8	77.2	4.1	3.1	7.9
6	JM-4T-30	: Jeffrey Mine, Quebec	90.7	2.0	1.0	2.3	75.5	6.6	0.6	5.0
7	NH-450	: Asbestos Hill, Ungava	96.2	2.7	1.1	0.6	80.4	10.3	4.9	3.2
8	N-479-4T	: Normandie Mine, Quebec	89.6	0.6	1.2	2.4	73.2	0.9	2.6	3.6
	<u>Western Canada</u>									
9	Cassiar AS	: Cassiar, British Columbia	96.7	0.2	0.7	0.6	84.2	0.4	1.9	6.1
10	Clinton CT	: Clinton Mine, Yukon	95.3	0.4	1.5	1.0	81.2	1.3	3.2	3.9
	<u>Europe & Asia</u>									
11	Balangero 5K	: Torino, Italy	89.4	0.4	0.4	2.3	74.3	0.3	0.1	5.1
12	Cyprus 3S	: Almandos Mine, Cyprus	90.4	1.1	1.1	0.1	82.3	2.9	1.6	1.9
13	M1 (0-55-25-20)	: China	86.2	0.3	4.1	0.8	70.5	1.7	17.1	2.3
14	P-3-60	: USSR	94.3	1.2	0.9	1.6	80.8	2.7	2.0	4.2
	<u>Southern Africa</u>									
15	C&G/4	: Shabanie Mine, Rhodesia	87.4	0.8	4.1	1.8	67.0	2.3	10.7	3.4
16	HVL/4	: Havelock Mine, Swaziland	94.3	1.0	1.2	0.3	85.9	3.3	4.8	0.7
17	VRA/K4	: King Mine, Rhodesia	89.6	5.6	0.9	1.2	79.5	9.8	1.5	2.9
	<u>Australia</u>									
18	CCA-65-80	: Woodsreef Mine, N. S. W.	87.4	0.5	0.6	0.4	70.6	1.1	1.8	2.4

(MONKMAN, 1975)

Propriétés optiques du chrysotile:

Paramètres cristallins (Whittaker, 1956).

	<u>Clino-chrysotile</u>	<u>Ortho-chrysotile</u>	<u>Para-chrysotile</u>
a Å	5.34	5.34	5.3
b Å	9.25	9.2	9.24
c Å	14.65	14.63	14.7
Bêta	93.16°	90°	90°
	Monoclinique	Orthorhombique	Orthorhombique
	C2/m	Pmna	Pmna
Axe de la fibre	x	x	y

Propriétés optiques:

- Indice de réfraction: 1.53 - 1.57
- Angle 2V: ———
- Dispersion: ———
- Couleur: jaune, blanc, gris-vert; incolore à vert pâle en lame mince.

Les propriétés optiques du chrysotile sont difficilement identifiables à cause premièrement de la courbure du feuillet fondamental, et aussi à cause de l'orientation aléatoire de la fibre autour de son axe d'enroulement.

Principaux pays producteurs

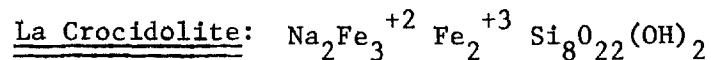
- Canada: Québec, Colombie-Britannique, Ontario, Terre-Neuve, Yukon.
- URSS: Monts Oural.
- Rhodésie: Afrique

II-B-3: Le groupe des amphiboles

Le groupe des amphiboles englobe un grand nombre de minéraux dont plusieurs peuvent présenter une texture fibreuse. Le radical de base de tous les membres du groupe est Si_4O_{11} . Les chaînes doubles de tétraèdre sont reliées entre elles par des cations facilement remplaçables tels: Na, Ca et K et aussi Mg, Fe^{+2} , Fe^{+3} , Al, Mn^{+2} , Mn^{+3} et Ti.

Les amphiboles que l'on considère comme amiante sont: la crocidolite, l'amosite, l'anthophyllite, la trémolite et l'actinolite. La nature fibreuse de ces minéraux est due non pas à l'enroulement sur lui-même d'un feuillet comme dans le cas du chrysotile, mais bien à la structure en chaîne des molécules, plus apte à conférer une structure allongée et fibreuse au minéral.

De façon générale, les amphiboles contiennent beaucoup moins d'oxyde de magnésium que les serpentines (rarement plus de 30%).



La crocidolite est la variété fibreuse de riebeckite, et représente approximativement 4% de la production mondiale d'amiante. Le terme "amiante bleu" sert souvent à désigner ce type d'amiante. La crocidolite est en fait un membre extrême de la série glaucophane-riebeckite. $(\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 - \text{Na}_2\text{Fe}_3^{+2}\text{Fe}_2^{+3}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$

Structure:

La crocidolite, l'amosite, la trémolite et l'actinolite appartiennent toutes à la famille des clinoamphiboles. Leur structure correspond à la structure de la trémolite. (Figure 9)

Composition chimique:

De façon générale, très peu d'échantillons de riebeckite présentent la composition idéale du terme extrême de la série: les crocidolites, par exemple, présentent souvent moins de sept cations. Le nombre d'ions (Ca, Na, K) est moindre que le nombre de sites disponibles. Souvent ces sites vacants sont occupés par Mg plutôt que par Fe. A l'analyse, les crocidolites montrent donc une grande variété de composition. On attribue ces variations à la présence d'impuretés.

Il est à noter que la riebeckite non fibreuse retient son eau structurale à des températures plus élevées que ne le peut son équivalent fibreux, la crocidolite.

Propriétés physiques et optiques:

A cause du grand nombre de substitutions possibles, les propriétés physiques et optiques des membres de cette série peuvent varier grandement.

Les substitutions majeures sont: $Mg \rightleftharpoons Fe^{+2}$
 $Al \rightleftharpoons Fe^{+3}$

La largeur moyenne des fibres de crocidolite est d'environ 600 Å.

Provenance:

La crocidolite est exploitée commercialement en Afrique du Sud.
Des quantités infimes sont également extraites en Australie et au Brésil.

L'amosite:

Les membres de la série cummingtonite-grunérite $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ présentent généralement un habitus aciculaire.

L'amosite est la variété fibreuse de cette série. Elle se rapproche davantage de la grunérite par son rapport $\text{Fe}/(\text{Fe}, \text{Mg}) = 0.87$ (Harwood, 1975).

La composition chimique de l'amosite varie considérablement: il semble que ces variations soient dues à des impuretés de quartz, magnétite, d'hématite et goethite qui souvent ne peuvent être détectées que par rayons-X.

Propriétés physiques et optiques:

Les propriétés optiques sont variables et fonctions de la composition molaire. (Deer, Howie et Zussman)

Provenance:

L'amosite est exploitée en Afrique du Sud.

Trémolite-Actinolite:

Les membres de la série trémolite-actinolite-ferroactinolite $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $\text{Ca}_2\text{Fe}_5^{+2}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ présentent souvent un habitus fibreux. Cette fibre constitue apparemment la première fibre à laquelle on ait donné le nom d'amiante.

Composition chimique:

Arbitrairement on peut définir la trémolite, l'actinolite et la ferroactinolite en fonction du pourcentage de $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

Trémolite:	0 à 20%
Actinolite:	20 à 80%
Ferroactinolite:	80 à 100%

Propriétés physiques et optiques:

Les variations des propriétés optiques sont directement reliées à la substitution de Mg par Fe^{+2} .

Provenance:

La trémolite et l'actinolite fibreuses se retrouvent surtout dans la région des Apalaches, tant du côté américain que du côté québécois.

L'anthophyllite:

L'anthophyllite est orthorhombique, contrairement aux autres amphiboles déjà étudiées qui sont monocliniques. Sa composition chimique est identique à celle de la cummingtonite, la teneur en Fe étant normalement plus élevée chez cette dernière toutefois. (Figure 10)

Composition chimique:

La formule idéale représentant l'anthophyllite est $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_7 \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$
Les variations majeures de composition sont reliées à la substitution $\text{Mg} \longrightarrow \text{Fe}^{+2}$.

Propriétés optiques et physiques:

Là aussi ces propriétés sont directement reliées à la composition chimique. Les fibres sont généralement fragiles, cassantes et faibles en tension; elles sont donc peu utiles au tissage et sont utilisées plutôt dans le ciment et comme matériau isolant.

Provenance:

On retrouve ce minéral en Norvège, au Groënland et aux Etats-Unis (Pennsylvanie, Montana et Caroline du Nord).

RESUME DES PROPRIETES DES AMPHIBOLES

	Crocidolite	Amosite	Anthophyllite	Trémolite-Actinolite
Composition chimique	$\text{Na}_2\text{Fe}_3^{+2}\text{Fe}_2^{+3}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}_5\text{Mg}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Système cristallin	Monoclinique	Monoclinique	Orthorhombique	Monoclinique
Groupe	C2/m	C2/m	Pmna	C2/m
a	9.72	9.89	18.5-18.6	9.86
b	17.95	18.26	17.7-18.1	18.10
c	5.31	5.30	5.27-5.32	5.29
Bêta	103°55'	110°	90°	104°42'
Indice de réfraction	1.7	1.64-1.73	1.60-1.70	1.61-1.69
Dispersion	forte	faible	—	faible
Pléochroïsme	bleu prussien bleu indigo vert jaunâtre	jaune à brun très pâle	faible	absent ou relié à la teneur en fer
Couleur	bleu foncé en lame mince, bleu foncé à jaune-vert	brun	blanche grise brune	trémolite: incolore à gris actinolite: vert pâle à foncé
Densité (mg/cm ³)	3.0-3.4	3.2-3.6	2.9-3.3	2.98-4.36
Dureté (mohs)	6	6	6	5-6
Force en tension (lb/po ²)	500,000	175,000	4,000 et moins	5,000 et moins
Flexibilité	bonne	bonne	faible	faible
Filage	passable	passable	faible	faible
Résistance à la chaleur	faible peut fondre	bonne - casse à haute température	très bonne	passable à bonne
Résistance à l'acide et aux alcalis	bonne	bonne	très bonne	trémolite: bonne actinolite: passable

Tableau B-V

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES FIBRES D'AMIANTE

	Chrysotile	Amosite	Anthophyllite	Crocidolite	Trémolite	Actinolite
Chaleur spécifique B.T.U./lb/°F	0.266	0.193	0.210	0.201	0.212	0.217
Force de tension moyenne lb/po ²	80-100,000	175,000	4,000 et moins	500.000	5,000	1,000 et moins
Température à la perte maximum de poids °F	1800	1600-1800	1800	1200	1800	—
Propriétés filtrantes	lente	rapide	moyenne	rapide	moyenne	moyenne
Charge électrique	positive	négative	négative	négative	négative	négative
Point de fusion °F	2770	2550	2675	2180	2400	2540
Filage (filer)	très bon	passable	faible	passable	faible	faible
Résistance aux acides et alcalins	faible	bon	très bon	bon	bon	passable
Contenu en magnétite	0-5.2	0	0	3-0-5.9	0	—
Impuretés minérales	fer - chrome - nickel - chaux	fer	fer	fer	chaux	chaux - fer
Flexibilité	très bonne	bonne	faible	bonne	faible	faible
Résistance à la chaleur	bonne. Cassante à haute température	idem	très bonne	faible, fond	de passable à bonne	—
Sels ionisés, micro-mhos	1.82	1.34	0.58	0.85	—	—
Couleur	vert. De gris à blanc	brun-jaunâtre	brun-jaunâtre. Quelques fois presque blanc	bleu	blanc	verdâtre

Traduit du prospectus de vente de Canadian Carey Mine.

II-B-4: Résumé des propriétés de l'amiante pouvant avoir des effets biologiques et normes d'exposition

Il ne s'agit pas pour nous de faire la compilation complète et encore moins l'évaluation des causes possibles des maladies industrielles de l'amiante qui ont été suggérées par les médecins et les biologistes. Toutefois, les causes possibles qui ont été mises en évidence semblent se regrouper en trois grandes catégories, chacune étant surtout liée à des propriétés physiques ou chimiques particulières.

1ère catégorie - effets purement physiques et mécaniques reliés à la forme fibreuse et à la taille des fibres.

2e catégorie - effets physico-chimiques reliés aux diverses caractéristiques de surface de la fibre (surface spécifique, charge, etc...).

3e catégorie - effets purement chimique où la toxicité dépendra de la mise en solution de l'amiante et de la libération d'éléments tels le Mg, Ni et Cr et/ou de composés organiques.

Les effets généralement cités pour les trois catégories de causes sont comme suit:

1) Paramètres physiques et effets mécaniques:

- a) diamètre des fibres: les fibres dont le diamètre est plus grand que 0.5 μm peuvent détruire la morphologie de la cellule: les fibres plus petites peuvent ne pas avoir d'effet immédiat similaire.
- b) longueur des fibres: les fibres peuvent s'accumuler dans les tissus si leur longueur est plus grande que le diamètre des cellules, c'est-à-dire approximativement 10 μm (microns).

2) Propriétés de surface:

Par exemple, en ce qui concerne le chrysotile, la fibre canadienne est plus cytotoxique que la fibre rhodésienne et il semble que ce soit dû à la plus grande surface spécifique de la première. Les amphiboles fibreux sont aussi moins cytotoxiques que le chrysotile canadien.

Charge de surface:

- i) Amphiboles: à des "valeurs physiologiques" de pH, les amphiboles sont chargées négativement.
- ii) Chrysotile: porte une charge positive dans les mêmes conditions de pH. Cette charge est de beaucoup supérieure en intensité à la charge négative des amphiboles. Cette charge négative est due à la présence de $Mg(OH)_2$ à la surface des fibres de chrysotile, laquelle lui donne son affinité pour les protéines qui réduisent sa cytotoxicité. La lixiviation du magnésium de la surface diminue la charge ainsi que l'affinité pour les protéines.

3) Solubilité:

- a) les fibres d'amphiboles sont stables dans les tissus et donc non sujettes à la dégradation physique ou chimique.
- b) les fibres de chrysotile peuvent se désintégrer dans les tissus: il s'agit d'un processus de lixiviation du magnésium de la fibre entraînant des changements dans les propriétés de surface ainsi que la libération des éléments nocifs notés plus haut.

Cette mise en évidence des causes et effets dans les trois grandes catégories prouve qu'elles n'ont que très peu en commun. Il faut toutefois noter que les effets biologiques de l'amiante peuvent donner naissance à au moins deux pathologies différentes: les fibroses (amiantose) et les tumeurs cancéreuses (mésothéliomes); ce qui peut expliquer, en partie, la divergence de vue des chercheurs en la matière.

II-B-5: LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAU NO.

- B-I Composition chimique des serpentines
- B-II Composition chimique des serpentines
- B-III Analyse thermogravimétrique de la fibre de chrysotile
- B-IV Résumé des propriétés des amphiboles
- B-V Propriétés physiques des fibres d'amiante

FIGURE NO.

- B-1 Structure des inosilicates à chaîne double
- B-2 Structure des phyllosilicates
- B-3 Couche octaédrique
- B-4 Structure de la kaolinite et du chrysotile
- B-5 Courbure du feuillet élémentaire à chrysotile
- B-6 Formation de la fibre de chrysotile
- B-7 Morphologie de la fibre de chrysotile
- B-8 Enroulement de la fibre de chrysotile
- B-9 Structure de l'anthophyllite

- Cornelius, S.H., (1971) - Dana's Manual of Mineralogy, Ed. 18, John Wiley and Sons, Toronto, 578 p.
- Deer, W.W., Howie, R.A., Zussman, (1962) - Rock-Forming Minerals, Vol. 2, Chain Silicates, Longmans, Toronto, p. 150-250.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, (1962) - Rock-Forming Minerals, Vol. 3, Sheet Silicates, Longmans, Toronto, p. 170-193.
- Martinez, E., (1966) - Chrysotile Asbestos: Relationship of the Surface and Thermal Properties to the Crystal Structure. Transactions of C.I.M.M., Vol. LXIX, p. 414-420.
- Maser, M., Rice, R.V. et Klug, H.R., (1960) - Chrysotile Morphology. American Mineralogist, 45, p. 680-688.
- Monkman, L.U., (1975) - Mineralogical and Chemical Contaminants in Graded Milled Chrysotile, Conf. Intern. sur l'Amiante, Université Laval, art. 3.13.
- Morgan, A., (1975) - The Physical and Biological Properties of the Asbestos Standard Reference Samples Prepared Under the Auspices of the U.I.C.C., Confér. Intern. sur l'Amiante, Université Laval, art. 8.36.
- Timbrell, V., (1975) - Alignment of Asbestos Fibers by Magnetic Fields, Confér. Intern. sur l'Amiante, Université Laval, art. 7.33.
- Whittaker, E.J.W., (1956) - The Structure of Chrysotile. II Clino-chrysotile, III Ortho-chrysotile, IV Para-chrysotile. Acta Cryst., 9, p. 855-862.
- Whittaker, E.J.W., (1975) - The Structure of Chrysotile, V Diffuse Reflections and Fiber Textures. Acta Cryst., 10, p. 144-156.
- Whittaker, E.J.W., (1963) - Chrysotile Fibers - Filled or Hollow Tubes? 6th Inter. Cryst. Congress, Rome. August 1963, reported in Chem. World, (Sept. 30), p. 34-35.
- Yada, K., (1971) - Study of Microstructure of Chrysotile Asbestos by High Resolution Electron Microscopy. Acta Cryst., A 27, p. 659-664.
- Zussman, J., (1959) - A Re-Examination of the Structure of Tremolite. Acta Cryst., 12, p. 309-312.
- Ledoux, R., (1972) - Cristallographie. Notes de Cours. Université Laval.
- Perrault, M., (1974) - Notre Amiante. C.S.D. Octobre, 141 p.
- Yada, K., Iishi, K., (1970) - Microstructure of Synthetic Chrysotile and Lizardite Observed by Lattice Imaging Method. Confér. Intern. sur l'Amiante. Université Laval, art. 3.9.

PARTIE II

II-C- Les mines et minerais d'amiante au Québec

II-C-1: Les producteurs d'amiante au Québec (voir Tableau C-1)

La production canadienne d'amiante a été en 1974 de 1,810,000 tonnes d'une valeur de \$346 millions. Toute cette production n'était constituée que de chrysotile. Approximativement 80% de la production totale provenait du Québec. Au cours de l'année qui vient de s'écouler (1975), le Québec aurait toutefois enregistré une baisse d'environ 35% de ses expéditions de fibres de chrysotile, comparativement à l'année 1974 où l'on avait enregistré un total de 1,536,571 tonnes. Les prévisions pour 1975 sont de l'ordre de 1,000,000 de tonnes. Cette réduction considérable dans le total des expéditions québécoises est due aux facteurs suivants:

- 1) En décembre 1974, le moulin de la King Beaver, d'une capacité de 12,000 tonnes par jour, est détruit par un incendie.
- 2) En janvier 1975 un glissement de terrain d'importance amène un ralentissement notable de la production à la Canadian Johns-Manville d'Asbestos.
- 3) En mars 1975, une grève force l'Asbestos Corporation, la Lake Asbestos of Quebec, la National Asbestos, la Bell Asbestos et la Carey-Canadian à interrompre leurs opérations. L'activité ne devait reprendre que sept mois plus tard.

Actuellement, tous les gisements exploités au Québec le sont par les cinq compagnies suivantes:

	<u>% de la produc. québécoise</u>
1- Asbestos Corporation Limited - Thetford Mines, Québec.	30%
2- Bell Asbestos Mines Limited Thetford Mines, Québec.	4%
3- Canadian Johns-Manville Co. Limited Asbestos, Québec.	45%
4- Carey-Canadian Mines Limited East Broughton, Québec	6%

5- Lake Asbestos of Quebec Limited

15%

Black Lake, Québec.

National Mines Division (avant 1973, la

National Asbestos Mines Limited)

Thetford Mines, Québec.

II-C-2: Concernant les mines, usines et minerais

Les cinq producteurs d'amiante au Québec opèrent dix mines, dont huit dans les Cantons de l'Est, une importante dans le Nouveau-Québec et une dernière de très petite taille en Abitibi (voir le Tableau C-1). Tous ces gisements sont exploités à ciel ouvert; dans deux cas, cependant, la mine comprend une exploitation à ciel ouvert et souterraine. Globalement, à peine 8% de l'exploitation totale provient d'opérations souterraines, avec 92% provenant de carrières.

L'extraction de la fibre à partir des minerais est effectuée dans neuf usines de concentration dont la capacité journalière varie de 3,000 à 33,000 tonnes par jour. La capacité totale de ces usines d'environ 80,000 tonnes de minerai et de 4,800 tonnes de fibres d'amiante par jour.

Les minerais exploités au Québec contiennent en moyenne 6% de fibre récupérable. Certains de ces minerais sont plus riches (7 à 7.5% à C.J.M.; 8-10% à Asbestos-Hill, Nouveau-Québec) tandis que les teneurs dans les autres gisements sont de l'ordre de 5 à 5.5%.

Le tableau C-1 indique l'ordre de grandeur des réserves mesurées dans ces dix gisements; elles varient de 15 à 400 millions de tonnes de minerai, pour un total d'environ 600 à 700 millions de tonnes. Ces réserves mesurées signifient une durée d'exploitation de 10-12 ans pour les mines les moins importantes et de 25 à 40 ans pour les mines les plus

Tableau C-1
Les producteurs québécois d'amiante 1975
(Operators List 1, janvier 1975)

Compagnie	Localisation	Capacité du moulin (tonne courte de mi- néral/jour)	Réserves mesurées en millions de tonnes (MT) Longévité indiquée	Remarques
1) <u>Asbestos Corporation</u>				Le plus important producteur pendant d'amiante au monde.
Mine Asbestos Hill	Putunig, Nouveau-Québec Carte Topo: 35H/3 Canton 7918	6,000	25 MT 10 à 12 ans	Mine à ciel ouvert. Production nouvelle de 300,000 tonnes de croisé. Transformation finale à Denham, Allenagne de l'Ouest; 100,000 tonnes de fibres. En opération de mars à la fin octobre.
Mine British Columbia - nadian	Black Lake, Canton Lorraine. Carte Topo: 21L/3	Moulin No. 1 6,600 Moulin No. 2 5,800	40 MT 12 à 15 ans	Mine à ciel ouvert.
Mine King Beaver	Thetford Mines, Canton Thetford. Carte Topo: 21L/3	Moulin détruit	20 MT 10 ans	Mine à ciel ouvert et souterrain. Moulin détruit par un incendie, Décembre 1974.
Mine Normandie	Black Lake, Canton d'Ireland. Carte Topo: 21L/3	7,500	25 MT 10 à 12 ans	Mine à ciel ouvert.
2) <u>Lake Asbestos of Quebec Limited</u>	Black Lake, Canton d'Ireland. Carte Topo: 21L/3	9,000	50 MT 20 à 25 ans	Mine à ciel ouvert. A acheté actifs de la National Asbestos Mines Limited.
National Mines Division	Thetford Mines, Canton Thetford. Carte Topo: 21L/3	3,500	12 MT 12 ans	Mine à ciel ouvert.
3) <u>Carey-Canadian Mines Limited</u>	East Broughton, Canton Broughton. Carte Topo: 21L/6	6,000	45 MT 25 à 30 ans	Mine à ciel ouvert
4) <u>Bell Asbestos Mines Limited</u>	Thetford Mines, Canton Thetford. Carte Topo: 21L/3	3,000	10-15 MT 10 à 15 ans	Mine à ciel ouvert et souterrain
5) <u>Canadian Johns-Man- ville Company Limited</u>				Exploitant du plus important gisement d'amiante au monde (Except U.R.S.S.).
Mine Jeffrey	Asbestos - Canton Shipton. Carte Topo: 21E/13	33,000	400 MT 40 ans	Mine à ciel ouvert.
Mine Bolduc	Canton Carpentier, Abitibi 12 milles à l'est de Barraute			Projet de 2 ou 3 ans. Traitement final effectué à la mine Jeffrey
TOTAUX:		80,400 T/jr	600-700 MT	

importantes. Considérant que de telles réserves mesurées ne représentent qu'environ les deux tiers du potentiel éventuel de ces mêmes gisements, on peut conclure que les réserves principales d'amiante dans les gisements connus peuvent maintenir la production actuelle pour presque cinquante ans.

II-C-3: Producteurs éventuels et anciens producteurs:

Certaines compagnies sont à évaluer des gisements prometteurs qui pourront éventuellement entrer en production si les études de rentabilité s'avèrent positives. Trois propriétés semblent très intéressantes:

- 1^o - Sur la propriété d'Abitibi Asbestos Mining Company Limited, située à 52 milles au nord d'Amos, des travaux importants d'évaluation, financés par Brinco, ont été effectués. Les réserves prouvées à date sont de 100 millions de tonnes de minerai avec une teneur approximative de 4% de fibres appartenant aux groupes 4, 5, 6 (Vagt. 1974).
- 2^o - En 1973, l'évaluation de la propriété de McAdam Mining Corporation Limited, située à environ 20 milles à l'est de Chibougamau, était en cours. La zone principale renfermerait ("geological reserves") 105 millions de tonnes de minerai ayant une teneur de 3.42% de fibre. Trois autres zones renfermeraient 86.3 millions de tonnes avec une teneur de 3.55% de fibre (Vagt. 1974).
- 3^o - La compagnie d'exploration Pathfinder Resources a, en 1972-73, procédé à une étude de rentabilité sur un dépôt situé à environ 2.5 milles d'Asbestos dans les Cantons de l'Est. On aurait alors évalué le tonnage possible à 49 millions de tonnes. Des estimés antérieurs, effectués sur la même propriété, auraient révélé les valeurs suivantes: 18.6 millions de tonnes avec une teneur de 4.68% de fibre d'amiante et 20.0 millions de tonnes avec une teneur de 3.87%.

Parmi les anciennes mines et/ou anciens producteurs figurent notamment les opérations suivantes:

1. Depuis 1973 la National Asbestos Mines Limited "a été absorbée" par la Lake Asbestos of Quebec Limited. On parle donc maintenant de la National Mines Division.
2. La Flintkote Mines Limited, qui opérait une exploitation à ciel ouvert à l'est de Thetford Mines, a fermé ses portes au début des années 1970.
3. L'Asbestos Corporation a abandonné toute exploitation à la mine Vimy au début des années 1970.
4. La Nicolet Asbestos Mines Limited opérait une exploitation à ciel ouvert à environ dix milles au nord d'Asbestos. On a mis fin à la production en 1969.
5. Deux compagnies furent absorbées par l'Asbestos Corporation en 1964; la Johnson's Company Limited exploitait alors la King mine de Thetford Mines et la Johnson's Asbestos exploitait la British Canadian mine de Black Lake. Depuis lors, ces gisements exploités par l'Asbestos Corporation portent le nom de mine British Canadian.
6. Quebec Asbestos Corporation a cessé ses activités en juin 1958 et a été remplacée par Carey-Canadian Mines.

II-C-4: Bibliographie et références:

- Vance, A.G., - Asbestos Industry Suffers through Troubled Year dans The Northern Miner, 27 novembre 1975, p. B12.
- Operators List 1, - Metal and Industrial Mineral Mines and Processing Plants in Canada, publié par le Ministère de l'Energie, Mines et Ressources. Ottawa, janvier 1975, p. 52-58.
- Vagt, G.O., - Asbestos Minerals Yearbook. Ministère de l'Energie, Mines et Ressources, Ottawa, 1973, No. 4, 9 p.
- Tiphane, Marcel - L'Amiante au Québec. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. Direction générale des mines. Québec 1973, E.S.-14, 124 p.
- Guide géologique du secteur minier de l'amiante du sud-est québécois, publié par l'Association des mines d'amiante du Québec, Canada 1972 32 p.

II-D- Le traitement des minerais d'amiante

II-D-1: Aperçu:

L'obtention de l'amiante débute par minage de façon très semblable à celle de nombreuses autres substances minérales.

Dès l'entrée à l'usine, cependant, le minerai d'amiante fait face à un procédé spécifique de traitement à sec, utilisant l'air comme moyen de séparation mécanique.

Le but de ce procédé est de séparer la fibre chrysotile de sa gangue rocheuse en soumettant le minerai à une séquence de traitements automatisés, qui affecteront aussi peu que possible les qualités de la fibre, et à la suite desquels l'amiante se présentera à l'emballage en une série de groupes respectant les standards des utilisateurs industriels.

On retrouve les mêmes opérations de base dans toute l'industrie mais, dans chaque usine donnée, le nombre et l'agencement des opérations de défibrage, de criblage et d'aspiration varient suivant la nature du minerai et de l'amiante à traiter et sont conçus en fonction de la qualité de la fibre à obtenir (rappelons que le marché est complexe, l'amiante possédant plus de 3000 utilisations).

II-D-2: Principes de traitement; évolution du minerai en traitement:

Le traitement du minerai sera normalement complet après avoir subi dans l'ordre les étapes de base suivantes:

- 1- extraction (minage à ciel ouvert)
- 2- préparation du minerai sec (concassage, séchage et souvent concentration -)

- 3- usinage de l'amiante - comprend l'extraction de la fibre de la roche (circuits à roche) et préparation de la fibre (circuits à fibre); et
- 4- mise au point du produit commercial (mélange, contrôle de la qualité et ensachage.

Ces quatre grandes étapes se subdivisent en opérations listées dans le schéma No. 1 et contre lesquelles on trouvera, sur les mêmes lignes horizontales, les sites échantillonnés pour les poussières, les appareils de traitement, le bilan de masse et des remarques correspondants.

L'usinage utilise des mouvements généraux

- du minerai de haut en bas (avec recirculations locales partielles),
- des fibres récupérables de haut en bas (suite à leur récupération par aspiration) et
- des poussières de bas en haut (jusqu'à leur extraction des sacs fil-trants).

Evolution du minerai en traitement:

(voir schémas Nos. 1 et 2):

Le minerai tout-venant est généralement extrait à ciel ouvert de façon conventionnelle et contient de 4 à 15% d'eau; il est composé d'environ 8% de chrysotile, 83% de serpentine, 4% de brucite, 4% de magnétite et de 1% de granite.

Concassage et séchage forment l'étape suivante et sont accompagnés, dans les usines modernes, par une concentration basée sur la résistance au broyage plus grande et l'attraction magnétique plus faible du matériel pauvre en fibres; ces opérations permettent d'éliminer jusqu'à 40% de la masse tout-venant sous forme de rejets allant de 5 pouces à 20 mailles.



Evolution du minerai d'amiante en traitement (modifié d'après G.F. Jenkins, "Asbestos", Industrial Minerals and Rocks (1960), AIME).

Le minerai sec contient alors moins de 2% d'eau et est enrichi à plus de 10% de fibre. On l'entrepose pour uniformiser l'alimentation et pour constituer une réserve contre les à-coups des opérations de concassage et d'extraction.

L'usinage proprement dit est un procédé à sec qui débute par l'extraction de la fibre brute dans les "circuits à roche" grâce à une série de comminutions par impact suivies de criblages avec aspiration.

A chaque répétition du procédé sur la fraction retenue du criblage, il y a rejet de la fraction passante et aspiration des fibres libérées pour les soustraire à la détérioration du concassage et de l'empoussièrement. Ces aspirations hâtives fournissent une série de concentrés de fibres de longueurs décroissantes qui ensuite subissent individuellement une préparation dans les "circuits à fibre".

Cette préparation de la fibre forme la deuxième partie de l'usinage proprement dit; elle consiste en répétitions de la séquence effilochage, classification et dépoussiérage. Les circuits à fibre séparent alors les fibres par longueurs et rejettent les débris de pierre et les poussières.

L'installation d'air est une partie essentielle de l'usinage de l'amiante; en effet, pour produire une tonne de fibre, huit tonnes d'air sont utilisées par le procédé et deux autres contrôlent la poussière. Cet air circule selon la méthode dite "pull through" et est entièrement filtré par des batteries de sacs filtrants.

Le schéma No. 3 illustre l'usinage de façon simplifiée et y souligne la localisation des prises d'air; le traitement des poussières récupérées est expliqué en détail sur le schéma No. 2.

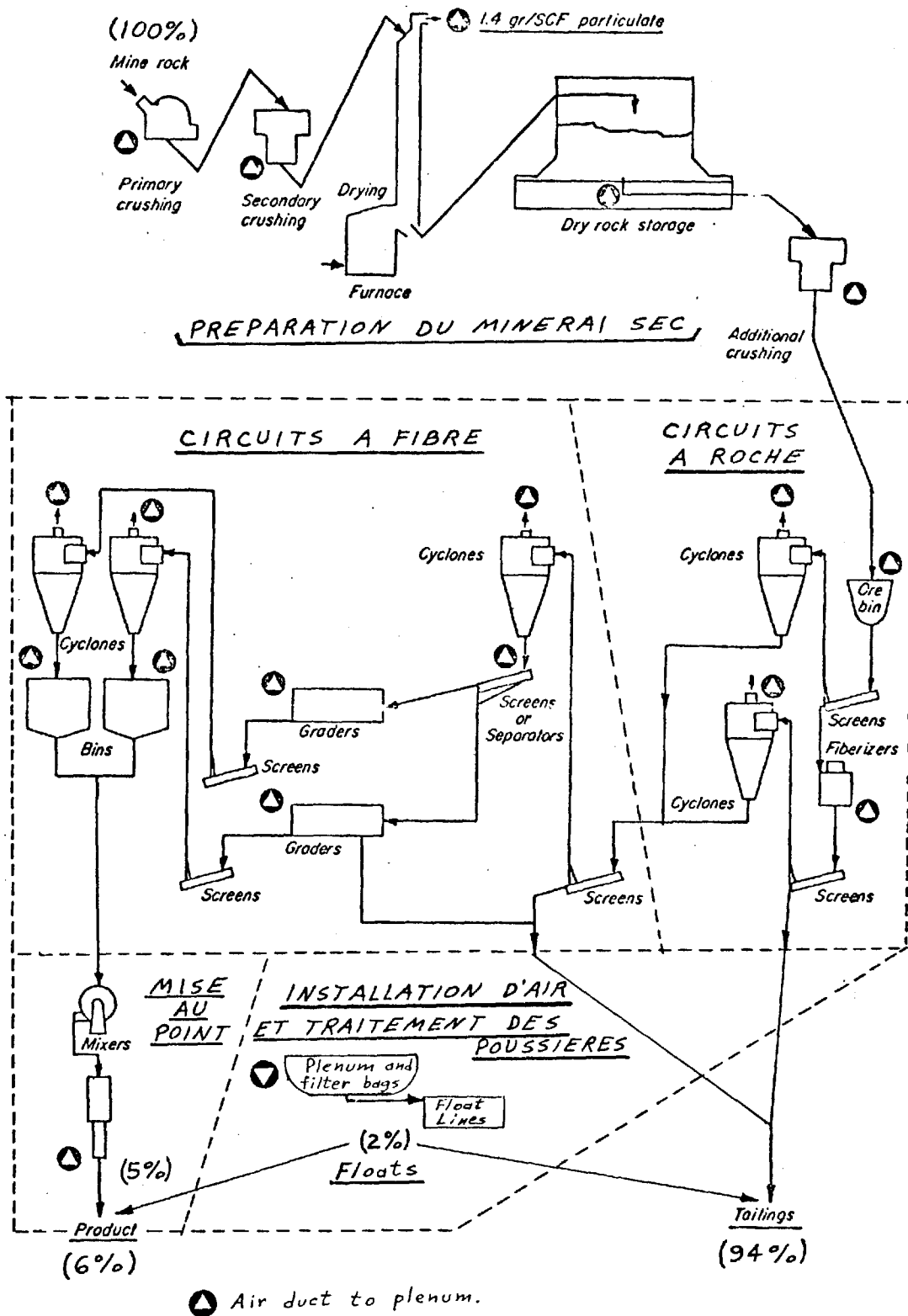


Schéma No 3

Procédé idéalisé de traitement soulignant les aspirations d'air.
(Modifié d'une publication de NIOSH)

Jusqu'ici, le procédé de traitement a réalisé la ségrégation de catégories de fibres accumulées dans leurs collecteurs respectifs.

Il reste donc à mélanger ces catégories, suivant les proportions fournies par le laboratoire de contrôle de la qualité, pour obtenir les produits commerciaux que l'on ensache et entrepose immédiatement.

Faits additionnels:

- vingt minutes de traitement suffisent pour expédier aux haldes la gangue contenue dans le minerai sec alimenté à l'usine;
- quelques heures d'arrêt, une fois la semaine, suffisent généralement à la pose des pièces requises par l'entretien normal;
- l'usinage est hautement automatisé et les ouvriers travaillent en nombre dans les zones d'emballage et d'expédition;
- à la Canadian Johns-Manville, l'atmosphère du moulin No 5 jouit d'un changement complet d'air toutes les cinq minutes.

II-D-3: Bilan de masse:

De façon générale, le minerai d'amianté chrysotile québécois fournit de 5 à 6% de fibre marchande; cette valeur résume donc le bilan de masse idéalisé (5^{ème} colonne du schéma No 1) aux proportions suivantes:

- 94% de rejets possiblement répartis comme suit:
 - la moitié éliminée en fragments de roche et sable lors de la préparation du minerai sec;
 - un quart en débris de roche voisinant 20 mailles et provenant des circuits à roche;
 - le dernier quart en débris et poussières traversant 48 et même 270 mailles lors du traitement dans les circuits à fibre;

il y a aussi une faible proportion de déchets rejetés lors du traitement des poussières;

- 6% de fibre marchande dont la moitié en groupes Nos 1 à 6 et le reste en groupe No 7 et en fines;

la proportion de fines supérieures aux besoins du marché est éliminée aux haldes.

II-D-4: Classification et prix des fibres d'amiante:

De nombreuses propriétés affectent la qualité des fibres d'amiante; leur longueur en est une primordiale et elle sert de base au système de classification "Essai standard du Québec" (voir Tableau D-1).

Dans cet essai, on détermine les proportions de fibres de différentes longueurs que contient un échantillon de 16 onces d'amiante en pesant le nombre d'onces de fibres retenues sur des tamis troués à 0.5, 0.187 et 0.053 pouce et sur le plateau inférieur; cet essai nécessite l'utilisation d'un appareil standard opéré selon des prescriptions définies.

TABLEAU No D-1
CLASSIFICATION DE L'AMIANTE CHRYSOTILE CANADIENNE
Essai standard du Québec

Subdivision par groupes de l'amiante chrysotile canadien
AMIANTE BRUT

La liste ci-dessous des grades standard a été établie par le Comité de normalisation de la classification et des grades des produits des mines d'amiante. Ce comité a été formé en 1931 à l'instigation du ministre des Mines de la province de Québec de l'époque. La liste des grades a été révisée à quelques reprises; la dernière révision date de janvier 1964.

Les produits des mines d'amiante sont divisés en deux catégories: "amiante brut" et "amiante traité", respectivement définis comme suit:

"Amiante brut" désigne de la matière choisie à la main, provenant d'une veine transversale et essentiellement dans sa forme originale ou non cardée.
"Amiante traité" désigne de l'amiante de toutes les catégories produites par traitement mécanique du minerai d'amiante.

L'amiante brut et l'amiante traité sont subdivisés en groupes désignés et définis ci-dessous:

Sauf spécifications contraires, la classification des grades d'amiante traité des groupes Nos 3 à 7 inclusive est effectuée au moyen de l'appareil d'essai standard du Québec, dont la description se trouve aux pages 19 à 24 du "Manual of Testing Procedures for Chrysotile Asbestos Fibre — 1966" (Manuel des méthodes d'essai de la fibre d'amiante chrysotile, 1966), et de la manière qui y est indiquée ou au moyen de la machine d'essai standard de l'amiante du Québec, modèle No 2, utilisée selon les prescriptions applicables à cette machine.

Essai à l'expédition

La valeur de l'essai à l'expédition est constituée par la moyenne des essais d'échantillons représentatifs pour chaque chargement de wagon ou expédition plus petite.

Essai minimum garanti à l'expédition

La valeur de l'essai minimum garanti à l'expédition est celle à laquelle l'essai d'expédition véritable ne doit pas être inférieur.

Catégorie	Désignation standard du grade	Description																																				
Groupe No 1	Brut No 1	Consiste essentiellement en fibres d'amiante brut de $\frac{3}{4}$ de pouce ou plus longues.																																				
Groupe No 2	Brut No 2	Consiste essentiellement en fibres d'amiante brut de $\frac{3}{4}$ de pouce à $\frac{3}{4}$ de pouce de longueur.																																				
	Brut tout venant	Consiste essentiellement en amiante brut non trié.																																				
	Bruts divers	Consistent en amiante brut autre que celui des grades indiqués ci-dessus.																																				
Groupe No 3	Amiante traité désignation standard des grades 3F 3K 3R 3T 3Z	Essai minimum garanti à l'expédition: <table><tr><td>10.5</td><td>3.9</td><td>1.3</td><td>0.3</td></tr><tr><td>7.0</td><td>7.0</td><td>1.5</td><td>0.5</td></tr><tr><td>4.0</td><td>7.0</td><td>4.0</td><td>1.0</td></tr><tr><td>2.0</td><td>8.0</td><td>4.0</td><td>2.0</td></tr><tr><td>1.0</td><td>9.0</td><td>4.0</td><td>2.0</td></tr></table>	10.5	3.9	1.3	0.3	7.0	7.0	1.5	0.5	4.0	7.0	4.0	1.0	2.0	8.0	4.0	2.0	1.0	9.0	4.0	2.0																
10.5	3.9	1.3	0.3																																			
7.0	7.0	1.5	0.5																																			
4.0	7.0	4.0	1.0																																			
2.0	8.0	4.0	2.0																																			
1.0	9.0	4.0	2.0																																			
Groupe No 4	4A 4D 4H 4J 4K 4M 4R 4T 4Z	<table><tr><td>0.0</td><td>8.0</td><td>6.0</td><td>2.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>7.0</td><td>6.0</td><td>3.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>5.0</td><td>8.0</td><td>3.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>5.0</td><td>7.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>4.0</td><td>9.0</td><td>3.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>4.0</td><td>8.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>3.0</td><td>9.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>2.0</td><td>10.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>1.5</td><td>9.5</td><td>5.0</td></tr></table>	0.0	8.0	6.0	2.0	0.0	7.0	6.0	3.0	0.0	5.0	8.0	3.0	0.0	5.0	7.0	4.0	0.0	4.0	9.0	3.0	0.0	4.0	8.0	4.0	0.0	3.0	9.0	4.0	0.0	2.0	10.0	4.0	0.0	1.5	9.5	5.0
0.0	8.0	6.0	2.0																																			
0.0	7.0	6.0	3.0																																			
0.0	5.0	8.0	3.0																																			
0.0	5.0	7.0	4.0																																			
0.0	4.0	9.0	3.0																																			
0.0	4.0	8.0	4.0																																			
0.0	3.0	9.0	4.0																																			
0.0	2.0	10.0	4.0																																			
0.0	1.5	9.5	5.0																																			
Groupe No 5	5D 5K 5M 5R 5Z	<table><tr><td>0.0</td><td>0.5</td><td>10.5</td><td>5.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>12.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>11.0</td><td>5.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>10.0</td><td>6.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>8.6</td><td>7.4</td></tr></table>	0.0	0.5	10.5	5.0	0.0	0.0	12.0	4.0	0.0	0.0	11.0	5.0	0.0	0.0	10.0	6.0	0.0	0.0	8.6	7.4																
0.0	0.5	10.5	5.0																																			
0.0	0.0	12.0	4.0																																			
0.0	0.0	11.0	5.0																																			
0.0	0.0	10.0	6.0																																			
0.0	0.0	8.6	7.4																																			
Groupe No 6	6D	<table><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>7.0</td><td>9.0</td></tr></table>	0.0	0.0	7.0	9.0																																
0.0	0.0	7.0	9.0																																			
Groupe No 7	7D 7F 7H 7K 7M 7R 7T 7W	<table><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>5.0</td><td>11.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>4.0</td><td>12.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>3.0</td><td>13.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>2.0</td><td>14.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>1.0</td><td>15.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>16.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>16.0</td></tr><tr><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>16.0</td></tr></table>	0.0	0.0	5.0	11.0	0.0	0.0	4.0	12.0	0.0	0.0	3.0	13.0	0.0	0.0	2.0	14.0	0.0	0.0	1.0	15.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	16.0				
0.0	0.0	5.0	11.0																																			
0.0	0.0	4.0	12.0																																			
0.0	0.0	3.0	13.0																																			
0.0	0.0	2.0	14.0																																			
0.0	0.0	1.0	15.0																																			
0.0	0.0	0.0	16.0																																			
0.0	0.0	0.0	16.0																																			
0.0	0.0	0.0	16.0																																			
Groupe No 8	8S	Moins de 50 livres au pied cube, non tassé.																																				
	8T	Moins de 75 livres au pied cube, non tassé.																																				
Groupe No 9	9T	Plus de 75 livres au pied cube, non tassé.																																				

(Tiré du Guide Géologique du secteur minier de l'amiante du sud-est

En 1975, ces groupes d'amiante étaient cotés aux prix suivants:

Classification	Prix (par tonne courte, f.o.b. mines, Québec)	
	au 1er janvier 1975	au 1er décembre 1975
Brut No. 1	\$2842.	\$3496.
No. 2	\$1544.	\$1899.
Groupe No. 3	\$685. - 1190.	\$891. - 1463.
No. 4	\$380. - 675.	\$492. - 829.
No. 5	\$255. - 340.	\$278. - 392.
No. 6	\$186. - 211.	\$236. - 244.
No. 7	\$ 77. - 171.	\$ 89. - 198.
Tiré du Cdn. Mng. Journ, Feb. 1976		

II-D-5: Statistiques de production:

Le Canada produit 40% de l'amiante mondial. Quatre cinquièmes de cette production vient du Québec et est constituée d'environ 2% de groupe no. 3, 21% de groupe no. 4, 13% de groupe no. 5, 18% de groupe no. 6 et 46% de groupe no. 7.

En 1974, les expéditions totales du Québec dépassèrent 1,500,000 tonnes courtes de fibre d'une valeur de \$234,000,000; cela correspond approximativement à 75,000,000 de tonnes de roche totale extraite et à 25,000,000 de tonnes de minerai usiné.

En 1975, un feu, une grève et un glissement de terrain réduisirent la production à 850,000 tonnes de fibre vendues \$176,000,000.

Au Québec, la capacité d'usinage atteint présentement 80,000 tonnes de minerai par jour et la capacité individuelle des usines varie de 125 à 1,500 tonnes à l'heure. L'emploi mobilise 6,800 personnes dont 80% travaillent dans la production.

PARTIE II-E

Les utilisations industrielles de l'amiante au Québec

II-E-1: Utilisations principales de l'amiante

Bien qu'il existe plus de 3,000 usages différents de l'amiante, on peut classer les utilisations principales comme suit:

Classe de produit	% moyen du tonnage total	Contenu en amiante	Groupes utilisés (qualité) de la fibre
- Amiante-ciment (tuyaux, feuilles, matériaux construits)	45%	10-16%	4, 5, 6 et 7
- Tuile à plancher Amiante-vinyle	17%	8-14%	7
- Produits de friction et garnitures	7%	10% (freins) 60% (garnitures)	3, 4 et 5
- Papier d'amiante	5%	80-90%	5 et 6
- Emballage et cal-feutrage	3-4%	50%	6 et 7
- Textiles	2-3%	85-90%	1, 2 et 3
- Autres (plastique, peinture, pavage)	20%	variable	variable

II-E-2: Les secteurs de transformation au Canada et au Québec

La consommation d'amiante par les industries de fabrication canadiennes est de l'ordre de 100 à 120,000 tonnes et la valeur de la production totale de celles-ci est d'environ \$100 millions. En comparaison, la moyenne de la production canadienne d'amiante brute est d'environ 1,500,000 tonnes (Québec 1,200,000 T ou 80%) ayant une valeur de \$270 millions.

Selon les classes de produits, la production des industries de fabrication au Canada est comme suit:

Classe de produit	% de la valeur de production (Total: \$100 millions)
1) Amiante-ciment	31%
2) Tuile à plancher	25%
3) Produits de friction, garnitures	21%
4) Papier d'amiante	9%
5) Tissus d'amiante	8%
6) Autres	6%

Cette production canadienne de produits industriels est réalisée par vingt usines principales, dont neuf situées au Québec, huit en Ontario et trois situées en Colombie Britannique.

II -E-3: Les industries de fabrication au Québec

Le Québec compte neuf manufacturiers principaux de produits d'amiante:

Compagnie	Localisation	Principaux produits
1) Canadian Johns-Manville Co. Ltd.	Asbestos	Textiles
2) Atlas Asbestos Co.	Montréal	Feuilles-tuyaux amiante-ciment
3) Asbestonos Corp.	St-Lambert	Matériel de friction, textiles
4) Cascade Paper	Kingsley Falls	Feutre et papier
5) Amer. Biltrite Rubber	Sherbrooke	Couvre-plancher
6) Domco Industries	Montréal	Couvre-plancher
7) Armstrong Cork. Can.	Montréal	Couvre-plancher
8) Asten Hill Ltd.	Valleyfield	Feutre (moulin à papier)
9) Joseph Robbs Co.	Montréal	Joints

En plus de ces neuf fabricants principaux, il y a dans la région de Montréal une autre douzaine de manufacturiers qui utilisent une très faible quantité d'amiante dans la fabrication en montant limité d'articles spéciaux tels obturateurs et emballages, dessous-de-plat, gants, goudron et ciment réfractaire.

PARTIE III

Nature et composition minéralogique des poussières d'amiante

Une étude minéralogique intégrée des poussières générées dans l'exploitation minière, dans l'extraction des fibres en usine et dans les utilisations industrielles des fibres d'amiante.

III-A: Introduction:

Dans cette partie nous établirons les caractéristiques minéralogiques des poussières d'amiante provenant d'endroits représentatifs des environnements de travail dans l'industrie de l'amiante. Etant donné que la nature des poussières rencontrées dans l'exploitation minière et dans l'extraction en usine reflète, en partie, la composition de la roche-mère qui accompagne l'amiante, nous présenterons d'abord un résumé de caractéristiques géologiques et pétrographiques des gisements d'amiante. En plus de présenter nos résultats d'analyses sur les poussières, nous offrirons une évaluation des méthodes analytiques les plus souvent recommandées dans la littérature.

III-B: Le cadre géologique des gisements et la pétrographie-minéralogie des minerais:

Cadre géologique (Voir figure III-B-1):

Essentiellement, les gisements d'amiante se trouvent dans des roches à serpentine. Bien que de telles roches puissent être dérivées de plusieurs genres de roches ultramafiques, les serpentines amiantifères

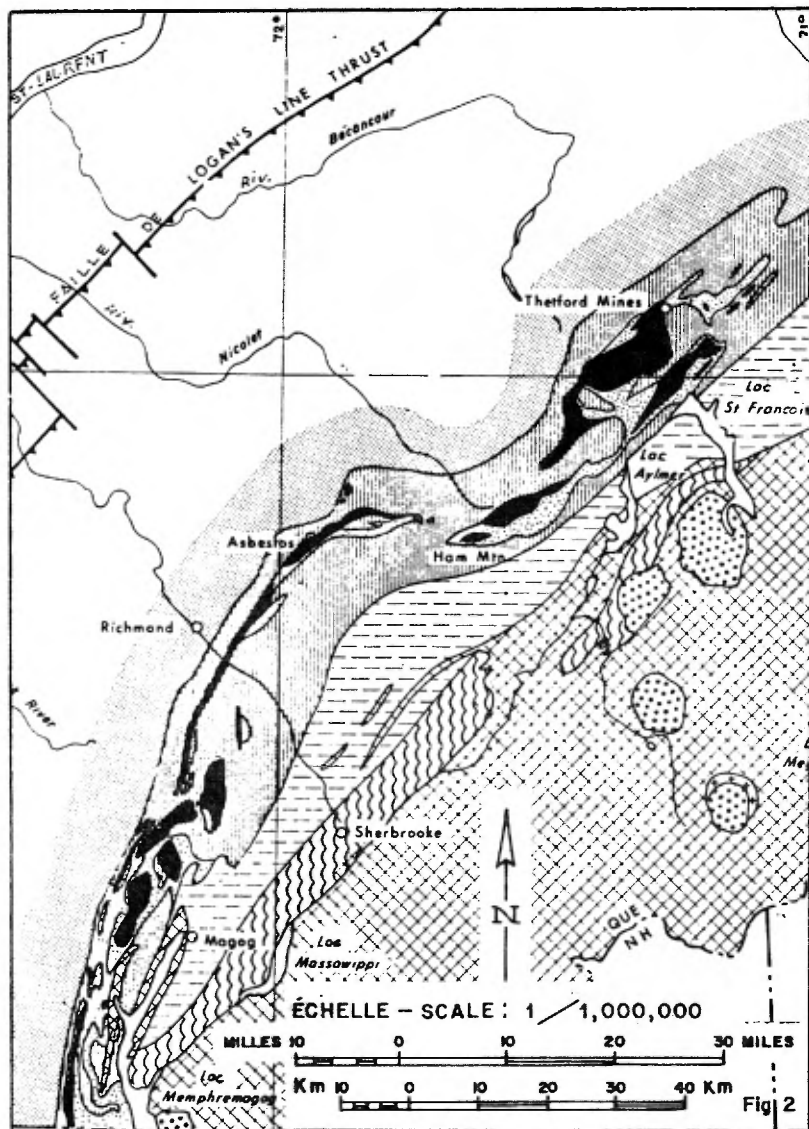


FIGURE — Tectonic map of the Appalachian region, southern Quebec.
III-B-1

CARTE TECTONIQUE DES APPALACHES-SUD DU QUÉBEC TECTONIC MAP OF THE APPALACHIAN REGION-SOUTHERN QUEBEC

(1) LAMARCHE 1971 - MODIFIÉE D'APRÈS CADY 1969, ST. JULIEN 1967
(1) LAMARCHE 1971 - MODIFIED AFTER CADY 1969, ST. JULIEN 1967

LÉGENDE — LEGEND

MÉSOZOÏQUE — MESOZOIC

INTRUSIONS ALKALINES DISCORDANTES DE LA SÉRIE PLUTONIQUE DES MONTERÉGIENNES
DISCORDANT ALKALIC INTRUSIONS OF THE MONTEREGIAN PLUTONIC SERIES

DÉVONIEN MOYEN (?) OU SUPÉRIEUR (?) — UPPER (?) OR MIDDLE (?) DEVONIAN
PLUTONS GRANITIKES DISCORDANTS DU TYPE STANSTEAD
DISCORDANT, STANSTEAD-TYPE, GRANITIC PLUTONS

SILURO-DÉVONIEN — SILURO-DEVONIAN
LE SYNCLINORIUM DE GASPÉ ET DU CONNECTICUT VALLEY, ET DES SYNCLINAUX DU LAC MEMPHRÉMAGOG ET DE SARGENT BAY
GASPÉ-CONNECTICUT VALLEY SYNCLINORIUM AND LAKE MEMPHREMAGOG / SARGENT BAY SYNCLINES

ORDOVICIEN MOYEN ET SUPÉRIEUR — MIDDLE AND UPPER ORDOVICIAN
LE SYNCLINORIUM DE ST. VICTOR
ST. VICTOR SYNCLINORIUM

ORDOVICIEN (?) INFÉRIEUR — LOWER ORDOVICIAN (?)
COMPLEXES OPHIOLITIKES : (a) ROCHE À GRAIN GROSSIER, SURTOUT DE COMPOSITION ULTRAMAFIQUE ET MAFIQUE ;
(b) ROCHE EFFUSIVE, DE COMPOSITION MAFIQUE, À GRAIN FIN, SURTOUT À COUSSINET
OPHIOLITE COMPLEXES : (a) COARSE-GRAINED ROCKS, MAINLY ULTRAMAFIC AND MAFIC ;
(b) FINER-GRAINED MAFIC EFFUSIVE ROCKS, MOSTLY PILLOWED

CAMBRO-ORDOVICIEN INFÉRIEUR — CAMBRO-LOWER ORDOVICIAN
BANDE DE SERPENTINE
SERPENTINE BELT
BANDE DES MONTAGNES STOKE
STOKE MOUNTAIN BELT
BANDE DE SUTTON-BENNETT
SUTTON-BENNETT BELT

des gisements dans les Cantons de l'Est dérivent presque uniquement de péridotite (type harzburgite). Ce fait confère aux roches-mères des gisements une constante pétrographique et minéralogique importante où les quelques variations observées sont surtout d'occurrence locale et très limitées, toutes proportions gardées.

Géologiquement, la roche-mère de péridotite fait partie de complexes ultramafiques serpentinisés, dit "ophiolites". Ces complexes très déformés présentent sous forme de lentilles ou amas irréguliers, mesurant de un à plusieurs milles de large et quelques dizaines de milles de long. Tous les gisements des Cantons de l'Est, sauf deux, se trouvent dans de tels complexes. La mine National et celle de Carey-Canadian par contre, se trouvent associées à une longue mais mince (1000 pieds) feuille ultramafique (dyke de Pennington) dans laquelle les transformations minéralogiques de serpentinisation sont plus poussées et plus variées que celles notées plus haut. A leur tour, ces masses de complexes ultramafiques, qui s'étendent de la frontière des Etats-Unis jusqu'à la région de la Beauce, se présentent dans une formation sédimentaire bien définie et très ancienne (Cambro-Ordovicienne) appelée "Sutton-Bennet".

Pétrographie et minéralogie de la roche-mère et des minerais:

La péridotite originale des gisements d'amiante avait la composition suivante: olivine magnésienne (forsterite) 85%; orthopyroxène magnésien (enstatite) 14%; et du spinel chromifère 1%. La granulométrie de cette roche était de taille moyenne à grossière; toutefois on remarque

que chaque grain de la roche est fracturé ayant même subi une granulation par endroit.

Cette roche-mère est toujours transformée en agrégats de minéraux appartenant surtout au groupe des serpentines. Cette serpentinitisation de la péridotite est très avancée sinon presque complète. La transformation de la péridotite en une roche serpentineuse contenant de l'amiante s'est effectuée en deux étapes distinctes:

1ère étape: consiste en une substitution partielle ou complète de l'olivine et du pyroxène par un assemblage de minéraux de serpentine appelé "lizardite-bastite" ou:

- 1-a) olivine → lizardite (maj) + brucite (min) + magnétite (tr.)
- 1-b) pyroxène → lizardite (maj) + magnétite (tr.) (= bastite)

2ième étape: formation, dans un deuxième temps, des veinules d'amiante dans des fractures plus tardives qui recoupent la péridotite déjà serpentinisée. Ces veinules peuvent mesurer 10 cm de largeur, mais la plupart mesurent moins de 25cm; elles sont le plus souvent accompagnées de magnétite. La formation de ces veinules de chrysotile s'est effectuée par la dissolution et aux dépens de la lizardite de l'étape 1 ci-haut:

- 2-a) lizardite → chrysotile + brucite + magnétite
- 2-b) lizardite → antigorite (souvent sous forme de "picrolite") + brucite

Ce chrysotile est composé presque uniquement de magnésie, de silice et d'eau. Lors de la dissolution de la lizardite, la plupart du fer accommodé dans la structure de la lizardite ne peut que très difficilement être accepté dans la structure du chrysotile et il est rejeté sous forme

de magnétite. Le peu de fer et d'aluminium accepté par le chrysotile détermine la qualité de la fibre, laquelle augmente lorsque le fer et l'aluminium diminuent.

Ces diverses transformations se sont effectuées à l'échelle macroscopique, microscopique et même sub-microscopique, ce qui implique des intercroissances de minéraux allant jusqu'aux plus fines granulométries et aussi la présence de fibres très fines dans les minerais qui sont pour la plupart non-récupérés.

Donc, les minéraux essentiels de ces transformations sont les suivants: lizardite, chrysotile, brucite et magnétite. Localement, il y a développement d'antigorite, tandis que les minéraux présents en très faible quantité sont le talc, la trémolite, la phlogopite, la magnésite; des traces de minéraux nickelifères, awaruite et heazlewoodite, sont aussi présents.

La serpentine dans le dyke de Pennington (mines National et Carey) montre toutefois une minéralogie caractérisée par de plus fortes proportions de talc, brucite, magnétite, trémolite, anthophyllite, carbonates et chlorite associées aux minéraux du groupe des serpentines.

En guise de résumé, rappelons que la plupart des minerais d'amiante ont la composition générale suivante:

lizardite	80%
chrysotile	10-15 (dont 6% récupérable)
brucite	2-3%
magnétite	1%
antigorite (varie inversement avec la lizardite)	2-30%
talc, magnésite, trémolite,	1%
olivine et pyroxène	1%

III-C: Echantillonnage:

En février-mars 1976, nous avons procédé à un premier échantillonnage dans le sud-est québécois, dans le but de nous procurer un ensemble d'échantillons de poussières provenant de divers sites dans les concentrateurs de minerai d'amiante et dans certaines mines de fabrication de produits à base d'amiante.

III-C-1: Endroits échantillonnés:

a) Les usines de traitement des minerais:

Notre échantillonnage dans le milieu minier a été confiné aux opérations d'extraction de fibres commerciales de la Lake Asbestos of Quebec Limited à Black Lake et de la Canadian Johns-Manville à Asbestos.

Tous les échantillons recueillis en usine sont indiqués sur deux tableaux en pochette (tableau No. 1 pour Lake Asbestos; tableau No. 2 pour Johns-Manville). On a choisi d'y représenter les sites et les numéros d'échantillons vis-à-vis les opérations leur correspondant; ces opérations se suivent dans l'ordre établi sur le schéma d'évolution du minerai en traitement (voir schéma No. 1, en pochette).

La distribution des échantillons se présente comme suit:

Etapas de traitement	Nombre d'échantillons (Total 63)		
	Air	SED (poussières sédimentaires)	SPECIAL
Préparation du minerai à sec	6	18	2
Circuits à roche (Usinage)	5	11	6
Circuits à fibre (Usinage)	4	5	-
Mise au point commerciale	2	2	-
Plenums	-	-	2

Il est à remarquer que les conditions d'empoussièrement dans l'usine ne sont pas constantes: les bris ou les blocages ainsi que les balayages sans aspirateur donnent des apports soudains. A remarquer aussi que la poussière échappée des appareils accompagne l'usure de ces derniers et que les deux croissent avec le temps.

Notons, enfin, que la grande majorité des ouvriers travaillent à l'ensachage et à l'entreposage; l'exception majeure consiste en ouvriers chargés de l'entretien qui eux, alternent entre la préparation des pièces et leur pose.

b) Le secteur manufacturier:

Pour ce qui est du secteur manufacturier, les fabriques de Canadian Johns-Manville (textiles et freins), de Armstrong Cork Industries (carrelages) et de Atlas Asbestos Co. (amiante-ciment) ont fait l'objet de campagnes d'échantillonnage. Nous y avons recueilli des échantillons de poussières dans l'air en vrac (7), des échantillons de poussière dans l'air sur membrane filtrante (22), des poussières sédimentées (5) et des échantillons des matières premières utilisées en usine (22).

Tous ces échantillons sont indiqués sur le Tableau No. 3. Les sites échantillonnés dans ces fabriques sont surtout les endroits où on fait le chargement des matières premières, dont l'amiante, ainsi que quelques sites où on usine et taille (sciage surtout des produits de l'usine). Etant donné que la fabrication se fait surtout par "batch", ces diverses opérations sont de durées intermittentes pour la plupart.

CANADIAN JOHNS-MANVILLE COMPANY LTD. (ASBESTOS, P.Q.)

Deux divisions appelées "Textiles" et "Produits industriels" logent l'industrie de transformation de Canadian Johns-Manville à Asbestos; l'usine actuelle n'est qu'une partie de l'ancienne usine, déménagée il y a quelques années suite à l'agrandissement de l'excavation à ciel ouvert.

L'usine opère six jours par semaine et vingt-quatre heures par jour; les deux divisions diffèrent passablement l'une de l'autre. En effet, d'un côté, les "Textiles" produisent trente types de fils et tissus (vendus au Canada et aux Etats-Unis). De nombreuses opérations mécaniques (Carding, Twisting, Winding, Weaning) traitent alors un matériel constitué essentiellement d'amiante en longue et fine fibre naturelle.

De l'autre côté, les "Produits industriels" fabriquent surtout un type (en diverses grandeurs) de frein de chemin de fer. On incorpore alors une vingtaine de substances dont 12% d'amiante court dans le "wearing" sous forme de grenaille que le procédé moule ensuite à chaud et sous pression hydraulique en un sabot formé d'un double segment (80% de "wearing" et 10% de "backing").

Nous avons échantillonné près de l'alimentation en amiante dans les deux divisions, aussi, près des cordes des textiles et près des meules et finition des sabots.

Normalement les constituants des textiles comprennent 85% de chrysotile (groupe 3 T 12) et un mélange de coton et rayonne; 10% de la production contient 95% de chrysotile (on y utilise alors le grade A de Cassiar). On forme certains fils autour d'un mince fil de laiton;

parfois on recouvre le fil d'amiante de résine acrylique.

Dans les produits industriels, le mélange du "wearing" sur les freins comprend: 12% de chrysotile (groupe 7 D 02)
15% de caoutchouc (crumb rubber)
11% carbone (carbon flour)
17% d'oxyde de fer (red iron oxide)
11% polymère (cashern polymer)
10% argile (Dixie clay).

Les autres constituants, en quantités moindres, et souvent pré-mélangés, comprennent: soufre, oxyde de zinc "capta", "méthyl twads", acide stearique, résine "black sterling 50", chromite de fer, "mineral rubber", etc...

L'usine de textiles consomme 800 tonnes de chrysotile par an; la résistance de ce dernier au feu et à la chaleur constitue sa principale propriété. On utilise les fils dans le matériel de friction, les petits joints et les feutres sécheurs de machine à papier (température et stabilité de ces feutres); les larges tissus servent au vêtement et comme écrans de soudure.

Le frein Cobra requiert 100 tonnes de chrysotile par an. Notons que l'amiante est plus abondant dans le "backing" qui doit absorber l'expansion différentielle et la chaleur. Dans le "wearing", il sert à renforcer et à donner de la stabilité (une fibre organique brûlerait sous la chaleur).

Lors de l'utilisation du frein, on rapporte que la chaleur transforme la majeure partie de l'amiante détruit en une poudre de silicate de magnésium non-fibreux; l'oxyde de fer ajoute au coefficient de friction; etc... Actuellement les formules de composition sont assez rigides (on vient, cependant, d'éliminer le plomb et des recherches se font sur les possibilités de substituts).

Des machines conçues spécialement pour carder l'amiante sont actuellement à l'essai à l'usine. Fabriquées en Allemagne et en Belgique, ces machines semblent conçues pour respecter une norme de salubrité inférieure à deux fibres/cc.

Nos résultats sont résumés au tableau No. 3.

ARMSTRONG CORK INDUSTRIES LTD. (BOUL. DECARIE, MONTREAL)

Cette usine, établie à Montréal il y a une trentaine d'années, est une filiale de la compagnie américaine Armstrong Cork. On y produit plusieurs variétés de revêtements de plancher (d'autres variétés sont disponibles aux usines affiliées).

Le procédé de fabrication de tuiles en amiante-vinyle se résume à préparer une pâte de poudres minérales, de fibres et de liants que l'on étend en feuille sur des rouleaux chauffés, dans la surface de laquelle on incorpore souvent des motifs variés, puis que l'on lamine et que l'on découpe enfin en carrelage.

Nous avons échantillonné à un seul endroit, soit dans la salle des mélanges, près d'une chute, où un sac d'amiante de 100 livres était versé toutes les vingt minutes. Après vidange, le sac est piétiné et empilé pour être jeté aux déchets.

Notre échantillon à grand débit présente un problème car il forme un agglomérat plastique. Lors de l'échantillonnage, le procédé incorporait une forte proportion de déchets de tuile et, occasionnellement, des chauffées de vapeurs âcres s'élevaient de la chute.

Les principaux constituants des tuiles amiante-vinyle comprennent 10 à 20% de chrysotile (groupes 7TS et 7R), 20 à 25% de liants (résines et plastifiants) et le reste des poudres minérales, essentiellement du calcaire 40 - mailles et de faibles quantités de pigments, tels les oxydes de fer, blanc de titane, pigments de cadmium (on utilise parfois des composés organiques). Parfois jusqu'à 20% de rebuts de production peuvent être incorporés dans le produit.

L'usine consomme une moyenne de 250 tonnes de chrysotile par mois. L'amiante est essentiel à la qualité de produit auquel il donne sa stabilité dimensionnelle (sans lui, à la longue, la tuile rétrécirait); l'amiante sert de matériel de charge et de renforcement, il aide même à laisser s'échapper des volatiles dans le laminage à chaud.

Nos résultats sont résumés au tableau No. 3.

ATLAS ASBESTOS COMPANY LTD. (RUE HOCHELAGA, MONTREAL)

Toute une gamme de produits en amiante-ciment proviennent de l'usine de Montréal d'Atlas Asbestos. Cette usine construite en 1946, agrandie en 1957, puis en 1963, constitue la division de fabrication de la Bell Asbestos Mines Ltd.

Les procédés utilisés dans chacune des deux principales subdivisions (à savoir les matériaux de construction et les tuyaux) se ressemblent beaucoup et consistent essentiellement à préparer un coulis d'amiante-ciment avec lequel on forme un feuillet (d'une façon analogue à la fabrication du papier journal); on obtient l'épaisseur désirée du produit en enroulant ce feuillet soit directement sur une forme à tuyau, soit sur un tambour (dans ce dernier cas, après découpage et enlèvement du tambour, on presse le matériau à sa forme finale); les produits obtenus subissent ensuite un séchage (à l'autoclave pour les tuyaux) et finalement un usinage à sec pour leur finition.

Nous avons échantillonné la poussière présente à deux endroits: au voisinage de la scie à diamant découpant les matériaux de construction et près du mélangeur alimentant en amiante la ligne de production des tuyaux, utilisant les méthodes d'échantillonnage décrites à la page 119 de la présente étude. Aucune transformation radicale de la fibre ne semble se produire (exception possible lors de production intermittente de matériaux spéciaux?).

Les proportions des constituants formant les produits courants

s'établissent comme suit:

a) Pour les planches murales:

13% à 40% d'amiante

60% à 87% de ciment Portland

b) Pour les tuyaux d'amiante-ciment:

13% à 40% d'amiante

33% à 35% de silice en poudre

25% à 54% de ciment Portland

c) Pour les isolants en panneaux:

13% à 40% d'amiante

33% à 40% d'agréats légers

27% à 54% de ciment Portland

L'usine consomme annuellement 9,600 tonnes de fibre d'amiante des groupes 4 à 7 . Ce total comprend 9,000 tonnes de chrysotile provenant de Johns-Manville, de Bell Asbestos et de Cassiar, et 600 tonnes d'amosite.

La flexibilité, la résistance à la corrosion et la nature isolante de l'amiante expliquent son emploi dans ses produits.

Nos résultats sont résumés au tableau No. 3.

ECHANTILLONNAGE D'USINES DE FABRICATION

	<u>Air:</u> <u>poussière en vrac</u> <u>(concentration)</u>	<u>Air:</u> <u>Millipore</u> <u>(fibres/cc)</u>	<u>Air:</u> <u>Gravimétrique</u> <u>(concentration)</u>	<u>Sédimentée</u>	<u>Matière première</u>	<u>Remarques</u>
<u>ARMSTRONG CORK INDUSTRIES LTD.</u> (MONTREAL, P.Q.)						
Usine de carrelages en amiante-vinyle	Air-20 (14Mg/M ³)	M-98 (0.8) M-99 (1.1) M-100 (1.2)	# 113 (9.5Mg/M ³)	Sed. 36	Spécial - 12 - 13 - 14 - 15	- Chargement des matières premières
<u>ATLAS ASBESTOS COMPANY LTD.</u> (MONTREAL, P.Q.)						
Matériaux de construction	Air-22 (0.5Mg/M ³)	M-94 (0.2) M-91 (0.1)	# 111 (0.2Mg/M ³)		Spécial - 100 101 102 103	- Scie à diamant (fonctionne deux heures)
Usine de tuyaux en amiante-ciment	Air-21 (0.5Mg/M ³)	M-97 (0.4) M-96 (0.7)	# 112 (0.4Mg/M ³)	Sed. 102	104 105 106	- apport et mélange d'amiante (5 min/heure)
<u>CANADIAN JOHNS-MANVILLE CO. LTD.</u> (ASBESTOS, P.Q.)						
Usine de produits industriels - Freins	Air-24 (0.9Mg/M ³) Air-23 (1.6Mg/M ³)	M-92 (0.3) M-93 (0.1) M-101 (0.3) M-102 (0) M-103 (0.3)	# 114 (0.6Mg/M ³) # 115 (0.6Mg/M ³)	Sed. 103	Spécial - 107 108 109 110 111 112 113 114	- Sciage des freins "Cobra" - 4 presses chauffantes
Usine de textiles - fils et tissus	Air-25 (6.2Mg/M ³) Air-26 (0.8Mg/M ³)	M-104 (16) M-105 (15) M-106 (3.5) M-107 (0.2)	# 110 (3.45Mg/M ³)	Sed. 37 Sed. 38	Spécial - 16 Spécial - 17 18	- Cordes - Mélange de fibres

III-C-2: Echantillonnage de poussières dans l'air à l'aide d'appareils à grand débit:

Une pompe Gelman et deux pompes Hoskins ("High Volume Samplers"), équipées d'un grillage de 8 pouces par 10 pouces à la bouche d'aspiration, nous procurèrent notre échantillon volumineux le plus près de la situation réelle des poussières dans l'air.

Pendant 4 à 7 heures, on collecta la poussière sur un filtre pré-pesé (en fibre de verre de porosité 0.8); le débit, au début, s'établissait à 50 ou 60 pcm et, dépendant de l'état de colmatage des pores du filtre sous l'accumulation des poussières, baissait plus ou moins au bout d'un temps donné d'exposition (dans un cas extrême, le débit-mètre ne lisait plus que 20 pcm au bout de quatre heures). Le volume pompé fut calculé en supposant une diminution linéaire du débit dans le temps.

La différence de poids du filtre nous donna un poids de poussière totale permettant de calculer la concentration dans l'air échantillonné.

Sur la surface du filtre, les poussières s'accumulent en une couche feutrée et leur récupération requiert un minimum de doigté afin d'éviter une contamination par la fibre de verre.

Un tapotement léger à l'arrière du filtre se révéla efficace sauf la perte d'une portion initiale qui demeure sur et dans le filtre de fibre de verre.

Au total, nous possédons 24 échantillons(AIR 1-17; 20-26) et leurs poids varient de 0.26 à 40.1 grammes.

III-C-3: Autres échantillons:

a) Poussières sédimentées:

Dans la majorité des sites échantillonnés à grand débit, et en plusieurs autres endroits, nous avons recueilli des échantillons de poussières sédimentées soit sur le sol, soit sur des poutres ou tuyaux. Ces échantillons sont numérotés SED-1 à 38, 102-103, et leurs localisations sont décrites sur les tableaux Nos 1, 2 et 3.

b) Echantillons représentatifs du minerai en traitement et les rejets:

Sous le vocable de SPECIAL (Nos 1 à 18; 100-114), nous avons échantillonné à quelques endroits le matériel, soit récupéré par les sacs filtrants ou par un système à poussières, soit en transit dans les cribles à secousses ou enfin formant partie des rejets, le tout provenant des concentrateurs.

Figurent en plus parmi ce groupe, les échantillons de matières premières utilisées par le manufacturier.

c) Fibres commerciales:

Les opérateurs miniers nous ont fourni des échantillons de leurs principaux groupes d'amiante marchands.

III-D: Méthodes d'analyse et données:

III-D-1: Analyses granulométriques, aspects morphologiques:

a) Tamissage:

Une fraction représentative de chaque échantillon de poussière (poussières filtrées de l'air et poussières sédimentées) fut tamisée à l'aide de six tamis. Ce tamissage était donc susceptible de nous fournir huit fractions granulométriques, comme suit:

+ 1000 μ , (18 mailles)	- 250 μ , + 105
- 100 μ , + 500	- 105 μ , + 37
- 500 μ , + 250	- 37 μ , (400 mailles)

Toutefois, les poussières recueillies sur les filtres avec l'aspirateur à grand débit ont tendance à s'agglomérer en un gâteau très compact. L'étape du tamissage jouait donc un double rôle; d'abord celui de désagréger la poussière et ensuite celui d'effectuer sa séparation granulométrique. Tout en étant assuré de la représentativité du tamissage, il n'en reste pas moins que ces poussières n'étaient pas tout à fait dans leur état naturel lors du tamissage. Si ce premier problème est jugé négligeable, il n'est pas aussi certains pour un deuxième phénomène identifié lors du tamissage. Nous nous référons ici à la tendance, non inattendue, qu'a l'amiante de s'agréger sur les tamis plus grossiers, captant ainsi des fibres plus courtes à l'intérieur des petites masses agglomérées. Ceci implique qu'une partie des fibres moyennes à fines (105 à 53 μ) sont incorporées à de plus grandes granulométries (250 et plus). Toutefois, les quelques examens que nous avons effectués au microscope nous laissent croire que ce phénomène n'affecte que peu la composition de la plus fine granulométrie (-37 μ), qui

est celle susceptible d'être respirable, du moins en partie. (Une fibre longue de 30μ ou moins aurait possiblement une largeur de 3 à 10μ ; étant donné que la dimension aérodynamique effective d'une fibre est presque celle de son diamètre, les fibres longues d'une trentaine de microns approchent le seuil de respirabilité). Pour les fins de cette étude, il a été considéré "poussière respirable" la fraction dont les particules ont un diamètre aérodynamique plus petit que 5μ , diamètre aérodynamique déterminé par la méthode de la balance sédimentologique.

Nous avons réuni les données relatives aux analyses granulométriques sous forme de courbe de fréquences sur les graphiques III-D-I à XI. Les échantillons ainsi analysés sont présentés sur les pages suivantes dans une séquence allant du début du traitement en usine (concassage) à la fin (ensachage). Lorsqu'il y a deux échantillons par site, un provenant de l'air ambiant et l'autre des poussières accumulées, le premier est présenté à droite sur le graphique et l'autre à gauche. La plupart des ces échantillons d'air sont accompagnés de mesures concomitantes de compte de fibres et de mesures gravimétriques - ces mesures sont indiquées dans le coin à droite et au haut de chaque graphique représentant les poussières dans l'air.

Les traits principaux des variations granulométriques sont les suivants:

- 1) Environ 50% de la poussière dans l'air mesure moins que 37μ ;
- 2) Les courbes granulométriques des poussières dans l'air sont rarement régulières ou unimodales; le plus souvent elles sont bi-modales

avec un maximum principal à -37μ et un maximum secondaire à la granulométrie -105μ . L'explication de ce deuxième maximum relève surtout d'un facteur mécanique relié au phénomène d'agglomération des fibres (avec un montant de grains non-fibreux) lors du tamisage;

- 3) Les poussières sédimentées montrent des variations beaucoup plus irrégulières, mais elles sont caractérisées par de plus fortes proportions dans les grandes granulométries. Lorsque ces poussières montrent une variation relativement uniforme, on remarque aussi l'allure bi-modale (avec deux pics: un à -37μ et l'autre autour de -105μ comme pour les poussières dans l'air;
- 4) L'effet d'un bris important est reflété clairement sur l'histogramme de la poussière dans l'air. L'échantillon A-6 (graphique III-D-IV) montre une variation presque à l'inverse de la courbe normale avec un maximum principal à 500μ , un deuxième à -105μ et un minimum pour la fraction -37 ;
- 5) Il y a peu ou pas de relations évidentes entre les poussières dans l'air et celles sédimentées pour un endroit donné; de plus, l'allure des courbes montre peu de relations avec les étapes de traitement en usine.

De fait, l'importance de ces analyses granulométriques ne réside peu ou pas dans l'allure des courbes de variations, mais plutôt dans le fait que nous avons pu avoir accès à la plus fine fraction pour des études ultérieures. Aussi, cette séparation nous a permis de mieux estimer la composition minéralogique globale des poussières en examinant chaque fraction séparément.

III-D-1: b) Les fractions fines - Balance sédimentologique et le compteur "Coulter"

Ayant fait les séparations granulométriques grossières par tamisage, l'étude des fractions fines de poussières a été effectuée en utilisant la méthode de la "balance sédimentologique" ainsi que celle du compteur de particules de marque "Coulter".

La méthode par sédimentation est la méthode classique d'étude des particules fines. A la suite d'essais préliminaires, nous avons choisi d'effectuer quatre séparations granulométriques par sédimentation:

- 1) une fraction de 5u et plus petit
- 2) une fraction de 5u à 20u
- 3) une fraction de 20u à 40u
- 4) une fraction > 40u

Nous avons rencontré quelques difficultés de séparation lorsque l'échantillon à être traité était riche en amiante. D'abord, une faible proportion a tendance à flotter sur la surface et ce en dépit d'efforts particuliers visant à mouiller ces particules et à les disperser dans le bain d'eau. Plus important, toutefois, est le phénomène d'agglomération des fibres, même lorsque dispersées dans l'eau. Pour diminuer cet effet, nous avons dû disperser la poussière dans de grands volumes d'eau (de 1-2 litres) et répéter les lavages, ce qui ajoutait des heures d'attente à chaque séparation par sédimentation.

Les résultats de ces séparations sont indiqués sur les graphiques d'analyses granulométriques III-D-I à XI. Les traits principaux de cette étude des fractions fines sont les suivants:

- 1) Le poids des fractions fines (< 40u) varie de 50% à 65% et dans un cas de 80% du poids total. En général ceci repré-

présente un poids de fines qui est de 10% à 20% plus élevé que le poids déterminé par simple tamisage. Cet écart est d'abord relié à la nature fibreuse des particules et aussi à l'effet d'agglomération des fibres lors du tamisage.

- 2) La fraction de 5 μ et moins représentera ce qui s'approche le plus de la fraction dite "respirable". Le poids de cette fraction varie de 17% à 29% du poids total; la moyenne se situe à environ 23% (voir tableau III-D-1, page suivante). Pour l'unique usine de textiles échantillonnée, cette même proportion était de 28% et donc analogue aux deux plus fortes valeurs rencontrées dans les moulins d'extraction.

Gibbs et Lachance (1972) ont fait de l'échantillonnage de la poussière respirable dans un moulin très empoussiéré au Québec avec un appareil de marque "Hexlet" muni d'un dispositif pour mesurer la fraction respirable; ils ont trouvé de 8.9% à 26%, et en moyenne 17%, pour la proportion respirable. Il s'agit donc pour un même moulin, d'une variation allant du simple au triple.

- 3) La fraction 5 μ à 20 μ est moins volumineuse, se chiffrant de 15% à 20% du poids total des poussières;
- 4) Finalement, la fraction 20 μ - 40 μ représente environ 15% à 25% du poids total.

Nous avons aussi tenté d'appliquer le compteur "Coulter" à l'analyse des fractions fines de poussières. Il s'agit d'un appareil électronique utilisé surtout en médecine pour le comptage de globules

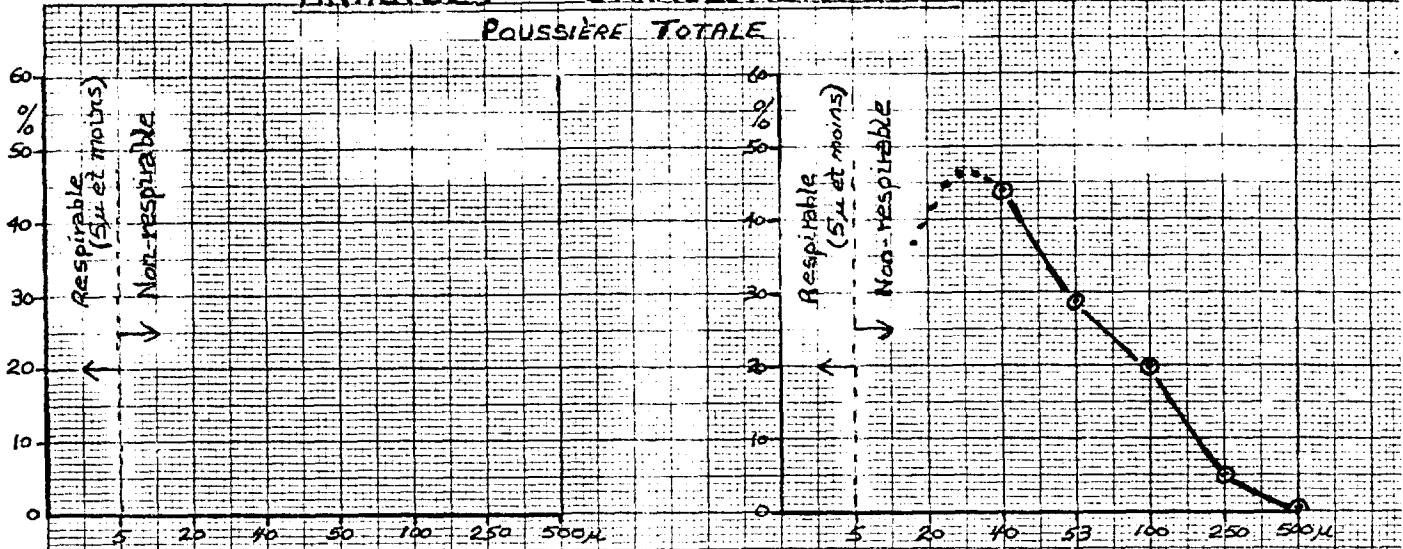
TABLEAU III-D-1
SEPARATIONS GRANULOMETRIQUES

au niveau
5 MICRONS ET MOINS
(partie respirable)

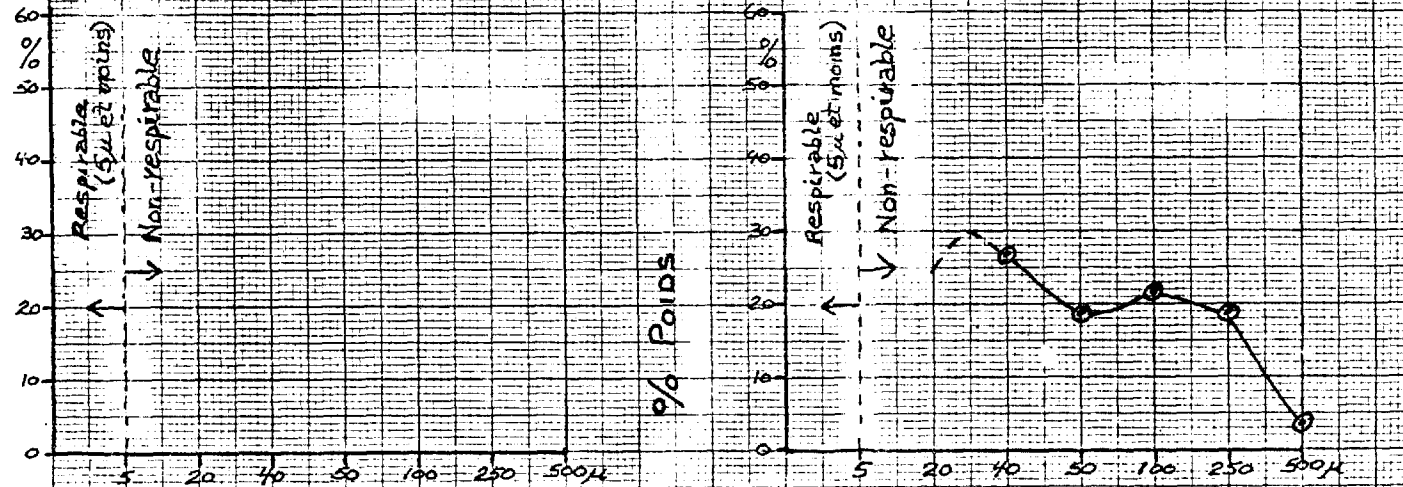
Poussière totale (mg/m ³)	Echant. et site	Fraction resp. (% < 5μ - via sédimentation)	Poids respirable (mg/m ³)	# F/cc
<u>Concass. 2e</u>				
5.4	L.A.: A-9	25%	1.4	3.6
<u>Convoyeur</u>				
10.1	C.J.M.: A-2	20%	2.0	--
<u>Séchoir</u>				
4	L.A.: A-11	29%	1.2	4.4
<u>Alimentation</u>				
1.8	C.J.M.: A-5	25%	0.5	7.4
4	L.A.: A-10	23%	0.9	16.3
<u>Circuit roche</u>				
4.2	L.A.: A-12	20%	0.8	14.8
5.9	L.A.: A-17	22%	1.3	8
<u>Circuit fibre</u>				
6.8	L.A.: A-13	20%	1.4	7.2
7.5	L.A.: A-16	17%	1.3	18.8
<u>Ensachage</u>				
2.5	C.J.M.: A-7	27%	0.7	1.7
<u>Usine textile</u>				
5	C.J.M.: A-25	28%	1.4	16

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

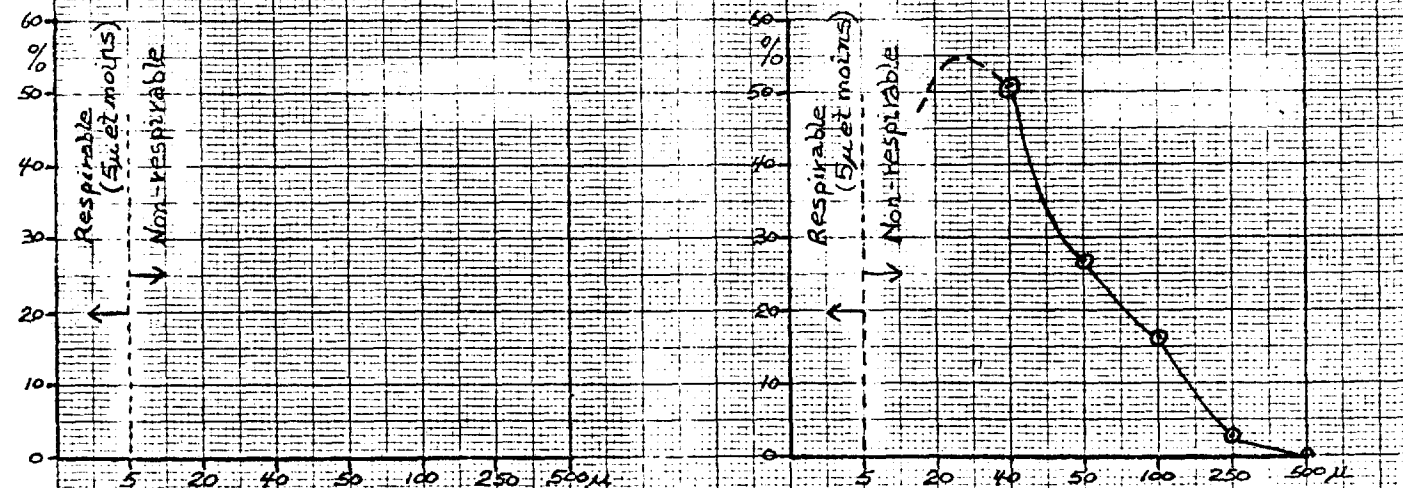
GRAPHIQUE III-D I



S-33 Poussière sédimentée



S-34 Poussière sédimentée



S-35 Poussière sédimentée

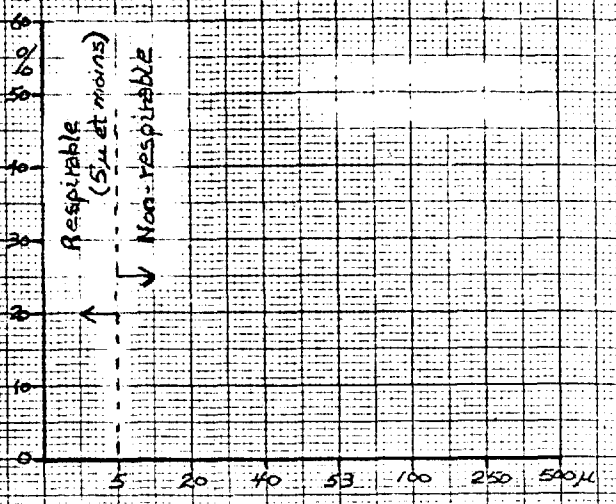
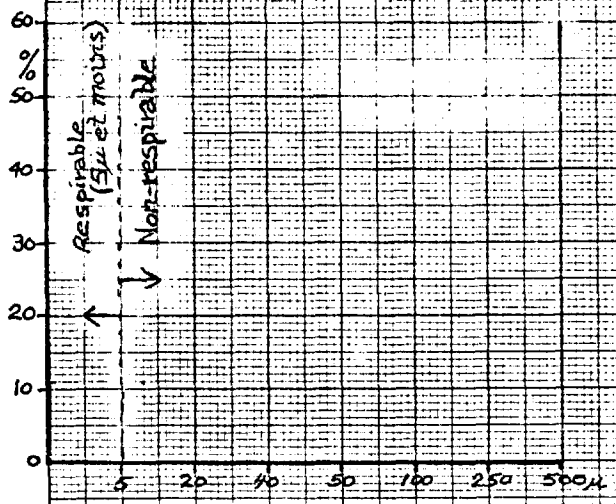
MINE LAKE ASBESTOS MINES - Concassage Primaire

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

Graphique

III-D
II

POUSSIÈRE TOTALE

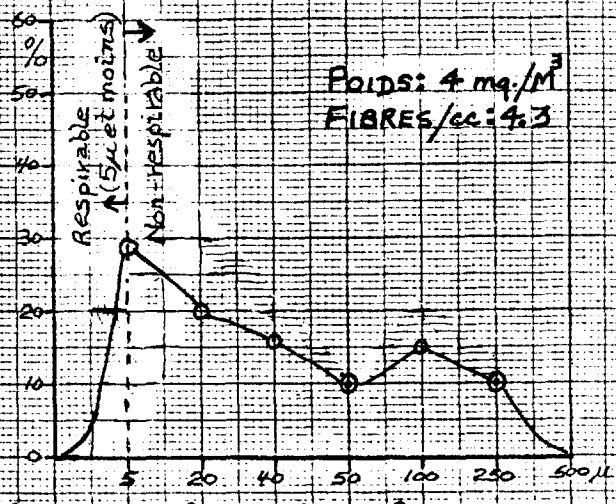
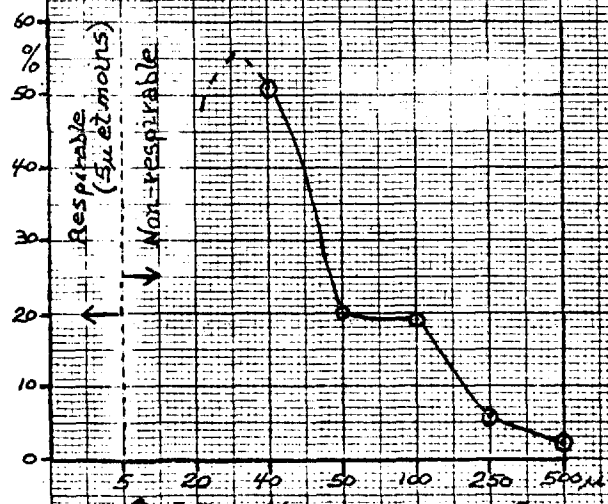


Poids: 5.4 mg/M³
FIBRES/cc: 3.5

S-25: sédimentée

CONCASSAGE Secondaire

A-9: dans l'air



Poids: 4 mg/M³
FIBRES/cc: 4.3

S-27: sédimentée

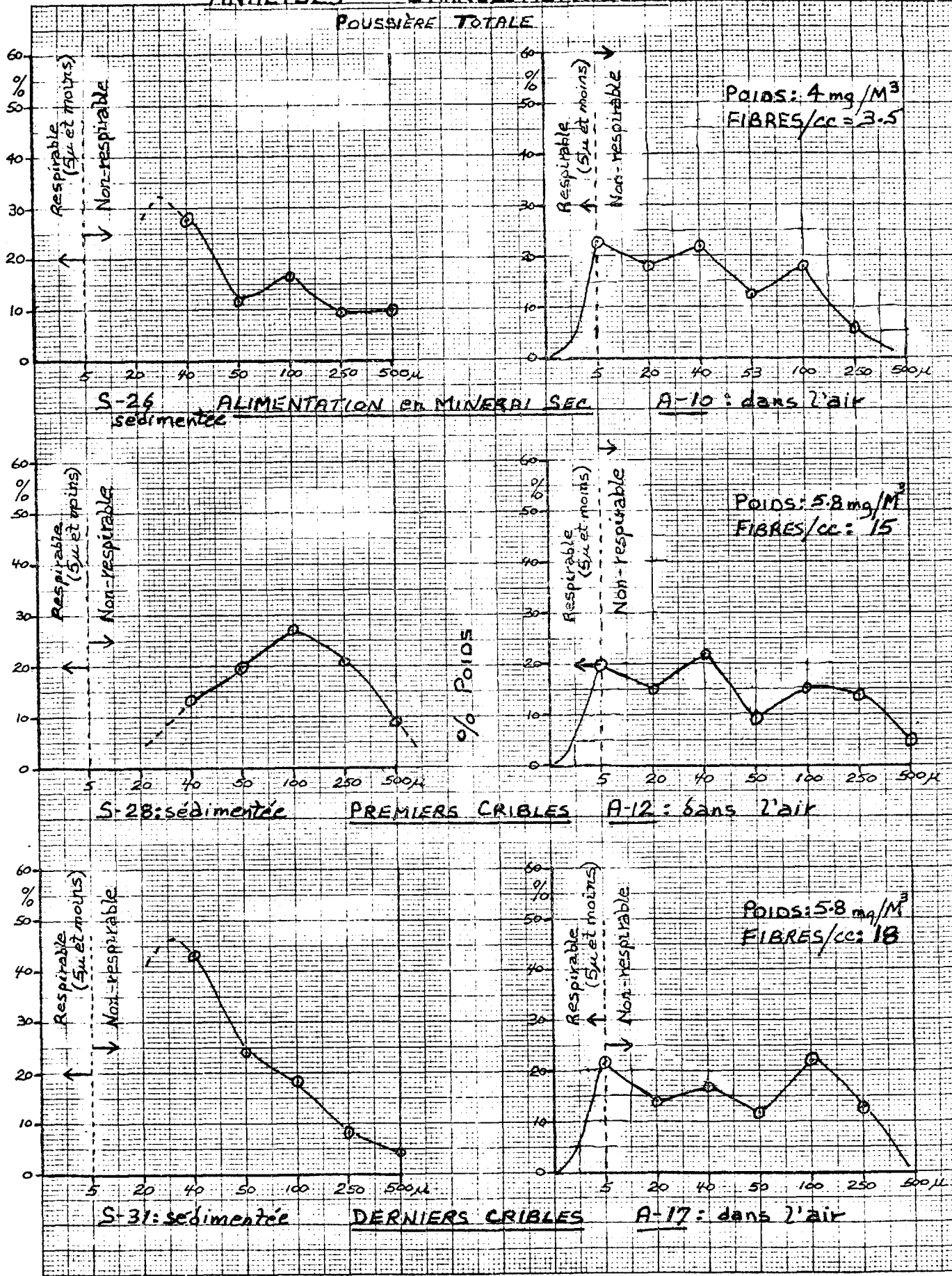
SECHOIR et TREMIÉ

A-11: dans l'air

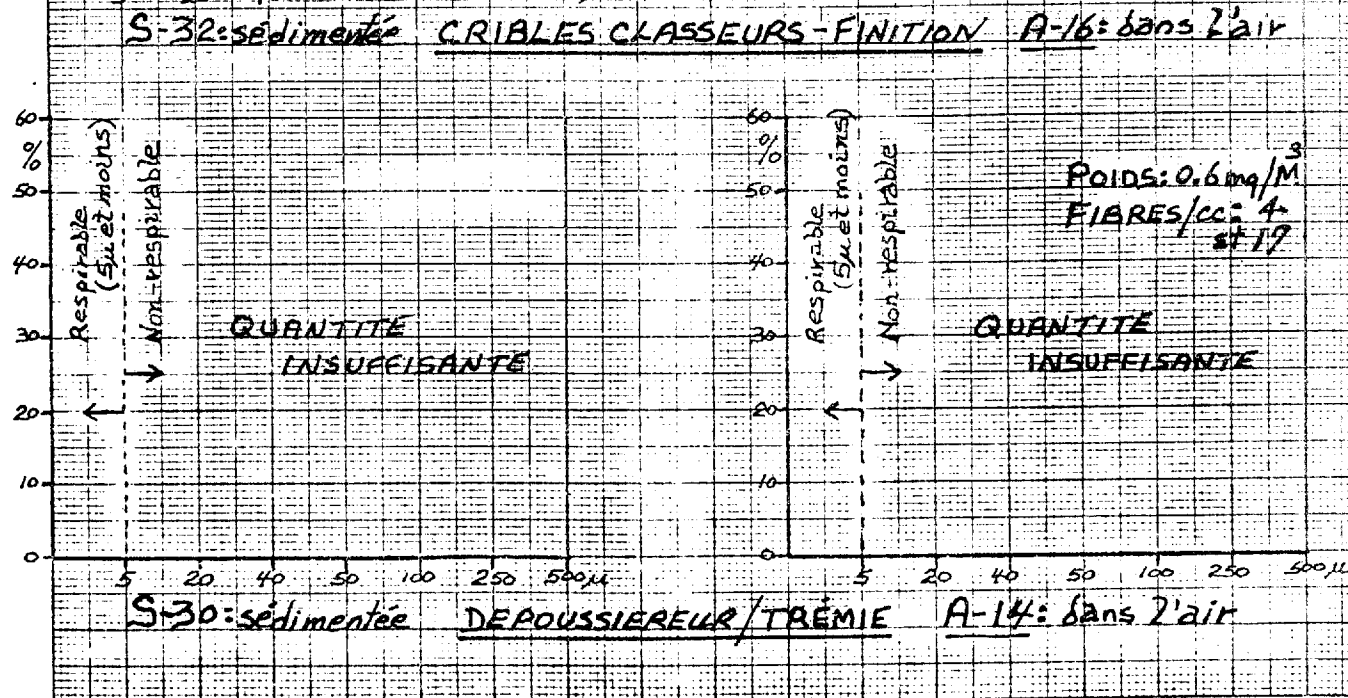
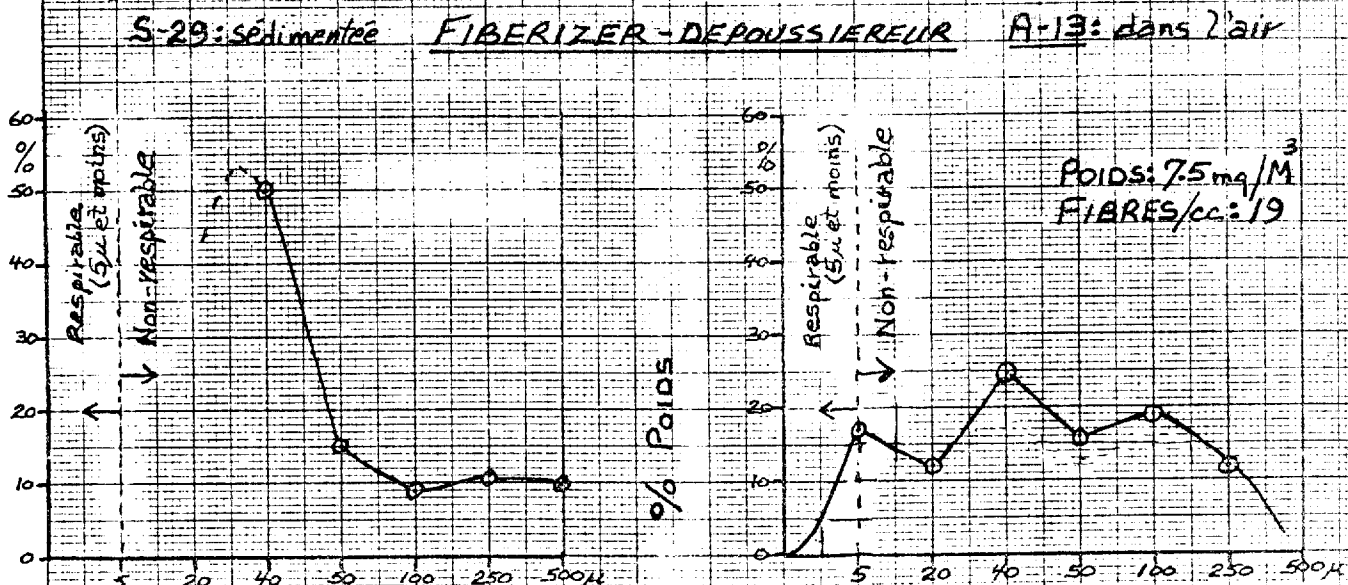
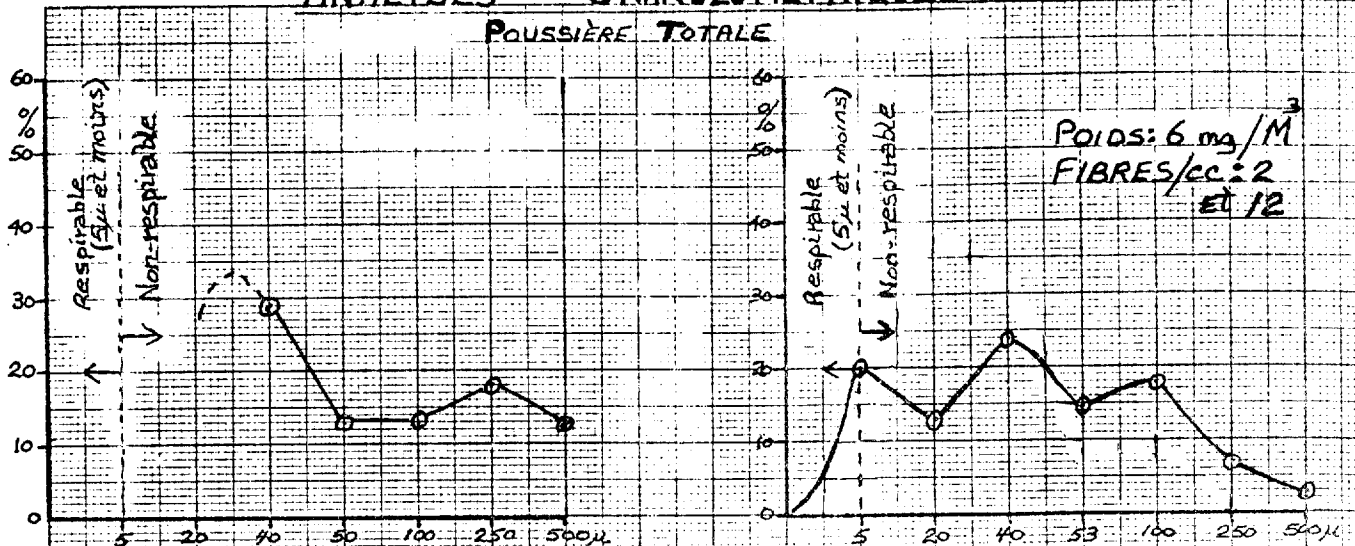
MINE LAKE ASBESTOS MINES - Concassage secondaire et séchoir

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

Graphique III-D



MINE LAKE ASBESTOS MINES - Alimentation et Circuits à roche

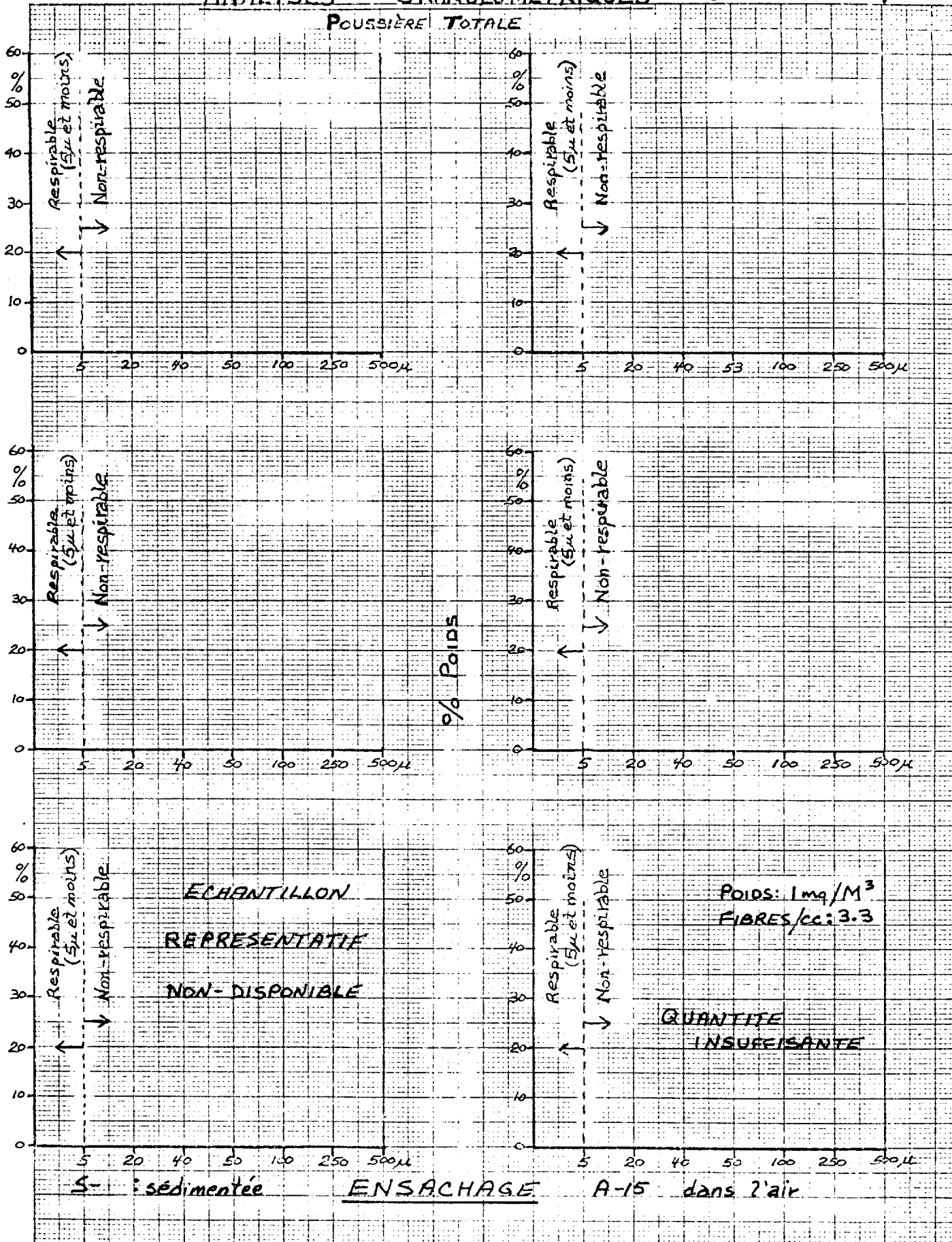


MINE LAKE ASBESTOS - CIRCUIT A FIBRES

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

GRAPHIQUE III-D
V

POUSSIÈRE TOTALE



MINE LAKE ASBESTOS

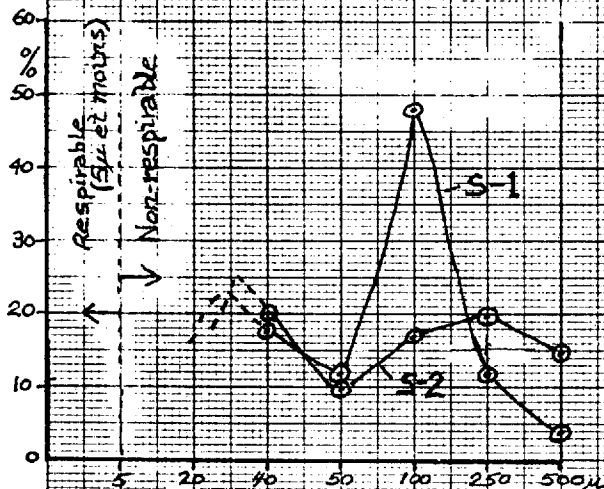
CIRCUIT À
FIBRES

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

GRAPHIQUE

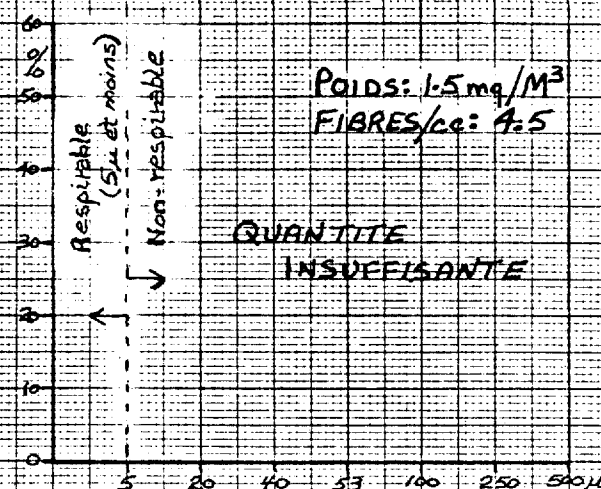
III-D
VI

POUSSIÈRE TOTALE

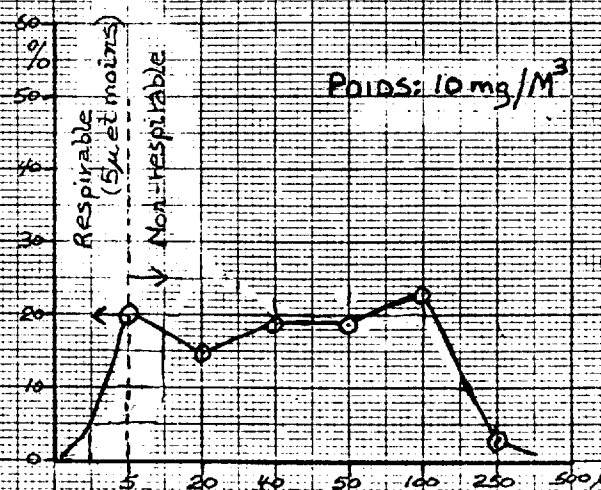
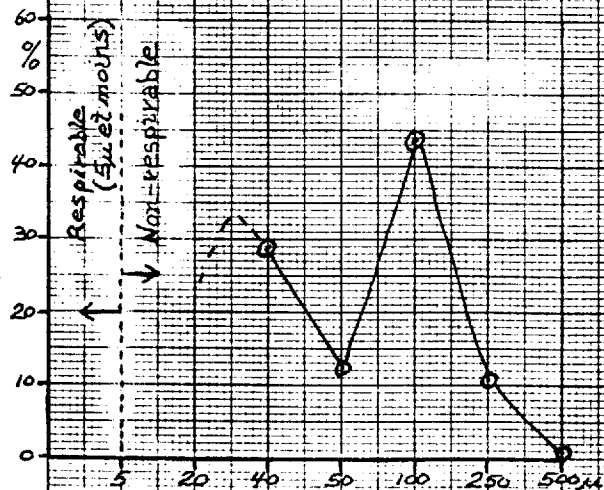
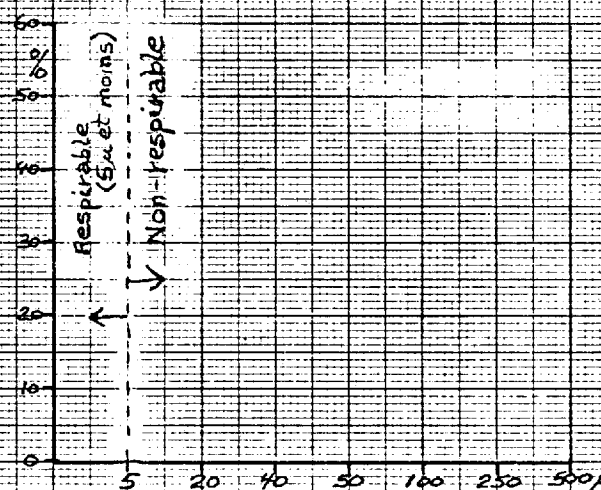
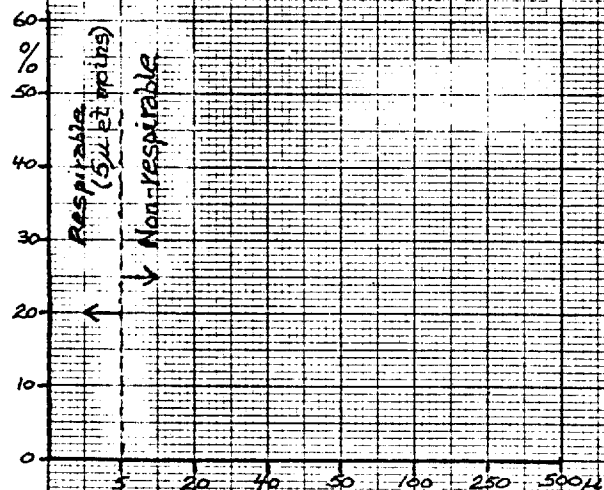


POIDS: 1.5 mg/M³
FIBRES/cc: 4.5

QUANTITE
INSUFFISANTE



CONCASSAGE SECONDAIRE A-1 dans l'air

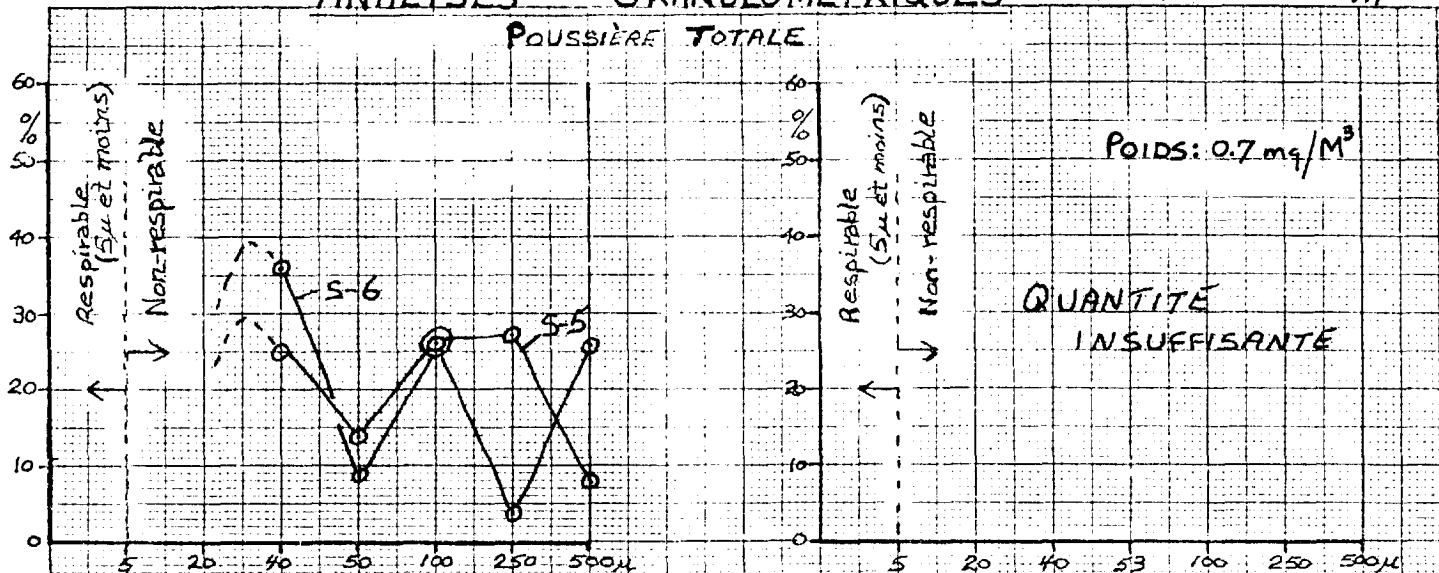


POIDS: 10 mg/M³

CONVOYEUR-ALIMENTEUR A-2 dans l'air

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

GRAPHIQUE III-D VII

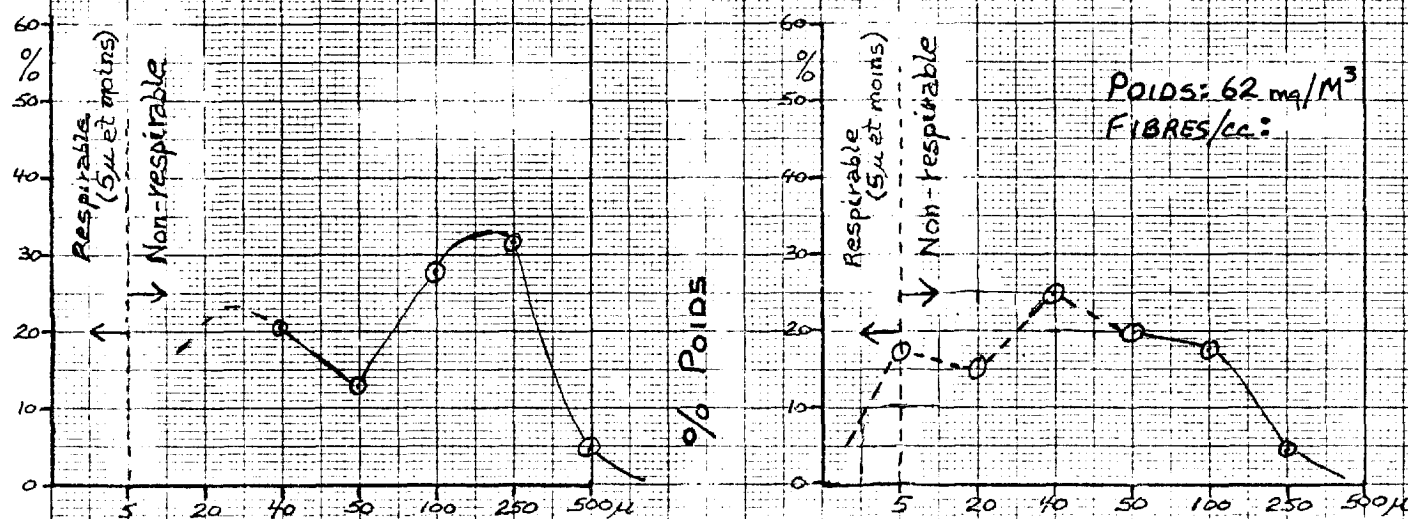


S-5 sédimentée
S-6

SECHOIR

A-4

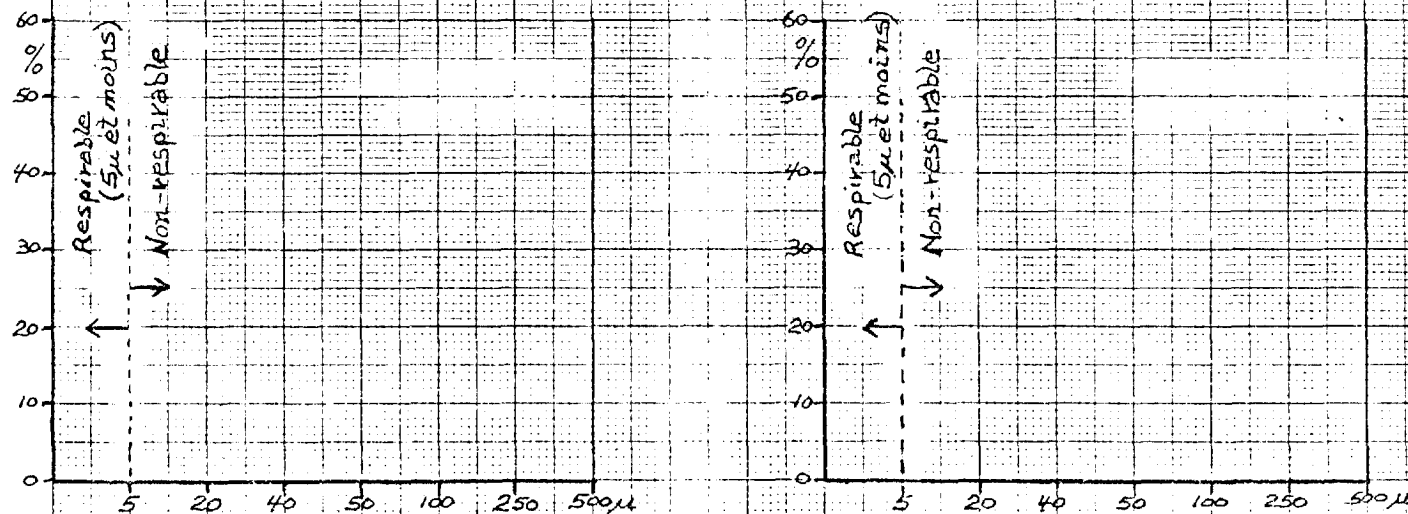
dans l'air



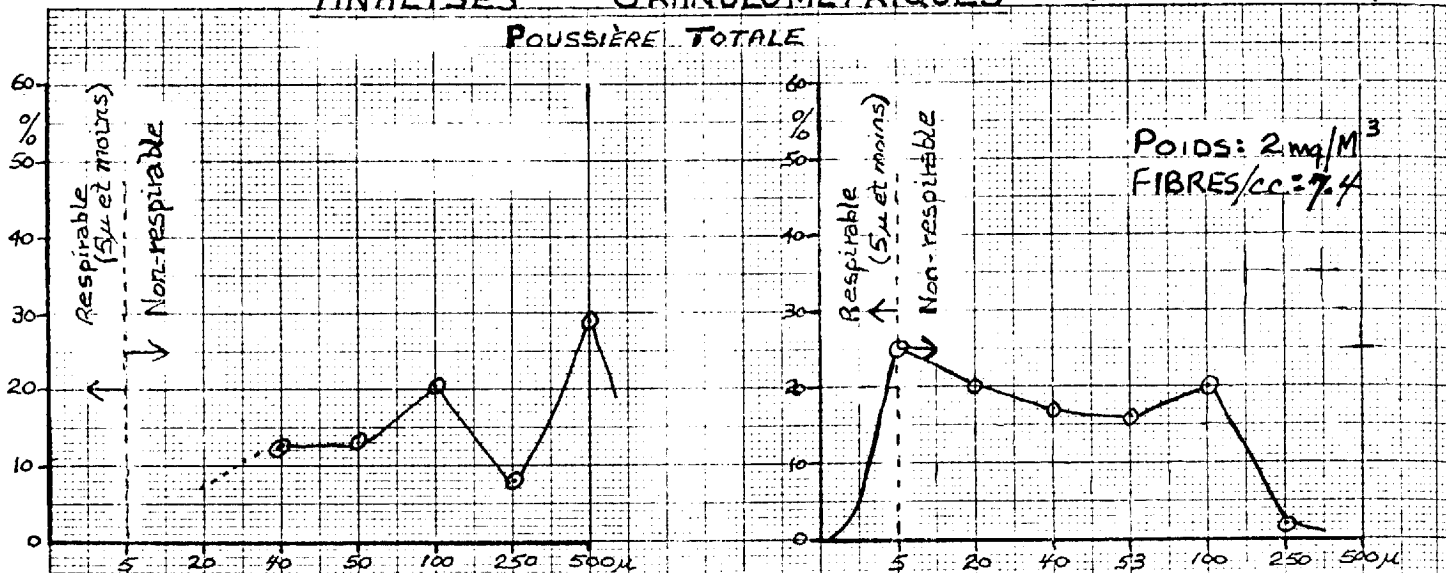
S-7: sédimentée

RENCONTRE DES CONVOYEURS

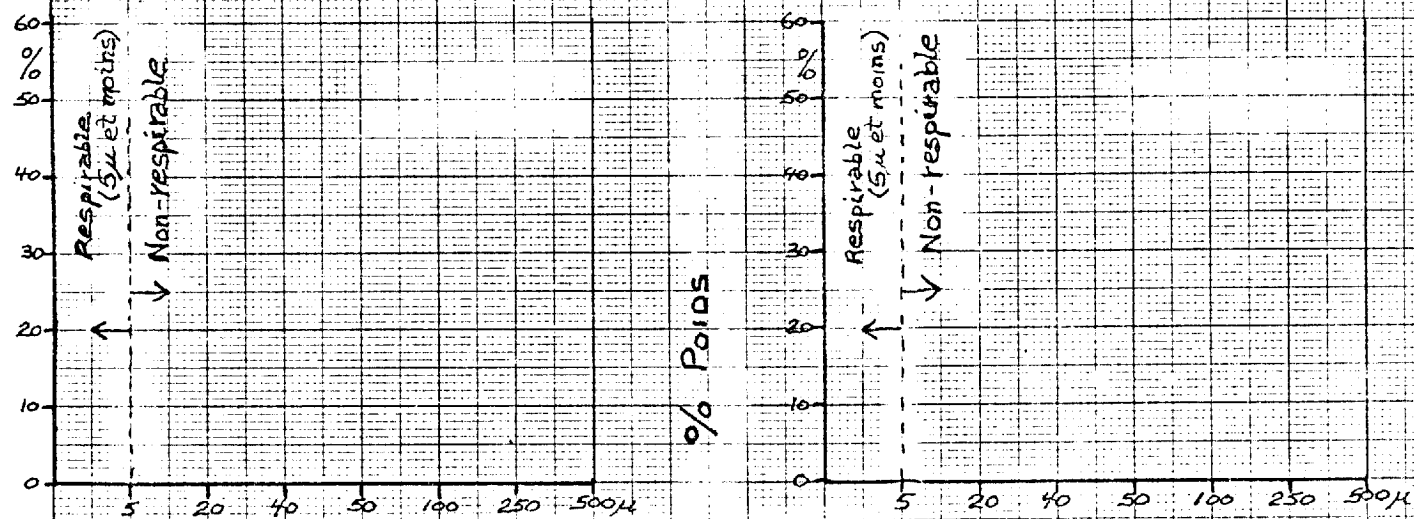
A-3 dans l'air



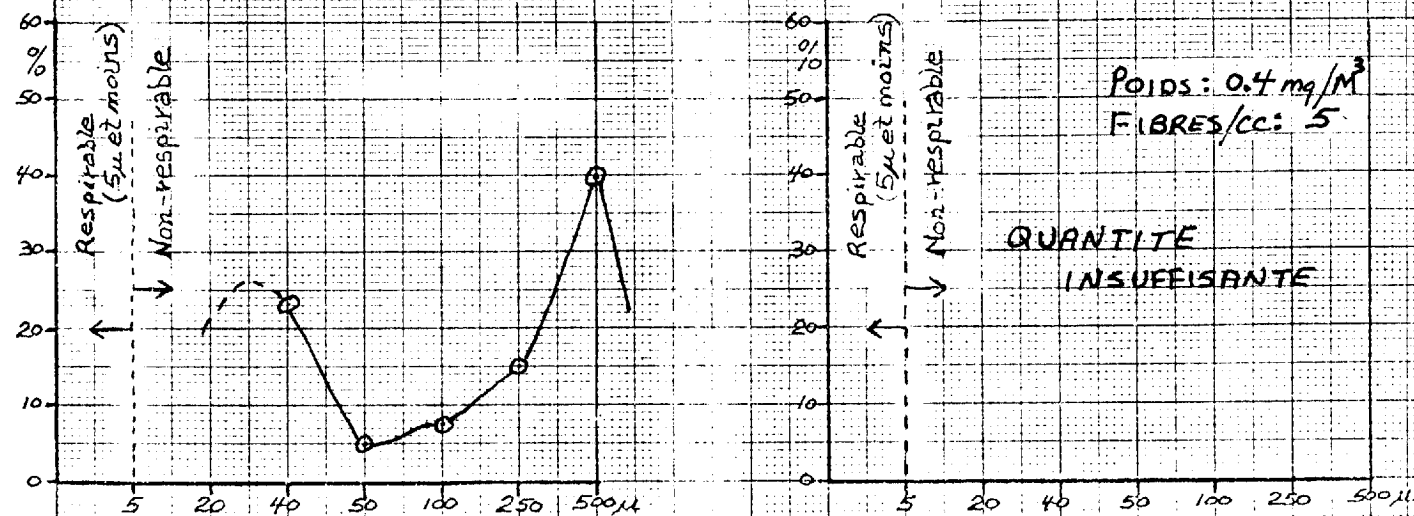
ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES GRAPHIQUE III-D VIII



S-15 sédimentée CONVOYEUR ET TREMIE A-5 dans l'air
D'ALIMENTATION

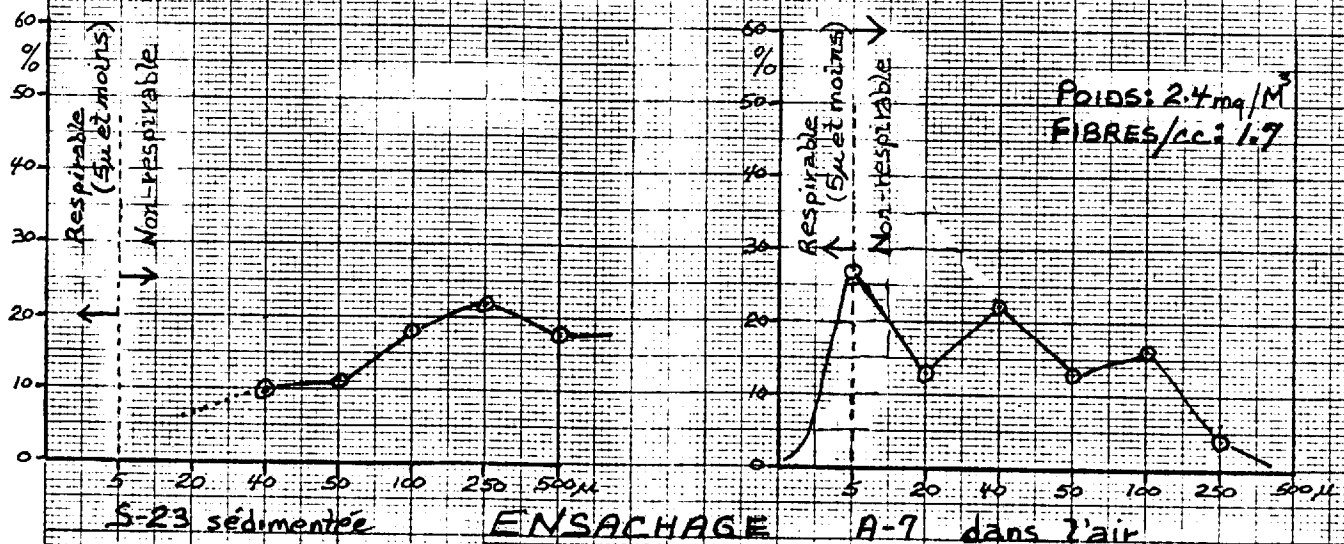
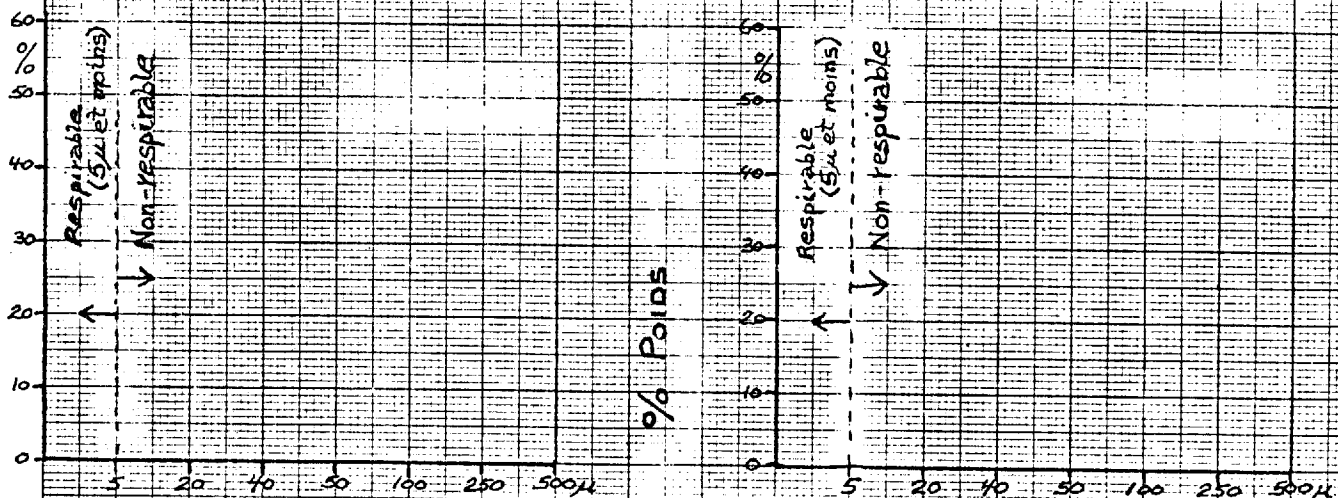
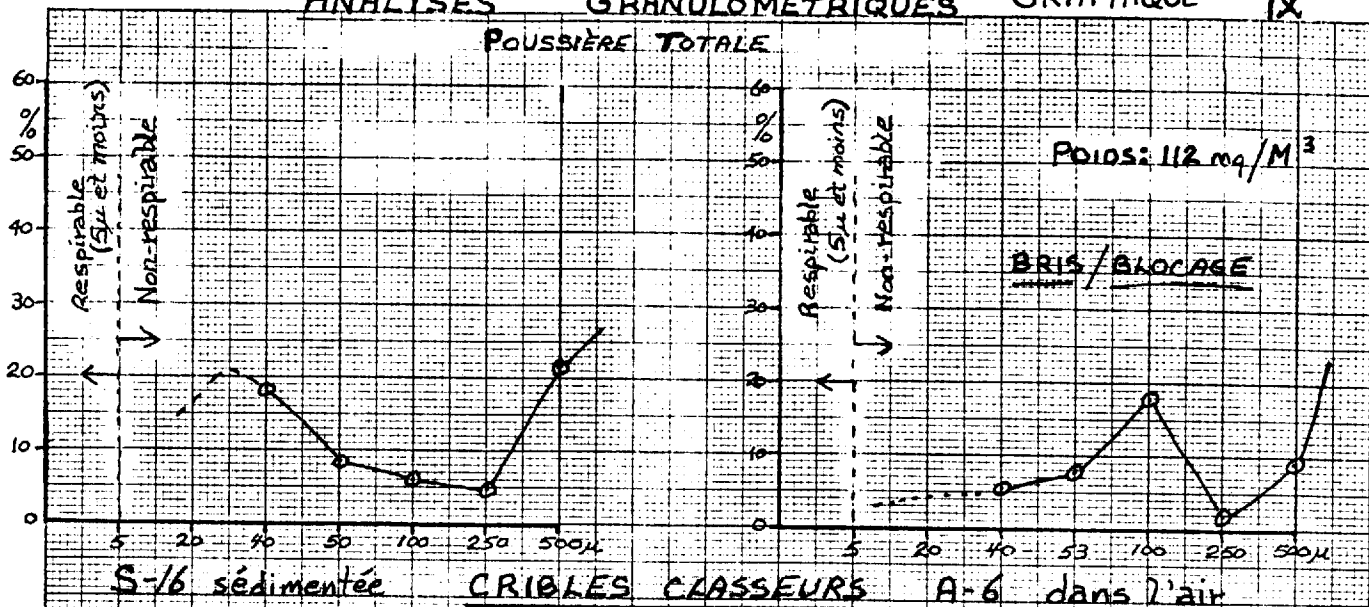


S-21 sédimentée CRIBLES, DEPOUSSIÈREUR
S-22 ET TUYAUX



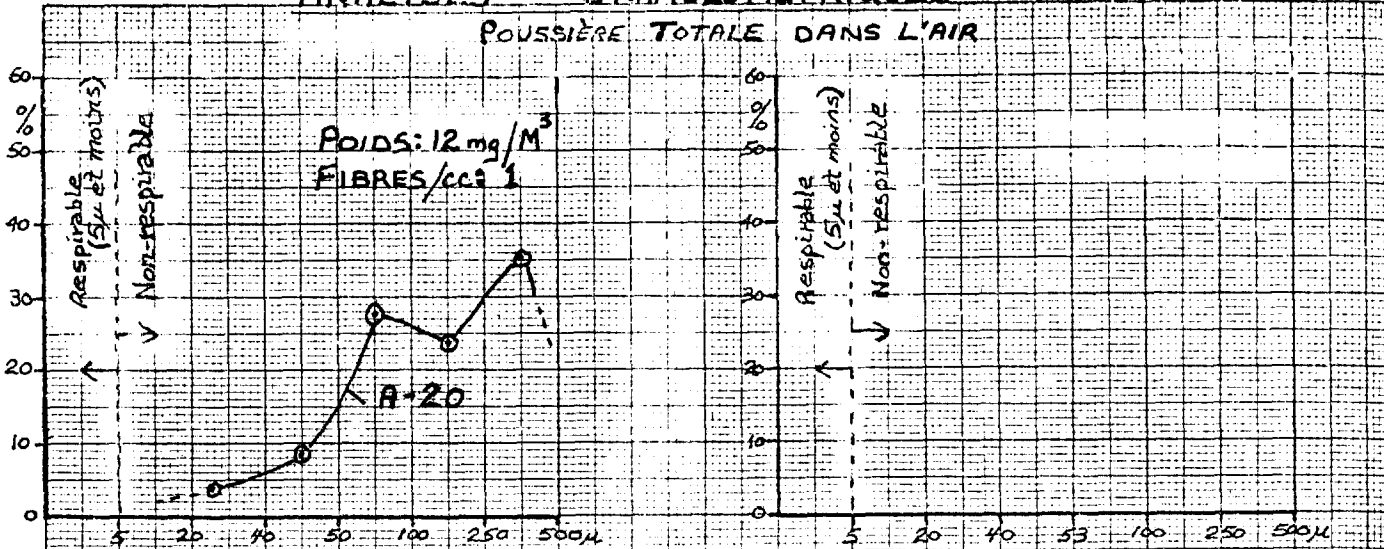
S-24 sédimentée DERNIERS CRIBLES A-8 dans l'air

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES GRAPHIQUE III-D IX

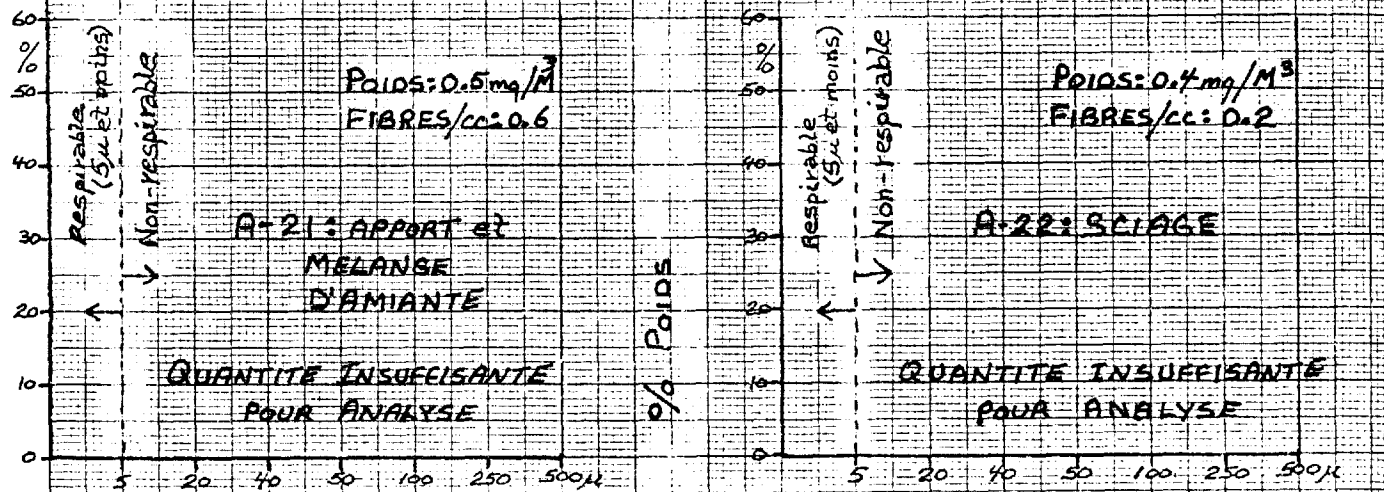


ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

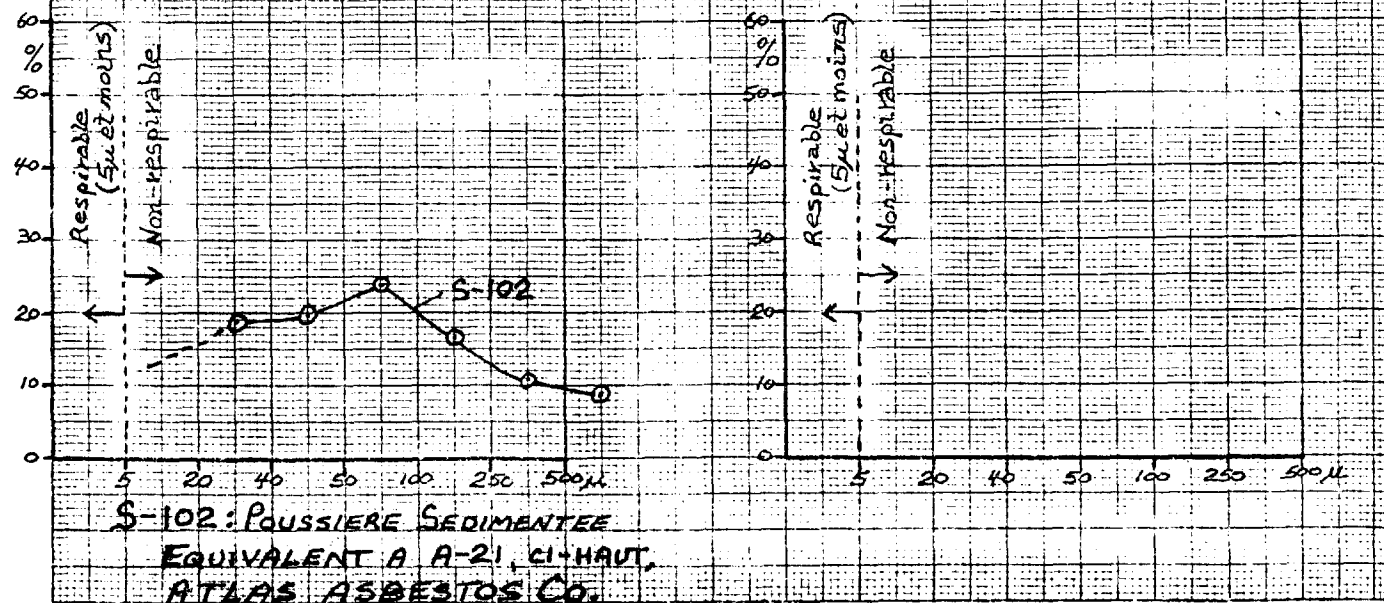
POUSSIÈRE TOTALE DANS L'AIR



ARMSTRONG CORK INDUSTRIES - CHARGEMENT DES MATIÈRES PREMIÈRES

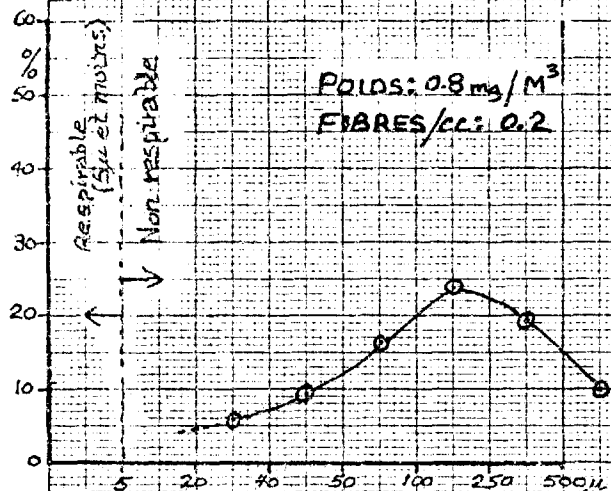


ATLAS ASBESTOS COMPANY - ENDROITS DE MÉLANGE ET DE SCIAGE

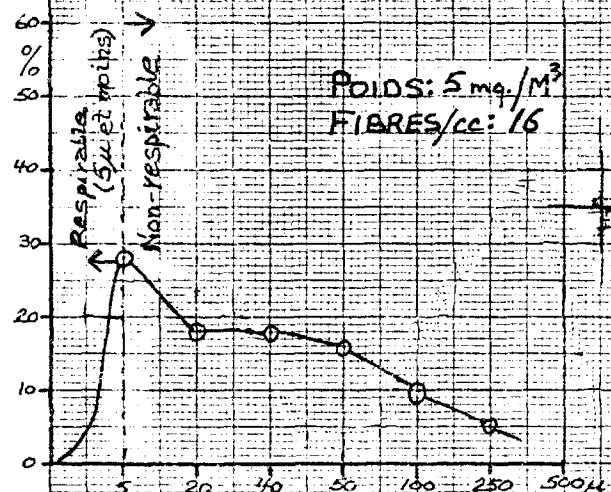
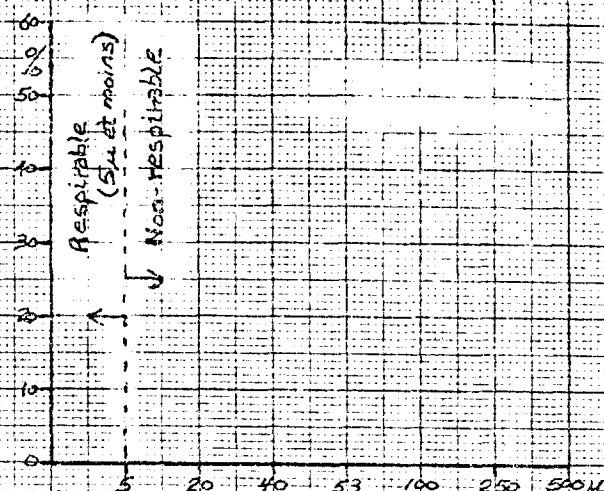


ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

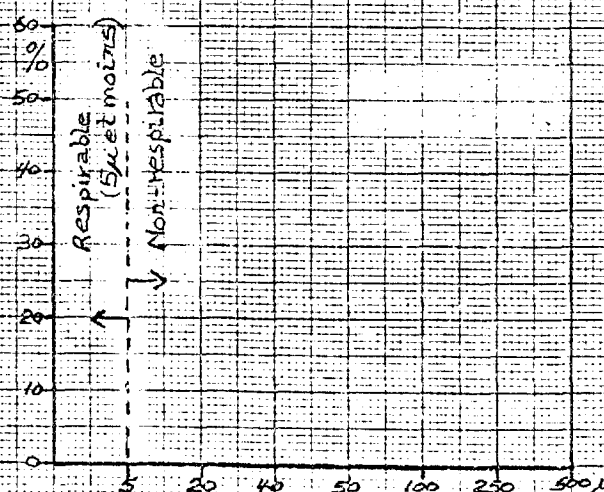
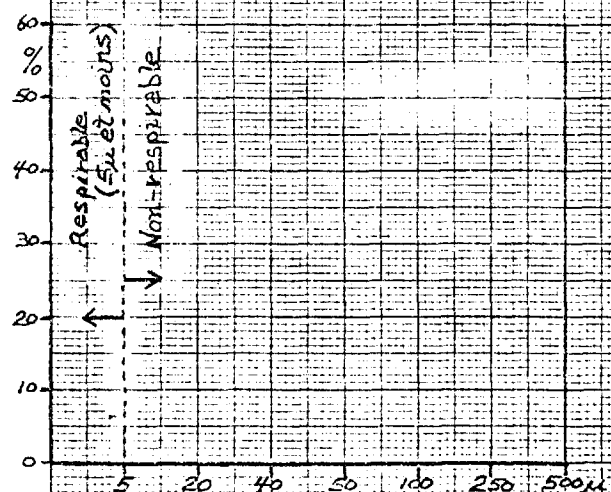
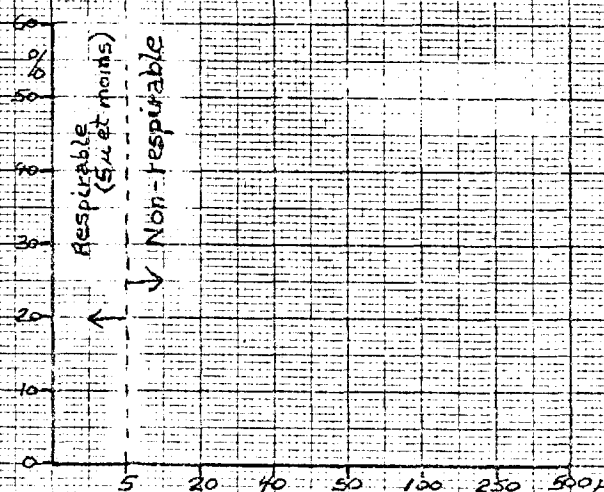
POUSSIÈRE TOTALE DANS L'AIR



A-24: USINE DE FREINS - SCIAGE



A-25: USINE DE TEXTILES - CORDES



dans le sang. Son utilisation avec des particules de formes variables (sphérique, rectangulaire, en feuille, ou en aiguille) est peu connue. Nos essais ont été effectués au Centre de Recherches Minérales du Ministère des Richesses Naturelles. Les résultats de ces comptages électroniques sur les poussières sont carrément non-concluants et, d'une certaine façon, incompris et un peu mystérieux. D'abord les comptages semblaient être stables et reproductibles; toutefois, les comptages sur les différents échantillons étaient toujours sensiblement pareils. Ces comptages n'étaient d'aucune façon reliés aux données granulométriques fournies par la méthode de sédimentation, car la proportion de la fraction < 10u (diamètre sphérique équivalent) se chiffrait toujours entre 3% et 4% du poids de l'échantillon en comparaison avec une proportion allant de 17% à 29% pour la seule fraction < 5u via la méthode de sédimentation. La seule explication provisoire que nous pouvons offrir est que ces comptages ont pour effet d'exagérer le diamètre des particules non-sphériques. Nous avons donc abandonné cette approche d'analyse granulométrique.

III-D-I: c) Morphologie des particules dans les poussières:

Les observations au microscope (allant de 50x à 550x) des poussières provenant de l'air ont souligné l'aspect granulaire ou tabulaire de tous les minéraux sauf le chrysotile (nous n'avons pas identifié optiquement la présence de brucite fibreuse, la némalite).

Les particules de chrysotile dans les granulométries grossières (37u à 100u) ont l'allure surtout de grandes particules allongées partiellement effilochées. Dans la granulométrie < 37u on observe aussi

bien des particules allongées, partiellement effilochées, que des "fibrilles" longues et minces. Les autres minéraux de la poussière (surtout les autres minéraux du groupe des serpentines) se présentent en particules ayant une forme arrondie, rectangulaire ou triangulaire.

La morphologie des particules appartenant à la fraction dite "respirable" ($< 5\mu$) mérite une attention particulière. Gibbs (1974) a étudié un nombre de paramètres morphologiques des fibres respirables, dont les plus pertinents sont les suivants:

- 1) le diamètre moyen des fibres de chrysotile est de l'ordre de 0.16μ ; seulement 25% de fibres ont un diamètre plus grand que 1μ ; pour ce qui est de la longueur, seulement 4% à 10% des fibres sont plus longues que 5μ . Tout compte fait, la plupart des fibres sont très petites, ce qui fait croire que beaucoup de celles-ci ne sont pas visibles au microscope avec l'agrandissement utilisé pour faire les comptages standards. Un calcul rapide montre, toutefois, que même si la plupart des fibres ont un diamètre plus petit que 0.5μ et une longueur inférieure à 5μ , en terme de poids, celles-ci représentent environ 35% du poids total de fibre, tandis que les fibres de plus grand diamètre et longueur, même si moins nombreuses, comptent pour 65% du poids - cette relation inverse (beaucoup de petites fibres de faible poids vs peu de grandes fibres mais de poids élevé) nous permet de comprendre jusqu'à quel point la mesure gravi-

métrique (fraction respirable) est reliée à la mesure de compte de fibres. Cette dernière implique un facteur "poids" et la mesure directe de poids implique la présence d'un certain nombre de fibres $> 5\mu$.

- 2) Gibbs a trouvé que 8% à 10% des fibres étaient courbées;
- 3) Pour ce qui est de la relation longueur/largeur, ces mesures montrent que l'allongement observé varie de 3 à 1 jusqu'à 50 à 1 et plus, avec une moyenne d'environ 7 à 1 - c'est-à-dire 7 fois plus long que large. C'est donc dire que la règle de comptage, basée sur la proportion de 3 à 1, est très sécuritaire. Nos observations des poussières au microscope ordinaire nous font voir que certaines particules non-fibreuses pouvaient parfois avoir une forme allongée (rectangulaire, triangulaire), qui approchait la proportion 3 à 1.

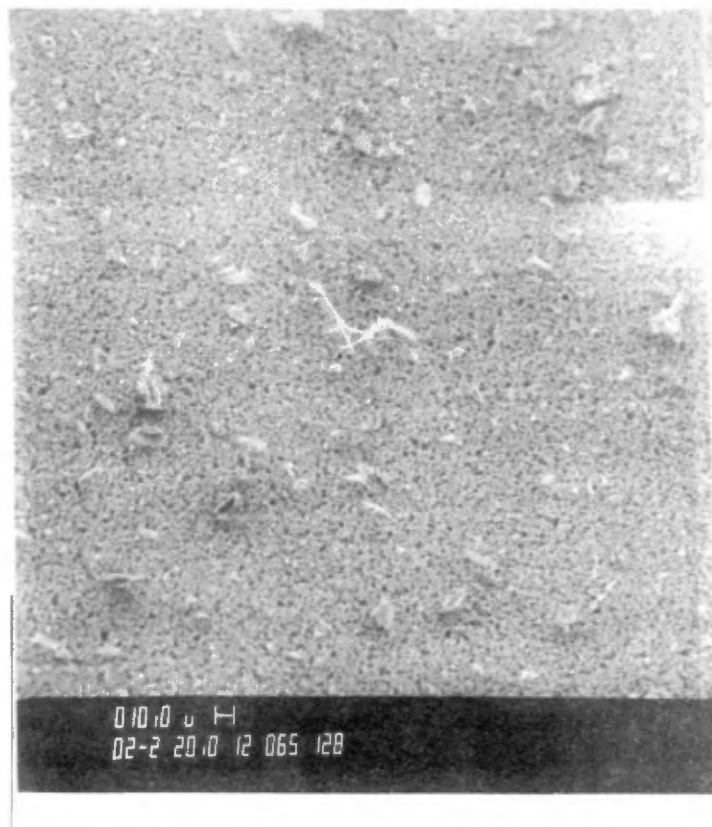
Nous avons examiné la fraction $< 5\mu$ (respirable) de nos échantillons de poussières. La distinction entre les fibres et les autres minéraux est assez claire à cette granulométrie. Les fibres les plus évidentes se présentent d'abord et surtout en bâtonnets ayant un allongement d'environ 5 à 1 et mesurant de 10 à 15 μ de long et 2 à 4 μ de large; ces bâtonnets sont très droits. En plus de ceux-ci, il y a une proportion variable de longues fibres mesurant quelques dizaines de microns de long, mais de largeur toujours entre 2 et 4 μ ; ces longues fibres sont souvent courbées et recourbées.

Les particules non-fibreuses ont l'allure d'éclats soit plus ou moins arrondis, soit angulaires.

En guise d'exemples de l'allure granulométrique et morphologique des particules de taille respirable, nous avons fait faire une série d'images au microscope électronique des fractions granulométriques $< 5\mu$ ainsi que quelques images de filtres millipores exposés. Ces microphotographies apparaissent sur les pages qui suivent.

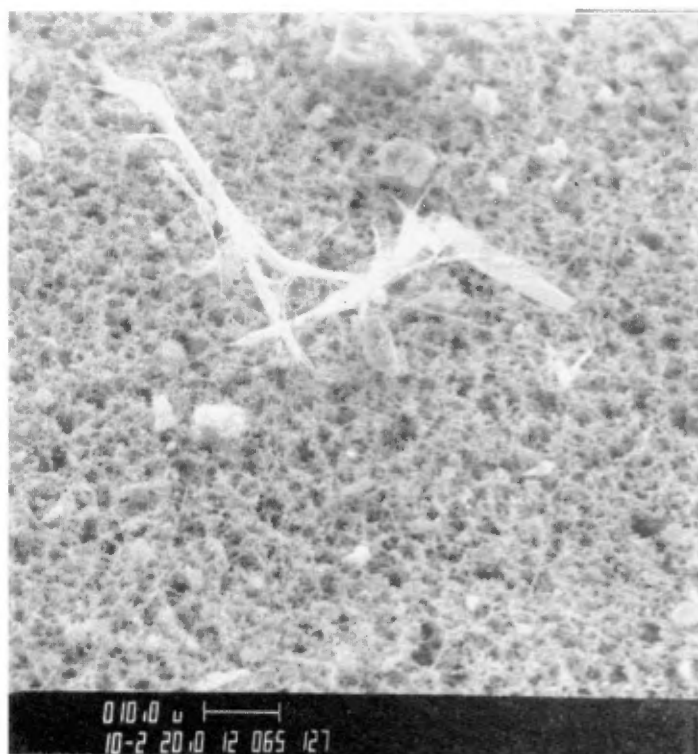
Microphotographies #1, #2 et #3: Il s'agit de trois images de la même surface d'un filtre exposé et compté - membrane M-65, concassage secondaire, Canadian Johns-Manville, d'une concentration de 3.5 à 5 fibres/cc.

L'image #1 montre une foule de particules non-fibreuses (lizardite surtout) de teinte variant de gris foncé en bordure, à noire au centre, de formes plus ou moins arrondies rectangulaires et triangulaires. Les particules les plus évidentes mesurent de 5μ à 20μ de diamètre; certaines ont un allongement qui approche la proportion 3 à 1. Les particules de chrysotile se présentent en fibres de teinte blanche à grise; plus leurs tailles sont grandes plus elles sont blanches. L'agglomération de grandes fibres au centre est composée de trois ou quatre fibres effilochées de 15μ à 60μ de longueur et de 3μ de largeur - ce sont donc des particules respirables. La surface montre aussi toute une foule de fibres plus petites et minces (fibrilles) de 5μ à 10μ de longueur et jusqu'à 1μ de largeur - à cet agrandissement de 250x, on discerne à peine les fibres de 5μ de longueur.



Microphotographie # 1

250X



Microphotographie # 2

1000X



Microphotographie # 3

Les images #2 et #3 sont des agrandissements à 1,000x et à 3,300x de la même surface et elles permettent de préciser les aspects morphologiques notés plus haut.

Cette membrane a été exposée pour une heure et elle est de fait un peu chargée en particules, mais ces images nous permettent de vérifier et de faire une corrélation avec certains paramètres établis lors de nos observations minéralogiques et granulométriques sur les poussières en vrac. Cette membrane est équivalente à l'échantillon de poussière Air-1 d'empoussièrément moyen (1.3 mg/m^3) dans lequel nous avons estimé la présence de 18% de chrysotile (voir Tableau III-E-1); l'image reflète bien cette prépondérance de particules de gangue non-fibreuse ainsi que leurs morphologies.

Microphotographies #4, #5 et #6: Il s'agit encore de trois images d'une même surface de filtre-membrane exposé - membrane M-24, site du convoyeur - alimenteur, Canadian Johns-Manville, d'une concentration d'environ 9 fibres/cc.

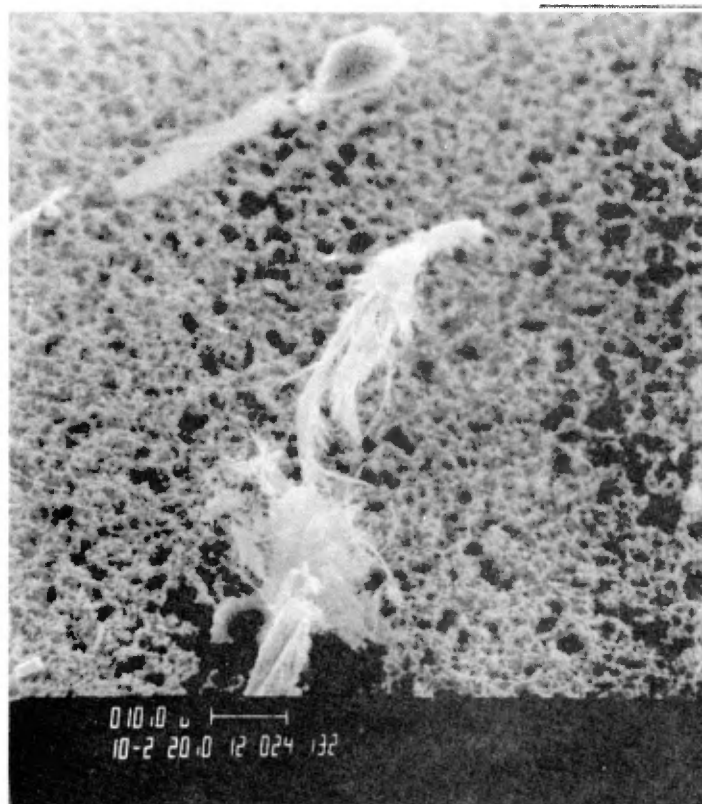
L'image #4 montre une surface moins chargée que la précédente, car il s'agit d'une membrane exposée pendant 20 minutes, et donc du tiers de la première. La surface est caractérisée par une forte proportion de fibres par rapport à la gangue. Les fibres sont en tous points semblables à celles décrites plus haut. La gangue par contre est non seulement faible en proportion, mais de granulométrie plus fine que celle notée plus haut. La grande fibre effilochée au centre des images a un diamètre plus grand que 5μ : elle est considérée non respirable et ne sera pas comptée à l'analyse.

Ces images permettent aussi certaines vérifications et corrélations avec d'autres paramètres établis par d'autres moyens. Cette membrane est équivalente à l'échantillon de poussière Air-5, aussi d'empoussièrément moyen (1.8 mg/m^3) mais de concentration en fibres de 2 à 3 fois plus forte; ces



250X

Microphotographie # 4



250X

Microphotographie # 5



3300X

Microphotographie # 6

images nous expliquent bien la raison de ces comptes de fibres élevés et constituent une vérification générale de la très forte concentration de chrysotile (60%) estimée pour cet échantillon (voir Tableau III-E-1).

Microphotographie #7: Il s'agit d'une image de la fraction de granulométrie 5μ et moins (respirable) de l'échantillon de poussière Air-2, convoyeur alimenteur, Canadian Johns-Manville. Le degré d'empoussièrement est très fort à cet endroit peu fréquenté ($10\text{mg}/\text{m}^3$) et sans doute de concentration élevée en fibres.

L'image montre des particules de gangue de couleur foncée à noire, de formes plus ou moins arrondies ou angulaires, ayant des diamètres jusqu'à 5μ ou un peu plus. Les plus grandes fibres ($>5\mu$ de longueur) sont aussi de couleur foncée à noire, mais les fibres plus petites ($<5\mu$ de longueur) sont plus nombreuses et de teinte grise à gris clair. Ces petites fibres sont en partie presque invisibles à l'agrandissement utilisé pour faire les comptages, et ne figurent donc pas dans le calcul de la concentration en fibres.

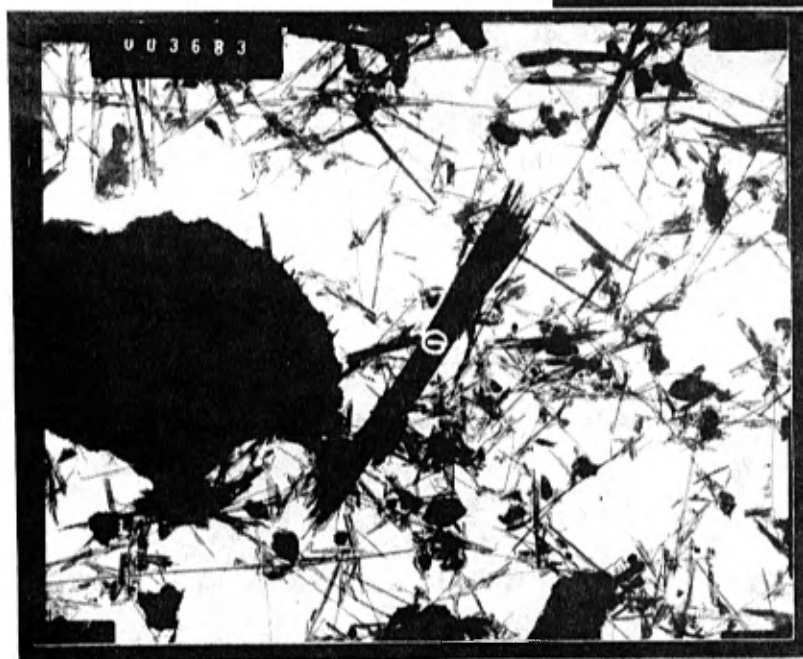
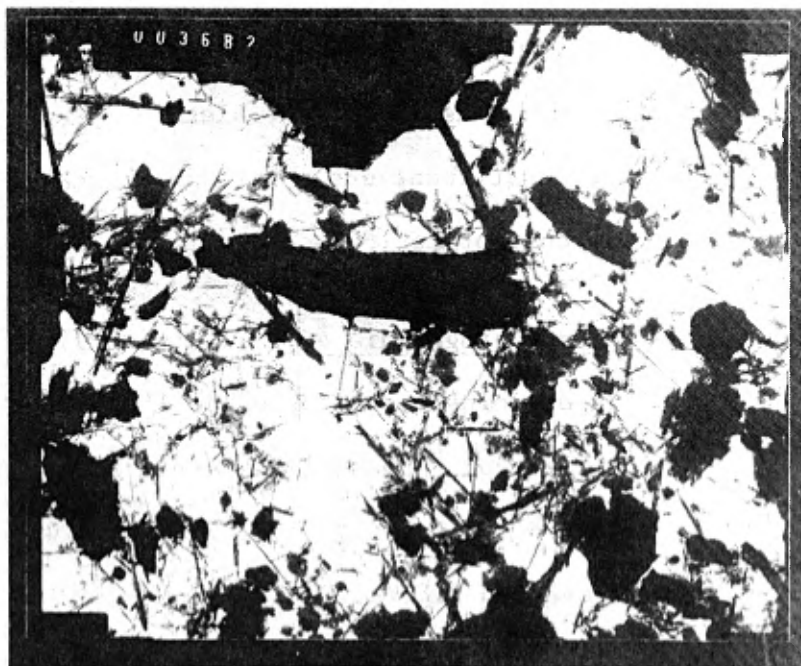
Microphotographies #8 et #9: Il s'agit ici de deux images à agrandissement différent d'une même surface d'échantillon provenant de la fraction respirable ($<5\mu$) de la poussière Air-7 prise à l'ensachage, Canadian Johns-Manville.

Sur l'image #8 on voit encore quelques grosses particules de gangue (5μ) et une fibre de teinte foncée ayant un diamètre de l'ordre de 1μ , ce sont les particules les plus évidentes au microscope ordinaire, tandis que la plupart des fibres gris clair y sont invisibles.

L'image #9 est un agrandissement à 20,300x d'une partie de la surface de la précédente. Elle permet de constater l'allure de la gamme de fibres de petite taille qui accompagnent les plus grandes fibres normalement comptées.

3700X $\frac{1\mu}{11}$

Microphotographie # 7



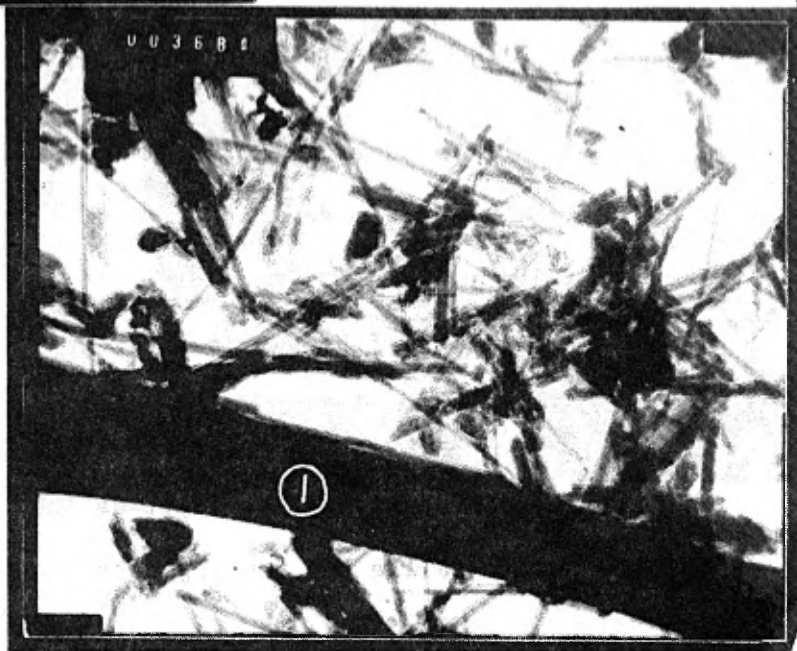
$\frac{1\mu}{11}$ 5700X

Microphotographie # 8

Microphotographie
9

20300X

$\frac{1\mu}{11}$



Microphotographie #10 et #11: Il s'agit encore d'images prises à partir de la fraction $<5\mu$ et respirable en grande proportion. L'image #10 provient de la poussière Air-9, site du concassage secondaire et l'image #11 de la fin des circuits à roche, à la Lake Asbestos. Elles montrent aussi les relations morphologiques et la gamme de tailles des particules de gangue et de fibre.

Contrairement aux images prises sur membranes (#1 à #6), ni le montant total de particules, ni les proportions de gangue avec les fibres ont de vraie signification dans les cinq dernières images. Seuls les aspects de taille et de forme des particules sont mis en évidence dans celles-ci.



Microphotographie # 10 15μ 1830X



Microphotographie # 11 15μ 1830X

III-D-2 Minéralogie des poussières.

a) Minéralogie générale:

Nous avons établi la composition générale des poussières en utilisant la méthode de diffraction aux rayons-X sur poudre. Cette méthode est susceptible d'identifier la plupart des minéraux qui accompagnent ceux du groupe des serpentines dans les poussières amiantifères. La lacune principale de la méthode est de ne pas pouvoir différencier efficacement les divers minéraux du groupe serpentine (lizardite, antigorite, chrysotile) qui constituent environ 95% des poussières. Dans des conditions contrôlées il est possible de faire une certaine distinction, mais guère quantitative, entre l'antigorite et la lizardite mais la chrysotile a des paramètres cristallographiques qui ressemblent aux deux autres serpentines. Ajoutons qu'un autre facteur, celui de l'orientation des grains, rend très difficile toute tentative d'analyse quantitative par diffraction lorsque les minéraux ont une structure fibreuse ou feuilletée.

Tout compte fait, l'uniformité de la minéralogie des minerais d'amiante est reflétée aussi dans la composition minéralogique des poussières. Les minéraux identifiés dans les poussières sont:

- les serpentines - lizardite (50à80%), antigorite (variable mais mineure), chrysotile (12 à 40%)
- magnétite (2à4%)
- brucite (1 à 2%, quelques endroits à 4%)
- biotite-phlogopite (1%)
- forstérite (1%, par endroit)
- trémolite (très faible proportion)
- talc (très faible proportion)
- chlorite (très faible proportion)
- magnésite
- contaminants

En plus d'une uniformité quant aux espèces présentes, il y a aussi, le plus souvent, uniformité générale dans les proportions présentes soit à l'intérieur d'une usine , soit d'une usine à l'autre.

Les variations de proportions les plus importantes se rencontrent plutôt au niveau des granulométries grossières vs fines.

Lizardite-antigorite ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$):

Le minéral du groupe serpentine le plus abondant est la lizardite. Les quelques différences dans le spectre de la lizardite par rapport à l'antigorite, bien qu'elles soient qualitatives et non quantitatives, laissent croire que nous sommes en présence de lizardite en grande proportion, sinon presque exclusivement. Les recherches poussées au niveau des minerais et de la roche encaissante des gisements d'amiante ont démontré (Aumont, 1970) d'ailleurs que l'antigorite était seulement d'occurrence mineure et locale dans ces serpentines amiantifères.

Chrysotile: Le spectre aux rayons-X permet d'identifier la présence de chrysotile si sa concentration est forte ($> 15\%$). De plus, il est possible d'estimer, sur une échelle purement relative, les variations dans la concentration du chrysotile. Ainsi, nous avons noté si la concentration était faible ($< 15\%$) moyenne (20-30%) ou forte (40%). Nous réservons pour la section b) suivante toute autre discussion sur l'analyse quantitative du chrysotile.

Ensemble, la lizardite et le chrysotile constituent environ 90% des poussières car les autres minéraux totalisent à peine 8% en moyenne. Lorsque la concentration de chrysotile est élevée (50%), caractéristique de certains endroits dans l'usine, celle de la lizardite est diminuée proportionnellement.

Magnétite (Fe_3O_4): La magnétite, accompagnée d'une faible proportion de chromite, est le minéral le plus répandu après les serpentines. Il varie de 2% à 4% dans les poussières ordinaires. Les analyses granulométriques de susceptibilité et de diffraction montrent que la magnétite est d'abord concentrée dans la fraction fine (-37μ) où elle peut atteindre une concentration de 7%. Le tableau III-D-2 montre le contenu en magnétite des poussières en fonction de l'étape de traitement en usine.

Brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$): La présence de brucite est facilement décelée sur le spectre à rayons-X. Toujours présente dans des proportions de 1% à 2%, elle atteint par endroits 4% dans les poussières de la Lake Asbestos. L'espèce fibreuse, nommée némalite, est reconnue dans les mines, ce qui suggère qu'elle puisse se présenter, en partie, sous forme fibreuse dans les poussières. Nous n'avons aucune donnée précise à ce sujet.

Biotite-phlogopite: On observe des paillettes de mica bronzé dans les poussières que nous avons identifiées comme étant de la biotite et/ou phlogopite. La concentration est faible (1% ou moins), mais elle est notable par son absence dans la plus fine granulométrie.

Forstérite: Des restants de forstérite non-serpentinisés, en concentration d'environ 1%, accompagnent les serpentines dans les poussières à Lake Asbestos.

TABLEAU - III-D-2

DETERMINATION DE SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE

et du

CONTENU EN MAGNETITE

des

Poussières dans l'air, des poussières sédimentées (SED.)

et de l'amiante commerciale

Echantillon	(10 ⁻¹¹ emu/cc) Suscep. de l'air	% Magnétite	Etape de Traite- ment: Remarques:
AIR - 9 - - - - -	1.06 - - - - -	2.8 %	Concassage secondaire (Lake Asbestos)
SED - 25 (53u) - - - - -	- - - - -	2.7 %	
SED - 25 (-105u) - - - - -	- - - - -	2.5 %	
SED - 25 (37u) - - - - -	- - - - -	2.5 %	
SED - 25 (-53u) - - - - -	- - - - -	4.3 %	
AIR - 2 - - - - -	1.20 - - - - -	2.0 %	Convoyage et (CJM) séchoir (L.A.)
AIR - 11 - - - - -	0.88 - - - - -	2.7 %	
AIR - 3 - - - - -	9.10 - - - - -	2.5 %	Alimentation (CJM) en minerais (L.A.) sec (CJM)
AIR - 10 - - - - -	1.00 - - - - -	3.4 %	
SED - 7 (-250u) - - - - -	- - - - -	3.1 %	
AIR - 12 - - - - -	1.08 - - - - -	3.5 %	1er crible "ROCK (L.A.) dernier " LINES"(L.A.)
AIR - 17 - - - - -	1.60 - - - - -	3.3 %	
AIR - 6 - - - - -	31.2 - - - - -	4.7 %	(BRIS) (CJM) (L.A.) "FIBRE LINES"(L.A.) (L.A.) (L.A.)
AIR - 13 - - - - -	2.1 - - - - -	3.5 %	
AIR - 16 - - - - -	2.00 - - - - -	3.8 %	
SED - 29 (-53u) - - - - -	- - - - -	4.7 %	
SED - 29 (37u) - - - - -	- - - - -	7.2 %	
SED - 29 (-37u) - - - - -	- - - - -		(L.A.)
AIR - 7 - - - - -	0.87 - - - - -	3.3 %	Ensachage (C.J.M.)
C-J-M 6D-24 - - - - -	- - - - -	2.65%	(Monkman, 1975) Produits commerciaux
C-J-M 7M - - - - -	- - - - -	2.65%	
C-J-M 4T - - - - -	- - - - -	2.3 %	
Bell 4T - - - - -	- - - - -	3.4 %	
Carey 4T - - - - -	- - - - -	12.0 %	

Trémolite, talc, chlorite: Ces minéraux sont souvent présents dans les poussières, mais en très faible quantité (moins de 1%).

Magnésite: Bien que la magnésite soit présente dans la roche des minerais, rien n'indique sa présence dans les poussières.

Les contaminants: Des observations au microscope ont permis d'identifier par endroits certains contaminants "non naturels" des poussières:

- i) des sphérules vides de matière charbonneuse qui nous semble être de la suie générée dans les séchoirs. On remarque cette suie dans les poussières presque partout dans l'usine;
- ii) des fibres organiques (synthétiques) multicolores; enfin
- iii) des globules de peintures (croyons-nous) souvent de couleurs brillantes.

III-D-2: b) Analyses quantitatives du chrysotile:

Nous avons cherché dans la littérature des moyens permettant de faire des analyses quantitatives du chrysotile. Bien que plusieurs auteurs mentionnent des méthodes efficaces, il s'agit toujours d'une analyse très spécifique qui ne s'applique pas lorsqu'on est en présence d'un mélange de deux ou trois minéraux du groupe des serpentines, ce qui est notre cas. Aucune des méthodes suggérées, que ce soit la diffraction-X, le DTGA (Differential Thermal-gravimetric analysis) ou l'infrarouge, n'est susceptible d'une analyse quantitative, ni même parfois d'une analyse qualitative.

Nous avons tenté d'appliquer une méthode brièvement décrite dans un périodique récent (Bagioni, 1975). Il s'agit de faire une séparation gravimétrique du chrysotile à l'aide d'un liquide de poids spécifique de 2.5 dans un centrifuge. La partie flottante et surnageante dans le liquide lourd est retirée et filtrée pour ensuite être analysée par infra-rouge. Nous avons tenté vainement de faire des séparations valables du chrysotile dans nos poussières. Des échantillons contrôlés nous ont convaincus que cette méthode était inapplicable à nos échantillons.

Nous avons donc été réduits à faire des estimés de la concentration du chrysotile en utilisant ~~trois~~ approches différentes:

- i) estimés au microscope des diverses fractions granulométriques de chaque échantillon d'air;
- ii) des estimés à partir du spectre de diffraction-X en utilisant une échelle d'appréciation purement relative qui donnait surtout l'ordre de grandeur de la concentration (voir "chrysotile" plus haut);
- iii) des estimés basés sur des calculs à partir des comptes sur membranes.

La dernière approche mérite une description et une explication. Notons d'abord qu'un compte sur membrane contient " le germe" d'une analyse quantitative pour le chrysotile dans les poussières fines ou respirables. Gibbs (1975) a fait des comptes complets de toutes les fibres visibles sous un grossissement de 6000 fois par S.E.M. Il a établi la distribution et la fréquence de toutes ces fibres en fonction de leurs longueurs et de leurs diamètres. Connaissant cette distribution totale, et

la fréquence d'occurrence des fibres plus grandes que 5μ , il est par la suite possible à l'aide de calculs d'arriver à un estimé de concentration de chrysotile à partir d'un compte sur membrane. Bien que ceci puisse sembler une méthode "détournée", il ne faut pas oublier que les comptes sur membranes ont les qualités d'une analyse quantitative- surtout s'ils sont faits par un technicien expérimenté.

Nous avons exploré à fond cette approche et les comparaisons qu'on a pu faire avec d'autres auteurs nous laissent croire que les estimés qui en résultent sont valables dans les circonstances. Les résultats principaux de ce travail sont:

- 1) le poids des fibres comptées ($> 5\mu$) représente de 50% à 60% du poids total de fibres dans la fraction fine (respirable) des poussières dans l'environnement des usines de traitement et dans celui des opérations de tissage de l'amiante;
- 2) que le poids moyen d'une fibre $>5\mu$ est de $.035 \times 10^{-9}$ gm.;
- 3) en guise de comparaison, voyons "Lynch, Ayer et Johnson" (1971) qui donnent des valeurs de compte et de poids: à l'aide de leurs chiffres on peut calculer que chaque fibre $>5\mu$ pèse de 0.02 à 0.07×10^{-9} gm, dépendant de l'environnement de fabrication en question (textile, amiante-ciment, etc...)
- 4) Schutz (1973) en Allemagne confirme que la norme de 2 fibres/cc pour l'environnement des textiles équivaut à la norme allemande de 0.1 mg/m^3 de chrysotile dans la fraction respirable. On peut donc calculer que chaque fibre $>5\mu$ pèse 0.025×10^{-9} gm à comparer avec le poids de $.035 \times 10^{-9}$ gm que nous avons calculé avec les données de Gibbs (1975) et de notre technicien (Denis Sauvageau, MRN).

Les estimés ou appréciations de la concentration moyenne du chrysotile dans nos poussières sont indiqués dans le tableau III-D-2. "Lynch, Ayer et Johnson" (1971) ont trouvé que "the percent asbestos in the product, total dust and respirable (fine) dust does not vary greatly for the same product". Nos estimés moyens montrent une relation semblable - c'est-à-dire des concentrations du même ordre dans la poussière totale et dans les fines - et une tendance à de plus fortes concentrations dans les poussières provenant des étapes de traitement où le produit en circulation (minerai ou concentré) est plus riche en fibre.

III-D-3: Chimisme des poussières:

Le chimisme des fibres d'amiante a été élaboré dans la partie II-B de ce rapport sous le titre: "Aspects physiques et chimiques des minéraux d'amiante".

Le chimisme des fibres de chrysotile et celui de la roche encaissante est essentiellement le même; seule la concentration des métaux accessoires (mineure ou en traces) est différente, étant plus faible dans la fibre par rapport à la roche encaissante. Hahn-Weinheimer et Hirner (1975) ont établi la composition moyenne des fibres et de la roche encaissante.

	<u>Fibre</u>	<u>Oxyde</u>	<u>Roche encaissante</u>
majeur {	42% --	SiO ₂ --	40%
	42% --	MgO --	40%
	13% --	H ₂ O --	13%
mineur { mineur	2% --	FeO; Fe ₂ O ₃ --	5%
	0.4% --	Al ₂ O ₃ --	0.8%
en traces {	0.006% --	Cr ₂ O ₃ --	0.4%
	0.09% --	NiO --	0.3%
	0.05% --	MnO --	0.2%

Les oxydes mineurs et en traces sont contenus, en grande partie, dans les quelques minéraux accessoires à la serpentine, tels que magnétite, chromite, spinel, awaruite et parfois des sulfures; toutefois, ces mêmes oxydes peuvent aussi être accommodés, en faibles concentrations, dans la structure cristalline de la serpentine.

Compte tenu de ce chimisme plus ou moins uniforme de la fibre et de la roche encaissante, il est bien entendu que le chimisme des poussières générées dans le traitement de ces minerais devrait être tout à fait analogue.

Gibbs (1971) a publié des données assez complètes sur le chimisme des fibres commerciales et sur le contenu en Fe, Ni, Cr, Mn et Co des poussières dans l'environnement des usines. Il rapporte que ces poussières contiennent de 4% à 5% de Fe; de 300 à 2500 ppm de Ni; 200 à 1300 ppm de Mn et de 200 à 10,000 ppm de Cr.

Gibbs souligne le fait que tous ces éléments en traces, sauf le fer, sont plus concentrés dans la partie respirable des poussières que dans la poussière totale.

Le tableau suivant est de Gibbs (1971, page 792):

TABLE VII. TRACE METAL CONTENT OF TOTAL AND RESPIRABLE AIRBORNE DUST (MINE J)

Metal	GENERAL MILL A				GENERAL MILL B				BAGGING AREA	
	Total dust		Respirable dust		Total dust		Respirable dust		Respirable dust	
	Range	Median	Range	Median	Range	Median	Range	Median	Range	Median
Fe (%)	4.29-6.01	5.00	2.58-5.42	3.46	1.36-6.84	5.30	2.68-9.84	3.95	9.29	9.29
Ni (µg/g)	305-1715	1300	1111-2086	1422	924-1587	1143	913-1756	1436	2551	2551
Mn (µg/g)	168-935	659	705-1078	801	507-823	711	708-1366	887	1190	1190
Co (µg/g)	19-137	80	73-234	154	49-79	60	76-525	110	457	457
Cr (µg/g)	466-3842	2183	249-6829	3980	144-2963	526	271-10492	755	9143	9143

Nous avons effectué des analyses chimiques pour le Ni, le Cr et le Co sur les poussières totales et sur certaines des fines granulométries. Nous avons trouvé des enrichissements dans les fractions fines, assez clairs pour le Cr, très peu marqués pour le Ni et variables dans le cas du Co.

		<u>A-3</u>	<u>A-11</u>	<u>A-13</u>	<u>A-16</u>	<u>A-17</u>
Cr	(total)	0.23	0.19	0.18	0.21	0.21
	% (-37 μ)	0.26	0.21	0.21	0.24	0.24
Ni	(total)	0.23	0.24	0.26	0.27	0.26
	% (-37 μ)	0.25	0.24	0.25	0.28	0.27
Co ppm	(total)	150	150	100	200	150
	% (-37 μ)	100	150	150	150	150

Ces quelques exemples d'analyses sur les poussières totales et sur la fraction < 37 μ montrent d'abord que ces poussières ont une composition très uniforme pour ce qui est des éléments en traces. Des analyses sur la fraction respirable (< 5 μ) montreraient sans doute des enrichissements plus marqués, tel que rapporté par Gibbs. De toute façon, ces concentrations métalliques dans les poussières sont considérées comme étant équivalentes à seulement le dixième des concentrations limites établies pour ces métalliques.

En résumé, la composition chimique des poussières dans l'environnement des usines de traitement se comptabilise comme suit:

SiO ₂ - 41%	FeO, Fe ₂ O ₃ - 4%	métaux en traces - 0.5%
MgO - 41%	Al ₂ O ₃ - 0.5%	
H ₂ O - 13%		
95%	4.5%	0.5%

III-E: Evaluation intégrée et appréciation des données sur les poussières:

La minéralogie des minerais et celle des poussières sont sensiblement pareilles. Les minéraux accessoires aux serpentines sont limités en nombre et encore plus limités en proportion, sauf pour la magnétite. Le minéral-clef de cet assemblage de minéraux est le chrysotile fibreux; il est le plus facile à identifier à l'oeil nu, mais par contre le plus difficile à quantifier lorsqu'en présence des autres serpentines dans un mélange à grains fins.

Une étude minéralogique de cette nature devrait tenter d'établir les faits suivants:

1) La concentration de poussière totale et son contenu de chrysotile.

Les tableaux principaux 1 et 2 en pochette indiquent les concentrations par site échantillonné; deux mesures gravimétriques sont données et la moyenne de celles-ci semble une mesure valable. Le pourcentage de chrysotile (Tableau synthétique III-E-1) dans ces poussières totales demeure toujours un estimé plutôt relatif en ce sens que les chiffres de pourcentage comportent une erreur absolue de l'ordre de $\pm 5\%$, et parfois plus. Toutefois d'un échantillon à l'autre, les concentrations relatives de chrysotile, sont réelles et plus précises. Ces données montrent que la concentration d'amiante dans les poussières totales est faible à moyenne au concassage, forte à l'alimentation en minerai sec, moyenne à forte au début du circuit à roche, faible à la fin de celui-ci et forte, de façon générale, dans le circuit à fibres. A l'ensachage,

TABLEAU : TABLEAU SYNTHETIQUE DES DONNEES RELATIVES A LA CONCENTRATION DE POUSSIERE TOTALE, LA CONCENTRATION POSSIBLE
 III-E-1 DE POUSSIERE RESPIRABLE, LE % DE CHRYSOTILE DANS CHAQUE PARTIE ET LE NOMBRE DE FIBRES COMPTEES/cc - SELON
 LES ETAPES DE TRAITEMENT.

Echantillon	Degré d'empous- sièrement (usine)	Pouss. Totale Poids: mg/M ³ (% chrysotile)	Pouss. respirable - % Poids: mg/M ³ (% chrysotile ds -37μ)	Compte de Fibre - nombre/cc	Etape de traitement
AIR - 1	(C.J.M.) faible à moyen	1.3 (18%)		3.5/cc	Concassage secondaire
AIR - 9	(L.A.) moyen à fort	5.4 (22%)	25%-1.4 mg/m ³ (14%)	3.6/cc	Concassage secondaire
AIR - 2	(C.J.M.) fort	10.1 (18%)	20%-2.0 " " (16%)	-----	Convoyeur
AIR - 4	(C.J.M.) faible	0.7 (18%)		-----	Séchoir
AIR - 11	(L.A.) moyen	4.0 (20%)	29%-1.2 " " (14%)	4.4/cc	Séchoir
AIR - 5	(C.J.M.) moyen	1.8 (60%)	25%-0.5 " " (60%)	7.4/cc	} Alimentation en minéral sec
AIR - 10	(L.A.) moyen	4.0 (32%)	23%-0.9 " " (30%)	16.3/cc	
SITE # 14	(C.J.M.) faible	0.3 (---)		2.1/cc	Crible à secousse
AIR - 12	(L.A.) moyen	4.2 (33%)	20%-0.8 " " (45%)	14.8/cc	1er crible
AIR - 17	(L.A.) fort	5.9 (18%)	22%-1.3 " " (20%)	8.0/cc	Dernier crible
AIR - 8	(C.J.M.) faible	0.4 (---)	(50%)	4.1/cc	Crible à secousse
AIR - 6	(C.J.M.) fort (bris/blocage)	(112) (élevé)	(élevé)	-----	Crible classeur
AIR - 13	(L.A.) fort	6.8 (40%)	20%-1.4 " " (30%)	7.2	Fiberizer
AIR - 16	(L.A.) fort	7.5 (30%)	17%-1.3 " " (40%)	18.8/cc	Crible-tamis classeur
AIR - 14	(L.A.) faible	1 (50%)	(> 50%)	10.5/cc	Dépoussiéreur
AIR - 7	(C.J.M.) moyen	2.5 (50%)	27%-0.7 " " (40%)	1.7/cc	} Ensachage - Mise au point commerciale
AIR - 15	(L.A.) faible	1.1 (---)	(25%)	3.5/cc	

Prépara-
tion des
minerais

Circuits
à
Roche

Circuits
à
Fibres

puisque'on manipule de la fibre pure, on s'attendrait à une forte proportion de chrysotile dans les poussières; selon nos identifications, cette concentration est de moyenne à faible. La raison de ceci, croyon-nous relève du fait que la poussière "non-minérale" (huile, papier, suie, ligne, etc...) y contribue d'une façon significative.

2) La concentration de poussière respirable et son contenu en chrysotile.

Nos analyses granulométriques montrent que la proportion de la fraction respirable varie d'environ 17% à plus que 29%, avec une moyenne générale se chiffrant à environ 23%. Rappelons ici que l'échantillonnage de Gibbs (1972) laissait voir une proportion allant de 9% à 27% (moyenne de 17%). Les variations rencontrées, allant du simple au double au triple, sont significatives. Il est loisible de considérer que la plupart des conditions d'empoussièremment seront couvertes en utilisant une proportion maximale de l'ordre de 25% pour la fraction respirable.

Nos évaluations et nos estimés de la concentration de poussière respirable sont inscrits au tableau III-E-1.

Dans l'usine de textiles de la CJM, la poussière respirable constitue environ 28% du montant total de poussière. A titre de comparaison avec d'autres usines de textiles, il est utile de noter ici que Schutz (1973) mentionne 30% à 50% pour la proportion de poussière respirable tandis que Lynch, Ayer, Johnson (1971) parlent de 24% à 38%.

Le pourcentage de chrysotile dans les fines est un estimé en tous points semblable à celui décrit ci-haut pour les poussières totales. Notons que cette concentration dans les fines est presque la même que celle des poussières totales et qu'elle semble varier d'un endroit à l'autre comme celle des poussières totales.

Une note de précaution: Ces évaluations portent sur des mesures indirectes, lesquelles ont été effectuées sur des poussières recueillies en vrac sur un filtre et donc agglomérées. Une fois re-dispersées, ces poussières ne sont pas tout à fait dans leur état naturel. Il est évident que les meilleures mesures de concentration de poussière respirable seront des mesures directes à l'aide d'appareils à discrimination bien calibrés. Compte tenu de cette limitation, nos valeurs signifient toutefois l'ordre de grandeur anticipé et les variations possibles.

3) Pour ce qui est des minéraux accessoires, la plupart ont tendance à diminuer dans la fraction fine - brucite et biotite surtout, tandis que la magnétite augmente par un facteur de deux. La magnétite offre donc des possibilités de mesures intéressantes. Parce que la magnétite se rencontre dans la fraction fine et parce qu'elle est associée aux fibres d'amiante, les mesures de magnétite pourraient refléter non seulement une mesure d'empoussièrement général, mais refléter aussi la proportion des

poussières fines et amiantifères. Rappelons que la mesure du magnétisme due à la magnétite est facile, sensible et peut être continue et automatisée.

Le problème de pouvoir faire des déterminations quantitatives du chrysotile demeure. Les comptes sur membranes, bien que longs et difficiles, sont une mesure sûre. Une méthode en voie de recherche consiste à effectuer des analyses sur des fibres orientées dans un champ magnétique. Enfin, le manque de méthode d'analyse quantitative de chrysotile met en doute la possibilité d'avoir recours à des mesures gravimétriques pour définir une norme unique d'empoussièrement dans l'industrie de l'amiante. Tel que mentionné, ces mesures peuvent servir à une fin très utile en "monitoring" en tant que norme complémentaire. Après quelques années d'expérience et de mesures comparatives avec les comptages de fibres, il sera peut être utile et possible de redéfinir la norme en termes de mesures gravimétriques.

Il est difficile de terminer cette appréciation minéralogique en se voyant obligé d'admettre que le minéral chrysotile échappe toujours à nos moyens analytiques.

PARTIE IV

ETUDES COMPARATIVES DES METHODES

D'ECHANTILLONNAGES ET D'ANALYSES QUANTITATIVES

DES POUSSIÈRES D'AMIANTE

IV-A: Introduction

L'appréciation des paramètres minéralogiques des poussières d'amiante de la section précédente nous permet, à la suite d'essais comparatifs, de faire une évaluation des diverses méthodes d'échantillonnages et d'analyses quantitatives communément utilisées pour mesurer le niveau d'empoussièrement. Une évaluation de ces méthodes est essentielle à l'établissement d'une norme d'exposition, car en définissant une norme, on doit aussi spécifier la ou les méthodes de mesures et élaborer un système de contrôle qui sera conforme à la norme édictée.

Il est facile de dire qu'il existe plusieurs façons de mesurer les paramètres significatifs d'empoussièrement. Dans le concret, mon expérience récente, bien que limitée, m'a démontré que les méthodes et les appareillages utilisés sont peu nombreux. L'industrie minière au Québec, la canadienne en bonne partie, ainsi que le service gouvernemental d'inspections minières, ont recours surtout à une seule mesure, celle du "Midget Impinger", et ce, depuis très longtemps. Dans l'industrie de l'amiante on utilise des comptes de fibres sur membrane depuis déjà quelques années en parallèle avec le "Midget Impiger".

Nous avons procédé à des essais comparatifs dans l'environnement des usines de traitement des minerais d'amiante et dans certaines industries de fabrication. Nous ferons d'abord la compilation et la comparaison des données suivies d'une évaluation des diverses méthodes. En tant que conclusion, nous tenterons d'offrir des recommandations concernant les méthodes de mesures et les endroits à échantillonner.

IV-B: Echantillonnage comparatif:

IV-B-1: Méthodes et appareils d'échantillonnage

Les méthodes d'échantillonnage utilisées étaient les suivantes:

- a) Mesure gravimétrique avec pompe à grand débit: Il s'agit d'un échantillon volumineux recueilli pendant 6 à 8 heures avec un débit d'air de 50 à 60 pieds cubes par minute (Poussière totale).
- b) Mesure gravimétrique avec pompe personnelle: Il s'agit d'un échantillonnage pendant 3 heures avec une aspiration de 2 litres/minute (Poussière totale).
- c) Filtre membrane avec pompe personnelle: Il s'agit de la méthode standard d'échantillonnage et de comptes de fibre. La durée de l'échantillonnage était de 1 heure et/ou 20 minutes.
- d) Echantillonnage avec le Midget Impinger, le plus souvent pendant 15 minutes, parfois 30.
- e) Un deuxième filtre membrane, exposé à la sortie d'air du Midget Impinger.

Ces divers types d'échantillons furent recueillis simultanément et répétés, lorsque possible, deux ou trois fois (occasionnellement quatre fois) par endroit.

Le schéma d'échantillonnage était comme suit:

<u>Pour un site typique</u>				
Type d'échantillon				
(a)	(b)	(c)	(d et e)	
1 gravimétrique de 6 - 8 heures	1 gravi. - 3 hrs	{ 1 ou 2 filtres membranes (60 et 20 minutes)	{ 1 ou 2 Midget Imp., (20 minutes) (avec membrane à la sortie)	
	1 gravi. - 3 hrs	{ 1 ou 2 filtres membranes	{ 1 ou 2 Midget Imp., (20 minutes) (avec membrane à la sortie)	

IV-B-2: Endroits échantillonnés

Nous avons choisi de huit à dix sites d'échantillonnage dans chaque usine étudiée. Chaque site choisi représente un environnement typique de chaque étape significative dans l'usinage du minerai. Les tableaux 1 et 2 en pochette, sur lesquels toutes les mesures sont indiquées, montrent que les sites échantillonnés sont représentatifs des étapes successives suivantes:

Concassage → séchoir → alimentation → circuits à roches → circuits à fibre → ensachage.

IV-C: Mesures et analyses:

On a effectué des mesures et analyses sur chacun des cinq types d'échantillons différents signifiés a), b), c), d) et e) ci-haut.

Les mesures et analyses effectuées étaient comme suit:

- Type a) d'abord des pesées et ensuite la série d'analyses minéralo-granulométriques décrites dans la Partie III de ce rapport.
- Type b) pesées
- Type c) comptes de fibres; quelques images au microscope électronique
- Type d) comptes de particules
- Type e) comptes de fibres

IV-D: Compilation et comparaison des résultats (Voir les tableaux # 1 et # 2 en pochette et # 3 dans le texte).

Cet échantillonnage comparatif à travers le procédé de traitement en usine se solde donc par une série de mesures de natures différentes - gravimétrique, comptes de fibres, comptes de particules et diverses mesures minéralo-granulométriques. Nous examinerons d'abord chaque catégorie de mesures individuellement en notant particulièrement les variations le long du procédé de traitement. Dans un deuxième temps, nous examinerons les corrélations entre les mesures par site individuel et à travers les usines en général.

IV-D-1: Examen des diverses catégories de mesures d'empoussièrément:

a) Gravimétrique: Deux mesures gravimétriques sont données par site; le premier avec une pompe à grand débit (50 à 60 pieds cubes/minutes) opérée pendant 6 à 8 heures, l'autre avec une pompe "personnelle" (2 litres/minutes) opérée pendant 3 heures. De façon générale les mesures de poids provenant de la pompe à grand débit sont 40 à 50% plus élevées que celles provenant des pompes personnelles. Les mesures avec

la pompe personnelle sont quelque peu primitives et donc de précision limitée (faible poids de poussière sur un filtre ayant un poids 15 fois plus fort) et d'exactitude variable (possibilité de perte de poussière lors du pesage). La mesure à grand débit a une valeur statistique beaucoup plus significative, mais il se peut que le grand débit occasionne un "effet de taille". Considérant, donc, que l'un est un peu faible et que l'autre est un peu élevé, nous considérons que la moyenne des deux mesures constitue une valeur représentative du degré d'empoussièrement.

A la Johns-Mansville (graphique IV-D-1) les mesures de poids varient de 0.4×10^{-9} gm/cc (ou $0.4\text{mg}/\text{M}^3$) à 10×10^{-9} gm/cc; un blocage important dans les circuits à fibres a occasionné une concentration de $112\text{mg}/\text{M}^3$. Les zones de convoyeur-alimenteur, aussi bien dans le moulin 5 que dans le moulin 6, sont les plus empoussiérées avec 2.7 et $10\text{mg}/\text{M}^3$. La mesure de $4.5\text{mg}/\text{M}^3$ à l'ensachage est due en grande partie à des "poussières non-minérales" (huile, suie, papier, linge, etc...).

A la Lake Asbestos (graphique IV-D-2) le poids moyen varie de 1mg à environ $8\text{mg}/\text{M}^3$. Les sites 13 et 16 dans les circuits à fibres sont les plus empoussiérés (6 à $8\text{mg}/\text{m}^3$) et celui à l'ensachage le plus faible ($1\text{mg}/\text{m}^3$).

Tout compte fait, le degré d'empoussièrement est en moyenne environ sept fois plus élevé à la Lake Asbestos qu'à la mine Jeffrey de C.J.M.

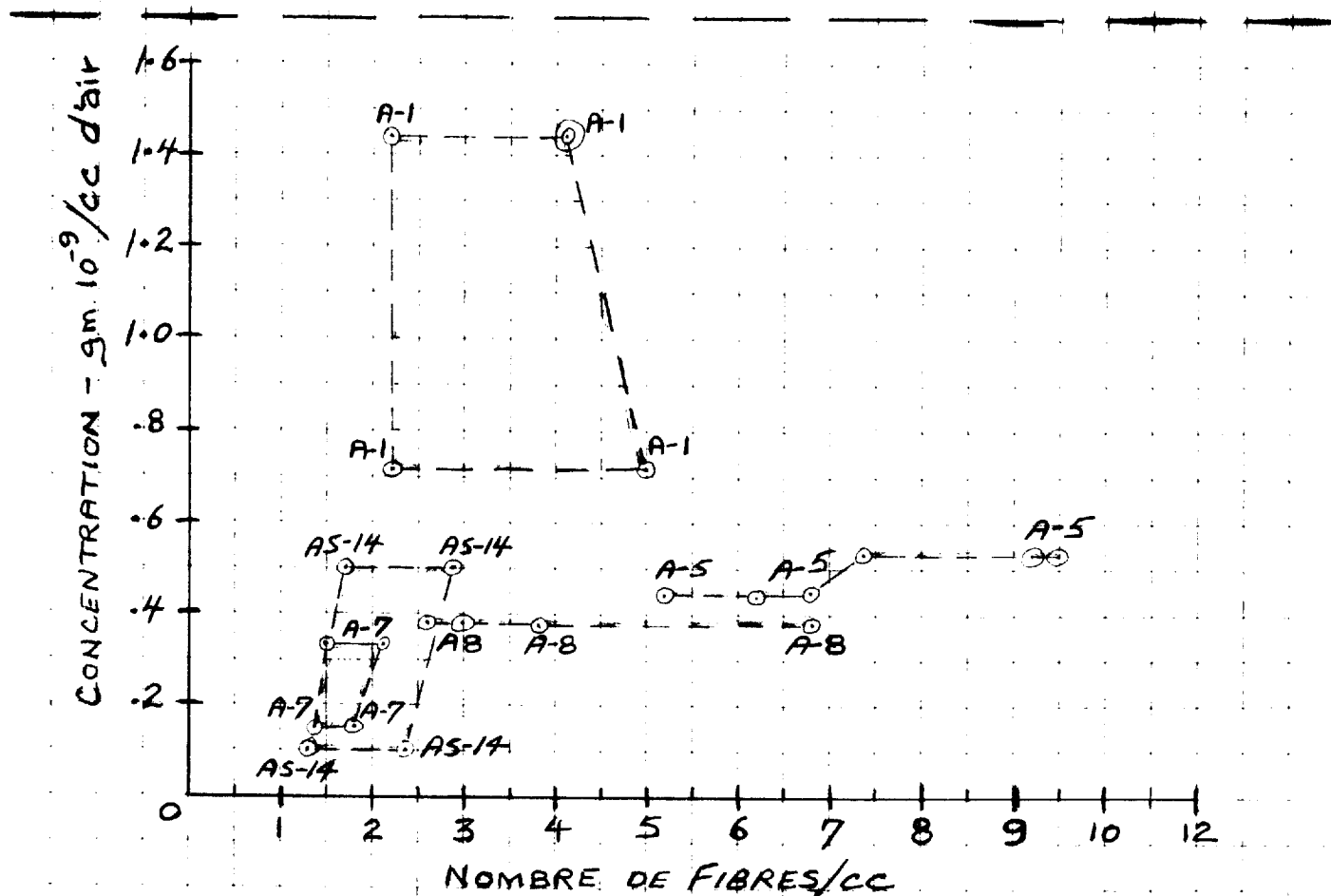
Toutes ces mesures concernent les poussières totales. Aucune mesure gravimétrique de la fraction respirable n'a pu être effectuée directement, dû au manque d'appareillage spécialisé utilisé par l'auteur.

GRAPHIQUE IV-D-1

MESURES DE CONCENTRATIONS GRAVIMETRIQUES V/S NOMBRE DE FIBRES

montrant la

Corrélation entre la concentration de poussière totale dans l'air et le nombre de fibres comptées - par endroit et étape de traitement du minerai.



Domaine "A-1" - Concassage secondaire

Domaine "A-5" - Alimentation en minerai sec

Domaine "AS-14" - Circuit à Roche - Crible à secousses intermédiaire

Domaine "A-8" - Circuit à Fibre - Crible à secousses et nettoyage

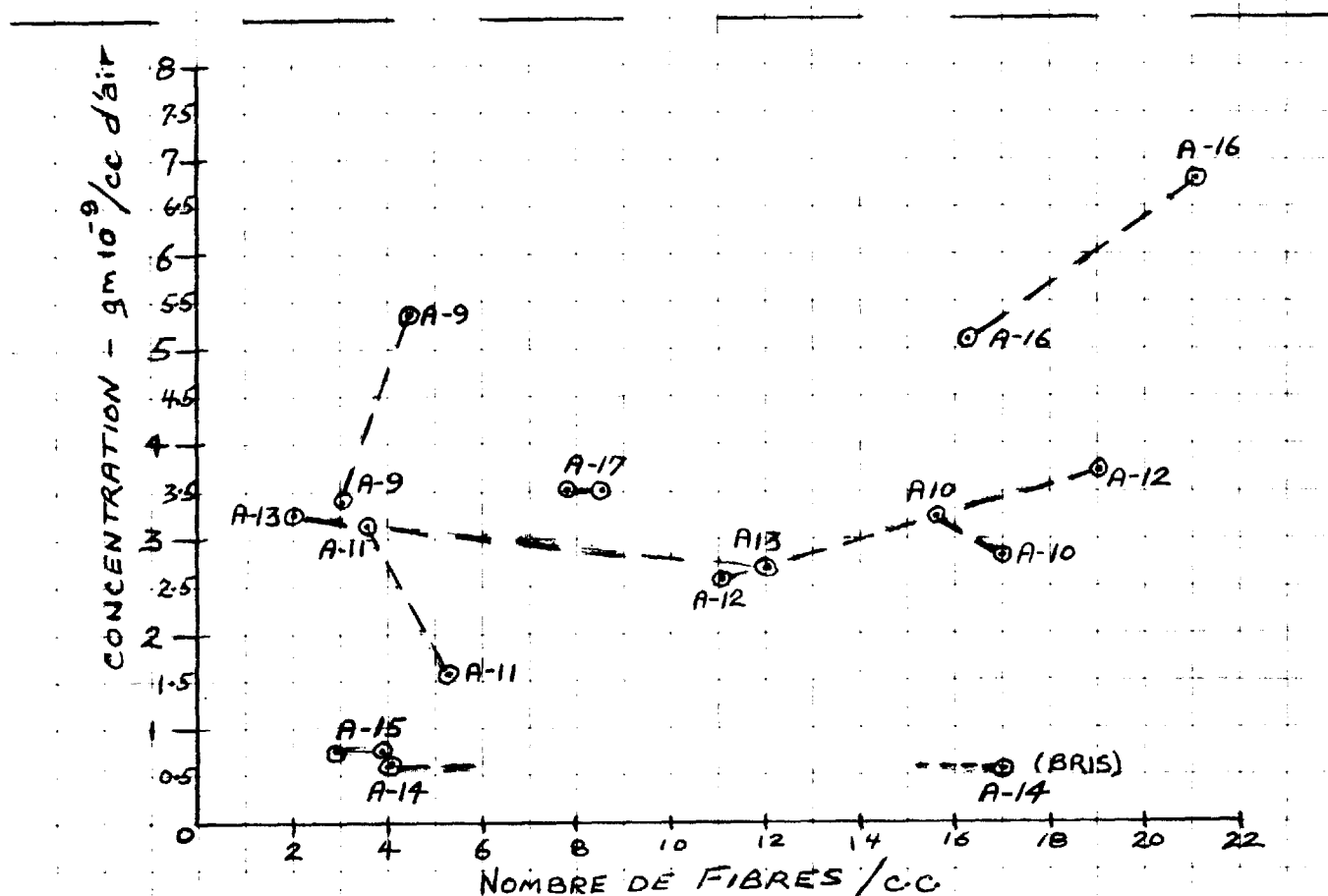
Domaine "A-7" - Ensachage

GRAPHIQUE IV-D-2

MESURES DE CONCENTRATIONS GRAVIMETRIQUES V/S NOMBRE DE FIBRES

montrant la

Corrélation entre la concentration de poussière totale dans l'air et le nombre de fibres comptées - par endroit et étape de traitement du minerai.



Domaine "A-9" - Concassage secondaire

" "A-11" - Convoyeur et séchoir

" "A-10" - Alimentation en minerai sec

" "A-12" - } Circuit à premier crible

" "A-17" - } roche { dernier crible

" "A-13" - } Circuit { Fiberizer (+dépoussiéreur)

" "A-16" - } à { Crible classeur - tamis de finition

" "A-14" - } Fibre { Dépoussiéreur (trémie à fibre)

" "A-15" - Ensachage

b) Comptes de fibres:

Les comptes de fibres sont de loin les mesures les plus précises et les plus exactes de tous les paramètres étudiés. Les résultats des comptes sur des échantillons pris simultanément, ou presque, sont toujours très rapprochés. Nos quelques expériences confirment l'analyse statistique de Rajhans et Bragg (1975) dans laquelle on établit que l'écart type de ces comptes est d'environ 1 fibre/cc pour un environnement d'échantillonnage ayant une concentration entre 2 et 4 fibres/cc; les auteurs considèrent donc que la méthode est suffisamment précise pour des mesures industrielles aux niveaux de 2, 4 ou plus de fibres/cc. Pour des concentrations plus faibles (inférieures à deux fibres), il faudrait augmenter la durée de la prise d'échantillon afin d'avoir une précision du même ordre.

Les comptes de fibres à la C.J.M. varient de 1 à un maximum de 9.5 fibres/cc. Seuls les endroits de convoyeurs-alimenteurs donnent des comptes de 5 à 9.5 F/cc (voir le graphique IV-D-1).

A l'usine de Lake Asbestos les comptes varient de 2 à 21 fibres/cc. Le graphique IV-D-2 montre que plusieurs endroits (alimentation, les circuits à roches et à fibres) sont marqués par des concentrations plus fortes que 5 fibres/cc.

Globalement, ces données permettent quelques constatations:

- 1) L'usine de Lake Asbestos est caractérisée par une concentration moyenne de fibre dans l'air qui est 2.5 fois plus élevée que celle de l'usine de C.J.M.
- 2) Des variations assez subites (d'une heure à l'autre) de comptes de fibres, soulignant des variations cycliques assez significatives avec le temps, en certains endroits.
- 3) Les comptes de fibres/cc ont tendance à être plus élevés où la concentration de chrysotile libre dans le produit en circulation est plus forte - alimentation, début des circuits à roches, les circuits à fibres. L'ensachage est une exception, indiquant qu'on s'efforce de bien contrôler le degré d'empoussièrement à cet endroit.

c) Comptes de particules (Midget Impinger):

De tous nos résultats, ce sont les plus décevants et les plus inutiles. Ceci dépend peut-être en partie de notre manque d'habileté à utiliser la méthode; à notre avis, ces résultats décevants ne sont pas autant une réflexion sur notre habileté qu'une réflexion sur la nature imprécise, incomplète et parfois subjective de la méthode. Soulignons que nous avons eu un rendement excellent avec la méthode plus complexe et plus précise des comptes de fibres.

La forte variabilité des mesures successives à un endroit donné ou bien d'un endroit à l'autre, ne permet aucune constatation valable.

Toutefois, nous avons contrôlé la sortie d'air du Midget Impinger en y apposant un filtre membrane et en procédant ensuite à des comptes de fibres sur les membranes afin de déterminer l'efficacité

du Midget Impinger en tant qu'appareil de captage des particules de poussières. La plupart de ces filtres étaient presque vierges tandis que exceptionnellement ils contenaient quelques fibres (0.1 à .4 fibres/cc- donc un niveau statistiquement non-significatif) et/ou une faible concentration de particules très fines. Il est donc démontré que le Midget Impinger est efficace en tant que capteur de poussières. Par implication, c'est au niveau des comptes que la méthode est incomplète et imprécise.

Par contre, Gibbs (1974) suggère que c'est au niveau de l'échantillonnage et non pas au niveau des comptes que la méthode est inefficace.

d) Paramètres minéralo-granulométriques

Les mesures relatives à ces paramètres ont été compilées et commentées dans les sections III-D et III-E plus haut. Le tout se résume en deux relations principales:

- i) le poids de la fraction granulométrique respirable versus le poids total des poussières; et sa variation d'une étape à l'autre dans le traitement en usine;
- ii) le pourcentage et la morphologie du chrysotile dans la fraction respirable versus le pourcentage du chrysotile dans la poussière totale; et sa variation aussi d'une étape à l'autre du traitement.

Pour des raisons d'ordre technique et autres qui ont été discutées plus haut (Partie III-D et E), les mesures de ces paramètres à date, représentent seulement des estimés. En conséquence, l'évaluation des deux relations citées demeurent approximatives.

Relation i) La proportion "poussière respirable/poussière totale" varie de 8% à 29%, étant en moyenne de 23%. Conformément aux variations notées dans les diverses usines de transformation et d'utilisation de l'amiante, cette proportion respirable peut varier du simple au triple d'un endroit à l'autre dans les usines d'extraction.

Relation ii) Aucune méthode analytique ne permet de déterminer, avec la précision nécessaire, le pourcentage de chrysotile dans les poussières totales ou respirables. Nos estimés laissent voir des concentrations variables allant de 10% à 15% à plus que 50% d'un endroit à l'autre. Par contre, il semble y avoir concordance entre le pourcentage dans les poussières totales et celles respirables et, de façon générale, avec la quantité de fibres libres aux différents étapes du traitement.

La présence de magnétite et son évolution lors du traitement, aussi bien dans le minerai que dans les poussières, ont été soulignées. Cette magnétite est souvent associée à d'autres minéraux métalliques et ferro-magnétiques, bien qu'en de très faibles concentrations, tels que l'awaruite, la chromite, la pyrrhotine et la maghemite. Au niveau des gisements, la teneur moyenne en magnétite est de l'ordre de 2% à 3%; elle est associée de très près, et suit le chrysotile lors du traitement. Les concentrés d'amiante contiennent de 2% à 4% de magnétite (surtout dans les parties fines de ces concentrés) et les poussières d'air en contiennent presque autant (encore concentrée dans les fractions fines).

Le paramètre "susceptibilité-magnétique" montre donc une possibilité intéressante de "monitoring" continu des poussières dans l'air.

IV-D-2: Comparaison des mesures d'empoussièrement et études de corrélations:

Lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons entre des mesures d'empoussièrement de l'air, la mesure de base des comparaisons doit toujours être le compte de fibres/cc. Cette mesure est non seulement exacte et précise, mais spécifique à la fraction respirable et, à la fois, une

mesure directe d'une morphologie particulière et une mesure indirecte du montant total de chrysotile dans cette même fraction.

a) Mesures gravimétriques vs comptes de fibres.

Les deux graphiques IV-D-I et 2 montrent la variation des mesures gravimétriques (poussière totale) en fonction des comptes de fibres et ce pour les deux usines étudiées. Chaque ligne ou surface définies par les points représentent des "domaines" de concentrations gravimétriques et de fibres caractéristiques de l'endroit ou de l'étape de traitement en question. Nos échantillons sont trop peu nombreux pour faire une analyse statistique, numérique et complète. Nous croyons qu'à l'échelle des usines en général, il sera difficile d'établir une relation comptes de fibres - poussière totale. Ceci

appuie en quelque sorte les interprétations préliminaires au sujet des variations minéralo-granulométriques.

Si on considère les endroits ou étapes individuellement, le manque de corrélation est moins certain, mais toutefois très probable - les endroits où il y a le plus de mesures (voir C.J.M., domaines A-1, A-7, AS-14 et A-5, graphique IV-D-I) sont loin de montrer une corrélation directe. C'est d'autant plus improbable au niveau de concentration de l'ordre de 2 à 5 fibres/cc. Il se peut que des mesures gravimétriques plus raffinées et de plus courte durée puissent améliorer la corrélation en un endroit donné. Bien que de telles mesures soient techniquement possibles, leurs applications industrielles en continu ne sont pas encore utilisées dans l'industrie et l'appareillage ne nous était pas disponible.

Si, par contre, on pouvait avoir accès à des mesures permettant une comparaison non pas avec le poids des poussières totales,

mais avec celui de la fraction respirable, le degré de corrélation par endroits serait certainement amélioré. Cette relation mérite d'être approfondie dans la mesure où un système de mesures gravimétriques en continu et à courte période est envisagé dans le cadre d'un système de "monitoring".

b) Mesures de particules (Midget Impinger) vs comptes de fibres:

Nos résultats indiquent des difficultés à établir une corrélation entre les mesures provenant du Midget Impinger et celles des comptes de fibres. Nos résultats constituent sans doute un cas extrême, mais ils signifient aussi le danger de comparer les résultats d'un opérateur avec ceux d'un autre.

c) Mesures minéralo-granulométriques vs comptes de fibres:

Plusieurs facteurs minéralogiques semblent montrer une corrélation genre qualitatif, avec les comptes de fibres. Cette corrélation est suggérée par le fait qu'il semble y avoir un pourcentage comparable de chrysotile dans les poussières totales, dans la fraction respirable et dans le produit en traitement. Il s'agit d'une relation notée par d'autres pour les usines de transformation et par nous, dans les usines de traitement.

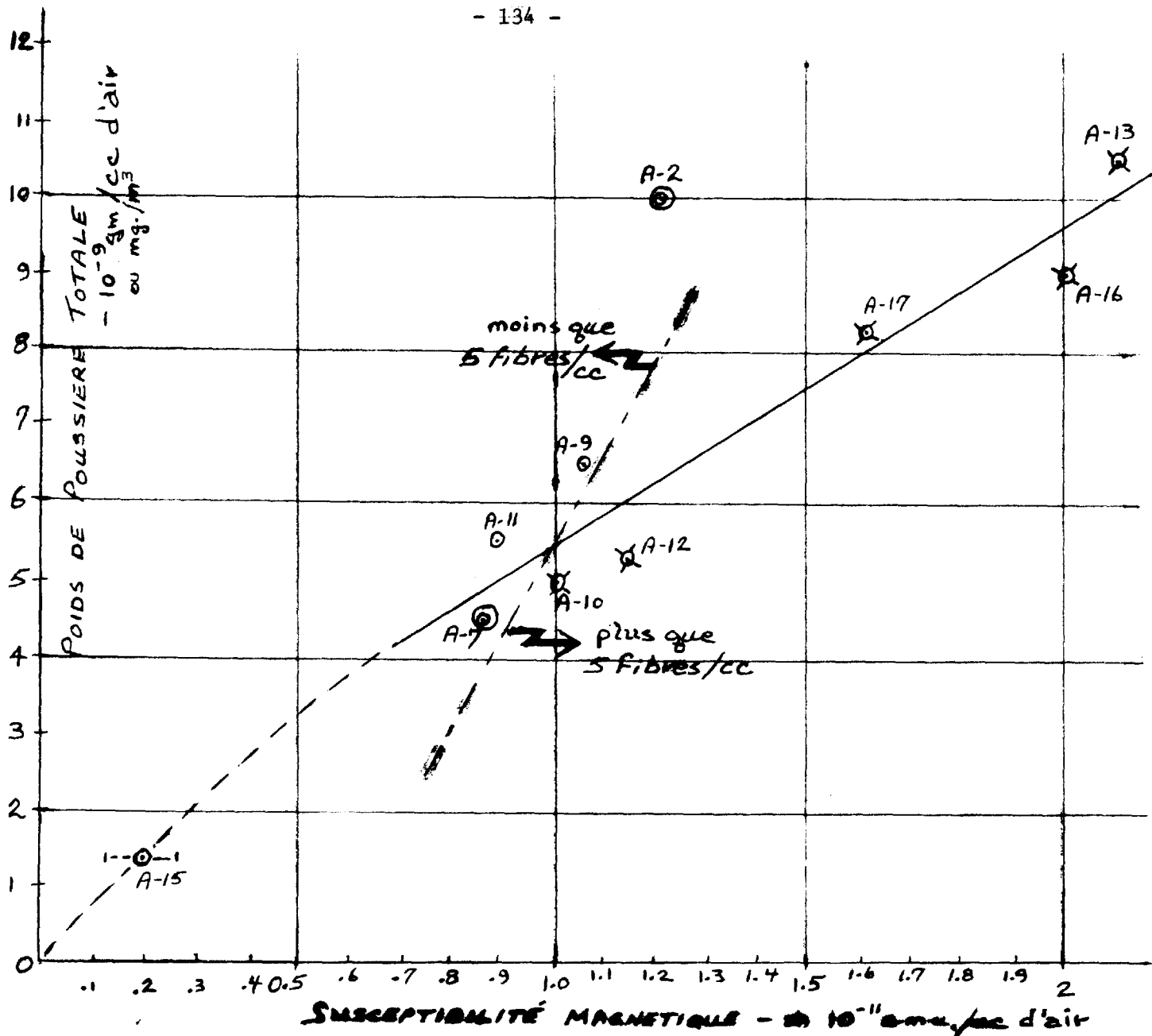
Il s'agit toutefois d'une simple indication qualitative. Sur le tableau synthétique III-D-2 les résultats ne peuvent pas être cités en évidence, car il existe une auto-corrélation entre le

pourcentage de chrysotile et les comptes de fibres; ceci provient du fait que ces estimés de chrysotile incorporent une mesure qui est fonction des comptes de fibres (voir III-D-2: b).

d) Mesures de susceptibilité vs poids et comptes de fibres: (graphique IV-D-3)

Ce graphique montre la relation entre la susceptibilité magnétique (pourcentage de magnétite) et le poids des poussières totales - tous les points sauf deux (A-2 et A-7) proviennent de la Mine Lake Asbestos où les plus fortes concentrations de poussière ont permis plus de déterminations de susceptibilité. La courbe indique une bonne corrélation entre la susceptibilité et le poids de poussière totale. Cette corrélation est d'autant plus remarquable si on considère qu'elle représente une condition générale à l'échelle de l'usine au complet. Des courbes semblables pour une série d'endroits spécifiques dans l'usine montreront une corrélation encore plus forte.

Il y a une suggestion aussi que la courbe puisse être divisée en deux parties avec la partie inférieure contenant moins de 5 fibres/cc et l'autre, des concentrations plus fortes.



GRAPHIQUE IV-D-3

GRAPHIQUE MONTRANT LA VARIATION

entre

LE POIDS et la SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE

(des poussières totales)

en relation avec les

COMPTEs DE PLUS et DE MOINS de 5 fibres/cc

- ⊙ Site avec < 5 fibres/cc } Lake Asbestos
- ⊗ Site avec > 5 fibres/cc }
- ⊙ Site avec < 5 fibres/cc } Can. Johns-Manville

Les données de susceptibilité à CJM (tableau 2, en poche) laissent voir que les bris ou blocage se manifestent par des poussières dans l'air à forte susceptibilité (A-6 avec 31×10^{-11} emu) et un endroit très empoussiéré et non fréquenté (A-3) donne un chiffre de 9×10^{-11} . De fait, cette mesure de susceptibilité est en voie d'étude au Mines Branch à Ottawa (Winer and Schwartz, 1975) en tant que moyen de "monitoring" du processus de traitement du minerai.

IV-E: Tentative d'évaluation intégrée des méthodes de mesures d'empoussièrement:

IV-E-I: Aspects techniques d'une norme et son application:

L'établissement d'un seuil d'exposition aux poussières d'amiante au-delà duquel il y a risque de danger pour la santé est d'abord et avant tout une question médicale. Ce seuil d'exposition étant établi, médecin et technicien doivent définir ensemble les critères d'une norme afin d'en incorporer d'une part les exigences et d'autre part, les procédures techniques de son application.

A venir jusqu'à date, la plupart des discussions sur l'exposition à l'amiante et la plupart des "normes" établies ou suggérées (aussi bien en Europe qu'en Amérique) concernent les industries de fabrication et très peu celles de l'extraction. Les aspects médicaux sont aussi valables pour l'une que pour l'autre des industries, mais les considérations techniques dans l'industrie de l'extraction sont plus complexes.

Du point de vue technique, la définition d'une norme doit d'abord être basée sur une mesure de concentration ponctuelle et très spécifique; on définit un niveau moyen d'exposition pour une période de temps donné et/ou un niveau supérieur à ne jamais dépasser. Il se peut qu'on puisse vouloir ajouter une deuxième mesure complémentaire à la définition de la norme afin de pourvoir à un système de contrôle continu et plus ou moins automatisé (monitoring"). Il s'ensuit que les méthodes, appareils et procédures de mesures doivent être conformes à la norme édictée.

IV-E-2: Généralités sur le procédé de traitement et sur l'environnement dans les usines:

Le procédé de production d'amiante dans les usines de traitement est très mécanisé et automatisé. L'usine de Canadian Johns-Mansville à Asbestos est en grande partie télécommandée et contrôlée par ordinateur, ce qui implique qu'il y a une foule de dispositifs de

mesure ("monitoring devices") à tous les points clefs de l'opération. L'absence d'un dispositif additionnel qui pourrait mesurer en continu le degré d'empoussièrement à divers endroits dans les usines s'explique difficilement.

Le procédé de traitement utilise une grande quantité d'air, lequel est recirculé dans l'usine, après filtration, par temps froid. Ceci représente donc une étape d'assainissement capitale et un endroit important à contrôler en continu et de façon automatique.

Lors de notre échantillonnage, nous avons remarqué qu'il se produisait des variations d'empoussièrement assez subites et parfois cycliques dans l'environnement des usines; nos comptes de fibres dans ces circonstances pouvaient passer de 2 fibres/cc à 10 fibres et plus dans moins d'une heure. Il s'agit probablement d'une condition reliée au système de ventilation que nous sommes inaptes à commenter.

Les bris ou blocages sont responsables d'une partie significative des fibres dans l'air. Bien que souvent de durée limitée, de telles conditions peuvent augmenter la concentration de fibres de façon très marquée et elles sont susceptibles de se répéter d'un endroit à l'autre dans l'usine. L'intervention d'ouvriers étant toujours nécessaire dans ces cas, il importe de voir à ce que les procédures d'intervention soient sécuritaires. La grande majorité des employés travaillent à l'ensachage à la fin du procédé de traitement où l'empoussièrement semble bien contrôlé (1à3 fibres/cc).

IV-E-3: Méthodes d'échantillonnage et de mesure des poussières amiantifères

Bien qu'il y ait plusieurs façons d'échantillonner et de mesurer le degré d'empoussièrement, le plus souvent ces diverses méthodes n'échantillonnent pas le même matériel et, au niveau de l'analyse, on n'évalue pas les mêmes paramètres. Ces facteurs font que les mesures sont non seulement différentes, mais souvent difficiles à comparer et à concilier. Parfois on peut espérer établir des relations statistiques significatives au niveau des moyennes d'un grand nombre de mesures, mais l'écart de précision pour une ou deux mesures individuelles sera beaucoup plus grand et la mesure d'autant plus incertaine.

L'évaluation du degré d'empoussièrement comprend le plus souvent deux étapes successives - celle de l'échantillonnage suivie d'une étape de mesure de la concentration (ou des concentrations) dans l'échantillon prélevé. Il est vrai que certains appareils évitent l'étape de l'échantillonnage en mesurant les concentrations directement dans l'air (Tyndallomètre, Néphélomètre, Aérosol et Royco particle counter).

Nous retenons ici les méthodes qui incorporent ces deux étapes, soit d'échantillonnage suivi de mesures et analyses spécifiques.

a) Echantillonnage: Il s'agit de l'étape la plus facile et au sujet de laquelle il y a un consensus véritable sur la plupart des paramètres à contrôler: sur le volume d'air aspiré, la qualité des filtres, le taux d'aspiration ainsi que sur la mécanique des dispositifs de récupération des poussières dites "respirables".

L'échantillonnage peut être ponctuel (courte période de temps de l'ordre de quelques dizaines de minutes) et soit "non-continu" (e.g. méthode de la membrane avec comptes), ou "en continu" (e.g. plusieurs méthodes gravimétriques ou compteurs de particules). Un système comme ce dernier, où une série d'échantillons ponctuels est prélevée en continu, constitue le cas classique d'un système dit de "monitoring". D'autres méthodes sont non-ponctuelles mais en continu sur de longues périodes de l'ordre de plusieurs heures (e.g. méthode gravimétrique avec le Campeds).

Compte tenu des problèmes reliés à l'exposition aux poussières fibreuses, il est essentiel de connaître le degré d'empoussièrement sur des périodes assez courtes, de l'ordre de plus ou moins une heure. Seul un système automatique de "monitoring" en continu peut effectuer un contrôle semblable, et parmi les méthodes de "monitoring" disponibles, seules les méthodes gravimétriques axées sur la poussière respirable nous semblent valables dans le cas des poussières fibreuses.

b) Les mesures de l'empoussièrement: L'étape de l'analyse et de la mesure du degré d'empoussièrement est l'aspect le plus problématique de la question du contrôle des poussières amiantifères et en grande partie la raison d'être de cette étude. D'abord les données médicales sont difficiles à interpréter de façon à en déduire les paramètres de nocivité de la poussière contenant des fibres d'amiante. A part la certitude du rôle de la fibre quant aux pneumoconioses (dites fibroses pulmonaires), rien ne permet d'associer avec certitude de l'effet des paramètres particuliers, telles la taille (longueur, diamètre), la composition chimique ou physico-chimique, etc...

Cette incertitude au niveau médical a conduit, dans le domaine technique, à des analyses et des mesures d'empoussièrement très différentes:

1) compte non-spécifique de particules (Midget Impinger, Koniomètre, "particle counters"): 2) compte de fibres $> 5\mu$ sur membrane: 3) mesures gravimétriques des poussières (totales et/ou respirables).

Les conditions d'empoussièrement dans des usines d'extraction sont caractérisées, d'un endroit à l'autre, par des proportions variables de poussière totale vs respirable et de poussières granulaires vs fibreuses. Donc les mesures gravimétriques de la fraction respirable ~~sont~~ ^{sont} très valables et très précises, si on pouvait quantifier le montant de chrysotile dans les échantillons.

Il est difficile d'évaluer la quantité de chrysotile en présence de lizardite/ antigorite. C'est une lacune significative mais non insurmontable. Tel que mentionné à la rubrique "échantillonnage" ci-haut, les relations minéralo-granulométriques que nous avons étudiées nous permettent de croire que les mesures de poids de la fraction respirable sont liées au comptes de fibres/cc. Ceci implique qu'on pourrait utiliser les mesures gravimétriques avec confiance, surtout en tant que norme complémentaire ayant trait à un système de "monitoring".

On a suggéré dans cette étude la possibilité d'utiliser le paramètre de susceptibilité magnétique des poussières en tant que mesure d'empoussièrement facile à automatiser et à opérer en continu. Face à la possibilité de faire des mesures gravimétriques ponctuelles et en continu de la fraction respirable, cette suggestion d'une mesure indirecte n'a que peu d'intérêt.

Nous voulons rappeler que les comptes de fibres sont spécifiques à la fraction respirable en plus d'être spécifiques à une morphologie particulière, et, par extension, effectivement spécifiques au chrysotile. Bien que ces comptes soient seulement des comptes partiels, ils représentent, en poids, jusqu'à 60% du montant total de chrysotile présent dans la fraction respirable. Cependant, ces mesures sont assez longues et ardues à effectuer et la procédure ne peut être rendue continue ou ne peut être facilement automatisée.

On songe à l'utilisation d'un quantomètre avec analyseur d'images pour automatiser l'étape des comptages. Une opération semblable aura des avantages, mais nécessitera des appareils spécialisés et coûteux. Nous sommes d'avis que la mesure gravimétrique, en tant que mesure automatique, sera plus pratique et plus facile à appliquer que celle basée sur un quantomètre.

IV-E-4: Endroits à contrôler

De façon générale, il a été noté dans la section précédente que les endroits susceptibles d'un empoussièrement élevé étaient ceux où le niveau de fibres libres en circulation dans le procédé est également élevé. Vu le nombre restreint d'échantillons prélevés, il nous est difficile d'identifier les endroits où un "monitoring" indiquerait l'empoussièrement général des usines. Cependant la qualité de l'air de re-circulation provenant du plenum doit être particulièrement bien contrôlée. Tout compte fait, trois ou quatre appareils bien localisés suffiraient à contrôler le niveau d'empoussièrement général.

PARTIE V

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce rapport constitue un essai d'étude en minéralogie intégrée de l'amiante et des poussières amiantifères. Dans cette optique, il traite des aspects techniques, scientifiques et, partiellement, des aspects économiques de la minéralogie de l'amiante et des poussières amiantifères et ce, en relation avec les modes d'exploitation de traitement et d'utilisation de l'amiante.

A) Conclusions relatives à la Partie I - "Le Projet d'étude".

L'étude tente d'abord de bien caractériser les paramètres minéralogiques de l'amiante et des poussières amiantifères. Elle n'est pas pour autant une étude exhaustive et complète de toutes les mines et usines au Québec pour des raisons de temps et de moyens matériels et financiers. L'étude est basée sur deux usines typiques de traitement de minerai d'amiante (Can. Johns-Manville et Lake Asbestos of Quebec) et quatre fabriques de produits amiantifères différents (textiles, freins, carrelages, et amiante-ciment).

Un total de dix hommes-mois de travail fut accordé au projet dont 5-1/2 mois par des ingénieurs, 2 mois par des assistants-étudiants et techniciens et 2-1/2 mois pour la surveillance et l'évaluation des données et la rédaction des rapports. De ces dix hommes-mois, 2-3/4 furent affectés à l'échantillonnage des usines et 7-1/4 hommes-mois furent affectés aux travaux de laboratoire et de bureau.

B) Conclusions relatives à la Partie II - "La minéralogie de l'amiante en relation avec ses modes d'occurrence; d'exploitation et d'utilisation".

- 1- Cette partie du texte consiste surtout en une description détaillée de la minéralogie de l'amiante, des gisements et minerais au Québec, des procédés de traitement en usine et des utilisations industrielles de l'amiante au Québec.
- 2- Il s'agit donc de données qui permettent de se familiariser avec la nature, la structure, la taille ainsi qu'avec les aspects techniques et économiques caractéristiques de l'industrie de l'amiante au Québec.

Aucune recommandation y découle directement. Il est toutefois intéressant de constater que la valeur de la production canadienne d'amiante brute se chiffre à environ \$325 millions (~ 1.5 million de tonnes d'amiante) tandis que les quelques usines de fabrication ont une valeur de production d'environ \$100 millions en consommant seulement 12 à 14% de la production canadienne d'amiante. La valeur ajoutée au niveau de la fabrication est donc très significative.

C) Conclusions relatives à la Partie III - "La minéralogie des minerais et des poussières d'amiante".

- 1- La minéralogie des poussières d'amiante, tout comme celle des minerais d'où elles proviennent, est relativement simple. Les minéraux essentiels sont la lizardite et le chrysotile (fibreuse); un peu d'antigorite, de brucite et de magnétite accompagnent ces premiers.
- 2- Une partie importante de la brucite et la magnétite suit le chrysotile dans le processus de concentration de ce dernier.
- 3- Les analyses granulométriques montrent que 17% à 29% de la poussière totale est de la catégorie dite "respirable" ($< 3\mu$) et donc qu'il y a variations à travers l'usine.
- 4- Il est difficile de faire directement des analyses quantitatives du chrysotile en présence des autres minéraux du groupe des serpentines. Nos estimés, surtout de nature visuelle, montrent que le contenu en amiante dans les poussières varie de 14% à plus de 50% et que cette teneur en fibres suit, et est fonction

de la teneur en fibres libres dans le minerai aux différentes étapes de son traitement.

- 5- Nous avons constaté que les fibres comptées sur le filtre-membrane ($>5\mu$) représentent 50% à 60% en poids du montant total de chrysotile dans les poussières. Ce lien entre les "comptes de fibres" et la "mesure de poids" est significatif dans le cadre d'un système éventuel de "monitoring" par mesures gravimétriques de la fraction respirable.

Pour ce qui est de recommandations, deux s'imposent dont une à plus court terme et l'autre à plus long terme.

D'abord il sera important à court terme de s'assurer que des études et recherches soient effectuées sur le problème de l'analyse quantitative du chrysotile en présence des autres minéraux du groupe des serpentines. Ceci assurera que la mesure et le contrôle de la norme éventuelle seront plus complets et plus valables.

A plus long terme, il faudrait songer à ce que notre industrie de l'amiante puisse bénéficier de travaux et de recherches touchant tous les aspects de la minéralogie de l'amiante et ce, sur une base continue, intégrée et suivie. Nous avons trouvé que très peu des données utiles à nos travaux en minéralogie appliquée provenaient de sources canadiennes et encore moins québécoises. Un parmi les multiples centres de recherches ou départements universitaires déjà existants pourrait très bien remplir cette fonction, s'il était mandaté et mis au courant des problèmes pertinents de l'industrie et des opportunités réelles qui existent dans cette matière première tout à fait exceptionnelle.

D) Conclusions relatives à la Partie IV - "Etude comparative et évaluation des méthodes d'échantillonnage et d'analyses quantitatives des poussières d'amiante".

- 1- Le degré d'empoussièrement dans les deux usines échantillonnées varie de la façon suivante:
 - Comptes de fibres: de 1 à plus que 20/cc avec des comptes moyens par usine de 2.5/cc dans un cas et environ 7/cc dans l'autre.
 - Mesures gravimétriques (poussière totale): elles varient de moins que 1 mg/m³ à environ 7 mg/m³. Les bris ou blocages peuvent augmenter la concentration à plusieurs dizaines de mg/m³. De 19% à 29% de celle-ci sont de catégorie respirable.
- 2- Les endroits susceptibles d'un empoussièrement plus élevé sont ceux où le minerai en traitement est le plus riche en fibres libérées - ces endroits sont: l'alimentation en minerai sec; début du circuit à roche; et certains endroits dans le circuit à fibre.
- 3- Les bris ou blocages peuvent causer une forte augmentation dans l'empoussièrement pendant des périodes de 1 à 2 heures.
- 4- Même en condition plus ou moins normale, on constate parfois des changements abrupts dans le degré d'empoussièrement (allant du simple au double et même plus, par comptes de fibres).
- 5- Les comptes de particules via le Midget Impinger étaient, pour nous, presque inutiles en tant que mesures d'empoussièrement.
- 6- Pour ce qui est de corrélations entre les différentes mesures effectuées:
 - i - Une corrélation difficile entre la mesure du Midget Impinger et les mesures de comptes de fibres ou gravimétriques.
 - ii- Au niveau des poussières totales, les mesures gravimétriques montrent seulement une corrélation faible et variable avec les comptes de fibres. Les relations minéralo-granulométriques nous indiqueraient que cette corrélation peut être meilleure au niveau des poussières respirables.

7- La méthode de comptes de fibres sur membrane répond bien aux contraintes imposées par la nature même des poussières amiantifères. La méthode est précise au niveau aussi bien de l'échantillonnage qu'à celui de l'analyse, et les comptes sont spécifiques à la fraction respirable en plus d'être spécifiques à une morphologie particulière et , par extension, effectivement spécifiques au chrysotile.

(voir aussi la liste partielle à la page 41)

- BARBEAU, C., ROY, J.C. and DUPUIS, M., (1975): Reactivity of magnesium silicates in acid solutions: means of distinguishing between antigorite and chrysotile. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 5.19.
- BECKET, S.T., MIDDLETON, A.P. and DODGSON, J., (1975): The use of infra-red spectrophotometry for the estimation of small quantities of single varieties of U.I.C.C. asbestos. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 8.34.
- COENEN, Wilfried, (1973): A new procedure for evaluation of fibrogenic dusts in the working place. Staub, Reinhaltung der Luft, 33, 3, p. 97.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, (1962): Rock forming minerals. Sheet Silicates, 3, Longmans, Toronto, pp. 170-193.
- FAULRING, G.M., FORGENG, W.D., KLEBER, E.J. and RHODES, H.B., (1975): Detection of chrysotile asbestos in airborne dust from thermoset resin grinding. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 6.27.
- GIBBS, G.W. and HWANG, C.W., (1975): Physical parameters of airborne asbestos fibres. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 8.37.
- GIBBS, Graham, W. and LACHANCE, M., (1972): Dust exposure in the chrysotile asbestos mines and mills of Québec. Archives of Environmental Health, 24, March, pp. 189-197.
- GIBBS, G.W., (1971): The organic geochemistry of chrysotile asbestos from the Eastern Townships, Québec. Geochimica et Cosmochimica Acta, 35, pp. 485-502.
- GIBBS, G.W., (1970): Qualitative aspects of dust exposure in the Québec asbestos mining and milling industry. Inhaled particles, Part III, Proc. of Intern. Symposium organized by Brit. Occup. Hyg. Soc., II, Sept., London.
- HAHN-WEINHEIMER, P. and HIRNER, A., (1975): Major and trace elements in Canadian asbestos are bodies - Analytical Results and Statistical Interpretation. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 6.25.
- HARWOOD, C.F. and YAMATE, G., (1975): The detection and quantification of asbestos present in the environment. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amiante, août, Université Laval, Québec, 7.30.

- HEIDERMANN, Gies, (1973): Asbestos content determination by optical, chemical, radiographic and infra-red spectrographic analysis procedures. Staub, Reinhaltung der Luft, 33, 2, p. 67.
- JOHAN, Z., GONI, J., SARLIA, C., BONNAUD, G., BIGNON, J., (1973): Influence de certains acides organiques sur la stabilité du réseau du chrysotile. Advances in Organic Geochemistry. Actes du Sixième Congrès intern. de géochimie organique, 18-21, sept., Rueil-Malmaison, France.
- JULIAN, Y. and McCURNE, W.C., (1970): Identification of asbestos fibers by microscopical dispersion staining. The Microscope, 18, p. 1-10.
- KNIGHT, G., (1975): The Campeds Mark II dust sampler manual (Draft), Mining Research Laboratories, Divisional report 75/31, Dept. of Energy, Mines, Resources, March.
- KNIGHT, G. (1969): Dust sampling research and its application to mining, Transactions of CIM, II, pp. 324-329.
- LYNCH, Ayer, JOHNSON, (1970): The interrelationship of selected asbestos exposure indices. American Ind. Hygiene Assoc. Journal, Sept. Oct. p. 598.
- MARTINEZ, Edward, (1966): Chrysotile asbestos: relationship of the surface and thermal properties to the crystal structure. Transactions of C.I.M.M., LXIX, pp. 414-420.
- MASON, B. and BERRY, L.G., (1968): Elements of Mineralogy. Freeman and Co., San Francisco, 550 p.
- MONKMAN, L.U., (1975): Mineralogical and chemical contaminants in graded milled chrysotile. Troisième conférence internationale sur la physique et la chimie des minéraux d'amianté, août, Université Laval, Québec, 3.13.
- PELNAR, P.V., (1974): Fibres for biological experiments. Instit. for occupational and Environmental Health, Montreal, Québec.
- PERRAULT, M., (1974): Notre amianté, C.S.D., Oct., 141 p.
- RAJHANS, G.S. and BRAGG, G.M., (1975): A statistical analysis of asbestos fiber counting in the laboratory and industrial environment. Am. Ind. Hyg. Assoc. Journ., Dec., p. 909-915.
- RAJHANS, G.S., (1970): Fibrous Dust - Its measurement and control, C.I.M.M., Bull., August, pp. 900-910.
- RAJHANS, G.S., (1968): Sampling of airborne dust with membrane filters, Canadian Mining Journal, Oct., p. 7981.

- REIMSCHUSSES, G., (1975): Assoc. of trace metals with chrysotile. Physique et chimie de l'amiante, Québec.
- RIORDON, P.H., (1975): Géologie des gîtes d'amiante du Sud-Est Québécois. Service des Gîtes Minéraux, rapport E.S. 18, M.R.N. Québec.
- SCHUTZ, A. and WOITOWITZ, H.J., (1973): Technical standard values for the admissible working place concentration of chrysotile asbestos, Staub, Reinhaltung der Luft, 33, 12, p. 446.
- TIMBRELL, V., (1975): Alignment of respirable asbestos fibres by magnetic fields: biophysical applications. Troisième conférence internationale sur la chimie et la physique des minéraux de l'amiante. août, Université Laval, Québec, 7.33.
- YADA, Keiji, (1967): Study of chrysotile asbestos by a high resolution electron microscope. Acta Crystallographica, 23, pp. 704-707.
- BAGIONI, Robert, (1975): Separation of Chrysotile Asbestos from Minerals that Interfere with its Infra-red Analysis. Env. Science and Technology, 9, 3, Mars.

SCHEMA #1

PRODUCTION DU CHRYSOTILE

(SCHEMA GENERALISE D'EVOLUTION DU MINERAL DANS L'USINAGE DE L'AMIANTE)

ETAPES DE BASE	OPERATIONS	SITES ECHANTILLONNES		APPAREILS (Liste partielle)	BILAN DE MASSE		REMARQUES
		C.J.-M.	L.A.		Produits	Rejets	
EXTRACTION	MINAGE (généralement excavations à ciel ouvert)			Dills, shovels, off-highway equipment, etc	1000 tonnes (Mineral tout-venant)	moins de 3000 tonnes (Roche stérile et mort-terrain)	Le mineral contient de 4 à 15% d'eau, il est composé d'environ 8% de chrysotile, 83% de serpentine, 4% de brucite, 4% de magnétite et 1% de granite
PREPARATION DU MINERAL SEC:	CONCASSAGE PRIMAIRE ET SECONDAIRE	SITE #15 AIR-2	SITE #10 SITE #1	Jaw crusher, grizzly, Cone and gyratory crushers, screens, trommels	600 tonnes (Mineral sec)	400 tonnes (Roche pauvre en fibre)	Poussières sont filtrées à des cyclones de 7 pieds de diamètre (trop petit pour engrèvement) puis à des sacs spéciaux (Temp. 250°F.) Elimination d'une portion non-magnétique pauvre en fibre Le mineral sec contient moins de 2% d'eau, il est enrichi à 10% de fibre à ce stade-ci. On l'entrepose pour uniformiser l'alimentation et pour constituer une réserve contre les à-coups du concassage
	SECHAGE (chevauchant la concentration)	AIR-4 AIR-3	SITE #3	Tower and rotary dryers, fluid bed, Rotoloupe drier			
	CONCENTRATION magnétique et par criblage	SED-B & J4 SITE #14 SPECIAL-1		Magnetic separators, screens, Tyrock and rod screens			
	ENTREPOSAGE DU MINERAL SEC			Storage bin, Vibrating feeders, weighing scale			
USINAGE: <i>a) Circuits à Roche</i>	ALIMENTATION	SITE #11	SITE #2	Weighting scale, metal remover, rod decks, motorized distributors	350 tonnes (Fibre aspirée) + 200 tonnes (Fraction restante)	250 tonnes (Fraction passant 20 à 48 mailles et dernière fraction restante)	À chaque répétition du procédé sur la fraction restante du criblage, il y a rejet de la fraction pesante et aspiration des fibres libérées pour les soustraire à la détérioration du concassage et de l'empoussièrement
	LIBERATION PAR IMPACT	SED-17 & 22		Aerofall, Horemag, Hammer mills, Fiberizers, Gyrodisc			
	CRIBLAGE (Tamisage) ET ASPIRATION (+ Sédimentation)	SITE #13	SITE #4 SITE #9	Vibrating grating and double-deck screens with hoods Cyclone collectors, rotary valves			
	Convoyeur à rejets			Fiberizers, Torreys, Wheelers			
<i>b) Circuits à Fibre</i>	EFFILOCHAGE		SITE #5	Vibrating grating and double-deck screens Air separators, graders Dedusters (paddle trommels), Centrifugal, bins	30 tonnes (Groupes #3 & 6)	20 tonnes (Groupe #7)	180 tonnes (Roche finement broyée) 100 tonnes (Roche finement broyée)
	CLASSIFICATION	AIR-5	SITE #8				
	DEPOUSSIERAGE		SITE #6				
MISE AU POINT COMMERCIALE:	MELANGEAGE (+ Laboratoire de contrôle de la qualité)			Blenders	60 tonnes (Fibre marchande totale)	20 tonnes (Fines)	10 tonnes (Fines)
	ENSACHAGE	SITE #12	SITE #7	Weigh hoppers, Pressure packers			
	ENTREPOSAGE			Palletizer, etc			
					940 tonnes (Rejets d'usinage totaux)		Le produit est livré surtout en sacs de 100 livres, d'autres formes sont à l'étude (bloc pressé, boulettes, etc.)

Chute, works, Duct-works, Conveyors (Material-handling equipment)

L'installation d'air utilisé des Aspirating hoods, revolving screens (trommel-hood, air screen lower end), duct-works, cyclones, dust risers, dirty air plenum, dust hoppers, bag filters, fans, and clean-air return air-ducts
(Voir C.M.J. Juillet '85 pp.40-42)

NOTES — Le procédé de production du chrysotile est hautement automatisé (le triage à la main par les "scrapers" est minime) et le besoin d'entretien constitue la principale raison y demandant un accès facile
— Quantité d'essais en laboratoire et en usine-pilote sont requis avant d'établir un procédé, il faut aussi y prévoir une élasticité afin d'accommoder les changements du mineral et de la fibre et pour obtenir les produits uniformes
— Les usines modernes effectuent souvent une poussée du mineral (en exploitant surtout la résistance au broyage de la portion pauvre en fibres d'amiante)

LIEUX ECHANTILLONNES

TABLEAU N°1 — ECHANTILLONS ET ANALYSES (LAKE ASBESTOS OF QUEBEC LTD., BLACK LAKE, QUEBEC)

		POUSSIÈRES DANS L'AIR					SPECIALS	REMARQUES
BATIMENT (Etage) Site	DESCRIPTION	POUSSIÈRES SEDIMENTÉES	MESURES GRAVIMÉTRIQUES		COMPTE DE FIBRES	MIDGET IMPINGER		
			A grand débit (durée 6 heures) (en 10 ⁻⁹ gramme par cc) ou mg/m ³	A pompe personnelle (durée 3 heures) (en 10 ⁻⁹ gramme par cc) ou mg/m ³	Sur membrane Millipore (en fibres par cc d'air)	Compte de particules totales captées (en particules par cc d'air)		
<u>CONCASSEUR</u>								
SITE #10	CONCASSEURS	SED-33 SED-34 SED-35						
SITE #1	CONCASSAGE SECONDAIRE (* Zone séchoir + concentration magnétique)	SED-25	AIR-9 (6.4) — — — — — — — — — —	#45 (5.36) — — — — — #40 (3.38) — — — — —	M-3 (4.3) — — — — — M-6 (3.0) — — — — —	Z-2 (24) — — — — — Z-6 (16) — — — — — Equiv en Mppcl — 0.7 — 0.5	SPECIAL-8 — — — — —	Pas échantillonné l'air (En panne pour entretien de routine des concasseurs)
<u>MOULIN CENTRAL</u>								
SITE #3	SECHOIR (* Trémie)	SED-27	AIR-11 (5.5) — — — — — — — — — —	#46 (3.14) — — — — — #33 (1.59) — — — — —	M-1 (3.5) — — — — — M-5 (5.2) — — — — —	Z-1 (19) — — — — — Z-5 (139) — — — — — — 0.6 — 4		
(81) SITE #2	ALIMENTATION EN MINÉRAI SEC	SED-26	AIR-10 (5.0) — — — — — — — — — —	#50 (3.25) — — — — — #44 (2.81) — — — — —	M-4 (1.56) — — — — — M-7 (1.69) — — — — —	Z-4 (12) — — — — — Z-7 (5) — — — — — — 0.4 — 0.2		
(62) SITE #4	PREMIERS CRIBLES A SECOUSSES	SED-28	AIR-12 (5.2) — — — — — — — — — —	#24 (2.61) — — — — — #38 (3.76) — — — — —	M-11 (10.8) — — — — — M-14 (18.8) — — — — —	Mid I-3 (43) — — — — — Mid I-6 (100) — — — — — — 1 — 3		
(12) SITE #9	DERNIERS CRIBLES A SECOUSSES (Rejets aux heldes)	SED-31	AIR-17 (8.2) — — — — — — — — — —	#32 (3.56) — — — — — — — — — —	M-16 (7.7) — — — — — M-21 (8.6) — — — — —	Mid I-12 (144) — — — — — Mid I-15 (159) — — — — — — 4 — 5	SPECIAL-4 SPECIAL-5	
(55) SITE #5	FIBERIZER (* Dépoussiéreur)	SED-29	AIR-13 (10.5) — — — — — — — — — —	#39 (3.33) — — — — — #47 (2.78) — — — — —	M-10 (2.1) — — — — — M-13 (12.5) — — — — —	Mid I-2 (143) — — — — — Mid I-5 (88) — — — — — — 4 — 3		
(28) SITE #8	CRIBLES CLASSEURS (Tapis de finition)	SED-32	AIR-16 (9.0) — — — — — — — — — —	#48 (5.11) — — — — — #43 (6.83) — — — — —	M-17 (16.3) — — — — — M-20 (21.4) — — — — —	Mid I-11 (285) — — — — — Mid I-14 (206) — — — — — — 9 — 6		
(52) SITE #6	DEPOUSSIÉREUR (* Trémie à fibre)	SED-30	AIR-14 (faible à moyen) — — — — — — — — — —	#42 (0.54) — — — — — #20 (0.63) — — — — —	M-9 (17.3) — — — — — M-12 (3.9) — — — — —	Mid I-1 (35) — — — — — Mid I-4 (19) — — — — — — 1 — 0.6		Tapis en changement
			AIR-15 (1.3) — — — — — — — — — —	#36 (0.79) — — — — — — — — — —	M-18 (3.9) — — — — — M-19 (2.8) — — — — —	Mid I-7 (46) — — — — — Mid I-13 (323) — — — — — — 1 — 10		
AUTRES SITES	— CHUTE VIDANT LE PLENUM DES SACS FILTRANTS — CONVOYEUR VIDANT LE PLENUM DU SECHOIR — SYSTEME A POUSSIÈRE DE LA CHAMBRE DE CONCASSAGE						SPECIAL-6 SPECIAL-7 SPECIAL-8	

Tableau No. 1

LIEUX ECHANTILLONNES

TABLEAU 2 — ECHANTILLONS ET ANALYSES (CANADIAN JOHNS-MANVILLE COMPANY LTD., ASBESTOS, QUEBEC)

BATIMENT (Etage) Site		DESCRIPTION	POUSSIÈRES SEDIMENTÉES	POUSSIÈRES DANS L'AIR				SPECIAUX	REMARQUES
				MESURES GRAVIMÉTRIQUES		COMPTE DE FIBRES SUR MEMBRANE MILLIPORES		MIDGET IMPINGER	
				A grand débit (durée 6 heures) (en 10 ⁻³ gramme par cc d'air) ou mg/m ³	A pompe personnelle (durée 3 heures) (en 10 ⁻³ gramme par cc d'air) ou mg/m ³	(durée 1 heure) (en fibres par cc d'air)	(durée 20 minutes) (en fibres par cc d'air)	Compte de particules totales captées (en particules par cc d'air)	Compte de fibres échappées (en fibres par cc d'air)
MOULIN No 6									
CONCAS- SAGE SE CHAGE CONCENTRATION	SITE #5	CONCASSEGE SECONDAIRE	SED-1	AIR-1 (115)	#106 (0.72)	M-65 (5.0)	M-69	2-24 (269)	M-70 (0.2)
			SED-2			M-71 (2.2)	M-73	2-26 (24)	M-76 (0.0)
			SED-3		#108 (1.44)	M-77 (4.1)	M-78	2-27 (16)	M-79 (0.2)
	AIR-2	CONVOYEUR ALIMENTEUR	SED-4			M-86 (4.1)	M-88 (2.2)	2-30 (11)	M-87 (0.0)
	AIR-4	SECHOIR	SED-5						
			SED-6						
	AIR-3	RENCONTRE DES CONVOYEURS	SED-7	AIR-3 (62.0)					
	(88) SED-8	BROYEUR HAZEMAG (*Alimentation)	SED-8						
	(78) SED-9	CRIBLES VIBRANTS	SED-9						
	(68) SED-10	CRIBLES A SECOUSSÉS	SED-10						
	(58) SED-11	CRIBLES A SECOUSSÉS	SED-11						
	(48) SED-12	BROYEUR FIBRIZER	SED-12						
	(38) SED-13	ASPIRATION DE FIBRE (*Hazemag)	SED-13						
	(28) SITE #14	DERNIERS CRIBLES A SECOUSSÉS			#107 (0.11)	M-66 (0.3)	M-68	2-23 (5)	M-67 (0.0)
CIRCUITS A ROCHE FIBRE					#109 (0.49)	M-74 (2.4)	M-72	2-25 (273)	M-75 (0.0)
	(27) SED-14	CRIBLES A SECOUSSÉS	SED-14			M-80 (2.9)	M-82	2-28 (Revet)	M-81 (0.0)
	(27) SPECIAL-1	CRIBLE A SECOUSSÉS (Fraction Restante)				M-85 (1.7)	M-84	2-29 (101)	M-83 (0.0)
MOULIN No 5									
CIRCUITS A ROCHE FIBRE	(187) SITE #11	CONVOYEUR ALIMENTEUR	SED-15	AIR-5 (2.7)	#101 (0.53)	M-23 (9.2)	M-24	2-9 (5)	M-26 (0.0)
						M-25 (9.5)	M-27	2-10 (Revet)	M-28 (0.3)
						M-29 (7.4)	M-30	2-11 (14)	M-31 (0.0)
	(108) SED-17	TREMIÉ D'ALIMENTATION	SED-17		#102 (0.44)	M-32 (6.2)	M-33	2-12 (Revet)	M-34 (0.0)
	(98) SED-18	CONVOYEUR A FIBRE	SED-18			M-35 (6.8)	M-36	2-13 (21)	M-37 (0.3)
	(88) SED-19	CRIBLES A SECOUSSÉS (*Tuyaux)	SED-19			M-38 (5.2)	M-39	2-14 (63)	M-40 (0.2)
	(78) SED-20	CRIBLES A SECOUSSÉS (*Tuyaux)	SED-20						
	(68) SED-21	CRIBLES A SECOUSSÉS + DEPOUSSEIERS	SED-21						
	(58) SED-22	TUYAUX TRANSPORTEURS	SED-22						
	(48) SITE #13	CRIBLES A SECOUSSÉS	SED-24	AIR-8 (0.4)	#104 (0.38)	M-43 (3.8)	M-44	2-16 (11)	M-45 (0.0)
						M-46 (3.0)	M-50	2-18 (36)	M-51 (0.0)
						M-55 (6.8)	M-58	2-20 (11)	M-57 (0.2)
						M-61 (2.6)	M-63	2-22 (3)	M-62 (0.1)
CIRCUITS A ROCHE FIBRE		CONVOYEUR A REJETS							
	(42) AIR-6	CRIBLES CLASSEURS	SED-16	AIR-6 (112)	#103 (0.14)	M-42 (1.4)		2-17 (5)	M-47 (0.0)
						M-52 (2.1)	M-53 (2.6)	2-19 (4)	M-54 (0.0)
	(118) SITE #12	ENSACHAGE	SED-23	AIR-7 (4.5)	#105 (0.33)	M-59 (1.5)	M-56	2-21 (16)	M-60 (0.4)

Tableau No. 2

