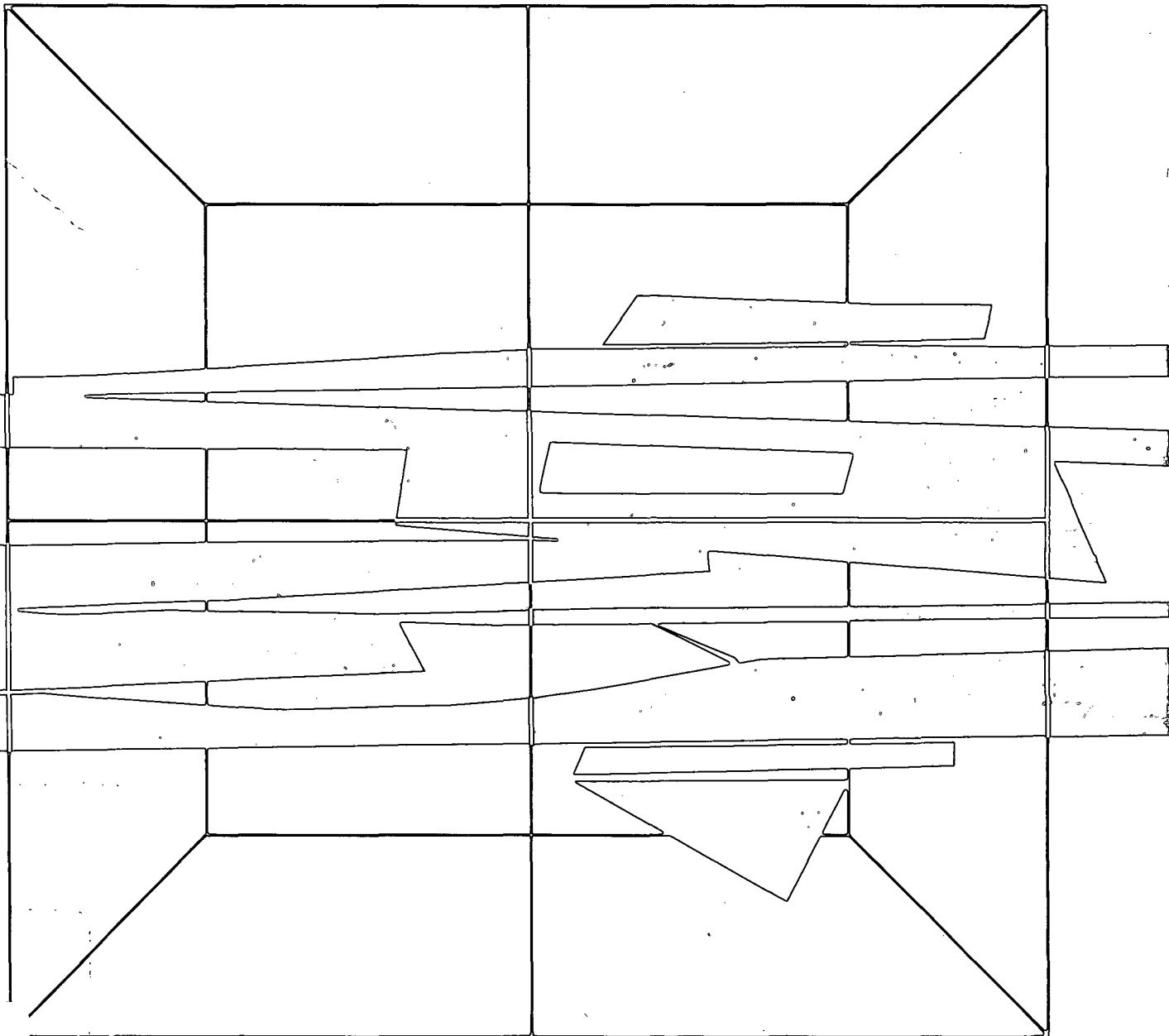


Émission de poussières résultant de l'exploitation minière et de l'élimination des déchets d'amiante.

Étude des sources d'émission à l'air libre et des techniques de contrôle



SPE 4/MM/RQ/1F



TD
182
R46
No:
4/MM/RQ/1F
1984
ex.1

Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Canada

National Parks
Centennial



Centenaire des
parcs nationaux

1885 - 1985:

100 years of Heritage Conservation

Canada's first national park was established in 1885 at Banff, Alberta. Today there are national parks and national historic parks in every province and territory. The National Parks Centennial is an occasion to renew our commitment to preserve examples of our heritage unimpaired for the benefit of all Canadians.

2038754E S
(202-3853E m)
H2 97894

ÉMISSION DE POUSSIÈRES RÉSULTANT DE L'EXPLOITATION MINIÈRE
ET DE L'ÉLIMINATION DES DÉCHETS D'AMIANTE

Étude des sources d'émissions à l'air libre
et des techniques de contrôle

par: Carmel Jolicoeur
Université de Sherbrooke

Jan C.T. Kwak
Université de Sherbrooke



Jacques LeBel
Institut de recherche et développement sur l'amiante,
Sherbrooke

pour : Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement
Région du Québec

Rapport (Canada)

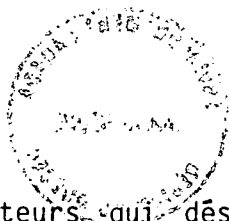
Rapport SPE 4 MM/RQ/1
Mars 1984

TD
K82
R46
No: 4/MM/RQ/1f

AVIS DE RÉVISION

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

COMMENTAIRES



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

M^{me} Breda Nadon, ing.
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Région du Québec

©

Ministre des Approvisionnements et Services
N^o de cat. En 49-7/4-RQ1F
ISBN 0-662-93131-9

REMERCIEMENTS

L'étude présentée dans ce rapport a été exécutée pour le Service de la protection de l'environnement, Région du Québec, Environnement Canada. Nous remercions M^{me} B. Nadon, ingénieur de projets, d'avoir initié cette étude, ainsi que pour sa disponibilité et son aide durant la réalisation du projet et pour ses précieux commentaires sur les versions préliminaires du présent rapport.

Nous remercions M. R. Brulotte d'Environnement Québec d'avoir mis à notre disposition les données récentes des programmes continus de surveillance de l'atmosphère dans les régions d'Asbestos et de Thetford Mines.

Nous remercions Desco Inc., d'East Broughton (Québec), de nous avoir permis de consulter le rapport "Produits et méthodes chimiques pour l'abattement de résidus d'amiante" qui contenait beaucoup de renseignements utiles sur les agents chimiques de contrôle des poussières, particulièrement ceux destinés au traitement des résidus de mines d'amiante du Québec.

Enfin, nous aimerions remercier l'Association des mines d'amiante du Québec de nous avoir permis d'utiliser les données du rapport "Émissions ponctuelles des industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Québec en 1983", rédigé pour cet organisme par l'un des auteurs (J.L.).

RÉSUMÉ

Les données disponibles sur l'émission des poussières fugitives provenant de l'industrie de l'extraction de l'amiante au Canada et ailleurs ont été recueillies et analysées afin d'évaluer l'importance des diverses sources d'émission, à savoir l'extraction, le broyage, l'élimination des résidus, etc. On a également procédé à un examen approfondi de la documentation sur les méthodes et techniques de contrôle des émissions de poussières fugitives dans l'industrie des mines en général, et dans les mines d'amiante en particulier. Les méthodes actuelles de contrôle des poussières appliquées dans l'industrie de l'extraction de l'amiante au Québec ont également été passées en revue tant pour ce qui est des opérations d'extraction et de broyage que pour l'élimination et le stockage des résidus.

La présente étude porte principalement sur les émissions fugitives provenant du transport et de l'élimination des stériles et des résidus miniers, ainsi que sur les moyens susceptibles de minimiser ces émissions. L'examen des diverses possibilités de contrôle montre que : 1) les émissions de particules résultant du circuit de transport des stériles et de l'érosion des dépôts de résidus actifs peuvent être considérablement réduites par traitement chimique; 2) la stabilisation à long terme des dépôts de résidus et de stériles serait facilitée par la restauration de la couverture végétale.

ABSTRACT

The information available on fugitive dust emission from the asbestos mining industry in Canada and elsewhere has been collected and analysed in attempts to assess the importance of various emission sources i.e., mining, milling, waste disposal etc. Concurrently, an extensive literature review has been carried out on methods and techniques for controlling fugitive dust emission, generally in the mining industry, and specifically, in asbestos mining operations. An overview of current dust control strategies practiced in the Quebec asbestos mining industry is also given with regards to both the mining and milling operations and the disposal and stockpiling of residues.

The present work was concerned mainly with fugitive emissions originating from transport and disposal of waste rock and mine tailings. Examination of the various control options shows that: 1) the particulate emission from the waste transport circuit and the erosion of active waste piles can be reduced considerably via chemical treatment; 2) long term stabilization of tailings and waste rock stockpiles would be best achieved via revegetation.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ/ABSTRACT	v
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	viii
I INTRODUCTION	1
II ÉTAT ACTUEL DE L'EXPLOITATION DES MINES D'AMIANTE AU QUÉBEC	5
1 GÉNÉRALITÉS	5
2 DESCRIPTION DE LA GÉOLOGIE DES MINES D'AMIANTE DU QUÉBEC	7
2.1 Filon rocheux de Pennington	7
2.2 Gisements d'amiante de Thetford Mines (Kings-Beaver and Bell Asbestos)	7
2.3 Mine de la British Canadian	8
2.4 Gisement du Lac d'Amiante du Québec	8
2.5 Mines de Jeffrey (J.M. Asbestos)	8
3 PRODUCTION D'AMIANTE	9
4 OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE	10
4.1 Extraction	10
4.1.1 Mines à ciel ouvert	10
4.1.2 Extraction souterraine	11
4.2 Extraction de l'amiante	11
4.2.1 Concassage, criblage et séchage du minerai	11
4.2.2 Circuit des fibres	11
4.3 Élimination des résidus et des stériles	12
4.3.1 Description	14
4.3.2 Méthodes d'élimination	14
4.3.3 Inventaire national des résidus de mine	16

III	SOURCES D'ÉMISSION	18
1	OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE	19
2	SITES DE RÉSIDUS ET DE STÉRILES	24
	2.1 Sources possibles d'émissions	24
	2.2 Facteurs d'érosion des sols	25
3	ÉMISSION ET TRANSPORTABILITÉ DE LA POUSSIÈRE ET DES FIBRES	28
4	RÉSUMÉ ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES	30
IV	PRATIQUES COURANTES DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES DANS LES MINES D'AMIANTE	32
1	CONTRÔLE DE LA POUSSIÈRE PENDANT LES OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE	32
	1.1 Extraction	32
	1.1.1 À ciel ouvert	32
	1.1.2 Extraction souterraine	34
	1.2 Broyage	35
2	CONTRÔLE DES POUSSIÈRES DANS L'ÉTAPE D'ÉLIMINATION DES RÉSIDUS ET DES STÉRILES	38
3.-	CONCLUSION	42
V	MÉTHODES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE DÉPOUSSIÉRAGE ET DE STABILISATION DES RÉSIDUS ET DES STÉRILES	46
1	INTRODUCTION	46
2	RELEVÉ DES MÉTHODES DE CONTRÔLE	48
	2.1 Extraction du charbon	48
	2.2 Autres exploitations minières et carrières	49
	2.3 Routes, routes de service et sols exposés	53

3	MÉTHODES PHYSICO-CHIMIQUES DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES RÉSULTANT DE L'EXTRACTION MINIÈRE DE L'AMIANTE	56
3.1	Études précédentes	56
3.2	Considérations générales	59
3.3	Évaluation des coûts	63
4	CONCLUSION	70
VI	LA VÉGÉTALISATION : UN MOYEN DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES ET DE STABILISATION DES TERRILS	73
1	APPROCHE SYSTÉMATIQUE POUR LA REMISE EN ÉTAT DES TERRES	74
2	VÉGÉTALISATION DES TERRILS DE RÉSIDUS ET DES STÉRILES DES MINES D'AMIANTE	79
3	ESTIMATION DES COÛTS	83
4	RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS	86
VII	NORMES NORD-AMÉRICAINES POUR LES ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES APPLICABLES À L'EXTRACTION ET AU BROYAGE DU MINERAI D'AMIANTE	88
1	RÈGLEMENTS SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE AU CANADA	90
2	RÈGLEMENTS SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE AUX ÉTATS-UNIS	
3	RÉSUMÉ DES NORMES NORD-AMÉRICAINES SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE PROVENANT DES OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE DE L'AMIANTE	91
	RÉFÉRENCES	92

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU II.1	Production d'amiante au Québec (1983)	9
TABLEAU II.2	Classification des déchets de minéraux solides	15
TABLEAU II.3	Résidus de mines	17
TABLEAU III.1	Résumé des émissions provenant de l'extraction de l'amiante et des opérations de broyage (1973 et 1974)	21
TABLEAU III.2	Estimation des émissions de poussières dues aux opérations d'extraction d'amiante au Québec	23
TABLEAU IV.1	État de la restauration de la végétation	41
TABLEAU IV.2.1	Émissions des sources ponctuelles - 1983	44
TABLEAU IV.2.2	Émissions des sources ponctuelles - 1983	45
TABLEAU V.1	Méthodes de contrôle au choix	60
TABLEAU V.2	Prix de revient estimatif des traitements	65
TABLEAU V.3	Coûts des scénarios de traitement physico-chimique	69
TABLEAU VI.1	Coûts de l'ensemencement hydraulique avec addition de produits chimiques et organiques par acre de terrain	84
TABLEAU A.1	Émissions ponctuelles - 1983	102
TABLEAU A.2	Émissions ponctuelles - 1983	103

LISTE DES FIGURES

FIGURE I	Chaîne ultramafique du sud-est québécois montrant les secteurs producteurs d'amiante	6
FIGURE 2	Schéma type des opérations d'une mine d'amiante	13
FIGURE VI.1	Étapes préalables à la végétalisation	76

ANNEXE I	Mots-clés et profil de recherche utilisés dans l'étude informatisée de la documentation	93
ANNEXE II	Émissions ponctuelles des industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Québec en 1983	95
ANNEXE III	Sites d'élimination des résidus d'amiante au Québec (extrait du "Pit Slope Manual" de CANMET)	105

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1 REMARQUES

Les conclusions et les données tirées des études déjà publiées nous ont amenés à faire les remarques suivantes concernant les divers points examinés dans ce rapport.

On peut considérer que les émissions de particules des mines d'amiante proviennent de façon générale de deux sources principales, ou ont un rapport avec celles-ci :

- (a) le processus d'extraction incluant les diverses étapes allant du forage du minerai à l'élimination des stériles et des résidus;
- (b) l'érosion et l'altération des dépôts de stériles et de résidus.

Dans la première catégorie, une importante partie des opérations (c'est-à-dire du concassage du minerai à l'ensachage des fibres) se déroule en milieu fermé, de sorte que les émissions de poussières peuvent être contrôlées grâce à des techniques de filtration adéquates. L'air épuré est soumis à une réglementation, autorisant un maximum de 2 fibres par cm^3 (de 5μ ou plus), tant sur les lieux de travail que dans l'air rejeté dans l'atmosphère. Il est évident que si l'industrie respecte ce règlement, les émissions de fibres dans l'environnement provenant de ce type d'opérations seront très limitées. Les données récentes fournies par l'Association des mines d'amiante du Québec relatives aux émissions résultant de l'extraction, du broyage, du séchage et du concassage du minerai, indiquent un facteur moyen d'émission de 0,058 kg de fibres par tonne métrique de fibres produites, plus de 100 fois inférieur aux estimations antérieures.

L'émission de fibres provenant des autres opérations (forage, dynamitage, roulage du minerai, roulage ou convoyage des stériles et des résidus), ainsi que de l'érosion des dépôts de résidus et de stériles, ne peut être évaluée quantitativement. L'estimation de ces émissions ne peut en effet s'appuyer que sur des données recueillies sur place sur les teneurs totales en particules aéroportées, sur les taux de retombée au voisinage des mines d'amiante au Québec, et sur les données fragmentaires sur des teneurs en

fibres aéroportées recueillies près des mines actives et inactives, d'autres terrils de stériles d'amiante, ou des routes construites avec de la serpentine. Les données disponibles montrent que, sans mesures de contrôle, les sources susmentionnées peuvent être à l'origine d'importantes émissions de particules ou de fibres, ou des deux. Cependant, les estimations antérieures des émissions de fibres d'amiante des mines du Québec (environ 10 000 tonnes par année) devraient être mises à jour en effectuant des relevés sur le terrain. De plus, la distinction entre les particules et les fibres est évidemment importante et doit être établie clairement pour chacune des sources d'émission.

Selon les diverses études consultées pour le présent travail, on peut également conclure que les émissions des particules dans l'air ambiant peuvent être réduites considérablement par les techniques actuelles. En plus des équipements dont la performance pourrait en principe être améliorée pour réduire les émissions provenant de certaines opérations, ce sont les méthodes physico-chimiques qui semblent convenir le mieux dans la plupart des cas. Par exemple, les émissions provenant du forage dans les mines à ciel ouvert peuvent être contrôlées par des techniques d'isolation à la mousse chimique; les émissions de poussières au cours du chargement et du déchargement, du roulage et du transport par convoyeur, peuvent être contrôlées par des agents mouillants ou par l'incorporation de liants. L'érosion éolienne des dépôts actifs de stériles ou de résidus peut aussi être réduite en incorporant des liants à ceux-ci avant de les éliminer, ou en les arrosant périodiquement (eau, surfactants, liants); l'action érosive des pluies devrait aussi être réduite par l'incorporation de liants ou les traitement en surface.

Même si, dans l'ensemble, l'efficacité, l'impact environnemental et le coût d'une méthode physico-chimique intégrée appliquée à l'exploitation des mines d'amiante restent à établir, un certain nombre de scénarios ont été proposés. Si l'on se base sur les niveaux de production de 1983, le coût total des produits chimiques que devrait assumer l'industrie québécoise pour un tel programme serait de 500 000 \$ par année pour la pulvérisation continue de surfactants sur les résidus et les stériles et de 1 300 000 \$ par année pour la pulvérisation de surfactants sur les stériles et le traitement des résidus par des liants; selon les auteurs, cette dernière méthode semble actuellement la plus avantageuse, du point de vue coût-efficacité. Le coût des produits chimiques pour le traitement des dépôts actifs (stériles et résidus) sont estimés à environ 200 000 \$ par année; le coût des produits chimiques pour le traitement des dépôts inactifs pourrait s'élever à 900 \$/ha

(350 \$/acre) pour une seule application. Ces deux derniers types ne devraient cependant pas être adoptés sans avoir procédé à un essai préalable sur le terrain et sans avoir des données sur les émissions de fibres.

Finalement, pour réduire les effets environnementaux à long terme des dépôts inactifs, de stériles et de résidus d'amiante, la solution ultime consisterait à rétablir complètement le couvert végétal. Des projets à petite échelle ont montré qu'il était techniquement possible de recouvrir de végétation les résidus, après en avoir corrigé les carences par une fertilisation adéquate. Le projet le plus prometteur comprend l'incorporation de quantités importantes de déchets organiques et d'engrais dans la couche superficielle des résidus. Les principaux obstacles à de tels projets à grande échelle sont les aspects mécaniques des méthodes d'épandage (zones en pente) et la disponibilité de matières organiques en quantités suffisantes. D'autres sources possibles de déchets organiques sont proposées ainsi qu'une méthode d'épandage dérivée de la technique d'hydro-ensemencement. Tout projet de ce type doit être envisagé à long terme et, d'après nos estimations, les coûts d'un programme de végétalisation complète des dépôts de résidus et de stériles devraient s'élever à plus de 10 millions de dollars.

2 RECOMMANDATIONS

Les recommandations ci-dessous, basées sur les remarques susmentionnées et sur les résultats présentés dans les chapitres suivants, semblent bien fondées et réalistes :

1. En raison du manque important de données sur les émissions fugitives d'amiante :
 - (a) de nombreuses données systématiques devraient être obtenues sur le terrain pour évaluer les niveaux actuels d'émissions de particules dues à l'industrie de l'extraction de l'amiante;
 - (b) tous les efforts possibles devraient être faits pour évaluer quantitativement les émissions des différentes sources : extraction, transport du minerai, transport et élimination des stériles et des résidus, et dépôts des stériles et des résidus;
 - (c) des échantillons d'air prélevés sur le terrain devraient être analysés pour déterminer la quantité totale de particules et de fibres qu'ils contiennent, ainsi que la distribution des fibres selon leur longueur.
2. Pour ce qui est des émissions fugitives dans le circuit de transport des stériles et des résidus et celles provenant des terrils, les types de traitement qui semblent convenir le mieux seraient :
 - (a) pour les stériles : la pulvérisation d'un surfactant ou d'un liant chimique en solution, ou une combinaison de ces deux traitements;
 - (b) pour les résidus : le traitement par liant chimique en solution.

La solution utilisée devrait être mélangée avec les stériles, en quantités minimales, dès le début du circuit; il serait préférable

nable d'utiliser des liants puisque ceux-ci réduisent les poussières au cours des opérations de transport et assurent une stabilisation initiale des dépôts actifs.

3. Pour choisir les systèmes de contrôle chimique les plus avantageux (du point de vue du coût, de l'efficacité, de l'impact environnemental et de la durabilité), il faudra procéder à d'autres essais en laboratoire et sur le terrain. Étant donné qu'un certain nombre de traitements chimiques ont déjà fait l'objet d'importants essais en laboratoire, quelques-uns pourraient être choisis et faire l'objet d'essais sur le terrain. Ces essais devraient accompagner les expériences en laboratoire, puisque les conditions sur le terrain ne peuvent pas toutes être reproduites simultanément en laboratoire.
4. Les autres traitements chimiques (après celui en 2 ci-dessus) des terrils actifs de stériles et de résidus, ainsi que tout traitement des dépôts inactifs, ne devraient être envisagés qu'après une évaluation adéquate de leur contribution réelle aux émissions fugitives connues.
5. Étant donné que les méthodes de contrôle physico-chimiques peuvent créer des problèmes par temps froid, des recherches devraient être entreprises pour adapter les techniques actuellement disponibles aux conditions climatiques du Québec.
6. Un programme à long terme de restauration du couvert végétal devrait être établi à partir des travaux antérieurs de Moore et Zimmerman. Les études antérieures ayant indiqué les conditions possibles de croissance favorables (fertilisation chimique, espèces de semences), les travaux futurs devraient être centrés sur les diverses sources possibles de matières organiques et sur les méthodes d'épandage à grande échelle. Ces efforts pourraient aller d'un programme minimal continu de recherches à un important projet communautaire. Nous croyons que de tels programmes devraient avoir une envergure suffisante pour avoir un impact réel.

I INTRODUCTION

Les opérations nécessaires pour extraire d'un minerai un produit de valeur génèrent habituellement de grandes quantités de matières particulaires fines. Cela est inhérent à tous les procédés d'extraction et de broyage, dans lesquels le minerai doit être souvent concassé en particules extrêmement fines pour séparer les minéraux de valeur de la gangue qui les accompagne. Dans une plage de dimensions données, habituellement celle des particules inférieures à 0,1 mm (100 microns) [Hudson (1971), Donovan (1976)], et dans des conditions favorables, elles peuvent être aéroportées dans les lieux de travail et, sans mesures de contrôle, être éventuellement libérées dans l'environnement. Ainsi, le contrôle des poussières minérales est un sujet de préoccupation lié à la fois à la santé professionnelle et à la pollution de l'environnement. Cette situation est maintenant bien reconnue, et les émissions fugitives provenant de l'exploitation des mines font l'objet d'une attention toute particulière [voir par exemple le Bureau international du travail (1977) Rodger (1974)].

Dans le cas de l'exploitation et du broyage de l'amiante, l'émission de particules fines a fait l'objet d'une surveillance stricte au cours des dernières années, et de nombreuses études ont porté sur la détection et le contrôle des émissions d'amiante provenant de l'exploitation des mines, d'autres activités industrielles, ainsi que de sources naturelles (Harwood (1974, 1976), Allaire (1976), Brulotte (1976, 1980), Stinson (1977), Gagan (1977), Rajhans (1978), Shugar (1979), Goyer (1980), Serra (1981), Ase (1982)). Les travaux d'Allaire, Brulotte et Goyer d'Environnement Québec, Gagan d'Environnement Canada, et Shugar du Conseil national de recherches du Canada montrent que les émissions possibles dues à l'exploitation de cette importante ressource minière ont fait l'objet d'une attention particulière au Canada. D'autres rapports canadiens récents [Conseil national de recherches (1982), Parsons (1982)] traitent des effets sur la santé des particules minérales et des poussières fibreuses inhalées. Les effets liés aux particules de poussières fibreuses, particulièrement les fibres d'amiante, ont alimenté une grande partie des discussions récentes sur les risques professionnels et non professionnels que représentent les poussières de minerai.

La production actuelle de l'industrie de l'extraction de l'amiante est de l'ordre de 10^6 tonnes par année (Partie II), ce qui donne environ 40 millions de tonnes de stériles et de résidus. Plusieurs étapes de l'extraction et du broyage de l'amiante (forage, dynamitage, transport du minerai, concassage, broyage, séchage, criblage, ensachage) ou de la manutention et de

l'élimination des stériles et des résidus, peuvent être à l'origine d'importantes sources d'émission de particules, soit dans l'aire de travail, soit dans l'environnement. Le niveau des fibres d'amiante aéroportées dans l'aire de travail ambiant, dans l'industrie minière est maintenant contrôlé de façon permanente et les teneurs en fibres sur les lieux de travail doivent être conformes à des règlements stricts. Les émissions dans l'atmosphère ou dans les eaux environnantes provenant de l'activité industrielle en général sont aussi soumises à des règlements, mais elles sont beaucoup plus difficiles à surveiller ou à contrôler. Il est clair que les teneurs en poussières et en fibres de l'atmosphère au voisinage des mines d'amiante ont un lien avec l'importance des diverses sources d'émissions : mine, broyeur, zones de stockage, transport, terrils de stériles et de résidus, etc. La concentration réelle mesurée à un moment et à un endroit donnés dépendra cependant des propriétés physiques (dimensions des particules, vitesse de retombée) et de facteurs climatiques (taux et direction du vent, précipitations, température). Aussi, pour évaluer la situation environnementale résultant de l'émission de particules des mines à ciel ouvert, d'importantes études de surveillance systématique seront nécessaires. Ainsi, jusqu'à ce que l'on dispose de données suffisantes, la prudence semble indiquée et on insistera sur la nécessité de mieux connaître les sources possibles de problèmes et les solutions actuellement applicables.

La présente étude a été entreprise dans le contexte général décrit ci-dessus pour examiner l'état actuel des connaissances sur les sources d'émissions atmosphériques de particules dans l'industrie de l'extraction de l'amiante au Québec (Asbestos, Black Lake, Thetford), particulièrement celles provenant des terrils de stériles et de résidus. Les objectifs spécifiques de l'étude sont définis ci-dessous :

1. Étudier la documentation disponible sur les méthodes de contrôle des poussières au cours de la manutention et de l'élimination des rejets miniers.
2. Examiner et résumer la documentation traitant des méthodes de contrôle de la poussière, ou des techniques de "stabilisation", au cours de la manutention et de l'élimination des stériles et des résidus des mines d'amiante.
3. Décrire les méthodes utilisées présentement dans les mines d'amiante du Québec pour manutentionner les stériles et les résidus, ainsi que pour "stabiliser" les terrils de résidus.

4. Évaluer le coût et l'efficacité des méthodes présentées.
5. Recommander les "meilleures" technologies disponibles pour 1) contrôler les émissions de poussières pendant la manutention et le transport des résidus et des stériles et 2) "stabiliser" les terrils de résidus.
6. Estimer le coût total des pratiques recommandées.
7. Recommander les travaux futurs à exécuter dans ce domaine.

On trouvera dans les sections qui suivent des renseignements, données et suggestions sur chacun de ces objectifs, fondés sur la documentation technique, et à l'occasion, sur les données de l'industrie des mines du Québec et des organismes environnementaux. La majeure partie des informations traitées pour préparer le présent rapport a été obtenue grâce à des recherches informatisées dans 8 bases de données : CHEMICAL ABSTRACTS, ENVIROLINE, POLLUTION, SOL (Déchets solides), ENGINEERING ABSTRACTS, WPI (Brevets d'invention), NTIS et THESIS ABSTRACTS. Le profil de recherche qui contenait plus de 30 mots-clés, regroupés en 4 catégories (Annexe I) a donné plus de 4000 références, incluant plusieurs bibliographies sur certains aspects de l'amiante [Huff (1978), NITS].

La documentation recueillie dans cette recherche a été partagée et regroupée plus ou moins selon les objectifs principaux susmentionnés. Pour des raisons de clarté et d'exhaustivité, nous incluons également quelques sections d'intérêt général. Nous présentons tout d'abord au chapitre II une description sommaire de l'industrie de l'extraction de l'amiante au Québec où nous distinguons les opérations minières et l'élimination des rejets; cette dernière distinction sera utilisée au besoin dans tout le texte. Au chapitre III, nous présentons un relevé des sources possibles d'émission de particules incluant une évaluation qualitative des principales. Le chapitre IV résume les mesures de contrôle des émissions de poussières actuellement appliquées dans l'industrie minière. Les principaux sujets traités dans le présent rapport, c'est-à-dire les méthodes de lutte contre les émissions, sont présentés aux chapitres V et VI; ils sont divisés selon le type de méthode utilisée (physico-chimique ou couverture végétale), selon le potentiel d'application de ces méthodes au contrôle des stériles et des résidus d'amiante. Finalement, le chapitre VII présente un bref résumé des règlements présentement en vigueur en Amérique du Nord (États-Unis et Canada) régissant les émissions de fibres d'amiante.

Pour ce qui est du contenu général du présent rapport, nous aimerions insister sur le fait que la logique et la concision ont été jugés plus importants que les citations bibliographiques complètes. Il existe sur le sujet général des émissions de poussières dans les mines et autres industries une importante documentation, dont une partie seulement a été retenue et citée. Le nombre d'études traitant des sources libres d'émissions de fibres d'amiante est par contre assez limité et nous croyons qu'elles ont toutes été examinées et citées adéquatement.

Finalement, bien qu'il existe cinq variétés de types d'amiante importantes du point de vue commercial, à savoir le chrysotile (variété de serpentine) et quatre variétés d'amphiboles, cette étude traite principalement du chrysotile ou de ses résidus. Ce type d'amiante représente environ 95 % de la production mondiale et il est le seul extrait au Canada. Les méthodes de traitement examinées ici devraient cependant s'appliquer à toutes les variétés d'amiante et de résidus d'amiante.

II ÉTAT ACTUEL DE L'EXPLOITATION DES MINES D'AMIANTE AU QUÉBEC

1 GÉNÉRALITÉS

Comme l'a signalé Gagan (1977), il y avait 14 mines productrices d'amiante au Canada en 1973. Dix ans plus tard, il en reste 11 en activité; cette situation est due à la fermeture de mines, principalement en Ontario où la production d'amiante a pratiquement cessé en 1977 (à l'exception de Hedman Ltd) et en Colombie-Britannique où la seule mine productrice est la mine de Cassiar à 50 milles au sud de la frontière du Yukon. À Terre-Neuve, la seule mine productrice est exploitée par Baie Verte Mines Inc., une filiale à part entière de Transpacific Asbestos Ltd. (Asbestos (1983, v. 64, n. 7)).

Les plus importants gisements producteurs au Canada appartiennent aux cinq sociétés qui exploitent huit mines au Québec. Ces mines sont toutes situées dans la ceinture d'amiante du sud-est du Québec qui est divisée en trois secteurs miniers : le secteur sud-ouest qui inclut le gisement Jeffrey de la J.M. Asbestos Inc.; le secteur central, qui inclut les gisements des Mines d'amiante Bell Ltée et celui du Lac d'Amiante du Québec Ltée, ainsi que ceux de la Société Asbestos Ltée; et le secteur nord-est, qui comprend les gisements de Carey-Canada Inc. et de la division Nationale du Lac d'Amiante du Québec Ltée. La figure 1 montre les secteurs productifs du Québec situés dans la chaîne ultramafique du sud-est du Québec [Riordon (1975)].

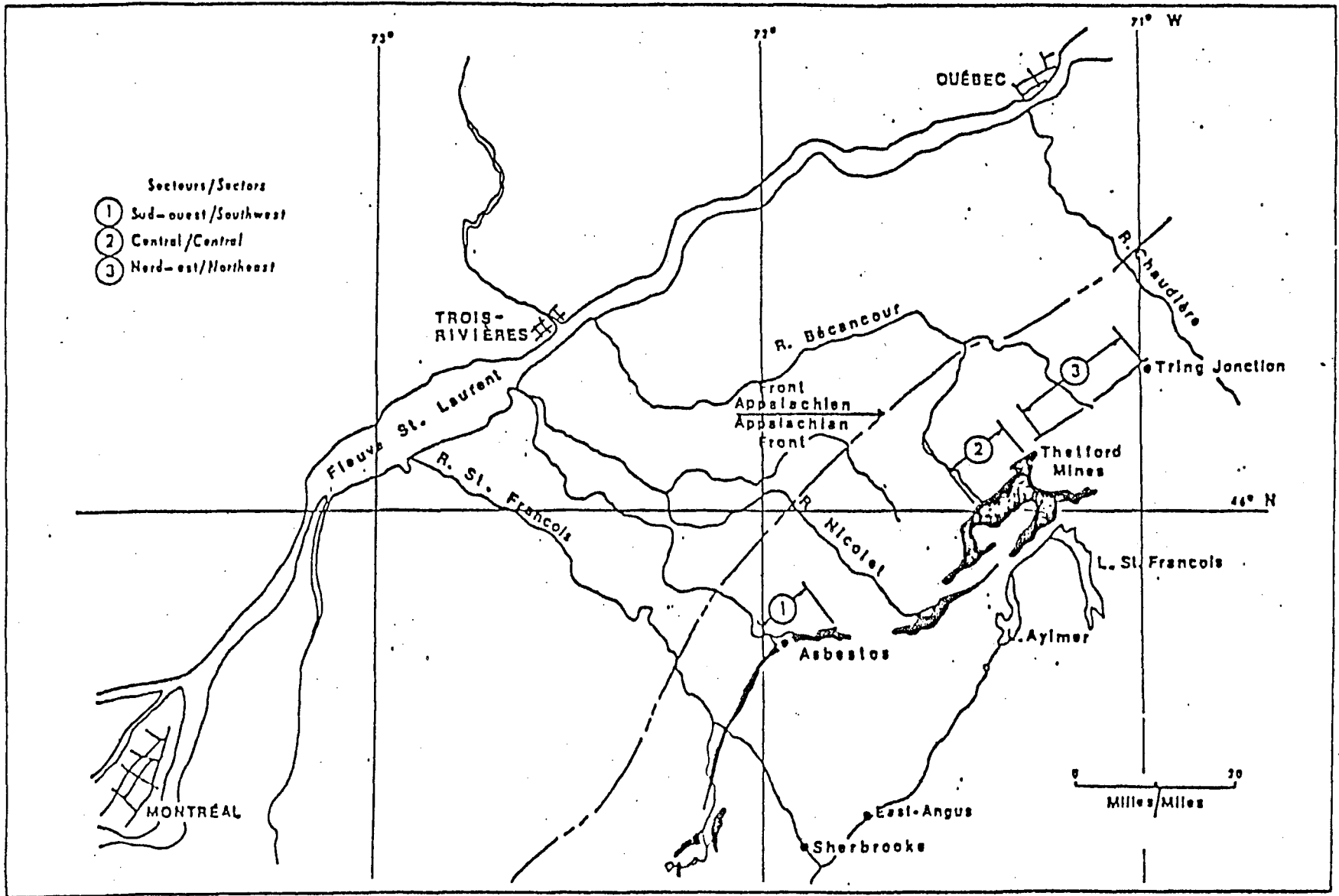


FIGURE I Chaîne ultramafique du sud-est québécois montrant les secteurs producteurs d'amiante (Riordon 1975)

2. DESCRIPTION DE LA GÉOLOGIE DES MINES D'AMIANTE DU QUÉBEC

Pour bien comprendre les opérations minières et les activités de broyage qui varient principalement selon le type de minerai, il est utile de décrire la géologie régionale des gisements du Québec.

Le chrysotile fibreux se présente sous deux formes principales : à fibres transversales et à fibres longitudinales.

La fibre transversale se présente en filons et elle est disposée perpendiculairement, ou presque, aux parois du filon. La fibre longitudinale est un minéral de pression formant un revêtement sur les plans de glissement et orientée parallèlement à la direction du glissement [Riordon (1975), Québec]. Riordon (1975) a fourni une description détaillée des formations géologiques que nous résumons ci-dessous.

2.1 Filon rocheux de Pennington

De façon générale, on peut dire que le filon rocheux dans cette région comprend deux types principaux de roches :

- (i) serpentine non stratifiée.
- (ii) serpentine schisteuse.

Deux gisements seulement sont actuellement en production. Le gisement de Carey-Canada Inc., à l'extrémité nord-est du filon rocheux, est composé principalement de fibres longitudinales dans le schiste de serpentine, mais aussi de fibres transversales dans la serpentine non stratifiée et quelques masses de fibres dans des lentilles de serpentine en écailles de poisson. Le gisement de la division Nationale appartenant à Lac d'Amiante du Québec Ltée, situé du côté sud, est surtout composé de fibres transversales; de petites quantités de fibres longitudinales sont cependant récupérées.

2.2 Gisements d'amiante des Mines de Thetford (King-Beaver et Bell Asbestos).

Ces gisements sont à peu près parallèles au toit de la faille de Thetford ou le long de cette dernière. La roche-mère, presque complètement serpentinisée, est de la péridotite.

Les filons de minerai de Thetford sont composés principalement de filons d'amiante à fibres transversales dont la largeur varie de l'épaisseur d'un cheveu à 10 cm, la majorité des filons ayant moins d'un centimètre d'épaisseur. Une quantité notable de fibres longitudinales est récupérée dans certaines parties de ces gisements.

2.3 Gisement de la British Canadian

Ce gisement est situé au sud sud-ouest de la ville de Black Lake. La roche-mère est une harzburgite contenant 10 à 15 % d'enstatite. Environ 30 à 40 % de cette roche ont été altérés et sont maintenant de la serpentine.

Les filons d'amiante les plus importants se trouvent normalement dans les portions de périclote, partiellement serpentinisée. Les fibres se trouvent rarement dans les zones de cisaillement elles-mêmes, mais peuvent se trouver dans la roche adjacente entièrement serpentinisée. Le gisement est composé principalement de fibres transversales et leur densité est relativement faible tandis que leur longueur est supérieure à la moyenne.

2.4 Gisement du Lac d'Amiante du Québec

Les filons de minerai du Lac d'Amiante du Québec s'étendent sous la zone autrefois occupée par Black Lake, environ un demi-mille au sud de la zone principale de contact de la périclote et du quartzite. La roche-mère comprend principalement de la périclote serpentinisée.

Les trois zones principales de minerai à Lac d'Amiante du Québec, "A", "B", et "C" sont situées dans les limites actuelles de la mine à ciel ouvert. L'amiante se trouve surtout sous forme de fibres transversales dans les joints et les fractures des zones de fracturation modérée. Les zones de fort cisaillement présentent une petite quantité de fibres longitudinales.

2.5 Mines de Jeffrey (J.M. Asbestos)

Le filon d'amiante de Jeffrey se trouve de la périclote à forte serpentinitisation dans la localité de Shipton. La roche-mère est un harzburgite contenant des petites lentilles ou des poches de dunite.

La minéralisation de l'amiante se présente principalement sous forme de fibres transversales mais on trouve aussi une certaine proportion de fibres longitudinales et de fibres en masse.

3 PRODUCTION D'AMIANTE

En 1973, les producteurs canadiens ont expédié 1 693 615 tonnes métriques de fibres d'amiante brutes et broyées, évaluées à \$ 234 323 000 (SPE, 1977). Les expéditions par province entre 1974 et 1981 figurent dans "Économie de l'amiante" 1983, (Roskill Information Service 1983). En 1982 les expéditions d'amiante des principaux producteurs canadiens s'élevaient à 839 463 tonnes métriques (Asbestos v. 64, n. 8).

Les plus importants producteurs d'amiante au Canada sont au Québec et, comme l'indique le tableau I, leur production en 1983 s'élevait à 680 414 tonnes métriques de fibres d'amiante broyées (voir aussi Annexe II).

TABLEAU II.1 Production d'amiante au Québec (1983)

SOCIÉTÉ*	AMIANTE BROYÉE PRODUITE (tonnes métriques)
A	39 103
B	100 330
C	263 000
D	124 904
E	69 164
F	83 913

* Certaines données de ce rapport sont présentées de façon anonyme afin de respecter la confidentialité des sociétés; cependant, la même lettre représente la même société dans tout le texte.

4 OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE

4.1 Extraction

La majorité des mines d'amiante exploitées au Canada utilisent la méthode d'extraction à ciel ouvert. Lorsque qu'elle est impraticable, on utilise l'exploitation souterraine. La méthode adoptée dépend de la forme et de l'emplacement du gisement, selon s'il s'agit d'un bloc compact ou d'un filon étroit et long, situé près de la surface ou en profondeur. Habituellement, on commence par l'extraction en surface, soit par l'exploitation de carrières si le sol est assez plat, soit en creusant des galeries à flanc de coteau (tunnels horizontaux ou inclinés) si le terrain est accidenté. Les conditions locales dictent en général le choix final.

4.1.1 Mines à ciel ouvert. Lorsque les gisements d'amiante se trouvent près de la surface du sol et ne sont pas inclus dans des masses rocheuses non stratifiées, on utilise les méthodes d'exploitation en surface. Pour exploiter des mines à ciel ouvert, il faut construire des bancs (ou gradins), ayant habituellement de 10 à 30 mètres de hauteur, sur lesquels peuvent travailler des foreuses, des pelles mécaniques et des gros camions à benne basculante. La masse rocheuse est brisée en forant des trous presque à la verticale et à l'horizontale, et en y plaçant des charges explosives de façon à éviter de disloquer du minerai et d'endommager la fibre. Les morts-terrains peu profonds, les roches disloquées et le minerai sont enlevés par des pelles mécaniques et des bulldozers, ou par d'autres équipements du genre racleur. L'exploitation de la mine se poursuit le long de gradins parallèles ou en spirale, qui descendent jusqu'au fond de la mine. Le camionnage peut se faire sur les gradins en spirale au cours de la première étape des opérations minières, mais lorsque la mine devient plus profonde, la tendance consiste à transporter le minerai au fond de la mine, jusqu'au point de chargement d'un élévateur incliné.

Au fur et à mesure que la profondeur, et par suite, la quantité relative des morts-terrains périphériques augmentent, l'exploitation des mines à ciel ouvert est de moins en moins rentable. Cette phase des activités peut être remplacée en temps utile par l'extraction souterraine. Dans certaines mines du Québec, l'exploitation des mines à ciel ouvert a lieu quelquefois en même temps que l'exploitation souterraine.

4.1.2 Extraction souterraine

La mine King se distingue dans le domaine de l'extraction souterraine du minerai d'amiante parce qu'elle a utilisé la méthode du foudroyage en masse dès 1932. Le réseau d'extraction souterrain comprenait à l'origine des blocs rhombiques dont les côtés mesuraient 160 pieds, vus en plan. Chaque bloc était desservi par quatre galeries de transfert, chacune comportant dix ouvertures pour le prélèvement du minerai; le minerai extrait des cheminées au niveau du sous-cavage était amené au niveau du roulage 14 mètres plus bas. Toute la production provient maintenant d'un système d'exploitation utilisant des racleurs de 50 CV. L'espace entre les galeries est de 15 mètres centre à centre, et leur longueur de 30 mètres, il y a de six à huit points de soutirage par galerie. Dans le passé, le minerai était transporté par racleur dans les cheminées à minerai, mais ce système a été abandonné et remplacé par le transport direct par wagon.

Néanmoins, l'exploitation par foudroyage permet de concasser et de manipuler d'importantes quantités de minerai à des coûts relativement bas, car elle exige un soutènement du toit moindre que celui demandé par les anciennes méthodes. On peut utiliser, dans le cas des filons plus plats et tubulaires, l'exploitation par foudroyage en rabattant. Le dynamitage commence à la partie supérieure du massif de minerai, ou toit, et se poursuit progressivement jusqu'au pied du mur. Les travaux peuvent également se dérouler d'un flanc du filon à l'autre.

4.2 Extraction de l'amiante

4.2.1 Concassage, criblage et séchage du minerai. Avant d'être broyé, le minerai tout-venant est d'abord concassé au moyen d'un concasseur à mâchoires, puis criblé. Les refus trop grands sont réduits à une dimension maximale d'environ 8 cm, après quoi ils sont transportés par convoyeur et stockés sous forme de minerai humide, ou transportés directement vers les installations de séchage. Habituellement, la fraction de minerai (déclassé trop petit) qui contient la plupart des fibres d'amiante industrielles, et presque toute l'humidité, passe par les séchoirs. Le minerai est séché dans des séchoirs verticaux, horizontaux, ou à lit fluidisé.

4.2.2 Circuit des fibres. Le broyage a pour but de séparer les fibres d'amiante du minerai en endommageant le moins possible les fibres, et à éliminer la poussière libérée. Le procédé pour séparer les fibres de la serpentine comprend un grand nombre d'étapes de convoyage, concassage,

criblage et aspiration comme le montre la figure 2, "Schéma type des opérations de broyage de l'amiante" (Association des mines d'amiante du Québec (1961), Vos (1971)).

La charge des broyeurs est d'abord criblée et divisée en fractions de grosseurs différentes (deux ou plus) qui sont ensuite traitées consécutivement. L'amiante triée provenant de chacune des opérations de criblage est reclassée selon une longueur moyenne en rapport avec l'ouverture des orifices du crible de façon qu'une première classification des longueurs soit obtenue immédiatement. Les déclassés trop grands sont ensuite rebroyés et recriblés tandis que les déclassés trop petits passent dans des cribles plus fins et sont soufflés avant d'être concassés à nouveau. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que tout le minerai soit réduit en particules de l'ordre du millimètre.

Les fibres triées sont soumises à d'autres opérations de tamisage, et certaines peuvent être mélangées jusqu'à ce qu'elles aient la longueur désignée pour des utilisations finales particulières. Finalement, elles reçoivent un traitement mécanique pour être défibrées jusqu'à l'obtention d'un duveté standard. Dans certains cas, ces processus peuvent être suivis d'une opération de dépoussiérage qui réduit au minimum la teneur en fibres courtes et des particules fines.

Les fibres obtenues sont placées dans des machines d'emballage sous pression ou d'emballage ordinaire, puis ensachées dans des contenants en papier ou en plastique. Les paquets sont ensuite chargés sur des palettes de manutention pour être stockés et expédiés.

Des méthodes de contrôle de la qualité sont appliquées à tous les stades de la récupération et de la préparation finale des fibres. La distribution selon la longueur est évaluée par tamisage à sec standard ou par tamisage multiple par voie humide. Le degré de fibrage est mesuré soit par une méthode de perméabilité de l'air, soit par élutriation avec de l'eau.

Les fibres destinées à des utilisations hautement spécifiques sont souvent soumises à des tests plus spécialisés.

4.3 Élimination des résidus et des stériles

L'élimination des résidus et des stériles est la dernière étape de l'opération minière.

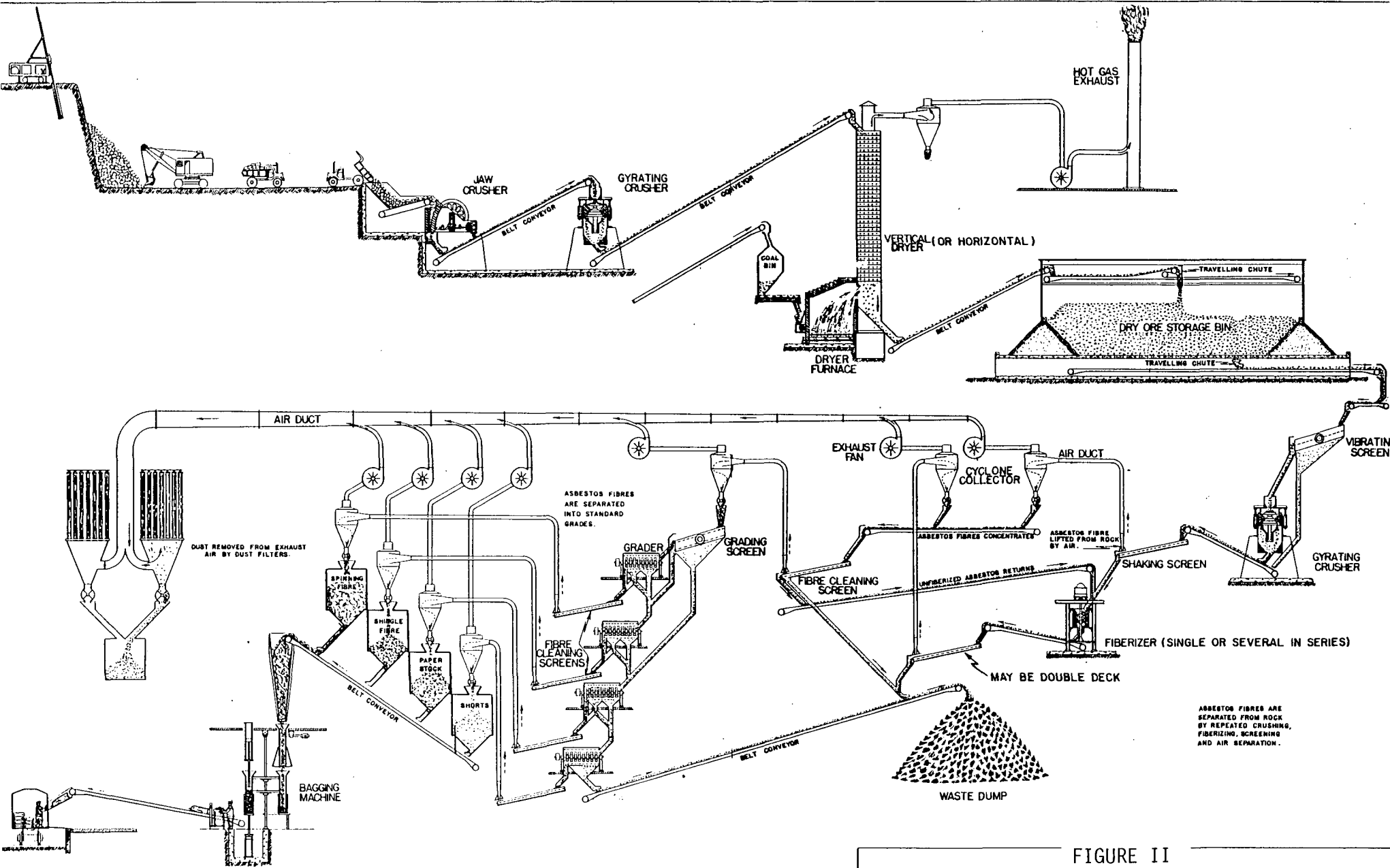


FIGURE II
 SCHÉMA TYPE DES OPÉRATIONS D'UNE MINE D'AMIANTE

(Association des mines d'amiante du Québec (1961))

4.3.1 Description. Les résidus d'amiante sont composés de rebuts grossiers provenant d'un premier enrichissement du minerai pendant le concassage, des déclassés trop grands du minerai tamisés au cours du circuit, des déclassés trop petits, de la poussière fine de serpentine et des "floats" (fibres courtes). Les terrils de stériles comprennent principalement des matériaux de morts-terrains et la gangue ou stériles. Selon Collins (1977) les stériles se rangent dans quatre catégories générales (Tableau II-2). Les résidus et les stériles des mines d'amiante font partie des trois premières catégories de déchets minéraux solides. Ceux des deux premières catégories (morts-terrains et gangue ou stériles) sont un mélange de minéraux à faible teneur en amiante et à gros volume et, en tant que tel, sont habituellement peu intéressants pour une exploitation industrielle ultérieure; les morts-terrains peuvent être utilisés localement pour la construction de routes ou comme matériau de remblayage, et les stériles peuvent servir de matériau de construction en général. Le troisième groupe inclut les rejets des usines de broyage, qui sont appelés résidus. Cette troisième catégorie peut être à l'origine de certains problèmes. La manutention et le stockage des résidus occupent des espaces de terrain utilisables à d'autres fins, sont peu esthétiques, et peuvent être des sources de polluants de l'air et de l'eau.

4.3.2 Méthodes d'élimination. Les méthodes d'élimination de résidus d'amiante sont bien décrites dans un guide des pratiques pour l'élimination des résidus (Gagan, 1977).

Le convoyeur à courroie est l'équipement utilisé le plus souvent pour transporter les résidus d'amiante vers les aires d'élimination. Ces convoyeurs sont inclinés à environ 14° et dans certains cas, leur point de décharge est à environ 500 pieds au-dessus du sol. Ils peuvent être placés dans des enceintes fermées, ou équipés de couvertures semi-circulaires pour les protéger de la pluie et de la neige.

Les deux autres méthodes de transport des résidus vers les aires d'élimination sont les wagons et les camions. Les wagons sont chargés au silo de stockage et déchargés au site conduits à la zone d'élimination. Lorsqu'un des côtés du terril est rempli, le rail est déplacé latéralement et on recommence. Les camions fermés sont chargés par le haut à partir d'une série de trémies à résidus.

Des camions sont utilisés pour transporter les morts-terrains et les stériles d'amiante vers les sites d'élimination. Le gros de cette importante quantité de déchets est habituellement stocké sur des sites d'élimination

TABLEAU II-2

Classification des déchets de minéraux solides (Collings (1977))

	Groupe et type			
	1. Morts-terrains	2. Gangue ou stériles	3. Résidus de mine et de broyage	4. Résidus des industries métallurgiques, chimiques et des pâtes et papiers
Description	Sol, sable, argile, schistes, gravier, bloc rocheux, etc.	Roche qui doit être disloquée et enlevée pour obtenir le minerai; plusieurs types, comme la pierre à chaux, les roches granitiques et volcaniques.	Minerai, habituellement avec des particules de sable ou du limon, mais quelques fois plus grosses, peut inclure des sulfures.	Scories, cendres volantes, scories volcaniques, poussières, limons, boues, etc.
Caractéristiques	Hétérogène et meuble.	Roche désagrégée, habituellement homogène, mais dont les dimensions peuvent varier de façon importante.	Caractéristiques et dimensions habituellement uniformes.	Caractéristiques et taille habituellement uniformes; quelques fois toxiques.
Exemples	Couverture enlevée des mines à ciel ouvert de charbon, de gypse, et de certaines mines de fer.	Roche désagrégée des mines à ciel ouvert, par exemple les mines de fer.	Résidus provenant d'un grand nombre d'opérations diverses, comme par exemple les opérations minières de base, des mines de fer et de métaux précieux et de minerais non métalliques.	Scories provenant des usines de transformation du fer et de l'acier, cendres volantes provenant des centrales thermiques, sels provenant des opérations de récupération de la potasse, gypse provenant des usines d'engrais de phosphate.
Nature du problème et utilisation potentielle	Manutention et stockage des matériaux; faible valeur intrinsèque mais peut être utilisée comme ramblais, lest et dans l'aménagement du terrain. Ces résidus peuvent avoir une valeur comme agrégat de construction, par exemple pour les mélanges de béton et d'asphalte.		Manutention et stockage des matériaux; peuvent occuper des terrains plus utiles à d'autres fins; être inesthétique et une source possible de pollution de l'air et de l'eau; une source potentielle de quantités supplémentaires de métal et de minerai, et de matières brutes pour la fabrication de briques et de blocs, d'engrais et d'additifs pour le sol, de ramblais, de produits chimiques, etc.	

plats, mais aussi sur des sites à crête ou élevés, comme l'indique le manuel des talus de mines CANMET. (Murray (1977)). Dans le cas des sites d'élimination plats, les stériles sont épanchés de façon à ce que la surface soit à peu près horizontale et qu'elle s'étende raisonnablement loin dans toutes les directions. Quant au site à crête, il est formé par le dépôt de stériles secs de façon à former une structure allongée. Enfin, pour ce qui est des sites d'élimination élevés, les stériles sont déposés comme dans les sites plats, mais ils sont plus épais et le site est donc délimité par des pentes.

4.3.3 Inventaire national des résidus de mine. Le rapport CANMET (1977) présente un inventaire de cartes indiquant les emplacements des déchets de mines d'amiante au Canada. Ce rapport donne aussi un relevé des superficies occupées par les différents types de déchets de mines, comme les résidus, les stériles et les morts-terrains exposés. Quelques données concernant les déchets d'exploitation des mines d'amiante au Canada sont présentées dans le tableau II-3. D'autres renseignements sur les déchets de mine, au Québec sont présentés par Collings (1977), qui a établi la liste des principales mines productrices et décrit brièvement le type d'opération, de géologie et de minéralogie, ainsi que les types de déchets de mines. Des données assez complètes sur les superficies et les tonnages étaient disponibles pour les mines du Québec; les espaces vides du tableau II-3 indiquent que certaines mines ne produisent pas ce type de déchets ou qu'elles n'en produisent plus en quantités significatives.

TABLEAU II-3 RÉSIDUS DE MINES (Collings (1977), CANMET (1977))

SOCIÉTÉ	EMPLACEMENT DE LA MINE	MORTS-TERRAINS		STÉRILES		RÉSIDUS	
		SUPER-FICIE (hectares)	TONNAGE millions de tonnes/année	SUPER-FICIE (hectares)	TONNAGE millions de tonnes/année	SUPER-FICIE (hectares)	TONNAGE millions de tonnes/année
1. Société Asbestos Ltée (SNA)	- Asbestos Hill, Portunig;	97	-	-	-	-	-
	- British Canadian, Black Lake,	-	-	174	14	110	3,8
	Normandie, Vimy Ridge;	-	-	61	0,7	268	2,1
	King-Beaver, Thetford Mines	-	-	123	-	31	-
2. Les mines d'amiante Bell Ltée (SNA)	Bell, Thetford Mines	-	-	-	-	45	0,9
3. Carey-Canada	Carey, Tring Jonction et East Broughton	68	-	42	4	51	1,5
4. J.M. Asbestos	Jeffrey, Asbestos Reeves, Timmins	16	-	250	25	151	9
		-	-	44	-	17	-
5. Lac d'Amiante du Québec	Black Lake, Black Lake; National, Thetford Mines	27	-	158	9,5	64	4,4
		-	-	31	5	20	2
6. Brinco Mining	Clinton Creek (Yukon)	173	-	-	-	-	-
7. Transpacific Asbestos	Advocate, Baie-verte	199	-	-	-	18	-
8. Mines Hedman	Hedman (Ontario)	-	-	-	-	4	-
9. Mines fermées	Flintkote, Quebec Asbestos Munro et Nicolet	-	-	31	-	43	-
	TOTAL	580	-	914	53,2	822	21,7

III SOURCES D'ÉMISSION

La description des méthodes d'extraction de l'amiante dans la section précédente laisse entrevoir un certain nombre de situations où des émissions de particules peuvent se produire. En réalité, presque toutes les opérations qui comportent le concassage de substances minérales, le transport du minerai, des stériles ou des résidus, de même que la manutention de ces matériaux, par exemple le chargement, le déchargement, le criblage ou la classification, peuvent être une source d'émissions fugitives. Les importantes quantités d'air utilisées pour l'extraction, le séchage et la classification [il faut environ 10 tonnes ou 9000 m³ d'air pour traiter une tonne d'amiante) (Levine (1981))] favorisent la dispersion de particules à diverses étapes du processus de broyage. Les terrils de résidus et de stériles peuvent, sous l'effet du vent, également être une source d'émissions fugitives ou être soumis à d'autres modes de dispersion par suite de l'érosion par l'eau, ou du lessivage des minéraux, etc.

Le présent chapitre a pour but de réviser les données disponibles portant sur les sources d'émission de particules dans l'industrie de l'extraction de l'amiante et, dans la mesure du possible, d'évaluer l'importance de ces sources. Nous examinerons globalement deux principales catégories de sources : 1) celles qui sont associées aux opérations d'extraction et de broyage, et 2) celles qui sont associées aux dépôts de résidus d'amiante et de stériles.

1 OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE.

Dans la série d'opérations comprises entre le forage du minerai dans la mine à ciel ouvert et le rejet final des stériles et résidus, les principales sources possibles d'émissions sont les suivantes (Gagan, 1977) :

1. Opérations à ciel ouvert
 - a) Forage
 - b) Dynamitage
 - c) Chargement du minerai
 - d) Transport du minerai vers le concasseur primaire ou des résidus vers les terrils.

2. Concassage du minerai
 - a) Déchargement du minerai en provenance de la mine
 - b) Concassage primaire
 - c) Criblage
 - d) Concassage secondaire
 - e) Transport par convoyeur et stockage du minerai humide

3. Séchage du minerai
 - a) Transport du minerai par convoyeur vers le bâtiment de séchage
 - b) Criblage
 - c) Séchage
 - d) Concassage tertiaire
 - e) Transport par convoyeur du minerai sec vers le bâtiment de stockage
 - f) Entreposage du minerai sec.

4. Broyage
 - a) Transport du minerai sec de l'entrepôt au circuit de broyage
 - b) Criblage
 - c) Broyage fin du minerai dans des broyeurs à percussion et/ou des broyeurs à marteaux verticaux
 - d) Aspiration de la fibre
 - e) Nettoyage des cribles
 - f) Classeurs
 - g) Aspiration des fibres
 - h) Transport des fibres vers les installations d'ensachage
 - i) Ensachage

5. Expédition

- a) Transport des sacs de fibre aux entrepôts de stockage
- b) Chargement des produits de l'entrepôt dans des wagons ou autres véhicules.

6. Évacuation des résidus

- a) Transport des résidus par courroie ou par roulage vers les dépôts de stériles ou les points de rejet
- b) Points de transfert ou de décharge des convoyeurs.

Même si chacune des étapes susmentionnées peut être une source d'émissions fugitives, il est clair que ces sources n'ont pas toutes la même importance et qu'elles ne se prêtent pas toutes également à des mesures de lutte contre de la poussière. Ainsi, le sautage à ciel ouvert constitue une source occasionnelle d'émissions qui peut être d'une importance toute relative, mais elle est presque impossible à éliminer. Par contre, le séchage du minerai est une importante source d'émissions de particules, mais qui est facilement contrôlable par un confinement adéquat dans un bâtiment. En fait, toutes les opérations de broyage sont effectuées dans des bâtiments qui peuvent être équipés de systèmes efficaces de dépoussiérage.

Les sources d'émission de particules dans l'industrie de l'extraction de l'amiante ont été évaluées vers le milieu des années 70 pour les mines d'amiante au Québec et ailleurs au Canada (Gagan, 1977). Selon Gagan, les données étaient surtout basées sur les chiffres fournis par les producteurs d'amiante en réponse à un questionnaire, de même que sur les facteurs d'émission obtenus auprès de l'EPA. Les données obtenues suggèrent que les opérations de séchage, de broyage, de concassage et de stockage constituent, en ordre décroissant d'importance, les principales sources d'émission (Tableau III.1). De même, toujours selon ces données, les émissions combinées des opérations minières et des opérations de broyage, y compris le transport et le déchargement des stériles et des résidus, représentent environ 25 % de toutes les émissions tandis que les résidus eux-mêmes sont la cause de 75 % des émissions. Les émissions totales représenteraient 0,1 tonne de particules par tonne d'amiante produite.

Il importe de préciser que ces données d'émission ne sont que des estimations et qu'elles ne sont pas basées sur des mesures environnementales réelles effectuées sur le terrain. Par conséquent, même si elles ont été citées à de nombreuses reprises, elles pourraient être très loin de la réalité. De plus, ces estimations ont été faites en se basant sur la techno-

TABLEAU III.1 RÉSUMÉ DES ÉMISSIONS PROVENANT DE L'EXTRACTION DE L'AMIANTE ET DES OPÉRATIONS DE BROYAGE - 1973 et 1974 - [Gaçon (1977)]

		Émissions (tonnes courtes par année)											
		Concassage		Séchage		Entreposage du minerai sec		Broyage		Résidus*		Total général	
Année et lieu	Fibres produites (pour tous usages)	Particules totales	Particules Amiante	Particules totales	Particules Amiante	Particules totales	Particules Amiante	Particules totales	Particules Amiante	Particules totales	Particules Amiante	Particules totales	Particules Amiante
1973													
Québec	1 470 340	1934	125	22 298	2097	105	8	14 065	4268	120 195	777	158 597	7275
Reste du Canada	324 700	1985	190	13 082	651	27	2	856	57	55 515	713	71 265	1613
Ensemble du Canada	1 795 049	3919	315	35 380	2748	132	10	14 721	4325	175 710	1490	229 862	8888
1974													
Québec	1 510 354	2354	159	11 416	571	103	5	17 219	5327	124 739	746	155 831	6805
Reste du Canada	290 622	1869	159	9 454	402	25	1	629	51	39 060	456	51 037	1069
Ensemble du Canada	1 800 975	4 223	315	20 870	973	128	6	17 848	5378	163 799	1202	206 868	7874

Données obtenues à partir de questionnaires, APCD 1974

* Estimation seulement (Résidus)

Les émissions d'amiante sont uniquement des estimations, calculées en supposant un pourcentage d'amiante dans les matières particulaires.

logie des années 1970. Les améliorations techniques apportées depuis, par exemple dans le transport et le déchargement des résidus et des stériles, ont contribué de façon appréciable à réduire les facteurs d'émissions lors de ces opérations [Eng. Mining J. (1973), Fish (1977), Hutcheson (1971), Trauffer, (1974)].

D'autres estimations d'émissions de particules ont été obtenues de données et/ou d'hypothèses diverses; les sources de ces estimations sont données au tableau III.2. Même si rien ne permet d'accorder la préférence à une source ou à une autre, ces estimations avancent que les émissions totales de particules non contrôlées provenant de l'industrie minière de l'amiante au Québec se situent entre 10^4 et 10^5 tonnes/année. La valeur actuelle est inconnue et n'aurait, en fait, que peu de signification à moins de connaître les propriétés des poussières diffuses (distribution granulométrique, transportabilité par l'air, profil des retombées) et surtout, leur teneur en fibres d'amiante. Des données détaillées sur ces aspects nécessiteront une surveillance et une analyse poussées des diverses sources d'émission résultant de l'extraction de l'amiante et du rejet des résidus ou des stériles. Ces sources pourront être considérées isolément ou globalement.

TABLEAU III.2 ESTIMATIONS DES ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES DUES AUX OPÉRATIONS D'EXTRACTION D'AMIANTE AU QUÉBEC.

Émissions (tel que rapporté)	Source		Total t/an	Référence, remarques
	Extraction	Broyage		
Amiante	6 620	9 673	16 293	Environnement Canada (1970), cité par GAGAN (1977)
Émission totale de matières particulaires			80 000	Direction du contrôle de la pollution de l'air (1970), cité dans GAGAN (1977).
Fibres d'amiante			13 000	GOYER (1980), en supposant 20 lb/tonnes d'amiante.
Poussière totale			140 000	Brulotte (1976), basé sur des données fournies par les producteurs en 1974.
Fibres d'amiante			6 200	Brulotte (1976), en supposant une teneur de 4 % d'amiante dans les émissions de particules.
Émission d'amiante	7 000	70 000	77 000	RAJHANS et BRAGG (1978), d'après des facteurs d'émission totale estimés de 10 lb/tonnes et 100 lb/tonnes respectivement pour l'extraction et le broyage; ces valeurs sont basées sur une production de 1.4 million de tonnes.
Émission d'amiante (selon "contrôle actuel")	3 500	14 000	17 500	Rajhans et Bragg, supposant un contrôle de 50 % de la poussière pour l'extraction et de 80 % pour les opérations de broyage.
Émission d'amiante (selon "contrôle optimal")	1 400	700	2 100	Comme ci-dessus, en prenant pour hypothèse un contrôle des émissions de poussière de 80 % et de 99 %, respectivement pour les opérations d'extraction et de broyage.

2 SITES DE RÉSIDUS ET DE STÉRILES.

2.1 Sources possibles d'émissions

Les émissions qui peuvent provenir des terrils et de stériles se classent dans deux catégories :

- a) poussières diffuses causées par l'érosion éolienne, et
- b) minéraux libérés sous forme de particules (ou de matières solubles) dans les eaux d'érosion environnantes (pluie, fonte de la neige).

Bien que ces deux types d'émissions puissent provenir à la fois des terrils de résidus ou de stériles, l'importance relative de ces sources d'émissions peut varier considérablement. De même, le niveau des émissions dues à une source donnée varie en fonction du temps, et de façons différentes selon qu'il s'agit de résidus ou de stériles. En fait, les émissions provenant des sites actifs de rejet c'est-à-dire les sites couramment utilisés pour l'élimination, le nivelage périodique, etc., et celles provenant des terrils inactifs, auront des causes et des caractéristiques différentes. Les principales caractéristiques de ces sources d'émission peuvent se résumer comme suit.

a) Terrils de stériles

Ces matériaux sont essentiellement de grosses pierres (jusqu'à plusieurs centimètres de diamètre, voir la section précédente) qui ont été séparées au cours des premières étapes de l'extraction et du concassage; presque 50 % des matériaux extraits avec le minerai est rejeté au début des opérations sous forme de stériles. Les terrils de stériles peuvent également comprendre du mort-terrain ou des matériaux extraits pour permettre l'accès au minerai.

Les stériles contiennent de petites quantités d'amiante incorporées à la roche-mère; ils contiennent également une petite quantité de particules fines libres dont certaines pourraient devenir des poussières diffuses pendant la manutention et l'élimination de ces matériaux. Par conséquent, les terrils actifs de stériles peuvent être des sources d'émission de particules. Néanmoins, à la suite de l'érosion initiale par l'eau et le vent, ces terrils deviendront rapidement inactifs et le dégagement ultérieur de poussière ou de fibres d'amiante ne devrait pas poser de problème. L'impact environnemental à long terme des sites de rejet des stériles semble surtout être d'ordre esthétique.

b) Dépôts de résidus

Les résidus des mines d'amiante contiennent une grande proportion de matières finement divisées comprenant une certaine quantité de fibres courtes d'amiante qui s'échappent au cours des diverses étapes d'extraction. Les fibres courtes récupérées dans les dépoussiéreurs à sacs filtrants dans les opérations de broyage, tamisage, séparation, etc. peuvent également être rejetées sur les terrils. Les résidus fraîchement déchargés sont extrêmement friables et n'offrent que très peu de résistance à l'érosion par l'air ou par l'eau. Par conséquent, un site actif de rejet de résidus peut produire des quantités importantes de poussières diffuses. Après une certaine période d'exposition aux intempéries (par exemple, plusieurs cycles de mouillage et de séchage), la surface des résidus devient plus compacte, donc moins sujette à l'érosion par le vent; toutefois, cela peut ne pas éliminer le phénomène de l'érosion par l'eau. Dans le cas des terrils de résidus, on peut donc distinguer :

1. les sources d'émissions à court terme comme les poussières diffuses venant des terrils actifs et
2. à long terme, les effets de l'érosion par l'eau et le vent sur les sites inactifs.

Une évaluation de la quantité de poussières diffuses ou de matières érodées par l'eau en provenance des terrils de résidus est probablement encore plus difficile que l'évaluation des émissions de poussières diffuses causées par les opérations d'extraction et de broyage. GAGAN (1977) estime que l'émission totale de particules provenant des résidus était de 120 000 tonnes/an en 1973 et 1974 lorsque la production d'amiante était de 1,5 million de tonnes/année. Il n'existe aucun moyen de déterminer si cette valeur est réaliste, voire même possible. Les théories et les observations générales sur l'érosion des sols pourront peut-être fournir des indices sur cette question.

2.2 Facteurs d'érosion des sols

Jutze et Axetell (1976) font état de l'influence de 6 paramètres qui influent de façon substantielle sur les taux des émissions de poussières diffuses :

- type de sol
- vitesse du vent
- humidité en surface

- précipitations
- couverture végétale
- circulation.

Les auteurs indiquent que les indices d'érosion par le vent se situent entre 40 et 220 tonnes/acre/an, situation qui correspond à celle des terres agricoles des plaines centrales américaines. Ces valeurs dépendent de la granulométrie des particules du sol et chaque cas doit être considéré en fonction des changements des divers facteurs précités; néanmoins, ces paramètres fournissent une indication approximative de la possibilité d'érosion d'une grande variété de sols comprenant le silt, l'argile et le sable, en l'absence de circulation. Les auteurs font également part d'autres observations. Ils citent par exemple une étude qui montre que la distribution granulométrique des particules dans l'atmosphère est relativement indépendante du type de sol; il faut donc s'attendre à ce que les sols qui contiennent les plus grandes quantités de particules pouvant être dispersées produiront les plus fortes émissions fugitives. Ils mentionnent également une autre étude qui a démontré qu'un sol ayant une surface "bien croûtée" aura des pertes par érosion environ six fois plus petites qu'une même surface sans croûte.

Woodruff et Siddoway (1965) [voir Harwood (1974)] ont établi une relation mathématique permettant d'obtenir les quantités totales de poussières diffuses dues à l'érosion par le vent dans laquelle ils ont fait entrer les facteurs suivants :

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

lorsque E = quantité érodée (vent seulement)
 I = indice d'érosion du sol
 K = facteur de rugosité des accidents du terrain
 C = vent local et facteur climatique
 L = longueur du terrain dans la direction du vent dominant
 V = couverture végétale équivalente.

Étant donné le nombre important de facteurs en cause et leur réciprocity, l'applicabilité de la relation proposée est restreinte. Néanmoins, elle permet de constater que les terrils actifs de résidus d'amiante présentent des conditions favorables à l'érosion par le vent :

1. Un indice élevé d'érosion du sol; les fines particules et fibres courtes pourraient être emportées plus rapidement par le vent et transportées sur de plus longues distances.

2. Une faible rugosité de la surface, ainsi que la hauteur importante et les pentes abruptes des terrils de résidus et de stériles, facilitent l'érosion (facteurs K et C défavorables.)
3. Le terrain n'est pas grand, et la probabilité de retombée des matières érodées sur le champ d'érosion est donc faible; autrement dit, toutes les matières transportées par le vent retombent dans l'environnement.
4. La couverture végétale est faible ou inexistante.

Les diverses indications qui découlent des études d'érosion du sol tendent donc à confirmer que l'émission totale de poussières diffuses précitée de $1,2 \times 10^5$ tonnes/année n'est pas, à priori, impossible, si nous prenons comme hypothèse que tous les sites de résidus peuvent contribuer aux émissions fugitives; 1000 acres de résidus dont l'érosion se produit au rythme de 100 tonnes/acre/an libèreront 10^5 tonnes de poussières en un an. Par contre, si seuls les dépôts actifs produisent des émissions importantes, le chiffre de 10^5 tonnes/an semble alors nettement exagéré puisqu'il représente près de 1% de tout le minerai manipulé!

De même que pour les émissions de poussières diffuses pendant l'extraction et le broyage, il est difficile d'améliorer l'estimation des émissions de particules provenant des terrils de résidus et de stériles. À ce stade de l'étude, une question évidente se pose : quel type de preuve peut, directement ou indirectement, aider à établir le niveau de poussières et de fibres produit par l'extraction de l'amiante et le rejet des résidus miniers?

3 ÉMISSION ET TRANSPORTABILITÉ DE LA POUSSIÈRE ET DES FIBRES

À partir des résultats de quelques études, nous pouvons préciser certains aspects de l'émission de poussières, des possibilités d'érosion des stériles et des résidus, de même que le transport dans l'air des poussières diffuses. Dans ces études, il n'est généralement pas possible de distinguer une source spécifique d'émission de particules et c'est pourquoi nous n'obtenons que des indications des émissions totales.

Brulotte (1976) fait état d'une étude des concentrations de particules en suspension dans l'air et des taux de retombée des poussières dans la région de Black Lake-Thetford. Les résultats sont donnés en masse de matières particulaires totales en suspension (basés sur une analyse du magnésium) par unité de volume ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); ils ne donnent par conséquent aucune information sur la granulométrie des particules ou la teneur en fibres d'amiante. Les données indiquent des teneurs annuelles moyennes en particules variant entre 30 et 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs maximales quotidiennes enregistrées à certains endroits près des sources d'émission, pouvaient occasionnellement dépasser de beaucoup le niveau standard de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les quantités mesurées des retombées de poussières variaient de 4 à 30 tonnes/ km^2 par mois, la plus grande quantité étant obtenue à proximité de la source. Il est intéressant de noter qu'une partie de l'étude a été faite au cours d'une grève, et que pendant cette période les opérations minières ont été interrompues plusieurs mois. L'analyse des données obtenues durant cette période de grève indique qu'à la plupart des postes d'échantillonnage les concentrations de particules en suspension dans l'air étaient réduites d'environ 50 %. Cette observation peut être considérée comme un indice de l'importance relative des sources d'émissions provenant des opérations d'extraction et de broyage, comparées aux autres sources d'émissions de particules, y compris l'érosion des sites actifs de résidus et de stériles.

La surveillance ininterrompue des particules totales en suspension dans l'air par Environnement Québec, depuis la publication du rapport Brulotte en 1976, a permis de relever des tendances intéressantes (les données sont disponibles auprès d'Environnement Québec et nous ont été fournies par R. Brulotte). Entre 1976 et 1982, dans presque toutes les stations de contrôle dans des régions de Thetford-Black Lake ou Asbestos, il y a eu une diminution importante (jusqu'à 50 %) de la moyenne annuelle des poussières en suspension dans l'air. La fraction des données dont les moyennes quotidiennes sont supérieures à 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ affiche également une diminution [Brulotte (1980)].

Dans une étude semblable, Harwood (1974) a surveillé en continu les concentrations de fibres d'amiante en suspension dans l'air près d'un dépôt de résidus à la mine Coalinga de la Johns-Manville (Californie). En comparant des échantillons d'air prélevés à 1000 pieds au vent et sous le vent d'un dépôt de résidus, l'auteur a relevé des teneurs en fibres de cinq à dix fois plus élevées dans les échantillons prélevés sous le vent; les échantillons prélevés au vent et sous le vent contenaient de fortes proportions de fibres courtes ($< 1,5 \mu\text{m}$).

D'autres renseignements sur la propriété qu'ont les fibres d'amiante d'être transportées dans l'air ont également été rapportés dans une étude sur la pollution de l'air effectuée en Finlande. [Laamanen et al. (1965)]. Les auteurs déclarent avoir trouvé de l'amiante à une distance des mines pouvant atteindre jusqu'à 50 km. Les taux de retombée des poussières était 20 fois moindre entre 0,5 km et 4 km de la mine ($34,6 \text{ g}/100 \text{ m}^2$ par mois à $1,52 \text{ g}/100 \text{ m}^2$ par mois). Dans le même ordre d'idée, des calculs récents des distances de dérive ont été rapportés [Levine (1981)] pour deux grosseurs de fibres d'amiante : $0,1 \mu\text{m}$ de diamètre, $10 \mu\text{m}$ de longueur et $1,0 \mu\text{m}$ de diamètre et $50 \mu\text{m}$ de longueur. Des fibres relâchées à une hauteur de 50 pieds (15,2 mètres) et entraînées par le vent à une vitesse constante de 10 milles à l'heure ($4,5 \text{ m}/\text{sec}$) parcouraient 1120 km (dans le cas des fibres courtes) et 13,3 km (dans le cas des fibres longues). Bien sûr, ces calculs indiquent que la sédimentation des particules de cette dimension sous l'effet de la gravité (loi de Stokes) est extrêmement lente et que, dans la pratique, les vitesses de sédimentation gravitationnelle sont faibles par rapport aux effets de la turbulence atmosphérique.

Enfin, des données quantitatives sur le potentiel d'érosion, par l'air et par l'eau, des résidus d'amiante, mesurées en laboratoire dans diverses conditions (résidus secs, traités avec de l'eau ou divers produits chimiques) ont été compilées par une société canadienne de produits chimiques dans la région de Thetford (DESCO, 1983). Les résultats d'expériences effectuées en soufflerie sur des échantillons de résidus en pente indiquent une érosion éolienne considérable des résidus secs et non traités. L'arrosage des résidus avec de l'eau et un séchage subséquent réduisent les possibilités d'érosion, mais au-delà d'un seuil de vitesse de vent d'environ $40 \text{ km}/\text{h}$, une érosion importante se produit et augmente de façon marquée avec l'accroissement de la vitesse du vent. Les données recueillies sur l'érosion par l'eau des résidus en pente indiquent également un lessivage important des particules fines contenues dans les résidus sous des conditions de pluie simulée, même lorsque les échantillons avaient été arrosés à l'eau et séchés au préalable.

4 RÉSUMÉ ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les sources d'émissions de particules dans l'industrie de l'extraction de l'amiante peuvent être réparties en deux grandes catégories :

1. Les sources associées aux processus d'extraction : depuis le forage du minerai dans les mines à ciel ouvert jusqu'au transport et au rejet des résidus.
2. Les sources associées à l'érosion et à l'effet des intempéries sur les terrils de stériles ou de résidus.

Nous possédons actuellement très peu de données fiables pour faire une évaluation quantitative de l'importance absolue ou relative de la dispersion dans l'environnement de la poussière et des fibres d'amiante provenant de ces sources. Il existe toutefois suffisamment d'estimations et de données fragmentaires indiquant que, sans mesures de contrôle, ces deux types de sources peuvent contribuer de façon notable aux émissions de particules. Les quantités réelles de ces émissions, la nature et la composition des particules aéroportées, leur propriété de pouvoir être transportées et leur vitesse de sédimentation, etc., ne pourront être déterminées que par des expériences poussées, faites sur le terrain.

D'après les données actuelles disponibles sur les activités d'extraction de l'amiante et en utilisant des informations similaires à partir d'activités connexes (industrie de fabrication de produits à base d'amiante, autres types de mines et de carrières), il est possible de dresser le tableau suivant :

- Les opérations d'extraction et de broyage produisent d'importantes quantités de matières particulaires; pour une bonne part, ces opérations peuvent être effectuées dans des bâtiments équipés de systèmes de dépoussiérage (voir section V) qui permettent de confiner à la source les poussières diffuses.
- Les dépôts de stériles et de résidus produisent des émissions de particules (dans l'air ou dans l'eau) suite à l'érosion par le vent, la pluie ou ces deux éléments combinés.

- Les terrils de stériles ne devraient pas produire d'émissions de particules importantes à long terme en raison de leur faible teneur en particules fines; les émissions de poussières provenant des stériles seront limitées à la manutention (chargement, transport, déchargement) et à l'effet à court terme des intempéries sur les terrils actifs.

- Les résidus contiennent une fraction élevée de matières particulaires et peuvent fournir des quantités importantes de poussières diffuses. Sans mesures de contrôle, les terrils actifs peuvent subir une érosion considérable par l'air et par l'eau. Puisque l'effet des intempéries réduit la fraction des particules fines dans les couches superficielles et que les précipitations répétées tendent à durcir la surface, ces effets combinés devraient réduire l'érosion à long terme, au moins par le vent (l'érosion des résidus par l'eau pourrait se poursuivre à long terme).

L'examen des méthodes de lutte contre la poussière et les recommandations concernant leur application à l'industrie de l'amiante se poursuivront dans le cadre des perspectives générales décrites plus haut.

IV PRATIQUES COURANTES DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES DANS LES MINES D'AMIANTE

1 CONTRÔLE DE LA POUSSIÈRE PENDANT LES OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE.

Les mesures de lutte contre les poussières pratiquées par les industries de l'extraction de l'amiante ont été décrites par Hutcheson (1971), Gagan (1977), Brulotte (1980) et Gagan (1975); les principales sources de poussières considérées sont :

1. le forage
2. le sautage
3. le chargement et transport
4. le broyage
5. le rejet des résidus et stériles

1.1 Extraction

1.1.1 À ciel ouvert. La plupart des mines d'amiante au Canada sont des mines à ciel ouvert. Les techniques employées pour le contrôle des poussières dans les autres mines à ciel ouvert s'appliquent également à celles d'amiante.

Opérations de forage

Les méthodes de forage avec injection d'eau pour contrôler les émissions de poussières sont utilisées dans quelques mines, mais ont été limitées car, sous un climat très froid, même de l'eau réchauffée peut geler à sa sortie du trou de forage. Étant donné que les trous primaires de forage sont souvent situés à quelques mètres du bord de gradins pouvant avoir de 10 à 30 mètres de hauteur, la présence de glace peut constituer un grave danger d'accident de travail.

Les mines d'amiante canadiennes étant soumises à des températures hivernales très basses, le forage à sec (avec injection d'air) est donc le plus couramment utilisé dans les mines à ciel ouvert.

L'utilisation de cyclones collecteurs et de filtres dans les foreuses à injection d'air a été décrite par Grossmuck (1968), Hutcheson (1971), Minnick (1971) et Harwood et al. (1974). Les émissions des foreuses à injec-

tion d'air sont contrôlées à la source; les éclats de pierre et la poussière sont séparés du courant d'air porteur et finalement recueillis de façon plus ou moins efficace par divers dispositifs. Des collecteurs de poussières centrifuges à sec et des sacs filtrants ont été utilisés pour réduire la poussière produite pendant le forage des trous destinés aux charges explosives. De nos jours, les problèmes de la poussière associés aux foreuses primaires à injection d'air sont éliminés grâce à l'efficacité de récupération bien connue des filtres à manches. Ceux qui sont utilisés avec les foreuses à percussion primaire sont compacts et s'adaptent au châssis du porteur sur chenilles. Les sacs peuvent être fabriqués en acétate de nylon traité au silicate qui est facile à nettoyer et qui sèche rapidement si de l'eau est accidentellement aspirée dans le filtre. Le forage par de grandes foreuses rotatives est effectué au travers d'une plate-forme, la plate-forme elle-même formant le toit d'une enceinte dont les côtés sont constitués de tabliers en caoutchouc. Le tablier d'extrémité est articulé et peut être relevé lorsque la foreuse est déplacée, ce qui évite d'entraîner des éclats et de la poussière dans le trou. L'enceinte ainsi formée agit comme une chambre de sédimentation, de sorte qu'aucun éclat n'est aspiré dans les filtres à manches et elle sert au déchargement de la poussière du filtre, ce qui réduit substantiellement l'émission de poussières pendant sa vidange.

Lorsqu'il faut procéder à un second sautage, le forage des têtes de mines ou des gros blocs de pierre est maintenant effectué dans certaines mines à l'aide de foreuses mobiles équipées d'un dépoussiéreur à sacs filtrants.

On conclut donc que le filtre à manches offre le meilleur type de contrôle de la poussière pour le forage dans les mines à ciel ouvert. Il combine une bonne protection de l'environnement à la robustesse nécessaire pour répondre aux conditions rigoureuses de ce type d'opération.

Sautage

À cause de la poussière et des fumées, le sautage doit être effectué de façon à ne pas exposer le personnel à l'air contaminé de la zone elle-même ou dans les alentours. Les techniques de sautage doivent viser à produire un minimum de particules fines ou de morceaux trop gros et en arriver à produire une surface aussi lisse que possible, comme l'a décrit Hagan (1979).

Un sautage primaire efficace réduit la nécessité d'un second sautage et est par conséquent une méthode indirecte de contrôle des émissions des sautages secondaires qui sont réduits au minimum dans les mines d'amiante. Lang

(1972) a traité de l'utilisation des explosifs dans le processus d'abattage. Il a également étudié l'utilisation du sautage à trous multiples; dans ce cas, une série de plus petites charges a pour effet de soulever et de dégager une section de la face rocheuse. Pour être efficace, une surface libre ou plan de réverbération doit exister devant chacun des trous de mine afin de conditionner géométriquement la masse, de la détacher et de la déplacer horizontalement. Ceci peut être réalisé en programmant une séquence de mise à feu des explosifs dans les trous de mines à partir du point d'amorce. Le résultat final est caractérisé par une réduction importante de la fragmentation et des émissions de poussière. Le sautage séquentiel est appliqué efficacement depuis quelques années et améliore de façon remarquable la configuration des déblais, la projection de roches, la fissuration et la fragmentation, comme l'indique Coulombe (1979). De toute manière, les émissions de poussières produites par le sautage sont généralement de peu d'importance étant donné que les sautages sont peu fréquents et de courte durée.

Chargement et transport

Ces activités sont communes à de nombreuses industries et les méthodes permettant de réduire les émissions de poussières sont évidentes. Dans certains cas, l'arrosage par jet d'eau peut réduire les émissions, mais le gel possible de l'eau peut entraver l'opération. Le chargement et le transport ne sont généralement pas contrôlés en raison du peu de poussières émises. Par temps sec, les émissions produites par les véhicules de transport sont considérablement réduites par pulvérisation d'eau ou de tout autre agent de protection de longue durée sur les surfaces de transport. Les émissions d'amiante qui résultent du déchargement du minerai des camions à l'usine sont réduits dans certains cas par l'utilisation de jets d'eau ou l'utilisation de hottes ou d'espaces de confinement combinés à des dispositifs d'épuration d'air. Afin de protéger les opérateurs des pelles à godets, des bulldozers, des camions de transport et autres équipements mobiles d'extraction, les cabines des opérateurs sont hermétiques, pressurisées et climatisées.

1.1.2 Extraction souterraine. Les méthodes d'extraction souterraine de l'amiante, comme nous l'avons expliqué précédemment (voir chapitre II), sont identiques aux méthodes d'extraction des autres minerais. Par conséquent, les besoins en air et un contrôle rigoureux sont très importants à cause des opérations de raclage et de sautage. La mise au point d'installations de ventilation constitue une méthode simple et efficace de ventilation comme l'a démontré Rozovsky (1957). La ventilation à elle seule est utilisée pour enlever la poussière en suspension dans l'air de la mine. L'eau sert au

forage et aux travaux de développement. Pour les autres tâches souterraines, la teneur en poussières est principalement contrôlée par l'utilisation de jets d'eau (comme pour le chargement, l'embouage ou le raclage) associés à une ventilation adéquate.

Dans les stations souterraines de concassage, le contrôle des poussières est assuré par des unités d'évacuation qui aspirent l'air à travers les concasseurs à mâchoires et les tamis. L'air chargé de poussières est aspiré des puits sous les concasseurs pour être épuré à travers des filtres à sacs. L'air filtré est réinjecté dans la station de concassage.

1.2 Broyage

Étant donné que la séparation de l'amiante comporte les opérations de broyage et de concentration en atmosphère sèche sur un minerai de plus en plus fin, ces activités génèrent nécessairement de la poussière (Eng. Min. J. (1973)).

La méthode générale de contrôle de la poussière dans ce cas consiste à isoler les centres producteurs de poussière du reste de l'usine et à protéger les opérateurs en les plaçant dans des cabines étanches aux poussières et pressurisées avec de l'air filtré.

La séparation de la fibre d'amiante de la roche-mère commence par le transport du minerai via une grande trémie et un distributeur vibrant jusqu'au concasseur primaire à mâchoires. Les points d'alimentation et de déchargement des opérations de broyage et de transfert par convoyeur sont confinés et la poussière est enlevée par aspiration. Ainsi, un concasseur à mâchoires de 48 x 60 po nécessite près de 3 000 pi³/min pour l'aspiration. La hotte au-dessus du point d'alimentation est montée sur charnières pour permettre un accès rapide en cas de blocage.

Une réduction plus poussée des fragments de minerai se produit dans le concasseur secondaire à cône. Généralement, le minerai déclassé trop grand des concasseurs primaire et secondaire est transporté par convoyeur jusqu'aux dépôts de minerai mouillé tandis que le passant du crible est acheminé vers les séchoirs. De même, les points susceptibles d'émissions de poussières aux points de transfert et aux trémies sont soit totalement confinés, soit équipés de conduites d'aspiration des poussières.

Dans les circuits de concentration (minerai déclassé trop grand du concassage), on implante des programmes de confinement, de mesures et d'amélioration. Dans tous les cas, les fuites ont été substantiellement réduites et la qualité de l'air environnant a été améliorée.

Avant de passer au broyage, le minerai d'amiante doit être séché. Le contrôle de la pollution de l'air associé au processus de séchage constitue un problème important. Afin d'obtenir des taux optimums de récupération des fibres et des émissions minimales de particules, les producteurs d'amiante ont employé différents types de collecteurs de poussières. Du fait qu'ils peuvent fonctionner à des températures élevées, les cyclones collecteurs ont joué un rôle primordial dans la récupération des poussières dans l'industrie de l'amiante. Après l'essai de nombreux modèles de dimensions différentes, les cyclones collecteurs jumelés de 1,2 mètres de diamètre se sont avérés les plus efficaces à l'époque. Entre 1960 et 1967, l'émission de poussières a été réduite de 4 tonnes de poussière par jour (cheminée d'un séchoir moyen) à 1,2 tonne par jour (Hutcheson, 1971). Même si cette amélioration était importante, le rendement optimal des cyclones jumelés n'était pas suffisant en raison de leur piètre rendement dans le cas des particules fines. Des collecteurs par voie humide ont été installés à certaines mines en 1967 mais ces dispositifs ont posé des problèmes de fonctionnement et leur efficacité globale n'était pas satisfaisante.

De nos jours, l'industrie de l'amiante utilise généralement des filtres à manches ou dépoussiéreurs à sacs filtrants dans lesquels des gaz chauds passent dans plusieurs compartiments munis de sacs filtrants. À cause des températures élevées, les sacs filtrants doivent être fabriqués en matériaux résistants à la chaleur. Les filtres à manches sont utilisés depuis le début des années 1970 et permettent de lutter très efficacement contre les poussières. En 1983, des mesures des émissions par les cheminées des secteurs chez les producteurs du Québec indiquaient des teneurs en fibre de l'ordre de 0,3 à 1,3 fibre plus longue que 5 microns par centimètre cube d'air évacué.

Le minerai d'amiante séché et finement concassé est ensuite acheminé vers l'équipement de broyage selon les étapes décrites dans le chapitre II et résumées par EPA (1973). Le but principal du broyage est de séparer les fibres d'amiante de la roche mère, mais cet ensemble d'opérations sert également à classer les fibres selon leur longueur. Au cours de presque toutes les phases du broyage, de l'air est utilisé pour transporter et séparer les fibres de même que pour éliminer les poussières. L'air sortant du broyeur est dépoussiéré par des filtres à manches très efficaces. L'industrie de

l'extraction de l'amiante au Québec utilise plus de 340 000 mètres cubes d'air à la minute dont environ 20 % servent au contrôle des émissions de poussières. Les méthodes pour prévenir la dispersion des poussières et pour réduire les émissions sont les suivantes :

1. le contrôle à la source par des enceintes étanches;
2. la mise des enceintes sous pression négative;
3. le dépoussiérage de l'air grâce à des filtres en tissu très efficaces;
4. la modification des équipements de traitement;
5. l'utilisation de systèmes d'aspirateurs pour les travaux de nettoyage;
6. l'ensachage dans des sacs étanches;
7. La mise en place d'un programme d'entretien rigoureux.

De nombreuses opérations dans les usines d'amiante nécessitent une inspection continue et il semble que le confinement des opérations est une forme extrême de contrôle. Néanmoins, cette forme de contrôle à la source est extrêmement efficace, surtout parce que les enceintes sont généralement placées sous pression négative.

Des ensacheuses sous pression sont maintenant utilisées dans toutes les usines d'amiante. Ces machines sont manipulées sous des hottes protectrices spéciales disposées de façon à récupérer les fibres perdues pendant la compression et l'ensachage.

Toutes les usines utilisent des filtres à sacs pour recueillir la poussière. Des sacs en coton et polyester sont couramment utilisés comme filtres. La poussière contenue dans les sacs est déversée dans des trémies. Ces dispositifs acheminent en général automatiquement les matériaux recueillis vers le circuit de rejet des résidus. L'air propre sortant des filtres est réparti aux divers étages de l'usine en hiver, ou est expulsé à l'extérieur pendant la saison chaude. En 1983, des mesures des émissions dans les usines d'amiante du Québec ont démontré que l'air de leurs principaux filtres à manches, après épuration, a des teneurs en fibre de l'ordre de 0,5 fibre plus longue que 5 microns par centimètre cube.

2 CONTRÔLE DES POUSSIÈRES DANS L'ÉTAPE D'ÉLIMINATION DES RÉSIDUS ET DES STÉRILES

L'élimination des résidus et des stériles est considéré comme une source d'émissions diffuses nécessitant des mesures de lutte contre les poussières en raison de la proximité des villes et par le fait que les résidus d'amiante qui quittent l'usine sont secs. Les terrils de stériles ne sont pas propres à l'industrie de l'amiante et les mêmes méthodes d'élimination que celles des autres mines à ciel ouvert peuvent être appliquées.

Les efforts de l'industrie décrits par Hutcheson (1971), Gagnon (1975), Gagan (1977) et Brulotte (19780) sont orientés vers la découverte de solutions aux problèmes suivants :

1. Poussière au point de rejet; il est maintenant possible de lutter contre les émissions de poussières avec un certain succès en humectant les résidus avec un mélange d'eau et d'agents mouillants.
2. Effet peu esthétique des terrils sur le paysage; des études ont été effectuées au laboratoire de recherche de l'Association des mines d'amiante du Québec à Sherbrooke en collaboration avec les compagnies participantes pour trouver des additifs et des espèces capables d'établir une couverture végétale sur les résidus. Contrairement aux problèmes auxquels font face les producteurs de métaux, la difficulté dans le cas présent consiste à surmonter la très forte alcalinité des résidus de serpentine.
3. Stabilisation et rétablissement de la végétation sur les terrils de résidus. Étant donné que les stériles et les sables et argiles alluvionnaires sont généralement neutres, des graminées et des arbres ont pu pousser avec succès sur certains dépôts. Ce programme de restauration du couvert végétal est actuellement en cours et devrait, avec le temps, être appliqué à la plupart des pentes permanentes.

Les émissions provenant des opérations d'élimination des résidus doivent être contrôlées de façon à minimiser la contamination de l'air ambiant. Plusieurs méthodes utilisées pour réduire les émissions de poussières causées par ces opérations ont été décrites par Gagan (1977) et Brulotte (1980).

Les pratiques actuelles pour transporter les résidus d'amiante et réduire les émissions de poussières des opérations qui entourent la manutention des résidus sont résumées ci-dessous :

1. À un endroit, les résidus recueillis à divers points du circuit de broyage combinés à des matériaux secs provenant des filtres à manches sont acheminés par convoyeur vers deux silos d'entreposage. Des sacs filtrants sont installés à des points de transfert du système de transport par courroie. Les wagons de chemin de fer sont chargés par des chutes reliées directement aux silos et on pulvérise un peu d'eau sur la charge pour rabattre la poussière en suspension dans l'air pendant le transport et le déchargement. Les wagons sont déchargés par télécommande à partir d'une cabine étanche et climatisée. Les résidus sont ensuite nivelés par des bulldozers sur pneus également équipés d'une cabine étanche.
2. À d'autres endroits, les résidus sont recueillis de la même manière et transportés par convoyeur vers une série de trémies. De là, ils sont chargés dans des camions à benne fermée chargée par le haut. Des collecteurs de poussières munis de hottes placées au bas des trémies recueillent toutes les poussières qui pourraient être libérées pendant le chargement. À l'un des sites d'exploitation, les camions sont déchargés par l'arrière avec une certaine quantité d'eau pour mouiller les résidus fraîchement déchargés. À l'autre site, les camions sont déchargés par le fond grâce à un convoyeur à courroie installé au fond de la benne du camion.
3. Toutes les autres exploitations assurent le transport de leurs résidus entre l'usine et les dépôts par des convoyeurs à courroies. Plusieurs méthodes sont utilisées pour réduire les émissions de poussières provoquées par ces opérations. À la plupart des endroits, les résidus secs sont mouillés avant d'être transportés par convoyeur vers les terrils de résidus. En général, tous les résidus à l'exception des déchets grossiers sont arrosés d'eau avant d'être combinés avec des matériaux grossiers et transportés par convoyeur vers les terrils de résidus. Les galeries des convoyeurs sont généralement confinées et des filtres à manches sont installés aux points de transfert. Une quantité plus importante d'eau est parfois ajoutée au point final de déchargement. Cette méthode permet un contrôle raisonnable des émissions produites par la manutention des résidus.

Les émissions provenant de la surface des terrils inactifs de stériles peuvent être contrôlées par une couverture protectrice. Les programmes de végétalisation se poursuivent à certaines mines d'amiante du Québec à la suite d'une étude de Zimmerman et Moore (1974). En 1979, un programme échelonné sur 20 ans a été élaboré par une compagnie pour restaurer la couverture végétale sur 110 hectares et planter 60 000 arbres. En 1981, une autre compagnie a amorcé un programme triennal transformé par la suite en programme quinquennal pour restaurer la couverture végétale sur 382 hectares et planter 1.3 million d'arbres, essentiellement des trembles.

Un rapport de CANMET (1977) donne des estimations tirées de photographies par satellite sur l'état de la couverture végétale des diverses mines (Tableau IV-1). Une superficie de 45 hectares de résidus a été ajoutée au Tableau IV-1 pour tenir compte des Mines d'amiante Bell Ltée à Thetford Mines. La superficie globale restaurée des terrils de résidus des mines d'amiante couverte de végétation était de 232 hectares, ce qui représente 10 pour cent de la superficie totale occupée par les rejets miniers y compris le mort-terrain, les stériles et les résidus provenant de toutes les mines d'amiante au Canada.

TABLEAU IV-1 ÉTAT DE LA RESTAURATION DE LA VÉGÉTATION (CANMET, MURRAY (1977))

COMPAGNIE	EMPLACEMENT DE LA MINE	MORT-TERRAIN			STÉRILES			RÉSIDUS		
		SUPERFICIE (HECTARE)								
		Total	Restauré	% restauré	Total	Restauré	% restauré	Total	Restauré	% restauré
1. Société Asbestos Ltée (SNA)	Asbestos Hill;	97	0	0						
	Portunig British Canadian et Black Lake;				174	0	0	110	0	0
	Normandie, Vimy Ridge;				61	4	7	268	100	37
	King-Beaver, Thetford Mines				123	8	7	31	2	6
2. Les Mines d'amiante Bell Lt�e (SNA)	Bell, Thetford Mines						45	0	0	
3. Carey-Canada	Carey, Tring Jonction & East Broughton	68	0	0	42	1	2	51	0	0
4. J.M. Asbestos	Jeffrey, Asbestos	16	2	13	250	43	17	151	0	0
	Reeves, Timmins				44	0	0	17	0	0
5. Lac d'amiante du Québec	Black Lake, Black Lake	27	0	0	158	22	14	64	0	0
	National, Thetford Mines				31	0	0	20	0	0
6. Brinco Mining	Clinton Creek, Yukon	173	39	23				-		
7. Transpacific Asbestos	Advocate, Baie-Verte	199	0	0				18	0	0
8. Mines Hedman	Hedman, Ontario	-						4	2	50
9. Mines fermées	Fiintkote, Québec Asbestos, Munro & Nicolet	-			31	8	26	43	1	2
	Total	580	41	7	914	86	9	822	105	13

3 CONCLUSION

Les descriptions précédentes des équipements et mesures de contrôle des émissions de poussières indiquent clairement que des efforts importants ont été entrepris pour réduire les teneurs en poussières sur les lieux de travail et les émissions de poussières diffuses dans l'environnement. Quant aux sources d'émissions mentionnées au chapitre III, il semble que présentement, tout le processus de broyage représente une source d'émissions bien contrôlée. Nous avons toutes les raisons de croire que les techniques utilisées pendant ces opérations permettent d'assurer un milieu de travail adéquat et d'obtenir des teneurs en fibres conformes aux règlements (c'est-à-dire 2 fibres, plus grandes ou égales à 5 μm , par centimètre cube). Cette présomption s'appuie sur des données concernant les émissions à la source recueillies récemment à chaque site minier. Les données d'émission mesurées et les facteurs d'émission calculés nous ont été fournis par l'Association des mines d'amiante du Québec et sont présentés dans ce rapport au tableau IV-2.1 et IV-2.2 (le rapport complet présenté dans l'Annexe II contient des précisions méthodologiques).

Les données combinées sur les émissions lors du broyage, du séchage, du concassage, du stockage et de l'extraction, dont on a fait une moyenne pour toutes les mines, mènent à un facteur d'émission moyen de 0,0058 kg/tonne métrique. Cette valeur est deux cents fois plus faible que celles publiées précédemment, notamment par Rajhans (1978). Ces dernières estimations étaient censées correspondre aux facteurs d'émission obtenus grâce au meilleur contrôle possible dans l'industrie de l'extraction et du broyage aux États-Unis. De tels écarts entre les données actuelles et celles obtenues dans le passé font nettement ressortir la nécessité de procéder à des mesures directes des émissions et incitent à la prudence face aux estimations publiées antérieurement.

En ce qui concerne les émissions fugitives produites par les résidus et stériles et par la manutention de ces matériaux, la plupart des producteurs tentent d'en assurer un certain contrôle, essentiellement par arrosage des rejets (eau ou solutions de surfactants) avant leur transport. Les auteurs ne connaissent toutefois pas l'ampleur actuelle de cette pratique, et son emploi au cours de l'année. De plus, pour atténuer les émissions à long terme provenant des dépôts de résidus et de stériles, des efforts importants d'établissement d'une couverture végétale ont été déployés. Il en a résulté une végéta-

lisation d'environ 10 % des divers sites de dépôts (y compris les sites de mort-terrain). L'à-propos et la faisabilité d'un traitement physico-chimique et de la végétalisation des résidus et des stériles des mines d'amiante représentent l'un des principaux buts du présent ouvrage et seront étudiées en détails dans les sections suivantes.

TABLEAU IV-2.1 ÉMISSIONS DES SOURCES PONCTUELLES - 1983

COMPAGNIE	EXPLOITATION	Débit total (m ³ /min)	Fibres/ cm ³	mg/m ³	Débit extérieur (non recirculé) en m ³ /min	Nombre de jours d'exploitation en 1983	Production annuelle (tonne métrique d'amiante/année)	Facteur d'émission (kg/t d'amiante produit)
A	Broyage	17 780	1,2	0,23	9 635	176		0,014
	Séchage	1 700	0,7	0,32	1 700	176		0,004
	Concassage et stockage du minerai	4 530	1,0	0,38	2 735	176	39 103	0,007
	Extraction	4 250	0,4	0,19	4 250	176		0,005
						TOTAL		0,030
B	Broyage	37 158	0,7	0,04	20 111	149		0,0017
	Séchage	6 792	0,7	0,03	6 792	158		0,0005
	Concassage et stockage du minerai	4 282	0,7	0,09	4 282	149	100 330	0,0004
	Extraction	25	0,3	0,02	25	139		(*)
						TOTAL		0,0026
C	Broyage	165 652	0,1	0,014	111 850	215		0,0018
	Séchage	3 228	0,3	0,06	3 228	215		0,0002
	Concassage et stockage du minerai	7 221	0,04	0,09	7 221	215	263 000	0,0008
	Extraction	54	0,2	0,05	54	215		(*)
						TOTAL		0,0028

NOTA (*): Facteur d'émission négligeable.

TABLEAU IV-2.2 ÉMISSIONS DES SOURCES PONCTUELLES - 1983

COMPAGNIE	EXPLOITATION	Débit total (m ³ /min)	Fibres/ cm ³	mg/m ³	Débit extérieur* (non recirculé) m ³ /min	Nombre de jours d'exploitation en 1983	Production annuelle (tonne métrique d'amiante/année)	Facteur d'émission (kg/t d'amiante produit)
D	Broyage	33 984	0,02	0,04	16 992	251		0,0020
	Séchage	4 817	1,1	0,18	4 817	258		0,0026
	Concassage et stockage du minerai	3 552	0,6	0,13	3 552	258	124 908	0,0014
	Extraction	170	1,5	0,45	170	258		0,0002
	TOTAL							0,0062
E	Broyage	12 744	0,4	0,17	6 372	197		0,0044
	Séchage	2 518	1,3	0,06	2 518	180		0,0006
	Concassage et stockage du minerai	1 393	0,9	0,12	1 393	180	69 164	0,0006
	Extraction	148	2,0	0,14	148	180		0,0001
	TOTAL							0,0057
F	Broyage	84 269	0,9	0,05	46 732	138		0,0055
	Séchage	7 348	1,2	0,06	7 348	141		0,0011
	Concassage et stockage du minerai	13 651	0,7	0,02	13 651	141	83 913	0,0007
	Extraction	(1)						
	TOTAL							0,0073
Facteur global d'émission pour les mines d'amiante du Québec.								0,0058

* Aucune émission de sources ponctuelles n'a été signalée.

V MÉTHODES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE DÉPOUSSIÉRAGE ET DE STABILISATION DES RÉSIDUS ET DES STÉRILES

1 INTRODUCTION

Comme nous l'avons exposé dans les sections précédentes, le procédé d'extraction de l'amiante, le séchage et le broyage se font dans des endroits fermés et constituent des sources d'émission pouvant être contrôlées par des moyens mécaniques. Par contre, les opérations dans la mine (du moins dans le cas des mines à ciel ouvert), le transport et l'élimination des stériles et des résidus ainsi que l'érosion des dépôts de résidus et des stériles constituent d'autres sources d'émission qui ne peuvent pas être confinées par des moyens physiques, à l'exception des convoyeurs à courroie. Bien qu'il faille étudier l'efficacité et la rentabilité des méthodes de lutte contre ces émissions en fonction des émissions globales de tous les procédés d'extraction et de broyage, il est évident qu'à mesure que les méthodes de dépoussiérage dans le procédé de broyage s'amélioreront, l'élimination et le stockage des stériles et des résidus constitueront un pourcentage toujours croissant des émissions totales et nécessiteront des techniques appropriées de contrôle.

Les techniques de dépoussiérage des procédés d'extraction de l'amiante et d'élimination des résidus peuvent être divisées en trois catégories générales :

- techniques physiques et mécaniques
- techniques chimiques
- végétalisation (résidus et stériles inactifs seulement)

Les techniques physiques et mécaniques comprennent les dispositifs montés sur l'équipement de forage et de dynamitage, l'équipement de concassage, les convoyeurs et l'équipement d'élimination des résidus. Gagan (1977), voir chapitre IV, énumère un certain nombre de techniques de dépoussiérage relativement simples pour ces opérations minières. Les méthodes physiques de lutte contre les poussières en provenance des terrils de stériles et de résidus peuvent également inclure l'enfouissement, le terrassement, etc. Comme nous l'avons déjà vu au chapitre III, ces méthodes semblent être d'utilisation limitée dans l'industrie de l'amiante. Les techniques chimiques comprennent le mouillage avec ou sans surfactants (ces techniques peuvent être utilisées au cours du forage et du transport, ainsi que sur les terrils actifs et

inactifs), les liants chimiques pour particules fines et les liants de surface pour terrils inactifs. Donovan (1976) définit les liants chimiques comme étant des revêtements de surface qui, lorsqu'ils sont pulvérisés sur un terril, forment un revêtement protecteur en surface après une période de séchage ou de prise. Ainsi, l'utilisation d'une couche de liants chimiques équivaut à couvrir le terril d'un film étanche liquide visqueux qui se solidifie pour former une coquille protectrice durable. La restauration de la couverture végétale doit souvent, elle aussi faire appel à l'application d'un liant chimique dans la phase initiale des opérations.

La présente section portera sur les techniques physiques et chimiques appliquées à divers problèmes de poussières diffuses et en étudiera la pertinence pour l'industrie de l'extraction de l'amiante. La restauration de la couverture végétale, soit la solution permanente idéale au problème de l'érosion des terrils inactifs, sera examinée au chapitre VI.

Seul un petit nombre d'études portant sur les techniques physico-chimiques de contrôle des poussières applicables à l'industrie de l'amiante (y compris l'industrie de transformation) sont actuellement disponibles (Harwood et al. 1976, Stinson 1977, Desco 1983, Smith, M.K. 1975). Il existe, par contre, d'importantes études sur les moyens physico-chimiques de lutte contre d'autres sources de poussières diffuses. En particulier, nous pouvons mentionner l'étude approfondie de l'E.P.A. de l'Ohio (Orlemann 1980) portant sur les techniques de lutte relativement disponibles pour une grande variété d'émissions fugitives de matières allant des céréales au minerai de fer. Bien que portant principalement sur les émissions industrielles, cette dernière étude traite également du stockage de diverses matières comme les agrégats routiers, le sable, les minerais, etc.; elle donne les émissions de poussières diffuses en livres par tonne de matière pour les divers procédés de manutention et évalue les coûts de diverses techniques de lutte.

La plupart des autres études portent sur des cas particuliers, notamment diverses exploitations minières (et surtout les mines de charbon), les routes, les voies de roulage des mines, l'érosion du sol, etc. Le cas des routes non asphaltées est intéressant puisqu'il touche le problème des émissions de fibres d'amiante provenant des routes couvertes de serpentine broyée, et un certain nombre d'études traitent de l'utilisation de stabilisateurs chimiques pour lutter contre ces émissions (Ase et al. 1982, Serra 1981). La plus importante étude portant sur l'utilisation de stabilisateurs chimiques pour lutter contre les poussières diffuses provenant des routes est celle rapportée par Sultan (1976).

2 RELEVÉ DES MÉTHODES DE CONTRÔLE

En raison de la grande variété des sources d'émission de poussières et des techniques de lutte existantes, nous limiterons la présente étude aux cas qui ont certaines similitudes avec l'industrie de l'extraction de l'amiante.

2.1 Extraction du charbon

Le dépoussiérage est extrêmement important dans les mines souterraines de charbon à cause des risques d'explosion et des effets connus d'une exposition prolongée à la poussière du charbon sur la santé. De plus, le transport et la manutention du charbon, en particulier la poussière de charbon utilisée dans les centrales thermiques, constituent une source importante de poussières nuisibles. La surface du charbon est généralement hydrophobe, ce qui rend nécessaire l'utilisation d'agents mouillants (agents tensio-actifs) pour augmenter l'efficacité de la pulvérisation d'eau. L'extraction dite "par voie humide" qui fait appel à des jets d'eau continus, est largement utilisée mais ne constitue pas la seule technique pour l'extraction souterraine du charbon. La suppression de la poussière au cours de l'extraction, du stockage et de la manutention se fait généralement par pulvérisation, souvent à l'aide d'agents tensio-actifs bon marché utilisés comme agents mouillants (Casteline 1979, Goddard 1974, Hamm 1980, Harrold 1979, Kiselava 1977, Knight 1980, Kopper 1980, Matula 1978, Seibel 1976, Stevenson 1981). Toutes les études s'accordent à dire que les agents tensio-actifs généralement utilisés à des teneurs variant entre 0,01 et 0,1 % en poids améliorent considérablement l'efficacité d'un système de dépoussiérage par pulvérisation d'eau, même si Harrold (1979) indique que les résultats en laboratoire et ceux obtenus sur le terrain ne sont pas toujours identiques. Presque tous les agents tensio-actifs anioniques vendus sur le marché peuvent être utilisés, le coût étant alors un facteur décisif. Dans un des cas (Kopper 1980), le chlorure de calcium a été utilisé à la place d'un agent tensio-actif; ce produit s'est également avéré utile et économique dans le dépoussiérage des routes (Sultan 1976).

Trois études décrivent l'utilisation de mousse fortement expansée pour prévenir l'émission de poussières de charbon durant le forage, le coupage à grande vitesse et le transport du charbon sur convoyeur à courroie. Hiltz (1975) signale qu'une mousse fortement expansée (produite par aération sous

pression d'une solution d'agents tensio-actifs) réduit la quantité de poussières pouvant être inhalées à la face de coupe du charbon d'une houilleuse à grande vitesse d'environ 25 % par rapport à la pulvérisation d'eau. Wojtowicz (1974) a également démontré l'utilité d'un système de suppression de la poussière par utilisation de mousse dans le cas de l'extraction en continu (grand front aligné). Seibel (1976) signale que des mousses fortement expansées peuvent être beaucoup plus efficaces que la seule pulvérisation d'eau pour réduire la quantité de poussières émises par les convoyeurs de charbon, particulièrement aux points de transfert et, ce qui est étonnant, sous les courroies. Bien que les conditions climatiques au Québec puissent limiter l'application de cette technique, il est prouvé que le transport des résidus par convoyeur constitue une importante source d'émissions de poussières, et l'utilisation de mousses pourrait facilement constituer une mesure de contrôle valable.

Une étude commandée par Environnement Canada sur la pulvérisation d'agents "scellants" pour lutter contre les poussières diffuses émises au cours du chargement et du transport ferroviaire de charbon finement broyé (Williams, 1982) est tout à fait pertinente à la présente étude. Il a été démontré qu'un liant chimique ("le latex", une solution ou une dispersion aqueuse de polymère comme du polyacrylate, du polyacrylamide, de l'alcool polyvinylique ou son acétate, un copolymère de l'acide polyvinylmaléique, etc.) pulvérisé sur les wagons transportant le charbon, après le chargement, forme une croûte qui abaisse considérablement les pertes par érosion au cours du transport par wagon ouvert. Le coût du traitement, évalué entre 10¢ et 60¢ par tonne de charbon, semble prohibitif pour le cas des résidus d'amiante, mais il faut noter que ces coûts dépendent de la surface par tonne de matériaux traités. Ainsi, le traitement en surface des résidus d'amiante (terrils actifs ou inactifs) pourra coûter beaucoup moins cher. Aux fins de la présente étude, la principale conclusion est que les matériaux pouvant être très facilement érodés (comme le charbon finement broyé) peuvent être protégés efficacement contre l'érosion éolienne grâce à un traitement superficiel par liant chimique.

2.2 Autres exploitations minières et carrières

Nous devons rappeler ici que les émissions provenant d'autres exploitations minières sont différentes de celles provenant de l'exploitation de l'amiante. Dans la plupart des autres industries minières, les risques de pollution par des produits toxiques existent principalement dans les émissions de gaz de cheminée (fours de grillage), dans les procédés de traitement par

voie humide ou dans les émissions provenant des terrils (particulièrement dans le cas des métaux lourds toxiques). Les émissions de poussières dans l'air provenant des mines et des terrils sont considérées d'abord comme un problème de poussières nuisibles. Jutze et al. (1980) rapporte une évaluation globale du problème des poussières diffuses provenant des procédés d'exploitations minières aux États-Unis. Ils classent presque toutes les émissions particulières dans la catégorie des poussières diffuses émises à partir du sol plutôt qu'à partir des cheminées.

Le cas de l'exploitation d'un gisement de taconite (minerai de fer) au Minnesota est particulièrement intéressant pour l'industrie de l'amiante, étant donné que les émissions de fibres d'amiante, suite à leur découverte dans l'eau du lac Supérieur et dans l'eau de boisson en 1973 (West, 1982), sont devenues une cause de préoccupation générale. Le rapport de l'I.N.S.S.T. de West décrit les programmes d'échantillonnage de l'air et de l'eau entrepris à la suite de cette découverte. Bien que le problème n'ait été perçu jusqu'à présent que comme un problème de pollution de l'eau, la lutte contre les émissions de poussières des terrils ont également été soumises à une réglementation stricte par l'E.P.A. et le Minnesota Pollution Control Board (Klohn 1979); on estimait alors qu'au moins une partie du problème de la pollution d'eau pouvait être due aux émissions de poussières de ces terrils. L'une des clauses du permis émis par le MPCA permettant à la Reserve Mining de construire et d'exploiter des installations pour les résidus se lit comme suit : "Les titulaires du permis doivent utiliser la meilleure technique disponible pour maintenir la qualité de l'air... Cette technique doit comprendre spécifiquement, (souligné par les auteurs) mais non exclusivement, la pulvérisation d'eau et de liants chimiques efficaces et non polluants et autres agents abat-poussière sur toutes les surfaces exposées des terrils ainsi que sur toutes les routes d'accès et de transport..." Apparemment, il est possible de récupérer les fibres d'amiante de l'eau (les eaux de ruissellement des terrils, les eaux lacustres, etc.) à l'aide de polyélectrolytes comme flocculants (Schmitt, 1977), mais le contrôle à la source est évidemment préférable. Klohn et Dingemann (Klohn, 1979) décrivent les mesures de lutte contre les émissions de poussières entreprises à des installations d'élimination des résidus d'un gisement de taconite. En vertu des mesures de contrôle des poussières, toute élimination de résidus miniers de cette exploitation doit se faire par voie humide (les résidus sont déposés dans des étangs plutôt que sur des terrils) de sorte que les résidus secs ne sont jamais exposés. Rappelons encore une fois que les conditions sont différentes dans les exploitations d'amiante, mais l'insistance sur le contrôle des poussières semble un dénominateur commun.

Yardley et al. (1980) évaluent les effets de divers abat-poussière (liants chimiques) sur les résidus de taconite à partir d'essais sur le terrain et de tests en soufflerie. Ils ont démontré que divers agents chimiques de contrôle peuvent réduire la poussière fine (4,5 à 0,85 micron) de 99 %. Les trois produits chimiques les plus essayés ont été le Coherex, les lignosulfonates et le silicate de sodium. Nous traiterons également de ces trois produits un peu plus loin dans le cadre d'autres études. Les auteurs que ces trois agents chimiques sont efficaces, mais que le Coherex, une résine dérivée de sous-produits du pétrole et fabriquée par Witco Chemical, donnait les meilleurs résultats globaux.

D'autres cas méritent d'être mentionnés. Anderson (1980) décrit comment la pulvérisation d'une solution d'un agent tensio-actif peut réduire les poussières sur le site d'une mine canadienne de quartzite où les principales sources de poussières diffuses sont la mine elle-même, ainsi que les opérations de concassage et de criblage. Bolotov (1981) décrit l'utilisation de solutions d'agents tensio-actifs dans l'industrie minière russe des métaux non ferreux. Cet auteur s'attarde sur la relation qui existe entre les propriétés de mouillage des matières particulières à traiter et le choix d'un agent tensio-actif, ce dernier ayant un effet déterminant sur l'efficacité de ce type de traitement comme mesure de contrôle des poussières. Page (1982) rapporte l'utilisation d'une mousse fortement expansée pour réduire la quantité des poussières produites par les opérations de forage et de concassage dans une mine de gypse. Dans ce cas, le captage de la poussière à sec et les systèmes de pulvérisation d'eau n'avaient pas été efficaces. Par contre, la mousse injectée par le foret dans les trous de mine était très efficace (pour réduire jusqu'à 95 % les émissions de poussières au cours du forage (source localisée de poussières); toutefois cette technique n'est pas efficace dans le cas des sources non localisées comme lors du concassage et du criblage.

Li et al. (1983) décrivent les mesures de lutte contre les émissions de poussières diffuses provenant des stériles d'une usine d'uranium où l'érosion éolienne constitue un problème sérieux, surtout lorsque les mines se trouvent dans des zones arides. On connaît un cas semblable : celui des résidus du minerai de cuivre des mines de l'Utah et du Nevada (Eng. Mining J., 1971). Dans ce cas, la boue de résidus a une teneur initiale de 30 % seulement en matières solides, mais le drainage des terrils rend les vastes zones de résidus secs très vulnérables à l'érosion éolienne.

À la mine de Magna, dans l'Utah, la Kennecott Copper Corporation utilise une suspension de Coherex (Witco Chemical) appliquée à partir du sol au moyen d'un camion-citerne arroseur. Des essais d'application par hélicoptère soulevaient des quantités trop importantes de poussières. Cette observation est à retenir si l'on envisage des techniques semblables pour les terrils inactifs d'amiante. La solution de Coherex doit être appliquée régulièrement, mais ceci est dû en partie au fait que de nouveaux résidus secs sont continuellement exposés. Le coût total (en 1971!) a été évalué à 178 \$ l'acre (probablement pour chaque application), incluant le coût des produits chimiques et de la main-d'oeuvre. Le Coherex a également été utilisé par le Bureau of Mines des États-Unis au cours d'études de stabilisation des stériles d'une exploitation de cuivre au Nevada (Dean, 1969). Dans ce cas, la stabilisation chimique a été combinée à la végétalisation, ce qui a permis de protéger la végétation naissante contre les effets de l'érosion et de stabiliser le sol jusqu'à ce que la végétation soit bien établie.

Kuhn (1981) signale l'utilisation efficace d'une mousse à forte densité pour lutter contre les émissions de poussières de soufre au cours du transport par convoyeur à courroie, du chargement et du déchargement, etc. Il souligne la nécessité de produire une mousse à forte densité (mousse sous pression) contenant de petites bulles (100 à 200 microns). Cette mousse peut être transportée (soufflée) jusqu'à 30 m par des tubes de 1 à 3" (2,5 à 7,5 cm) de diamètre avec une pression de 40 à 50 livres au pouce carré. Les frais d'équipement d'un tel système ont été évalués à environ 41 000 \$ canadien (1981); les frais d'exploitation (dont 80 % pour l'achat des produits chimiques) d'un système de contrôle des poussières d'un convoyeur à courroie transportant 1200 tonnes à l'heure (800 000 tonnes par année, exploitation discontinue) ont été évalués à 40 000 \$. Boulay (1982) décrit l'utilisation de ce type d'équipement dans des carrières et souligne la nécessité d'utiliser des agents tensio-actifs pour lutter plus efficacement contre l'émission des particules fines qui sont difficilement mouillées par l'eau seulement. Dans le cas d'un concasseur fonctionnant à raison de 500 tonnes d'agrégats à l'heure (800 000 tonnes par année, fonctionnement discontinu), les frais d'investissement sont évalués à 45 000 \$ canadien (1982) et les frais d'exploitation, à 85 000 \$ par année ou 0,10 \$ la tonne. Ici encore, le traitement représente un coût considérable, mais les coûts par tonne traitée dépendent du procédé utilisé et peuvent être fortement réduits si la surface des terrils exposée est moindre.

2.3 Routes, routes de service et sols exposés

Comme nous l'avons déjà mentionné, le cas des routes non asphaltées couvertes d'agrégats de serpentinite nous intéresse tout particulièrement en raison des émissions possibles d'amiante. Deux importantes études récentes portent sur ce sujet (Serra, 1981; Ase et al., 1982). Les auteurs de ces travaux mentionnent la nécessité de réduire les émissions d'amiante à partir des routes couvertes de serpentinite. Dans le Maryland, Ase (1982) signale des concentrations de fibres aéroportées sous le vent, à 20 mètres d'une route couverte de serpentinite, atteignant 55 fois la valeur naturelle, la plus forte teneur enregistrée étant de 8 fibres/cm³. La densité des fibres étant de 50 000 fibres/ng, cela correspond à une teneur de 160 ng/m³. Ces auteurs ont testé 69 stabilisants chimiques différents, sur la route en question et ont recommandé quatre produits qu'ils considèrent efficaces pour réduire les émissions d'amiante de 80 à 90 %. Deux des produits recommandés sont solubles dans l'eau (le chlorure de calcium et les lignosulfonates) les deux autres ne le sont pas (le Coherex décrit à la section VI-2.2 et le SS-1H, une émulsion d'asphalte). Les agents non solubles étaient encore efficaces 6 mois après leur application à une concentration équivalente à 0,20 \$ U.S./m², c.-à-d. 1000 \$ Can./acre (en dollars de 1979). Les deux produits solubles pouvant agir comme agent de rétention d'eau présentent l'avantage de pouvoir remouiller une surface nouvellement exposée après le passage de véhicules, mais ils se sont avérés très peu efficaces après une application correspondant à 0,08 \$ U.S./m², c.-à-d. 400 \$ Can./acre, montant quand même appréciable! Il faut remarquer cependant qu'à cause des conditions particulières d'érosion mécanique, les routes ont besoin de grandes quantités de liants; la stabilisation d'une surface inactive pourra être obtenue à l'aide de ces mêmes produits mais à un coût bien moindre. Dans ce cas, il faudrait procéder à des applications périodiques.

Bohn (1981) et Cowherd (1980) ont traité du cas bien précis des voies de roulage des mines qui, dans le cas des mines de charbon à ciel ouvert, constituent la plus importante source de poussières diffuses soit, selon Cowherd, les 2/3 de toutes les émissions. Ici également les auteurs concluent que les liants chimiques, les agents mouillants ou les agents hygroscopiques sont beaucoup plus efficaces que la seule pulvérisation d'eau. Bohn (1981) a essayé plus de 30 agents abat-poussière sur les voies de roulage des mines et conclut que les résines de pétrole (comme le Coherex), les agents mouillants (agents tensio-actifs), les lignosulfonates et le chlorure de calcium sont tous efficaces. Par ailleurs, des pulvérisations périodiques d'eau se sont avérées plus rentables que l'application de chlorure de calcium, mais beaucoup moins que celle de résines de pétrole, d'agents tensio-actifs ou de solutions de lignosulfonates.

Blackwood et Drehmel (1981) décrivent un nouveau concept intéressant, en vue d'un contrôle physique convenant aux voies de roulage, mais non aux terrils. Ils insèrent un "tapis" à mailles serrées sous la surface des agrégats, qui laisse passer les particules de moins de 70 microns de diamètre, mais qui retient sur la couche supérieure de la route les particules plus grosses, moins sujettes à l'érosion par le vent et par la circulation. La circulation routière fournit l'action mécanique nécessaire au tamisage par le tissu synthétique. Ce produit qui ne s'applique évidemment que sur les routes coûte environ 0,86 \$ US/m² dont une partie des coûts peut être récupérée grâce à des économies au chapitre de l'entretien, du mouillage ou de l'application d'huile.

Diamond (1975) propose une autre méthode de contrôle physico-chimique, qui consiste à utiliser des poussières de ciment, de chaux hydratée, de ciment Portland, etc., appliquées sous forme de boues afin de protéger les sols contre l'érosion sur les sites de construction. Cette méthode permettrait évidemment de former une croûte plus permanente, mais elle ne semble pas applicable aux terrils de résidus et de stériles.

Les travaux effectués par Sultan pour le Département des transports de l'Arizona (Sultan, 1976) constituent probablement l'étude la plus importante des méthodes de stabilisation chimique. Dans cette étude, l'auteur examine les travaux précédents sur l'utilisation d'un grand nombre de produits chimiques et il poursuit des essais comparatifs sur 46 produits commerciaux pour en connaître l'efficacité contre l'érosion par le vent, la pluie et la circulation routière. Bien que les essais en laboratoire aient indiqué qu'un grand nombre de ces produits sont efficaces, les performances sur le terrain ne correspondaient pas toujours à celles obtenues en laboratoire et, de fait, Sultan conclut "qu'aucun produit chimique unique n'a réussi à protéger contre tous les types d'érosion (par le vent, la pluie ou la circulation routière) sur tous les principaux types de sol". L'interprétation des données de Sultan est rendue difficile par le fait que souvent, seul le nom commercial du produit est donné sans identification chimique adéquate. Les produits étudiés peuvent entrer cependant dans une des catégories suivantes :

- suspensions de polymère
- solutions de polyélectrolyte
- émulsions d'asphalte ou de bitume
- agents mouillants (agents tensio-actifs anioniques, cationiques et non ioniques)

- liants inorganiques (principalement des silicates solubles dans l'eau)
- agents hygroscopiques (comme le CaCl_2 , NaCl , etc.)
- les lignosulfonates

Dans un certain nombre de cas, Sultan a observé de forts effets synergiques lorsque certaines de ces substances étaient appliquées simultanément, comme le CaCl_2 et le silicate de sodium, auquel cas la formation d'un gel de silicate de calcium insoluble cimentait littéralement les particules de sable. Chose surprenante certains traitements comme l'arrosage au CaCl_2 donnaient de meilleurs résultats sur le terrain qu'en laboratoire. Un autre résultat intéressant a été obtenu avec le Coherex qui, comme nous l'avons vu, est grandement utilisé pour la stabilisation des terrils, alors qu'il ne donnait pas de bons résultats en laboratoire et était particulièrement vulnérable à l'érosion par l'eau. Les produits chimiques à base de lignosulfonates constituent le groupe dont le comportement global a été le meilleur et ils sont efficaces aussi bien lorsqu'ils sont pulvérisés que lorsqu'ils sont mélangés initialement aux agrégats de route. Les lignosulfonates sont évidemment solubles dans l'eau et nécessitent des applications répétées. Sultan rapporte que dans le cas de ces produits, le coût maximal de l'application était de 0,18 \$ U.S./m². Dans le cas des substances essayées avec succès, les coûts d'application s'élevaient environ à 0,10 \$ U.S./m² ou 480 \$ Can./acre (dollars de 1976), ce qui correspond aux coûts déjà mentionnés par Ase et al. (1982). Nous remarquons encore une fois que les coûts de la stabilisation chimique sont considérables, même lorsque les produits chimiques utilisés sont en fait des résidus industriels comme les lignosulfonates.

Parmi les principales conclusions que nous pouvons tirer des travaux de Sultan et de Ase, nous retiendrons :

- l'efficacité éprouvée d'agents chimiques sélectionnés pour la lutte contre les émissions de poussières;
- le besoin de faire suivre les essais en laboratoire par des essais sur le terrain;
- les différentes caractéristiques des stabilisants chimiques en regard de l'érosion par l'air, l'eau et la circulation;
- la spécificité des stabilisants chimiques pour différents sols;
- l'importance du rapport coût-efficacité.

3 MÉTHODES PHYSICO-CHIMIQUES DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES RÉSULTANT DE L'EXTRACTION MINIÈRE DE L'AMIANTE

3.1 Études précédentes

Nous avons vu l'importance des essais sur le terrain des méthodes physico-chimiques de lutte contre les poussières et nous avons pu voir que l'efficacité des techniques employées varie selon le type d'érosion, le genre de poussières et le climat. La lutte contre les émissions de fibres d'amiante dans les opérations à l'air libre comme le forage, le dynamitage, le transport, l'élimination des déchets et l'entassement des résidus nécessitera donc des techniques particulières. Ces dernières devront être adaptées au problème des fibres microscopiques plutôt qu'à celui des grains de sable ou des grosses particules de poussière, et tenir compte de la nature de la surface des particules d'amiante.

D'après notre examen de la documentation disponible, le nombre d'études publiées sur la stabilisation physico-chimique des résidus d'amiante est très restreint, même en incluant celles sur les décharges de résidus industriels générés par l'industrie de transformation de l'amiante. Nous avons déjà passé en revue les études portant sur la lutte contre les émissions de particules d'amiante provenant des routes couvertes de serpentinite que mentionnent Serra (1981) et Ase, Koch et Yamate (1982). Ase et al. ont indiqué que les teneurs maximales en fibres d'amiante enregistrées sous le vent près d'une route couverte d'agrégats de serpentinite étaient quatre fois supérieures à la norme américaine pour l'industrie de l'amiante, soit 2 fibres/cm³ et que les stabilisants chimiques, tout particulièrement les résines de pétrole, les lignosulfonates et même le chlorure de calcium pouvaient réduire ces émissions de fibre de 90 % (section V-2.3). Parallèlement, l'étude de Yardley, Lacabanne et Nelson (1980) sur les émissions de fibres et de poussières des terrils des mines de taconite analysée à la section V-2.2 a indiqué que les résines de pétrole, les lignosulfonates ou encore les stabilisants à base de silicate de sodium pouvaient réduire les émissions de fibres (4,5-0,85 microns) de 99 %.

Harwood, Stinson et Ase (Harwood, 1976; Stinson, 1977) ont étudié la possibilité de lutter contre les émissions de fibres des décharges de rejets industriels d'amiante. Bien que ces décharges couvrent une superficie beaucoup plus petite que celle des terrils, ils sont souvent situés dans des zones peuplées, ce qui accentue la nécessité du contrôle de leurs émissions

d'amiante. Stinson et al. (1977) estiment que, de toutes les émissions de fibres (par opposition aux émissions totales de particules), 22 % sont causés par le déchargement, 60 % par les décharges en service, 6 % par le concassage et le nivelage des résidus après le déchargement, et 12 % par les terrils inactifs (non recouverts). Les émissions totales d'amiante d'une décharge recevant 75 000 tonnes de déchets industriels par année ont été évaluées à partir de mesures faites sur le terrain à 1,4-1,8 tonne par année, c'est-à-dire environ 0,002 % de la quantité totale des résidus. Le pourcentage d'amiante dans les résidus n'a pas été indiqué dans cette étude, mais d'après d'autres données fournies par les auteurs, elle peut être évaluée à 25 %, dont 10 % (2,5 % de tous les déchets) sont constitués de poussières fines.

Ces auteurs ont considéré plusieurs méthodes de lutte contre les émissions provenant des terrils actifs mais c'est la méthode par stabilisation chimique qui s'est avérée la plus avantageuse aussi bien du point de vue de la réduction des émissions que des coûts. Une méthode combinant le mouillage des fines avec de l'eau avant le déchargement (réduction des émissions au déchargement), la stabilisation chimique du terril actif et la végétalisation du terril inactif permettrait de réduire les émissions d'environ 90 % et ce, à un coût raisonnable. La stabilisation chimique du terril actif devrait être effectuée une fois par semaine, ce qui fait ressortir la nécessité d'une surveillance stricte des coûts des produits chimiques utilisés. Les auteurs ont étudié 30 liants chimiques (Harwood, 1976) et ont arrêté leur choix sur le Coherex pour les essais sur le terrain parce que "bien qu'il ne soit pas le liant le plus efficace pour la stabilisation des sols, c'est le produit qui possède les meilleures propriétés globales, notamment en ce qui concerne la solubilité dans l'eau, la biodégradabilité et la résistance au lessivage". Le prix joue également en faveur de ce sous-produit de l'industrie du pétrole.

Un brevet décrit l'utilisation d'esters d'alcoylecarboxylate hydroxylé comme agents anti-poussière efficaces contre les fibres d'amiante (Smith et White, 1975); les applications de ce produit sont principalement industrielles et le produit en soi ne semble pas présenter d'avantages particuliers par rapport aux agents mouillants ou aux liants chimiques qui ont fait l'objet d'autres études.

Il importe de souligner ici une étude détaillée effectuée en laboratoire par Desco (1983) sur l'efficacité des agents mouillants et des liants chimiques pour lutter contre l'érosion des terrils d'amiante par le

vent et par l'eau. Cette étude faite par une compagnie locale à East Broughton sur les résidus provenant de toutes les mines d'amiante au Québec porte sur l'utilisation

- d'agents mouillants (agents tensio-actifs)
- de liants chimiques
- d'agents chimiques de confinement (mousse).

En ce qui a trait à la composition chimique des produits utilisés, ce rapport fait la distinction entre

- les composés organiques et inorganiques solubles
- les émulsions d'huile
- les émulsions de polymères.

Il faut remarquer que les catégories de composition chimique ne correspondent pas nécessairement aux catégories des fonctions car, par exemple, des composés inorganiques solubles dans l'eau peuvent faire fonction de composés hygroscopiques (p. ex. CaCl_2) ou de liants chimiques (p. ex. NaSiO_2 ou $\text{NaSiO}_2 + \text{CaCl}_2$). Le rapport de Desco donne les résultats d'essais d'efficacité des formules de liants chimiques mises au point par cette compagnie (désignées par les appellations DUSCO-100 et DUSCO-500) comparativement à plusieurs autres, notamment le Coherex et les lignosulfonates déjà mentionnés dans cette étude. Les résultats obtenus sont basés sur des études en soufflerie de l'érosion éolienne et sur des essais d'érosion par l'eau conçus spécialement pour cette étude. Ils distinguent les poussières totales des poussières respirables (≤ 10 microns). La pente du terril est prise en considération, ce qui est une amélioration par rapport aux autres études déjà mentionnées. La résistance mécanique de la croûte formée lors des divers traitements est également mesurée. Les résultats de ces travaux indiquent que les produits mis au point par cette compagnie pour traiter les résidus d'amiante étaient plus efficaces en laboratoire que les autres produits testés, en ce qui a trait à la réduction de l'érosion simulée par le vent et l'eau sur les terrils en pente. Bien que la formule détaillée des produits ne soit pas donnée, ils sont censés contenir un copolymère de vinyle-acrylique qui peut soit produire une pellicule superficielle insoluble et très stable, soit agir comme liant lorsqu'il est mélangé avec les résidus. Le fabricant propose différentes formules d'agents stabilisateurs pour l'arrosage des terrils actifs et inactifs et pour le mélange avec les résidus avant le déchargement. Les coûts ne sont pas donnés dans le rapport, mais il semble raisonnable de croire que le

prix de ces produits est semblable à celui des autres suspensions à base de polymères utilisées comme liants chimiques, soit entre 0,10-0,20 \$ can./m² ou 400-800 \$ l'acre (dollars actuels). Enfin, le fabricant suggère l'utilisation d'une "méthode de confinement" par agent moussant pour le transport des déchets et des résidus.

3.2 Considérations générales

Parmi les activités de l'industrie de l'extraction de l'amiante se prêtant au contrôle des poussières par les techniques physico-chimiques décrites dans cette section, nous pouvons inclure :

- forage et sautage
- concassage
- transport des stériles et des résidus
- déchargement des stériles et des résidus
- terrils actifs de stériles et de résidus
- terrils inactifs de stériles et de résidus

Comme nous l'avons vu, ces activités ne contribuent pas toutes de façon importante aux émissions totales d'amiante. Les méthodes de contrôle physiques et chimiques proposées par Gagan (1977) semblent adéquates et raisonnables, et de récentes améliorations apportées à l'industrie ont déjà entraîné d'importantes réductions des émissions pour ce qui est des quatre premières activités susmentionnées. Aussi, ce n'est qu'après avoir obtenu les taux d'émissions mis à jour de ces activités que nous pourrions envisager des mesures de contrôle physico-chimique complémentaires. Ces considérations permettront également d'évaluer la possibilité de réductions additionnelles des émissions résultant des activités de séchage et de broyage, en tenant compte des émissions totales de chaque mine. Le Tableau V.1 donne une liste de méthodes et pratiques de contrôle possibles pour les diverses activités minières.

Gagan estime que les émissions provenant du forage et du sautage sont relativement faibles et pourraient encore être réduites en procédant à des explosions moins fortes mais plus fréquentes. Nous avons vu que le dynamitage ne se prête pas facilement au dépoussiérage physico-chimique. Au cours des opérations de forage la lutte contre les poussières peut se faire par arrosage à l'eau additionnée d'agents tensio-actifs. Ces produits chimiques sont relativement peu coûteux, mais dans notre climat, cette solution est impraticable pendant au moins 5 mois par année; les dispositifs à sacs fil-trants actuellement utilisés constituent donc la solution la plus pratique pour le moment.

TABLEAU V-1. MÉTHODES DE CONTRÔLE AU CHOIX

Activité	Méthode de contrôle
Forage	dispositif à sacs filtrants mouillage confinement par la mousse brumissage électrostatique
Sautage	mouillage (ag. tensio-actif) confinement par la mousse brumissage électrostatique
Concassage	dispositif à sacs filtrants confinement par la mousse brumissage électrostatique
Transport par convoyeur à courroie et points de transfert	améliorations mécaniques (modifications de l'équipement) mouillage préliminaire à l'aide d'un agent tensio-actif (mélange continu de solutions d'agents tensio-actifs) stabilisation chimique préliminaire (mélange continu d'un liant chimique) confinement par la mousse
Transport par camion ou wagon ferroviaire	mouillage préliminaire par un agent tensio-actif stabilisation chimique préliminaire
Déchargement (bande transporteuse et camion)	améliorations mécaniques mouillage préliminaire à l'aide d'un agent tensio-actif stabilisation chimique préliminaire
Terrils actifs (résidus)	mouillage à l'aide d'un agent tensio-actif (pulvérisation superficielle) stabilisation chimique (pulvérisation superficielle)
Terrils actifs (stériles)	mouillage à l'aide d'un agent tensio-actif stabilisation chimique
Terrils inactifs (résidus)	stabilisation chimique végétalisation de la couverture végétale
Terrils inactifs (stériles)	végétalisation de la couverture végétale

La technique de brumissage électrostatique est un concept nouveau très intéressant (McCoy, 1983; Mining Engineering, 1981). Cette technique permet de capter les petites particules de poussières déjà en suspension dans l'air, ce qui diffère des traitements par arrosage qui permettent seulement d'empêcher les particules mouillées de passer en suspension dans l'air. Les générateurs électrostatiques de brouillard semblent efficaces jusqu'à 15 m (45 pieds) et permettent de réduire la consommation d'eau. La poussière provenant du concassage et du déchargement de minerai a été réduite de 65 à 75 % au cours d'essais sur le terrain. Cette technique n'a pas encore été utilisée à l'échelle industrielle, mais les gros appareils actuellement fabriqués sont censés être efficaces à l'intérieur des édifices comme à l'extérieur. Les coûts n'ont pas été divulgués. Enfin, les méthodes de confinement par la mousse étudiées dans l'industrie du charbon (section V-2.1) et d'autres industries (section V-2.2) peuvent être appliquées au forage et probablement au concassage.

Outre le forage, le dynamitage et le concassage, toutes les autres activités énumérées au Tableau V-1 sont reliées à la manutention et au stockage permanent des résidus (y compris, dans certains cas, les particules recueillies par les dépoussiéreurs) et des stériles. Aussi raisonnables qu'elles puissent paraître, les améliorations mécaniques apportées aux divers étapes de ces activités, [Gagan (1976)], ne sont pas toujours une réussite, ou même pratiques. Dans bien des cas, les traitements physico-chimiques peuvent être utilisés conjointement avec des améliorations mécaniques, ou même les remplacer, comme par exemple lorsqu'un système de confinement par la mousse est utilisé aux points de transfert des convoyeurs. Il y aura aussi des cas où les traitements physico-chimiques sont plus attrayants que des modifications coûteuses des équipements, même si ces traitements entraînent des coûts récurrents. Puisque la faisabilité et les coûts des améliorations mécaniques sortent du cadre de la présente étude, nous porterons plutôt notre attention sur les méthodes de contrôle physico-chimiques.

Les différentes options présentées au Tableau V-1 offrent un éventail de méthodes parmi lesquelles on devra en arrêter une en fonction de son caractère pratique, de la mise en oeuvre et de son coût. L'efficacité de ces méthodes ne peut toutefois être prédite sans essais sur le terrain. Cependant, nous pouvons prévoir la facilité d'application des diverses techniques et ce facteur peut être déterminant, du moins initialement. Ainsi, il semble que la pulvérisation de solutions d'agents tensio-actifs ou de liants chimiques soit la plus facile à implanter et que ces traitements peuvent se faire

avant le transport des résidus et des stériles, au cours de leur déchargement et sur les terrils actifs. Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, l'application sur les terrils inactifs ne semble pas nécessaire, et un programme d'arrosage des terrils inactifs de stériles ne devrait être entrepris qu'après une étude approfondie de leurs émissions. Étant donné les difficultés mécaniques associées à un programme d'arrosage dans le cas des terrils inactifs, il ne semble pas que l'utilisation des seuls agents de mouillage ou des agents hygroscopiques nécessitant une application répétée en vaille la peine; ainsi, seuls les liants chimiques sont énumérés au Tableau VI-1 comme choix pratique pour lutter contre l'érosion des terrils inactifs de stériles, avec ou sans végétalisation éventuelle.

D'après les études de Harwood (1970), Stinson (1977), Sultan (1976), Ase et al. (1982) et le rapport Desco (1983), nous pouvons résumer comme ci-dessous les propriétés souhaitables des produits chimiques utilisés comme agents mouillants ou comme liants pour la lutte contre les poussières provenant des terrils d'amiante :

1. faible coût d'application
2. bon mouillage des fibres d'amiante ou forte liaison avec ces fibres
3. bonne stabilité de la solution ou de la suspension
4. résistance à la chaleur et au froid
5. non-toxicité pour l'homme et l'environnement
6. facilité d'application, et facilité du nettoyage des appareils d'application
7. pour les agents mouillants : bonne rétention de l'eau
8. pour les liants : formation d'une croûte résistante, résistance à l'érosion par le vent et l'eau sur les surfaces en pente abrupte
9. pour les agents de liaison : prise possible, même à basse température.

Le point 5, c.-à-d. la toxicité du produit chimique utilisé, est très important. Les surfaces à vaporiser sont vastes et le ruissellement de l'eau a des répercussions sur les réseaux hydrographiques avoisinants et par conséquent, les effets néfastes des produits chimiques de stabilisation sur l'environnement pourraient conduire à une situation du traitement où les effets seraient

pires que le mal à enrayer. Heureusement, la grande majorité des produits de stabilisation actuellement utilisés n'ont aucun effet secondaire nuisible pour l'environnement, mais certains produits, dont les résidus de pétrole ou les sous-produits du pétrole, le bitume ou les émulsions d'asphalte, etc., ne devraient pas être utilisés. La plupart des agents tensio-actifs sont biodégradables et la plupart des liants polymériques sont stables et non toxiques pour l'environnement. Les lignosulfonates ne sont évidemment pas toxiques, mais il serait préférable d'étudier les impuretés de ces produits avant de les appliquer à grande échelle.

Enfin, notre dernière considération porte sur les conditions climatiques québécoises. En hiver, le couvert nival est évidemment une méthode efficace de lutte contre la poussière, mais l'érosion par l'eau lors du dégel printanier peut être considérable. Par conséquent, la croûte formée à l'aide de liants chimiques appliqués en été ou en automne doit rester stable pendant au moins six mois afin d'être efficace au cours du dégel printanier. Le traitement des terrils actifs et l'application des produits chimiques aux systèmes de transport en hiver présentent certaines difficultés en raison du gel prématuré en cours de manutention. Dans tous les cas, la composition des solutions utilisées doit être conçue de façon que la quantité à appliquer soit minimale. Il semble qu'en hiver, la méthode de contrôle la plus pratique soit la pulvérisation d'une solution faible d'agents tensio-actifs ou de liants avant le transport. En été, cette méthode peut être combinée à la pulvérisation de liants chimiques sur le terril actif et, si les données sur les émissions indiquent qu'un tel traitement est nécessaire, un programme de pulvérisation de liants chimiques doit être adopté pour les terrils inactifs.

3.3 Évaluation des coûts

Il est pratiquement impossible de faire une évaluation rigoureuse des coûts en raison du grand nombre de méthodes de traitements possibles et de l'absence de données sur les essais sur le terrain. Les chiffres qui suivent sont fournis uniquement à titre indicatif; dans la plupart des cas, ils sont basés sur des estimations des coûts fournies dans la documentation pour des situations physiques passablement différentes. De plus, les coûts de la main-d'oeuvre et de l'équipement ne sont pas compris.

Dans ce type d'évaluation, la quantité totale de résidus et de stériles à traiter, ainsi que la superficie des terrils actifs et inactifs constituent des données de première importance. Les données Canmet (Collings 1977) reproduites dans le Tableau II-3 du présent rapport indiquent une production totale de 53 millions de tonnes de stériles par année et

22 millions de tonnes de résidus par année, lorsque la production totale d'amiante était de 1,2 million de tonnes de fibres par année. Normalisées en fonction de la production actuelle, ces valeurs correspondent à une production annuelle d'environ 30 millions de tonnes de stériles et 13 millions de tonnes de résidus. La superficie totale des terrils de résidus non recouverts de végétation est de 670 hectares (1600 acres) et celle des terrils de stériles de 780 hectares (1900 acres). Puisque la plupart des exploitations minières font déjà appel à des traitements à l'eau avant ou pendant le transport ou lors du déchargement, il serait facile de passer à l'utilisation d'agents mouillants ou de liants. Les coûts sont cependant difficiles à évaluer sans essais préliminaires de l'efficacité des agents mouillants ou liants.

Mouillage préalable seulement

Les agents mouillants améliorent le pouvoir de mouillage de l'eau, principalement en ce qui a trait aux fines particules, en abaissant la tension superficielle dont les valeurs sont généralement bien inférieures à 40 mN/m² pour des teneurs en agents mouillants de 0,01 à 0,1 %. En supposant que le coût de l'agent mouillant est de 1,50 \$/kg et que sa teneur dans la solution utilisé est de 0,03 %, le coût en produits chimiques serait donc de 0,45 \$ par m³ d'eau consommée.

Dans le cas des stériles dont les particules ont une grosseur moyenne plus élevée, on peut adopter un taux de pulvérisation de 2 m³ de solution par 100 tonnes de stériles, soit un coût en produits chimiques de l'ordre de 0,009 \$ par tonne traitée ou encore 270 000 \$ par année (ensemble de l'industrie de l'amiante au Québec); ces données et d'autres estimations sont fournies au Tableau V-2.

Dans le cas des résidus qui contiennent de plus grandes fractions de particules de faible taille, il faudra un plus grand volume d'eau pour obtenir un mouillage adéquat. En supposant qu'il faille 4 m³ de solution par 100 tonnes de résidus, le coût sera de 0,018 \$ par tonne ou 234 000 \$ par année pour toute l'industrie de l'amiante au Québec.

Le coût total du traitement des stériles et des résidus s'élèverait donc à environ 504 000 \$ par année. Il faut cependant remarquer que le coût du mouillage à l'aide d'agents tensio-actifs serait minime pour chaque usine et qu'une partie de ce coût pourrait être récupérée grâce à une consommation et une élimination réduites d'eau.

TABLEAU V-2

Prix de revient estimatif des traitements*

	Coûts unitaires (\$)		Coût total pour l'industrie (\$)	
	Résidus	Stériles	Résidus ³	Stériles ³
Traitement préalable				
Mouillage avec agents tensio-actifs ¹	0,018/t	0,009/t	234 000/an	270 000/an
Liant chimique	0,08/t	0,04/t	1 040 000/an	1 200 000/an
Traitement des terrils actifs	15-40 000/ha an	15-40 000/ha an	50-150 000/an ⁴	50-150 000/an ⁴
Traitement unique des terrils inactifs	500-1250/ha	---	340-840 000/ traitement ⁵	----

* Ces estimations ne sont données qu'à titre d'indicatif. Le coût réel dépend largement des conditions; les coûts ne s'appliquent qu'aux produits chimiques.

1 À un prix de 1,50 \$ par kg d'agent tensio-actif et une solution à 0,03 %.

2 À un prix de 2,00 \$ par kg de produits chimiques et une solution à 0,1 %.

3 Basé sur une quantité de 30 millions de tonnes de stériles par année et 13 millions de tonnes de résidus par année.

4 Considérant une superficie totale pour des terrils actifs de 4 hectares pour les résidus et de 4 hectares pour les stériles.

5 Basé sur une superficie totale de 670 hectares des terrils inactifs de résidus.

Traitement préalable par liants chimiques

Ici encore, il existe très peu d'expériences antérieures sur lesquelles nous pouvons nous appuyer. L'étude de la Société Desco prouve l'efficacité des liants chimiques mais ne fournit aucune estimation des coûts. L'étude sur l'utilisation de liants polymériques pour prévenir l'érosion éolienne de la poussière de charbon en cours de transport par voie ferrée (Williams, 1982) donne un coût de 0,10 à 0,60 \$ par tonne traitée, coûts évidemment prohibitifs dans le cas présent. On notera cependant que le transport à grande vitesse par wagon ouvert même à des conditions d'érosion entièrement différentes de celles du transport des résidus d'amiante par convoyeur ou par camion. Dans ce cas il serait possible d'obtenir une estimation du coût du traitement par "liant chimique" basé sur les données pour le mouillage par des agents tensio-actifs. Nous pouvons supposer un coût plus élevé des produits chimiques, de l'ordre de 2 \$/kg, et une teneur d'environ trois fois plus élevée, soit 0,1 %. Si les quantités mélangées aux stériles et aux résidus sont comparables à celles pour le mouillage (2 m³/100 tonnes et 4 m³/100 tonnes), le coût serait alors de 1 200 000 \$ pour les stériles et 1 040 000 \$ pour les résidus. Il semble cependant improbable qu'un traitement par liant chimique soit nécessaire pour les terrils de stériles.

Terrils actifs

Le coût des méthodes physico-chimiques de lutte contre les poussières des terrils actifs (stériles et résidus) dépend évidemment des superficies à traiter et de la fréquence des applications. Au risque de nous répéter, soulignons à nouveau que les estimations grossières des coûts fournies ci-dessus supposent que les essais sur le terrain des techniques suggérées auront démontré que les méthodes sont efficaces. Également, le traitement en continu par incorporation de produits chimiques aux résidus et stériles peut s'avérer adéquat pour la lutte contre les émissions de poussières. Dans la plupart des cas (Stinson, 1977; Sultan, 1976; Ase, 1982), les zones à grande circulation (nivellement et entretien fréquents dans notre cas) nécessitent des applications plus fréquentes que les zones inactives. Les études effectuées sur les routes non asphaltées indiquent des coûts par application qui varient de 200 à 1000 \$. Les différences de prix entre les divers produits étaient plus importantes que les différences entre, d'une part, les agents mouillants et les agents hygroscopiques comme le CaCl₂, les agents tensio-actifs et les lignosulfonates et, d'autre part, les liants chimiques comme les résines de pétrole et les suspensions à base de polymères. En supposant des teneurs

minimales dans les suspensions et une application par semaine pendant toute l'année, le coût des produits chimiques à lui seul pourrait se situer entre 15 000 et 40 000 \$/ha/an (5 000-15 000 \$/acre/an). Nous ne possédons aucune information sur la superficie active totale à un moment donné, mais si nous supposons que les terrils de l'industrie de l'amiante couvrent en moyenne une superficie totale de 8 hectares (20 acres) pour l'ensemble des mines, le coût d'un programme d'application d'agents mouillants et de liants sur les terrils actifs (résidus et stériles) serait de l'ordre de 100 000-300 000 \$ par année. Pour le traitement des résidus seulement, ce montant serait environ moitié moindre.

Terrils inactifs

Dans ce cas, nos données de référence sont plus solides. Nous avons déjà vu qu'un programme de traitement des terrils inactifs composés de stériles ne semble pas nécessaire. Les terrils inactifs (et non recouverts de végétation) composés de résidus couvrent au total environ 670 hectares (1 600 acres). Le coût des produits chimiques d'un programme de stabilisation chimique de ces terrils, calculé en fonction d'une moyenne faite à partir des diverses études (Yardley, 1980; Dean, 1969; Eng. Mining J., 1971; Ase, 1982; Sultan, 1976) serait actuellement de 200 \$ à 500 \$/acre (500 à 1 250 \$/ha) par traitement.

Ainsi, un traitement unique (coût des produits chimiques seulement) s'élèverait à 340 000-840 000 \$ pour l'ensemble de l'industrie. Ce coût peut être réparti sur plus d'une année selon le degré de réussite du traitement. Cette dépense est évidemment fort importante et un tel programme d'arrosage ne devrait pas être entrepris sans un programme adéquat d'essais préalables en laboratoire et sur le terrain.

Résumé des coûts

Les diverses estimations fournies ici ne sont qu'une indication du coût des diverses méthodes de contrôle physico-chimique disponibles. Les coûts indiqués ne couvrent que les produits chimiques. Les coûts de l'équipement pour le traitement préalable des rejets et le traitement des terrils actifs sont probablement faibles. Dans le cas du traitement des terrils inactifs, toute méthode d'application doit être conçue de façon à s'assurer que les avantages du traitement compensent les inconvénients résultant de la perturbation du terrain et la quantité de poussières diffuses émises lors de l'application.

Le Tableau V-2 donne les coûts estimatifs des principaux types de traitement et le Tableau V-3 donne le coût total de divers scénarios de traitement. Étant donné l'incertitude qui existe au sujet de ces chiffres, en raison du prix des produits chimiques, les concentrations optimales, etc., la prudence est de rigueur. On remarquera toutefois qu'un programme raisonnable de traitement physico-chimique à l'échelle de l'industrie coûterait de 1 à 2 millions de dollars par année; en fait, une grande partie de ces dépenses serait attribuable au traitement des terrils inactifs, traitement indiqué ou non, et sûrement pas justifié sur une base annuelle. Sans essais sur le terrain, nous ne pouvons pas présenter des rapports comparatifs sur la rentabilité estimative des divers scénarios du Tableau V-3.

TABLEAU V-3

Coûts des scénarios de traitement physico-chimique*

	Coût/unité (\$)	Coût total pour l'industrie (\$)
A Mouillage préalable des résidus à l'aide d'agents tensio-actifs	0,018/t	234 000/an
B Mouillage préalable des stériles à l'aide d'agents tensio-actifs	0,009/t	270 000/an
C Liants chimiques, appl. préalable, résidus	0,08/t	1 040 000/an
D Liants chimiques, appl. préalable, résidus et stériles		2 240 000/an
A+B Mouillage préalable des stériles et des résidus à l'aide d'agents tensio-actifs		504 000/an
B+C Mouillage préalable des stériles à l'aide d'agents tensio-actifs Liants chimiques, appl. préalable, résidus		1 310 000/an
E Traitement des terrils actifs, résidus seulement	25 000/ha an	100 000/an
F Traitement des terrils actifs, résidus et stériles	25 000/ha an	200 000/an
A+E		334 000/an
A+B+E		604 000/an
A+B+F		704 000/an
B+C+E ¹		1 510 000/an
C+F ¹		1 240 000/an
D+F ¹		2 440 000/an
G Traitement des terrils inactifs, résidus seulement, traitement unique	900/ha	600 000/traitement

* Basé sur la moyenne des limites présentées au Tableau V-2. Le coût réel pour chaque mine peut varier appréciablement selon les conditions.

¹ Dépendant du résultat des essais sur place. Le traitement des terrils actifs peut ne pas être nécessaire après un traitement préalable par des liants chimiques.

4 CONCLUSION

Les émissions fugitives de matières particulaires constituent un problème universel dans les opérations minières et de nombreuses études portent sur les diverses possibilités de lutte lors des opérations d'extraction, de broyage et d'élimination des résidus. Dans le présent chapitre, nous avons examiné les études traitant des méthodes physico-chimiques de lutte contre les poussières diffuses au cours des diverses activités minières, sur les routes et les voies de roulage des mines, ainsi que lors de l'élimination des résidus d'amiante. Il est évident, d'après cette rétrospective, que le contrôle des émissions fugitives provenant des mines d'amiante ne se compare pas facilement à celui des autres opérations minières. Dans le cas de l'extraction de l'amiante, les quantités totales de poussières émises sont effectivement très faibles; les méthodes de contrôle ne doivent donc pas se limiter aux émissions totales, mais s'attaquer en particulier aux émissions de fibres. C'est pourquoi nous considérons que les études sur les émissions lors de l'extraction de la taconite et de l'élimination de ses résidus, ainsi que celles des routes couvertes d'agrégats de serpentine présentent un certain intérêt d'un point de vue comparatif avec l'industrie de l'extraction de l'amiante. Par ailleurs, les nombreuses études portant sur la suppression des poussières dans les mines de charbon ne semblent pas s'appliquer directement à l'industrie de l'extraction de l'amiante.

Les méthodes de contrôle physico-chimiques retenues ci-dessous semblent, en principe du moins, être applicables à l'extraction de l'amiante et l'élimination des stériles et des résidus :

- confinement par la mousse au cours du forage et pour le transport des stériles et des résidus;
- brumissage électrostatique pour le forage et le transport;
- mouillage des stériles et des résidus avant le transport;
- mouillage des stériles et des résidus par des agents tensio-actifs avant le transport;
- incorporation de liant chimique avant le transport;
- traitement des terrils actifs par un liant chimique;
- traitement des terrils inactifs par un liant chimique.

La facilité d'implantation de chacune de ces méthodes, ainsi que les coûts anticipés, varient considérablement. De plus, les conditions climatiques du Québec nous obligent à rejeter les méthodes impraticables en dessous

du point de congélation, particulièrement la pulvérisation d'eau et l'usage de mousse de confinement lors du forage. Ainsi, conformément aux conclusions du chapitre IV, nous considérons que la meilleure façon de contrôler les émissions au cours du forage sont les moyens mécaniques, bien qu'une nouvelle technique de brumissage électrostatique semble prometteuse et pourra s'avérer applicable durant l'hiver. Les divers scénarios envisagés, comportant le mouillage, à l'aide d'agents tensio-actifs et le traitement par des liants chimiques requièrent des données sur l'efficacité, provenant non seulement d'essais en laboratoire mais également sur le terrain. La nécessité de tels essais d'efficacité est mise en évidence par diverses études décrites dans la documentation. Le caractère particulier des émissions de fibres d'amiante accentue davantage le besoin d'un programme adéquat d'essais sur les émissions.

La plupart des mines pratiquent le mouillage préalable pour stabiliser les résidus et les stériles avant d'en disposer. L'introduction d'un agent tensio-actif de mouillage ou d'un liant chimique entraînerait donc peu d'investissement supplémentaire et de faibles coûts de main-d'oeuvre. Par ailleurs, le traitement de la surface des terrils actifs par des liants chimiques pourra exiger de l'équipement et de la main-d'oeuvre additionnels. Un programme de traitement des terrils inactifs nécessitera un important travail de planification, des essais environnementaux du liant et la mise au point d'un équipement spécial pour son application. Nous concluons donc que le traitement des terrils actifs et inactifs ne doit pas être entrepris sans avoir fait une collecte systématique de données sur les émissions établissant clairement le besoin d'un tel traitement.

Le traitement des résidus et des stériles par mouillage à l'aide d'agents tensio-actifs, avant leur élimination, minimise les émissions pendant le transport et l'élimination, mais n'entraîne pas forcément une diminution à long terme des émissions. Un traitement préalable par un liant chimique pourra stabiliser les terrils, en entraînant éventuellement une diminution des émissions à long terme.

Le coût des divers scénarios de traitement présentés aux Tableaux V-2 et V-3 dépend évidemment de la quantité totale de résidus et de stériles et des propriétés (rapport superficie/poids, répartition granulométrique, composition chimique, etc.) des résidus à traiter. Les estimations obtenues sont donc très approximatives mais elles fournissent néanmoins un aperçu global pour l'ensemble de l'industrie. Selon la production de 1983, le

coût estimatif des produits chimiques nécessaires pour l'ensemble de l'industrie de l'amiante au Québec varierait entre 500 000 \$ par année pour le mouillage préalable des résidus et des stériles à l'aide d'agents tensio-actifs et 1 300 000 \$ par année pour le mouillage des stériles à l'aide d'agents tensio-actifs et le traitement des résidus par liant chimique. Selon nous, cette dernière combinaison constitue probablement la méthode de traitement la plus rentable. Le coût du traitement des terrils actifs est évalué à 200 000 \$ par année, et celui des terrils inactifs, à moins de 900 \$/ha (350 \$/acre), soit au total environ 600 000 \$ par traitement pour toute l'industrie. Comme nous l'avons déjà mentionné, ces deux derniers traitements ne doivent pas être entrepris sans les études préalables nécessaires.

VI LA VÉGÉTALISATION : UN MOYEN DE LUTTE CONTRE LES POUSSIÈRES ET DE STABILISATION DES TERRILS

La végétalisation d'un site de rejets miniers est évidemment une pratique souhaitable pour redonner un aspect agréable à un paysage enlaidi par l'exploitation minière. Cette pratique utilisée pour les terrils de résidus ou de stériles résout efficacement à la fois les problèmes d'émission de poussières et de stabilisation du sol.

Le principal effet de la couverture végétale est la réduction de l'érosion; son action protectrice vient de la réduction de la vitesse du vent à la surface du sol, de l'augmentation de la rétention d'eau et d'un effet "liant" des racines des plantes. De plus, la végétalisation améliore évidemment les qualités esthétiques et la valeur des terres ainsi remises en état.

Étant donné la superficie toujours croissante des terres utilisées comme terrils pour éliminer les stériles et les résidus, la végétalisation suscite beaucoup d'intérêt. Cette pratique, parfois combinée à des méthodes physiques ou chimiques de stabilisation et de contrôle des poussières, est encouragée par un certain nombre de succès remportés sur différents types de résidus miniers et de stériles. Dans la présente section, nous rappelons brièvement les principes et les stratégies employés dans la remise en état des terres par végétalisation et la possibilité d'utiliser cette approche dans le cas des terrils des mines d'amiante.

1 APPROCHE SYSTÉMATIQUE POUR LA REMISE EN ÉTAT DES TERRES

Les terrils de résidus et de stériles ne sont pas un milieu propice à la croissance des plantes et pour cette raison, leur végétalisation est un défi de taille. Les conditions essentielles de base pour établir et maintenir une végétation sont :

1. un ensoleillement adéquat
2. des températures appropriées
3. une aération suffisante
4. une humidité suffisante
5. des nutriments équilibrés et en quantités suffisantes
6. l'absence de substances toxiques
7. une protection contre l'érosion au début de la période de végétalisation.

La lumière, l'air, la chaleur et l'eau sont généralement disponibles, mais les trois derniers facteurs posent fréquemment de sérieux problèmes :

- carences en substances organiques et inorganiques
- présence de grandes quantités d'électrolytes, notamment de métaux lourds phytotoxiques
- conditions physiques défavorables : pentes abruptes, drainage excessif, piètre stabilité mécanique du sol, etc.

La conclusion d'une importante étude américaine (Donovan, 1976) résume certains des résultats et rappelle les difficultés que pose la végétalisation : "Malgré les longues études sur la stabilisation, par végétalisation des terrils de résidus miniers faites par des chercheurs du gouvernement des États-Unis, des universités et de l'industrie, le problème est encore trop complexe pour permettre de formuler une méthode sûre de végétalisation. En pratique, chaque nouveau site devant être remis en état doit être considéré comme un cas unique; des essais empiriques faits sur des petites surfaces doivent précéder tout programme de végétalisation, faisant appel aux expériences précédentes pour orienter le programme d'essais."

De telles conclusions montrent l'importance d'une méthode systématique tenant compte d'un nombre maximal de facteurs qui peuvent influencer sur les résultats des projets de végétalisation. Murray (1977, CANMET) a identifié ces facteurs comme étant des facteurs climatiques, physiques, chimiques et biologiques :

Climat

- Température
- Période exempte de gel
- Durée de la saison de croissance
- Degrés-jours de croissance
- Précipitations
- Vent

Propriétés physiques

- Texture du sol
- Répartition granulométrique
- Densité
- Porosité
- Couleur

Paramètres chimiques

- Capacité d'échange cationique
- Acidité et pH
- Substances nutritives disponibles
- Toxicité
- Conductivité électrique et sels solubles
- Matières organiques
- Minéralogie

Activité microbienne

Murray propose également une séquence détaillée des étapes à suivre avant de procéder à la végétalisation; voir la Fig. VI-1. La première étape (A, B, C) correspond à la détermination de tous les facteurs susmentionnés; elle est suivie par des essais en laboratoire et sur le terrain pour évaluer les espèces et les conditions optimales (D-J); les résultats de ces essais, peuvent servir à faire une analyse économique avant d'entreprendre un programme global de remise en état du terrain ou de choisir d'autres mesures. Cette stratégie a été appliquée à une grande variété de stériles et de résidus, y compris ceux des mines d'amiante. La nécessité de ces projets dépendait grandement de facteurs locaux comme le type de minerai, l'aspect physique des terrils (pente, hauteur, le climat, etc.). En ce qui a trait aux espèces de plantes et aux conditions de croissance les plus appropriées, il n'existe aucun projet "type" de végétalisation.

Cependant, en ce qui a trait aux procédés techniques utilisables, peu de méthodes se sont avérées pratiques.

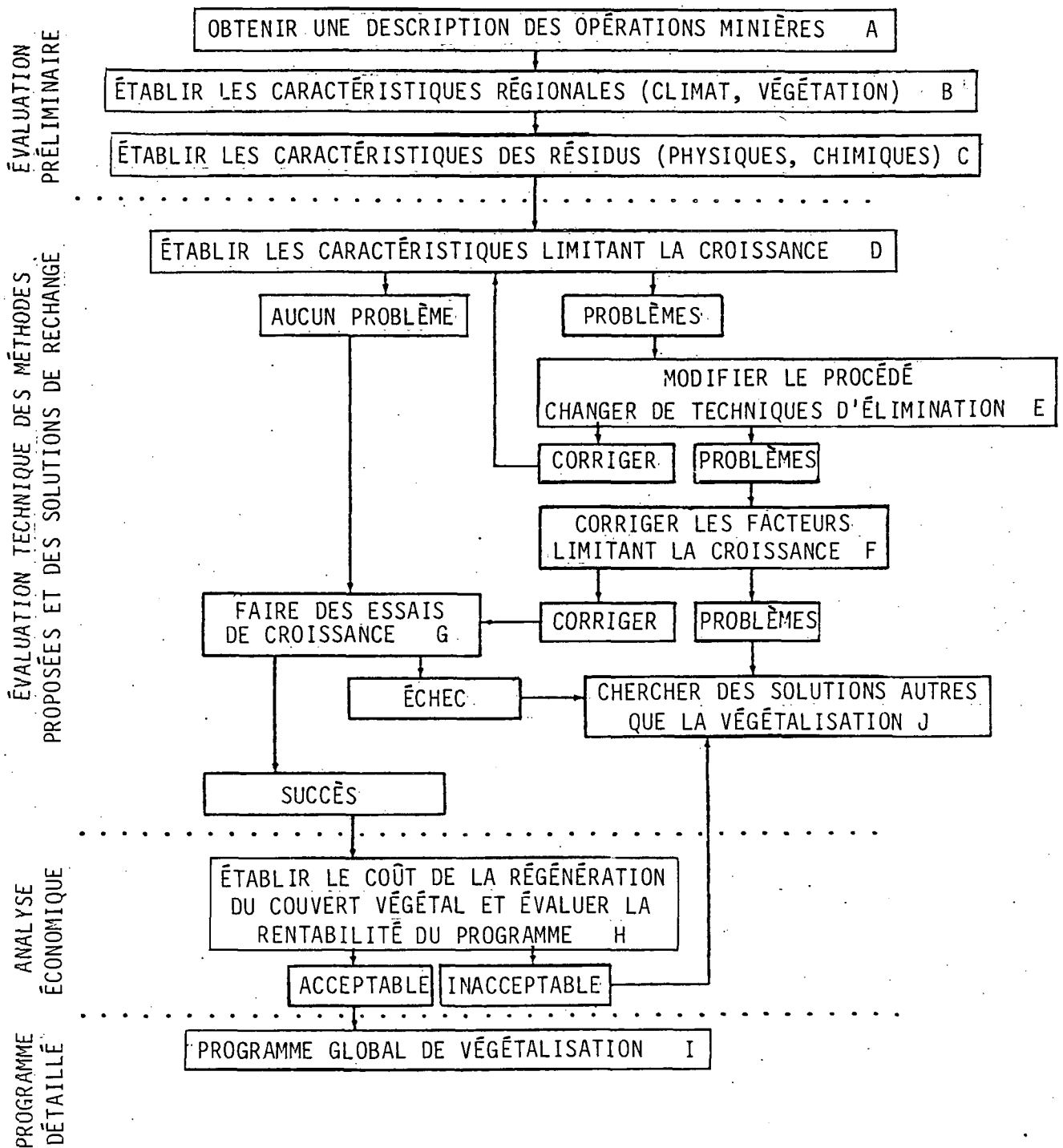


FIGURE VI.1 ÉTAPES PRÉALABLES À LA VÉGÉTALISATION

Il existe fondamentalement deux stratégies globales impliquant :

- soit le recouvrement des stériles et des terrils par une couche de terre végétale de 5 à 30 cm avant la végétalisation
- soit la végétalisation directe des résidus après avoir corrigé leur déficiences chimiques et biologiques, et procédé à une stabilisation initiale.

Dans le cas des programmes de végétalisation avec de l'herbe, des légumineuses, etc., le recouvrement des stériles ou des résidus avec une terre végétale constitue en principe la solution idéale, bien que cette pratique coûte très cher et ne soit pas facilement applicable dans les zones à fortes pentes. Dans le cas d'une couverture partielle avec des arbustes, buissons, etc., la quantité de terre végétale utilisée peut se limiter à la quantité minimale requise pour chaque plant.

La végétalisation directe des résidus comprend généralement l'addition en surface de substances organiques (cellulose, déchets organiques, etc.), de fertilisants appropriés et d'un liant pour assurer un minimum de stabilité au départ; la stabilisation initiale des résidus pour éviter l'érosion est considérée comme primordiale dans tout programme de remise en état par végétalisation (Donovan, 1976). L'ensemencement peut se faire de la façon usuelle après traitement des résidus, mais fréquemment les graines de semence peuvent être ajoutées à d'autres éléments du traitement pour former une "boue" aqueuse pour épandage; cette technique est appelée ensemencement hydraulique. Cette méthode semble actuellement la plus efficace pour la végétalisation des terrils en pente. Les mélanges types d'ensemencement hydraulique peuvent comprendre : des semences, des fibres de bois ou de la paille, un liant à base de résine, des engrais et de l'eau.

À ces techniques on peut adjoindre une protection accrue du sol contre l'érosion par l'air ou l'eau en utilisant des filets, des talus, des palissades, etc., selon la situation locale.

La végétalisation directe d'une grande variété de résidus miniers a été menée à bien notamment pour des mines de cuivre, d'uranium, d'or et de fer. Des programmes permanents de remise en état par végétalisation particulièrement durables ont été décrits par exemple par Easton-Groves (1976) (terrils de mines d'or en Afrique du Sud) et par Harris et Leigh (1976) (terrils de la Zinc Corp Ltd en Australie). Un important programme de

végétalisation par ensemencement hydraulique des terrils en forme de dune de la Pima Mining en Arizona a été décrit en détail par Ludeke (1973). Les détails concernant le type de plantes et les conditions de croissance dans divers programmes de régénération directe par végétalisation ont été résumés par Donovan et al. (1976).

2 VÉGÉTALISATION DES TERRILS DE RÉSIDUS ET DES STÉRILES DES MINES D'AMIANTE

Comme nous l'avons fait remarquer au chapitre II, (Tableau II-3), les terrils de résidus des mines d'amiante au Québec couvrent environ 8 km² (780 hectares) et ceux de stériles, un peu plus. Les terrils de ces deux types sont des monticules coniques ou des monticules aplatis avec des pentes de 30 à 40°. Bien que certains de ces terrils existent depuis 60 ans, leur végétation est presque inexistante dans les endroits où il n'y a pas de mort-terrain ou de terre végétale. Dans le cas des terrils de stériles, cette situation n'est pas particulière aux mines d'amiante et l'absence de végétation est particulièrement due à la grande taille des particules minérales. Dans le cas des résidus des mines d'amiante, le problème est compliqué par plusieurs facteurs défavorables (les propriétés détaillées de certains résidus des mines d'amiante sont données dans l'Annexe III) :

- facteurs chimiques : les résidus miniers sont très alcalins (pH environ 9) et contiennent un fort pourcentage de magnésium; leur grande capacité d'échange cationique entraîne une diminution du Ca⁺² présent dans le sol; ils contiennent très peu de potassium et presque pas d'azote, de phosphore ou de matières organiques; ils contiennent également des éléments toxiques (ex. Ni, Cr) qui sont libérés lorsque les résidus sont acidifiés.
- facteurs physiques : faible rétention de l'eau, faible consistance favorisant l'érosion; formation après plusieurs années d'une croûte superficielle qui empêche la croissance des racines.

Ajoutés aux pentes abruptes des terrils et à l'accès difficile des surfaces à traiter, ces facteurs rendent la stabilisation des résidus des mines d'amiante très difficile. En dépit des efforts antérieurs ou en cours décrits au chapitre IV, seuls 10 % de la superficie totale couverte par les stériles et les résidus de mines (environ 105 ha dans le cas des résidus et 86 ha dans celui des stériles) ont été remis en état par addition d'une couverture végétale quelconque.

Avec l'addition d'une quantité suffisante de terre végétale et un traitement initial adéquat, l'addition d'une couverture végétale peut être réalisée dans le cas des résidus des mines d'amiante comme l'indiquent par exemple Stinson et al. (1977). Le projet qu'ils ont étudié visait à régénérer

la couverture végétale d'une décharge de déchets d'amiante-ciment. La végétation a connu une bonne croissance après que le terril a été recouvert d'une couche de 30 cm d'un sol sablonneux, fertilisé et ensemencé; un paillis avait également été arrosé au départ (à raison de 0,45 kg/m²) et le sol a été arrosé au besoin.

En ce qui a trait aux terrils de résidus et de stériles des mines d'amiante, des projets de recherche en végétalisation et de remise en état du terrain ont été réalisés par la Cassiar Asbestos Corporation Ltd dans le nord de la Colombie-Britannique depuis 1973. Les conditions climatiques sont plutôt défavorables à la végétalisation; étant donné que la mine est en altitude et que l'hiver dure d'octobre à mai. Néanmoins, une superficie totale d'environ 40 ha (100 acres) a été remise en état jusqu'à présent, soit environ 10 % de la superficie totale visée par le projet. Dans d'autres travaux récents (Brinco Mining Ltd, 1983), l'accent a porté sur des expériences de croissance par petits lots avec diverses semences d'herbe et de légumineuses, divers fertilisants et diverses techniques de préparation du sol. L'auteur, rapporte que, même si les semences peuvent germer sur des résidus n'ayant reçu qu'un amendement chimique (comme l'acidification du sol par du sulfate d'aluminium et du gypse pour obtenir un pH de 7 et l'addition de fertilisants), la végétation ne poussait que dans les lots qui avaient d'abord été recouverts d'une couche de terre végétale. Faute d'informations détaillées sur les méthodes utilisées dans les endroits précédemment remis en état, il faut donc supposer que celles-ci comportaient l'application préalable d'une couche de terre végétale. Le coût total des travaux de terrassement, de fertilisation et d'ensemencement des 10,6 hectares s'élevait à 32 000 \$, soit environ 3 000 \$/ha.

Le plus important programme de recherche pour la végétalisation des terrils de résidus de mines d'amiante a été poursuivi par Moore et Zimmermann (1975, 1977, 1980) dans les mines du Québec avec un suivi récent (Moore et Zimmermann, 1980). Une analyse pédologique poussée, des expériences en laboratoire et des essais sur le terrain ont permis d'identifier plusieurs variétés d'herbes et d'arbustes ayant un taux de croissance et de survie satisfaisant dans ces résidus bonifiés. Il a été ainsi démontré que pour obtenir une couverture végétale (90 %) persistante (3 ans) il faut ajouter d'importantes quantités de fertilisants et de matières organiques. En général, il a fallu mélanger 1 kg/m² de fertilisants de type NPK et 4 kg/m² de fumier de ferme laitière et de sciure de bois dans la couche supérieure des résidus, sur une

épaisseur de 5 à 10 cm. On a également obtenu de bons résultats avec des boues résiduaire d'eaux usées comme matière organique (10 kg/m²) et des engrais de type NPK (0,1-0,5 kg/m²).

En principe, les problèmes associés au caractère très particulier des résidus de serpentine peuvent être résolus grâce à l'addition d'autres résidus acides (il faut se rappeler qu'il est possible de solubiliser les sels de métaux toxiques en milieu acide, comme nous l'avons déjà mentionné). Dans les études de Moore-Zimmermann, l'addition de liqueur usée de bisulfite au mélange de boues d'égout et d'engrais n'a pas amélioré le couvert végétal. La proposition visant à ajouter des rejets acides de l'exploitation du charbon ou des résidus acides de minerais sulfurés (Donovan, 1976) ne semble pas avoir été essayée sur le terrain.

Le problème de carence en substances nutritives des résidus de mine d'amiante a également été étudié récemment par Meyer (1980). La carence en calcium peut être compensée par une addition de superphosphates ou de gypse (à des taux respectifs de 0,5 et 1,6 kg/m²), et la croissance de l'orge peut être maintenue grâce à l'addition de quantités "normales" d'engrais. Meyer (1980), comme Moore et Zimmermann (1977), a de plus étudié les teneurs en Mn, Al, Zn, Ni et Cr et ont conclu qu'à un pH égal ou supérieur à 8, ces éléments n'étaient pas présents en concentrations suffisantes pour avoir un effet toxique sur les plantes.

Enfin, pour augmenter l'étendue et la persistance de la couverture végétale sur les terrils d'amiante, l'utilisation d'espèces de plantes déjà adaptées au minerai de serpentine semblerait une façon logique de procéder (Moore et Zimmermann, 1977). D'importantes études de la végétation et de la chimie du sol des systèmes de serpentine ont été faites par White (1971), et Proctor et Woodel (1975). Les résultats de ces études ont fourni des directives valables relatives au choix d'espèces de plantes utilisées pour la végétalisation des terrils d'amiante bien que, comme l'ont fait remarquer Moore et Zimmermann, il n'existe aucune flore spécialement adaptée à la serpentine dans l'est du Québec.

D'après les renseignements dont nous disposons, la végétalisation des terrils constitués de résidus et de stériles d'amiante est possible, bien que les options soient très limitées. Étant donné les déficiences importantes en matières nutritives des résidus d'amiante (alcalinité élevée, faible rapport Ca:Mg, rareté des matières organiques), ces résidus doivent d'abord

recevoir une forte dose (plusieurs kg/m²) d'un mélange de matières organiques et d'engrais. Cette exigence réduit grandement les possibilités d'utilisation de l'ensemencement hydraulique tel que pratiqué dans d'autres secteurs de l'industrie minière. Il semble que la meilleure façon d'obtenir de bons résultats dans un important programme de végétalisation soit de recouvrir la surface d'un mélange de matières organiques comportant du bois, des boues d'égouts municipaux, du fumier ou autres. D'autres considérations, comme la disponibilité des déchets organiques, les techniques d'application et le coût, influent évidemment de façon importante sur la faisabilité de projets de végétalisation à grande échelle.

ESTIMATION DES COÛTS

Les données disponibles sur le coût de la végétalisation des terrils sont très fragmentaires et ne peuvent être généralisées, encore une fois, à cause des aspects particuliers à chaque projet. Les estimations des coûts des programmes de végétalisation sont donc très grossiers et doivent être utilisées avec précaution.

Recouvrement de terre végétale :

En supposant qu'une terre végétale de bonne qualité soit disponible localement à raison de 2 \$/m³, le coût de l'application d'une couche de 20 cm d'épaisseur dans les zones faciles d'accès pour l'équipement de transport et d'épandage sera d'environ 0.50 \$/m² (5 000 \$/ha ou 2 000 \$/acre). Le coût des engrais, des matières organiques, de l'ensemencement, de l'eau et de l'entretien au cours des premières années représentera vraisemblablement 50 % du coût initial de la terre végétale utilisée et ainsi, on peut s'attendre à un coût total de la végétalisation de l'ordre de 0,75 \$/m² ou 7 500 \$/ha (3 000 \$/acre). Ce prix est plus du double de celui mentionné dans l'étude de Cassiar, mais cette dernière ne comportait vraisemblablement pas le coût de la couche de terre végétale. En supposant que cette technique s'applique à tous les terrils de résidus et de stériles d'amiante (et ce n'est pas le cas), le coût total de la végétalisation des 1600 hectares (4 000 acres) serait de 12 millions \$. Étant donné l'accès difficile de certaines zones en pente, ce chiffre semble être le montant minimum d'un programme global d'épandage d'une couche de terre végétale sur tous les terrils d'amiante.

Ensemencement hydraulique

À supposer que l'on puisse trouver des additifs chimiques adéquats permettant la végétalisation directe des terrils, l'ensemencement hydraulique serait particulièrement intéressant pour les terrains à forte pente qui constituent une grande partie des terrils de résidus. Une analyse économique des techniques d'ensemencement hydraulique appliquées dans les zones faciles d'accès peut être faite à partir des travaux entrepris sur des terrils des mines de cuivre aux mines Pima en Arizona. Le tableau VI-1, extrait du travail de Ludeke (1973), donne la liste des matières utilisées et le coût du projet de végétalisation d'une superficie de 50 acres par ensemencement hydraulique en 1970.

TABLEAU VI-1. Coûts de l'ensemencement hydraulique avec addition de produits chimiques et organiques par acre de terrain (4 047 m²) (Ludeke, 1973)

Article	Dose	Coût
Semences	41 g/m ² (75 lb/acre)	287 \$
Fertilisant	30 g/m ² (55 lb/acre)	16
Fibre de bois	815 g/m ² (1 500 lb/acre)	70
Appareil d'ensemencement hydraulique	Ensemencement de 4 047 m ² (1 acre)	150
Agent d'étanchéité du sol	87 cm ³ /m ² (80 gal/acre)	387
Main-d'oeuvre à 4 \$ l'heure	3 hommes pendant 3 jours	288
Camion citerne	Approvisionnement en eau pour l'appareil d'ensemencement	100
TOTAL		1 298 \$/acre ou 0,32 \$/m ²

La quantité totale de matières solides ajoutées (fertilisant, fibres de bois, semences et liants à base de résine ou Soil Seal) équivaut à peu près à 1 kg/m^2 pour un coût total de $0,32 \text{ \$/m}^2$. Bien que ce montant doive être augmenté d'au moins 50 % pour compenser l'inflation depuis 1970, cette méthode demeure toutefois très intéressante par son coût et par la facilité de son application. Cependant, les résultats des travaux de végétalisation des terrils d'amiante faits jusqu'à présent indiquent qu'un ensemencement hydraulique du même type que celui dont la formule est donnée au Tableau VI-1 ne donnerait probablement pas de bons résultats. Même avec des formules contenant de grandes quantités de matières organiques (Moore et Zimmermann, 1980), les matières utilisées pour la bonification des terrils doivent être mélangées avec les matériaux de la couche superficielle (10 à 20 cm de profondeur).

Bonification du sol avec des déchets organiques et autres substances nutritives

L'addition de quantités substantielles (par mélange) de matières organiques (fumier, boues d'eaux usées) et de fertilisants inorganiques s'est avérée le moyen le plus prometteur de végétalisation totale. À la suite de leurs travaux, Moore et Zimmermann (1977) sont arrivés à un coût total approximatif de $3\,000 \text{ \$/hectare}$ ($0,30 \text{ \$/m}^2$). Ce montant comprend les frais de transport et une réserve prévue pour un traitement de suivi, bien qu'il faille plutôt compter $0,50 \text{ \$/m}^2$ pour compenser l'inflation et certains coûts imprévus. Encore une fois, une superficie totale de $1\,600$ hectares nécessiterait environ 8 millions de dollars pour la végétalisation complète des dépôts de résidus.

Bien que cette dernière approche semble de prime abord intéressante et réalisable, elle comporte toutefois une limitation importante : l'application de matières organiques à raison de 4 kg/m^2 nécessiterait 40 tonnes métriques de matières organiques par hectare, soit un total de $25\,000$ tonnes métriques (pour les seuls terrils de résidus). Étant donné qu'il n'y a actuellement aucune usine de traitement biologique d'eaux usées produisant des boues résiduaires et que le fumier produit sur les fermes est déjà réservé à d'autres utilisations, il y a pénurie évidente de matières organiques. L'utilisation d'autres résidus organiques doit donc être envisagée à cette fin, notamment les vieux papiers, les ordures ménagères, les résidus des usines de transformation des aliments, le contenu des fosses septiques, etc. probablement après un compostage adéquat.

4 RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Les diverses options de végétalisation des terrils de résidus et de stériles des mines d'amiante sont très peu nombreuses, même en faisant abstraction de toute considération économique. Les résidus des mines d'amiante ne supportent pas la croissance de la végétation à moins d'un important programme d'amendement chimique. Les résultats très limités dont nous disposons indiquent que les amendements chimiques (sources de calcium et de fertilisants à base de NPK) doivent être mélangés à la couche superficielle des résidus. En premier lieu, cette exigence élimine l'ensemencement hydraulique qui s'est avéré efficace dans d'autres cas. En second lieu, le mélange d'additifs chimiques à la couche superficielle des terrils nécessite une manutention mécanique des résidus susceptibles de produire d'importantes émissions de poussières; de plus, cette opération serait presque impossible sur les pentes abruptes. L'étalement d'une couche superficielle de terre végétale serait également très difficile en raison de la difficulté d'accès des pentes abruptes et de l'érosion rapide du sol sur ces pentes.

Comme l'ont indiqué les études de faisabilité technique, jusqu'à présent la méthode la plus prometteuse est celle qui fait appel simultanément à d'importants amendements organiques et de grandes quantités de fertilisants inorganiques, selon les essais de Moore et Zimmermann. Si, comme ils l'ont proposé, les matières utilisées pour l'amendement du sol doivent être mélangées dans la couche supérieure des résidus, cette méthode connaîtra les mêmes inconvénients que les autres méthodes nécessitant un traitement mécanique des résidus. De plus, l'utilisation intensive de cette méthode exigera d'énormes quantités de matières organiques qui ne sont pas disponibles sous les formes utilisées par Moore et Zimmermann (fumier, sciure de bois, boues d'égout). Cependant, le concept de résidus neutralisant d'autres résidus demeure très intéressant et pourrait probablement être examiné plus à fond dans le cas présent mais en considérant d'autres sources de matières organiques et une méthode d'application modifiée. Un plan de travail à long terme pourrait étudier la mise au point d'une méthode hybride se situant entre l'ensemencement hydraulique et l'épandage d'une couche de terre végétale, et consisterait à couvrir les terrils de résidus et de stériles d'une couche de 15 à 30 cm d'une boue organique contenant essentiellement :

- des matières organiques provenant d'ordures ménagères, de déchets de papiers usagés, de sous-produits du bois, de résidus des usines de transformation des aliments, de fosses septiques, de cendres, etc., finement broyées et ayant subi un compostage préalable (pour éliminer les odeurs et les organismes nuisibles)

- Fertilisants de type NPK
- Semences d'herbe ou de légumineuses
- Liants chimiques pouvant assurer les caractéristiques thixotropiques nécessaires pour prévenir le ruissellement lors du séchage, et obtenir une bonne stabilisation initiale.

Le coût de cette méthode devrait être raisonnable si les déchets organiques sont obtenus selon une formule de participation communautaire; cette méthode pourrait effectivement permettre de solutionner d'autres problèmes d'élimination des déchets. Les coûts associés aux semences, aux produits chimiques et au traitement des déchets organiques (broyage, compostage, production d'un paillis, pompage) ne peuvent être établis qu'à la suite d'essais sur place, mais ils ne devraient pas être excessifs étant donné que la plupart de ces opérations demandent une main-d'oeuvre relativement limitée.

En conclusion, nous pouvons réitérer que, même si la végétalisation est généralement considérée comme la meilleure technique de contrôle des émissions de poussières et de stabilisation des terrils, elle ne peut être considérée qu'à titre de solution à long terme pour les terrils inactifs. De plus, tout programme de remise en état visant la végétalisation complète des terrils de résidus et de stériles des mines d'amiante coûtera à l'industrie plus de 10 \$ millions de dollars.

VII **NORMES NORD-AMÉRICAINES POUR LES ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES
APPLICABLES À L'EXTRACTION ET AU BROYAGE DU MINÉRAI D'AMIANTE**

1 **RÈGLEMENTS SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE AU CANADA.**

Les règlements actuels ne permettent que 2 fibres de plus de 5 microns par centimètre cube de gaz sec et non dilué. Ces règlements visant à limiter les émissions d'amiante des opérations d'extraction et de broyage du minerai d'amiante ont été adaptés en vertu de la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique (1977). Ainsi, les règlements portent sur les sources des mines et des usines de traitement du minerai, y compris le concassage, le séchage, le broyage et le stockage du minerai sec. De plus, les règlements ont été modifiés en 1978 pour que l'article 8 de la version française ait la même signification que la version anglaise et en 1979 pour inclure les opérations de forage à sec dans les mines à ciel ouvert.

Les mesures des fibres d'amiante contenues dans les gaz émis dans l'air ambiant au cours des opérations d'extraction et de broyage du minerai d'amiante, selon les méthodes décrites dans le rapport du ministère de l'Environnement, SPE 1-AP-75-1, intitulé "Méthodes de référence normalisées pour le contrôle des sources : mesure des émissions d'amiante provenant des opérations d'extraction et de broyage de l'amiante" (1976). Les concentrations de fibres d'amiante dans les gaz émis dans l'air ambiant par les opérations de forage doivent être mesurées conformément à la méthode S.3 décrite dans le rapport 1-AP-75-1A du ministère des Pêches et de l'Environnement intitulé "Méthodes de référence normalisées en vue du contrôle des sources : mesure des émissions d'amiante provenant des opérations d'extraction et de broyage de l'amiante, Méthodes S-3 Échantillonnage des substances retenues par les filtres à manches des foreuses" (1978). Les mesures des émissions qui doivent être prises en présence des inspecteurs doivent être présentées tous les six mois dans le cas des opérations de broyage et tous les ans dans le cas du concassage, du séchage, du stockage du minerai sec et des opérations de forage à sec. Des journaux faisant état des cas de défauts et de pannes doivent également être tenus à jour.

Les opérations d'élimination des résidus des usines d'amiante qui doivent être considérées comme une source d'émission de poussières diffuses ne sont pas encore régies par des lois, mais un code de pratiques normalisées a été publié dans l'ANNEXE I du rapport SPE 3-AP-76-6 intitulé "Air Pollution Emissions and Control Technology Asbestos Mining and Milling Industry (aucune

traduction)" (Gagan, 1977). Afin de réduire la contamination de l'air ambiant, Gagan fait plusieurs recommandations, visant à réduire les émissions provenant des opérations de stockage des résidus, disant que si ces recommandations sont suivies, les opérations d'élimination des résidus peuvent être considérées comme respectant l'esprit des règlements promulgués pour limiter les émissions permises au cours des opérations de forage à sec, de concassage, de séchage, de stockage du minerai sec et de broyage dans l'industrie de l'extraction et du broyage de l'amiante.

2 RÈGLEMENTS SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE AUX ÉTATS-UNIS.

Il ne doit y avoir aucune émission visible dans l'air ambiant en vertu des normes des États-Unis sur les émissions sauf là où le propriétaire ou l'exploitant a déjà choisi d'utiliser des méthodes appropriées pour contenir les émissions de particules d'amiante avant que ces émissions ne passent de l'usine de transformation à l'air extérieur. Les normes s'appliquant aux émissions de fibres d'amiante en provenance des usines d'amiante, des routes, des usines de transformation, de la démolition et de la rénovation, de la vaporisation, des isolants, de l'élimination des résidus d'usine (fabrication, démolition, rénovation et vaporisation) et l'élimination des résidus des mines d'amiante sont fournies dans le "Subpart B - National Emission Standard for Asbestos - Code of Federal Regulation - Title: 40 CFR 61.22" (1982).

Les opérations d'élimination des résidus doivent se conformer aux directives sur les sites d'élimination des résidus telles que stipulées dans le "Subpart B - National Emission Standard for Asbestos - Code of Federal Regulation - Title: 40 CFR 61.25" (1982). Il ne doit y avoir aucune émission visible dans l'air extérieur provenant du site actif d'élimination des résidus miniers. Des affiches doivent être disposées à toutes les entrées et le long de la propriété. Le périmètre du site d'élimination doit être clôturé afin d'interdire l'entrée au public lorsqu'il n'existe aucune barrière naturelle. Le propriétaire ou l'exploitant peut choisir à la place des méthodes de contrôle approuvées des émissions. Tel que proposé, les résidus contenant de l'amiante déposés sur le site dans le courant de la journée ou au cours des 24 heures précédentes doivent être recouverts d'au moins 15 centimètres de matériau compact ne contenant pas d'amiante ou encore d'un agent abat-poussière à base de résine ou de pétrole qui lie la poussière et protège le terril contre l'érosion éolienne. D'autres méthodes de contrôle des émissions de poussières des terrils actifs peuvent être utilisées mais doivent d'abord être approuvées par l'administrateur.

3 RÉSUMÉ DES NORMES NORD-AMÉRICAINES SUR LES ÉMISSIONS D'AMIANTE PROVENANT DES OPÉRATIONS D'EXTRACTION ET DE BROYAGE DE L'AMIANTE

Les règlements canadiens permettent des émissions ponctuelles maximales de deux fibres de plus de 5 microns par centimètre cube de gaz sec non dilué. Dans le cas de l'élimination des résidus, les recommandations sont énumérées dans un code de pratiques normalisées (Gagan, 1977) afin de minimiser la contamination de l'air ambiant due aux opérations d'élimination des résidus considérés comme source d'émission de poussières diffuses.

Les Règlements des États-Unis sont basés sur des critères d'absence d'émissions visibles dans l'atmosphère et l'utilisation de méthodes de lutte efficaces contre les émissions ponctuelles et autres sources de type fugitif.

RÉFÉRENCES

- ALLAIRE, Y.; LATOUCHE, D.; COTE, H.; MILLER, R. (1976) Comité d'étude sur la salubrité dans l'industrie de l'amiante. Document 2. Justice, Équipe et Santé au travail. Considérations sociales et économiques sur l'assainissement du milieu de travail dans l'industrie de l'amiante. Environnement Québec, Centre de Documentation IFQ, 1976-12, v. 2 p. 132.

ANNEXE I

 Mots-clés et profil de recherche utilisés dans l'étude
 informatisée de la documentation

A	B	C	D
poussière	mine	environnement	contrôle
fibre	extraction	atmosphère	réduction
	minière	air	stabilisation
	amiante	eau	élimination
	chrysotile	écosystème	suppression
	résidus	écologie	surveillance
	décharge	émissions	mesure
	stériles	fugitives	teneur
	déblais	effluent	
	terrils	érosion	
	voie de	dispersion	
	roulage	lessivage	
	route		

La recherche a été faite en combinant un mot de chaque catégorie (de A à D).

ANNEXE II**ÉMISSIONS PONCTUELLES DES INDUSTRIES D'EXTRACTION ET DE BROUAGE
DE L'AMIANTE AU QUÉBEC EN 1983**

La présente annexe est un rapport fait par **J.F. Lebel** pour l'Association des mines d'amiante du Québec d'après les données des émissions de 1983 fournies par les laboratoires de contrôle environnemental des producteurs d'amiante du Québec. Les tableaux qui figurent dans le chapitre IV sont extraits de ce rapport qui est reproduit en entier pour plus de clarté.

ASSOCIATION DES MINES D'AMIANTE DU QUÉBEC

ÉMISSIONS PONCTUELLES DES INDUSTRIES D'EXTRACTION ET DE BROYAGE
DU MINÉRAI D'AMIANTE AU QUÉBEC EN 1983

PAR : JACQUES LEBEL
15 MARS 1984

ÉMISSIONS PONCTUELLES DES INDUSTRIES D'EXTRACTION ET DE BROYAGE DE L'AMIANTE AU QUÉBEC EN 1983

I RÉSUMÉ

Les facteurs d'émission de l'amiante des industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Québec ont été évalués à la suite d'un programme d'échantillonnage des sources ponctuelles. Les facteurs des émissions publiés antérieurement étaient basés sur des évaluations techniques et ces facteurs ne pouvaient être utilisés pour quantifier de façon précise les émissions d'amiante. Les évaluations des émissions ponctuelles des industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Québec nous ont permis d'établir un facteur d'émission globale de 5,8 grammes par tonne métrique d'amiante produite. Les émissions totales en 1983 provenant de toutes les sources ponctuelles des industries de l'extraction et du broyage de l'amiante au Québec étaient de 4 tonnes métriques.

II INTRODUCTION

En 1983, il y avait 8 mines productrices d'amiante au Québec pour une production totale de 680 414 tonnes métriques.

COMPAGNIE	AMIANTE PRODUIT (tonnes métriques)
Compagnie A	39 103
Compagnie B	100 330
Compagnie C	263 000
Compagnie D	124 904
Compagnie E	69 164
Compagnie F	83 913
- Mine 1	
- Mine 2	
- Mine 3	
TOTAL	680 414

III ANALYSE

On estime que les émissions les plus importantes des industries d'extraction et de broyage de l'amiante proviennent de l'extraction, du concassage, du séchage et du broyage. Les poussières diffuses (en quantités moindres) ne peuvent être évaluées de façon précise par les méthodes de surveillance actuelles et ne seront pas évaluées dans ce rapport.

L'évaluation des émissions d'amiante n'exigeait que peu d'hypothèses.

1. La teneur en amiante des émissions particulières totales a été supposée égale à 100 %, même si nous savions que la teneur maximale d'amiante était de 36 %, calculée en fonction des échantillons de poussières des études précédentes.
2. Lorsqu'il n'était pas enregistré de façon précise, le retour d'air dans le bâtiment était évalué à 50 % tout au long de l'année. Encore une fois, nous avons décidé d'être très prudents étant donné que des informations provenant des exploitations étudiées indiquaient des quantités d'air recirculées souvent supérieures à 65 %.
3. Lorsque seul était connu le décompte de fibres par centimètre cube (f/cm^3), le résultat gravimétrique correspondant exprimé en milligrammes par mètre cube (mg/m^3) était calculé à partir de la teneur équivalente de la concentration déjà trouvée dans d'autres filtres à sacs de la même usine et plus particulièrement, à partir des émissions des filtres à sacs principaux de l'usine. Toutes les émissions des filtres à sacs principaux des mines d'amiante du Québec sont vérifiées par gravimétrie à l'aide de l'appareil CGA - Ambient Particulate Monitor (APM) (Détecteur de matières particulaires). Des données comparatives obtenues avec un détecteur APM en utilisant la méthode de filtres à membranes (teneurs en fibres par cm^3) ont été obtenues pour toutes les exploitations de broyage de l'amiante au Québec et quelques fois pour les opérations de concassage. Le détecteur APM utilisé dans les mines d'amiante du Québec est vérifié régulièrement par comparaison avec des méthodes gravimétriques de filtration normalisées recommandées par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) pour vérifier les poussières inertes et nuisibles.

IV CALCUL

$$FE = \frac{DA \left[\frac{m^3}{min} \right] \cdot C \left[\frac{mg}{m^3} \right] \cdot 1440 \left[\frac{min}{jour} \right] \cdot D \left[\frac{jours}{ann\acute{e}e} \right]}{10^6 \left[\frac{mg}{kg} \right] \cdot AP \left[\frac{tonnes\ m\acute{e}triques}{ann\acute{e}e} \right]}$$

Où FE = Facteur d'émission en kg par tonne m\u00e9trique d'amiante produit en 1983.

DA = D\u00e9bit d'air \u00e9vacu\u00e9.

C = Concentration des mati\u00e8res particulaires totales selon l'\u00e9chantillonnage des sources d'\u00e9missions.

D = Nombre de jours d'exploitation en 1983.

AP = Amiante produit en 1983.

V R\u00c9SULTATS

Les facteurs d'\u00e9mission des industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Qu\u00e9bec sont donn\u00e9s aux Tableaux A.1 et A.2. Le facteur le plus \u00e9lev\u00e9 est de 30 grammes par tonne et le plus faible, de 2,6 grammes par tonne; le facteur d'\u00e9mission moyen est de 5,8 grammes par tonne.

TABLEAU A-1 ÉMISSIONS PONCTUELLES - 1983

COMPAGNIE	OPÉRATION	Débit total (m ³ /min)	Fibres/ cm ³	mg/m ³	Débit vers l'extérieur (non recirculé) m ³ /min	Jours d'exploitation en 1983	Production annuelle d'amiante par année)	Facteur d'émission (kg/tonne d'amiante produit)
COMPAGNIE A	Broyage	17 780	1,2	0,23	9 635	176		0,014
	Séchage	1 700	0,7	0,32	1 700	176		0,004
	Concassage et stockage du minerai	4 530	1,0	0,38	2 735	176	39 103	0,007 0,005
	Extraction					TOTAL		0,030
COMPAGNIE B	Broyage	37 158	0,7	0,04	20 111	149		0,0017
	Séchage	6 792	0,7	0,03	6 792	158		0,0005
	Concassage et stockage du minerai	4 282	0,7	0,09	4 282	149	100 330	0,0004
	Extraction	25	0,3	0,02	25	139		(*)
	TOTAL							0,0026
COMPAGNIE C	Broyage	165 652	0,1	0,014	111 850	215		0,0018
	Séchage	3 228	0,3	0,06	3 228	215		0,0002
	Concassage et stockage du minerai	7 221	0,4	0,09	7 221	215	263 000	0,0008
	Extraction	54	0,2	0,05	54	215		(*)
	TOTAL							0,0028

NOTA (*): Facteur d'émission négligeable.

TABLEAU A-2 ÉMISSIONS PONCTUELLES - 1983

COMPAGNIE	OPÉRATION	Débit total (m ³ /min)	Fibres/ cm ³	mg/m ³	Débit vers l'extérieur* (non recirculé) m ³ /min	Nombre de jours d'exploitation en 1983	Production annuelle (tonnes métriques d'amiante par année)	Facteur d'émission (kg/tonne d'amiante produit)
COMPAGNIE D	Broyage	33 984	0,2	0,04	16 992	251		0,0020
	Séchage	4 817	0,1	0,18	4 817	258		0,0026
	Concassage et stockage du minerai	3 552	0,6	0,13	3 552	258	124 908	0,0014
	Extraction	170	1,5	0,45	170	258		0,0002
						TOTAL		0,0062
COMPAGNIE E	Broyage	12 744	0,4	0,17	6 372	197		0,0044
	Séchage	2 518	1,3	0,06	2 518	180		0,0006
	Concassage et stockage du minerai	1 393	0,9	0,12	1 393	180	69 164	0,0006
	Extraction	148	2,0	0,14	148	180		0,0001
						TOTAL		0,0057
COMPAGNIE F	Broyage	84 269	0,9	0,05	46 732	138		0,0055
	Séchage	7 348	1,2	0,06	7 348	141		0,0011
	Concassage et stockage du minerai	13 651	0,7	0,02	13 651	141	83 913	0,0007
	Extraction							
						TOTAL		0,0073
						Facteur d'émission globale pour les mines d'amiante du Québec		0,0058

NOTA (1) : Aucune émission ponctuelle n'a été signalée.

VI CONCLUSION

Les industries d'extraction et de broyage de l'amiante du Québec utilisent actuellement les meilleures techniques de contrôle possibles pour filtrer la totalité de l'air empoussiéré des sources ponctuelles à l'aide de filtres à manches (dépoussiéreurs à sacs filtrants) avant d'évacuer l'air dans l'atmosphère. Les facteurs d'émission d'amiante publiés antérieurement pour des procédés d'extraction et de broyage ne correspondent pas à la situation actuelle étant donné qu'ils étaient calculés en fonction d'estimations techniques seulement, et que ces mêmes estimations ont été obtenues avant 1975.

En 1983, le facteur d'émission globale pour toutes les industries d'extraction et de broyage de l'amiante au Québec était de 0,0058 kg par tonne métrique d'amiante produit, soit plus de deux cents fois inférieur aux valeurs publiées en 1978 par G.S. Rajhans et O.M. Bragg pour l'évaluation des émissions de poussières d'amiante après l'application des meilleures mesures de contrôle dans les industries d'extraction et de broyage aux États-Unis.

ANNEXE III

SITES D'ÉLIMINATION DES RÉSIDUS D'AMIANTE AU QUÉBEC
(EXTRAIT DU "PIT SLOPE MANUAL" DE CANMET)

Les tableaux suivants résumant les données sur les sites d'élimination des résidus des mines d'amiante du Québec. Les tableaux sont extraits du "Pit Slope Manual" du CANMET (Murray, 1977).

MINE CANADIAN CAREY	LOCATION Eastern Townships, S.E. Que. 100 km N.E. of Sherbrooke, Que.	CONTACT Carey Canadian Mines Ltd., P.O. Box 190, East Broughton, Que.	WASTE TYPE TAILINGS	COMMODITY ASBESTOS																																																																										
ORE BODY GEOLOGY Sedimentary and volcanic rocks of Palaeozoic and Precambrian age. Mainly schists, quartzites, slates and metabasalts folded and metamorphosed during Ordovician period. Ore - Chrysotile Asbestos		CLIMATE ANNUAL MEAN TEMPERATURE °C 4 - 5.2 GROWING DEGREE DAYS 1667 FROST FREE PERIOD start Early June length in days 90 GROWING SEASON start Late April length in days 170 - 180 PRECIPITATION annual cm 107 growing season cm 57.2																																																																												
WASTE MINERALOGY 85-90% asbestos minerals, mainly chrysotile and antigorite. Occasional coating by silica, prucite and talc carbonate. 10-15% quartz, mafics		DISPOSAL METHOD & SIZE Flat top mounds with perimeter dam slopes of 30-40°.																																																																												
VEGETATION & COMMENTS Regional: Mixed broadleaf deciduous and evergreen forest. Volunteer: None on untouched tailings (even on tailings up to 60 years old) Some vegetation on areas where small portions of topsoil have been trapped on the surface; eg perennial rye grass, foxtail barley, Kentucky blue grass, white sweet clover, vetch, trembling aspen, pin-cherry, paper birch, balsam, poplar, willow, golden rod and New England aster. Introduced: Perennial rye grass, Kentucky blue grass, alfalfa, alsike clover, balsam fir, red spruce, and cottonwood. Test work being conducted under contract. Comments: No successful vegetation of entire waste area has been accomplished but much has gone into study. Numerous small plots have been set up by industry, government, and McGill University. Solutions have been obtained at high rates of mulch and fertilizer but is not necessarily economic or considered permanent. Studies are still underway.		PHYSICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PARTICLE SIZE</td> <td>% <2mm</td> <td>86</td> <td>80 - 99</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">DISTRIBUTION</td> <td>% sand</td> <td>91</td> <td>87 - 94</td> </tr> <tr> <td>% silt</td> <td>5</td> <td>3 - 7</td> </tr> <tr> <td>% clay</td> <td>4</td> <td>3 - 6</td> </tr> <tr> <td>MOISTURE</td> <td>0.1 bar %</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">RETENTION</td> <td>0.3 bar %</td> <td>12.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15 bar %</td> <td>4.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY</td> <td>%</td> <td>7.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BULK DENSITY</td> <td>g/cm³</td> <td>1.3</td> <td>0.9 - 1.6</td> </tr> <tr> <td>PARTICLE DENSITY</td> <td>g/cm³</td> <td>2.22</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					MEAN	RANGE	PARTICLE SIZE	% <2mm	86	80 - 99	DISTRIBUTION	% sand	91	87 - 94	% silt	5	3 - 7	% clay	4	3 - 6	MOISTURE	0.1 bar %			RETENTION	0.3 bar %	12.3		15 bar %	4.9		AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	%	7.4		BULK DENSITY	g/cm ³	1.3	0.9 - 1.6	PARTICLE DENSITY	g/cm ³	2.22																																		
		MEAN	RANGE																																																																											
PARTICLE SIZE	% <2mm	86	80 - 99																																																																											
DISTRIBUTION	% sand	91	87 - 94																																																																											
	% silt	5	3 - 7																																																																											
	% clay	4	3 - 6																																																																											
MOISTURE	0.1 bar %																																																																													
RETENTION	0.3 bar %	12.3																																																																												
	15 bar %	4.9																																																																												
AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	%	7.4																																																																												
BULK DENSITY	g/cm ³	1.3	0.9 - 1.6																																																																											
PARTICLE DENSITY	g/cm ³	2.22																																																																												
SOURCE Quebec Asbestos Mining Association Black Lake, Quebec Date: 1974		CHEMICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">pH</td> <td>water</td> <td>9.3</td> <td>9.1 - 9.4</td> </tr> <tr> <td>CaCl</td> <td>9.1</td> <td>8.9 - 9.3</td> </tr> <tr> <td>CATION EXCHANGE CAPACITY</td> <td>meq/100g</td> <td>59.9</td> <td>34.5 - 109.2</td> </tr> <tr> <td>ORGANIC MATTER</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELECTRICAL CONDUCTIVITY</td> <td>mmhos/cm</td> <td>0.9</td> <td>0.55 - 1.6</td> </tr> <tr> <td>SOLUBLE SALTS</td> <td>ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">AVAILABLE ELEMENTS</td> <td>P ppm</td> <td>0.7</td> <td>0.4 - 1.2</td> </tr> <tr> <td>K ppm</td> <td>2</td> <td>0 - 7</td> </tr> <tr> <td>Ca ppm</td> <td>8</td> <td>5 - 12</td> </tr> <tr> <td>Mg ppm</td> <td>194</td> <td>185 - 265</td> </tr> <tr> <td rowspan="11">TOTAL ANALYSIS</td> <td>N %</td> <td>0.003</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S %</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe %</td> <td>5.3</td> <td>2.7 - 7.3</td> </tr> <tr> <td>Al %</td> <td>0.4</td> <td>0.25 - 0.57</td> </tr> <tr> <td>Ca %</td> <td>0.3</td> <td>0 - 0.68</td> </tr> <tr> <td>Mg %</td> <td>23</td> <td>22.5 - 24.0</td> </tr> <tr> <td>Na %</td> <td>0.04</td> <td>0 - 0.11</td> </tr> <tr> <td>K %</td> <td>0.03</td> <td>0 - 0.05</td> </tr> <tr> <td>Si ppm</td> <td>1800</td> <td>1720 - 1910</td> </tr> <tr> <td>Cr ppm</td> <td>0.17</td> <td>0 - 0.35</td> </tr> <tr> <td>Ni ppm</td> <td>0.12</td> <td>0 - 0.24</td> </tr> </tbody> </table>					MEAN	RANGE	pH	water	9.3	9.1 - 9.4	CaCl	9.1	8.9 - 9.3	CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g	59.9	34.5 - 109.2	ORGANIC MATTER	%			ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm	0.9	0.55 - 1.6	SOLUBLE SALTS	ppm			AVAILABLE ELEMENTS	P ppm	0.7	0.4 - 1.2	K ppm	2	0 - 7	Ca ppm	8	5 - 12	Mg ppm	194	185 - 265	TOTAL ANALYSIS	N %	0.003		S %			Fe %	5.3	2.7 - 7.3	Al %	0.4	0.25 - 0.57	Ca %	0.3	0 - 0.68	Mg %	23	22.5 - 24.0	Na %	0.04	0 - 0.11	K %	0.03	0 - 0.05	Si ppm	1800	1720 - 1910	Cr ppm	0.17	0 - 0.35	Ni ppm	0.12	0 - 0.24
		MEAN	RANGE																																																																											
pH	water	9.3	9.1 - 9.4																																																																											
	CaCl	9.1	8.9 - 9.3																																																																											
CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g	59.9	34.5 - 109.2																																																																											
ORGANIC MATTER	%																																																																													
ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm	0.9	0.55 - 1.6																																																																											
SOLUBLE SALTS	ppm																																																																													
AVAILABLE ELEMENTS	P ppm	0.7	0.4 - 1.2																																																																											
	K ppm	2	0 - 7																																																																											
	Ca ppm	8	5 - 12																																																																											
	Mg ppm	194	185 - 265																																																																											
TOTAL ANALYSIS	N %	0.003																																																																												
	S %																																																																													
	Fe %	5.3	2.7 - 7.3																																																																											
	Al %	0.4	0.25 - 0.57																																																																											
	Ca %	0.3	0 - 0.68																																																																											
	Mg %	23	22.5 - 24.0																																																																											
	Na %	0.04	0 - 0.11																																																																											
	K %	0.03	0 - 0.05																																																																											
	Si ppm	1800	1720 - 1910																																																																											
	Cr ppm	0.17	0 - 0.35																																																																											
	Ni ppm	0.12	0 - 0.24																																																																											

MINE LAKE ASBESTOS	LOCATION Eastern Townships, S.E. Que. 80 km N.E. of Sherbrooke, Que.	CONTACT Lake Asbestos of Que. Ltd. Black Lake, Quebec.	WASTE TYPE TAILINGS	COMMODITY ASBESTOS																																																																										
ORE BODY GEOLOGY Sedimentary and volcanic rocks of Palaeozoic and Pre-cambrian age. Mainly schists, quartzites, slates and metabasalts folded and metamorphosed during Orodovician period. Ore - Chrysotile Asbestos		CLIMATE ANNUAL MEAN TEMPERATURE °C 4 - 5.2 GROWING DEGREE DAYS 1667 FROST FREE PERIOD start Early June length in days 90 GROWING SEASON start Late April length in days 170 - 180 PRECIPITATION annual cm 107 growing season cm 57.2																																																																												
WASTE MINERALOGY		DISPOSAL METHOD & SIZE Conical mounds; up to 122 m high with slopes of 30-40°.																																																																												
VEGETATION & COMMENTS Regional: Mixed broadleaf deciduous and evergreen forest. Volunteer: None on untouched tailings (even on tailings up to 50 years old). Some vegetation on areas where small portion of topsoil has been trapped on surface; eg perennial rye grass, foxtail barley, Kentucky blue grass, white sweet clover, vetch, trembling aspen, pin-cherry, paper birch, balsam, poplar, willow, golden rod and New England aster. Introduced: Perennial rye grass, Kentucky blue grass, alfalfa, alsika clover, balsam fir, red spruce, and cottonwood. Test work being conducted under contract. Comments: No successful vegetation of entire waste area has been accomplished but much has gone into study. Numerous small plots have been set up by industry, government, and McGill University. Solutions have been obtained at high rates of mulch and fertilizer but is not necessarily economic or considered permanent. Studies are still underway.		PHYSICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PARTICLE SIZE</td> <td>% <2mm</td> <td>40</td> <td>35 - 45</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">DISTRIBUTION</td> <td>% sand</td> <td>82</td> <td>83 - 92</td> </tr> <tr> <td>% silt</td> <td>6</td> <td>4 - 8</td> </tr> <tr> <td>% clay</td> <td>7</td> <td>4 - 9</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MOISTURE</td> <td>0.1 bar %</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">RETENTION</td> <td>0.3 bar %</td> <td>12.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15 bar %</td> <td>4.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY</td> <td>%</td> <td>7.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BULK DENSITY</td> <td>g/cm³</td> <td>1.1</td> <td>0.95 - 1.14</td> </tr> <tr> <td>PARTICLE DENSITY</td> <td>g/cm³</td> <td>2.22</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					MEAN	RANGE	PARTICLE SIZE	% <2mm	40	35 - 45	DISTRIBUTION	% sand	82	83 - 92	% silt	6	4 - 8	% clay	7	4 - 9				MOISTURE	0.1 bar %			RETENTION	0.3 bar %	12.3		15 bar %	4.9		AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	%	7.4		BULK DENSITY	g/cm ³	1.1	0.95 - 1.14	PARTICLE DENSITY	g/cm ³	2.22																															
		MEAN	RANGE																																																																											
PARTICLE SIZE	% <2mm	40	35 - 45																																																																											
DISTRIBUTION	% sand	82	83 - 92																																																																											
	% silt	6	4 - 8																																																																											
	% clay	7	4 - 9																																																																											
MOISTURE	0.1 bar %																																																																													
RETENTION	0.3 bar %	12.3																																																																												
	15 bar %	4.9																																																																												
AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	%	7.4																																																																												
BULK DENSITY	g/cm ³	1.1	0.95 - 1.14																																																																											
PARTICLE DENSITY	g/cm ³	2.22																																																																												
SOURCE Quebec Asbestos Mining Association Black Lake, Quebec Date: 1974		CHEMICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">pH</td> <td>water</td> <td>9.2</td> <td>9.1 - 9.3</td> </tr> <tr> <td>CaCl</td> <td>8.9</td> <td>8.7 - 9.2</td> </tr> <tr> <td>CATION EXCHANGE CAPACITY</td> <td>meq/100g</td> <td>65.5</td> <td>26.7 - 101.2</td> </tr> <tr> <td>ORGANIC MATTER</td> <td>%</td> <td>0.17</td> <td>0.12 - 0.26</td> </tr> <tr> <td>ELECTRICAL CONDUCTIVITY</td> <td>mmhos/cm</td> <td>0.6</td> <td>0.53 - 0.8</td> </tr> <tr> <td>SOLUBLE SALTS</td> <td>ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">AVAILABLE ELEMENTS</td> <td>P ppm</td> <td>1.2</td> <td>0.4 - 5.6</td> </tr> <tr> <td>K ppm</td> <td>4</td> <td>0 - 9</td> </tr> <tr> <td>Ca ppm</td> <td>7</td> <td>4 - 11</td> </tr> <tr> <td>Mg ppm</td> <td>145</td> <td>93 - 195</td> </tr> <tr> <td rowspan="11">TOTAL ANALYSIS</td> <td>H %</td> <td>0.005</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S %</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe %</td> <td>5.3</td> <td>2.7 - 7.3</td> </tr> <tr> <td>Al %</td> <td>0.4</td> <td>0.25 - 0.57</td> </tr> <tr> <td>Ca %</td> <td>0.3</td> <td>0 - 0.69</td> </tr> <tr> <td>Mg %</td> <td>23</td> <td>22.5 - 24.0</td> </tr> <tr> <td>Na %</td> <td>0.04</td> <td>0 - 0.11</td> </tr> <tr> <td>K %</td> <td>0.03</td> <td>0 - 0.05</td> </tr> <tr> <td>Si ppm</td> <td>1800</td> <td>1720 - 1910</td> </tr> <tr> <td>Cr ppm</td> <td>0.17</td> <td>0 - 0.35</td> </tr> <tr> <td>Ni ppm</td> <td>0.12</td> <td>0 - 0.24</td> </tr> </tbody> </table>					MEAN	RANGE	pH	water	9.2	9.1 - 9.3	CaCl	8.9	8.7 - 9.2	CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g	65.5	26.7 - 101.2	ORGANIC MATTER	%	0.17	0.12 - 0.26	ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm	0.6	0.53 - 0.8	SOLUBLE SALTS	ppm			AVAILABLE ELEMENTS	P ppm	1.2	0.4 - 5.6	K ppm	4	0 - 9	Ca ppm	7	4 - 11	Mg ppm	145	93 - 195	TOTAL ANALYSIS	H %	0.005		S %			Fe %	5.3	2.7 - 7.3	Al %	0.4	0.25 - 0.57	Ca %	0.3	0 - 0.69	Mg %	23	22.5 - 24.0	Na %	0.04	0 - 0.11	K %	0.03	0 - 0.05	Si ppm	1800	1720 - 1910	Cr ppm	0.17	0 - 0.35	Ni ppm	0.12	0 - 0.24
		MEAN	RANGE																																																																											
pH	water	9.2	9.1 - 9.3																																																																											
	CaCl	8.9	8.7 - 9.2																																																																											
CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g	65.5	26.7 - 101.2																																																																											
ORGANIC MATTER	%	0.17	0.12 - 0.26																																																																											
ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm	0.6	0.53 - 0.8																																																																											
SOLUBLE SALTS	ppm																																																																													
AVAILABLE ELEMENTS	P ppm	1.2	0.4 - 5.6																																																																											
	K ppm	4	0 - 9																																																																											
	Ca ppm	7	4 - 11																																																																											
	Mg ppm	145	93 - 195																																																																											
TOTAL ANALYSIS	H %	0.005																																																																												
	S %																																																																													
	Fe %	5.3	2.7 - 7.3																																																																											
	Al %	0.4	0.25 - 0.57																																																																											
	Ca %	0.3	0 - 0.69																																																																											
	Mg %	23	22.5 - 24.0																																																																											
	Na %	0.04	0 - 0.11																																																																											
	K %	0.03	0 - 0.05																																																																											
	Si ppm	1800	1720 - 1910																																																																											
	Cr ppm	0.17	0 - 0.35																																																																											
	Ni ppm	0.12	0 - 0.24																																																																											

COMMODITY	WASTE TYPE	CONTACT	LOCATION	MINE																																																				
ASBESTOS	TAILINGS	Asbestos Corp. Ltd. Thetford Mines, Que.	Eastern Townships, S.E. Quebec, 80 km N.E. Sherbrooke, Que.	THETFORD MINES																																																				
CLIMATE ANNUAL MEAN TEMPERATURE °C 4 - 5.2 GROWING DEGREE DAYS 1667 FROST FREE PERIOD start Early June length in days 90 GROWING SEASON start Late April length in days 170 - 180 PRECIPITATION annual cm 112 growing season cm 57.2 - 62.7			OREBODY GEOLOGY Sedimentary and volcanic rocks of Palaeozoic and Precambrian age. Mainly schists, quartzites, slates and metabasalts folded and metamorphosed during Ordovician period. Ore - Chrysotile Asbestos																																																					
DISPOSAL METHOD & SIZE Conical mounds; up to 122 m high with slopes of 30-40°			WASTE MINERALOGY																																																					
PHYSICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PARTICLE SIZE</td> <td>% <2mm 55</td> <td>50 - 65</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">DISTRIBUTION</td> <td>% sand 90</td> <td>89 - 92</td> </tr> <tr> <td>% silt 5</td> <td>4 - 6</td> </tr> <tr> <td>% clay 5</td> <td>4 - 6</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MOISTURE</td> <td>0.1 bar %</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">RETENTION</td> <td>0.3 bar % 12.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15 bar % 4.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY</td> <td>% 7.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BULK DENSITY</td> <td>g/cm³ 1.1</td> <td>0.95 - 1.14</td> </tr> <tr> <td>PARTICLE DENSITY</td> <td>g/cm³ 2.22</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				MEAN	RANGE	PARTICLE SIZE	% <2mm 55	50 - 65	DISTRIBUTION	% sand 90	89 - 92	% silt 5	4 - 6	% clay 5	4 - 6			MOISTURE	0.1 bar %		RETENTION	0.3 bar % 12.3		15 bar % 4.9				AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	% 7.4		BULK DENSITY	g/cm ³ 1.1	0.95 - 1.14	PARTICLE DENSITY	g/cm ³ 2.22		VEGETATION & COMMENTS Regional: Mixed broadleaf deciduous and evergreen forest. Volunteer: None on untouched tailings (even on tailings up to 60 years old). Some vegetation on areas where small portion of topsoil has been trapped on surface; eg perennial rye grass, foxtail barley, Kentucky blue grass, white sweet clover, vetch, trampling aspen, pin-cherry, paper birch, balsam, poplar, willow, golden rod and New England aster. Introduced: Perennial rye grass, Kentucky blue grass, alfalfa, alsike clover, balsam fir, red spruce, and cottonwood. Test work being conducted under contract. Comments: No successful vegetation of entire waste area has been accomplished but much has gone into study. Numerous small plots have been set up by industry, government, and McGill University. Solutions have been obtained at high rates of mulch and fertilizer but is not necessarily economic or considered permanent. Studies are still underway.																			
	MEAN	RANGE																																																						
PARTICLE SIZE	% <2mm 55	50 - 65																																																						
DISTRIBUTION	% sand 90	89 - 92																																																						
	% silt 5	4 - 6																																																						
	% clay 5	4 - 6																																																						
MOISTURE	0.1 bar %																																																							
RETENTION	0.3 bar % 12.3																																																							
	15 bar % 4.9																																																							
AVAILABLE WATER STORAGE CAPACITY	% 7.4																																																							
BULK DENSITY	g/cm ³ 1.1	0.95 - 1.14																																																						
PARTICLE DENSITY	g/cm ³ 2.22																																																							
CHEMICAL PROPERTIES <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MEAN</th> <th>RANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">pH</td> <td>water 9.1</td> <td>9.0 - 9.2</td> </tr> <tr> <td>CaCl 8.8</td> <td>8.7 - 8.9</td> </tr> <tr> <td>CATION EXCHANGE CAPACITY</td> <td>meq/100g 54.6</td> <td>31.7 - 71.9</td> </tr> <tr> <td>ORGANIC MATTER</td> <td>% 0.38</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELECTRICAL CONDUCTIVITY</td> <td>mmhos/cm 0.67</td> <td>0.52 - 0.83</td> </tr> <tr> <td>SOLUBLE SALTS</td> <td>ppm</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">AVAILABLE ELEMENTS</td> <td>P ppm 0.6</td> <td>0 - 1.6</td> </tr> <tr> <td>K ppm 2</td> <td>0 - 4</td> </tr> <tr> <td>Ca ppm 10</td> <td>8 - 12</td> </tr> <tr> <td>Mg ppm 155</td> <td>116 - 193</td> </tr> <tr> <td rowspan="12">TOTAL ANALYSIS</td> <td>H % 0.004</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe % 5.3</td> <td>2.7 - 7.3</td> </tr> <tr> <td>Al % 0.4</td> <td>0.25 - 0.57</td> </tr> <tr> <td>K % 0.03</td> <td>0 - 0.05</td> </tr> <tr> <td>Na % 0.04</td> <td>0 - 0.11</td> </tr> <tr> <td>Mg % 23</td> <td>22.5 - 24.0</td> </tr> <tr> <td>Ca % 0.3</td> <td>0 - 0.68</td> </tr> <tr> <td>Si ppm 1800</td> <td>1720 - 1910</td> </tr> <tr> <td>Cr ppm 0.17</td> <td>0 - 0.35</td> </tr> <tr> <td>Ni ppm 0.12</td> <td>0 - 0.24</td> </tr> </tbody> </table>				MEAN	RANGE	pH	water 9.1	9.0 - 9.2	CaCl 8.8	8.7 - 8.9	CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g 54.6	31.7 - 71.9	ORGANIC MATTER	% 0.38		ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm 0.67	0.52 - 0.83	SOLUBLE SALTS	ppm		AVAILABLE ELEMENTS	P ppm 0.6	0 - 1.6	K ppm 2	0 - 4	Ca ppm 10	8 - 12	Mg ppm 155	116 - 193	TOTAL ANALYSIS	H % 0.004		S %		Fe % 5.3	2.7 - 7.3	Al % 0.4	0.25 - 0.57	K % 0.03	0 - 0.05	Na % 0.04	0 - 0.11	Mg % 23	22.5 - 24.0	Ca % 0.3	0 - 0.68	Si ppm 1800	1720 - 1910	Cr ppm 0.17	0 - 0.35	Ni ppm 0.12	0 - 0.24	SOURCE Quebec Asbestos Mining Association Black Lake, Quebec Date: 1974	
	MEAN	RANGE																																																						
pH	water 9.1	9.0 - 9.2																																																						
	CaCl 8.8	8.7 - 8.9																																																						
CATION EXCHANGE CAPACITY	meq/100g 54.6	31.7 - 71.9																																																						
ORGANIC MATTER	% 0.38																																																							
ELECTRICAL CONDUCTIVITY	mmhos/cm 0.67	0.52 - 0.83																																																						
SOLUBLE SALTS	ppm																																																							
AVAILABLE ELEMENTS	P ppm 0.6	0 - 1.6																																																						
	K ppm 2	0 - 4																																																						
	Ca ppm 10	8 - 12																																																						
	Mg ppm 155	116 - 193																																																						
TOTAL ANALYSIS	H % 0.004																																																							
	S %																																																							
	Fe % 5.3	2.7 - 7.3																																																						
	Al % 0.4	0.25 - 0.57																																																						
	K % 0.03	0 - 0.05																																																						
	Na % 0.04	0 - 0.11																																																						
	Mg % 23	22.5 - 24.0																																																						
	Ca % 0.3	0 - 0.68																																																						
	Si ppm 1800	1720 - 1910																																																						
	Cr ppm 0.17	0 - 0.35																																																						
	Ni ppm 0.12	0 - 0.24																																																						