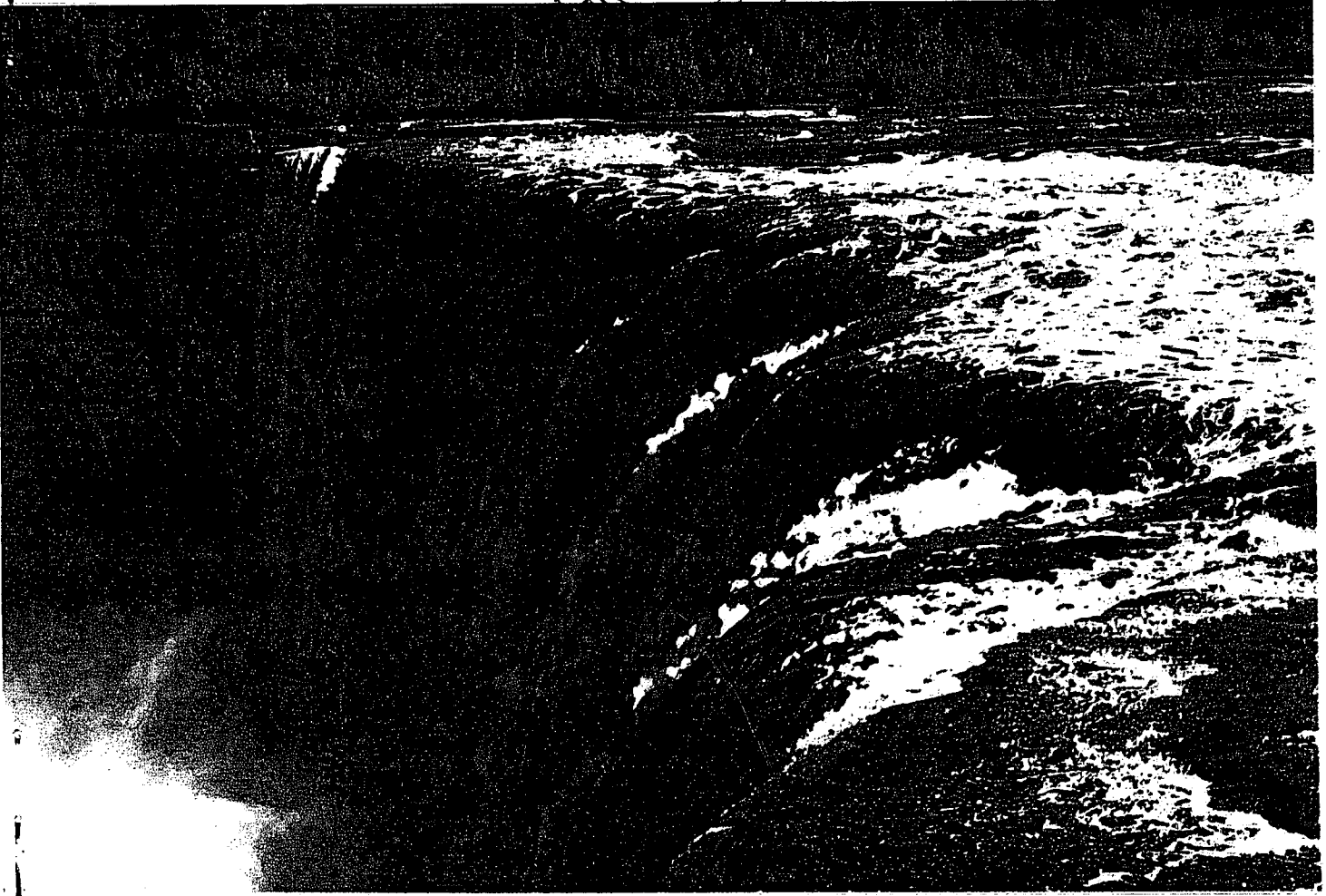


Variations et mécanismes de  
distribution des fibres d'amiante  
dans les cours d'eau

H. Schindler et al.



ETUDE N° 118 - COLLECTION DES RAPPORTS  
TECHNIQUES  
DIRECTION GÉNÉRALE DES TERRES INTÉRIEURES  
RÉGION DU PACIFIQUE ET DU NORD  
DIRECTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU  
VANCOUVER, COLOMBE BRITANNIQUE, 1981

GB  
707  
C338  
no. 118F



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

# Variations et mécanismes de distribution des fibres d'amiante dans les cours d'eau

H. Schreier et J. Taylor

ÉTUDE N° 118, COLLECTION DES RAPPORTS  
TECHNIQUES

*DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES  
RÉGION DU PACIFIQUE ET DU YUKON  
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX  
VANCOUVER, COLOMBIE-BRITANNIQUE, 1981*

Canada

# Table des matières

	Page
RÉSUMÉ .....	v
ABSTRACT .....	v
OBJET ET LIMITES DE L'ÉTUDE .....	1
ÉTUDE DES FIBRES D'AMIANTE DANS LE CYCLE HYDROLOGIQUE .....	1
Historique .....	1
Concentration des fibres d'amiante dans les différentes partie du cycle hydrologique .....	2
Aspects sanitaires de l'ingestion des fibres contenues dans l'eau .....	3
Sommaire .....	3
ORIGINE ET DISTRIBUTION DES FIBRES D'AMIANTE DANS LE BASSIN DE LA SUMAS .....	4
Introduction .....	4
Glissement de terrain .....	4
Programme d'échantillonnage .....	4
Méthode d'analyse de l'amiante .....	6
Distribution spatiale des fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas .....	6
Distribution temporelle des fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas .....	8
Comparaison entre les variations spatiales et temporelles dans les concentrations des fibres d'amiante .....	9
MÉCANISMES DE TRANSPORT ET INTERACTION FIBRES/SÉDIMENTS .....	9
Expériences de décantation en laboratoire avec des échantillons de sédiments du lit .....	9
Rapprochement des résultats de laboratoire et des données sur les cours d'eau .....	12
RELATION ENTRE LA QUALITÉ DE L'EAU ET LES FIBRES D'AMIANTE .....	13
CONCLUSIONS .....	14
Variations spatiales dans les concentrations en fibres d'amiante .....	14
Variations temporelles des concentrations en fibres d'amiante .....	16
Comparaison entre les variations spatiales et temporelles .....	16
Mécanismes possibles de transport .....	16
Relations entre la qualité de l'eau et la concentration en fibres d'amiante .....	16
REMERCIEMENTS .....	16
RÉFÉRENCES .....	17

## Tableaux

1. Concentrations des fibres d'amiante à toutes les stations d'échantillonnage .....	7
2. Variations aval dans la Sumas en période de crue, le 18 décembre 1979 .....	12
3. Différences dans les concentrations en amiante entre les stations témoins de la Sumas et du ruisseau Swift .....	12

# Illustrations

	Page
Figure 1. Parcours de l'amiante dans le cycle hydrologique. ....	2
Figure 2. Situation de la région étudiée. ....	4
Figure 3. Glissement de terrain actif dans la section supérieure du ruisseau Swift la 5 juin 1979, le 23 février 1980, le 17 juin 1980. ....	5
Figure 4. Diagramme schématique indiquant l'emplacement des stations d'échantillonnage dans le bassin de la Sumas. ....	6
Figure 5. Enregistrement du débit de la Sumas et dates d'échantillonnage. ....	6
Figure 6. Distribution des concentrations de fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas. ....	7
Figure 7. Mesures du débit pendant l'échantillonnage de l'amiante dans le bassin de la Sumas. ....	7
Figure 8. Distribution saisonnière des fibres d'amiante dans la Sumas. ....	8
Figure 9. Distribution saisonnière des fibres d'amiante dans le ruisseau Swift. ....	8
Figure 10. Débit moyen du ruisseau Swift. ....	8
Figure 11. Diagramme de dispersion entre le débit et les concentrations en fibres d'amiante. ....	9
Figure 12. Comparaison entre les variations temporelles et spatiales dans les concentrations en fibres d'amiante. ....	9
Figure 13. Expérience de décantation en double des sédiments de la Sumas. ....	10
Figure 14. Expérience de décantation des sédiments du ruisseau Swift. ....	10
Figure 15. Relation entre la taille des fibres d'amiante et la durée de la décantation. ....	11
Figure 16. Différences saisonnières dans la taille des fibres d'amiante dans le ruisseau Swift en amont de la confluence avec la Sumas. ....	12
Figure 17. Variabilité du SiO <sub>2</sub> , du sulfate et du fer dans le bassin de la Sumas. ....	13
Figure 18. Variabilité du calcium, du magnésium et du potassium dans le bassin de la Sumas. ....	14
Figure 19. Variabilité du pH, de la conductivité spécifique et du chlorure dans le bassin de la Sumas. ....	14
Figure 20. Comparaison dans la chimie de l'eau entre le ruisseau Swift et la Sumas. ....	15
Figure 21. Diagramme ternaire Mg-Si-Fe montrant les différences dans la chimie de l'eau entre le ruisseau Swift et la Sumas. ....	16

## Résumé

Lors d'une étude de dix mois sur les eaux de la rivière Sumas en Colombie-Britannique et dans l'État de Washington, on a mesuré la concentration en fibres d'amiante. Un glissement de terrain dans un affluent d'amont a exposé la roche de fond, riche en serpentine, et cette source influence la concentration en fibres d'amiante de toute la section inférieure de la rivière, jusqu'à la frontière internationale. Les teneurs normales dans la région étaient quelque peu plus basses que celles des eaux touchées par le glissement de terrain, mais elles restaient néanmoins élevées avec des concentrations atteignant  $10^{10}$  fibres/litre. Pendant la saison 1979-1980 on a prélevé des échantillons à six stations lors de phénomènes hydrologiques importants. À toutes les stations on a constaté des fluctuations saisonnières de la teneur en amiante pouvant atteindre quatre ordres de grandeur. On a de plus noté de grandes différences entre les stations ( $10^8$  à  $10^{13}$  fibres/L). Ceci indique que des échantillons simples, prélevés occasionnellement, fournissent une base de données insuffisante pour mesurer la teneur en amiante d'un cours d'eau.

Une expérience de laboratoire a été effectuée avec des sédiments de la rivière pour mieux comprendre le mécanisme de sédimentation et de transport des fibres. On a constaté qu'en l'absence de turbulence et de mouvement de l'eau, les fibres d'amiante en suspension finissent par se précipiter. Le taux de sédimentation diminue avec le temps et les fibres les plus petites semblent rester en suspension plus longtemps que les plus grosses. Quelques indications de ce phénomène ont également été constatées à une station où les plus fortes concentrations en amiante et la plus vaste gamme de dimensions des fibres ont été observées pendant la période d'écoulement maximal alors que les plus faibles concentrations et la plus petite gamme de dimensions des fibres étaient observées pendant les périodes de débit minimal. Malheureusement, ce phénomène n'a pu être observé de façon constante et l'interférence des autres particules pendant la décantation pourrait être la cause du mode plus complexe de décantation des fibres d'amiante.

Aucune relation directe entre la chimie de l'eau et la concentration en fibres d'amiante n'a été observée. Il y avait des différences marquées entre la chimie de l'eau des échantillons provenant de la zone du glissement de terrain et celle de l'eau provenant de régions non touchées. Cela signifie que les données chimiques peuvent servir à repérer l'emplacement de la source, mais qu'elles ne peuvent pas permettre d'obtenir la concentration en fibres d'amiante.

## Abstract

Asbestos fibre concentrations were determined in a ten-month study on the Sumas River in British Columbia and Washington State. An active landslide in a headwater tributary has exposed asbestos-rich serpentine bedrock, and this source influences asbestos fibre concentration of the entire downstream section of the river to the international border. Regional background levels were found to be somewhat lower than the water affected by the slide, but nevertheless the values were high concentrations of up to  $10^{10}$  fibres/litre. Six stations were sampled during the major hydrologic events of the 1979-1980 season, and all showed seasonal fluctuations in asbestos concentration, some as high as four orders of magnitude. In addition, great differences in concentrations were also found between stations ( $10^8$  -  $10^{13}$  fibres/litre). This suggests that occasionally collected grab samples provide an insufficient data base for asbestos analysis of streamwater.

A laboratory settling experiment, which used stream bed sediments, was carried out to study the mechanism of transport of fibres. Evidence was produced to suggest that suspended asbestos fibres settle to the bottom in the absence of turbulence and water movement. The rate of settling decreases with time, and smaller fibres appear to remain in suspension longer than larger fibres. Some limited evidence of this process was also found in one stream station where the highest asbestos concentrations and the largest range in fibre size were observed during maximum streamflow and the lowest asbestos concentrations and smallest range in fibre size, during minimum streamflow. Unfortunately, this process could not be identified consistently, and particle interferences during the settling process are thought to be the cause of the more complex settling pattern of asbestos fibres.

No direct relationship was observed between water chemistry and asbestos fibre concentration. Distinct differences in water chemistry were apparent between the water samples from the landslide area and those unaffected by the slide. This indicates that chemical data can be used in the identification of source area location, but asbestos concentrations cannot be derived from the chemical data alone.

# Variations et mécanismes de distribution des fibres d'amiante dans les cours d'eau

H. Schreier et J. Taylor

## OBJET ET LIMITES DE L'ÉTUDE

Les problèmes liés à la concentration de fibres d'amiante dans les eaux réceptrices ont été examinés dans un récent rapport de Schreier et Taylor (1980). Peu de recherches ont été orientées, sur la détermination des causes des variations dans les fibres d'amiante ou sur les mécanismes de transport de ces fibres dans un cours d'eau. Vu l'inquiétude persistante à propos des fibres d'amiante dans les approvisionnements en eau, il a semblé opportun d'entreprendre une étude consacrée à l'examen des variations spatiales et saisonnières des concentrations de fibres d'amiante dans les cours d'eau et à l'identification des mécanismes de transport. Les résultats des recherches présentés dans ce rapport sont le fruit d'une année d'étude dans le bassin de la rivière Sumas qui coule dans l'État de Washington et en Colombie-Britannique.

Un certain nombre de récentes études sur l'amiante ont été publiées mais n'avaient pas été considérées dans l'examen précédent. Pour répondre à l'intérêt de nombreux organismes de protection de la santé et de l'environnement, un sommaire mis à jour a été fourni, soulignant la documentation liée plus spécialement à l'amiante et publiée de 1977 à 1980. Suit une discussion traitant de trois sujets:

- (1) Sources et distribution des fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas.
- (2) Mécanismes de transport et interaction fibres/sédiments.
- (3) Relations possibles entre les fibres d'amiante et la chimie de l'eau.

## ÉTUDE DES FIBRES D'AMIANTE DANS LE CYCLE HYDROLOGIQUE

### Historique

Amiante est le nom donné à deux types de silicates hydratés: l'amiante de serpentine (chrysotile) et l'amiante d'amphibole (actinolite, trémolite, crocidolite, anthophyllite et amosite). Ces minéraux sont constitués de fibres réfractaires de taille variable que l'on retrouve dans tout le

cycle hydrologique. Les fibres sont transportées par des processus éoliens et hydrologiques et, jusqu'à la récente introduction du microscope électronique à transmission, il n'existait aucune méthode analytique sûre pour quantifier la teneur en fibres dans l'eau. Au cours des quatre dernières années, des méthodes ont été mises au point qui utilisent la microscopie électronique à transmission (MET), la microscopie électronique à balayage (MEB), l'analyse par diffraction électronique et par dispersion des rayons X, qui permettent de compter avec précision les fibres et d'identifier celles de chrysotile et d'amphibole (Flickinger et Standridge, 1976; Gravati et coll., 1978; Hutchison et Whittaker, 1979). Après comparaison entre laboratoires, une technique qui utilise un filtre Nucléopore à revêtement de carbone s'est révélée fiable (Chatfield et coll., 1978; Chopra, 1978); cette méthode est actuellement utilisée par la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) et les scientifiques en recherches sur la présence d'amiante dans les ressources en eau aux États-Unis et au Canada. Chatfield et Dillon (1979) Schreier et Taylor (1980) et le Comité sur l'analyse de l'amiante (1977) ont donné une étude détaillée et une description de la méthode.

Il n'y a pas d'accord général entre les scientifiques sur la façon de quantifier les fibres d'amiante: par la masse, la taille, la fréquence ou la forme géométrique. La concentration des fibres (nombre de fibres par litre) et la longueur des fibres ( $\mu\text{m}$ ) dans les échantillons d'eau sont généralement fournies, mais il peut être aussi intéressant de connaître la masse des fibres et leur diamètre, particulièrement pour l'étude des mécanismes de transport. Du fait que nous travaillons avec des particules de la taille du micron, de telles mesures sont difficiles à effectuer et aucune technique précise n'a encore été mise au point pour étudier la masse ou le diamètre des fibres. La méthode pour compter les fibres est longue et fastidieuse; des méthodes de comptage automatique sont actuellement en cours d'évaluation, mais les résultats sont assez variables (Pavlidis et Steiglitz, 1978; Dixon et Taylor, 1979). La question de savoir pourquoi l'amiante est carcinogène reste encore à déterminer et il est donc nécessaire non seulement d'améliorer les méthodes d'analyse actuelles (Hunsinger et coll., 1980) mais aussi d'analyser les aspects physiques, chimiques et minéralogiques lorsque l'on évalue les concentrations d'amiante.

## Concentration des fibres d'amiante dans les différentes parties du cycle hydrologique

Les fibres d'amiante provenant de sources ponctuelles et non ponctuelles pénètrent toutes les parties du cycle hydrologique. Les différents parcours de l'amiante sont illustrés à la figure 1.

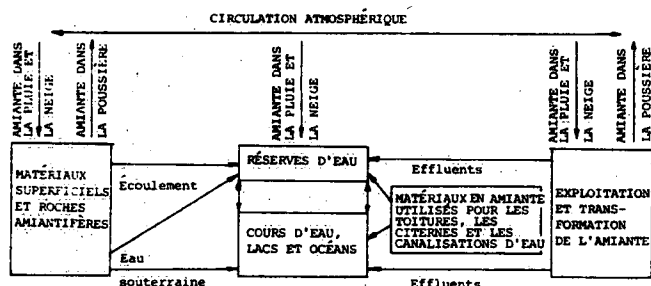


Figure 1. Parcours de l'amiante dans le cycle hydrologique.

Bien que peu de données soient disponibles, Hallenbeck et coll. (1977) et Hesse et coll. (1977) ont trouvé d'importantes concentrations de fibres d'amiante dans l'eau de pluie et Cunningham et Pontefract (1971) en ont détecté dans la neige. Les émissions aériennes provenant de sources industrielles ponctuelles ont été le plus intensivement évaluées et un niveau d'environ deux fibres par centimètre cube a été accepté comme norme internationale pour la santé (Charlebois, 1978). La plupart des études sur les émissions de fibres d'amiante ont insisté sur l'exploitation minière et la transformation de l'amiante, mais les émissions peuvent aussi résulter des activités de construction dans les roches amiantifères (Rohl et coll., 1977), de la circulation des véhicules sur des routes dont les matériaux de surface sont riches en amiante (Kruse et coll., 1974 et Cooper et coll., 1979a), et des garnitures de freins d'automobile (Alste et coll., 1976). Cooper et coll. (1979a) ont trouvé d'importantes concentrations d'amiante aérien dans la poussière causée par la circulation de motocyclettes dans une région riche en serpentine en Californie. Les précipitations agissent comme collecteur et introduisent donc des fibres d'amiante dans le cycle hydrologique. Malheureusement trop peu de mesures sont disponibles pour déterminer la contribution relative des fibres d'amiante d'origine aérienne.

De fortes concentrations de fibres d'amiante ont été signalées par Schreier et Taylor (1980) dans plusieurs cours d'eau qui ne sont pas influencés par l'exploitation minière ou la transformation industrielle de l'amiante. Le contact des cours d'eau avec des roches amiantifères semble être la cause des concentrations d'amiante dans ces eaux.

De même, on a trouvé que de l'eau souterraine provenant d'aquifères riches en amiante en contenait de fortes concentrations (Oliver et Murr, 1977). Il est évident que les apports naturels d'amiante sont plus importants que l'on ne pensait à l'origine, et quelques concentrations dans les cours d'eau semblent dépasser celles trouvées dans les effluents de l'industrie de l'amiante.

L'amiante est aussi utilisé dans un certain nombre de matériaux de construction, particulièrement dans les mélanges amiante-ciment utilisés pour les systèmes de stockage et de transport de l'eau. Les canalisations d'eau en amiante-ciment sont très utilisées car on leur attribue une forte résistance à la corrosion. Un certain nombre d'études ont été faites pour déterminer si ces tuyaux libéraient des fibres dans le système d'eau (Olson, 1974; Oliver et Murr, 1977; Hallenbeck et coll., 1978; Tarter, 1979). Toutes ces études ont conclu qu'il n'y a aucune augmentation significative de la concentration en fibres d'amiante dans l'eau qui a circulé dans des canalisations en amiante-ciment. Toutefois, Buelow et coll. (1980) ont fourni des preuves qui indiquent que des fibres sont libérées lorsque l'on perce ou entaille des canalisations à base d'amiante et, plus important encore, ils ont montré que certaines eaux sont tellement chimiquement corrosives qu'elles attaquent les canalisations et causent donc la libération de fibres d'amiante. Tarter (1979) a remarqué aussi des changements dans la distribution de la taille des fibres d'amiante dans l'eau avant et après avoir circulé dans des canalisations en amiante-ciment. Des concentrations d'amiante atteignant  $543 \times 10^6$  fibres/litre d'eau ont été aussi trouvées dans des citernes qui recueillent l'eau provenant des tuiles de toitures en amiante-ciment (Millette et coll., 1980).

Récemment, des enquêtes au niveau national ont été faites sur la teneur en amiante des réserves d'eau potable au Canada (Chatfield et Dillon, 1979) et aux États-Unis (Millette et coll., 1979) et des conclusions semblables ont été révélées dans les deux cas. Pour la majorité des eaux, les consommateurs ne sont pas exposés à des concentrations de fibres d'amiante dépassant un million de fibres par litre. Toutefois, une faible proportion de la population est exposée à des concentrations de  $100 \times 10^6$  fibres/litre et dans deux réserves d'eau canadiennes  $2000 \times 10^6$  fibres/litre ont été enregistrées. Il semble que la variabilité est généralement plus grande dans les échantillons pris dans des endroits ayant de fortes concentrations, et Chatfield et Dillon (1979) suggèrent qu'il serait préférable de réunir les échantillons sur de plus longues périodes afin d'obtenir une meilleure fiabilité, plutôt que d'utiliser des échantillons uniques. Il serait peut-être encore mieux d'examiner plusieurs échantillons à différents moments afin d'établir la gamme et les valeurs extrêmes.

La plupart des fibres d'amiante dans les réserves d'eau semblent provenir de sources naturelles. Il serait peut-être possible de faire la distinction entre les fibres d'amiante naturelles et les fibres traitées industriellement dans quelques-uns des échantillons d'eau, en utilisant la technique de microscopie électronique en fond noir décrite par Seshan (1978). Les fibres de chrysotile tendent à avoir des déformations micro-cristallines suite au traitement industriel et au processus de mélange. Les fibres naturelles non traitées ne semblent pas avoir de telles déformations et grâce à cette technique, il paraît possible d'identifier l'origine des fibres.

Finalement, la source de fibres d'amiante la plus commune est la roche-mère ultrabasique à serpentine. Les fibres peuvent être introduites directement dans les eaux par le lessivage de surface ou l'écoulement de l'eau souterraine. Les sols riches en serpentine qui sont généralement alcalins et ont une faible teneur en matières nutritives, sont souvent peu couverts de végétation et donc plus susceptibles à l'érosion superficielle, ce qui facilite l'introduction de fibres d'amiante dans les eaux. C'est un des problèmes les plus aigus du réaménagement des terrils des mines d'amiante (Moore et Zimmermann, 1975, 1977; et Meyer, 1980), puisqu'une rapide repousse de la végétation pourrait prévenir la plupart des problèmes d'érosion.

#### Aspects sanitaires de l'ingestion des fibres contenues dans l'eau

Les fibres d'amiante ont été identifiées comme agent carcinogène lorsqu'elles sont inhalées (p. ex. Selikoff et coll. 1964, 1972). Cependant, les problèmes de santé reliés aux fibres d'amiante ingérées sont jusqu'à maintenant très mal connus et on ne dispose d'aucune preuve concluante pour affirmer que les fibres ingérées soient cause de cancer gastro-intestinal (Olson, 1974; Levy et coll., 1976; Cunningham et coll., 1977; Wigle, 1977; Hallenbeck et coll., 1977; et Meigs et coll., 1980). Récemment, Cooper et coll. (1979b) et Kanarek et coll. (1980) ont fourni des données indiquant une association statistiquement significative entre les teneurs en amiante dans l'eau potable et certains types de cancer dans la région de San Francisco. L'association était la plus significative lorsque l'on utilisait des données sur une population stratifiée. La vésicule biliaire, les organes digestifs et le péritoine sont les organes les plus fréquemment atteints chez la femme. Il faudrait une recherche plus approfondie pour identifier avec une certitude accrue la relation directe de cause à effet, mais ces études sont particulièrement difficiles car il est possible qu'il s'écoule une période de latence de 15 à 40 ans entre l'exposition et la maladie (Levy et coll., 1976). En réponse à l'étude sur

San Francisco faite par Cooper et coll. (1979b), la USEPA a décidé de critères de qualité pour l'eau potable contenant de l'amiante (EPA 1980). Des expériences en laboratoire ont montré que les fibres d'amiante (particulièrement la chrysotile) sont toxiques pour plusieurs types de cellules et inhibent leur croissance (Neugut et coll., 1978; Mossman et coll., 1980; Reiss et coll., 1980a,b). De plus, Cook, et Olson (1979) ont trouvé que certaines fibres passent à travers la muqueuse gastro-intestinale des humains tandis que d'autres s'accumulent dans l'organisme. Il est nécessaire, toutefois, d'entreprendre des travaux supplémentaires pour déterminer si les fibres sont retenues en permanence et quels risques pour la santé elles entraînent.

Des chercheurs ont suggéré une variété de causes pour le cancer, mais à ce jour, il ne semble pas qu'il y ait accord sur le sujet. La contamination des fibres d'amiante par des hydrocarbures aromatiques polycycliques ou des métaux à l'état de trace, la géométrie des fibres, leur taille et l'état des extrémités sont peut-être des causes de cancer. De plus, Kanazawa et coll. (1979) ont suggéré que l'amiante pourrait agir comme catalyseur induisant une néoplasie, en stimulant l'activité virale et Navratil et coll. (1978) ont noté que d'autres facteurs peuvent aussi agir avec l'amiante pour provoquer le cancer. Le sujet est évidemment très complexe et, d'après Shugar (1979), il faudra attendre les résultats d'évaluations plus globales du sujet pour tirer des preuves concluantes.

#### Sommaire

Les fibres d'amiante entrent dans le cycle hydrologique à la fois par des sources naturelles (roches et minéraux superficiels très amiantifères) et par des sources chimiques (exploitation minière, traitement industriel et activités associées à la perturbation en surface des sols riches en amiante). Les fibres sont très mobiles et se retrouvent partout dans le cycle de l'eau. La majorité des réserves d'eau nord-américaines contiennent des concentrations de fibres d'amiante atteignant un million de fibres par litre et dans les régions très amiantifères, 200 millions. Contrairement aux risques certains qu'entraîne pour la santé l'inhalation de fibres d'amiante, on n'a pu montrer que l'amiante ingérée avec l'eau provoque le cancer. Jusqu'à maintenant une seule étude indique qu'il y a peut-être une relation entre de fortes teneurs en amiante dans l'eau potable et la mortalité par cancer (Cooper et coll. 1979b). Toutefois, de longues périodes de latence existent entre l'exposition aux fibres et l'apparition de la maladie, et il faudrait beaucoup plus de preuves médicales avant de tirer des conclusions concrètes.



## ORIGINE ET DISTRIBUTION DES FIBRES D'AMIANTE DANS LE BASSIN DE LA SUMAS

### Introduction

Les eaux d'amont de la Sumas proviennent des pentes occidentales des monts Cascade dans l'état de Washington et entrent au Canada près de Huntingdon. L'emplacement de la rivière est indiquée à la figure 2.

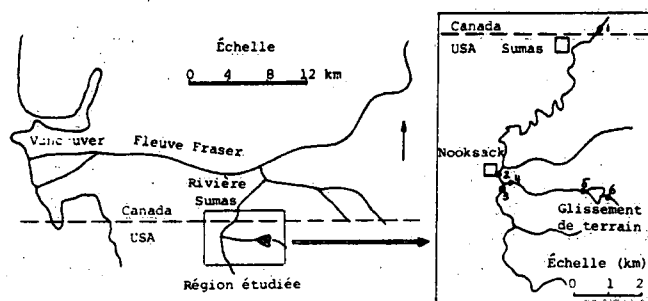


Figure 2. Situation de la région étudiée. Sur la carte, les situations d'échantillonnage sont: 1 - Rivière Sumas, à la frontière internationale; 2 - Rivière Sumas, à Nooksack; 3 - Rivière Sumas, en amont de la confluence du ruisseau Swift; 4 - Ruisseau Swift, en amont de la confluence de la rivière Sumas; 5 - Ruisseau Swift, en aval du glissement de terrain; 6 - Ruisseau Swift, en amont du glissement de terrain.

Entre janvier 1976 et décembre 1977, un certain nombre d'échantillons d'eau ont été recueillis dans la Sumas par la Pollution Control Branch du gouvernement de la Colombie-Britannique et la Direction de la qualité des eaux afin de déterminer la concentration en fibres d'amiante, d'examiner les sources possibles de l'amiante dans le bassin de la rivière, et de vérifier la précision analytique par comparaison entre plusieurs laboratoires. Entre janvier 1979 et février 1980, un nouveau programme d'échantillonnage a été entrepris en coopération avec le bureau de la USEPA à Seattle, pour déterminer les variations spatiales et temporelles des fibres d'amiante et pour examiner le mécanisme de transport de celles-ci dans le réseau de cette rivière. La Sumas a été choisie à cause de la pollution transfrontalière potentielle et parce qu'une source naturelle d'amiante avait été identifiée dans le bassin. Un glissement de terrain important a exposé la roche-mère amiantifère dans la section supérieure du bassin hydrographique; c'est ainsi que des fibres d'amiante sont directement introduites dans le cours d'eau. De plus, il faudrait remarquer que c'est sur une roche serpentine que se trouve la plupart de la région des eaux d'amont, cette roche peut être considérée comme une source importante, non ponctuelle, de fibres d'amiante pour le cours d'eau.

### Glissement de terrain

L'emplacement du glissement de terrain se trouve dans la région d'amont du ruisseau Swift, un affluent de la Sumas, et d'après Converse, Davis, Dixon Associates Inc. (1976) c'est un éboulement rotationnel complexe de blocs qui couvre environ 90 ha d'un affleurement de roches-mères riches en serpentine. L'instabilité s'est probablement produite à l'époque post-glaciaire, et le glissement a été actif pendant les 35 dernières années avec de fréquentes ruptures de la masse. Le mouvement vers le bas au cours des 10 dernières années a été estimé à 10 m par année (Converse, Davis, Dixon Associates Inc., 1976), et on considère que le glissement représente la principale source de sédiments pour la Sumas, son taux d'érosion étant évalué à 95 050 m<sup>3</sup>/an. L'activité du glissement de terrain était clairement évidente pendant la période d'étude et elle est illustrée à la figure 3 qui montre le changement dans la taille de la fente biseautée dans la zone du glissement de terrain. De plus, une extension de 150 m sur l'avant du glissement de terrain a suivi immédiatement une très forte pluie en décembre 1979. La région du glissement de terrain a été incluse dans le programme d'échantillonnage car elle fournit un excellent indicateur pour le contrôle de la libération de fibres naturelles d'amiante.

### Programme d'échantillonnage

À cause des grandes dépenses que représente l'analyse de l'amiante dans les échantillons, l'échantillonnage de la qualité de l'eau pour cette étude n'a pas pu être faite avec l'intensité habituelle. On a choisi un plan d'échantillonnage permettant de réduire le nombre d'échantillons au minimum réaliste, tout en maximisant la valeur de l'information. Ceci a été accompli en échantillonnant la Sumas de manière à représenter la gamme complète des conditions d'écoulement du cours d'eau. Les enregistrements des débits (Division des relevés hydrologiques du Canada, 1980) ont été utilisés pour déterminer les dates de collecte des échantillons. Six stations ont été choisies dans le bassin de la rivière et ils ont été échantillonnés cinq fois durant la période d'étude de 1979 à 1980. L'échantillonnage a eu lieu pendant la phase descendante du débit en juin, pendant l'étiage en août et en octobre, pendant la crue en décembre et pendant l'écoulement de fin d'hiver en février. L'illustration schématique de la figure 4 indique l'emplacement des stations d'échantillonnage, et la figure 5 présente l'enregistrement du débit au cours des quatre dernières années avec indication des dates de collecte des échantillons. Les stations d'échantillonnage sur le ruisseau Swift en amont de la région du glissement de terrain et sur la Sumas en amont de la confluence avec le ruisseau Swift ont été choisies parce qu'elles ne sont pas influencées par le glissement de terrain et pourraient donc être utilisées comme

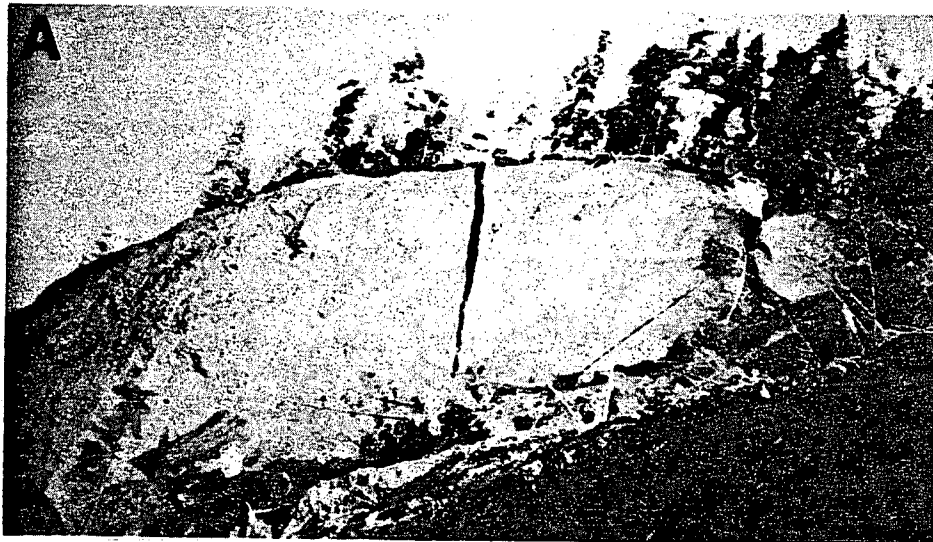


Figure 3. Glissement actif dans la section supérieure du ruisseau Swift: A - le 5 juin, 1979, B - le 23 février, 1980, C - le 17 juin, 1980.

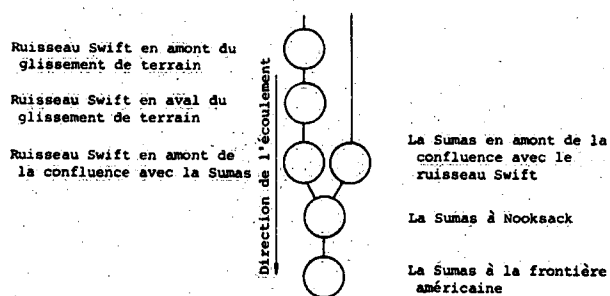


Figure 4. Diagramme schématique indiquant l'emplacement des stations d'échantillonnage dans le bassin de la Sumas.

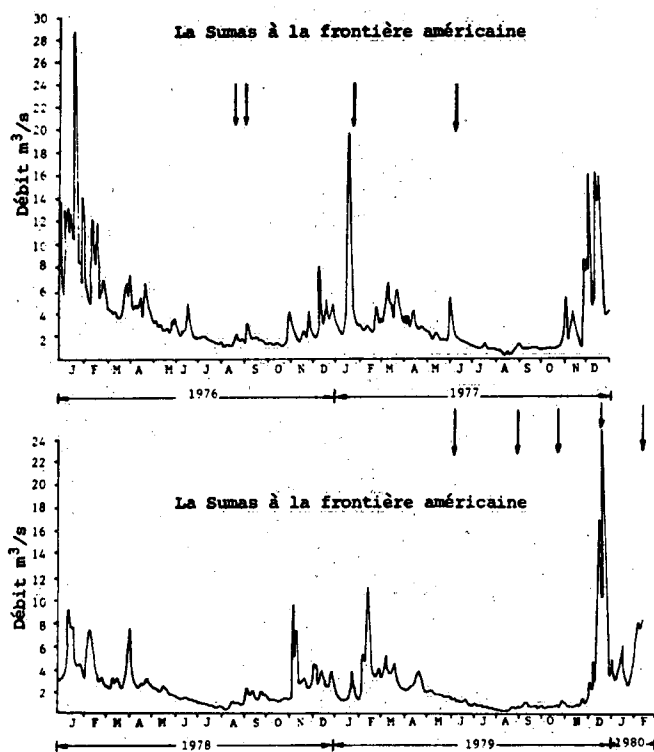


Figure 5. Enregistrement du débit de la Sumas et dates d'échantillonnage (les flèches indiquent la date d'échantillonnage).

stations témoins pour déterminer les concentrations régionales de fond en fibres d'amiante.

#### Méthode d'analyse de l'amiante

Des échantillons d'un litre d'eau ont été recueillis pour déterminer les fibres d'amiante et analyser la qualité de l'eau. Du chlorure mercurique (1 mL de  $HgCl_2$  à 2,7 %) a été ajouté comme produit de conservation aux échantillons à analyser pour l'amiante. La technique de microscopie électronique à transmission directe mise au point par le comité sur l'analyse de l'amiante (1977) a été utilisée pour

déterminer les concentrations en fibres d'amiante, et pour identifier le type et la taille des fibres. La technique est semblable à celle utilisée par la United States Environmental Protection Agency (Millet et coll., 1979) et a été réévaluée par Schreier et Taylor (1980). Les échantillons d'eau ont été filtrés à travers un filtre Nucléopore à mailles de  $0,1 \mu m$ . Les échantillons ont été ensuite enrobés de carbone, montés sur une grille, et le papier filtre a été dissous au chloroforme. La forme, la taille et la fréquence des fibres ont été ensuite examinées à l'aide du microscope électronique à transmission directe en grossissement de 300 à 100 000 fois. Les fibres tubulaires appartiennent au groupe d'amiante chrysotile et sont distinctes des fibres d'amiante amphibole qui forment des baguettes pleines. L'abondance des fibres est mesurée dans les carreaux du quadrillage et un minimum de 100 fibres par carreau est nécessaire pour garantir la fiabilité statistique. Les échantillons d'eau contenant des concentrations de fibres d'amiante dans la gamme  $10^5 - 10^9$  fibres/litre peuvent être examinés directement. Des échantillons contenant des concentrations supérieures doivent être dilués.

L'analyse de la fibre d'amiante a été faite par Levelton and Associates Ltd. à Vancouver qui avaient auparavant participé à l'analyse comparative entre laboratoires (Schreier et Taylor, 1980). Les analyses chimiques des échantillons d'eau ont été accomplies par le laboratoire de la Direction de la qualité des eaux à North Vancouver.

#### Distribution spatiale des fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas

Les concentrations de fibres d'amiante observées à toutes les stations sont résumées dans le tableau 1 et des diagrammes schématiques des valeurs sont fournis aux figures 6 et 7. À partir de ces chiffres, un certain nombre de constatations peuvent être faites à propos de la distribution spatiale des fibres d'amiante:

- De très fortes concentrations de fibres d'amiante ont été observées dans toutes les stations du bassin.
- Les concentrations les plus élevées en amiante ont été observées à la station immédiatement au-dessous du glissement de terrain et il y a généralement une diminution de la concentration au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette source.
- Les concentrations de fond observées aux deux stations d'échantillonnage non influencées par le glissement de terrain (le ruisseau Swift en amont du glissement de terrain et la Sumas en amont de la confluence du ruisseau Swift) sont importantes,

Tableau 1. Concentration des fibres d'amiante à toutes les stations d'échantillonnage (unité = nombre de fibres/litre)

Date	La Sumas à la frontière américaine	La Sumas à Nooksack	La Sumas en amont du ruisseau Swift	Le ruisseau Swift en amont de la Sumas	Le ruisseau Swift en aval du glissement de terrain	Le ruisseau Swift en amont du glissement de terrain
79-06-05	$1.9 \times 10^{10}$	$1.23 \times 10^{12}$	$5.67 \times 10^8$	$1.1 \times 10^{13}$	—	—
79-08-29	$7.5 \times 10^8$	$2.9 \times 10^{11}$	—	—	$1.5 \times 10^{12}$	$3.4 \times 10^9$
79-10-23	$4.6 \times 10^9$	$4.1 \times 10^9$	$4.5 \times 10^7$	$2.7 \times 10^9$	$4.7 \times 10^{12}$	$4.9 \times 10^9$
79-12-18	$1.2 \times 10^{11}$	$2.05 \times 10^{13}$	$1.9 \times 10^{10}$	$2.2 \times 10^{13}$	$3.0 \times 10^{13}$	$1.0 \times 10^{13}$
80-02-14	$1.0 \times 10^{11}$	$9.2 \times 10^{10}$	$2.8 \times 10^8$	$3.2 \times 10^{11}$	$6.0 \times 10^{11}$	$3.2 \times 10^9$

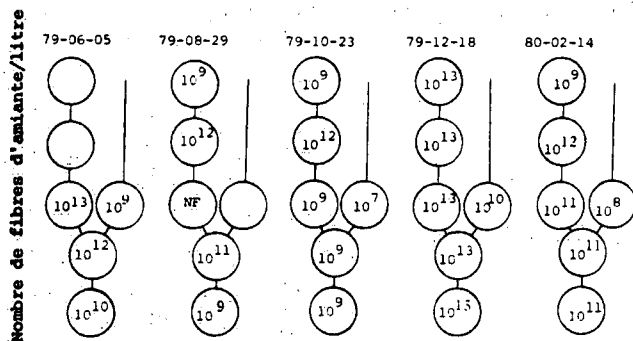


Figure 6. Distribution des concentrations de fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas (NF = pas d'écoulement).

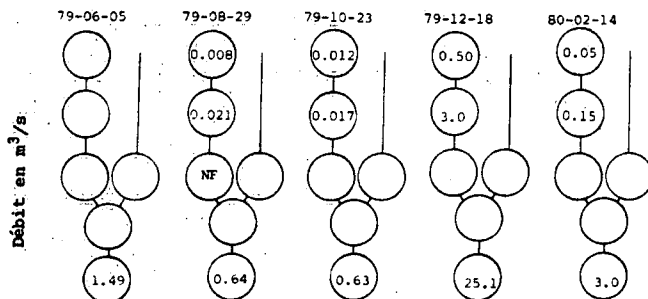


Figure 7. Mesures du débit pendant l'échantillonnage de l'amiante dans le bassin de la Sumas (NF = pas d'écoulement).

particulièrement si on les compare aux concentrations de fibres d'amiante ailleurs au Canada. Toutefois, les valeurs pour ces deux stations étaient généralement inférieures à celles d'autres stations d'échantillonnage sur la Sumas. En dépit des variations, les résultats indiquent l'influence évidente du glissement du terrain sur les concentrations en fibres d'amiante malgré les fortes concentrations de fond aux stations témoins. Une

observation intéressante a été faite sur place pendant l'échantillonnage du 18 décembre 1980. Ce jour là, les concentrations en fibres d'amiante dans le ruisseau Swift en amont du glissement de terrain atteignaient des valeurs égales à celles trouvées en aval de cet endroit. Ce fut le seul cas où les concentrations de fond n'étaient pas de manière significative inférieures à celles trouvées immédiatement en aval du glissement de terrain. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que l'échantillonnage eut lieu le jour du débit annuel maximal après une pluie importante de sept jours. Quelques heures après l'échantillonnage, une masse de terre, en se détachant du glissement de terrain lui-même a oblitéré totalement la station témoin d'échantillonnage. Une nouvelle station témoin a dû être établie à environ 400 mètres au-dessus de la précédente pour le reste de la période d'échantillonnage. Il semble que pendant l'échantillonnage du 18 décembre 1979, le gonflement du volume et des changements dans l'hydrologie souterraine aient eu lieu avant la rupture, ce qui aurait contaminé l'eau avec des fibres d'amiante.

- (d) Le 29 août 1979 le ruisseau Swift n'avait aucun écoulement de surface près de sa confluence avec la Sumas et les apports en eau souterraine provenant du ruisseau Swift étaient probablement faibles pendant cette période. En dépit de cela, de fortes concentrations de fibres d'amiante ont été observées à la station de la Sumas à Nooksack, ce qui peut suggérer qu'il existe un retard dans la chasse et la dilution du cours d'eau, mais il semble plus probable que la remise en suspension des dépôts en aval de la confluence, produite pendant une grande période de temps, influence ces niveaux et masque toute

nouvelle contribution et fluctuation provenant du ruisseau Swift. Dans ce contexte on devrait noter que l'effet de dilution en aval de la confluence Swift-Sumas n'est pas très prononcé, bien que le débit de la Sumas soit au moins sept fois plus grand que celui du ruisseau Swift.

- (e) Les variations entre les stations n'étaient pas constantes au cours de l'année, ce qui suggère que les conditions du site et les événements temporels ont un effet sur les concentrations.
- (f) Finalement, les concentrations en fibres d'amiante dans la Sumas sont influencées par une importante source ponctuelle (glissement de terrain) et une source non ponctuelle (géologie de la roche-mère). Cette dernière est responsable des fortes concentrations de fond trouvées dans la section supérieure de la rivière. Il est un peu plus difficile d'établir clairement la contribution proportionnelle de la roche-mère et d'autres stations d'échantillonnage devraient être choisies en fonction des changements principaux dans la géologie de la roche-mère dans ce bassin. Ce n'est qu'avec un tel réseau qu'il serait possible d'établir les niveaux régionaux d'amiante et les contributions des différentes sources.

#### Distribution temporelle des fibres d'amiante dans le bassin de la Sumas

À partir des données de la figure 6, les concentrations en fibres d'amiante semblent fluctuer avec le temps. En étudiant toutes les données disponibles sur l'amiante dans le bassin de la Sumas, on a trouvé une fluctuation saisonnière dans la concentration à toutes les stations d'échantillonnage de la Sumas (Figure 8). Les concentrations maximales en fibres d'amiante ont été observées pendant le débit maximal tandis que les valeurs les plus basses ont été mesurées pendant l'étiage de fin d'été (figures 6 et 7).

Ces fluctuations sont logiques même à la station de la Sumas qui n'est pas influencée par le glissement de terrain. Les données pour les stations sur le ruisseau Swift en amont et en aval du glissement de terrain sont tracées à la figure 9 et les valeurs correspondantes du débit sont données à la figure 10. Elles indiquent une association positive entre le débit et les concentrations en fibres d'amiante.

Une analyse de corrélation entre le débit et la concentration en fibres d'amiante n'a pas prouvé qu'il y avait

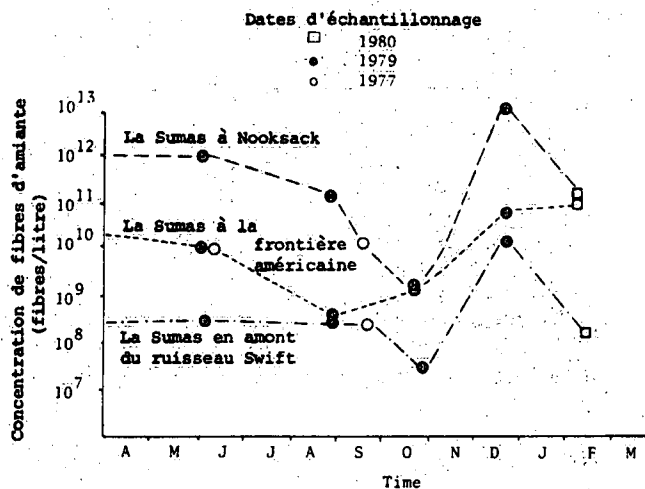


Figure 8. Distribution saisonnière des fibres d'amiante dans la Sumas.

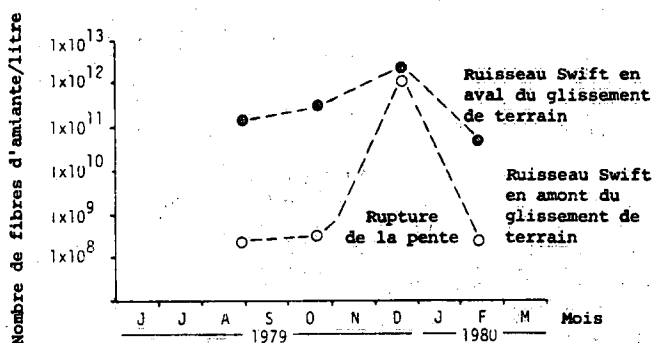


Figure 9. Distribution saisonnière des fibres d'amiante dans le ruisseau Swift.

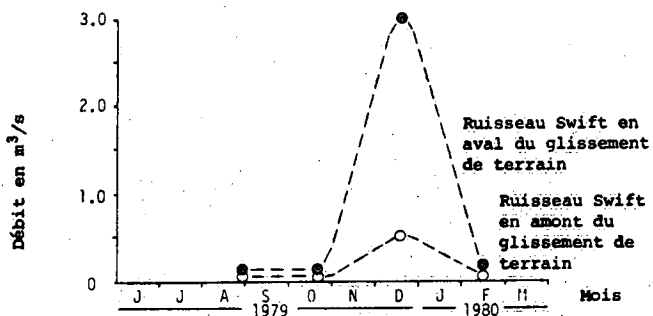


Figure 10. Débit moyen du ruisseau Swift.

une relation significative lorsque toutes les données provenant de tous les emplacements étaient réunies. Bien qu'une augmentation du débit à un endroit soit habituellement accompagnée d'une augmentation de la concentration en fibre d'amiante, il est probable que ce n'est pas l'importance du débit mais plutôt l'augmentation de la turbulence ou de la vitesse qui est associée à la concentration des fibres. Ceci est bien illustré dans la figure 11 qui montre les relations existant entre les concentrations en fibres d'amiante et le débit pour trois niveaux de débit ayant une différence d'environ un ordre de grandeur. En dépit de l'importance du débit, l'augmentation de celui-ci entraîne celle des fibres; ceci est probablement lié à une remise en suspension des fibres qui se sont accumulées dans les sédiments. La relation a été étudiée davantage avec des échantillons de sédiments dans une petite expérience en laboratoire et il en sera question plus loin.

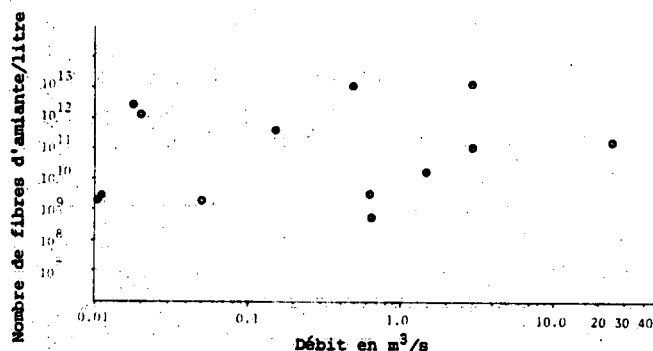


Figure 11. Diagramme de dispersion entre le débit et les concentrations en fibre d'amiante.

#### Comparaison entre les variations spatiales et temporelles dans la concentration des fibres d'amiante

Les variations spatiales et saisonnières sont comparées à la figure 12 qui montre l'écart saisonnier dans les concentrations pour chaque station et les variations spatiales pendant les cinq périodes d'échantillonnage. Sur cette figure on voit clairement que les variations sont significatives à la fois dans l'espace et dans le temps. Il y a de sérieuses implications pour l'échantillonnage, car cela montre clairement que des échantillons uniques pris occasionnellement ne sont pas suffisants pour déterminer les concentrations avec précision. Dans l'étude de la Sumas, des différences spatiales atteignant cinq ordres de grandeur et des différences temporelles atteignant quatre ordres de grandeur ont été observées.

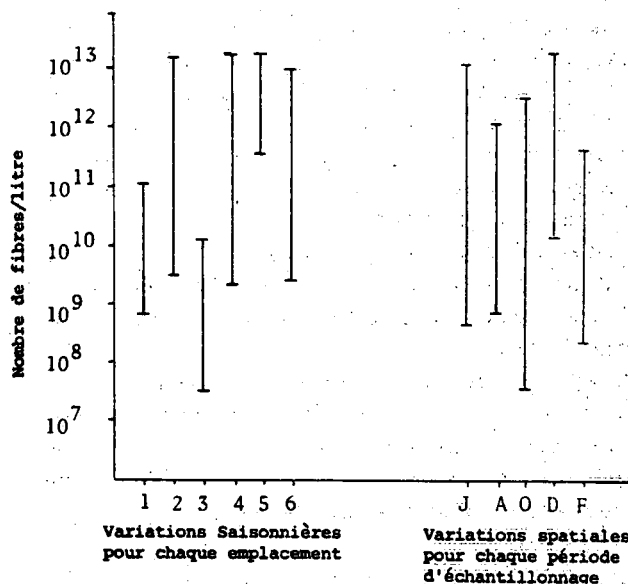


Figure 12. Comparaison entre les variations temporelles et spatiales dans les concentrations en fibre d'amiante. Emplacements: 1 - Rivière Sumas, à la frontière internationale; 2 - Rivière Sumas, à Nooksack; 3 - Rivière Sumas, en amont du ruisseau Swift; 4 - Ruisseau Swift, en amont de la confluence avec la Sumas; 5 - Ruisseau Swift, en aval du glissement de terrain; 6 - Ruisseau Swift, en amont du glissement de terrain. Dates: J - 5 juin, 1979; A - 29 août, 1979; O - 23 octobre 1979; D - 18 décembre 1979; F - 14 février, 1980.

## MÉCANISMES DE TRANSPORT ET INTERACTION FIBRES/SÉDIMENTS

### Expériences de décantation en laboratoire avec des échantillons de sédiments du lit

On avait d'abord postulé qu'en dépit de leur petite taille, les fibres d'amiante se comporteraient comme les autres particules de sédiments et qu'en l'absence de mouvement de l'eau, elles se déposeraient au fond d'un récipient. La seule différence serait que les vitesses de décantation pourraient être lentes et que toute légère perturbation pourrait remettre les fibres en suspension. L'examen des différentes vitesses de décantation par les méthodes de l'hydromètre et de la pipette (Day, 1950) est largement accepté comme moyen de déterminer la taille des particules dans les sols et d'étudier les sédiments. La méthode est basée sur la loi de Stokes qui dit que la vitesse de décantation d'une particule qui tombe, est directement proportionnelle au carré de sa taille, et qui suppose que les particules ne s'influencent pas mutuellement pendant leur chute.

Deux échantillons de sédiments ont été recueillis dans la Sumas à Nooksack et un dans le ruisseau Swift en amont de la confluence avec la Sumas. Dans chaque cas, l'eau a été décantée de ces sédiments et les échantillons ont été divisés en portions égales pour déterminer la teneur en eau et faire les expériences de décantation. L'expérience a été faite en double avec l'échantillon de Nooksack, mais une seule fois avec l'échantillon du ruisseau Swift, examiné pour des fins de comparaison. Les trois échantillons ont été soumis à trois expériences de décantation de longue durée. Un échantillon de sédiments de 32,5 g (poids anhydre) a été préparé pour les deux expériences avec l'échantillon de Nooksack, tandis que l'on a pris 19,5 g (poids anhydre) de sédiments de l'échantillon du ruisseau Swift. Chaque échantillon a été mis en suspension dans une éprouvette d'un litre, avec un litre d'eau distillée libre d'amiante. Les sédiments ont été mélangés vigoureusement avec un agitateur en téflon et des échantillons de 50 mL ont été retirés des 5 cm supérieurs de la surface de l'eau avec une pipette après une décantation de 0, 24, 72 et 144 h.

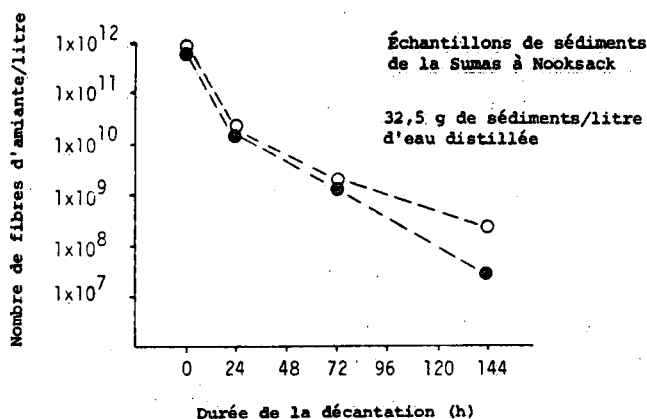


Figure 13. Expérience de décantation en double des sédiments de la Sumas.

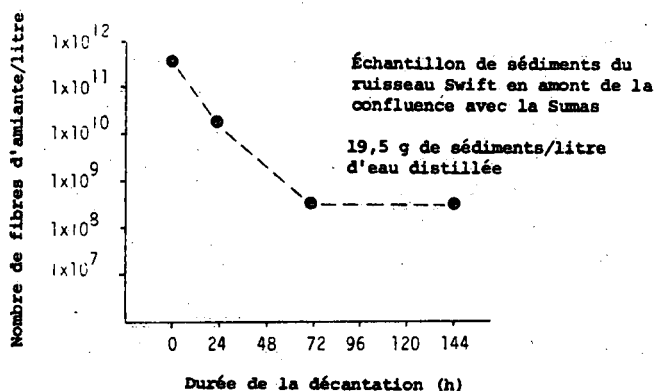


Figure 14. Expérience de décantation des sédiments du ruisseau Swift.

La manipulation de la pipette a été faite avec beaucoup de soin afin d'empêcher toute perturbation et de minimiser la remise en suspension de toute fibre déjà déposée. Tous les échantillons ont été analysés afin de déterminer la présence d'amiante; les résultats des expériences de décantation sont indiqués aux figures 13 et 14.

Les résultats s'accordaient de manière satisfaisante pour l'expérience en double. Le petit écart observé après 144 heures de sédimentation peut être attribué aux limites physiques des expériences. À ce stade, les particules inférieures à  $10 \mu\text{m}$  prédominent, tel que le prévoit la loi de Stokes, et les charges superficielles ainsi que les micro-turbulences pourraient avoir un effet important sur le processus de décantation et de suspension.

Une plus petite quantité de sédiments a été utilisée pour l'expérience sur l'échantillon du ruisseau Swift à cause de la plus forte concentration de fibres d'amiante dans cette eau. À nouveau, comme les expériences précédentes, les mêmes tendances générales ont été observées, ce qui suggère une relation exponentielle entre les concentrations en fibres d'amiante et la durée de la décantation.

D'après la loi de Stokes, on ne peut s'attendre à voir se déposer dans les 24 premières heures les particules de taille inférieure à  $2 \mu\text{m}$ . Toutefois, la diminution dans la concentration en fibres a été beaucoup plus prononcée pendant les 24 premières heures, mais a été suivie par un taux de décantation plus prévisible entre 24 et 144 heures. La rapidité de la décantation initiale des fibres pourrait provenir de plusieurs causes: les particules sédimentaires de la taille des limons et des argiles pourraient retenir et extraire les fibres d'amiante de la suspension pendant la phase de décantation; la forme variable des fibres pourrait affecter les vitesses de décantation, les particules qui décantent peuvent en capturer, d'autres ayant une charge superficielle opposée; les fibres se combinent souvent pour former des paquets qui modifient la relation taille-décantation et des différences dans la densité de particules de tailles égales peuvent modifier les modes de décantation. On pourrait donc s'attendre à ce que la corrélation entre la durée de décantation et la taille des fibres ne soit pas très bonne, ce qui est confirmé par la figure 15 où la taille moyenne des fibres des échantillons analysés est tracée en fonction de la période de décantation. La taille moyenne des fibres ne montre pas de diminution uniforme en fonction de la durée de la décantation, néanmoins, la gamme des tailles des fibres diminue au fur et à mesure que les intervalles de temps sont plus longs dans les trois expériences de décantation. Cela suggère que les principes sous-jacents de la loi de Stokes sont présents, mais que quelques-uns de ces processus interfèrent et masquent en partie la relation taille-durée de la décantation.

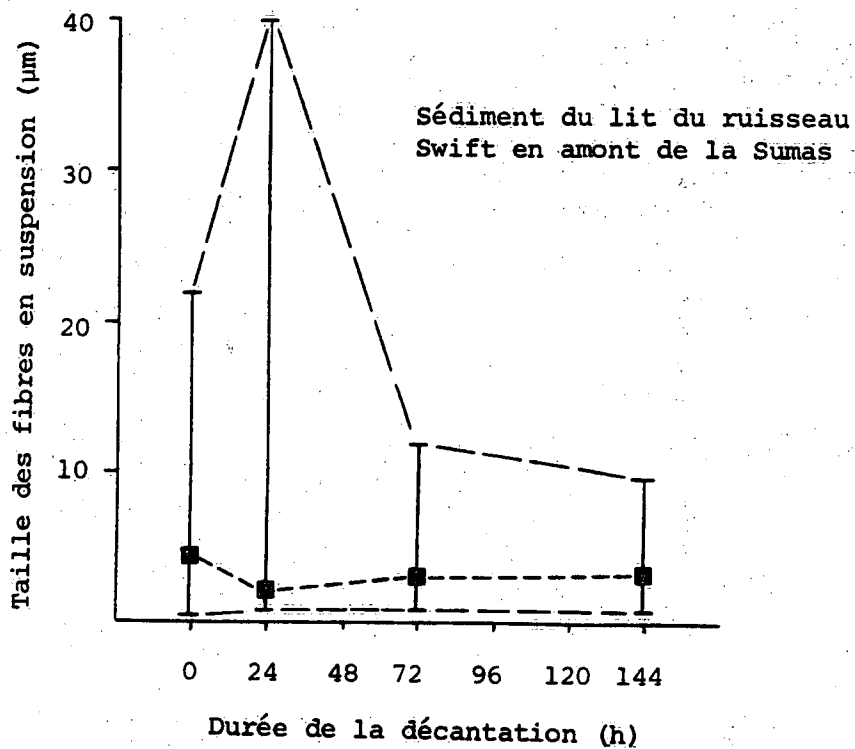
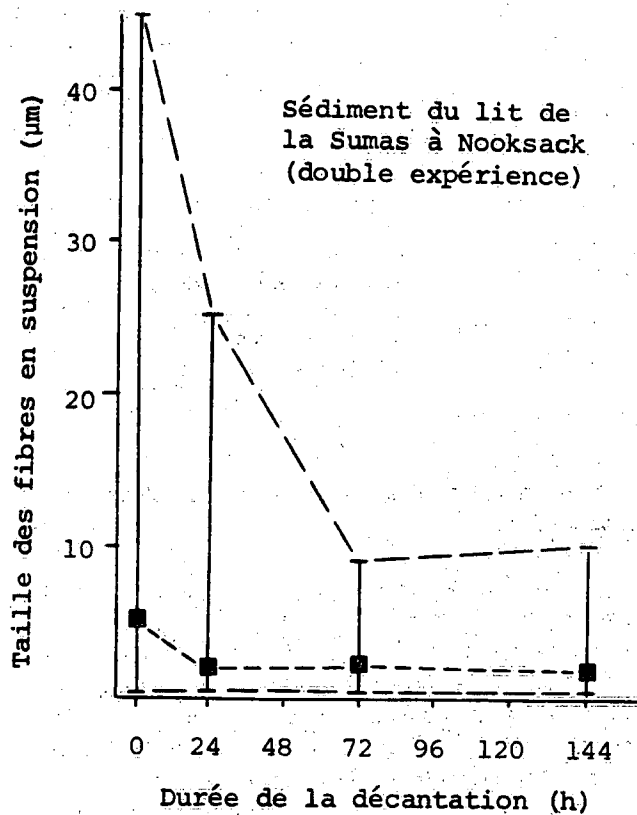
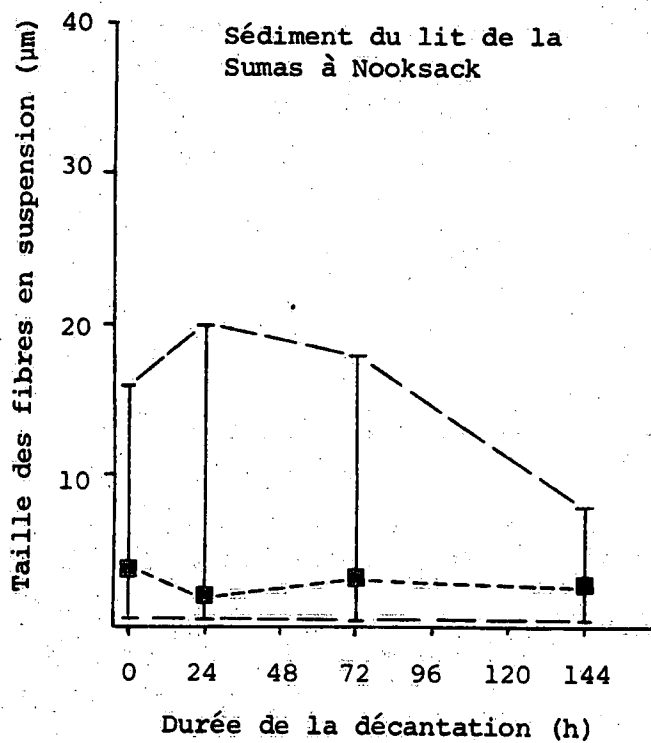


Figure 15. Relation entre la taille des fibres d'amiante et la durée de décantation.



Tableau 2. Variations en aval dans la Sumas lors de la crue du 18 décembre 1979. (Section transversale longitudinale)

Stations d'échantillonnage	Concentrations de fibres d'amiante (nombre de fibres/litre)	Taille moyenne des fibres d'amiante ( $\mu\text{m}$ )	Débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Ruisseau Swift en aval du glissement de terrain	$2.97 \times 10^{13}$	4.0	2.4
Ruisseau Swift en amont de la confluence avec la Sumas	$2.17 \times 10^{13}$	4.0	—
La Sumas à Nooksack	$2.05 \times 10^{13}$	3.0	—
La Sumas à la frontière américaine	$1.25 \times 10^{10}$	2.0	25.1

**Rapprochement des résultats de laboratoire et des données sur les cours d'eau**

Si les fibres d'amiante se déposent selon la taille de la fibre, on peut s'attendre à trouver des fibres de taille moyenne supérieure dans les échantillons d'eau lorsque le débit maximum et la turbulence sont au maximum, et des fibres plus petites pendant les périodes d'étiage lorsque les plus grosses fibres se déposent au fond de la rivière. À deux des six stations, la taille moyenne annuelle la plus élevée des fibres a été trouvée dans les échantillons recueillis pendant les crues. De plus, la station du ruisseau Swift en amont de la confluence avec la Sumas avait une distribution de taille des fibres liée aux débits (figure 16). Ce n'était pas seulement le cas pour la taille moyenne des fibres mais aussi pour toute la gamme de tailles des fibres dans chaque échantillon. Malheureusement, les autres stations n'avaient pas le même mode de répartition, et il est possible que d'autres facteurs comme la géométrie du chenal, la turbulence, les étangs et les successions de rides, etc., influent sur

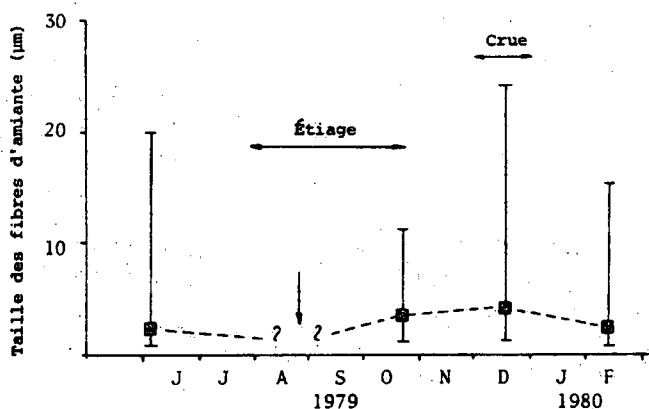


Figure 16. Différences saisonnières dans la taille des fibres d'amiante dans le ruisseau Swift en amont de la confluence avec la Sumas.

la relation entre la taille et la concentration des fibres et le débit.

La figure 16 met en évidence à partir de l'expérience en laboratoire et des données sur le cours d'eau, la relation qui semble exister entre la taille des fibres et la durée de la décantation, mais la corrélation n'est pas uniforme et semble complexe, particulièrement lorsqu'on la compare au mode de décantation des particules de plus grande taille. De même, la remise en suspension semble être liée aux augmentations saisonnières de la vitesse et de la turbulence du cours d'eau plutôt qu'aux valeurs absolues du débit (tableaux 2 et 3).

Tableau 3. Différences dans la concentration en amianté entre les stations témoins de la Sumas et du ruisseau Swift

Date de l'échantillonnage	Ruisseau Swift en amont du glissement de terrain (nombre de fibres/litre)	La Sumas en amont de la confluence avec le ruisseau Swift
79-10-23	$4.9 \times 10^9$	$4.5 \times 10^7$
79-12-18	$1.04 \times 10^{13}$	$1.9 \times 10^{10}$
80-02-14	$3.2 \times 10^9$	$2.8 \times 10^8$

Pendant les plus forts débits de décembre, on a observé une diminution de la taille moyenne des fibres et de leur concentration dans la direction aval à partir du glissement de terrain jusqu'à la frontière américaine malgré l'augmentation du débit en aval (tableau 2). Puisque le gradient et la vitesse dans la section supérieure du ruisseau Swift sont considérablement plus grands qu'en aval, la décantation est moins probable dans la partie supérieure qu'elle ne l'est plus en aval.

Le débit à la station témoin sur la Sumas est au moins sept fois supérieur à celui de la station témoin du ruisseau Swift. La turbulence et la vitesse sont toutefois considérablement plus élevées à la station du ruisseau Swift à cause de la forte pente. On peut donc s'attendre à ce que la plupart des fibres restent en suspension dans le ruisseau Swift. Il en résulte que les concentrations en fibres sont plus élevées que dans les eaux d'amont de la Sumas. Cela signifierait donc que la gamme des tailles de fibres serait également plus grande à la station témoin du ruisseau Swift qu'à celle de la Sumas. Cependant les données réelles sur la taille des fibres ne confirment pas cette hypothèse; en outre, d'après les données sur la qualité de l'eau dont on parlera plus loin il semble que les variations dans les conditions géologiques régionales contribuent elles aussi aux différences dans la taille et la concentration des fibres d'amiante entre les deux stations témoins.

Aucune différence dans la taille des fibres n'a pu être observée entre les stations, ce qui indique que les différences de concentration pourraient être causées en grande partie par la variation dans la géologie régionale, et que l'importance des cours d'eau ainsi que les débits ont un effet moindre sur la taille des fibres en suspension ou qui se déposent. On a trouvé une relation significative entre les concentrations en fibres d'amiante et les sédiments totaux en suspension ( $r = 0,93$ ). Toutefois, l'utilisation de simples techniques de régression linéaire pour prédire les concentrations en fibres d'amiante à partir des concentrations de sédiments en suspension n'était pas appropriée et ne permettait que des prédictions imprécises (grandes erreurs-types). Les problèmes liés à la décantation différentielle des particules semblent être la cause de cette mauvaise prédiction.

## RELATION ENTRE LA QUALITÉ DE L'EAU ET LES FIBRES D'AMIANTE

Des variations spatiales et saisonnières dans la qualité de l'eau peuvent être observées aux figures 17 à 19. Le glissement de terrain a eu une influence profonde sur la chimie globale, et les valeurs pour le magnésium, le fer et le pH étaient généralement beaucoup plus élevées à la station du glissement de terrain qu'aux autres. Au contraire, les valeurs pour la silice, le potassium et le calcium étaient toutes significativement plus basses à la station du glissement de terrain qu'ailleurs. Quelques-unes de ces différences se sont manifestées tout au long de l'année. La figure 20 donne la comparaison entre les paramètres chimiques les plus importants du ruisseau Swift et ceux de la station de la Sumas. Ces différences reflètent clairement le milieu riche en serpentine du ruisseau Swift.

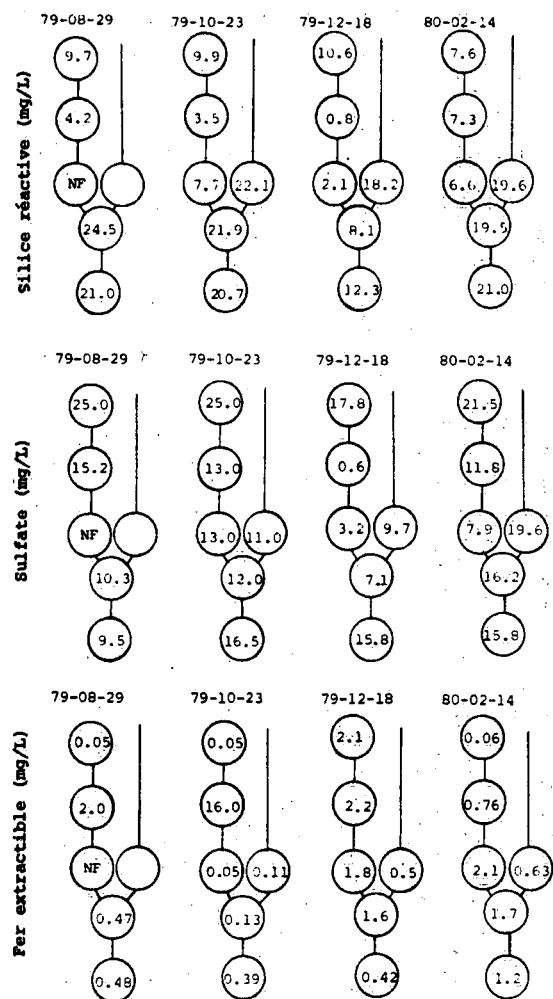


Figure 17. Variabilité du  $\text{SiO}_2$ , du sulfate et de fer dans le bassin de la Sumas (NF = pas d'écoulement).

Les sols et les eaux dans les milieux riches en serpentine ont la réputation de contenir de fortes quantités de magnésium et de fer et de faibles quantités de matières nutritives; de plus, d'après les études de Proctor et Woodell (1975), l'infertilité des sols riches en serpentine semble être due aux teneurs élevées en magnésium, en nickel, en cobalt et en chrome ainsi qu'aux faibles teneurs en calcium (Moore et Zimmermann, 1977; Meyer 1980). Les trois métaux à l'état de trace qui sont fréquemment présents dans l'amiante (Roy-Chowdhury et coll., 1973) n'ont pas été mesurés dans l'eau mais les valeurs du magnésium dépassaient celles du calcium dans le ruisseau Swift tout au long de l'année (figure 20) ce qui confirmait les résultats trouvés ailleurs dans le monde. Le magnésium, qui est un des constituants principaux de toutes les sortes d'amiante peut être lessivé et remplacé par le fer dans la structure par un processus connu sous le nom de substitution isomorphique. La présence de

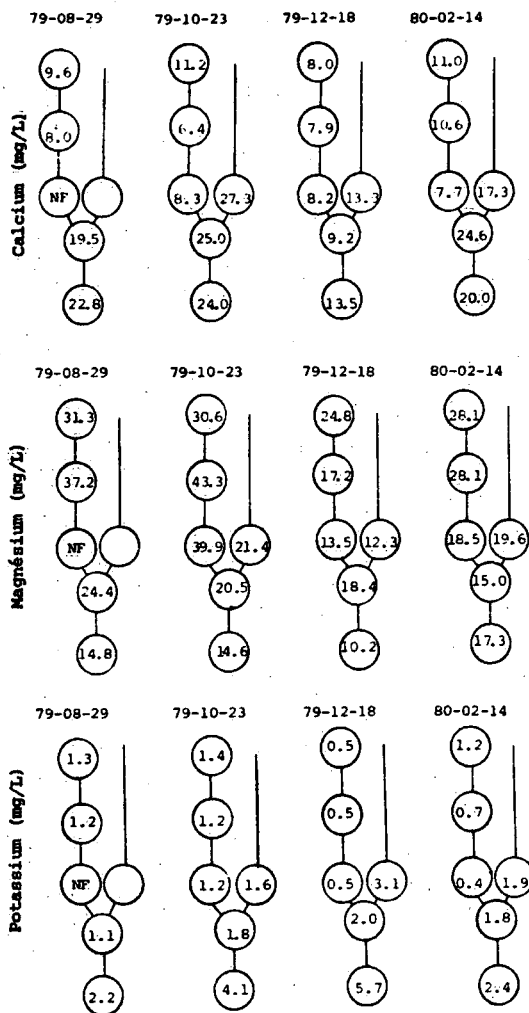


Figure 18. Variabilité du calcium, du magnésium et du potassium dans le bassin de la Sumas (NF = pas d'écoulement d'eau).

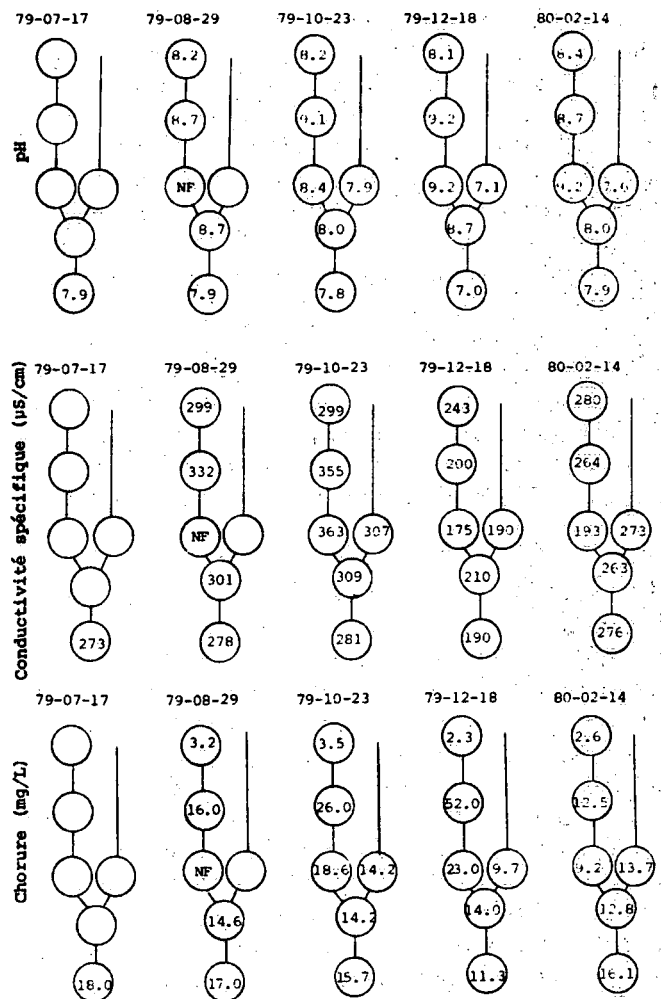


Figure 19. Variabilité du pH, de la conductivité spécifique et du chlorure dans le bassin de la Sumas (NF = pas d'écoulement d'eau).

fer et de magnésium en fortes concentrations pourrait bien refléter l'altération de la serpentine et la substitution des minéraux.

Pour monter la différence entre le ruisseau Swift et la Sumas, les pourcentages des concentrations combinées en magnésium, en silice et en fer dans l'eau ont été calculés et tracés sur un diagramme ternaire à la figure 21. À partir de ces renseignements, il est évident que les échantillons recueillis dans le ruisseau Swift proviennent d'un milieu chimique différent de ceux de la Sumas. Toutefois, il n'y a pas de corrélation entre les paramètres chimiques, individuels ou combinés, et les concentrations en fibres d'amiante; il est donc évident que la concentration en fibres d'amiante ne peut être prédite à partir de la chimie de l'eau. Par contre, on peut utiliser la chimie de l'eau pour séparer les différentes sources géochimiques et donc, elle peut être utile pour identifier la provenance des matériaux.

## CONCLUSION

### Variations spatiales dans les concentrations en fibres d'amiante

Dans le bassin de la Sumas, on a trouvé des concentrations en fibres d'amiante variant de  $10^7$  à  $10^{13}$  fibres/litre. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées immédiatement en dessous du glissement de terrain actif sur le ruisseau Swift, affluent de la Sumas. Le glissement de terrain a été identifié comme étant la principale source ponctuelle d'amiante influençant les concentrations vers l'aval jusqu'à la frontière américaine. Deux stations témoins, qui étaient en amont et non touchées par le glissement de terrain, montraient des valeurs régulièrement plus basses que celles trouvées à la frontière. Néanmoins, les stations témoins avaient des concentrations atteignant  $10^{10}$  fibres/litre, ce qui est considéré comme important, et provient probablement des abondantes

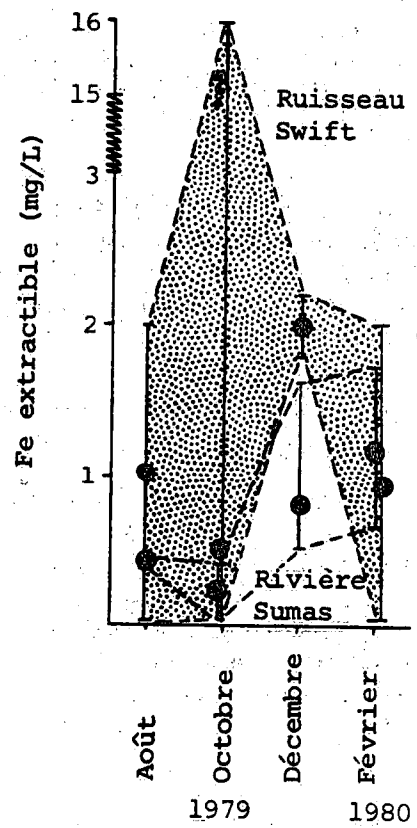
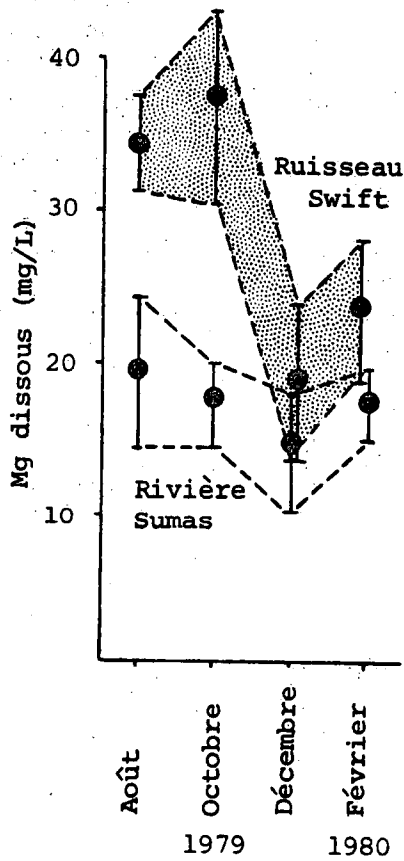
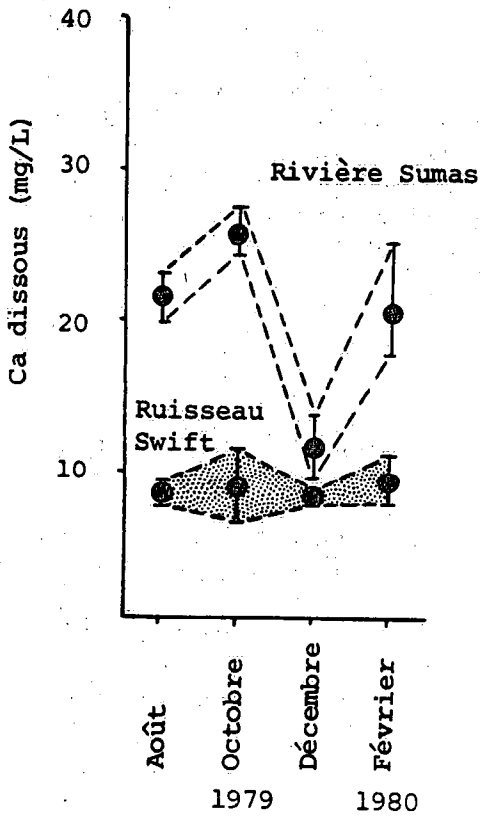
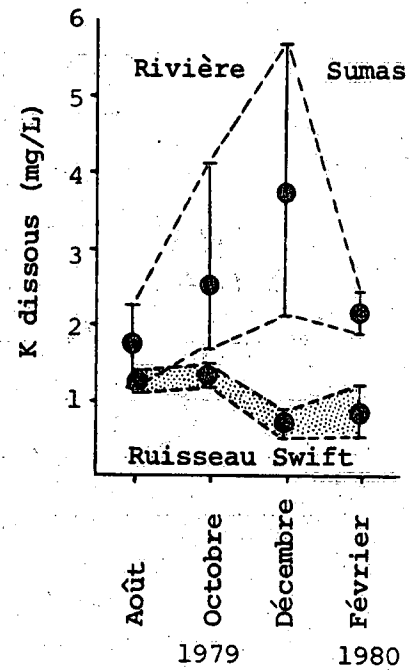
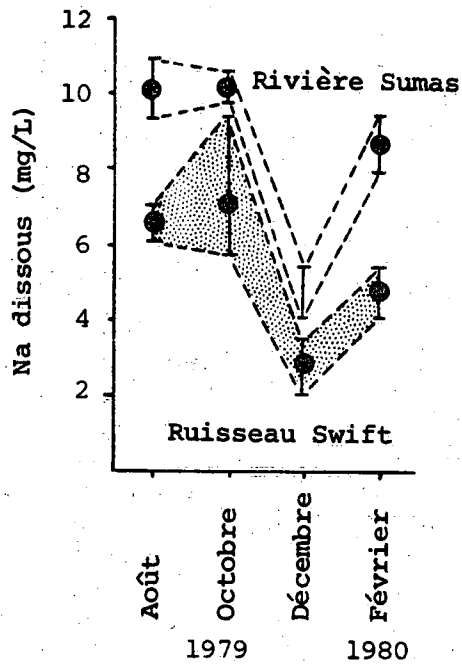
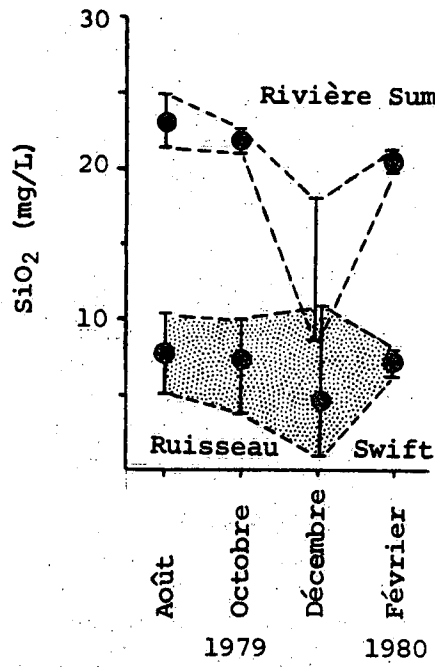


Figure 20. Comparaison de la chimie de l'eau entre le ruisseau Swift et la Sumas.

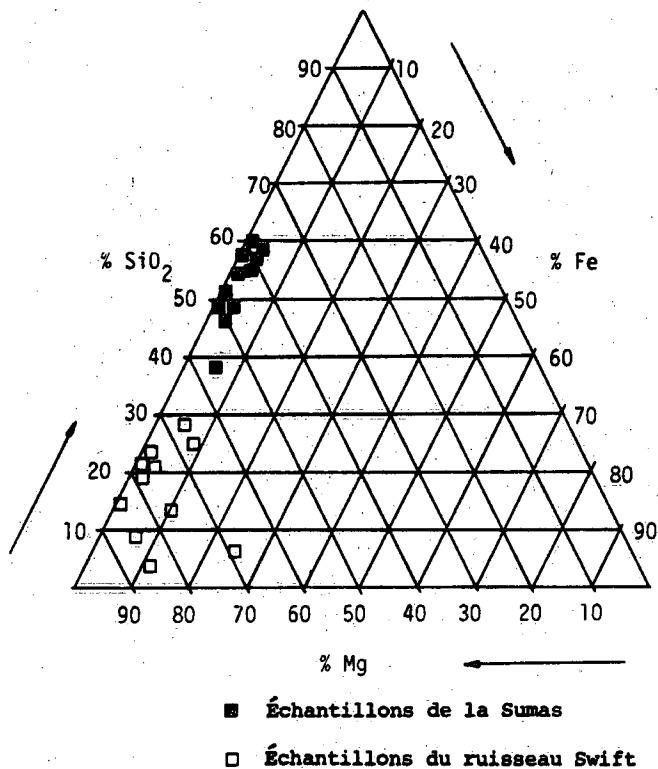


Figure 21. Diagramme ternaire Mg-Si-Fe montrant les différences dans la chimie de l'eau entre le ruisseau Swift et la Sumas. (Représentation proportionnelle).

roches amiantifères de la région. Ainsi, une stabilisation du glissement de terrain pourrait éliminer théoriquement les valeurs extrêmes de l'amiante dans le ruisseau Swift, mais ne pourrait pas réduire substantiellement les fortes valeurs trouvées généralement dans le reste du bassin.

#### Variations temporelles des concentrations en fibres d'amiante

Des fluctuations saisonnières atteignant quatre ordres de grandeur ont été observées à toutes les stations, les concentrations les plus élevées étant observées pendant la crue et les plus basses pendant l'étiage de la fin de l'été. Aucune relation universelle n'a été observée entre les concentrations en fibres d'amiante et les valeurs du débit. Par contre, des changements, spécifiques au site, de la vitesse relative et de la turbulence semblent gouverner les concentrations des fibres.

#### Comparaison entre les variations spatiales et temporelles

Les deux types de variations sont importants, et parce que la source d'amiante est ponctuelle dans le bassin, les variations spatiales semblent être légèrement plus grandes

(jusqu'à cinq ordres de grandeur entre quelques stations) que les variations saisonnières (jusqu'à quatre ordres de grandeur à la station de la Sumas à Nooksack pendant la saison 1979-1980). Ceci démontre clairement que le prélèvement occasionnel d'échantillons uniques est insuffisant pour déterminer les concentrations de fond des fibres d'amiante dans les rivières.

#### Mécanismes possibles de transport

Quelques fibres d'amiante ne restent pas en suspension dans l'eau aux faibles vitesses et en l'absence de turbulence, et bien que certaines preuves suggèrent que la taille des fibres diminue avec la durée de la décantation, la relation est complexe et ne semble pas uniforme. Les données provenant de la station du ruisseau Swift en amont de la confluence de la Sumas indiquent que les fibres les plus petites ont été trouvées pendant l'étiage, et les plus grandes pendant la crue en décembre. La gamme des tailles de fibres, et dans une moindre mesure la taille moyenne des fibres, diminuent en fonction de l'augmentation de la durée de décantation, ce qui correspond à la loi de Stokes. Malheureusement, cette répartition n'est pas uniforme et souvent peu évidente, ce qui suggère que d'autres processus interfèrent. Les particules qui se déposent entraînent probablement d'autres particules, spécialement en présence de superficielles opposées. On sait que les fibres se combinent en paquets, ce qui change la relation taille-vitesse de décantation et les différences dans la forme des fibres et la densité des particules de tailles égales peuvent aussi influencer le processus de décantation. Tous ces processus sont probablement responsables de la relation incertaine entre la taille et la décantation.

#### Relations entre la qualité de l'eau et la concentration en fibres d'amiante

Aucune relation directe n'existe entre la qualité de l'eau et les concentrations en fibres d'amiante, et aucun élément individuel ne peut être utilisé pour prédire les concentrations d'amiante. Toutefois, les données sur la qualité de l'eau peuvent être utilisées pour identifier les différences chimiques dans les régions d'origine et, dans le présent exemple, les stations influencées par le glissement de terrain montrent des concentrations plus élevées en amiante, puis en magnésium et en fer dissous que les stations non touchées par le glissement de terrain.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions de leur aide, Roy Jones (Programme du U.S. Environmental Protection Agency) sur l'eau po-

table à Seattle (Washington) et K. Kassube du ministère de la Santé (District de Bellingham et Whatcom). R.H. Levelton et ses associés, de Vancouver, ont travaillé à la détermination des fibres d'amiante et c'est le laboratoire de la Direction de la qualité des eaux de North Vancouver qui a accompli les analyses de qualité de l'eau. Nous tenons à remercier aussi pour son aide en laboratoire, T.D. Nguyen du département des Sciences pédologiques de l'Université de la Colombie-Britannique.

## RÉFÉRENCES

- Alste, J., D. Watson and J. Begg. 1976. Airborne asbestos in the vicinity of a freeway. *Atmos. Environ.* 10: 583-589.
- Buelow, R.W., J.R. Millette, E. McFarren and J.M. Symons. February 1980. The behavior of asbestos cement pipe under various water quality conditions; a progress report. *J. Am. Water Works Assoc.*, pp. 91-102.
- Charlebois, C.T. March 1978. An overview of the Canadian asbestos problem. *Chem. Can.*, pp. 19-38.
- Chatfield, E.J., R.W. Glass, and M.J. Dillon. 1978. Preparation of water samples for asbestos fibre counting by electron microscopy. EPA-600/4-78-011.
- Chatfield, E.J. and M.J. Dillon. 1979. A national survey for asbestos fibres in Canadian drinking water supplies. Environmental Health Directorate, Dep. of Health and Welfare, 79-EHD-34.
- Chopra, K.S. 1978. Interlaboratory measurements of amphibole and chrysotile fibre concentrations in water. *J. of Testing and Evaluation*, 241-247.
- Committee on Asbestos Analysis. 1977. An interim method for the determination of asbestos fibre concentrations in water by transmission electron microscopy. Laboratory Service Branch, Ontario Ministry of the Environment.
- Converse, Davis, Dixon Associates, Inc. 1976. Final Geotechnical Report. Swift Creek Tributaries and Sumas River Watershed, Whatcom County, Washington. For U.S. Soil Conservation Service.
- Cook, P.M. and G. Olson. 1979. Ingested mineral fibres: elimination in human urine. *Science*, 204: 195-198.
- Cooper, W.C., J. Murchio, W. Pependorf and H.R. Wenk. 1979a. Chrysotile asbestos in a California recreation area. *Science*, 206: 685-688.
- Cooper, W.C., M. Tarter, M. Kanarek, J. Murchio, P. Conforti, J. Jackson, R. Callard, and D. Lysmer. 1979b. Asbestos in domestic water supplies in five California counties, 1969-74. Environmental Health Service Publication No. 79-1, School of Public Health, University of California, Berkeley.
- Cunningham, H. and R. Pontefract. 1971. Asbestos fibres in beverages and drinking water. *Nature*, 232: 332-333.
- Cunningham, H.M., C.A. Moodie, G.A. Lawrence and R.D. Pontefract. 1977. Chronic effects of ingested asbestos in rats. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 6: 507-513.
- Day, P. 1950. Physical basis of particle size analysis by hydrometer method. *Soil Science*, Vol. 70, pp. 363-374.
- Dixon, R.N. and C.J. Taylor. 1979. Automated asbestos fibre counting. *Inst. Phys. Conf. Series No. 44*, pp. 178-185.
- EPA. 1980. Ambient water quality criteria for asbestos. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-1980-0-720-016/4355.
- Flickinger, J. and J. Standridge. 1976. Identification of fibrous material in two public water supplies. *Environ. Sci. and Technol.* 10: 1028-1032.
- Gravati, C.C., P.D. La Fleur, and K.F.J. Heinrich. 1978. Proceedings of workshop on asbestos; Definition and Measurement Methods. National Bureau of Standards.
- Hallenbeck, W.H., C. Hesse, E. Chen, K. Patelmandlik and A. Wolff. 1977. Asbestos in potable Water, University of Illinois at Urbana-Champaign Water Resources Center, UILA-WRC-77-0881, 1-77.
- Hallenbeck, W.H., E.H. Chen, C.S. Hesse, K. Patelmandlik and A. Wolff. 1978. Is chrysotile asbestos released from asbestos cement pipes into drinking water? *J. Am. Water Works Assoc.* pp. 97-102.
- Hesse, C.S., W.H. Hallenbeck, E.H. Chen and G.R. Brennihen. 1977. Determination of chrysotile asbestos in rainwater. *Atmos. Environ.*, 11: 1233-1237.
- Hunsinger, R.B., K.J. Roberts and J. Lawrence. 1980. Chrysotile asbestos fibre removal during potable water treatment: pilot plant studies. *Environ. Sci. and Technol.* 14: 333-336.
- Hutchison, J.L. and E.J.W. Whittaker. 1979. The nature of electron diffraction patterns of amphibole asbestos and their use in identification. *Environ. Res.* 20: 445-449.
- Kanarek, M., P.M. Conforti, L.A. Jackson, R.C. Cooper and J.C. Murchio. 1980. Asbestos in drinking water and cancer incidence in the San Francisco Bay area. *Am. J. Epidemiol.* 112: 54-72.
- Kanazawa, K., T. Yamamoto and Y. Yuasa. 1979. Enhancement by asbestos of oncogenesis by Moloney Murine Sarcoma virus in CAB mice. *Int. J. Cancer*, 23: 866-874.
- Kruse, C.A., P.H. Carey and D.J. Howe. 1974. Silica content of dust from tank ranges. Army Medical Research Laboratory, Fort Knox, Ky. Report USAMRL-1.
- Levy, B.S., E. Sigurdson, J. Mandel, E. Laudon and J. Pearson. 1976. Investigating possible effects of asbestos in city water: surveillance of gastrointestinal cancer incidence in Duluth, Minnesota. *Am. J. Epidemiol.* 103: 362-367.
- Meigs, J.W., S.D. Walter, J.F. Heston, J.R. Millette, G.F. Craun, R.S. Woodhull and J.T. Flannery. 1980. Asbestos cement pipe and cancer in Connecticut, 1955-1974. *J. Environ. Health*, 42: 187-191.
- Meyer, D.R. 1980. Nutritional problems associated with the establishment of vegetation on tailings from an asbestos mine. *Environ. Pollut.* 23: 287-298.
- Millette, J.R., P.J. Clark and M.F. Pansing. 1979. Exposure to asbestos from drinking water in the United States. EPA-600/1-79-028.
- Millette, J.R., R. Boone and M. Rosenthal. 1980. Asbestos in cistern water. Environmental Research Brief, February, 1980. Health Effects Research Laboratory, Cincinnati, EPA-657.093/7105.
- Moore, T.R. and R.C. Zimmermann. 1975. The reclamation of asbestos mine waste. Paper presented at the 1st Annual Meeting of the Canadian Land Reclamation Association, Guelph, Ontario, December 1975.
- Moore, T.R. and R.C. Zimmermann. 1977. Establishment of vegetation on serpentine asbestos mine waste, southeastern Quebec, Canada. *J. Appl. Ecol.* 14: 589-599.
- Mossman, B.T., J.F. Craighead and B.V. MacPherson. 1980. Asbestos-induced epithelial changes in organ cultures of hamster trachea inhibition by retinyl methyl ether. *Science*, 207 (4428): 311-313.
- Navratil, M., K. Moravkova and F. Trippe. 1978. Follow-up study of pleural hyalinosis in individuals not exposed to asbestos dust. *Environ. Res.* 15: 108-118.
- Neugut, A., D. Eisenberg, M. Silverstein, P. Pulkrahek and I.B. Weinstein. 1978. Effect of asbestos on epithelioid cell lines. *Environ. Res.* 17: 256-265.

- Oliver, T. and L.E. Murr. August 1977. An electron microscope study of asbestiform fibre concentrations in Rio Grande Valley water supplies. *J. Am. Water Works Assoc.* pp. 428-431.
- Olson, H.L. September 1974. Asbestos levels in potable water supplies. *J. Am. Water Works Assoc.*, pp. 515-518.
- Pavlidis, T. and K. Steiglitz. 1978. The automatic counting of asbestos fibres in air samples. *IEEE Trans. Comput. C-27*: 261-266.
- Proctor, J. and S. Woodell. 1975. The ecology of serpentine soil. *Adv. Ecol. Res.* London, Academy Press, Vol. 9, 255-366.
- Reiss, B., J.R. Millette and G.M. Williams. 1980a. The activity of environmental samples in a cell culture test for asbestos toxicity. *Environ. Res.* 22: 315-321.
- Reiss, B., S. Solomon, J.H. Weisburger and G.H. Williams. 1980b. Comparative toxicities of different forms of asbestos in a cell culture assay. *Environ. Res.* 22: 109-129.
- Rohl, A., A.M. Langer and I. Selikoff. 1977. Environmental asbestos pollution related to the use of quarried serpentine rock. *Science*, 196: 1319-1322.
- Roy-Chowdhury, A., T.F. Mooney and A.L. Reeves. 1973. Trace metals in asbestos carcinogenesis. *Arch. Environ. Health*, 26: 253-255.
- Schreier, H. and J. Taylor. 1980. Asbestos fibres in receiving waters. Inland Waters Directorate, Environment Canada. Technical Bulletin No. 117.
- Selikoff, I.J., J. Churg and E.C. Hammond. 1964. Asbestos exposure and neoplasia. *J. Am. Med. Assoc.* 188: 22-26.
- Seshan, K. 1978. On the utility of dark-field electron microscopy in the determination of the degree of deformation in chrysotile asbestos: an environmental research application. *Environ. Res.* 16: 383-392.
- Shugar, S. 1979. Effects of asbestos in the Canadian environment. National Research Council of Canada, Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, Nat. Counc. Canada Rep. No. 16452, p. 185.
- Tarter, M. 1979. Data analysis of drinking water asbestos fibre size, Health Effects Research Laboratory, Cincinnati. EPA-600/1-79-020.
- Water Survey of Canada. 1980. Water gauging records 1976-1980 for the Sumas River. Inland Waters Directorate, Environment Canada.
- Wigle, D. 1977. Cancer mortality in relation to asbestos in municipal water supplies. *Arch. Environ. Health*, 32: 185-190.

Environment Canada Library, Burlington



3 9055 1017 3316 9