

WORLD HEALTH ORGANIZATION  
REGIONAL OFFICE FOR EUROPE



ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ  
BUREAU RÉGIONAL DE L'EUROPE

WELTGESUNDHEITSORGANISATION  
REGIONALBÜRO FÜR EUROPA

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
ЕВРОПЕЙСКОЕ РЕГИОНАЛЬНОЕ БЮРО

E: 27804

WA 754  
SIME

METHODES D'OBSERVATION ET DE NUMERATION  
DES FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES EN SUSPENSION DANS L'AIR

Rapport sur une consultation de l'OMS

Copenhague  
29 avril - 1<sup>er</sup> mai 1980

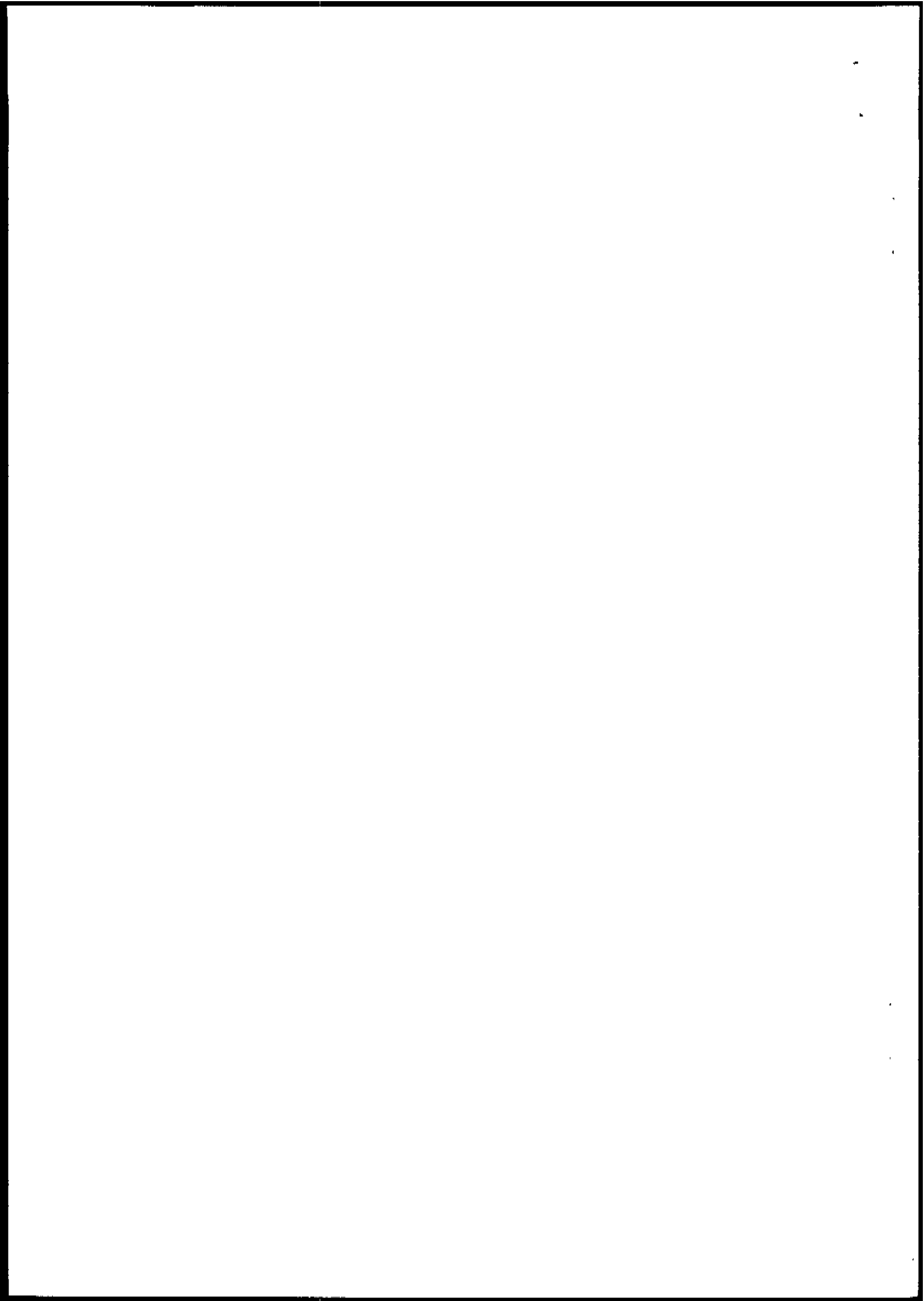
Traduction d'une publication du Bureau régional de l'Europe de l'OMS dans la série des Rapports et Etudes EURO sous le numéro 48 et portant le titre "Methods of Monitoring and Evaluating Airborne Man-made Mineral Fibres" (ISBN 92 890 1214 5).

Note

Ce document ne constitue pas une publication. Il ne doit faire l'objet d'aucun compte rendu ou résumé ni d'aucune citation ou traduction sans l'autorisation de l'Organisation mondiale de la Santé. Les opinions exprimées dans les articles signés n'engagent que leurs auteurs.

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. Introduction . . . . .	1
2. Historique . . . . .	2
3. Méthodes d'observation des fibres minérales artificielles couramment utilisées	2
3.1 Détermination des concentrations massiques totales dans l'air . . . . .	2
3.2 Détermination des concentrations numériques de fibres dans l'air . . . . .	3
4. Méthode de référence proposée pour l'observation des fibres minérales artificielles . . . . .	4
5. Mise en place d'un système central de référence pour la numération et la répartition par dimension des fibres minérales artificielles . . . . .	5
6. Application du système de référence aux études épidémiologiques . . . . .	5
7. Conclusions . . . . .	6
8. Recommandations . . . . .	6
Références . . . . .	7
 Annexe 1 Méthode normalisée recommandée pour l'observation des fibres minérales artificielles en suspension dans l'air . . . . .	 9
Annexe 2 Mise en place d'un système central de référence pour la numération des fibres artificielles (FMA) . . . . .	20
Annexe 3 Méthode de référence recommandée pour l'observation des concentrations numériques de fibres minérales artificielles en suspension dans l'air . . . . .	22
Annexe 4 Liste des participants . . . . .	36



## 1. Introduction

Une consultation de l'OMS sur l'observation et la numération des fibres minérales artificielles s'est tenue à Copenhague du 29 avril au 1er mai 1980. Le Dr J.E. Asvall, directeur de la Gestion des programmes, a ouvert la réunion au nom du Directeur régional. Il a déclaré qu'elle avait été organisée pour donner suite à la résolution WHA30.47 de la Trentième Assemblée mondiale de la Santé, qui avait demandé une étude sur les problèmes de santé liés à l'accroissement de l'utilisation des produits chimiques. L'emploi des fibres minérales artificielles (FMA) a nettement augmenté ces dernières années, et leurs effets biologiques ont fait l'objet de plusieurs études épidémiologiques de portée nationale ou internationale. Il a été démontré toutefois que les données apportées par ces études devaient pouvoir se prêter à des comparaisons et, en particulier, que la normalisation des méthodes appliquées actuellement pour observer et compter les FMA en suspension dans l'air faciliterait la recherche. La réunion avait donc pour objectifs de :

- passer en revue les méthodes actuellement utilisées et recommander des méthodes de référence pour l'observation et la numération des FMA dans l'air, afin que les études épidémiologiques puissent s'appuyer sur des données précises et cohérentes;
- établir un système central de référence pour la numération des fibres en suspension et la mesure de leurs dimensions;
- mettre en place un système qui garantisse un accès facile aux résultats de la surveillance atmosphérique et répondant aux besoins des études épidémiologiques.

M. J.I. Waddington, directeur de la Promotion de la salubrité de l'environnement au Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, a estimé que la réunion marquait une étape importante des activités du Bureau régional relatives à des problèmes spécifiques de l'hygiène dans le cadre du travail. Il est encourageant de constater qu'une partie de l'industrie des fibres ressent le besoin d'harmoniser son action dans les pays européens. Le rapport sur cette consultation constituerait une préparation utile à la conférence sur les fibres minérales artificielles inscrite au calendrier des réunions du Bureau régional pour 1982.

## 2. Historique

Dès qu'il eut été démontré que l'injection intrapleurale ou intrapéritonéale de FMA pouvait provoquer des mésothéliomes chez le rat (1, 2), les industries de la branche ont pris, aux Etats-Unis et en Europe, l'initiative d'étudier les risques potentiels pour l'homme. Le Comité international de la Rayonne et des Fibres synthétiques et l'Association européenne des Fabricants d'Isolants ont créé, en 1975, la Commission mixte européenne de recherche médicale afin d'entreprendre l'étude des problèmes de santé dus aux FMA ou aux fibres siliceuses. La Commission a pour politique d'apporter son concours financier aux travaux d'instituts de recherche en renom, par exemple, la section de la pneumoconiose du Conseil de la Recherche médicale (CRM) du Royaume-Uni, le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) à Lyon, et l'Institut de Médecine du Travail à Edimbourg. Une commission scientifique et technique, indépendante de l'industrie, coordonne les travaux de recherche.

Le programme d'études a commencé par l'établissement d'un bilan des connaissances actuelles, lors d'un congrès scientifique organisé sous les auspices de l'OMS à Copenhague en 1976 (3-7). Ce bilan portait sur les expériences effectuées sur des animaux dans la section de la pneumoconiose du CRM britannique, les études épidémiologiques réalisées par le CIRC de Lyon dans toute l'Europe occidentale, et l'évaluation parallèle des expositions à l'environnement, réalisée par l'Institut de Médecine du Travail dans les usines sélectionnées pour les études épidémiologiques. Les travaux, succinctement décrits plus loin, sont maintenant bien avancés et leurs résultats finals devraient être présentés à la conférence de Copenhague en 1982.

Les expériences sur des animaux reprennent les expériences précédentes d'injection intrapleurale et comprennent aussi des inhalations de poussières respirables, en nuages d'intensités appropriées. Elles ont récemment été prolongées en France et en Allemagne par des études des dépôts de FMA dans les poumons, de leur élimination et de leur rétention, ainsi que par des recherches sur la possibilité ou l'impossibilité pour ces fibres de passer du poumon dans la plèvre.

A la suite d'une étude de faisabilité réalisée dans 72 usines européennes (dont 55 utilisent du verre et de la laine minérale et 17 des filaments continus), 13 d'entre elles ont été choisies pour une étude rétrospective de groupes. L'Institut de Médecine du Travail a mesuré dans ces usines les concentrations courantes de fibres en suspension dans l'air et leur répartition par dimensions, à l'aide du microscope optique dans le premier cas et du microscope électronique à balayage dans le second. Les postes de travail peuvent être groupés et classés en fonction de ces

paramètres. Certains des premiers résultats des études européennes ont déjà paru (8); les concentrations massiques et numériques de fibres étaient plutôt faibles - en général inférieures à  $3 \text{ mg/m}^3$  et à  $0,5 \text{ fibre/ml}$ , avec un petit nombre de concentrations inférieures plus fortes. Des expositions semblables ont été constatées chez des travailleurs des FMA aux Etats-Unis (9). Les chercheurs d'instituts nationaux (registres des cancers et départements universitaires par exemple) effectuent des contrôles des travailleurs afin de déterminer la mortalité et l'incidence du cancer depuis la première exposition aux FMA (au début des années 50 habituellement) jusqu'à nos jours. On comparera ensuite la mortalité et l'incidence du cancer parmi les travailleurs exposés d'une part et la population non exposée d'autre part, ainsi que parmi des sous-groupes de travailleurs différemment exposés. Le nombre total d'années/hommes-à-risque a été évalué, à titre indicatif, à 130 000 dont 13 000 environ vingt ans après la première exposition. On projette d'étudier plus tard la morbidité due à la bronchite par exemple.

Cette étude rétrospective, comme la plupart des études similaires d'épidémiologie du travail, a posé quatre grands problèmes, qui peuvent être résolus en partie seulement et qui limitent l'interprétation des résultats, à savoir :

- a) l'absence de quantifications fiables des expositions passées;
- b) l'absence de renseignements détaillés (par opposition aux données générales) sur les antécédents professionnels de chaque travailleur;
- c) le manque d'informations sur les variables multiplicatrices éventuelles (en particulier l'usage du tabac); et
- d) la difficulté d'établir les antécédents médicaux des anciens travailleurs et de vérifier (s'ils sont décédés) la cause de leur décès; ce problème se manifeste plus particulièrement dans certains pays.

Les comparaisons entre les numérations facultatives de fibres ont fait apparaître, d'un laboratoire à l'autre, des différences substantielles (jusqu'à 5:1), ce qui constitue une difficulté de plus, bien connue aussi dans la numération des fibres d'amiante (10, 11). On a observé des différences moindres (2:1) entre les expositions massiques individuelles mesurées dans divers laboratoires lors des études sous l'égide de la Commission mixte européenne de recherche médicale.

Ces difficultés, associées à la nécessité d'utiliser un grand nombre d'observations pour le dépistage des tumeurs rares, prouvent qu'il faut, à l'avenir, appliquer une politique de surveillance continue et de notation systématique. Cette politique, si elle est appliquée à l'échelon international, exigera au minimum une méthode de référence agréée, pour l'estimation de l'exposition professionnelle, et un système d'harmonisation des techniques de laboratoire pour la réalisation d'un programme d'épidémiologie prospective.

### 3. Méthodes d'observation des fibres minérales artificielles couramment utilisées

#### 3.1 Détermination des concentrations massiques totales dans l'air

On détermine couramment, dans la plupart des pays, la concentration massique totale de poussières de FMA en suspension dans l'air en faisant passer un volume d'air mesuré, à un débit connu (habituellement  $2 \text{ l/mn}$ ), à travers un filtre pesé au préalable. Les méthodes utilisées, bien que semblables dans leur principe, diffèrent sensiblement dans leurs détails. Un échantillon minimum de  $0,5 \text{ m}^3$  (4 h de passage environ à  $2 \text{ l/mn}$ ) est habituellement nécessaire pour arriver à une mesure à peu près exacte, bien qu'il faille prélever parfois des volumes sensiblement plus importants au moyen d'un compteur personnel ou d'un instrument statique afin d'arriver à une précision de pesée maximale. On utilise à cette fin des membranes filtrantes de laine de verre ou d'ester de cellulose à pores d'environ  $0,6-1,5 \mu\text{m}$ , ainsi qu'un porte-filtre "ouvert" de 25, 35 ou 37 mm de diamètre. Les participants ont reconnu que l'on pouvait mesurer avec plus de précision les concentrations massiques au moyen de filtres en fibre de verre, de poids plus stable. On utilise diverses méthodes de préparation du filtre, afin de réduire au minimum l'effet des variations d'humidité sur la précision de la pesée : chambres à humidité constante, séchage au four puis dessiccation, séjour des filtres dans l'atmosphère du laboratoire pour atteindre l'équilibre hygrométrique, nouvelle pesée, puis comparaison du poids des filtres à utiliser avec celui de filtres témoins traités de la même manière. Les règlements de la République fédérale d'Allemagne et de la Tchécoslovaquie prescrivent un échantillonnage de la masse totale sous des vitesses frontales de  $1,25 \text{ m/s}$  ou  $1-2 \text{ m/s}$  respectivement. Au Royaume-Uni, le Département de la Santé et de la Sécurité sociale a recommandé d'utiliser, uniquement pour les mesures de masses, un porte-filtre à écran frontal de 25 mm de diamètre, qui protège un filtre en fibre de verre au moyen d'une plaque

placée devant et percée de sept orifices de 4 mm de diamètre par lesquels l'air est aspiré. Le but est d'empêcher la perte de matière fibreuse due à l'agglomération des fibres, fait largement observé par la plupart des chercheurs lors des prélèvements de FMA, en fortes concentrations notamment.

L'Institut de Médecine du Travail d'Edimbourg a utilisé, pour ses observations épidémiologiques de l'environnement, une mince plaque de métal montée à 1 cm en avant du porte-filtre ouvert (voir Annexe 1), afin d'empêcher que des étincelles de four n'abîment le filtre et qu'on ne l'endommage accidentellement avec les doigts. En Suède, pour la même raison, on monte trois bandes métalliques de 2,5 mm de diamètre en travers de l'orifice d'entrée d'un porte-filtre de 37 mm.

Les participants ont généralement reconnu, lors de la réunion, que l'on obtenait les meilleures estimations de l'exposition en prélevant les échantillons dans le rayon respiratoire du travailleur (c'est-à-dire à 30 cm du nez ou de la bouche). On utilise pour cela une pompe fixée à la ceinture et des tubes de prélèvement reliés à un porte-filtre attaché au revers de la veste. En général, on recommande de prélever au minimum  $0,5 \text{ m}^3$  (4 h de passage environ à 2 l/mn).

Bien que les pays se soient accordés sur la définition et les méthodes de mesure des concentrations massiques des fractions respirables de poussières fines en suspension (12) qui pénètrent dans les poumons (diamètre aérodynamique  $< 7 \mu\text{m}$ ), il n'en va pas de même pour la mesure de la masse de ce qui a été appelé jusqu'ici "poussière totale" (fibres plus autres particules). On sait aujourd'hui que seule la partie des poussières en suspension introduite dans le corps à travers le nez et la bouche au cours de la respiration (la "fraction inhalable") présente de l'intérêt. Toutes les fractions de poussières déposées sur les diverses parties de l'appareil respiratoire sont considérées comme des sous-fractions de la poussière inhalable. Un comité de l'Organisation internationale de Normalisation (ISO) étudie actuellement des définitions à recommander pour ces fractions, sur la base de travaux menés dans plusieurs pays, et on travaille à la mise au point de dispositifs de prélèvement qui répondent à ces critères (13-16). Pour le moment, toutes les techniques utilisées sont arbitraires. Les méthodes de prélèvement d'échantillons de poussières inhalables donnent toutes des résultats différents, même pour des nuages de poussières censés être identiques. Cela n'a rien de surprenant, puisque la capture aérodynamique des particules relativement grosses qui forment la poussière inhalable dépend pour beaucoup des effets d'inertie, et par conséquent de la vitesse du vent, du modèle d'appareil de prélèvement, du lieu et de l'orientation. En conclusion donc, la normalisation concernant les poussières présentes dans l'environnement ne présente qu'un intérêt limité tant que persiste l'extrême diversité des appareils de prélèvement. Il en sera ainsi aussi longtemps que les questions relatives à la définition et au prélèvement de poussières inhalables resteront sans réponse.

### 3.2 Détermination des concentrations numériques de fibres dans l'air

On détermine habituellement les concentrations numériques de fibres selon des méthodes qui s'appuient sur celles utilisées pour l'amiante (17, 18). Dans ce but, des échantillons sont prélevés sur des membranes filtrantes d'ester de cellulose (porosité  $0,5-1,5 \mu\text{m}$ ) d'une manière semblable à celle décrite dans le paragraphe précédent. On prélève des volumes d'air plus faibles lorsque la concentration est plus forte, ce qui facilite la numération en limitant la densité des fibres. On monte ensuite l'ensemble ou une partie du filtre sur une lame de microscope, le côté couvert de poussières dirigé vers le haut, et on le rend transparent au moyen de triacétine, d'acétone, d'acétone/triacétine ou d'éther monométhyle d'éthylène-glycol par exemple. On place ensuite une lamelle sur l'échantillon clarifié, puis on compte et on classe les fibres au microscope à contraste de phase, selon les critères suivants :

Fibres respirables :	Longueur (l) $\geq 5 \mu\text{m}$ Diamètre (d) $< 3 \mu\text{m}$ Dimension relative (l:d) $\geq 3:1$
Fibres non respirables : (si comptées)	Longueur (l) $\geq 5 \mu\text{m}$ Diamètre (d) $\geq 3 \mu\text{m}$ Dimension relative (l:d) $\geq 3:1$

Pour faciliter la numération et la mesure des dimensions, les microscopes sont équipés d'un réticule gradué pour les besoins de l'analyse. On détermine les concentrations de fibres en suspension dans l'air par la formule :

$$C = \frac{An}{gaV} \quad (\text{fibres/ml})$$

où

- A = surface du filtre exposée pendant le prélèvement (en mm<sup>2</sup>)
- n = nombre de fibres comptées
- g = nombre de segments de réticule observés
- a = surface du réticule (mm<sup>2</sup>)
- V = volume de l'échantillon (ml)

Autrefois, les fibres non respirables n'étaient habituellement pas comptées, sauf pour les études d'épidémiologie. En Tchécoslovaquie, on a compté des fibres de verre directement sur l'écran d'un microscope à projection et déterminé la longueur et le diamètre de toutes les fibres de dimension relative supérieure à 3. On a évalué le poids et le volume des fibres d'après le nombre des fibres comptées, leur distribution par longueur et par diamètre, et leur densité ( $\rho = 2,6 \text{ g/cm}^3$ ).

Bien que les méthodes soient apparemment semblables, des différences entre modes de prélèvement, dimensions et types de filtres, agents de clarification et matériels de microscopie utilisés et, en particulier, les erreurs statistiques et subjectives de comptages contribuent à fausser les évaluations. L'observation des échantillons d'amianté présente des difficultés semblables, et l'Association internationale de l'Amiante (19) a recommandé une méthode de référence pour déterminer les concentrations de fibres d'amianté en suspension dans l'air afin de pouvoir mieux comparer entre eux les résultats obtenus dans les divers pays.

Pendant la réunion, on a signalé un problème optique qui complique parfois l'identification des FMA. La résolution de certaines fibres céramiques d'indice de réfraction sensiblement inférieur à 1,5 est difficile par microscopie à contraste de phase si l'on utilise des agents de clarification qui confèrent au filtre un indice de réfraction de 1,5 environ. Par exemple, l'indice de réfraction de 1,5 tombe à 1,49 avec l'acétone et à 1,46 avec la triacétine. Or, pour permettre une vision au microscope à contraste de phase, l'indice de réfraction de la fibre doit être supérieur d'au moins 0,03 à celui du filtre clarifié.

#### 4. Méthode de référence proposée pour l'observation des fibres minérales artificielles

Il faut, pour réaliser des études épidémiologiques dans l'industrie, ou bien utiliser d'un bout à l'autre les mêmes modes de prélèvement et d'évaluation, ou bien pouvoir rapporter à une référence commune les résultats obtenus selon différents modes. Voilà pourquoi l'Institut de Médecine du Travail a adopté la méthode décrite à l'Annexe 1 pour mesurer les expositions aux poussières de FMA dans les treize usines étudiées par la Commission mixte européenne de recherche médicale. La méthode devait surtout permettre de mesurer les concentrations numériques de fibres, mais elle permet aussi d'en estimer la concentration massique totale.

Puisque les pays européens appliquent des modes différents d'observation des FMA, en particulier pour déterminer les concentrations massiques totales, les participants ont reconnu qu'il fallait trouver une méthode de référence qui permette de comparer les résultats des études épidémiologiques des travailleurs de l'industrie des FMA réalisées dans différents pays.

Les participants ont étudié dans le détail la méthode de référence proposée à l'Annexe 1. Pour la numération des fibres, la méthode décrite ressemble en principe à celles qu'utilisent les pays représentés à la réunion. Les participants ont débattu de modifications afin de les incorporer, en cas d'accord, dans une méthode de référence révisée pour la numération des FMA.

Les différences entre les méthodes de détermination de la concentration massique totale de FMA utilisées dans les divers pays ont empêché d'accepter telles quelles les propositions de l'Annexe 1. On a généralement reconnu qu'il fallait mesurer séparément la concentration massique et la concentration numérique. En effet, plus la masse de poussières prélevées est grande, plus sa mesure est précise. On a admis que les modèles de porte-filtre, les vitesses frontales et les orientations recommandées par rapport au vent dans les différents pays ne correspondent pas aux résultats de la recherche sur les prélèvements de poussières inhalables. Des études plus approfondies s'imposent pour la mise au point d'instruments de prélèvement qui répondent au concept de poussières inhalables et pour comparer les numérations ainsi effectuées avec les numérations actuelles les plus courantes. Il a été décidé, pour ces raisons, que la méthode de référence devait surtout s'appliquer à la numération des fibres.

Une méthode de référence modifiée a été présentée aux participants pour qu'ils la commentent et la critiquent, et les propositions définitives concernant la détermination des concentrations numériques moyennes de fibres figurent à l'Annexe 3. Il a été convenu de revoir la méthode dans environ trois ans. Une analyse plus approfondie s'impose si l'on veut se mettre d'accord sur une méthode de référence applicable aux mesures massiques. Il faudra y tenir compte de tout nouvel élément d'appréciation de la comparabilité des différentes méthodes. Comme il est peu probable que les travaux de recherche sur les prélèvements de poussières inhalables permettent la mise au point prochaine de nouvelles techniques, il faudra se mettre provisoirement d'accord sur une méthode de référence pour les mesures massiques avant d'entreprendre des études d'épidémiologie prospective.

#### 5. Mise en place d'un système central de référence pour la numération et la répartition par dimension des fibres minérales artificielles

L'utilisation d'une méthode de référence permettra de comparer les résultats des observations des FMA dans l'environnement réalisées dans les différents pays, mais les différences entre les décomptes des fibres d'amiante, relevées lors d'études épidémiologiques rétrospectives entre autres, ont amené les participants à proposer l'élaboration d'un système de référence international afin d'harmoniser les méthodes de mesure. Un système de cette nature est indispensable si l'on entend utiliser pour des études épidémiologiques prospectives les données provenant d'usines de pays différents. On a déjà établi dans plusieurs pays (Danemark, Etats-Unis, France, Norvège, Royaume-Uni, Suède, Tchécoslovaquie), ou on est en train de le faire, des systèmes de référence pour l'observation continue des fibres d'asbeste, afin que l'organisme central compétent dans chaque pays puisse comparer les résultats obtenus dans les divers laboratoires.

Les participants ont étudié la méthode de référence proposée qui est décrite à l'Annexe 2, mais ils ont relevé qu'elle comportait certaines limitations. Ils ont estimé que cette méthode, qui s'appuie sur la microscopie optique, ne convenait pas pour la mesure des dimensions des fibres, car celle-ci doit être faite en microscopie électronique; son efficacité pour l'évaluation de nouveaux types de fibres ayant un indice de réfraction voisin de 1,5 doit faire l'objet de recherches plus approfondies. De plus, il faut trouver la méthode qui convienne le mieux pour les prélèvements gravimétriques. Les participants ont reconnu que le système de référence devait comprendre une analyse systématique, par plusieurs laboratoires, des mêmes échantillons pour la numération et la mesure des dimensions des fibres selon la méthode proposée à l'Annexe 2, mais qu'il fallait pour cela adopter une méthode formelle de contrôle et d'extension des analyses. Ils ont donc proposé la création d'un comité technique d'experts qui, avec le soutien de la Commission mixte européenne de recherche médicale et du Bureau de l'OMS pour l'Europe, dirigerait les travaux en faisant appel au concours d'un laboratoire central de référence adéquat. Les participants ont estimé que le mandat de ce comité technique devait lui permettre notamment d'étudier les problèmes techniques mentionnés plus haut ainsi que d'autres questions. Il conviendrait de confier l'application du système à des instituts nationaux compétents de la Région européenne de l'OMS, normalement à raison d'un par pays.

Les participants ont recommandé que le système de référence soit mis en place le plus tôt possible afin que les premiers résultats puissent être présentés à la conférence de l'OMS sur les fibres minérales artificielles qui doit se tenir à Copenhague en 1982 et qui déterminera les besoins futurs.

#### 6. Application du système de référence aux études épidémiologiques

Vu l'insuffisance des données disponibles pour une étude rétrospective de groupe, les participants ont approuvé la proposition d'effectuer des études épidémiologiques prospectives qui porteraient sur de grands nombres de travailleurs d'usines très diverses, couvrant tous les types de fibres et tous les procédés de fabrication. Une étude bien conçue, étalée sur une période suffisamment longue, améliorerait considérablement la précision des estimations concernant l'incidence de la mortalité et de la morbidité par cancer, et on devrait donc l'étendre à la morbidité. Il faudrait également mesurer les expositions à la masse totale de poussières inhalables et le nombre de fibres, afin de ne pas avoir besoin de se fier aux estimations des expositions passées, comme dans les études patronnées par la Commission mixte européenne de recherche médicale. Il faudra procéder à ces mesures en se conformant au système de référence.

Les participants ont reconnu qu'on ne pouvait tirer le meilleur parti d'une étude prospective qu'en coordonnant une information constante sur les emplois successifs de chaque travailleur avec la détermination des concentrations massiques et numériques de fibres dans son environnement. On obtiendra de cette manière une bonne estimation des expositions et on pourra établir la relation entre les résultats de ces observations et les effets médicaux éventuellement constatés au cours des études de suivi. Il faudra appliquer, dans chaque usine, une stratégie appropriée de prélèvement des poussières. Les études patronnées par la Commission mixte européenne de recherche médicale se sont fondées seulement sur de brèves enquêtes d'une ou deux semaines dans chaque usine.

Dans l'état actuel des choses, il serait semble-t-il possible d'envisager une classification par catégories professionnelles qui permette de noter à la fois, pour les besoins d'une étude prospective, les expositions aux poussières et les emplois occupés. Les travaux sous l'égide de la Commission mixte européenne de recherche médicale n'ont pas permis de mesurer la variabilité des concentrations de poussières sur longue période, et les travaux ultérieurs devront tenir compte de ce fait. Les participants ont suggéré que l'on détermine au moyen d'une étude pilote la faisabilité des méthodes envisagées.

Il va de soi qu'une étude prospective ne peut porter que sur des échantillons prélevés systématiquement dans chaque usine par du personnel local. Pour que cette méthode serve véritablement aux fins d'études épidémiologiques, il est indispensable d'ajuster régulièrement les méthodes de mesure en se reportant au système de référence. Si l'étude porte sur plus d'une usine dans un même pays, le meilleur moyen de coordonner les observations à l'échelle nationale consistera à faire appel à cet effet à un organisme national compétent. Il faudra charger le comité technique et le laboratoire central mentionnés dans le paragraphe concernant la mise en place d'un système central de référence de prendre les dispositions voulues à cet effet, ainsi que pour l'évaluation des résultats.

L'un des problèmes principaux des études épidémiologiques internationales est celui de l'accès aux antécédents médicaux des travailleurs décédés et de la vérification de la cause de leur décès. Ce problème se pose à des degrés très différents suivant les pays. Les participants ont reconnu qu'il fallait préserver le caractère confidentiel de l'information. L'OMS pourrait utiliser ses bons offices pour faciliter l'accès, dans les Etats Membres, à l'information contenue dans les certificats de décès, sous réserve du respect de son caractère confidentiel, afin que l'on puisse établir le lien entre les antécédents professionnels et la cause du décès aux fins de recherche médicale.

#### 7. Conclusions

Les participants ont reconnu que les études épidémiologiques rétrospectives et les études de l'environnement réalisées sous les auspices de la Commission mixte européenne de recherche médicale ont largement contribué à l'appréciation des dangers, pour la santé, de l'exposition aux FMA. Ces études souffrent cependant d'un certain nombre de limitations et d'insuffisances qui compromettent l'interprétation de leurs résultats finals, d'autant plus que, selon les connaissances actuelles, il semblerait que la réaction pathologique en fonction de la quantité absorbée de FMA a de grandes chances, s'il s'en produit une, de ne se manifester qu'avec beaucoup de retard. Par conséquent, les participants ont fait plusieurs recommandations sur les dispositions à prendre pour élargir la portée des travaux, ainsi que pour améliorer la fiabilité et la comparabilité de leurs résultats.

#### 8. Recommandations

1. Il faudrait réaliser des études épidémiologiques prospectives dans un grand nombre d'usines, afin d'accroître la population de travailleurs sous surveillance et de couvrir l'éventail complet des fibres et des procédés de fabrication. Il faudrait également vérifier au moyen d'une étude pilote la faisabilité des méthodes envisagées.
2. Les études épidémiologiques prospectives devraient non seulement avoir pour but l'évaluation de la faisabilité des méthodes de collecte et de notation des observations sur l'activité professionnelle antérieure et actuelle, mais aussi comporter un suivi des effets nocifs des FMA. On aura besoin, pour cela, de moyens adéquats. L'incidence de la mortalité et du cancer devrait figurer parmi les effets étudiés, et on devrait mesurer de façon continue la masse inhalable totale et le nombre des fibres.
3. Vu la difficulté ou l'impossibilité d'assurer des moyens de suivi dans certains pays, il faudrait pouvoir accéder, aux fins des travaux de recherche, à l'information contenue dans les certificats de décès, en en préservant le caractère confidentiel. L'OMS devrait encourager activement le rapprochement, dans les Etats Membres, des renseignements concernant l'activité professionnelle d'une part et les causes de décès d'autre part.
4. Il faudrait harmoniser les méthodes d'observation et d'évaluation des concentrations massiques et numériques de fibres, qui diffèrent selon les pays. Il faudra, tant que des différences persisteront, se reporter à une méthode de référence qui permette de comparer, aux fins d'épidémiologie, les observations faites dans des usines et pays différents.
5. La méthode d'observation adoptée pour les études rétrospectives a permis de réunir des données comparables concernant les diverses usines durant une courte période. Il faudrait y apporter, pour des raisons théoriques et pratiques, certaines modifications, puis revoir dans environ trois ans la

méthode de référence modifiée. Cette méthode a des limites : comme elle s'appuie sur la microscopie optique, elle ne permet pas de mesurer la dimension des fibres, opération qui nécessite l'emploi du microscope électronique; elle ne se prête peut-être pas non plus à l'observation des nouveaux types de fibres dont l'indice de réfraction est inférieur à 1,5. Le comité technique mentionné dans la recommandation 6 devrait étudier ces points, ainsi que d'autres questions techniques apparentées (entre autres les effets possibles de l'électricité statique sur les prélèvements).

6. Il faut tenir compte des différences substantielles entre les évaluations des concentrations de FMA en suspension dans l'air, et principalement des concentrations numériques qui ont été constatées d'un laboratoire à l'autre à l'occasion des études rétrospectives. Il conviendrait de mettre au point un système central de référence pour la numération et la mesure des dimensions des FMA, afin d'en harmoniser les résultats et de créer les moyens de procéder à des études épidémiologiques prospectives. Les détails de l'application de ce système devraient être élaborés par un comité technique créé avec le soutien de la Commission mixte européenne de recherche médicale. Le système devrait comporter des travaux de recherche destinés à résoudre les problèmes techniques évoqués au cours de la réunion. Son application devrait être confiée à des instituts compétents de la Région européenne de l'OMS, normalement à raison d'un par pays.

7. Les données relatives à la variabilité des expositions sur longue période font défaut. Afin de faciliter l'élaboration en 1982 d'un protocole expérimental des études épidémiologiques prospectives, il conviendrait de réaliser, en utilisant la méthode de référence agréée, des études pilotes des expositions professionnelles comportant la mesure de cette variabilité, dans les quatre usines choisies pour les études de faisabilité sur la surveillance et la notation des observations, ou dans certaines d'entre elles au moins. Cela permettrait d'apprécier les stratégies des prélèvements sur longue période en fonction de la fréquence et du coût de ces prélèvements.

#### REFERENCES

1. Stanton, M.F. & Wrench, C. Journal of the National Cancer Institute, 48:797-821 (1972).
2. Pott, F. & Friedrichs, K.A. Naturwissenschaften, 59:318 (1972).
3. Cameron, J.D. Annals of occupational hygiene, 20:149-152 (1977).
4. Klingholtz, R. Annals of occupational hygiene, 20:153-159 (1977).
5. Hill, J.W. Annals of occupational hygiene, 20:161-173 (1977).
6. Gilson, J.C. Annals of occupational hygiene, 20:175-178 (1977).
7. Rossiter, C.E. Annals of occupational hygiene, 20:179-187 (1977).
8. Dodgson, J. et al. In: Proceedings of a Symposium on the Biological Effects of Mineral Fibres, Lyon, 1979, Lyon, International Agency for Research on Cancer, 1980 (Scientific publication No. 30).
9. Esmen, N. et al. Environmental research, 15:262-277 (1978).
10. Beckett, S.T. Annals of occupational hygiene, 16:405-408 (1973).
11. Walton, W.H. et al. Annals of occupational hygiene, 19:215-224 (1976).
12. Orenstein, A.J. ed. Proceedings of the Pneumoconiosis Conference, Johannesburg, 1959. Londres, Churchill, 1960.
13. Ogden, T.L. & Birkett, J.L. Annals of occupational hygiene, 21:41-50 (1978).
14. Wood, J.D. & Birkett, J.L. Annals of occupational hygiene, 22:299-310 (1979).

15. Vincent, J.H. & Mark, D. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Inhaled Particles, Cardiff, 1980. Sous presse.
16. Armbruster, L. & Breuer, H. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Inhaled Particles, Cardiff, 1980. Sous presse.
17. Technical Note 1. Rochdale, Asbestosis Research Council, 1971.
18. Edwards, G.H. & Lynch, J.R. Annals of occupational hygiene, 11:1-6 (1968).
19. Recommended technical method No. 1. Londres, Asbestos International Association.

Annexe 1

METHODE NORMALISEE RECOMMANDEE POUR L'OBSERVATION  
DES FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES EN SUSPENSION DANS L'AIR

J. Dodgson<sup>a</sup>

But

Les techniques décrites dans la présente annexe ont été mises au point dans le but de mesurer l'exposition des travailleurs aux poussières pendant toute la durée de leurs postes de travail dans l'industrie des fibres minérales artificielles (FMA). Elles permettent de mesurer la concentration numérique moyenne des fibres et leur concentration massique "totale" sur 8 heures. Comme il s'agissait essentiellement de mesurer les expositions aux fibres, les techniques se basent sur celles adoptées en général dans le cas de l'amiante. Bien qu'il existe un consensus international sur la mesure des poussières respirables, il n'en est pas de même en ce qui concerne la méthode de mesure des poussières totales. Par conséquent, toutes les techniques d'usage courant, y compris celle qui est décrite ici, sont empiriques. Les démarches décrites ne conviennent pas nécessairement pour la détermination des expositions maximales et ne peuvent pas nécessairement être suivies telles quelles pour s'assurer du respect des règlements officiels applicables aux expositions dans les industries utilisatrices de FMA. Les mesures effectuées pendant toute la durée des postes de travail correspondent mieux toutefois à l'exposition des travailleurs dans les ateliers et peuvent donc servir à déterminer les valeurs limites d'exposition (c'est-à-dire les concentrations auxquelles un sujet peut être exposé 40 heures par semaine). Elles peuvent également servir pour des études épidémiologiques.

Présentation succincte de la méthode

Tout d'abord, on fait subir à des membranes filtrantes un traitement préalable pour les débarrasser de toute charge électrostatique, puis on les stabilise et on les pèse. On procède ensuite au prélèvement en plaçant le filtre dans le rayon respiratoire du sujet. Le prélèvement consiste à faire passer à travers le filtre une quantité d'air donnée au moyen d'une pompe alimentée par batterie. On stabilise et on pèse à nouveau le filtre pour connaître la masse de particules déposées. Après avoir rendu le filtre transparent, on compte les fibres déposées sur des parties du filtre choisies au hasard au moyen d'un microscope à contraste de phase ou interférentiel à grossissement d'environ 500X. On calcule ensuite le nombre total des fibres déposées sur le filtre. Le but principal de l'opération consiste à évaluer la concentration des poussières en suspension dans l'air d'après le nombre de fibres. Toutefois, la méthode permet aussi de déterminer dans le même temps la concentration massique. Si l'on veut seulement connaître la concentration numérique des fibres, il n'est pas nécessaire de peser les filtres.

Définition de la fibre et du fragment

Pour le comptage optique, on entend par "fibre" une particule de longueur supérieure ou égale à 5 µm et de rapport longueur/diamètre (dimension relative) supérieur ou égale à 3:1. On désigne par le terme "fragments" les particules de FMA de rapport longueur/diamètre inférieur ou égal à 3:1. On considère les fibres de diamètre inférieur à 3 µm comme "respirables", et celles de diamètre supérieur ou égale à 3 µm comme "non respirables". Les fragments "respirables" sont ceux dont le diamètre moyen projeté est inférieur à 5 µm.

	<u>Respirable</u>	<u>Non respirable</u>
Fibre $l/d \geq 3:1$	$d < 3 \mu m$	$d \geq 3 \mu m$
Fragment $l/d < 3:1$	$D < 5 \mu m$	$D \geq 5 \mu m$

l = longueur de la particule

d = diamètre de la particule

D = diamètre moyen projeté (diamètre d'un cercle de même superficie)

<sup>a</sup> Institut de Médecine du Travail, Edimbourg, Royaume-Uni

En l'absence d'autres indications convaincantes (morphologie ou indice de réfraction par exemple), il faut considérer les fibres comme des FMA et les compter comme telles. Il ne faut tenir compte des fragments que lorsqu'on peut en identifier la composition (indice de réfraction ou irisation par exemple).

#### Matériel et réactifs

##### Matériel de prélèvement

Les pompes doivent être suffisamment légères pour que les sujets puissent les porter pendant toute la durée d'un poste de travail sans inconfort, être alimentées par batterie et pouvoir fonctionner en continu pendant 8 heures au débit choisi, sans recharge. Il faut uniformiser le débit au moyen d'un dispositif extérieur en cas de besoin.

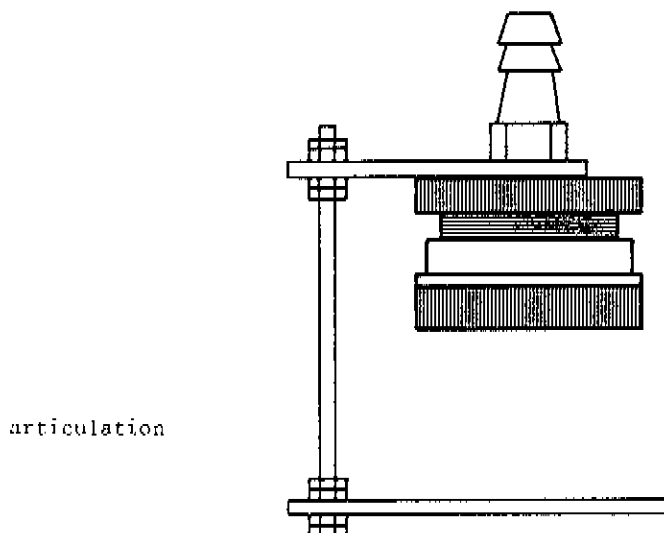
Les chargeurs doivent pouvoir recharger complètement les batteries en 16 heures afin de permettre leur emploi pendant un poste de travail chaque jour. On doit aussi pouvoir prolonger la charge sans risque d'endommager la batterie ni le chargeur. Il est préférable d'utiliser un témoin lumineux qui s'allume lorsque la batterie est en charge plutôt que lorsque le chargeur est simplement sous tension.

##### Les filtres (voir plus loin).

Les porte-filtres doivent être légers, pouvoir maintenir solidement le filtre utilisé, et ne pas gêner les mouvements. Il est préférable d'utiliser des porte-filtres "ouverts", à condition de protéger le filtre au moyen d'un écran. On peut utiliser des porte-filtres à capuchon vissé à condition que les capuchons présentent des orifices suffisamment grands pour ne pas être obstrués par des agglomérations de fibres. Le porte-filtre ne doit, en aucun cas, interposer, en avant du filtre, des tubes ou autres obstacles semblables. Les porte-filtres les plus communément utilisés sont les Gelman de 25 mm et le modèle Millipore de 35 mm (voir Annexe 3, Appendice A).

Les écrans protecteurs des portes-filtres doivent être légers et couvrir toute la surface du filtre sans freiner le passage de l'air. Il faut également qu'on puisse les enlever aisément pour faciliter la lecture des débits à l'entrée du porte-filtre. Un modèle utilisable avec le porte-filtre Gelman ou Millipore est représenté à la figure 1.

Fig. 1. Porte-filtre avec écran protecteur



Les tubes doivent ne pas se cisailer facilement et pouvoir être assemblés au moyen de joints étanches.

Les débitmètres doivent pouvoir mesurer le débit à la surface du filtre. Les mesures du débit effectuées en tout autre point de la chaîne de prélèvement peuvent être faussées par des fuites. Les débits saccadés prêtent également à des erreurs de mesure.

Les agrafes de revers. Pour placer le filtre dans la zone de respiration du travailleur, il faut fixer le porte-filtre à un revers du vêtement ou à une bretelle. Il vaut mieux utiliser les pinces à ressort que les épingles de sûreté, etc., car elles ne transpercent ni n'endommagent les vêtements du travailleur.

Une ceinture doit être utilisée pour soutenir la pompe durant le prélèvement, afin d'améliorer le confort du travailleur et d'immobiliser la pompe en bonne position.

Les étuis de porte-filtres. Lorsqu'ils ne font pas partie de l'embout de prélèvement fourni par le fabricant, il faut se les procurer pour protéger les filtres pendant le transport. On peut se procurer des étuis en plastique pour les embouts de prélèvement Gelman auprès d'Airoquip UK Ltd (voir Annexe 3, Appendice A).

#### Matériel optique

Le microscope. Il doit avoir un grossissement de 500X à 600X, avec un objectif grossissant environ 40 fois. Il ne faut utiliser ni des objectifs de puissance inférieure avec des oculaires puissants, ni des objectifs à immersion avec des oculaires à faible grossissement. Le microscope doit être d'un des types suivants :

- a) interférentiel; à diffraction selon le principe de la polarisation (les modèles Normaski et à objectif amovible ne sont pas recommandés). L'Institut de Médecine du Travail préfère ce modèle; il faut l'utiliser si l'on veut estimer le nombre des fragments de FMA;
- b) à contraste de phase; on peut utiliser la phase positive ou négative. Un anneau de phase à forte absorption (95%) dans l'objectif est à préférer. Ce modèle n'est pas recommandé pour l'estimation des fragments.

Afin de réduire la fatigue des yeux, il faut utiliser des microscopes binoculaires. Pour le travail au microscope à contraste de phase, il est recommandé d'incorporer dans le système d'éclairage un filtre vert ou bleu, surtout avec des anneaux de phase positifs à faible absorption (60%).

Réticule de l'oculaire (voir la partie consacrée aux techniques de microscopie et de numération).

#### Matériel de montage des filtres

Lame de microscope. On utilise communément des lames de verre de 25 x 76 (0,8-1,0 mm d'épaisseur) de la meilleure qualité.

Lamelles. Les lamelles sont indispensables pour monter le spécimen et pour l'examen optique. Elles doivent avoir une taille légèrement supérieure à celle du filtre à monter et une épaisseur adaptée au réglage de l'objectif.

Scalpel. S'il faut couper des parties de filtre, un scalpel de chirurgien à lame droite convient. Les ciseaux sont à déconseiller car ils peuvent endommager l'échantillon.

Pincés. Une série de pincés de haute qualité à bouts larges et à bouts pointus est indispensable pour la manipulation des filtres.

Essuie-lentilles. On recommande un essuie-lentilles qui ne peluche pas pour nettoyer les lamelles. Un mouchoir en papier du commerce convient pour les lames. La contamination des fibres par des tissus organiques peut être aisément constatée et éliminée.

Dispositif de chauffage. On recommande un bain-marie et un flacon d'un litre pour chauffer l'acétone lorsqu'on utilise ce produit pour le montage.

#### Réactifs

Acétone. L'acétone de laboratoire convient pour le montage des filtres.

Triacétate de glycérol. La qualité de laboratoire est suffisamment pure, mais il ne faut pas l'utiliser si elle dégage une odeur d'acide acétique.

Méthanol. On peut utiliser le méthanol de laboratoire pour nettoyer les lames, les lamelles de verre, etc.

Hyamine 2389. (voir Annexe 3, Appendice A; on la trouve normalement en solution aqueuse à 50%).

#### Préparation du filtre

##### Type du filtre

On recommande des membranes filtrantes d'ester de cellulose, blanches, à pores de 0,8 ou 1,2  $\mu\text{m}$ , avec quadrillage imprimé de préférence. On peut les remplacer par des filtres en fibre de verre (GF A) lorsque seules les concentrations massiques sont demandées. Il faut choisir le diamètre du filtre en fonction de trois considérations.

- La chute de pression à travers les filtres. Lorsque la chute de pression est proche de la limite recommandée pour la pompe utilisée, ou supérieure à cette limite, il faut accroître le diamètre du filtre ou la dimension des pores. Cela revêt une importance particulière lorsque les prélèvements sont étalés sur un poste de travail complet.
- La densité prévue de fibres recueillies. On n'évalue qu'un nombre limité de champs de vision au microscope. La fraction de filtre examinée diminue en proportion inverse de la dimension du filtre. Cela peut donner lieu à de plus grandes erreurs de numération en cas de faibles concentrations. Inversement, à forte concentration, un filtre plus grand réduira la proportion de fibres chevauchantes.
- La méthode de montage du filtre. Il n'est pas toujours possible de monter le filtre dans son entier sur une lame de microscope. Or, le fonctionnement du filtre accroît les risques de perte de matière prélevée. De plus, des différences notables peuvent être observées entre parties différentes d'un même filtre (1). Cela n'apparaît pas nécessairement si l'on n'en observe qu'un fragment, et il faut choisir, si possible, la dimension du filtre de façon à pouvoir le monter en entier sur une lame. On préfère utiliser des filtres à pores de 0,8  $\mu\text{m}$  et de 25 mm de diamètre pour les prélèvements aux concentrations relativement faibles qui sont observées dans la plus grande partie des locaux de production de l'industrie des FMA.

##### Élimination de la charge électrostatique des filtres

La charge électrostatique d'un filtre peut influencer à la fois sur la précision de la mesure massique et sur les caractéristiques de prélèvement du filtre. On peut éviter l'erreur de pesée en déchargeant le filtre avant ou pendant la pesée au moyen d'une source radioactive. Cela peut nécessiter des manipulations supplémentaires, qui sont à éviter, et ne pas éliminer complètement la charge. Mark (2) a mis au point une meilleure méthode qui permet de réduire la résistance électrique des filtres jusqu'à  $10^6$  fois.

On ramène la Hyamine 2389 à une concentration de 0,1% (attention : les concentrations plus fortes augmentent beaucoup la chute de pression à travers le filtre durant le prélèvement). On verse environ 40 mm de cette solution dans un cristalliseur ou une cuvette. Un litre suffit pour une cinquantaine de filtres. On place les filtres sur la solution et on les laisse s'y enfoncer. Tous ceux qui restent à la surface au bout de 6 heures sont doucement immergés au fond du récipient. Au bout de 24 heures, on enlève les filtres et on les fait sécher entre des feuilles de papier-filtre, afin d'empêcher que la formation locale de bulles de détergent n'obstrue en partie le filtre. Cela peut arriver si on sèche les filtres sur un matériau non absorbant. Une fois secs, il est facile de stabiliser les filtres pour les peser.

##### Pesée avant prélèvement

Il faut toujours manipuler les filtres avec des pinces à bouts ronds en les saisissant par le bord.

Parfois, on trouve dans un lot un filtre dont le poids augmente énormément lorsqu'il est humide. Il faut donc veiller à ce que la variation du poids des filtres avec l'humidité soit uniforme dans un même lot. Avant de peser les filtres, il faut les laisser se stabiliser toute une nuit dans des boîtes en métal individuelles dont le couvercle restera légèrement ouvert, et qui seront placées dans la salle des balances. Une seconde pesée, précédée elle aussi de 24 heures de stabilisation, fera apparaître une variation type qui permettra de déceler les filtres défectueux. Il faut garder les filtres pesés dans des boîtes en métal étanches aux poussières ou les monter sur des porte-filtres dûment recouverts jusqu'à leur utilisation.

Il faut conserver au moins quatre filtres témoins par lot. Ils ne serviront pas aux prélèvements, mais seront repesés chaque fois qu'un des échantillons sera analysé. Cela permettra de déterminer tout changement du poids du filtre dû à l'humidité.

## Prélèvements

### Généralités

Afin d'estimer l'exposition moyenne d'un travailleur par poste de travail, il faut prélever des échantillons dans sa zone respiratoire (c'est-à-dire dans un rayon de 300 mm entourant le visage et centré sur le nez). La surface du filtre peut se présenter sous n'importe quel angle allant de l'horizontale absolue à la verticale absolue, et doit être protégée par un écran placé en avant pour empêcher toute contamination accidentelle ou volontaire (voir la partie consacrée au matériel). Cette précaution revêt une importance particulière à proximité des fours, où des particules de verre en fusion projetées à grande vitesse risquent de percer le filtre. Normalement, le porte-filtre Millipore de 37 mm s'utilise sans sa partie frontale et on le protège au moyen d'un écran placé à environ 5 mm de son extrémité. A défaut, il convient de percer six orifices supplémentaires de 4 mm dans certaines parties frontales (3). Ces parties sont alors utilisées au cours du prélèvement, puis remplacées par des parties normales pour le transport.

### Choix du débit

Le débit de prélèvement doit être compris entre 0,5 et 2 l/mn. Il faut éviter les débits plus faibles, car il arrive qu'à basse vitesse l'éluvation des particules réduise la concentration massique mesurée et que les effets de contamination soient plus marqués.

Il faut régler le temps de prélèvement et le débit pour obtenir entre 50 et 1000 fibres/mm<sup>2</sup> et réduire ainsi au minimum les erreurs de comptage. En présence de fortes concentrations de particules ou de fibres, il peut se révéler nécessaire d'effectuer une série de prélèvements consécutifs de courte durée plutôt qu'un prélèvement prolongé.

### Réglage des pompes

Il faut essayer les pompes avant de les utiliser afin de s'assurer qu'elles fonctionnent selon les spécifications du fabricant. Le débit doit être réglé au préalable avec toute la chaîne de prélèvement (régulateurs, filtres, etc.) en place. Certains types de pompes comprennent un échappement d'air qui permet de modifier le débit à travers le filtre. Ces échappements doivent toujours être fermés et il faut régler le débit en modifiant la course du piston. Si l'échappement est ouvert, il laissera passer d'autant plus d'air que la chute de pression à travers le filtre augmentera du fait de l'accumulation de particules à sa surface. Il en résultera alors vraisemblablement un fort ralentissement du débit d'air prélevé.

Aucune pompe ne doit fonctionner sans filtre à l'entrée sous peine de s'endommager. Toutes les pompes doivent être mises en marche quelques minutes avant le réglage du débit. Certains modèles étant également sensibles aux changements de températures, il faut les laisser chauffer pendant au moins une demi-heure avant de les régler.

### Mode de prélèvement

Mise en route. La pompe doit être portée par le travailleur au moyen d'une ceinture ou d'un harnais, et le porte-filtre fixé à ses vêtements dans sa zone respiratoire. On peut fixer les tubes de raccordement au vêtement avec du ruban adhésif. C'est à ce moment qu'il y a lieu d'enlever le couvercle ou capuchon protégeant le filtre et de vérifier si le filtre est intact. On relève ensuite l'heure de la mise en route et toute autre lecture de temps ou de volume sur le cadran de la pompe.

Vérification du fonctionnement. Il faut contrôler le débit à travers le filtre pendant le prélèvement, le noter, ainsi que le temps, et le faire si possible toutes les heures pendant les prélèvements de longue durée. Si le débit s'est modifié, on peut parfois remettre la pompe sur son réglage précédent (voir la partie consacrée aux techniques de microscopie et de comptage). Si le débit baisse de plus de 30%, il faut arrêter le prélèvement. Les filtres endommagés doivent être retirés et les échantillons jetés. Il faut remplacer par des filtres neufs ceux qui portent des échantillons denses. En règle générale, le filtre doit être changé quand son quadrillage imprimé n'est plus aisément visible.

Fin du prélèvement. A la fin du temps de prélèvement, arrêter la pompe et remettre immédiatement le capuchon du porte-filtre; noter l'heure. Il faut laisser si possible le filtre dans le porte-filtre jusqu'à ce qu'il soit prêt à être analysé.

### Témoins

Certains filtres témoins (2% minimum) doivent être préparés de la même manière que ceux destinés aux prélèvements, mais on n'y fera pas passer d'air. Si l'on y trouve plus de 15 fibres par  $\text{mm}^2$ , il faudra revoir toute l'opération de prélèvement et d'analyse pour déterminer la cause de leur contamination.

### Transport des filtres

On peut transporter les filtres dans les porte-filtres à condition de les protéger de la contamination au moyen d'un capuchon ou d'un étui, ou bien dans une boîte, en métal ou non. Dans ce dernier cas, il faut retirer le filtre du porte-filtre au moyen de pinces dans un local étanche aux poussières, en prenant soin de n'en saisir que le bord non exposé. Ce bord sera fixé à la base au moyen de ruban adhésif. Après son transport, on peut facilement retirer le filtre du récipient au moyen d'un scalpel. Il faut éviter d'employer des récipients en matière plastique très isolante, afin de réduire au minimum les effets électrostatiques qui peuvent entraîner une perte de fibres.

Les porte-filtres et récipients doivent être emballés dans une boîte rigide contenant suffisamment de mousse plastique expansée pour éviter tout écrasement et réduire le plus possible les vibrations. Il faut veiller à ce que la boîte ne subisse pas trop de chocs. Il est souhaitable de monter déjà une partie des filtres (ou fractions de filtres) avant le transport, de façon à pouvoir estimer les pertes éventuelles de fibres. L'expérience montre que la perte de fibres pendant le transport est minime. On ne recommande pas l'emploi de fixateurs, soit cytologiques, soit sur base parapex.

### Pesée et montage du filtre

#### Pesée de l'échantillon

Il faut prendre grand soin, en démontant le porte-filtre, de ne pas agiter l'échantillon ni endommager le filtre. Les filtres seront stabilisés et repesés comme plus haut. Une balance analytique à cinq décimales convient à cet effet. Un minimum de quatre filtres témoins doivent être pesés chaque fois qu'on étudie un lot de filtres. La différence moyenne avec leur poids initial correspond à la correction à apporter au poids des filtres de prélèvement.

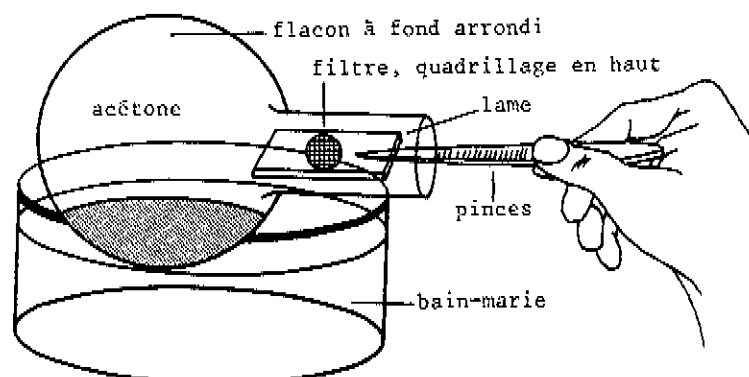
#### Montage du filtre

Le montage doit rendre le filtre transparent, sans y introduire de défauts qui pourraient gêner ou fausser le comptage des fibres. Il vaut mieux utiliser une méthode qui lui confère une transparence permanente, car cela permet de réanalyser plus tard l'échantillon en cas de besoin. L'Institut de Médecine du Travail utilise la vapeur d'acétone<sup>a</sup> (4). Toutefois, on peut recourir à des méthodes d'éclaircissement non permanent, à condition d'analyser les échantillons dans les quelques semaines suivant leur montage. La méthode à la triacétine (5) et la méthode au diméthyl-phtalate/diéthyl-oxalate (3) sont toutes deux acceptables et utilisées actuellement. Elles ne sont pas nécessairement recommandées, par contre, pour toutes les marques de filtres; la triacétine, par exemple, ne peut être utilisée avec certains filtres Gelman. Avant de les monter, il faut examiner tous les échantillons afin de s'assurer que le dépôt n'est pas trop dense pour le comptage optique. En cas de doute concernant la densité du matériau collecté, on peut diviser le filtre en deux parties et en monter une selon la technique normale. On lavera la poussière déposée sur la deuxième partie du filtre et on la déposera sur un filtre propre qui pourra ensuite être analysé selon la même technique. Comme cette façon de procéder nécessite des manipulations délicates, elle n'est pas recommandée pour l'usage courant. Il faut éviter de recueillir des échantillons denses en diminuant le temps de prélèvement ou le volume d'air prélevé.

Méthode de montage à l'acétone/triacétine. On place le filtre, côté poussières en haut, sur une lame de microscope propre et tiède, puis on le plonge dans de la vapeur d'acétone à haute température, produite dans un flacon de verre chauffé au bain-marie jusqu'à légère ébullition (figure 2). Si l'acétone ne bout pas suffisamment, le filtre risque de se déformer et d'onduler avant de s'éclaircir. Après un séjour d'environ deux secondes dans la vapeur, le filtre s'éclaircit; il faut alors le retirer du flacon et laisser évaporer l'excédent d'acétone. On recouvre ensuite le filtre d'une lamelle propre, avec une goutte de triacétine pour assurer un bon contact optique entre l'échantillon et la lamelle.

<sup>a</sup> Le chauffage de l'acétone doit s'effectuer au bain-marie, uniquement sous hotte ou dans une pièce bien aérée. Il ne faut laisser en aucun cas la vapeur d'acétone entrer en contact avec une flamme nue.

Fig. 2 Matériel de préparation à l'acétone



### Techniques de microscopie et de numération

#### Réglage du microscope

Il faut suivre soigneusement les instructions de réglage du microscope données par le fabricant. L'alignement optique des systèmes à contraste de phase et interférentiels doit être vérifié régulièrement, et toujours après changement de lentilles ou transport du microscope.

#### Réticule de l'oculaire

Tout réticule peut servir à l'observation des FMA à condition de répondre à trois conditions :

- graduations espacées d'exactly 5  $\mu\text{m}$ ;
- graduations espacées d'exactly 3  $\mu\text{m}$  (particulièrement important pour la numération distincte des fibres respirables et non respirables);
- zone de comptage centrale nettement définie et n'occupant pas plus du cinquième du champ de vision total du microscope.

On peut répondre à ces trois conditions en insérant dans un oculaire un réticule qui délimite la zone de comptage et dans l'autre un réticule de mesure (Graticules Ltd - modèle E17, par exemple).

On peut aussi utiliser un réticule Walton-Beckett unique (6) (Graticules Ltd - modèle E22). Ce modèle a été conçu précisément pour la numération des fibres, mais le réticule doit être fabriqué spécialement pour chaque ensemble oculaire/objectif.

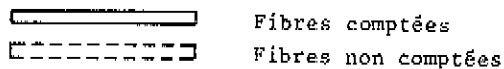
La vision du réticule doit toujours être absolument nette; c'est pourquoi la lentille supérieure de l'oculaire doit de préférence être réglable. De plus, avant de l'utiliser et après tout changement ou ajustement des lentilles du microscope, il faudra mesurer, au moyen d'un micromètre adapté au porte-lame, les écarts entre graduations du réticule (à noter que le réglage change très légèrement lorsqu'on modifie la distance entre oculaires sur un microscope binoculaire).

#### Utilisation du réticule

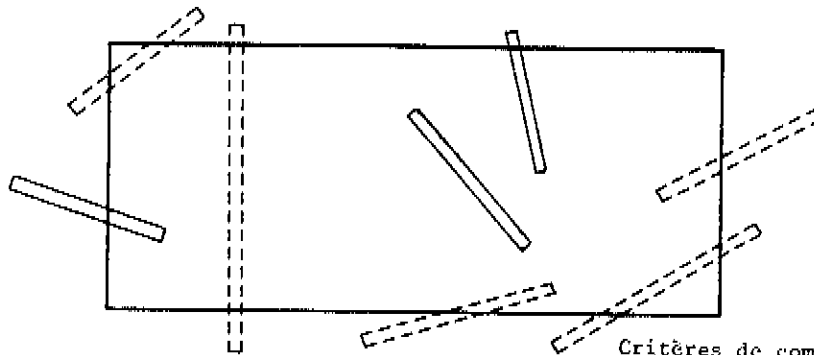
Seule la zone centrale sert pour le comptage des fibres, et on ne retient d'abord que les fibres qui s'y trouvent totalement incluses. Il faut aussi fixer des règles pour le comptage des fibres à cheval sur les limites de cette zone. On choisit normalement, tout d'abord, deux bords adjacents (ou un demi-cercle pour un réticule circulaire). On compte les fibres à cheval sur ces bords, mais non celles qui se trouvent à cheval sur les deux autres bords (ou sur l'autre demi-cercle). Seules seront comptées les fibres dont une extrémité se trouve dans la zone centrale. Celles qui traversent la zone de part en part ne le seront pas (figure 3).

Il ne faut pas observer le champ de vision total du microscope, car cela peut mener à une numération fortement réduite (7).

Fig. 3 Critères proposés pour le comptage des fibres à cheval sur les bords d'une zone de comptage



a) Zone de comptage rectangulaire

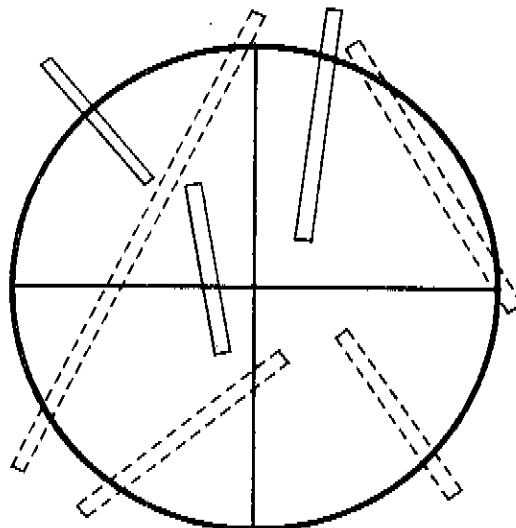


Critères de comptage :

bord supérieur et bord gauche considérés

bord inférieur et bord droit non considérés

b) Zone de comptage circulaire



Critères :

demi-cercle supérieur considéré

demi-cercle inférieur non considéré

Comptage. Le comptage a pour but d'évaluer le nombre total des fibres retenues à la surface du filtre, afin de pouvoir calculer ensuite, compte tenu du volume d'air prélevé, leur concentration initiale dans l'air. On dénombre les fibres respirables et non respirables dans 100 plages du réticule, à moins que l'on n'y observe plus de 200 fibres (respirables ou non). Il faut examiner un minimum de 10 plages, même si l'on y dénombre plus de 200 fibres.

Cent plages du réticule Walton-Beckett représentent environ 0,2% seulement de la surface d'un filtre de 25 mm de diamètre, et la méthode suppose que les fibres sont réparties de façon homogène sur le filtre. Il faut veiller :

- a) à rejeter les filtres qui présentent des dépôts irréguliers;

b) à ce que les plages du réticule choisies au hasard soient représentatives de l'ensemble de l'échantillon monté et ne se chevauchent pas (la méthode consiste à traverser le filtre par une ligne, en commençant par le haut, et à compter les fibres sur des plages choisies au hasard le long de la ligne traversante; on recommence l'opération avec d'autres lignes choisies au hasard sur toute la surface du filtre jusqu'à ce qu'on ait examiné le nombre voulu de plages); et

c) à toujours observer un champ sélectionné, sauf si plus de la moitié de sa surface est obscurcie.

Précision du comptage. Les différences entre comptages de fibres peuvent s'expliquer par deux raisons :

a) différences ou effets systématiques, tenant à des différences de technique (de prélèvement, de montage, entre règles de comptage, etc.) ou à des composantes personnelles (erreurs subjectives). L'évaluation et l'analyse des erreurs systématiques constituent un sujet en soi et ne sont pas traitées ici;

b) erreurs aléatoires, c'est-à-dire imprévisibles et d'amplitude variable. Elles se produisent du fait que l'observateur n'examine qu'une partie limitée de l'échantillon recueilli sur membrane filtrante, soit 0,2% habituellement. Cela suppose que des observations répétées d'un même échantillon portent normalement sur différentes parties. Si l'on effectue un nombre suffisant de mesures contrôlées, il arrive que les erreurs aléatoires soient minimales et soient considérées comme négligeables. Par contre, on ne peut éliminer les différences découlant des effets systématiques (techniques différentes ou erreurs subjectives) en observant une surface plus grande du filtre. Il est difficile de distinguer l'ampleur et l'origine des différences systématiques si l'erreur aléatoire est importante elle aussi.

Des contrôles effectués à partir de données sur les FMA provenant de travaux de recherche sur l'environnement ont confirmé que la distribution de Poisson permet de décrire assez bien la distribution des fibres sur les membranes filtrantes. Ainsi, lorsque les fibres se distribuent au hasard sur une surface, la probabilité (P) d'observer x fibres dans un champ de vision donné s'obtient par la formule :

$$P_x = \frac{\mu^x \exp(-\mu)}{x!}$$

Les limites de confiance à 95% de la distribution de Poisson figurent au tableau 1. Par exemple, lorsqu'on observe 4 fibres dans un champ donné, la densité réelle de fibres est comprise entre 1 et 10 fibres 95 fois sur 100. On voit sur la figure 4 que les limites sont relativement asymétriques et proportionnellement très étendues lorsqu'on observe moins de 20 fibres. Les limites ont tendance à devenir beaucoup plus faibles et symétriques quand le nombre de fibres observées se rapproche de 100.

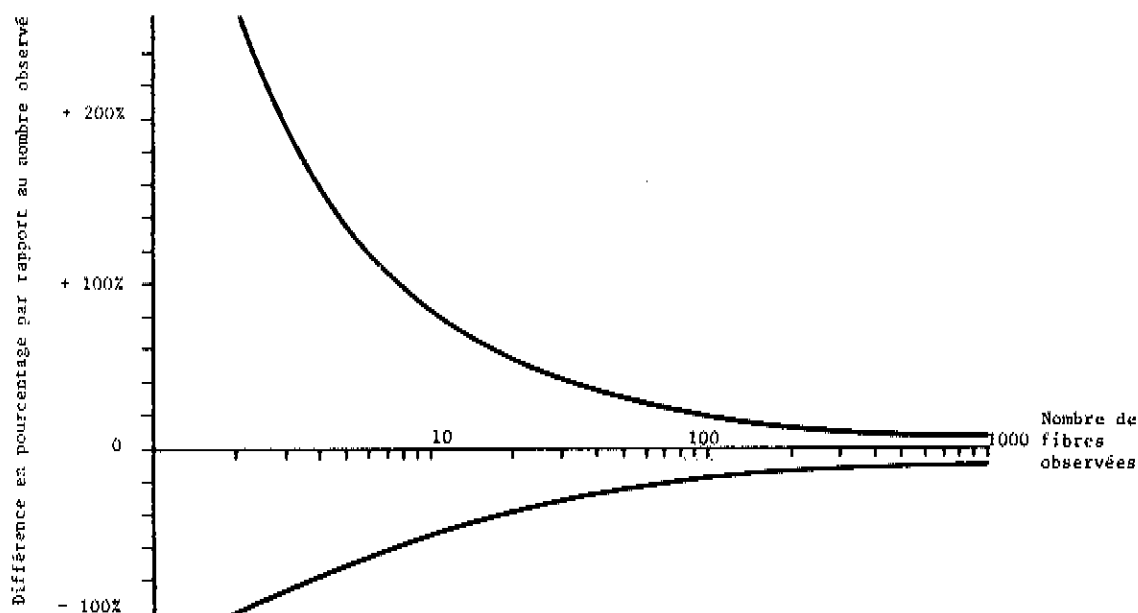
Lorsque l'évaluation porte sur des échantillons de volume similaire (environ 500 litres par exemple) et que tous les comptages se rapportent à une même fraction de la surface du filtre (autour de 0,2% par exemple), on peut établir à peu près le rapport entre le nombre des fibres observées sur le filtre et la densité des fibres dans l'air :

1 fibre observée	-	0,001 fibres/ml
10 fibres observées	-	0,01 fibres/ml
100 fibres observées	-	0,1 fibres/ml

Tableau 1. Limites de confiance à 95% de la distribution de Poisson

Nombre de fibres observées	Limite inférieure des fibres	Limite supérieure des fibres
1	0	6
2	0	7
3	1	9
4	1	10
5	2	12
10	5	18
20	12	31
30	20	42
40	28	54
50	37	66
100	82	122
200	174	230

Fig. 4. Limites de confiance à 95% pour la densité non connue des fibres (dans l'hypothèse d'une distribution de Poisson)



Le tableau 1 et la figure 4 montrent l'un et l'autre à l'évidence que de grandes variations aléatoires du nombre de fibres observées peuvent se produire aux faibles densités; toutefois, exprimées en concentrations de fibres en suspension dans l'air, ces variations sont peu significatives.

#### Distribution par dimensions

Comme on ne sait pas exactement quels sont les paramètres de la dimension des fibres qui interviennent le plus dans l'activité biologique de ces fibres, il est souhaitable de connaître la distribution par longueurs et diamètres des diverses fibres en suspension dans l'air.

Les limites de résolution des microscopes et les problèmes techniques restreignent généralement l'emploi de la microscopie optique aux distributions de fibres de longueur supérieure à 5 µm. Le microscope électronique convient mieux à l'observation des fibres plus courtes,<sup>a</sup> et on le considère comme le seul système satisfaisant pour déterminer les distributions des diamètres de fibres respirables (inférieur à 3 µm).

On peut mesurer la distribution par longueurs au moyen de la technique optique précédemment décrite en utilisant les critères suivants :

- a) les critères décrits plus haut;
- b) appliquer les règles de comptage des fibres à cheval sur les bords du réticule, rendant le résultat indépendant de la longueur des fibres; et
- c) mesurer 200 fibres au moins.

#### Calculs

Volume d'air prélevé. On calcule le volume d'air prélevé en multipliant la durée du prélèvement par le débit mesuré. Si ce débit change au cours du prélèvement, il faut évaluer le volume d'air en supposant que le débit mesuré a varié de façon linéaire.

Concentration de fibres dans l'air. On détermine cette concentration (C) en divisant le nombre estimé des fibres déposées sur le filtre (N) par le volume d'air prélevé (V) :

$$C = \frac{N}{V}, \text{ et } N = \frac{An}{ga}$$

où  
A = surface du dépôt (et non du filtre) (en mm<sup>2</sup>)  
a = surface du réticule (mm<sup>2</sup>) dans le plan de l'objet  
g = nombre de plages observées  
n = nombre de fibres comptées sur ces g plages.

La combinaison de ces deux équations donne :

$$C = \frac{An}{gaV} \text{ fibres/ml, où } V \text{ est exprimé en ml.}$$

#### REFERENCES

1. Bartosiewicz, L. American Industrial Hygiene Association Journal, 34(6):252-259 (1973).
2. Mark, D. Annals of occupational hygiene, 17:35-40 (1974).
3. Edwards, G.H. & Lynch, J.R. Annals of occupational hygiene, 11:1-6 (1968).
4. Membrane filter method for estimating airborne asbestos dust. Canberra, National Health and Medical Research Council, 1976.
5. Technical Note 1. Rochdale, Asbestosis Research Council, 1971.
6. Walton, W.H. & Beckett, S.T. Annals of occupational hygiene, 20:19-23 (1977).
7. Beckett, S.T. et al. Annals of occupational hygiene, 19:69-76 (1976).

<sup>a</sup> On peut obtenir des détails sur les méthodes de microscopie électronique employées à l'Institut de Médecine du Travail d'Edimbourg en s'adressant directement à cet Institut.

## Annexe 2

### MISE EN PLACE D'UN SYSTEME CENTRAL DE REFERENCE POUR LA NUMERATION DES FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES (FMA)

J. Dodgson<sup>a</sup>

#### BUT

Définir des étalons de comptage à partir d'échantillons de FMA afin que les numérations effectuées par différents laboratoires en microscopie optique ou en microscopie électronique à balayage puissent être comparées à ces étalons.

#### Exposé de la méthode

La norme de référence sera la moyenne des numérations effectuées par un groupe de laboratoires "de référence" expérimentés (un par pays, par exemple) travaillant selon une méthode convenue avec les organismes compétents (la méthode agréée). On établira cette moyenne en envoyant à tous les laboratoires de référence des échantillons préparés "permanents" à observer. Ces échantillons étalons seront ensuite mis à la disposition des autres laboratoires qui voudraient évaluer leurs résultats. Il sera indispensable, pour le succès de l'opération, d'obtenir une cohérence raisonnable entre les résultats des laboratoires de référence; pour y arriver, des réunions et des débats entre représentants de ces laboratoires pourront se révéler nécessaires. Il faudra recommencer la distribution d'échantillons entre les laboratoires de référence à intervalles appropriés (tous les six mois, par exemple). On introduira chaque fois de nouveaux échantillons dans le système afin d'entretenir ou d'accroître le stock de référence; de plus, on remettra en circulation des échantillons déjà observés pour vérifier la stabilité du groupe de laboratoires de référence sur longue période. Il sera nécessaire de procéder à une distribution distincte des étalons destinés à la microscopie optique d'une part et à la microscopie électronique à balayage de l'autre.

On pourra comparer les résultats des autres laboratoires d'un pays avec la moyenne des résultats des laboratoires de référence (ou avec les résultats du laboratoire de référence de ce pays), en demandant à ces autres laboratoires d'effectuer la numération d'une partie des échantillons-étalons.

Si un laboratoire emploie plus d'une personne à la numération FMA, l'une d'elles pourrait être chargée de la numération-étalons des échantillons, tandis que les résultats des autres seraient comparés aux siens sur la base de l'observation d'échantillons locaux. Le système de contrôle et les résultats des numérations seraient soumis pour appréciation à l'organisme central de référence, afin de réduire les demandes d'échantillons-étalons, dont le nombre sera forcément limité.

On ne pourra estimer avec précision la concordance des résultats des différents laboratoires, les limites de variation acceptables, le nombre des échantillons, la fréquence des contrôles, etc., au moyen de l'analyse statistique des résultats qu'une fois le système mis en place. Ces estimations nécessiteront des entretiens et des accords entre organismes intéressés.

#### Les laboratoires de référence

Les laboratoires de référence seront des laboratoires existant depuis longtemps, expérimentés et réputés, qui auront joué un rôle de premier plan dans l'élaboration des techniques de mesure des FMA, auront affaire à toute la gamme des échantillons susceptibles d'être recueillis, et qui représenteront différents intérêts.

#### Méthode de numération agréée

La méthode de numération des FMA décrite à l'Annexe 3 constituera la base de la méthode agréée, sous réserve d'un accord à ce sujet avec les laboratoires et autres organismes intéressés.

<sup>a</sup> Institut de Médecine de Travail, Edimbourg, Royaume-Uni

### Plan de travail

Tout d'abord, dix laboratoires de référence, par exemple, fourniront chacun dix échantillons de membranes filtrantes d'un modèle convenu (afin d'obtenir une bonne représentativité globale), préparées à l'acétone/triacétine pour obtenir une transparence permanente et permettre une évaluation optique. Tous les laboratoires étudieront ensuite chacun de son côté ces cent échantillons. D'autres distributions semblables auront lieu tous les six mois, avec cinquante nouvelles lames et vingt anciennes. De plus, les laboratoires de référence participants devront fournir, pour examen au microscope électronique à balayage, des échantillons de filtres Nuclepore montés sur porte-objet et recouverts d'or. On estime pouvoir étudier commodément un tiers environ de l'ensemble de tous ces échantillons. Tous serviront à la comparaison des numérations et certains seulement (un quart par exemple) serviront à celle des distributions par dimensions, car la technique employée à cet effet exige du temps et coûte cher. On pense, d'après l'expérience du Laboratoire central de référence pour la numération des fibres d'amiante, que des recherches spéciales s'avéreront nécessaires pour harmoniser les numérations et les méthodes. On les déterminera en se reportant aux résultats des numérations et moyennant des échanges de vues entre représentants des laboratoires de référence.

Pour être efficace, le programme devra être suivi de manière continue. On suggère que l'Institut de Médecine du Travail d'Edimbourg, Royaume-Uni, ait deux fonctions bien distinctes :  
1) faire partie du groupe des laboratoires de référence et 2) diriger l'opération. Cette dernière fonction comprendrait l'organisation de l'échange de spécimens entre laboratoires de référence; la réception, le codage et l'envoi des lames, ainsi que l'appréciation des numérations effectuées; l'établissement des diagrammes de contrôle de qualité des laboratoires de référence, indiquant les dispersions, les tendances, la stabilité à long terme, etc.; l'organisation de réunions si nécessaire; l'envoi des échantillons, l'analyse des données, enfin la constitution d'archives. Les chercheurs chargés de ces activités devront être compétents en matière de numération des fibres, car il leur faudra s'assurer que les échantillons sont intacts, etc., guider les discussions entre représentants des laboratoires de référence, et codifier les méthodes agréées.

### Annexe 3

#### METHODE DE REFERENCE RECOMMANDEE POUR L'OBSERVATION DES CONCENTRATIONS NUMERIQUES DE FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES EN SUSPENSION DANS L'AIR

Les techniques décrites ci-après ont pour but de mesurer l'exposition des travailleurs aux poussières de fibres minérales artificielles (FMA) pendant la durée des postes de travail. Elles permettent de mesurer la concentration numérique moyenne des fibres sur une période de 8 heures. La mesure des concentrations durant tout un poste de travail permet de mieux estimer l'exposition des travailleurs dans les ateliers et peut servir pour déterminer les valeurs limites d'exposition (c'est-à-dire les concentrations auxquelles un sujet peut être exposé 40 heures par semaine). Elles peuvent également servir pour les études épidémiologiques. Les techniques utilisées s'appliquent sur celles adoptées communément pour l'observation des fibres d'amiante (1, 2).

#### Présentation succincte de la méthode

Tout d'abord, on fait subir à des membranes filtrantes un traitement préalable pour les débarrasser de toute charge électrostatique. On procède ensuite au prélèvement en plaçant le filtre dans la zone respiratoire du sujet. Le prélèvement consiste à faire passer à travers le filtre une quantité donnée d'air au moyen d'une pompe alimentée par batterie. Après avoir rendu le filtre transparent, on compte les fibres déposées sur des parties du filtre choisies au hasard, au moyen d'un microscope à contraste de phase à un grossissement d'environ 500X. On calcule ensuite le nombre total des fibres déposées sur le filtre, et, à partir de ce nombre, les concentrations de poussières en suspension dans l'air.

#### Définition de la fibre

Pour le comptage optique, on définit la "fibre" comme une particule de longueur supérieure ou égale à 5 µm et de rapport longueur/diamètre (dimension relative) supérieure ou égale à 3:1. On considère les fibres de diamètre inférieur à 3 µm comme "respirables" et celles de diamètre supérieur ou égal à 3 µm comme "non respirables".

	<u>Respirable</u>	<u>Non respirable</u>
Fibre l/d ≥ 3:1, l ≥ 5 µm	d < 3 µm	d ≥ 3 µm
l = longueur		
d = diamètre		

En l'absence d'autres indications convaincantes (morphologie par exemple), il faut considérer les fibres comme des FMA et les compter comme telles.

#### Matériel et réactifs

##### Matériel de prélèvement

Une liste de fournisseurs de matériels adéquats est donnée à l'Appendice A à titre indicatif. Elle n'implique aucune reconnaissance par l'OMS de la qualité de leurs produits, ni une quelconque préférence pour ces matériels.

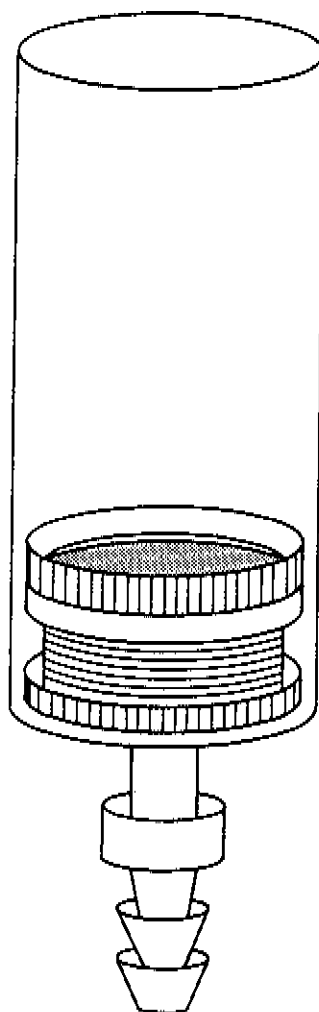
Les pompes doivent être suffisamment légères (< 1 kg) pour que les sujets puissent les porter pendant toute la durée d'un poste de travail sans inconfort, être alimentées par batterie, et pouvoir fonctionner en continu sans recharge pendant 8 heures au moins, au débit choisi. Il faut amortir les irrégularités du débit au moyen d'un dispositif extérieur en cas de besoin.

Les chargeurs doivent pouvoir recharger complètement les batteries en 16 heures afin de permettre leur emploi pendant un poste de travail chaque jour. On doit aussi pouvoir prolonger la charge sans risque d'endommager la batterie ni le chargeur. Il est préférable d'utiliser un témoin lumineux qui s'allume lorsque la batterie est en charge plutôt que lorsque le chargeur se trouve sous tension.

Les filtres. Il faut utiliser des membranes filtrantes d'ester de cellulose, quadrillées, blanches, de 25 mm de diamètre, et à mailles de 1,2 µm.

Les porte-filtres doivent être légers, pouvoir maintenir solidement le filtre utilisé, et ne pas gêner les mouvements. Il faut utiliser des porte-filtres ouverts munis d'un capuchon métallique (figure 1) qui protège le filtre d'un endommagement accidentel.

Fig. 1. Porte-filtre et capuchon protecteur



Les tubes doivent ne pas se cisailer facilement et pouvoir être assemblés au moyen de joints étanches.

Les débitmètres doivent pouvoir mesurer le débit à la surface du filtre; les mesures du débit effectuées en tout autre point de la chaîne de prélèvement peuvent être faussées par des fuites. Le débitmètre doit avoir une précision d'au moins 10% au débit choisi. Il faut régler les débitmètres tous les ans, en se rapportant à une norme appropriée (c'est-à-dire compteur à gaz à eau, compteur à pellicule de savon).

Les agrafes de revers. Il vaut mieux utiliser des pinces à ressort que des épingles de sûreté, etc., car elles ne transpercent ni n'endommagent les vêtements du travailleur.

Une ceinture doit être utilisée pour soutenir la pompe durant le prélèvement, afin d'améliorer le confort du travailleur et d'immobiliser la pompe en bonne position.

Les étuis de porte-filtre. Lorsqu'ils ne font pas partie de l'embout de prélèvement fourni par le fabricant, il faut se les procurer pour protéger les filtres pendant le transport.

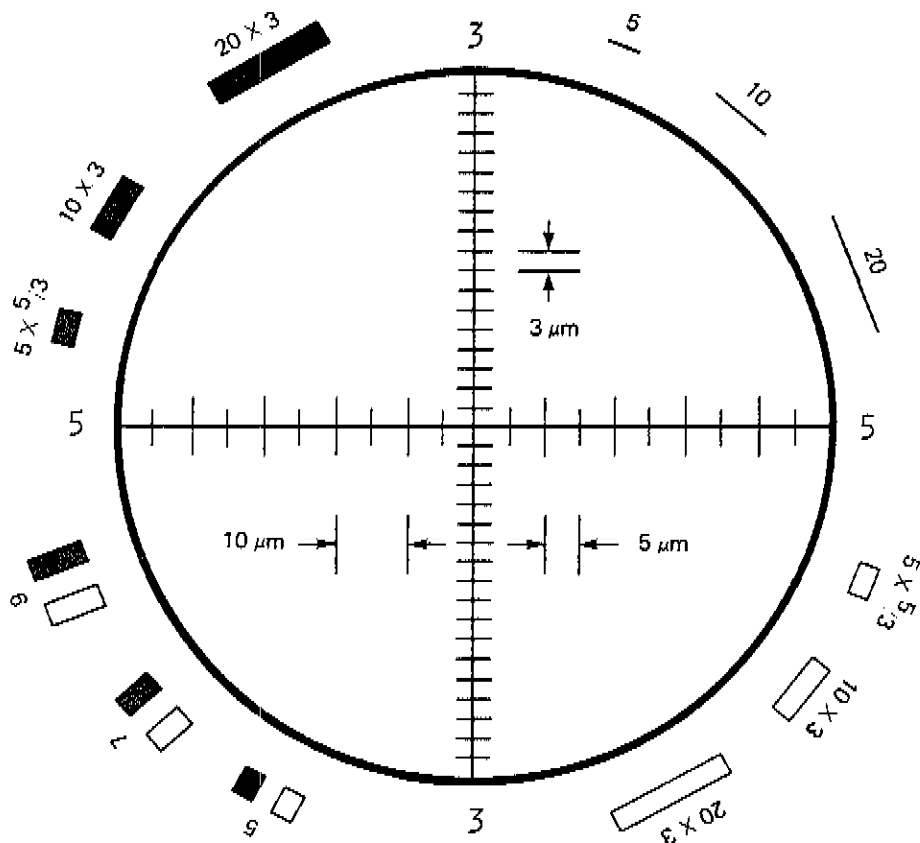
Matériel optique

Microscope

Il doit répondre aux spécifications suivantes :

Eclairage	Eclairage de Köhler incorporé.
Ensemble platine inférieure	Condensateur à contraste de phase dans une monture permettant centrage et focalisation. Le mécanisme de centrage de l'anneau de phase doit être indépendant du mécanisme de centrage du condensateur.
Objectif	Objectif achromatique de grossissement 40X, à contraste de phase, avec ouverture numérique de 0,65 au moins parafoval. Les anneaux de phase doivent avoir un coefficient d'absorption compris entre 70 et 90%. Les systèmes de phase positive ou négative conviennent indifféremment.
Oculaire	Binoculaire compensateur. Grossissement total compris entre 500 et 600X. L'une des lentilles oculaires doit permettre l'insertion d'un réticule et être du type à focale réglable.
Réticule	Il faut utiliser le réticule Walton-Beckett (figure 2).
Accessoires	Télescope de centrage ou lentille de Bertrand; filtre vert; micromètre adapté à la platine, 1 mm de long, avec des divisions de 2 $\mu\text{m}$ ; lame de contrôle Health and Safety Executive/National Physical Laboratory (HSE/NPL), <sup>a</sup> afin de contrôler la limite de détection de l'ensemble microscope-observateur.

Fig. 2 Le réticule Walton-Beckett



<sup>a</sup> N.d.t. : Direction de la Santé et de la Sécurité/Laboratoire national de Physique.

### Matériel de montage des filtres

Lames de microscope. On doit utiliser des lames de verre de 25 x 76 (0,8-1,0 mm d'épaisseur) de la meilleure qualité.

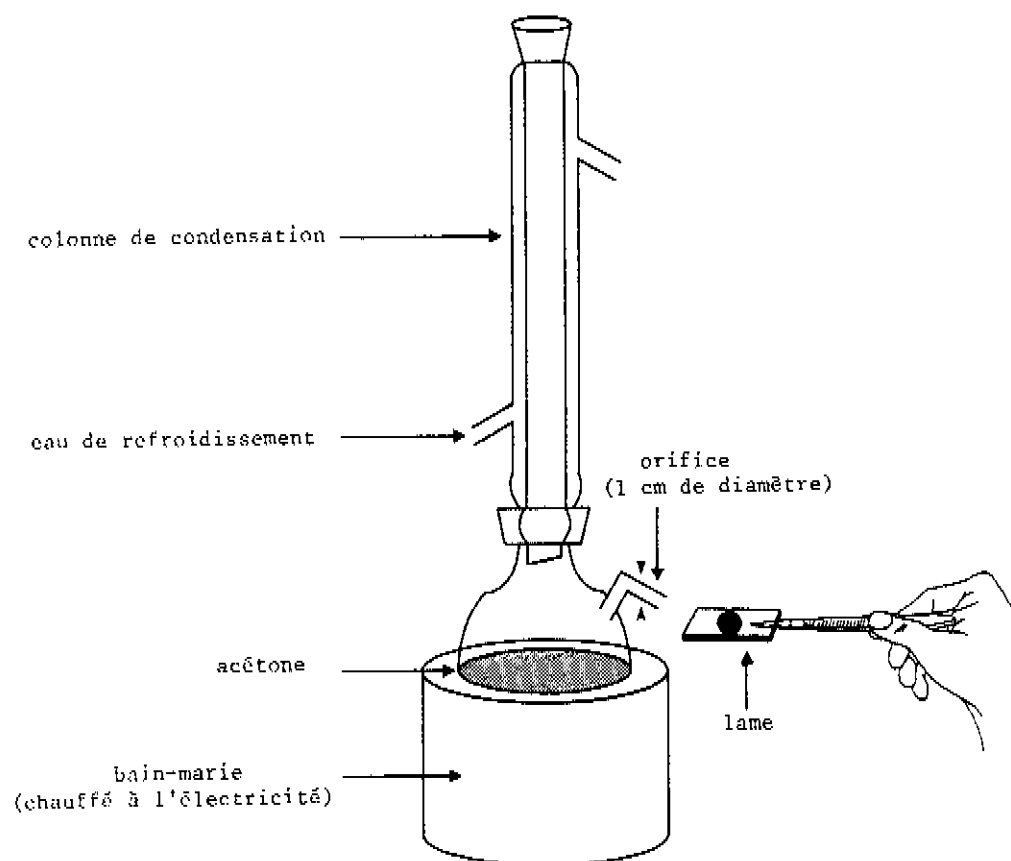
Lamelles. Les lamelles sont indispensables pour placer l'échantillon et pour l'examen optique. Elles doivent avoir une taille légèrement supérieure à celle du filtre à monter et une épaisseur adaptée au réglage de l'objectif.

Pincés. Une série de pincés de haute qualité à bouts larges et à bouts pointus est indispensable pour la manipulation des filtres.

Essuie-lentilles. Il faut utiliser un essuie-lentilles qui ne peluche pas pour nettoyer les lamelles. Un mouchoir en papier du commerce convient pour les lames.

Dispositif de chauffage. Il faut utiliser, pour chauffer l'acétone, un bain-marie chauffé à l'électricité, un flacon à double col et un condensateur à eau (voir figure 3).

Fig. 3. Matériel de montage à l'acétone



### Réactifs (débarassés des fibres par filtration)

Acétone. Il convient d'utiliser l'acétone de laboratoire pour le montage des filtres.

Triacétate de glycérol (triacétine). La qualité de laboratoire est suffisamment pure, mais il ne faut pas l'utiliser si elle dégage une odeur d'acide acétique.

Ethanol. On peut utiliser l'éthanol de laboratoire pour nettoyer les lames, les lamelles de verre, etc.

Hyamine 2389. On la trouve normalement en solution aqueuse à 50%.

### Préparation du filtre

#### Élimination de la charge électrostatique des filtres

La charge électrostatique d'un filtre peut influencer sur ses caractéristiques de prélèvement. Mark a mis au point une méthode (3) qui permet de réduire la résistance électrique des filtres jusqu'à  $10^6$  fois.

On ramène la Hyamine 2389 à une concentration de 0,1% (attention : des concentrations plus fortes augmentent beaucoup la chute de pression à travers le filtre durant le prélèvement). On verse environ 40 mm de cette solution dans un cristalliseur ou une cuvette. Un litre suffit pour une cinquantaine de filtres. On place les filtres sur la solution et on les laisse s'y enfoncer. Tous ceux qui restent à la surface au bout de 6 heures sont doucement immergés au fond du récipient. Au bout de 24 heures, on enlève les filtres et on les fait sécher entre des feuilles de papier-buvard afin d'empêcher que la formation locale de bulles de détergent n'obstrue en partie le filtre, ce qui peut arriver si on sèche les filtres sur un matériau non absorbant.

### Prélèvements

#### Généralités

Afin d'estimer l'exposition moyenne d'un travailleur par poste de travail, il faut prélever des échantillons dans sa zone respiratoire (c'est-à-dire dans un rayon de 300 mm entourant le visage et centré sur le nez). Il faut attacher le porte-filtre muni de son capuchon au revers du vêtement ou sur l'épaule afin que la surface du filtre pointe vers le bas sous un angle d'environ  $45^\circ$ .

#### Choix du débit

Le débit de prélèvement doit être compris entre 0,5 et 2 l/mn. Il faut éviter les débits plus faibles, car il y a alors éluviation des particules et les effets de contamination sont plus marqués.

Il faut régler le temps de prélèvement et le débit pour obtenir entre 50 et 1000 fibres/mm<sup>2</sup> et réduire ainsi au minimum les erreurs de comptage. En présence de fortes concentrations de particules ou de fibres, il peut se révéler nécessaire d'effectuer une série de prélèvements consécutifs de courte durée plutôt qu'un prélèvement prolongé.

#### Réglage des pompes

Il faut essayer les pompes avant de les utiliser afin de s'assurer qu'elles fonctionnent selon les spécifications du fabricant. Le débit doit être réglé au préalable avec toute la chaîne de prélèvement (régulateurs, filtres, etc.) en place. Certains types de pompes comprennent un échappement d'air qui permet de modifier le débit à travers le filtre. Ces échappements doivent toujours être fermés et il faut régler le débit en modifiant la course du piston. Si l'échappement est ouvert, il laissera passer d'autant plus d'air que la chute de pression à travers le filtre augmentera du fait de l'accumulation de particules à sa surface. Il en résultera alors vraisemblablement un fort ralentissement du débit d'air prélevé.

Aucune pompe ne doit fonctionner sans filtre à l'entrée, sous peine de s'endommager. Il faut faire marcher les pompes quelques minutes avant de régler le débit. Certains modèles étant également sensibles aux changements de température, il faut les laisser chauffer pendant au moins une demi-heure avant d'en régler le débit.

Il ne faut pas se fier aux chronomètres mécaniques incorporés dans certains modèles de pompes, car ils sont souvent inexacts. Il faut déterminer la durée réelle du prélèvement.

#### Mode de prélèvement

Mise en route. La pompe doit être portée par le travailleur au moyen d'une ceinture ou d'un harnais, et le porte-filtre fixé à ses vêtements dans sa zone respiratoire. Il faut fixer les tubes de raccordement aux vêtements au moyen de pinces à ressort. C'est à ce moment qu'il y a lieu

d'enlever le couvercle ou capuchon protégeant le filtre et de vérifier si le filtre est intact. On relève ensuite l'heure de la mise en route et toute autre lecture de temps ou de volume sur le cadran de la pompe.

Vérification du fonctionnement. Il faut contrôler le débit à travers le filtre pendant le prélèvement, le noter ainsi que le temps, et le faire si possible toutes les deux heures pendant les prélèvements de longue durée. Si le débit baisse de plus de 20%, il faut arrêter le prélèvement. Si le débit s'est modifié, on peut parfois remettre la pompe sur son réglage précédent (voir la partie consacrée aux techniques de microscopie et de comptage). Les filtres endommagés doivent être retirés et les échantillons jetés. Il faut remplacer par des filtres neufs ceux qui portent des échantillons denses. En règle générale, le filtre doit être changé quand son quadrillage imprimé n'est plus aisément visible. Lorsque les filtres ont été changés pendant un poste de travail, il faut calculer les concentrations moyennes en fonction du temps d'utilisation de chaque filtre.

Pauses. Si un travailleur prend une pause-repas ou autre hors du lieu de travail, déconnecter l'appareil de prélèvement et l'ôter temporairement si la pause n'est pas payée; si elle l'est, garder l'appareil en place et en marche.

Fin du prélèvement. A la fin du temps de prélèvement, remettre le capuchon du porte-filtre, puis arrêter aussitôt la pompe en notant l'heure. Le filtre doit rester dans le porte-filtre jusqu'à ce qu'il soit prêt pour analyse.

#### Transport des filtres

On doit transporter les filtres dans les porte-filtres munis d'un capuchon ou d'un étui qui les protège de la contamination. Après le prélèvement, il faut retirer le filtre du porte-filtre dans un local étanche aux poussières, au moyen de pinces et en prenant soin de n'en saisir que le bord non exposé.

Les porte-filtres et récipients doivent être emballés dans une boîte rigide contenant suffisamment de mousse expansée pour éviter tout écrasement et pour réduire le plus possible les vibrations. Il faut veiller à ce que la boîte ne subisse pas trop de chocs. Il ne faut pas utiliser de fixateurs cytologiques ou sur base perspex.

#### Témoins

Certains filtres témoins (2% minimum) doivent être transportés et préparés de la même manière que ceux destinés aux prélèvements afin de contrôler une contamination accidentelle, mais sans y faire passer d'air ni les attacher aux vêtements d'un travailleur. Si l'on y trouve plus de 15 fibres par  $\text{mm}^2$ , il faudra revoir toute l'opération de prélèvement et d'analyse pour déterminer la cause de leur contamination.

#### Montage du filtre

Il faut monter la totalité du filtre de 25 mm sur une lame de microscope. Le fractionnement du filtre accroît les risques de perte de fibres. De plus, on peut constater entre différentes parties d'un même filtre des différences sensibles (4), qui n'apparaîtront pas si on n'en examine qu'une fraction.

La méthode de montage du filtre utilise la vapeur d'acétone<sup>a</sup> (5), comme décrit ci-dessous.

Il faut examiner tous les échantillons avant de les monter afin de s'assurer que le dépôt n'est pas trop dense pour le comptage optique. En cas de doute quant à la densité du matériau recueilli, il faudra prélever de nouveaux échantillons en diminuant le temps de prélèvement ou le volume d'air prélevé.

On place le filtre, côté poussières en haut, sur une lame de microscope propre et tiède, puis on le plonge dans la vapeur d'acétone à haute température. On produit la vapeur d'acétone dans un flacon de verre à double col chauffé au bain-marie électrique jusqu'à légère ébullition de l'acétone (figure 3). Le condensateur fonctionne en continu, sortie ouverte, mais on ferme la sortie du

<sup>a</sup> Le chauffage de l'acétone doit s'effectuer au bain-marie, sous hotte ou dans une pièce bien aérée. Il ne faut laisser en aucun cas la vapeur d'acétone entrer en contact avec une flamme nue.

jet de vapeur d'acétone jusqu'à ce que le filtre soit prêt à être éclairci. Il est alors placé sous le jet. Après environ deux secondes dans la vapeur d'acétone, il s'éclaircit; il faut alors l'enlever pour permettre à l'excès d'acétone de s'évaporer. On remet ensuite le bouchon, et on couvre le filtre d'une lamelle propre, avec une goutte de triacétine ( $2 \mu\text{l}/\text{cm}^2$  de filtre environ) pour assurer un bon contact optique entre l'échantillon et la lamelle. Si l'acétone ne bout pas suffisamment, le filtre risque de se déformer et d'onduler avant de s'éclaircir.

Il faut noter que la méthode à l'acétone-triacétine ne convient pas aux matériaux dont l'indice de réfraction est compris entre 1,43 et 1,49.

#### Techniques de microscopie et de numération

L'observateur doit avoir une bonne vue et être formé par une personne expérimentée dans la numération des fibres.

##### Réglage du microscope

Il faut suivre soigneusement les instructions de réglage du microscope données par le fabricant. L'alignement optique du microscope à contraste de phase doit être vérifié régulièrement, et toujours après changement de lentilles ou transport du microscope. Il faut utiliser une lame de contrôle NBS/NPL pour vérifier si l'ensemble microscope-observateur fonctionne de façon acceptable. Cette lame comprend sept séries de lignes parallèles de largeur variable, et l'observateur doit pouvoir discerner la sixième série ( $0,36 \mu\text{m}$ ) ou la septième ( $0,25 \mu\text{m}$ ).

##### Réticule de l'oculaire

Le réticule utilisé pour l'observation des FMA doit répondre aux conditions suivantes :

- a) il doit comporter des graduations espacées de  $5 \mu\text{m}$  exactement;
- b) il doit comporter des graduations espacées de  $3 \mu\text{m}$  exactement (cela est particulièrement important pour la numération distincte des fibres respirables et non respirables);
- c) il doit comporter au centre une zone de comptage clairement définie et n'occupant pas plus du cinquième du champ de vision total du microscope.

Le réticule Walton-Beckett (6) (voir Appendice A et figure 2) répond à ces conditions. Il a été spécialement conçu pour la numération des fibres, mais doit être fabriqué individuellement pour chaque ensemble oculaire/objectif de façon que le diamètre effectif soit de  $100 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$ . Les détails à indiquer lors de la commande d'un réticule de ce type sont spécifiés à l'Appendice B.

La vision du réticule doit toujours être absolument nette, et il vaut mieux utiliser un oculaire réglable. De plus, avant de l'utiliser et après tout changement ou ajustement des lentilles du microscope, il faut mesurer au moyen d'un micromètre adapté au porte-lame les dimensions des graduations du réticule. Le diamètre exact doit aussi être mesuré pour permettre le calcul de la surface du réticule.

(Note : Il se peut que le réglage change très légèrement sur un microscope binoculaire lorsque des modifications de la distance entre oculaires influent sur la longueur du tube.)

##### Utilisation du réticule

Seule la zone centrale sert pour le comptage des fibres. Il faut compter le nombre total des extrémités de fibres qui se trouvent dans le champ du réticule et diviser par deux afin de déterminer le nombre de fibres.

**Comptage.** Le comptage a pour but d'évaluer le nombre total des fibres retenues à la surface du filtre afin de pouvoir calculer ensuite, compte tenu du volume d'air prélevé, leur concentration initiale dans l'air. On compte le nombre de fibres respirables et non respirables dans 100 plages du réticule, à moins que l'on n'y dénombre plus de 100 fibres (respirables ou non). Il faut observer au moins vingt plages, même si l'on y dénombre plus de cent fibres.

Cent plages du réticule Walton-Beckett ne représentent qu'environ 0,2% de la surface d'un filtre de 22 mm de diamètre, et la méthode suppose que les fibres sont réparties de façon homogène sur le filtre. Il faut veiller :

- a) à rejeter les filtres qui présentent des dépôts irréguliers ou des fuites manifestes par les bords;
- b) à ce que les plages du réticule choisies au hasard soient représentatives de l'ensemble de l'échantillon monté et ne se chevauchent pas (la méthode consiste à traverser le filtre par une ligne, en commençant par le haut, et à compter les fibres sur des plages choisies au hasard le long de la ligne traversante; on recommence l'opération avec d'autres lignes choisies au hasard sur toute la surface du filtre jusqu'à ce qu'on ait évalué le nombre voulu de plages);
- c) à toujours observer un champ sélectionné, sauf lorsque des particules obscurcissent plus du huitième de sa surface; et
- d) à compter, dans chaque plage du réticule, les fibres répondant aux dimensions données au paragraphe 3), en appliquant la règle de l'"extrémité contenue" définie plus haut.

Il faut respecter les conventions suivantes :

- 1) Fibres simples - comptées selon leurs dimensions géométriques
- 2) Fibres divisées - rares parmi les FMA; à compter chacune comme une fibre unique selon ses dimensions géométriques
- 3) Fibres groupées - lorsque plusieurs fibres s'entrecroisent et que l'on peut distinguer aisément chacune d'elles, compter chaque fibre séparément selon ses dimensions géométriques (lorsque des fibres entrecroisées forment des agglomérats dont on ne peut pas identifier facilement les composants, ne pas compter ces agglomérats comme des fibres)
- 4) Fibres attachées à des particules - comptées comme des fibres selon leurs dimensions géométriques

Précision de comptage. Les différences entre comptages de fibres peuvent s'expliquer par deux raisons :

- a) différences ou effets systématiques, tenant à des différences de techniques (de prélèvement, de montage, entre règles de comptage, etc.) ou à des composantes personnelles (erreurs subjectives). L'évaluation et l'analyse des erreurs systématiques constituent un sujet en soi et ne sont pas traitées ici;
- b) erreurs aléatoires, c'est-à-dire imprévisibles et d'amplitude variable. Elles se produisent du fait que l'observateur n'examine qu'une partie limitée de l'échantillon recueilli sur membrane filtrante, soit moins de 0,2% habituellement. Cela signifie que des observations répétées d'un même échantillon en couvrent normalement des parties différentes. Si l'on effectue un nombre suffisant de mesures contrôlées, il arrive que les erreurs aléatoires soient minimales et soient normalement considérées comme négligeables. Par contre, on ne peut éliminer les différences découlant des effets systématiques en observant une surface partie plus grande du filtre. Il est difficile de déterminer l'ampleur et l'origine des différences systématiques si l'erreur aléatoire est, elle aussi, importante.

Des contrôles effectués à partir de données sur les FMA provenant de travaux de recherche sur l'environnement ont confirmé que la distribution de Poisson permet de décrire assez bien la distribution des fibres sur les membranes filtrantes. Ainsi, lorsque les fibres se distribuent au hasard sur une surface, la probabilité d'observer  $x$  fibres dans un champ de vision donné s'obtient par la formule :

$$P_x = \frac{\mu^x \exp(-\mu)}{x!}$$

Où  $\mu$  représente le nombre moyen de fibres observées sur un grand nombre de champs de vision.

Les limites de confiance à 95% de la distribution de Poisson figurent au tableau 1. Par exemple, quand la densité réelle moyenne est de 4 fibres dans un champ donné, le nombre dans 95 champs du même type sur 100 est compris entre 1 et 10 fibres.

Tableau 1. Limites de confiance à 95% de la distribution de Poisson

Nombre de fibres observées	Limite inférieure des fibres	Limite supérieure des fibres
1	0	6
2	0	7
3	1	9
4	1	10
5	2	12
10	5	18
20	12	31
30	20	42
40	28	54
50	37	66
100	82	122
200	174	230

Lorsque l'évaluation porte sur des échantillons de volume similaire (environ 500 litres par exemple) et que tous les comptages se rapportent à une même fraction de la surface (autour de 0,2% par exemple), on peut établir à peu près le rapport entre le nombre des fibres observées sur le filtre et la densité des fibres dans l'air :

1 fibre observée - 0,001 fibres/ml  
10 fibres observées - 0,01 fibres/ml  
100 fibres observées - 0,1 fibres/ml

Le tableau 1 montre à l'évidence que de grandes variations aléatoires du nombre de fibres observées peuvent se produire aux faibles densités; toutefois, exprimées en concentrations de fibres en suspension dans l'air, ces variations sont peu significatives.

#### Calcul

Volume d'air prélevé. On calcule le volume d'air prélevé en multipliant la durée du prélèvement par le débit mesuré. Si ce débit change au cours du prélèvement, il faut évaluer le volume d'air en supposant que le débit mesuré a varié de façon linéaire.

Concentration de fibres dans l'air. On détermine cette concentration (C) en divisant le nombre estimé des fibres déposées sur le filtre (N) par le volume d'air prélevé (V) :

$$C = \frac{N}{V}, \text{ et } N = \frac{An}{ga}$$

où A = surface du dépôt (et non du filtre) (en mm<sup>2</sup>)  
a = surface du réticule (mm<sup>2</sup>) dans le plan de l'objet  
g = nombre de plages observées  
n = nombre de fibres comptées dans ces g plages.

La combinaison de ces deux équations donne :

$$C = \frac{An}{gaV} \text{ fibres/ml, où V est exprimé en ml.}$$

REFERENCES

1. Technical Note 1. Rochdale, Asbestosis Research Council, 1971.
2. Reference method for the determination of airborne asbestos fibre concentrations at workplaces by light microscopy. Londres, Asbestos International Association, 1979.
3. Mark, D. Annals of occupational hygiene, 17:35-40 (1974).
4. Bartosiewicz, L. American Industrial Hygiene Association journal, 34(6):252-259 (1973).
5. Membrane filter method for estimating airborne asbestos dust. Canberra, National Health and Medical Research Council, 1976.
6. Walton, W.H. & Beckett, S.T. Annals of occupational hygiene, 20:19-23 (1977).

Appendice A

Pompes

- Modèle T13051/2 ou T13055

C.F. Casella & Co. Ltd  
Regent House  
Britannia Walk  
Londres, N1 7ND

Birger Carlsson & Co. AB  
Kaptensgatan 6  
114 57 Stockholm  
Suède

- Modèle G2000 ou L25F

Rotheroe & Mitchell Ltd  
14 Aintree Road  
Perivale  
Middlesex, UB6 7LJ  
Royaume-Uni

Scan Agent AB  
Box 15006  
161 15 Bromma  
Norvège

- MSA : modèle de pompe G

Mine Safety Appliances Company  
400 Penn Centre Boulevard  
Pittsburgh  
Pennsylvanie  
Etats-Unis

Ramström AB  
Fack  
161 20 Bromma  
Norvège

- Modèles P2500 et P4000 à gros débit

E.I. du Pont de Nemours & Co. (Inc)  
Fabrics and Finishes Department  
Applied Technology Division  
Brandywine Building 4300  
Wilmington  
Delaware 19898  
Etats-Unis

Oleico AB  
Sandhamsgatan 25  
115 28 Stockholm  
Suède

- RAC 209016 (américain)

Scan Agent AB  
Box 15006  
161 15 Bromma  
Norvège

- Spectrex PAS-3000 (américain)

Birger Carlsson & Co. AB  
Kaptensgatan 6  
114 57 Stockholm  
Suède

- Wärtsilä 8077DS (finlandais)

également Birger Carlsson & Co. AB

Porte-filtre

- Porte-filtre ouvert de 25 mm de diamètre

Gelman Hawksley Ltd  
12 Peter Road  
Lancing  
Sussex  
Royaume-Uni

### Filtres

- Membranes filtrantes quadrillées (mélange d'esters de cellulose)  
25 mm de diamètre, mailles de 1,2 µm.

Millipore UK Ltd  
Millipore House  
Abbey Road  
Londres, NW10 7SP

Millipore AB  
Box 17094  
402 61 Göteborg 17  
Suède

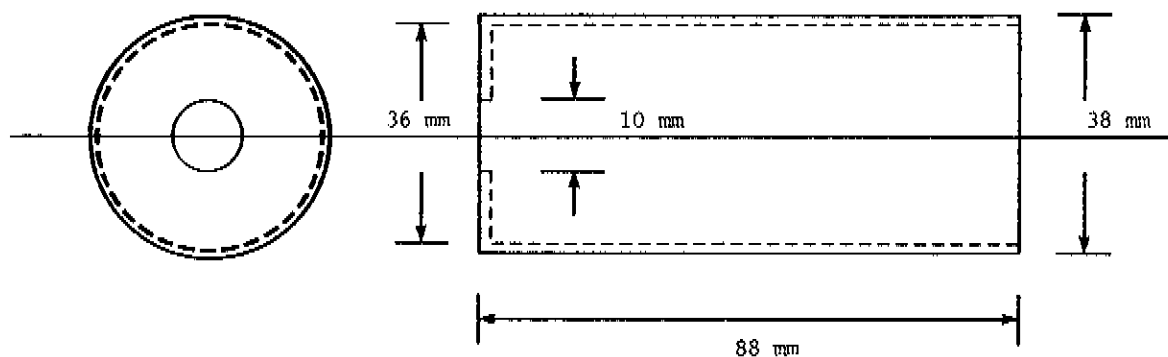
V.A. Howe & Co. Ltd  
88 Peterborough Road  
Londres SW6

- Interlab (Modèle Gelman TCM-1200)

Interlab  
Fack  
161 20 Bromma  
Norvège

### Capuchon de filtre

Ces capuchons ne se trouvant pas dans le commerce, il faut les fabriquer d'après le schéma suivant.



### Etuis de porte-filtre

On peut se procurer des étuis en matière plastique pour le porte-filtre Gelman de 25 mm de diamètre auprès de :

Airoquip UK Ltd  
165 Factory Centre  
Redditch  
Birmingham  
Royaume-Uni

### Pincés à ressort

Bandes de plastique avec pincés bulldog, 5 cm entre les trous :

Morane Plastic Co. Ltd  
Gresham Road  
Staines  
Middlesex  
Royaume-Uni

Réticule de l'oculaire

- Modèle G22

Walton Beckett (1977)

Craticules Ltd  
Sovereign Way  
Botany Trading Estate  
Tonbridge  
Kent, TN9 1RN  
Royaume-Uni

Lame de contrôle

- Lame HSE/NPL

PTR Optics Ltd  
46 Church Road  
Teddington  
Middlesex  
Royaume-Uni

Hyamine 2389

Robin & Hass Company, Philadelphie, Etats-Unis

Commercialisée par Hopkin & Williams  
Chadwell Heath  
Essex  
Royaume-Uni

Appendice B

COMMANDE D'UN RETICULE WALTON-BECKETT

Fabricant : Graticules Ltd  
Sovereign Way  
Botany Trading Estate  
Tonbridge  
Kent TN9 1RN  
Royaume-Uni

Lors d'une commande, préciser : réticule Walton-Beckett, Modèle G22, et le diamètre du cercle en millimètres correspondant à la taille d'un objet de 100  $\mu\text{m}$ .

On peut déterminer facilement ce diamètre pour n'importe quel réticule, en mesurant sa graduation à la troisième décimale et en mesurant ensuite la longueur correspondante de l'objet au micromètre adapté au porte-lame. Il est ensuite facile de calculer la longueur du réticule correspondant à 100  $\mu\text{m}$  sur le plan de l'objet.

Annexe 4

LISTE DES PARTICIPANTS

Conseillers temporaires

- M. B. Carton, Institut national de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents de Travail et des Maladies professionnelles, Paris, France
- M. J. Dodgson, Institute of Occupational Medicine, Edimbourg, Royaume-Uni (Rapporteur)
- Dr J. Gilson, Membury Hill Farm, Honiton, Devon, Royaume-Uni
- Dr J. Goscicki, Institute of Occupational Medicine, Lodz, Pologne
- Dr J.M. Le Guen, Occupational Medicine and Hygiene Laboratories, Health and Safety Executive, Cricklewood, Londres, Royaume-Uni
- M. B. Gylseth, Institute of Occupational Health, Oslo, Norvège
- Dr M. Navez, Isover Saint-Gobain, Neuilly-sur-Seine, France
- M. I. Oehberg, Rockwool AB, Skövde, Suède
- Dr A. van der Meulen, Physical Laboratory, National Institute of Public Health, Bilthoven, Pays-Bas
- Dr T. Schneider, National Institute for Occupational Health, Hellerup, Danemark
- Dr A. Schütz, Dust Research Institute, Bonn, République fédérale d'Allemagne
- Dr Y. Shimecc, Institute of Epidemiology and Public Health, Prague, Tchécoslovaquie
- Dr C. Tillmann, National Board of Occupational Safety and Health, Solna, Suède.

Représentants d'autres organisations

Centre international de Recherche sur le Cancer

Dr R. Saracci, Lyon, France

Organisation internationale du Travail

Dr N. Gavrilescu, Genève, Suisse

Joint European Medical Research Board

Dr T. Cuthe, Elkem-Spigerverket A/S, Oslo, Norvège

Dr J.W. Hill, Filkington Brothers Ltd Medical Centre, St Helens, Royaume-Uni

Organisation mondiale de la Santé

Bureau régional de l'Europe

Dr G. Lamm, Fonctionnaire régional pour les Maladies chroniques

Dr M.I. Mikheev, Fonctionnaire régional pour la Santé des travailleurs

M. J.I. Waddington, Directeur, Promotion de la salubrité de l'environnement