

ETUDE : M. 9830

ETUDE DE L'EMPOUSSIEREMENT FIBREUX A LA MINE DE SALAU (ARIEGE)

---

- 1) Analyse minéralogique de roches
- 2) Analyse de roches fibreuses
- 3) Prélèvements et analyses des poussières dans l'air  
par microscopie optique et microscopie électronique  
analytique

par

J.L. BOULMIER

12 JANVIER 1984

2

ETUDE DE L'EMPOUSSIEREMENT FIBREUX A LA MINE DE SALAU (ARIEGE)

RESUME

Cette étude fait le point sur le problème des poussières fibreuses, dont l'amiante, dans la mine de SALAU. Les contrôles d'empoussièremment (partie III) ont été précédés par :

- Une étude minéralogique en laboratoire d'échantillons de roche de la mine (partie I). Cette étude met en évidence de l'actinolite présentant parfois un faciès fibreux. Ce minéral fibreux est désigné sous le terme d'AMIANTE.
- Un examen par microscopie électronique des roches fibreuses (partie II et planches I à VI).
- Une visite technique à la mine de SALAU, destinée à définir la campagne de prélèvements de poussières en suspension dans l'air.

Les contrôles d'empoussièremment par des particules fibreuses ont été réalisés sur quatre sites : concassage, galerie 1230 mètres, DV 396 et DV 422 W. Les prélèvements sont analysés par microscopie optique et par microscopie électronique analytique. Les comptages effectués selon les normes du décret du 17 août 1977 sont inférieurs à  $0,4 \text{ fibre/cm}^3$  (cas de la pollution la plus élevée au concassage). La microscopie électronique montre que la moitié des fibres observées ne sont pas de l'amiante. Pour les autres, il s'agit d'actinolite dont les fragments fibreux dénombrés possèdent parfois un faciès asbestiforme. Le plus souvent, les particules "fibreuses", retenues sur le critère d'élancement  $> 3$ , peuvent résulter du clivage d'actinolite à faciès aussi bien prismatique ou aciculaire que réellement fibreux ou asbestiforme. Ceci explique que les particules d'élancement  $> 10$ , caractéristiques d'un faciès asbestiforme, sont rares.

13

SOMMAIRE

| <u>TEXTE</u>           |  | <u>PAGES</u> |
|------------------------|--|--------------|
| INTRODUCTION GENERALE  |  |              |
| <u>PARTIE I</u>        | : Etude minéralogique des échantillons de roches de la mine de SALAU (Ariège)            | 1 à 5        |
| <u>PARTIE II</u>       | : Etude par microscopie électronique analytique de roches fibreuses de la mine de SALAU  | 6 à 8        |
| <u>PARTIE III</u>      | : Prélèvements et analyses des poussières en suspension dans l'air dans la mine de SALAU |              |
| III.1 :                | Prélèvements   | 9            |
| III.2 :                | Démarche analytique pour l'étude des poussières fibreuses                                | 9            |
| III.3 :                | Résultats  | 12           |
| III.3.1 :              | Observations générales   | 12           |
| III.3.2 :              | Présentation des résultats   | 12           |
| III.3.3                |  |              |
| <u>Site A</u> :        | Concassage   | 13           |
| III.3.4                |  |              |
| <u>Site B</u> :        | Niveau 1230 m  | 17           |
| III.3.5                |  |              |
| <u>Site C</u> :        | Niveaux DV 390 et DV 396   | 20           |
| III.3.6                |  |              |
| <u>Site D</u> :        | Niveau DV 422 W  | 24           |
| SYNTHESE et CONCLUSION |  | 27 et 28     |
| PLANCHES I à X         |  |              |
| ANNEXE I               | : Spectres de microanalyse de fibres individuelles                                       |              |
| ANNEXE II              | : Conditions de prélèvements, de préparation et d'analyse des poussières                 |              |
| ANNEXE III             | : Rappels succincts sur les amiantes ou asbestes   |              |



PARTIE I  
ETUDE MINERALOGIQUE DE ROCHES  
DE LA MINE DE SALAU

Par F. CESBRON

L'étude porte sur 13 échantillons de roches sélectionnés par la Société Minière d'Anglade et adressés au Laboratoire B.R.G.M. d'Orléans. L'accent a porté sur la recherche d'amiante.

Un exemplaire des résultats ci-après a été remis le 15 novembre 1983 ainsi que les illustrations photographiques référencées dans le texte.

I - 1 Résumé des résultats.

Après une étude préliminaire des divers échantillons sous un microscope binoculaire, examen qui n'a pas révélé la présence de minéraux du genre asbeste, une série de lames minces a été préparée et examinée à l'aide d'un microscope polarisant.

Les échantillons intitulés "granites" (niveau 1230 - carrière SN1 - niveau 1475 Véronique) et constitués en fait par une granodiorite plus ou moins écrasée et silicifiée sont entièrement dépourvus de minéraux fibreux de type amphibole. Les autres échantillons, cornéennes, skarns et calcaires, contiennent au contraire des proportions variables d'amphiboles de la famille de l'actinolite avec des faciès prismatiques à fibreux ; le véritable faciès asbestiforme n'a pas été observé.

A aucun moment il n'a été rencontré de minéraux de la famille de la serpentine : chrysotile, antigorite, etc...

I - 2 Description des lames minces.

L.M. 6606 - Niveau 1230 Granite.

Il s'agit d'une granodiorite avec quartz, cristaux automorphes

.../

à sub-automorphes de plagioclases plus ou moins altérés en séricite-muscovite + chlorite + un peu de clinozoisite, abondante biotite dont quelques cristaux sont parfois altérés en pennine + leucoxène + épидote-clinzoisite, rares cristaux de grenat, un peu de microcline non altéré. Traces de pyrite et de sphalérite ; apatite et zircon accessoires, surtout en inclusions dans la biotite. Léger écrasement.

L.M. 6607 - Carrière SNI Granite.

Granodiorite relativement écrasée avec épидote, sphène de néoformation, muscovite et chlorite se concentrant le long des fractures. Les grands cristaux de biotite, parfois très déformés, sont presque entièrement chloritisés (pennine) avec formation de clinozoisite bien cristallisée et de leucoxène. Les plagioclases sont partiellement altérés en séricite-muscovite et clinozoisite. Traces de calcite et d'un peu de vésuvianite (proximité probable d'un calcaire) formée par endomorphisme.

Comme dans le cas précédent, le seul minéral ferromagnésien est constitué par de la biotite ; pas d'amphibole.

L.M. 6608 - Niveau 1475 (Véronique) Granite. Ech. A.

Granodiorite écrasée, le quartz prenant un faciès saccharoïde ; les plagioclases sont moins affectés par les contraintes mécaniques et sont relativement peu altérés en séricite + un peu de calcite + un peu de clinozoisite. La biotite est complètement altérée en séricite-muscovite + clinozoisite + sphène et étirée le long des fractures où se concentrent aussi épидote, muscovite, sphène de néoformation. Quelques sulfures disséminés et développement local d'un peu de vésuvianite : faciès de bordure.

L.M. 6609 - Niveau 1475 (Véronique) Granite. Ech. B.

Même faciès de granodiorite que le précédent mais beaucoup plus broyé et silicifié. Même altération des minéraux constitutifs. Roche recoupée par une veinule quartzeuse avec calcite abondante, sphène, un peu de pennine et de clinozoisite.

Pas de minéraux à faciès asbestiforme dans ces deux derniers faciès.

.../

L.M. 6610 - Carrière SNI Cornéennes calciques.

Tactite assez finement grenue avec diopside-hedenbergite abondant, clinozoïsite-épidote, grenat, vésuvianite (massive ; ne présente pas ici d'habitus prismatique), calcite et un peu de quartz. Grenat et vésuvianite forment souvent des bandes sub-parallèles assez grossières, de même que la clinozoïsite. De l'actinolite est répartie irrégulièrement dans la roche, pouvant parfois être localement abondante : les cristaux assez petits sont allongés sans toutefois atteindre des formes fibreuses ou aciculaires. Leurs dimensions sont de l'ordre de 0,15 x 0,06 mm.

L.M. 6611 - Niveau 1475 (Véronique) Cornéennes calciques. Ech. A.

Tactite assez finement litée recoupée par des veinules à épidote + calcite. Alternance de lits de diopside-hedenbergite en petits cristaux arrondis et parfois légèrement rétro-morphosés en actinolite, de microcline plus ou moins associé à de l'épidote, et enfin d'épidote en grandes plages associée à de la calcite et de l'actinolite. Cette dernière, généralement en agrégats plus ou moins fibreux, atteint des dimensions plus importantes que dans la lame précédente. Certains cristaux atteignent 0,5 mm (photo n° 1).

L.M. 6612 - Niveau 1475 (Véronique) Cornéennes calciques. Ech. B.

Même type de tactite, finement litée, mais avec calcite plus abondante. Le diopside, finement grenu, est également abondant tandis que l'épidote est commune. Quelques grandes plages de vésuvianite massive avec rare grenat. Présence également de quelques lits de microcline avec épidote et petits cristaux, parfois aciculaires, d'actinolite. Le quartz est peu abondant et le sphène accessoire. Traces de sulfures disséminés, en particulier de sphalérite ferrifère.

L.M. 6613 - Niveau 1475 (Véronique) Cornéenne schistofeldspathique.

Cornéenne très finement litée : séricite (phénocristaux de plagioclase altérés), muscovite avec leucoxène (altération d'anciennes biotites), clinozoïsite, pennine peu abondante et sulfures disséminés (pyrrhotite et rare sphalérite) dans une matrice quartz-feldspathique (orthoclase). Quelques veinules avec pennine, clinozoïsite, calcite, sphène. L'actinolite est absente ici.

.../

L.M. 6614 - Carrière SN1 Skarns. Ech. A.

Skarn assez bien lité et finement grenu avec sulfures disséminés : pyrrhotite, sphalérite ferrifère et traces de chalcoppyrite. Les minéraux constitutifs sont : calcite, diopside-hedenbergite en cristaux arrondis, clinozoïsite, vésuvianite parfois en grandes plages, quartz et microcline étroitement associés, sphène.

Un peu d'actinolite est associée à l'hedenbergite : altération rétrograde.

L.M. 6615 - Carrière SN1 Skarns. Ech. B.

Roche surtout constituée de ferroactinolite accompagnée, par ordre d'importance décroissante, de clinozoïsite, de quartz, de calcite, de scheelite et de titanite. De la pyrrhotite est présente, avec clinozoïsite et calcite, dans les zones riches en quartz. La ferroactinolite se présente généralement en petits cristaux d'environ 0,15 mm (photo n° 2) ; elle se développe sous une forme fibreuse le long de certaines fractures et les fibres atteignent alors 0,45 mm (photo n° 3).

L.M. 6616 - Niveau 1422 (Véronique) Skarns.

Skarn avec pyrrhotite, calcite, grenat, abondante scheelite en cristaux arrondis, clinozoïsite, sphène, pennine. L'actinolite (apparemment pauvre en fer ici) se rencontre en petits cristaux prismatiques dans la calcite ainsi que dans le quartz (restes de cristaux presque entièrement silicifiés). Présence d'un peu de prehnite se développant surtout dans les zones riches en calcite : le faciès prismatique, assez rare, n'est pas présent ici. Dans certaines zones où la calcite est largement recristallisée de rares mais grands cristaux d'actinolite sont parfois présents.

L.M. 6617 - Niveau 1422 (Véronique) Pyrrhotite.

Abondante pyrrhotite avec biotite partiellement transformée en muscovite, plus rarement en pennine, rare idocrase (vésuvianite), clinozoïsite avec parfois des traces d'allanite, quartz abondant, scheelite et traces de sphalérite. L'actinolite forme des cristaux assez grands (photo n° 4), prismatiques, partiellement silicifiés.

.../



L.M. 6618 - Niveau 1475 (Véronique) Pyrrhotite.

Sulfures abondants : pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite et traces de sphalérite, dans une gangue de quartz, calcite, hydrogrossulaire, clinozoïsite et actinolite très riche en fer et partiellement silicifiée. Présence de scheelite. Evidences d'écrasement.

L.M. 6619 - Niveau 1230 (R 19) Calcaire.

Calcaire recristallisé avec très rare quartz et peut-être 1/4 % de petits cristaux prismatiques d'actinolite d'environ 1 à 3 dixièmes de mm.

L.M. 6620 - Niveau 1422 (Véronique) Calcaire. Ech. A.

Essentiellement calcaire métamorphisé avec un peu de quartz, de clinozoïsite, de microcline, de vésuvianite et environ 1/2 % d'actinolite-trémolite en petits cristaux prismatiques. Traces de sulfures disséminés.

L.M. 6621 - Niveau 1422 (Véronique) Calcaire. Ech. B.

Pratiquement identique à la lame précédente.

L.M. 6622 - Niveau 1475 (Véronique) Quartz à scheelite.

Quartz saccharoïde, écrasé, avec scheelite très abondante, un peu de clinozoïsite, rare vésuvianite, assez abondante muscovite, rares pennine et calcite. Un peu de pyrite disséminée ; absence d'actinolite.

I - 3 Conclusion.

De l'amphibole à faciès fibreux est observé dans des cornéennes et dans des skarns. Il s'agit d'actinolite, qui, sans atteindre un faciès asbestiforme typique, est apte à produire des fragments fibreux que l'on doit classer sous l'appellation amiante.

.../

PARTIE II  
ETUDE PAR MICROSCOPIE ELECTRONIQUE ANALYTIQUE  
DE ROCHES FIBREUSES DE LA MINE DE SALAU

Deux échantillons de roches -présentant un faciès fibreux à l'oeil nu- ont été prélevés par J.L. BOULMIER, lors de sa visite à la mine, le 15 novembre 1983.

- Echantillon au toit, niveau 1620 m
- Echantillon en intrusion dans le granite au niveau DV 416 ouest.

En outre, des poussières accumulées au concassage et des fines dans un godet de minerai en DV 390 sont prélevées à la main pour recherche de fibres d'amiante.

Les planches I à VI illustrent les observations pratiquées par microscopie électronique analytique sur ces échantillons (voir les techniques analytiques en Annexe II).

II - 1 Nature minéralogique des roches fibreuses.

Les deux échantillons fibreux prélevés sont constitués d'actinolite. Il s'agit donc du même minéral fibreux que celui identifié lors des examens des lames minces des roches. Cette amphibole fibreuse est désignée sous le terme d'amiante.

II - 2 Examen par microscopie électronique analytique des roches fibreuses.

II - 2.1 Echantillon prélevé au niveau 1620 m.

La planche I regroupe quatre clichés en mode électrons secondaires. Les clichés a et b représentent une surface débarrassée des fragments produits lors d'une cassure. Les clichés c et d montrent l'aspect de la surface après une cassure. Des fibres se détachent aisément de la roche  
.../

et produisent des particules asbestiformes fines. A noter la différence d'échelle entre les clichés a, b et c, d.

Les clichés de la planche II sont obtenus en microscopie à transmission conventionnelle. Après broyage léger, l'échantillon est déposé sur grille. On observe des particules fibreuses de 0,2 micron à plusieurs microns de diamètre avec des élancements qui peuvent dépasser 100 (exemple de la fibre marquée d'une flèche sur la photo b). Le broyage produit également des fragments non fibreux et des particules allongées à cassure non rectilignes.

Les particules fibreuses d'actinolite, quelles que soient leur morphologie et dimensions, ont une composition chimique voisine. Deux exemples sont illustrés par les spectres de microanalyse 1 et 2 de l'Annexe I, obtenus respectivement sur une fibre de 2 microns et de 0,3 micron de diamètre.

## II - 2.2 Echantillon prélevé au niveau DV 416 W.

La planche III présente l'échantillon en images d'électrons secondaires. Les clichés a et b montrent l'extrémité des faisceaux de fibres. Le cliché c, homologue des clichés c et d de la planche I, montre une face de cassure qui porte des fibres arrachées, masquant le matériau sous-jacent. Le diamètre des fibres individuelles est en moyenne plus grand que pour l'échantillon précédent. Leur composition chimique est voisine de celle des fibres précédentes.

Par broyage léger, on produit des fibres isolées (planche IV, cliché a) ainsi que des fragments aciculaires (cliché b) ou quelconques. Les fibres sont de granulométrie visible par microscopie optique et de diamètre en général inférieur à 3 microns. Pour la plupart, elles répondent aux critères de comptage prévus par le Décret du 17 août 1977.

.../

Les deux échantillons fibreux analysés sont de l'actinolite. Leur fibrosité est différente, comme on peut d'emblée l'observer à l'oeil. Cependant, par broyage léger, les deux échantillons produisent, de la même manière, des fibres susceptibles d'être disséminées dans l'air et de conduire à une pollution par l'amiante au cours d'opérations en galerie ou au concassage.

#### II - 2.3 Poussières prélevées à la main au concassage.

De l'actinolite fibreuse est identifiée, sous des diamètres de 0,1 à plus d'un micron. Le cliché a de la planche V montre une particule d'actinolite qui serait prise en compte lors du dénombrement des fibres par microscopie optique. Un tel fragment peut dériver aussi bien d'un faciès prismatique que fibreux. Sur le cliché b, au contraire, une fibre d'actinolite typique d'un faciès à l'origine fibreux est marqué par une flèche.

Les particules d'élanement supérieur à 3 sont rares ; leur proportion est inférieure à 0,2 %. Pour une moitié, elles correspondent à des minéraux autres que l'actinolite : sulfures de fer, phyllosilicates... On peut s'attendre à des résultats similaires dans les poussières prélevées dans l'air : présence de fibres autres qu'amiante, fragments allongés de formes variées parmi lesquelles un faciès asbestiforme typique serait rare.

#### II - 2.4 Fines prélevées dans un godet de minerai en DV 390.

Les particules fibreuses sont rares. On en observe quelques-unes sur les clichés a et b de la planche VI. Ces particules en forme de lattes marquées d'une flèche sont des phyllosilicates. Des fragments d'actinolite d'élanement supérieur à 3 sont identifiés. Ils ne présentent jamais de caractère asbestiforme. Néanmoins, des comptages par microscopie optique prendraient en compte ces deux types de particules fibriformes.

.../

PARTIE III  
 PRELEVEMENTS ET ANALYSES DES POUSSIÈRES  
 EN SUSPENSION DANS L'AIR  
 DANS LA MINE DE SALAU

III - 1 Prélèvements.

La campagne de prélèvements a eu lieu les 14 et 15 décembre 1983. Elle a mis en oeuvre, d'une part, des préleveurs 2 l/min portatifs pour étude par microscopie optique, et d'autre part, des préleveurs 5 l/min pour étude par microscopie électronique. Les prélèvements réalisés sur quatre sites sont indiqués dans le tableau I.

Les conditions de prélèvements, de préparation et d'analyse des poussières sont décrites en Annexe II.

Les résultats par site sont consignés aux paragraphes III-3.3 à III-3.6.

Les volumes d'air filtré sont faibles afin de permettre l'examen direct des filtres par microscopie optique, malgré les imbrûlés de diésel qui masquent rapidement les poussières minérales prélevées.

III - 2 Démarche analytique pour l'étude des poussières fibreuses:

III - 2.1 Microscopie optique.

Vingt sept (27) prélèvements ont été réalisés selon les conditions prévues au décret du 17 août 1977, dans le but du dénombrement des fibres par microscopie optique. Sur ces prélèvements, deux résultats de mesure seront exprimés.

- i) Nombre de fibres par  $cm^3$ , respectant les normes granulométriques précisées par la législation :  
 Soit,  
 -longueur > 5 microns  
 .../

- diamètre < 3 microns
- rapport longueur sur diamètre > 3.

La concentration mesurée peut alors être comparée à la norme 2 fibres par  $\text{cm}^3$  d'air.

- ii) Concentration en fibres quelles que soient leurs dimensions, avec le seul critère d'un élancement supérieur à 3 de la particule comptée comme une fibre.

Le deuxième résultat permet de mieux préciser le niveau de pollution ainsi que les paramètres granulométriques des fibres.

### III - 2.2 Microscopie électronique.

Par cette technique, la totalité des fibres peut être dénombrée, en particulier les fibres fines inaccessibles au microscope optique à cause de sa résolution limitée. De plus, la nature minéralogique des fibres peut être déterminée, dont l'amiante, pour lequel il est intéressant de connaître la proportion dans la population fibreuse totale.

L'ensemble de ces mesures complémentaires (dénombrement, granulométrie et identification des fibres) doit permettre leur exploitation en termes de niveaux de pollution mais aussi de sources d'émission et de modes de dispersion.

.../

TABLEAU I

Liste des prélèvements  
 SITES A et B : 14 décembre 1983  
 SITES C et D : 15 décembre 1983

|  | : <u>Préleveur 2 l/min</u>        | : <u>Préleveur 5 l/min</u>                                      |
|--|-----------------------------------|---|
|  | : Filtre 25 mm de diamètre        | : Filtre 47 mm de diamètre                                      |
|  | :                                 | : a : ester de cellulose  |
|  | :                                 | : b : polycarbonate   |
|  | : microscopie optique             | : microscopie électronique                                      |
| <hr/>  |                                   |   |
| <u>SITE A</u>                                | :                                 | :   |
| Poste de surveillance du concassage primaire | : Filtres A1 à A4 ; 11 l à 39 l   | :   |
| Poste de commande du concassage              | : Filtres A5 à A7 ; 18 l à 50 l   | : { Filtre A9 ; 259 l (a)<br>Filtre A10 ; 311 l (b)             |
| criblage                                     | : Filtres A8 ; 27 l               | : { Filtre A11 ; 463 l (a)<br>Filtre A12 ; 217 l (b)            |
|  | :                                 | :   |
| <hr/>  |                                   |   |
| <u>SITE B</u>                                | :                                 | :   |
| <u>Niveau 1230 m</u>                         | :                                 | :   |
| Chargeur R 18                                | : Filtre B1 et B2 ; 8 l et 11 l   | : (a) Filtres B6 et B7 ; 285 l et 284 l                         |
| Avant arrivée Jumbo                          | : Filtre B3 ; 12 l                | :   |
| Pendant foration Jumbo                       | : Filtre B4 ; 10 l                | : Filtre B8 ; 105 l (a)   |
| R 14, déblaiement                            | : Filtre B5 ; 12 l                | :   |
|  | :                                 | :   |
| <hr/>  |                                   |   |
| <u>SITE C</u>                                | :                                 | : (a)   |
| DV 390                                       | : Filtres C1 à C3 ; 14 l à 31 l   | : { Filtres C10 et C11 ; 179 et 298 l<br>Filtre C12 ; 222 l (b) |
| Forage entre 390 et 396                      | : Filtre C4 ; 18 l                | :   |
| DV 396 remblai                               | : Filtres C5 à C7 ; 10 l à 20 l   | :   |
| DV 396 vers foreurs                          | : Filtre C8 ; 10 l                | :   |
| DV 396 pendant la pause                      | : Filtre C9 ; 13 l                | :   |
|  | :                                 | :   |
| <hr/>  |                                   |   |
| <u>SITE D</u>                                | :                                 | :   |
| DV 422 W chargeur                            | : Filtres D1 et D2 ; 15 l et 32 l | } Filtre D6 ; 126 l (b)   |
| Déchargement                                 | : Filtre D3 ; 18 l                |   |
| Poste de forage                              | : Filtre D4 ; 17 l                | :   |
| Avant arrivée du scoop                       | : Filtre D5 ; 14 l                | :   |

### III - 3 Résultats.

#### III - 3.1 Observations générales.

Grâce aux faibles volumes d'air filtré, tous les filtres sont observables. Pour compenser les faibles volumes prélevés, plusieurs filtres sont préparés sur chaque site et le nombre de champs d'analyses choisi en fonction de la charge du filtre.

Sur les filtres les plus chargés, on peut craindre une diminution de la visibilité des fibres fines en microscopie optique, à cause des imbrûlés. Les examens par microscopie électronique, après destruction de la phase organique, montrent des résultats tout à fait conformes à ceux des comptages optiques. Il en est de même pour les prélèvements sur membrane Nucléopore carbonée, transférés directement sur grilles de microscope et qui confirment les autres observations.

En microscopie électronique, les imbrûlés se caractérisent essentiellement par des noirs de carbone en grappes et chapelets. A la résolution du microscope optique, de tels agrégats forment un fond continu.

#### III - 3.2 Présentation des résultats.

Pour chaque site contrôlé, les résultats sont regroupés dans deux tableaux :

- Un tableau concernant le dénombrement des fibres par microscopie optique. Un premier comptage correspond aux conditions prévues par la législation (*valeur limite d'empoussièrement = 2 fibres par cm<sup>3</sup>*). La dernière colonne indique le nombre total de fibres observées par microscopie optique. La faible différence entre les deux résultats signifie que la majorité des fibres observées en optique respectent les normes granulométriques de comptage de la législation, dont en particulier un diamètre < 3 microns.



- Un tableau concernant les examens par microscopie électronique analytique. Les fibres les plus fines sont alors détectées, d'où une concentration totale en fibres plus élevée que prédominamment. Dans cette population, la concentration en fibres t.q.  $L > 5 \mu\text{m}$  ;  $D < 3 \mu\text{m}$  ;  $L/D > 3$  est calculée (normes de comptage optique) et parmi celles-ci, la concentration en fibres identifiées comme amiante.

La comparaison de ces résultats permet d'apprécier les proportions de fibres accessibles par chaque mode de comptage et les variations suivant le lieu de prélèvement. Les résultats sont arrondis par excès. Les concentrations inférieures à 0,05 fibres par  $\text{cm}^3$  sont notées "<0,1".

### III - 3.3 Site A : Concassage.

#### III - 3.3.1 - Dénombrement des fibres par microscopie optique.

TABEAU II

| : Numéro de<br>: référence | : Localisation  | : Volume<br>: d'air filtré<br>: (litres) | : Heure du<br>: prélèvement | : Concentration en fibres/ $\text{cm}^3$                        |                      |
|----------------------------|-----------------|--|-----------------------------|---|----------------------|
|                            |                 |  |                             | L > 5 $\mu\text{m}$ ; D < 3 $\mu\text{m}$<br>L/D > 3            | Toutes<br>dimensions |
| : A1                       | : Poste de      | : 34                                     | : 7 h 08                    | 0,2   | 0,3                  |
| : A2                       | : surveillance: | : 18                                     | : 8 h 11                    | 0,3   | 0,4                  |
| : A3                       | : du concassa-: | : 39                                     | : 10 h 10                   | 0,1   | 0,15                 |
| : A4                       | : ge primaire : | : 11                                     | : 11 h 20                   | 0,4   | 0,5                  |
| : A5                       | : Poste         | : 50                                     | : 7 h 03                    | 0,2   | 0,3                  |
| : A6                       | : de            | : 18                                     | : 8 h 03                    | 0,4   | 0,5                  |
| : A7                       | : commande      | : 33                                     | : 9 h 09                    | 0,2   | 0,3                  |
| : A8                       | : Au voisinage: | : 27                                     | : 10 h 42                   | 0,2   | 0,3                  |
|                            | : du criblage : |  |                             | Comptage dans<br>les conditions<br>du Décret du<br>17 août 1977 |                      |

.../

Les caractéristiques granulométriques des fibres aux trois lieux de prélèvements ne présentent pas de différences notables.

La longueur varie de 6 à une cinquantaine de microns, le diamètre de 0,3 à 12 microns, avec des valeurs moyennes respectives de 12 microns et de 2 microns. Les fibres observées -et qui ne satisfont pas les normes granulométriques du décret du 17 août 1977- sont exclusivement des fibres de diamètre supérieur à 3 microns. Les fibres courtes inférieures à 5 microns, et généralement de faible diamètre, ne sont pas décelées par microscopie optique.

III - 3.3.2 - Etude par microscopie électronique analytique

(Prélèvements au niveau du poste de commande et au voisinage du criblage).

Les prélèvements sur filtres Nucléopore carbonés sont transférés directement sur grilles de microscopie. Ils sont parfaitement observables malgré les noirs de carbone contenus en faible teneur. Les quatre filtres sont chargés en poussières (25 % à 40 % de la surface couverte), parmi lesquelles les particules fibreuses telles que Longueur/diamètre > 3 sont rares. La granulométrie s'étale du dixième de micron à plus de vingt microns. Les poussières de 1 à 10 microns sont les plus abondantes. Les plus grosses particules (supérieures à 20 microns) provoquent fréquemment le déchirement de la membrane du carbone lors de la dissolution du filtre. Ceci peut expliquer que les plus grosses fibres vues par microscopie optique ne sont pas observées sur les grilles. De toutes façons, il s'agit de fibres de diamètre > 3 microns, éliminées du comptage selon les normes du décret du 17 août 1977.

.../

TABLEAU III

Résultats d'analyses des fibres en suspension dans l'air au concassage.  
Etude par microscopie électronique analytique.

|  |   |                                |   |                                |
|--|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| Numéro de référence  | : Filtre A9   | : Filtre A10                   | : Filtre A11  | : Filtre A12                   |
| Localisation   | : Poste de commande                                 | : Poste de commande            | : Voisinage criblage                                | : Voisinage criblage           |
| Type de filtre   | : Millipore   | : Nucléopore carboné           | : Millipore   | : Nucléopore carboné           |
| Volume d'air filtré  | : 259 l   | : 311 l                        | : 463 l   | : 217 l                        |
| Heure du prélèvement   | : 11 h 10   | : 7 h 10                       | : 9 h 45  | : 9 h 05                       |
| Mode de préparation  | : Calcination du filtre et de la fraction organique | : Transfert direct sur grilles | : Calcination du filtre et de la fraction organique | : Transfert direct sur grilles |
| Concentration totale en fibres de toutes natures et dimensions (fibres par cm <sup>3</sup> ) | : 1,0   | : 1,3                          | : 1,0   | : 1,2                          |
| Longueur moyenne (μ)   | : 5,0   | : 5,0                          | : 7,5   | : 5,0                          |
| fourchette (μ)   | : 2 à 20  | : 1 à 15                       | : 1 à 15  | : 1 à 15                       |
| Diamètre moyen (μ)   | : 0,5   | : 0,6                          | : 1,0   | : 0,7                          |
| fourchette (μ)   | : 0,2 à 2   | : 0,2 à 1,5                    | : 0,1 à 5   | : 0,1 à 2                      |
| Concentration en fibres par cm <sup>3</sup> t.q. L > 5 μm D < 3 μm. $\frac{L}{D} > 3$        | : 0,4   | : 0,5                          | : 0,35  | : 0,4                          |
| Concentration en fibres d'amiante identifiées et probables (fibres par cm <sup>3</sup> )     | : 0,2   | : 0,2                          | : 0,3   | : 0,2                          |

Les particules fibriformes ne représentent qu'une faible proportion des poussières totales (< 0,5 %). Le faciès fibreux régulier est rare. Le plus souvent, les particules fibriformes comptées n'ont pas la morphologie typique des amiantes telles que amosite ou crocidolite utilisées industriellement. Il s'agit plutôt d'un faciès aciculaire à fibreux, devant néanmoins être comptabilisé dans les particules fibreuses dès lors que leur élanement est supérieur à trois.

Des fibres fines et de longueur inférieure à 5 microns sont observées dans tous les prélèvements. Elles contribuent pour environ la moitié à la concentration totale en fibres (voir tableau III).

Les fibres d'amiante sont identifiées par la microdiffraction électronique et la microanalyse chimique. Elles n'excèdent pas 50% des fibres dénombrées selon les normes granulométriques prévues dans le décret du 17 août 1977. Dans tous les cas, il s'agit d'actinolite, avec rarement un faciès asbestiforme. Ces observations confirment les résultats de l'analyse minéralogique des roches qui signale principalement l'actinolite prismatique, parfois fibreuse, jamais asbestiforme dans les échantillons étudiés.

Les particules fibriformes autres que l'actinolite sont :

- le plus souvent à base de Mg + Al + Si + K + Fe (voir spectre Annexe I) avec un diagramme de phyllosilicate (biotite ? stilpnomélane ?).
- rarement à base de :
  - . S + Ca (gypse ou anhydrite)
  - . Fe + S (fragments de pyrrhotite)
  - . Si (de type laine de verre).

.../

III - 3.4 Site B : niveau 1230 m (14 décembre 1983).

III - 3.4.1 - Dénombrement des fibres par microscopie optique.

TABLEAU IV

| Numéro de<br>référence | Localisation   | Volume<br>d'air filtré<br>(litres) | Heure du<br>prélèvement                 | Concentration en fibres/cm <sup>3</sup>  |                      |
|------------------------|--|------------------------------------|---|--|----------------------|
|                        |  |                                    |   | L > 5µm; D < 3µm<br>L/D > 3  | Toutes<br>dimensions |
| B1                     | R18 ; sur le<br>chargeur pen-<br>dant le char-<br>gement | 8                                  | Début de ma-<br>tinée par sé-<br>quence | 0,3  | 0,35                 |
| B2                     | idem   | 11                                 | idem                                    | 0,2  | 0,30                 |
| B3                     | R18 ; avant<br>l'arrivée du<br>jumbo                     | 12                                 | 15 h                                    | 0,2  | 0,30                 |
| B4                     | R18 ; pendant<br>foration par<br>le jumbo                | 10                                 | 15 h 45                                 | 0,15   | 0,20                 |
| B5                     | R14 ; pendant<br>déblaiement<br>et transport             | 12                                 | 15 h 30                                 | 0,1<br><i>Comptage dans<br/>les conditions<br/>du Décret du<br/>17 août 1977</i> | 0,30                 |

La plupart des remarques faites au concassage s'appliquent aux prélèvements en galerie et ne seront plus répétées :

- . Pas ou peu de fibres courtes inférieures à 5 microns décelées par microscopie optique.
- . Diamètre des fibres d'une fraction de micron à une dizaine de microns.
- . Les fibres de diamètre inférieur à 3 microns sont majoritaires.
- . Les particules fibriformes comptées sont rarement à faciès régulier : bords non rectilignes, épaisseur variable.

.../

III - 3.4.2 - Etude par microscopie électronique analytique.

Les deux filtres prélevés pendant le déblaiement sont cumulés sur une même préparation. Le prélèvement pendant la foration du Jumbo a été limité à un faible volume alors qu'en fait les examens montrent que peu de poussières sont recueillies.

Les principaux résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

TABLEAU V

|   |   |   |
|---|---|---|
| Numéro de référence   | : Filtres B6 + B7                                     | : Filtre B8   |
| Localisation  | : R18, pendant le déblaiement                         | : Pendant la foration par le Jumbo                    |
| Type de filtre  | : Millipore   | : Millipore   |
| Volume d'air filtré   | : 569 l   | : 105 l   |
| Heure du prélèvement  | : 8 h 45 et 9 h 45                                    | : 15 h  |
| Mode de préparation   | : Calcination des filtres et de la fraction organique | : Calcination des filtres et de la fraction organique |
| Concentration totale en fibres de toutes natures et de toutes dimensions  | : 0,2   | : 0,6   |
| Longueur moyenne ( $\mu$ )  | : 4,0   | : 15,0  |
| fourchette ( $\mu$ )  | : 1 à 10  | : 1 à > 100   |
| (Diamètre moyen ( $\mu$ ))  | : 0,6   | : 1,0   |
| fourchette ( $\mu$ )  | : 0,3 à 3   | : 0,1 à 8   |
| Concentration en fibres par $\text{cm}^3$<br>t.q. $L > 5 \mu\text{m}$<br>$D < 3 \mu\text{m}$<br>$\frac{L}{D} > 3$ | : 0,05  | : 0,3   |
| Concentration en fibres d'amiante identifiées et probables (fibres par $\text{cm}^3$ )                            | : non déterminée                                      | : 0,1   |

Le nombre de fibres en moyenne sur le site R18 est inférieur à la concentration mesurée sur le chargeur. On observe également que les fibres sont plus longues en moyenne au chargement. Ceci résulte de la mobilisation importante de poussières pendant la phase de chargement ; les poussières les plus grosses sédimentent ensuite rapidement sur le site de déblaiement. Ainsi, les fibres fines inférieures à 5 microns sont abondantes sur les filtres B6 et B7. Le plus souvent, les particules fibriformes observées ne sont pas de l'actinolite. Elles contiennent :

- . Mg + Al + Si + parfois Fe, avec diagramme de phyllosilicate.
- . Al + Si + Ca
- . Si
- . Al + Si + K + Fe

Pendant la foration par le Jumbo, des grosses particules sont projetées sur le filtre. Il ne s'agit pas à proprement parler de poussières en suspension. Certaines de ces grosses particules ont un élancement supérieur à 3 mais n'appartiennent pas à la fraction inhalable.

Le plus souvent, les particules fibriformes ne sont pas de l'amiante. Elles sont à base de :

- . Al + Si + K + Fe
- . Si
- . Al + Si
- ; Mg + Al + Si + K + Ti + Fe

.../

## III - 3.5 Site C : DV 390 et DV 396 (15 décembre 1983).

III - 3.5.1 - Dénombrement des fibres par microscopie optique.

TABLEAU VI

| Numéro de<br>référence | Localisation                         | Volume<br>d'air filtré | Heure du<br>prélèvement | Concentration en fibres/cm <sup>3</sup>  |                      |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|--|----------------------|
|                        |                                      |                        |                         | L > 5µm; D < 3µm<br>L/D > 3  | Toutes<br>dimensions |
| C1                     | DV 390                               | 14                     | 8 h 40                  | 0,1  | 0,2                  |
| C2                     | DV 390                               | 20                     | 8 h 52                  | 0,15   | 0,3                  |
| C3                     | DV 390                               | 31                     | 9 h 13                  | < 0,1  | 0,15                 |
| C4                     | Forage entre<br>DV 390 et<br>DV 396  | 18                     | 10 h 53                 | 0,1  | 0,2                  |
| C5                     | DV 396,<br>remblaiement:             | 10                     | 10 h 30                 | 0,1  | 0,1                  |
| C6                     | idem                                 | 20                     | 10 h 52                 | < 0,1  | 0,1                  |
| C7                     | idem                                 | 20                     | 11 h 25                 | < 0,1  | 0,1                  |
| C8                     | DV 390,<br>orienté vers<br>le forage | 10                     | 11 h 15                 | < 0,1  | 0,15                 |
| C9                     | DV 396, pen-<br>dant la pause:       | 13                     | 9 h 25                  | < 0,1<br><i>Comptage dans<br/>les conditions<br/>du Décret du<br/>17 août 1977</i> | 0,1                  |



On n'observe pas ou peu de fibres fines. Au contraire, sur la plupart des filtres, les fibres de diamètre supérieur à 3 microns sont présentes en proportion d'environ 50% d'où la concentration doublée en fibres de toutes dimensions. Même à proximité du lieu de remblaiement, la concentration en fibres est faible, à cause des conditions d'humidité. A ce niveau, comme aux autres postes contrôlés en galerie, l'empoussiérement total semble peu important, ce que confirment les mesures directes de poids de poussières réalisées lors d'études précédentes ainsi que les examens directs des filtres dans la présente étude.

### III - 3.5.2 - Etude par microscopie électronique analytique.

Les deux prélèvements C 10 et C 11 sur filtres Millipore sont cumulés sur une même préparation.

Le filtre C 12, prélevé au même endroit, est transféré directement sur grilles de microscope.

Aucune modification notable de l'empoussiérement n'est observée au cours de la matinée.

.../

TABLEAU VII

|   |   |  |
|---|---|--|
| Numéro de référence   | : Filtres C 10 + C 11   | : Filtre C 12  |
| Localisation  | : DV 390 ; orientés vers<br>: le forage                           | : DV 390 ; orienté vers<br>: le forage   |
| Type de filtre  | : Millipore   | : Nucléopore carboné   |
| Volume d'air filtré   | : 477 litres  | : 222 litres   |
| Heure du prélèvement  | : 9 h et 10 h   | : 11 h   |
| Mode de préparation   | : Calcination des filtres<br>: et de la fraction orga-<br>: nique | : Transfert direct des<br>: poussières sur grilles<br>: par dissolution du<br>: filtre |
| Concentration totale en<br>fibres de toutes natures<br>et dimensions (fibres<br>par cm <sup>3</sup> ) | : 0,5   | : 0,25   |
| Longueur moyenne (microns)<br>Fourchette (microns)  | : 1,0 à 15,0  | : 1,0 à 10   |
| Diamètre moyen (microns)<br>Fourchette (microns)  | : 0,8<br>: 0,1 à 5,0  | : 0,6<br>: 0,1 à 3,0   |
| Concentration en fibres<br>par cm <sup>3</sup><br>t.q. L > 5 µm<br>D < 3 µm<br>$\frac{L}{D} > 3$      | : 0,2   | : 0,1  |
| Concentration en fibres<br>d'amiante identifiées et<br>probables (fibres par<br>cm <sup>3</sup> )     | : 0,1   | : < 0,1  |

.../

La récupération des fibres longues semble moins bonne sur le filtre Nucléopore que sur les filtres Millipore. Dans les deux cas, les plus grosses particules observées en microscopie optique sont en partie éliminées à la préparation (déchirement de la membrane carbonée). Ceci entraîne des résultats granulométriques sousestimés.

Les fibres les plus fines ont un diamètre de 0,15 micron. Il s'agit en général d'actinolite. Parmi les fibres plus épaisses, on note des phyllosilicates à base de Mg + Al + Si + K + Fe, du sulfate de calcium, de rares fibres à base d'aluminium.

L'empoussièrément général faible est constitué de particules rarement supérieures à 4 microns, donc de granulométrie plus fine en moyenne qu'au concassage.

La préparation des grilles après calcination des filtres et des imbrûlés pourrait permettre l'étude de prélèvements de fort volume (plusieurs mètres cubes) représentatifs de l'empoussièrément sur une journée complète.

.../

## III - 3.6 Site D : DV 422 W (15 décembre 1983).

III - 3.6.1 - Dénombrement des fibres par microscopie optique.

TABLEAU VIII

| Numéro de<br>référence | Localisation   | Volume<br>d'air filtré | Heure de<br>prélèvement                          | Concentration en fibres/cm <sup>3</sup>                         |                      |
|------------------------|--|------------------------|--|---|----------------------|
|                        |  |                        |  | L>5µm;D<3µm<br>L/D > 3  | Toutes<br>dimensions |
| D1                     | DV 422 W<br>Chargeur   | 15                     | 8 h 34   | 0,15  | 0,2                  |
| D2                     | Chargeur   | 32                     | 8 h 42   | 0,1   | 0,15                 |
| D3                     | Lieu de dé-<br>chargement  | 18                     | 9 h 03   | < 0,1   | 0,1                  |
| D4                     | Forage   | 17                     | 10 h 30  | 0,1   | 0,15                 |
| D5                     | Après déblaie-<br>ment et avant<br>forage (pare-<br>ment opposé<br>aux ventubes) | 14                     | 8 h 20<br>à<br>9 h 20<br>par courtes<br>périodes | 0,15  | 0,25                 |
|                        |  |                        |  | Comptage dans<br>les conditions<br>du Décret du<br>17 août 1977 |                      |

Des fibres d'élanacement supérieur à 50 sont observées ; leur longueur peut atteindre 150 microns dans les prélèvements réalisés au chargement.

.../

III - 3.6.2 - Etude par microscopie électronique analytique.

Sur ce site, un seul filtre a été analysé par microscopie électronique. Les particules fibreuses sont en outre recherchées dans les poussières accumulées sur les parois.

TABLEAU IX

|   |   |  |
|---|---|--|
| Numéro de référence   | : | D6   |
| Localisation  | : | Préleveur installé au parement<br>: opposé au ventube      |
| Type de filtre  | : | Nucléopore carboné   |
| Volume d'air filtré   | : | 126 ℓ  |
| Heure du prélèvement  | : | 9 h 30   |
| Mode de préparation   | : | Transfert direct sur grille par<br>: dissolution du filtre |
| Concentration totale en fibres de toutes natures et dimensions (fibres par cm <sup>3</sup> )                        | : | 0,3  |
| Longueur moyenne (microns)<br>Fourchette (microns)<br>Diamètre moyen (microns)<br>Fourchette (microns)              | : | 4<br>0,5 à 10,0<br>1<br>0,1 à 2,0                          |
| Concentration en fibres par cm <sup>3</sup><br>t.q. $L > 5 \mu\text{m}$<br>$D < 3 \mu\text{m}$<br>$\frac{L}{D} > 3$ | : | 0,15   |
| Concentration en fibres d'amiante identifiées et probables (fibres par cm <sup>3</sup> )                            | : | 0,1  |

Les fibres déposées sur filtre sont de différentes natures :

- . Actinolite.
- . Sulfate de calcium.
- . Phyllosilicate contenant Mg + Al + Si + K + Fe.
- . Si.

De rares particules sphériques contenant Si + K + Mn + Fe sont observées. Ce site est le plus chargé en noir de carbone.

L'empoussièrément général est faible, constitué de particules inférieures à 10 microns. Les opérations voisines du forage ne produisent pas d'augmentation notable des poussières minérales en suspension.

Poussières accumulées sur les parois :

Les poussières prélevées à la main sur les parois de la galerie contiennent les mêmes types de fibres que dans l'air. L'actinolite est le type le plus fréquent, en fibres de diamètre rarement supérieur à 1 micron. Les plus fines ont parfois un faciès asbestiforme typique.

Les particules fibriformes ( $\frac{L}{D} > 3$ ) représentent environ 1 % des poussières totales, 20 % seulement des fibres étant supérieures à 5 microns.

## SYNTHESE

MICROSCOPIE OPTIQUE.

- Des particules fibreuses sont observées sur tous les sites contrôlés.
- Les concentrations numériques en fibres sont plus élevées au concassage et au chargement.
- La concentration en fibres, mesurée suivant les normes de la législation, est toujours inférieure à 2 fibres par  $\text{cm}^3$  (0,4 fibres par  $\text{cm}^3$  au maximum au concassage).
- Des fibres de diamètre supérieur à 3 microns sont observées sur tous les filtres. Leur proportion peut atteindre 50% du total des fibres de toutes dimensions.
- Les fibres courtes, inférieures à 5 microns de longueur, généralement aussi les plus fines, ne sont pas détectées par microscopie optique.
- En galerie, l'empoussièrément général est faible. Les variations des conditions d'humidité peuvent se répercuter dans de larges proportions sur la quantité de poussières en suspension dans l'air.
- Les imbrûlés sont abondants en galerie ; ils constituent la composante principale des poussières inhalables dans la mine.

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE.

- Les résultats confirment le niveau de pollution par particules fibreuses.
- Le taux de récupération des fibres de forte granulométrie semble moins bon sur les filtres Nucléopore.

.../

- La préparation de grilles de microscope par calcination des filtres à basse température élimine complètement les imbrûlés et permettrait l'observation de prélèvements de fort volume.

- Toutes dimensions confondues, la concentration en fibres n'excède pas 1,3 fibres par  $\text{cm}^3$  au concassage. Le résultat serait très différent en présence de minéraux susceptibles de se disperser sous forme de fragments très fins (chrysotile par exemple).

Dans le cas de cette mine, la microscopie optique permet de détecter, en moyenne, la moitié des fibres présentes.

- Le seul amiante identifié dans les prélèvements est l'actinolite fibreuse, minéral mis en évidence dans les roches.

- Pour une moitié environ, les fibres observées ne sont pas de l'amiante.

- A noter que les particules sont comptabilisées comme fibre dès lors que le rapport LONGUEUR sur DIAMETRE est supérieur à 3. Ce critère inclut des particules allongées diverses pour lesquelles le qualificatif "fibreuse" est mal adapté. Elles doivent néanmoins être prises en compte dans les comptages.

- Le faciès asbestiforme est très rare.

#### CONCLUSION GENERALE

1) De l'actinolite fibreuse classée comme amiante est présente dans des roches de la mine de SALAU. Rarement, des échantillons macrofibreux d'actinolite sont observés. Le plus souvent, ce minéral présente un faciès prismatique.

2) Tous les faciès d'amphibole peuvent produire des fragments fibriformes. Les résultats de comptage ne différencient pas le faciès d'origine des fragments fibriformes d'amphibole dispersés dans l'air et identifiés par microscopie électronique.

.../





**TABLEAU X**  
**RECAPITULATIF DES RESULTATS**

*N.B. : Seuls les résultats présentés dans la première partie de ce tableau correspondent aux conditions d'analyse prévues au décret du 17-08-1977 et peuvent être comparés à la valeur limite de 2 fibres par cm*

| Méthode de comptage  | Lieu de prélèvement               | Nombre de fibres par cm <sup>3</sup> |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| <u>Microscopie optique</u><br>Normes du décret du 17-08-1977 : valeur limite 2 f/cm <sup>3</sup><br>Fibres L > 5 µm<br>D < 3 µm<br>L/D > 3 | : Concassage primaire             | : 0,1 à 0,4                          |
|  | : Poste de commande du concassage | : 0,2 à 0,4                          |
|  | : Criblage                        | : 0,2                                |
|  | : Niveau 1230 m                   | :                                    |
|  | : Chargeur R 18                   | : 0,2 à 0,3                          |
|  | : Jumbo                           | : 0,15 à 0,2                         |
|  | : Déblaiement R 14                | : 0,1                                |
|  | : DV 390                          | : < 0,1 à 0,15                       |
|  | : DV 396                          | : < 0,1 à 0,1                        |
|  | : DV 422 W                        | :                                    |
|  | : Chargeur                        | : 0,1 à 0,15                         |
|  | : Forage et divers                | : < 0,1 à 0,15                       |
| <u>Microscopie optique</u><br>Fibres de toutes dimensions  | : Concassage primaire             | : 0,15 à 0,5                         |
|  | : Poste de commande               | : 0,3 à 0,5                          |
|  | : Criblage                        | : 0,3                                |
|  | : Niveau 1230 m                   | :                                    |
|  | : Chargeur R 18                   | : 0,3 à 0,35                         |
|  | : Jumbo                           | : 0,2 à 0,3                          |
|  | : Déblaiement R 14                | : 0,3                                |
|  | : DV 390                          | : 0,15 à 0,3                         |
|  | : DV 396                          | : 0,1 à 0,2                          |
|  | : DV 422 W                        | :                                    |
|  | : Chargeur                        | : 0,15 à 0,2                         |
|  | : Forage et divers                | : 0,1 à 0,25                         |
| <u>Microscopie électronique</u><br>Fibres de toutes dimensions, dont fibres fines non décelées par microscopie optique                     | : Poste de commande du concassage | : 1,0 à 1,3                          |
|  | : Criblage                        | : 1,0 à 1,2                          |
|  | : Niveau 1230 m                   | :                                    |
|  | : Déblaiement R 18                | : 0,2                                |
|  | : Jumbo                           | : 0,6                                |
|  | : DV 390                          | : 0,25 à 0,5                         |
|  | : DV 422 W                        | : 0,3                                |