

GM 61166

CONCENTRATION DE LA PYROPHYLLITE DU CANTON CARPENTIER

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

Ministère des Richesses naturelles
CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
Complexe scientifique
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec

Projet # 901
J. Descarreaux
CONCENTRATION DE LA PYROPHYLLITE
DU CANTON CARPENTIER
Rapport final / Juin 1979

NOTE: Le présent rapport réfère seulement aux échantillons
tels que soumis. Il ne devra pas être utilisé en
tout ou en partie, pour des fins publicitaires ou de
sollicitation financière, sans la permission écrite
du Directeur du Centre de Recherches minérales.

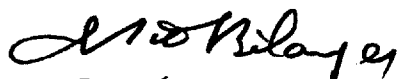
MRNFP-GÉOINFORMATION 2004

GM 61166

Rapport préparé pour:

Jean Descarreaux et Associés Ltée
Case postale 204
Val d'Or, Qué.
J9P 4P3

Préparé par:



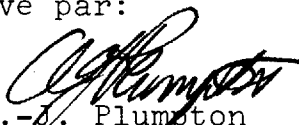
P. Bélanger, ing.
Groupe d'essais minéralurgiques

Vérifié par:



G.-H. Cloutier, ing.
Coordonnateur du
Groupe d'essais minéralurgiques

Approuvé par:



A.-J. Plumptre
Directeur du Laboratoire
de recherches métallurgiques

RESUME

Nous avons comme objectif une récupération de 90% de la pyrophyllite dans un concentré 90% pur. Une quinzaine d'essais de flottation ne nous ont pas donné de résultats satisfaisants.

Le tableau ci-dessous résume ce que nous avons obtenu en effectuant une flottation primaire suivie de trois passes d'enrichissement.

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | |
|--------------------------------|------------|--------------|------------------------|
| | | Teneur % | Récupé- ration % |
| Concentré primaire | 48,4 | 70,2 | 64,3 |
| Concentré (1er enrichissement) | 25,8 | 78,6 | 38,3 |
| Concentré (2e enrichissement) | 13,0 | 80,7 | 19,9 |
| Concentré (3e enrichissement) | 5,2 | 82,4 | 8,2 |

La blancheur des concentrés varie de 78 à 79% de réflectance.

TABLE DES MATIERES

| | <u>Page</u> |
|----------------------------------|-------------|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Sommaire | 3 |
| 3. Conclusion et recommandations | 4 |
| 4. Description des essais | 5 |
| 5. Résultats des essais | 10 |
| 6. Discussion des résultats | 25 |
| 7. Remerciements | 29 |
| 8. Références | 30 |
| 9. Appendices | 31 |

LISTE DES SCHEMAS, DES
TABLEAUX ET DES APPENDICES

| | <u>Page</u> |
|---|-------------|
| Figure 1 Schéma de traitement 1 | 7 |
| Figure 2 Schéma de traitement 2 | 8 |
| Figure 3 Schéma de traitement 3 | 9 |
| Tableau 1 Bilans minéralogiques des essais de broyabilité différentielle | 11 |
| Tableau 2 Bilan minéralogique, essai de flottation no 4 | 12 |
| Tableau 3 Bilan minéralogique, essai de flottation no 5 | 13 |
| Tableau 4 Bilan minéralogique, essai de flottation no 6 | 14 |
| Tableau 5 Bilan minéralogique, essai de flottation no 7 | 15 |
| Tableau 6 Bilan minéralogique, essai de flottation no 8 | 16 |
| Tableau 7 Bilan minéralogique, essai de flottation no 9 | 17 |
| Tableau 8-A Bilan minéralogique, essai de flotta- tion no 10 | 18 |
| Tableau 8-B Bilan métallurgique, essai de flotta- tion no 10 | 19 |
| Tableau 9 Bilan minéralogique, essai de flottation no 13 | 20 |
| Tableau 10 Bilan minéralogique, essai de flottation no 15 | 21 |
| Tableau 11 Analyse granulométrique d'un rejet de flottation | 22 |
| Tableau 12 Analyse granulométrique d'un concentré de flottation | 23 |

| | | <u>Page</u> |
|-------------|--|-------------|
| Tableau 13 | Blancheur des concentrés de pyrophyllite | 24 |
| Appendice 1 | Analyses minéralogiques de produits tels que: souche, rejets et concentrés de flottation | 31 |
| Appendice 2 | Formules chimiques et composition théorique des principaux minéraux à séparer | 32 |
| Appendice 3 | Exemple de calcul minéralogique basé sur la composition chimique d'un produit | 33 |
| Appendice 4 | Propriétés physiques des principaux minéraux à séparer | 34 |
| Appendice 5 | Un extrait de Industrial Minerals, juin 1978, "Pyrophyllite stands on its own" | 35 |

1. INTRODUCTION

La pyrophyllite est souvent utilisée à la place du talc, mais on l'utilise de plus en plus pour ses propriétés réfractaires (voir appendice 5).

Elle se vend sous forme de blocs non traités ou de concentrés en poudre. En 1975, il s'est vendu environ 92 000 tonnes de pyrophyllite aux Etats-Unis à un prix moyen de \$15 la tonne. Son prix varie énormément selon le traitement subi.

D'après Tremblay et Mousseau (1), en 1977, la pyrophyllite légèrement traitée valait entre \$75 et \$120 la tonne. Certaines catégories spéciales pouvaient valoir jusqu'à \$500 la tonne. En général, le Canada exporte la pyrophyllite non traitée et la réimporte à gros prix, après traitement aux Etats-Unis.

La pyrophyllite du canton Carpentier, en Abitibi, a été l'objet de recherches par la Cie Domtar en 1965 et 1966. En 1974, les géologues Mousseau, Tremblay et Jean Descarreaux prenaient ce gisement en main (1). Ces derniers affirment qu'il y a au moins 2 millions de tonnes de minéral de pyrophyllite, réparties dans deux secteurs: le secteur nord et le secteur sud. La tendance générale du dépôt leur permettait de croire qu'il y aurait des centaines de millions de tonnes de minéral de pyrophyllite dans ce secteur.

En 1977, une étude minéralogique portant sur 14 échantillons provenant de cette propriété révélait une teneur en pyrophyllite qui variait de 12,4% à 61,5%. Les échantillons contenaient en moyenne 37,3% pyrophyllite (2).

Au début de juin 1978, nous avons reçu une centaine de livres de minerai avec la mission de concentrer la pyrophyllite.

En décembre 1978, Conrad Paré, des Gîtes minéraux du Ministère des Richesses naturelles, nous faisait parvenir de la documentation technique sur ce minerai. Les travaux ont commencé en janvier 1979 et se sont terminés à la fin de mars.

2. SOMMAIRE

2.1 Essais de broyabilité différentielle

Le minerai est constitué en majorité de pyrophyllite et de quartz.

La pyrophyllite a une dureté qui varie de 1 à 2, tandis que celle du quartz se situe à 7 sur l'échelle de Mohs. Nous avons tenté de tirer profit de cette différence de dureté en broyant légèrement le minerai dans un broyeur à barres. Deux essais différents ne nous ont donné aucune concentration de la pyrophyllite dans les fines, après broyage (voir le tableau 1).

2.2 Essais de flottation

Une couple d'essais préliminaires nous ont prouvé que la pyrophyllite avait la flottabilité naturelle du talc: nous pouvions la flotter avec un moussant comme l'huile de pin ou le Dowfroth 250.

Nous avons par la suite pris connaissance de travaux effectués sur du minerai de la Caroline du Nord (3). Lamb et Ruppert du U.S. Bureau of Mines avaient utilisé des amines ou de l'huile de pin.

Nous avons obtenu de meilleurs résultats avec les amines. Cependant la pyrophyllite n'était pas encore libérée du quartz dans un concentré qui avait une finesse de 91% -200 mailles (voir le tableau 12). A l'essai no 10, une première passe d'enrichissement du concentré primaire nous donne un concentré qui contient 78,6% pyrophyllite et 21,7% quartz. Après deux autres passes d'enrichissement, nous ne récupérons que 8,2% de la pyrophyllite dans un concentré qui titre 82,4% pyrophyllite. Ce concentré final est encore contaminé par 17,7% de quartz (voir les tableaux 8-A et 8-B).

3. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

3.1 Conclusion

Nous n'avons pas réussi à purifier suffisamment la pyrophyllite, même en ayant recours à un procédé de flottation qui avait fait ses preuves sur du minerai américain.

Le gisement est assez important pour justifier d'autres travaux de valorisation.

3.2 Recommandations

Nous recommandons que les travaux se poursuivent sur deux fronts, à l'échelle du laboratoire. Il faudrait d'abord poursuivre nos travaux sur la purification de la pyrophyllite. Il faudrait également vérifier si cette pyrophyllite ne pourrait pas devenir une source d'alumine, à la place de la bauxite.

4. DESCRIPTION DES ESSAIS

4.1 Broyabilité différentielle

Nous avons tenté de broyer sélectivement la pyrophyllite au lieu du quartz en ne laissant tourner que quelques secondes le broyeur à barres (Denver 7" x 14").

Nous espérons que la pyrophyllite serait réduite à -200 mailles plus vite que le quartz.

Nous avons par la suite tamisé le produit broyé sur 4 tamis (28, 48, 100 et 200 mailles Tyler). Chaque fraction granulométrique fut analysée séparément.

4.2 Flottation

4.2.1 Essais préliminaires

Après trois essais préliminaires, où nous avons constaté que la pyrophyllite se flottait comme le talc avec de l'huile de pin ou le moussant Dowfroth 250, nous avons entrepris deux essais spéciaux pour comparer le rendement du Dowfroth et celui de l'huile de pin (voir le schéma de traitement 1).

4.2.2 Répétition des essais de Lamb et Ruppert

Une fois en possession du rapport de ces chercheurs américains, nous avons d'abord essayé de répéter le plus fidèlement possible le procédé qui leur avait donné d'excellents résultats (essais 6 et 7). Avec l'essai 8, nous avons pratiquement éliminé le conditionnement du collecteur (Armac C.D.). Ces trois essais sont illustrés au

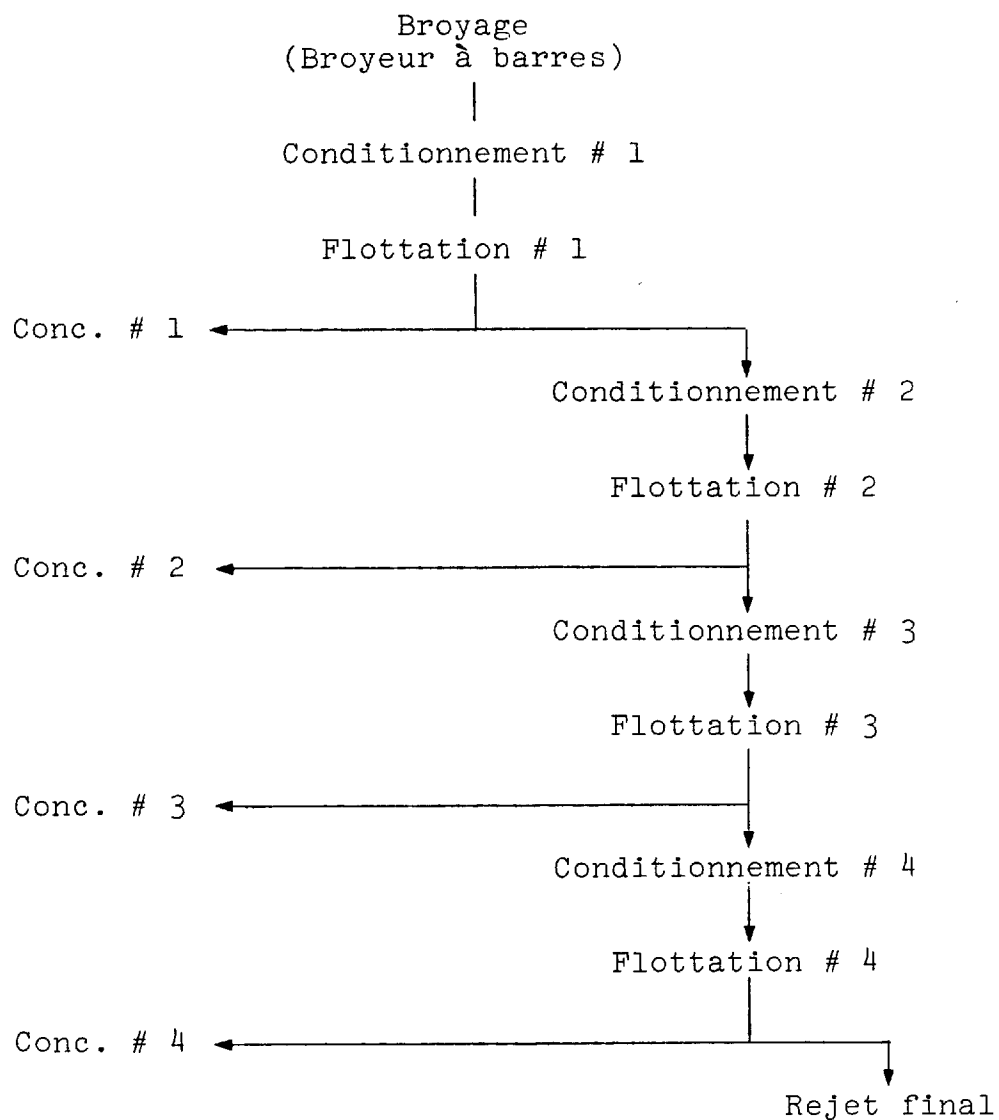
schéma 2. On retrouve les conditions spécifiques à chaque essai aux tableaux 4, 5 et 6.

4.2.3 Essais d'enrichissement poussé

Nous avons effectué quelques essais additionnels dans l'intention de pousser au maximum l'enrichissement des concentrés. Après trois étapes d'enrichissement, nous n'avions plus assez de matériel pour aller plus loin (voir le schéma 3).

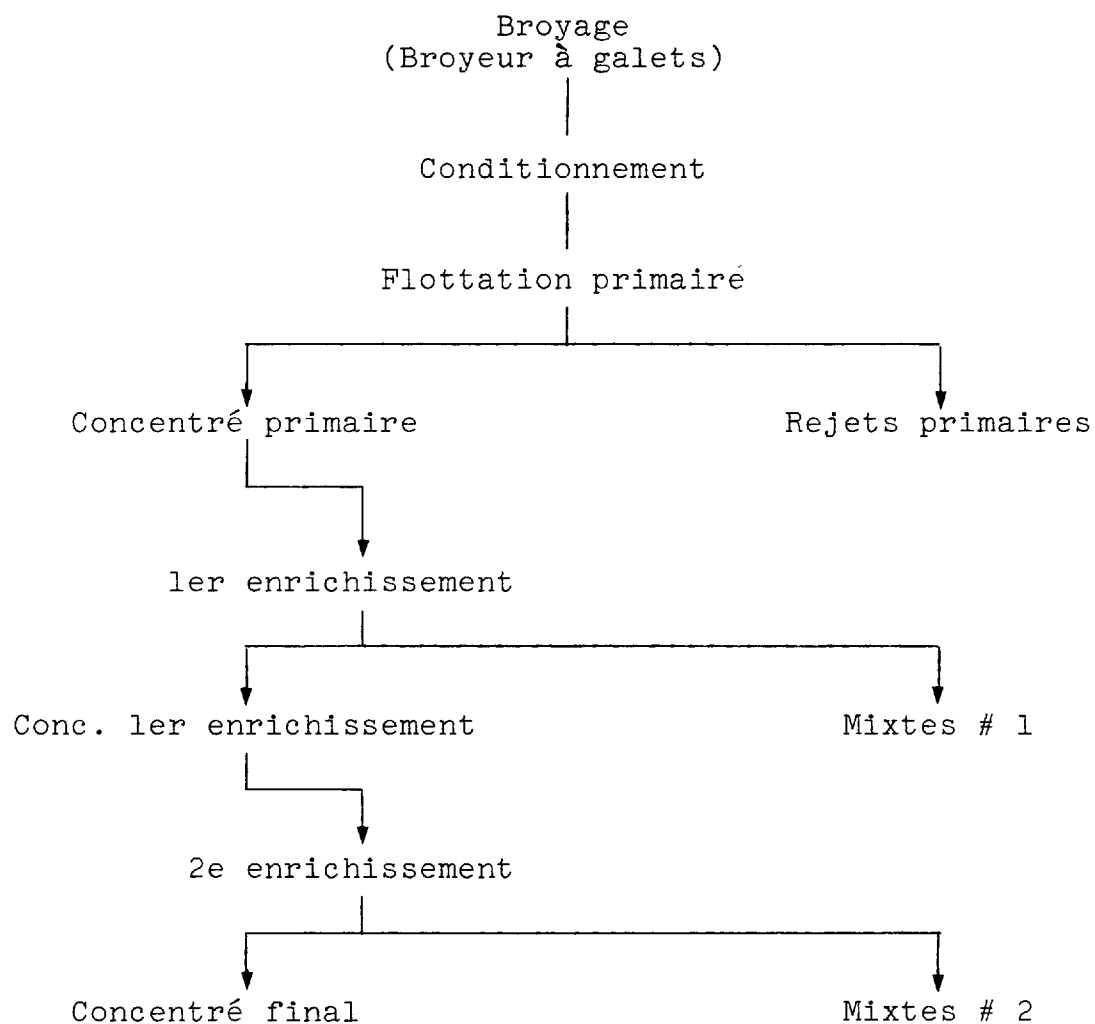
Les conditions spécifiques à chaque essai sont énumérées avec les résultats de chaque essai aux tableaux 7, 8-A, 9 et 10.

Figure 1
Schéma de traitement 1
Essais 4 et 5



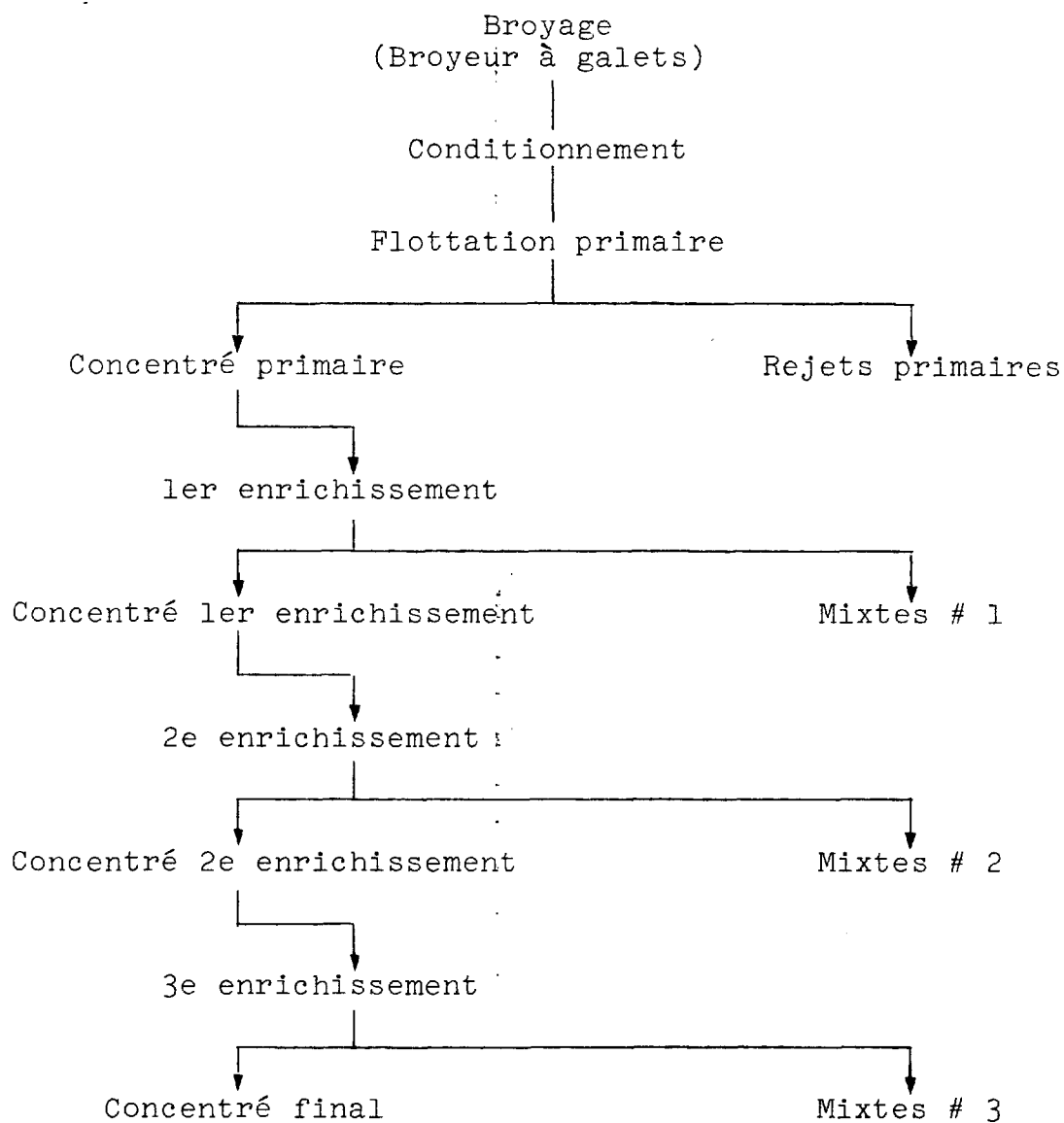
Note: Les conditions spécifiques à chaque essai sont énumérées avec les résultats aux tableaux 2 et 3.

Figure 2
Schéma de traitement 2
Essais nos 6, 7 et 8



- Note: a) Les conditions spécifiques à chaque essai sont énumérées avec les résultats aux tableaux 4, 5 et 6.
- b) Les quantités de réactifs sont énumérées en livres par tonne de minerai.

Figure 3
Schéma de traitement 3
Essais 9, 10, 13 et 15



Note: a) Les conditions spécifiques à chaque essai sont énumérées avec les résultats des essais.

b) Les quantités de réactifs sont exprimées en livres par tonne de minerai.

5. RESULTATS DES ESSAIS

Les résultats des essais en laboratoire sont énumérés aux tableaux 1 à 13 inclusivement. Le chapitre 6 contient une discussion de ces résultats.

Tableau 1
Essais de broyabilité différentielle
Bilans minéralogiques

(A) Broyage de 45 secondes

| Tamis Tyler | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz libre | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| + 28 | 35,78 | 46,6 | 32,1 | 0,78 | 33,6 | 51,9 | 39,9 |
| - 28 + 48 | 18,77 | 51,6 | 18,6 | 0,68 | 15,4 | 47,5 | 19,2 |
| - 48 +100 | 10,18 | 57,1 | 11,2 | 0,86 | 10,6 | 42,2 | 9,2 |
| -100 +200 | 6,87 | 61,2 | 8,1 | 1,28 | 10,6 | 34,7 | 5,1 |
| -200 | 28,40 | 55,0 | 30,0 | 0,87 | 29,8 | 43,6 | 26,6 |
| Total | 100,00 | 52,0 | 100,0 | 0,83 | 100,0 | 46,5 | 100,0 |

Total des minéraux 99,33

(B) Broyage de 90 secondes

| Tamis Tyler | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz libre | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| + 28 | 5,57 | 51,3 | 5,6 | 0,51 | 4,2 | 45,8 | 5,5 |
| - 28 + 48 | 30,28 | 49,2 | 29,2 | 0,53 | 23,3 | 49,1 | 32,2 |
| - 48 +100 | 16,50 | 50,6 | 16,3 | 0,63 | 15,1 | 46,1 | 16,5 |
| -100 +200 | 10,64 | 56,8 | 11,8 | 0,91 | 14,0 | 39,9 | 9,2 |
| -200 | 37,01 | 51,2 | 37,1 | 0,81 | 43,4 | 45,7 | 36,6 |
| Total | 100,00 | 51,1 | 100,0 | 0,69 | 100,0 | 46,2 | 100,0 |

Total des minéraux 97,99

Tableau 2
Flottation
Essai no 4
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz libre | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejet final | 46,83 | 30,74 | 27,7 | 0,993 | 63,8 | 64,25 | 68,3 |
| Conc. # 4 | 5,57 | 65,87 | 7,1 | 0,412 | 3,1 | 31,75 | 4,0 |
| Conc. # 3 | 7,57 | 70,39 | 10,3 | 0,544 | 5,6 | 26,71 | 4,6 |
| Conc. # 2 | 16,57 | 69,75 | 22,2 | 0,366 | 8,4 | 26,58 | 10,0 |
| Conc. # 1 | 23,46 | 72,47 | 32,7 | 0,591 | 19,1 | 24,7 | 13,1 |
| Total | 100,00 | 51,96 | 100,0 | 0,729 | 100,0 | 44,07 | 100,0 |

Conditions de l'essai:

- a) Broyage: 85% -200 mailles
- b) Conditionnement: 2 minutes, à chaque étape, après addition de 0,10 #/tonne de Dowfroth 250
- c) Flottation: 2 minutes à chaque étape

Tableau 3
Flottation
Essai no 5
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz libre | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejet final | 46,25 | 31,63 | 28,0 | 0,822 | 67,8 | 63,49 | 66,0 |
| Conc. # 4 | 4,43 | 64,81 | 5,5 | 0,393 | 3,0 | 31,46 | 3,1 |
| Conc. # 3 | 7,04 | 71,27 | 9,6 | 0,218 | 2,7 | 27,2 | 4,3 |
| Conc. # 2 | 15,83 | 69,01 | 20,9 | 0,445 | 12,5 | 29,05 | 10,4 |
| Conc. # 1 | 26,45 | 70,88 | 36,0 | 0,298 | 14,0 | 27,24 | 16,2 |
| Total | 100,00 | 52,19 | 100,0 | 0,562 | 100,0 | 44,46 | 100,0 |

Conditions de l'essai:

- a) Broyage: 85% -200 mailles
- b) Conditionnement: 2 minutes à chaque étape, après addition de 0,10 #/tonne d'huile de pin
- c) Flottation: 2 minutes à chaque étape

Tableau 4
Flottation
Essai no 6
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 56,77 | 39,8 | 43,5 | 0,97 | 71,5 | 55,6 | 71,4 |
| Mixtes # 1 | 22,71 | 63,7 | 27,8 | 0,58 | 17,1 | 33,4 | 17,2 |
| Mixtes # 2 | 4,86 | 73,2 | 6,8 | 0,52 | 3,2 | 23,8 | 2,6 |
| Concentré final | 15,66 | 72,6 | 21,9 | 0,40 | 8,2 | 24,7 | 8,8 |
| Total | 100,00 | 52,0 | 100,0 | 0,77 | 100,0 | 44,2 | 100,0 |
| Concentré (1er enrichissement) | 20,52 | 72,8 | 28,7 | 0,43 | 11,4 | 24,5 | 11,4 |
| Concentré primaire | 43,23 | 68,0 | 56,5 | 0,51 | 28,5 | 29,2 | 28,6 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 75% -200 mailles

Conditionnement:

- 2 étapes: a) 5 minutes avec 1,0 Na_2SiO_3
b) 5 minutes avec 0,15 huile de pin

Flottation: a) 10 minutes à chaque étape
b) Addition de 0,10 huile de pin au 2e enrichissement

Tableau 5
Flottation
Essai no 7
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 56,17 | 35,7 | 39,6 | 0,97 | 74,2 | 59,0 | 73,2 |
| Mixtes # 1 | 26,24 | 63,8 | 33,0 | 0,44 | 15,6 | 33,4 | 19,4 |
| Mixtes # 2 | 5,53 | 75,4 | 8,2 | 0,40 | 3,0 | 21,6 | 2,6 |
| Concentré final | 12,06 | 80,4 | 19,2 | 0,44 | 7,2 | 17,9 | 4,8 |
| Total | 100,00 | 50,7 | 100,0 | 0,74 | 100,0 | 45,2 | 100,0 |
| Concentré (1er enrichissement) | 17,59 | 78,9 | 27,4 | 0,43 | 10,2 | 19,0 | 7,4 |
| Concentré primaire | 43,83 | 69,8 | 60,4 | 0,43 | 25,8 | 27,6 | 26,8 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 75% -200 mailles

Conditionnement:

- 2 étapes: a) 5 minutes avec 1,0 HF
b) 5 minutes avec 0,2 Armac C.D.

Flottation: a) 10 minutes à chaque étape
b) addition de 0,10 Armac C.D. au 2e enrichissement

Tableau 6
Flottation
Essai no 8
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 58,69 | 38,4 | 43,5 | 0,91 | 71,4 | 56,6 | 74,5 |
| Mixtes # 1 | 26,57 | 65,8 | 33,8 | 0,56 | 19,9 | 32,0 | 19,1 |
| Mixtes # 2 | 5,68 | 79,3 | 8,7 | 0,48 | 3,6 | 21,0 | 2,7 |
| Concentré final | 9,06 | 80,4 | 14,0 | 0,42 | 5,1 | 18,4 | 3,7 |
| Total | 100,00 | 51,8 | 100,0 | 0,75 | 100,0 | 44,6 | 100,0 |
| Concentré (1er enrichissement) | 14,74 | 79,9 | 22,7 | 0,44 | 8,7 | 19,4 | 6,4 |
| Concentré primaire | 41,31 | 70,8 | 56,5 | 0,52 | 28,6 | 27,5 | 25,5 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 75% -200 mailles

Conditionnement:

2 étapes: a) 5 minutes avec 1,0 HF

B) 10 secondes avec 0,2 Armac C.D.

Flottation: 10 minutes à chaque étape, mais avec addition de 0,10 Armac CD au 2e enrichissement

Tableau 7

Flottation

Essai no 9

Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 24,32 | 25,1 | 11,6 | 2,11 | 52,6 | 72,1 | 37,7 |
| Mixtes # 1 | 31,15 | 46,6 | 27,7 | 0,70 | 22,3 | 52,7 | 35,3 |
| Mixtes # 2 | 25,76 | 66,1 | 32,4 | 0,60 | 15,9 | 33,4 | 18,5 |
| Mixtes # 3 | 11,74 | 77,5 | 17,3 | 0,48 | 5,8 | 22,0 | 5,6 |
| Concentré final | 7,03 | 82,1 | 11,0 | 0,48 | 3,4 | 19,1 | 2,9 |
| Total | 100,00 | 52,5 | 100,0 | 0,98 | 100,0 | 46,5 | 100,0 |
| Concentré (2e enrichissement) | 18,77 | 79,2 | 28,3 | 0,48 | 9,2 | 20,9 | 8,5 |
| Concentré (1er enrichissement) | 44,53 | 71,6 | 60,7 | 0,55 | 25,1 | 28,1 | 27,0 |
| Concentré primaire | 75,68 | 61,3 | 88,4 | 0,61 | 47,4 | 38,2 | 62,3 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 75% -200 mailles

Conditionnement: 2 minutes avec 1,0 HF

Flottation primaire: 15 minutes avec addition graduelle de 0,25
Armac C.D.Premier enrichissement: 10 minutes avec addition de 0,10 HF et
0,05 Armac C.D.

Deuxième enrichissement: 5 minutes (aucune addition de réactifs)

Troisième enrichissement: 5 minutes avec addition de 0,02 Armac C.D.

Tableau 8-A

Flottation

Essai no 10

Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 51,64 | 36,5 | 35,7 | 1,20 | 66,5 | 62,9 | 68,6 |
| Mixtes # 1 | 22,60 | 60,7 | 26,0 | 0,76 | 18,5 | 40,9 | 19,5 |
| Mixtes # 2 | 12,72 | 76,4 | 18,4 | 0,62 | 8,5 | 24,5 | 6,6 |
| Mixtes # 3 | 7,81 | 79,6 | 11,7 | 0,42 | 3,5 | 19,8 | 3,3 |
| Concentré final | 5,23 | 82,4 | 8,2 | 0,54 | 3,0 | 17,7 | 2,0 |
| Total | 100,00 | 52,8 | 100,0 | 0,93 | 100,0 | 47,3 | 100,0 |
| Concentré (2e enrichissement) | 13,04 | 80,7 | 19,9 | 0,47 | 6,5 | 19,0 | 5,3 |
| Concentré (1er enrichissement) | 25,76 | 78,6 | 38,3 | 0,54 | 15,0 | 21,7 | 11,9 |
| Concentré primaire | 48,36 | 70,2 | 64,3 | 0,64 | 33,5 | 30,7 | 31,4 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 83% -200 mailles

Conditionnement: 2 minutes avec 1,0 HF

Flottation primaire: 15 minutes avec addition graduelle de 0,25 Armac C.D.

Premier enrichissement: 10 minutes avec addition de 0,10 HF et 0,05 Armac C.D.

Deuxième enrichissement: 5 minutes avec addition de 0,05 Armac C.D.

Troisième enrichissement: 5 minutes

Tableau 8-B
Flottation - essai no 10
Bilan métallurgique

| Produits | Poids % | K ₂ O | | Na ₂ O | | CaO | | SiO ₂ | | FeO | | Al ₂ O ₃ | |
|--------------------------------|------------|------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------|-----------|------------------|-----------|-------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 51,64 | 0,09 | 54,1 | 0,10 | 48,6 | 0,10 | 63,4 | 87,6 | 54,6 | 0,58 | 67,9 | 10,5 | 36,0 |
| Mixtes # 1 | 22,60 | 0,09 | 23,5 | 0,11 | 23,4 | 0,06 | 17,1 | 81,6 | 22,3 | 0,35 | 17,9 | 17,3 | 25,9 |
| Mixtes # 2 | 12,72 | 0,08 | 11,8 | 0,12 | 14,0 | 0,07 | 11,0 | 75,6 | 11,6 | 0,28 | 8,1 | 21,7 | 18,3 |
| Mixtes # 3 | 7,81 | 0,06 | 5,9 | 0,12 | 8,4 | 0,07 | 6,1 | 73,0 | 6,9 | 0,18 | 3,2 | 22,6 | 11,7 |
| Concentré final | 5,23 | 0,07 | 4,7 | 0,11 | 5,6 | 0,04 | 2,4 | 72,8 | 4,6 | 0,24 | 2,9 | 23,4 | 8,1 |
| Total | 100,00 | 0,085* | 100,0 | 0,11* | 100,0 | 0,082* | 100,0 | 82,8* | 100,0 | 0,44* | 100,0 | 15,1* | 100,0 |
| Concentré (2e enrichissement) | 13,04 | 0,07* | 10,6 | 0,12* | 14,0 | 0,05* | 8,5 | 72,9* | 11,5 | 0,20* | 6,1 | 22,9* | 19,8 |
| Concentré (1er enrichissement) | 25,76 | 0,07* | 22,4 | 0,12* | 28,0 | 0,06* | 19,5 | 74,2* | 23,1 | 0,24* | 14,2 | 22,3* | 38,1 |
| Concentré primaire | 48,36 | 0,08* | 45,9 | 0,11* | 51,4 | 0,06* | 36,6 | 77,7* | 45,4 | 0,29* | 32,1 | 20,0* | 64,0 |

* Analyses calculées

Tableau 9
Flottation
Essai no 13
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 50,03 | 34,2 | 34,5 | 0,99 | 62,0 | 60,9 | 66,8 |
| Mixtes # 1 | 21,74 | 55,1 | 24,2 | 0,76 | 20,7 | 39,4 | 18,8 |
| Mixtes # 2 | 14,91 | 69,7 | 21,0 | 0,52 | 9,7 | 25,4 | 8,3 |
| Mixtes # 3 | 5,44 | 74,4 | 8,2 | 0,36 | 2,5 | 21,1 | 2,5 |
| Concentré final | 7,88 | 76,0 | 12,1 | 0,52 | 5,1 | 20,7 | 3,6 |
| Total | 100,00 | 49,5 | 100,0 | 0,79 | 100,0 | 45,6 | 100,0 |
| Concentré (2e enrichissement) | 13,32 | 75,3 | 20,3 | 0,45 | 7,6 | 20,9 | 6,1 |
| Concentré (1er enrichissement) | 28,23 | 72,4 | 41,3 | 0,49 | 17,3 | 23,3 | 14,4 |
| Concentré primaire | 49,97 | 64,8 | 65,5 | 0,61 | 38,0 | 30,3 | 33,2 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 71% -200 mailles, en présence de 1,0 HF

Flottation primaire: 15 minutes avec addition graduelle de 0,15 Armac C.D.

Premier enrichissement: 10 minutes avec addition de 0,10 HF et alimentation graduelle de 0,05 Armac C.D.

Deuxième enrichissement: 5 minutes avec addition graduelle de 0,04 Armac

Troisième enrichissement: 5 minutes avec addition de 0,02 Armac C.D.

Tableau 10
Flottation
Essai no 15
Bilan minéralogique

| Produits | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| Rejets primaires | 23,13 | 29,9 | 13,4 | 1,69 | 51,7 | 63,6 | 32,5 |
| Mixtes # 1 | 33,33 | 43,2 | 28,0 | 0,55 | 24,2 | 54,7 | 40,3 |
| Mixtes # 2 | 21,12 | 62,7 | 25,7 | 0,44 | 12,3 | 34,1 | 15,9 |
| Mixtes # 3 | 6,15 | 71,1 | 8,5 | 0,50 | 4,1 | 26,8 | 3,6 |
| Concentré final | 16,27 | 77,2 | 24,4 | 0,36 | 7,7 | 21,4 | 7,7 |
| Total | 100,00 | 51,5 | 100,0 | 0,76 | 100,0 | 45,3 | 100,0 |
| Concentré (2e enrichissement) | 22,42 | 75,5 | 32,9 | 0,40 | 11,8 | 22,9 | 11,3 |
| Concentré (1er enrichissement) | 43,54 | 69,3 | 58,6 | 0,42 | 24,1 | 28,3 | 27,2 |
| Concentré primaire | 76,87 | 58,0 | 86,6 | 0,48 | 48,3 | 39,8 | 67,5 |

Conditions de l'essai:

Broyage: 74% -200 mailles, en présence de 1,0 HF

Flottation primaire: 15 minutes, avec addition graduelle de 0,30 Armac C.D.

Premier enrichissement: 10 minutes avec addition de 0,10 HF et 0,05 Armac C.D.

Deuxième enrichissement: 5 minutes avec addition de 0,04 Armac C.D.

Troisième enrichissement: 5 minutes avec addition de 0,02 Armac C.D.

Tableau 11
Analyse granulométrique
d'un rejet de flottation
(Rejet final de l'essai no 4)

| Tamis Tyler | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| +150 | 6,26 | 68,1 | 13,6 | 1,48 | 8,3 | 29,4 | 2,7 |
| -150 +200 | 7,89 | 49,8 | 12,6 | 1,41 | 10,0 | 48,2 | 5,6 |
| -200 +270 | 6,61 | 32,9 | 6,9 | 1,93 | 11,4 | 64,5 | 6,2 |
| -270 +325 | 7,24 | 31,7 | 7,3 | 1,19 | 7,7 | 66,7 | 7,1 |
| -325 | 72,00 | 25,9 | 59,6 | 0,97 | 62,6 | 74,5 | 78,4 |
| Total | 100,00 | 31,3 | 100,0 | 1,12 | 100,0 | 68,4 | 100,0 |

Tableau 12
Analyse granulométrique
d'un concentré de flottation
Essai no 7

| Tamis Tyler | Poids % | Pyrophyllite | | Chlorites | | Quartz libre | |
|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % | Teneur % | Rép. % |
| +200 | 8,74 | 74,4 | 8,2 | 1,65 | 23,6 | 23,1 | 10,3 |
| -200 +270 | 12,47 | 78,2 | 12,2 | 0,48 | 9,8 | 21,7 | 13,7 |
| -270 +325 | 24,92 | 82,1 | 25,7 | 0,38 | 15,5 | 18,7 | 23,7 |
| -325 | 53,87 | 79,9 | 53,9 | 0,58 | 51,1 | 19,1 | 52,3 |
| Total | 100,00 | 79,8 | 100,0 | 0,61 | 100,0 | 19,7 | 100,0 |

Tableau 13
Analyses colorimétriques
Blancheur des concentrés de pyrophyllite

| No de l'essai | % de réflectance du concentré final |
|---------------|--|
| 6 | 78,5 |
| 7 | 78,5 |
| 8 | 78,0 |
| 9 | 78,5 |
| 10 | 78,0 |
| 13 | 79,0 |
| 15 | 79,0 |

6. DISCUSSION DES RESULTATS

6.1 Broyabilité différentielle

Nous constatons au tableau 1 que le quartz constitue l'impureté majeure qui se rattache à la pyrophyllite: le minerai en contient plus de 46%; à une exception près, chaque fraction en contient au moins 40%. La teneur en pyrophyllite est demeurée pratiquement constante sur tous les tamis.

6.2 Essais préliminaires avec l'huile de pin et le Dowfroth

Les deux réactifs donnent presque les mêmes résultats: le rejet final entraîne une perte de 27,7% de la pyrophyllite dans un cas et 28,0% dans l'autre. Nous avons opté pour l'huile de pin parce que le concentré # 1, celui qui a été recueilli à la première étape, nous donne une récupération de 36% au lieu de 32,7% (voir les tableaux 2 et 3).

6.3 Répétition des essais de Lamb et Ruppert

En comparant les essais 6 et 7, on remarque que le minerai a été broyé à la même finesse. Les deux essais ont été réalisés dans des conditions identiques. La seule exception fut un changement de réactifs.

- Armac C.D., utilisé avec HF comme dépresseur de quartz, nous donne un concentré final qui contient 80,4% de pyrophyllite et une récupération de 19,2%. Avec l'huile

de pin, nous n'obtenons que 72,6% de teneur, avec une récupération de 21,9%. Au niveau des concentrés primaires, Armac est encore préférable à l'huile de pin (voir les tableaux 4 et 5).

A l'essai no 8, nous avons remarqué que le réactif Armac C.D. agissait immédiatement sur la pyrophyllite et nous avons continué la flottation primaire pendant 10 minutes, même si la production de mousse avait ralenti après les deux premières minutes de cette étape. Nous avons donc décidé d'apporter des changements au procédé américain.

6.4 Essais d'enrichissement poussé

En résumé, avec les essais où nous avons tenté de pousser à l'extrême l'enrichissement des concentrés, nous n'avons atteint qu'une teneur de 82,4% pyrophyllite, avec une récupération de 8,2%. Ce concentré final contenait encore 17,7% de quartz. Les chercheurs américains ont atteint, avec du minerai de Caroline du Nord, une récupération de 97%. Leur concentré ne contenait que 3,2% de quartz (3).

Avec l'analyse granulométrique d'un concentré et d'un rejet (tableaux 11 et 12), on constate que, même à 325 mailles, le quartz et la pyrophyllite ne sont pas encore libérés. L'analyse minéralogique confirme que le concentré contient encore beaucoup de quartz non libéré. Par contre, le rejet final présente des minéraux mieux libérés; il y a donc lieu d'améliorer la flottation primaire (voir l'appendice 1).

A l'essai 9, nous avons tenté d'améliorer d'abord la récupération primaire. Dès que la production de mousse ralentissait, nous ajoutions 0,01 #/tonne d'Armac. Comme

résultat, nous avons obtenu un concentré très volumineux que nous avons pu enrichir trois fois. Cependant, à chaque étape d'enrichissement, les pertes en pyrophyllite étaient élevées: 27,7, 32,4 et 17,3%. Dans le concentré final, nous n'avions qu'une teneur de 82,1% et une récupération de 11,0% (voir le tableau 7).

A l'essai 10, nous avons broyé plus fin: 83% -200 mailles au lieu de 75%. Nous avons obtenu un concentré primaire moins volumineux mais plus riche: 70,2% pyrophyllite au lieu de 61,3%. Au cours de l'enrichissement les pertes furent élevées. Le concentré final titre 82,4% pyrophyllite, mais la récupération n'atteint que 8,2%.

En tenant compte à la fois de la qualité du concentré et de la récupération, l'essai 10 nous a donné un concentré passable après le premier enrichissement: 78,6% pyrophyllite, avec une récupération de 38,3% (voir le tableau 8-A).

Le tableau 8-B présente l'analyse chimique complète de chaque produit de l'essai 10. La teneur en alcalis est très basse, ce qui est excellent pour la résistance au feu des produits. La teneur en FeO des concentrés varie de 0,20 à 0,29%, ce qui est suffisamment bas pour éviter des complications qui pourraient surgir si on tentait d'extraire l'alumine de cette pyrophyllite.

Au cas où l'on songerait à substituer la pyrophyllite à la bauxite chez les producteurs d'aluminium, il faut noter que dans le concentré primaire nous avons déjà une teneur de 20% Al_2O_3 .

Avec l'essai 13, nous avons tenté de déprimer le quartz en ajoutant l'acide fluorhydrique dans le broyeur.

Nous n'avons cependant broyé qu'à une finesse de 71% -200 mailles et les résultats furent en tout point inférieurs à ceux des essais 9 et 10 (voir le tableau 9).

L'essai no 15 fut réalisé pour fins de comparaison avec l'essai no 13. Tous les paramètres étaient les mêmes, excepté la quantité de collecteur que nous avons doublée, à la flottation primaire. Nous avons obtenu une légère amélioration de la qualité du concentré final et doublé la récupération. Au tableau 10, on remarque que le concentré final titre 77,2% pyrophyllite avec une récupération de 24,4%; à l'essai 13, nous avons obtenu 76% pyrophyllite et 12,1% de récupération.

7. REMERCIEMENTS

Les travaux de laboratoire furent exécutés par Magella Bédard, technicien en techniques minières. Diane Gagné, technicienne en techniques minières, a participé aux analyses colorimétriques. Les analyses chimiques et minéralogiques furent réalisées par le personnel de la Direction Analyse et Contrôle du Centre de Recherches minérales. Gilles Legault, ing., a recueilli pour nous la littérature technique sur le sujet.

8. REFERENCES

- (1) "Geology of the Carpentier Pyrophyllite Deposit"
Communication faite au Congrès général du C.I.M.M en
1977, par Mousseau, Tremblay, Ph.D., et Jean Descar-
reaux, Ph.D.
- (2) "Analyses chimiques et minéralogiques d'échantillons
soumis par Descarreaux et provenant du comté Abitibi,
canton Carpentier"
Rapport No 873, publié par Rémi Tremblay, ing. du
Centre de Recherches minérales, décembre 1977.
- (3) Report of investigation No 4674
"Flotation of North Carolina Pyrophyllite Ore"
By Frank D. Lamb et John Ruppert, U.S. Bureau of Mines,
1950.

9. APPENDICES

Appendice 1

Analyses minéralogiques

A) Minerai non traité

"Pyrophyllite et quartz

Traces possibles de rutile et de chlorite

Mica non décelé

Talc possible, mais incertain"

B) Rejet final (essai no 4)

"La majeure partie du quartz et de la pyrophyllite
est libérée."

C) Concentré final (essai no 7)

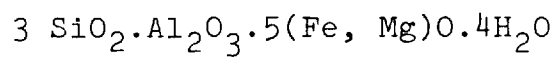
"Une quantité importante de quartz est non libérée
de la pyrophyllite."

Appendice 2

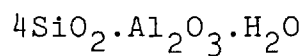
Analyses chimiques théoriques des principaux minéraux

| | Pyrophyllite | Chlorites | |
|----------------------------------|--------------|------------------|------------------|
| | | A base de FeO | A base de MgO |
| SiO ₂ % | 66,7 | 25,26 | 32,42 |
| FeO % | | 50,35 | - |
| MgO % | | - | 36,27 |
| Al ₂ O ₃ % | 28,3 | 14,29 | 18,34 |
| H ₂ O % | 5,0 | 10,10 | 12,97 |

Formule générale des chlorites:



Formule de la pyrophyllite:



Appendice 3

Exemple de calcul des principaux minéraux présents dans un produit

(En se basant sur la composition théorique des minéraux identifiés au laboratoire de minéralogie) (voir les appendices 1 et 2)

Par exemple, un produit contient:

| | |
|--------------------------------|--------|
| SiO ₂ | 74,0% |
| FeO | 0,21% |
| MgO | 0,02% |
| Al ₂ O ₃ | 23,3%. |

Supposons que FeO et MgO proviennent des chlorites:

Nous avons $100 \times \frac{0,21}{50,35} = 0,42\%$ chlorite FeO;

$100 \times \frac{0,02}{36,27} = 0,055\%$ chlorite MgO.

Ces chlorites "accaparent" respectivement 0,06 et 0,01% Al₂O₃.

Il reste donc $23,3 - (0,06 + 0,01) = 23,23\%$ Al₂O₃ dans la pyrophyllite.

Nous avons donc: $100 \times \frac{23,23}{28,3} = 82,1\%$ pyrophyllite.

La chlorite FeO contient $0,42 \times \frac{25,26}{100} = 0,11\%$ SiO₂.

La chlorite MgO contient $0,055 \times \frac{32,42}{100} = 0,02\%$ SiO₂.

La pyrophyllite contient $82,1 \times \frac{66,7}{100} = 54,76\%$ SiO₂.

Le quartz libre = $74,0 - (0,11 + 0,02 + 54,76)$
= 19,11%

Appendice 4Propriétés physiques
des principaux minéraux

| Minéraux | Densité g/cc | Dureté Echelle de Mohs |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|
| Pyrophyllite | 2,8 - 2,9 | 1 - 2 |
| Quartz | 2,65 - 2,66 | 7,0 |
| Chlorite (penninite) | 2,6 - 2,85 | 2 - 2,5 |



Pyrophyllite stands on its own

by Peter Harben, Deputy Editor

Until quite recently pyrophyllite has generally been overlooked in commercial circles, and regarded as the poor relation of the mineral world. Its trade and production statistics are often lost amongst the figures for talc, a much more common and better known mineral. The category becomes even more ambiguous since it often includes talc, steatite, soapstone, as well as pyrophyllite, often with subdivisions into wonderstone (South Africa) and agalmatolite (South Korea). The confusion is caused by the common physical characteristics of the minerals—their layered structure, softness, whitish colour, soapy feel, and pearly lustre. These in turn give them common end-uses. Even though these similarities are striking, in commercial terms the differences are equally important.

Pyrophyllite, a hydrous alumina silicate ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), has a chemical composition close to that of a clay or nepheline syenite (see table for details). Talc, on the other hand, is a magnesium silicate ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). These differences are highlighted by their very different geological environments—magnesium-rich talc is associated with basic and ultrabasic rocks, whereas pyrophyllite is found in acid volcanic rocks where alumina is more common. More specifically, pyrophyllite usually occurs as a hydrothermal or metasomatic alteration product of feldspars in rhyolites, dacites, and more rarely andesites. The replacement theory for the origin of pyrophyllite is often illustrated by gradual contacts between pure pyrophyllite and unaltered rock, the preservation of the original rock structures in the pyrophyllite, the survival of unaltered rocks in the pyrophyllite mass, and the introduction or removal of certain elements.

Another important difference between the two minerals is that pyrophyllite is a relatively rare mineral, whereas high grade talc is commonly found in com-

mercial quantities. Even when large deposits of pyrophyllite are identified, it rarely attains its theoretical composition—28.3% Al_2O_3 , 66.7% SiO_2 , and 5% H_2O —but rather contains impurities such as sericite, quartz, and to a lesser extent pyrite, chlorite, feldspar, haematite, and magnetite.

Production

As already noted, statistics regarding pyrophyllite are clouded, and a certain amount of detective work is necessary to clarify the situation. Production of pyrophyllite on a commercial scale is limited to less than a dozen countries. By far the largest producing area is South East Asia, in particular Japan, which has an average annual output well in excess of 1m. tons. South Korean production approaches 350,000 tpa (most is the massive type called 'agalmatolite'), and Thailand's contribution, although variable, has been as high as 10,000 tpa in recent years. India has maintained a production rate of around 15,000 tpa over the past five years. Australian production is increasing all the time and reached a peak of more than 13,000 tons in 1975.

Chemical and physical properties:

| Chemical | Talc* | Pyrophyllite† |
|--------------------------|--|--|
| | $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ | $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ |
| SiO_2 | 61.8% | 75% |
| MgO | 31.65% | |
| Al_2O_3 | 0.06% | 20% |
| Fe_2O_3 | 0.59% | 1.15% |
| CaO | 0.2% | 0.1% |
| K_2O | — | 0.03% |
| Na_2O | — | |
| Physical | | |
| Crystal structure | | |
| | Monoclinic | Monoclinic |
| Hardness | 1 | 1.5 |
| Density | 2.82 | 2.84 |
| Colour | white/grey/pale green | white/pale yellow |
| Lustre | Pearly | Pearly |
| Feel | Greasy | Greasy |
| Occurrence | Low/medium grade metamorphic rocks, rich in Mg. Often ultrabasic | Low/medium grade metamorphic rocks rich in Al. Often acidic. |

*Soc. Talco e Graphite val Chisone, Italy. †Glendon, North Carolina, USA

Chemical composition comparisons

| | Pyrophyllite* | Nepheline Syenite | Aplite | Clay | Wyoming Bentonite |
|-------------------------|---------------|-------------------|--------|-------|-------------------|
| SiO_2 | 65.8 | 60.0 | 63.36 | 60.92 | 62.43 |
| Al_2O_3 | 28.2 | 23.4 | 22.05 | 25.43 | 24.64 |
| Fe_2O_3 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.36 | 3.20 |
| CaO | 0.28 | 0.2 | 5.8 | 0.20 | 0.41 |
| Na_2O | 0.10 | 11.1 | 5.77 | 0.19 | 0.60 |
| K_2O | 0.04 | 5.00 | 2.43 | 0.39 | 0.15 |
| Loss on Ig. | 5.10 | 0.3 | | 12.11 | 6.12 |

A specimen of foliated or platy pyrophyllite from Standard Mineral's pit at Robb's, North Carolina, USA. The magnification is x 1.2.



The second largest producing region is North America. Canada has a pyrophyllite mine in Newfoundland, and production from the famous deposits of North Carolina is in the region of 100,000 tpa. In South America small tonnages are produced in Argentina, Peru, and Brazil (by far the biggest). Africa's contribution comes from South Africa (where it is called wonderstone) and Swaziland has a very small production. Europe's sole producer is Turkey. A summary of world production is given in the accompanying table.

SE Asia and Oceania

Japan leads

Japan is by far the world's leading producer and consumer of pyrophyllite. Much of the pyrophyllite mined in Japan is in the form of a clay called Roseki (waxy stone) which is processed to give a pyrophyllite concentrate. Production of Roseki averaged 1.35m. tpa for several years, and increased to over 1.9m. tpa in 1975. Within the Cretaceous rocks of southern Honshu, three main pyrophyllite areas have been outlined. In the Mitsuishi area, on the coast east of Okayama, Roseki has been mined for more than eighty years from beds following the original layers of rocks. The major producers in the area are *Shinagawa Refractories Co. Ltd.* at the Mitsuishi mine near Bizen City (10,000 tpm) and the Mikata mine near Kinosakigun (700 tpm). *Oosaka Yogyo Fire Brick Co. Ltd.* mines Roseki from the Tukulani mine near Bizen City (800 tpm), and *Oohira Mining Co. Ltd.* with production at its Oohira and Imazaki mine (13,000 tpm). Further to the west two other important pyrophyllite-bearing areas within the Cretaceous rock formations support the Yano Shokozan mine in the Shokozan area (north east of Hiroshima) operated by *Shokazan Mining Co.* (100,000 tpa) and the Uku mine in the Abu area farther to the west.

Similar deposits of pyrophyllite occur in Miocene rocks, particularly in the Goto area on the island of Kyushu to the west of Nagasaki. The 8,000 tpm production comes from the Goto mine operated by the *Goto Mining Co.*

The pyrophyllite-bearing rocks of western Japan can be traced northwards to South Korea. Much of this appears as a massive pyrophyllite (locally referred to as 'agalmatolite'). Production has been maintained at over 300,000 tpa for the past few years, and much of this is exported to Japan. Thailand's output exceeded 10,000 tons for the first time in 1975, mainly from Nakhon Nayok and Sara Buri provinces in the central part of the country. To date most of the production has been consumed domestically where it is divided

into three main grades based on Al_2O_3 contents: refractory and sanitaryware grade; ceramic grade; and the poor white cement grade.

... and Australia follows

Australia is a moderate pyrophyllite producer with good prospects to expand its current capacity. To date all the production has come from New South Wales, in particular the very small operation owned by Mudjee Minerals Pty. Ltd. in the Mudjee District and much larger Pyrophyllite Corp. Ltd. in the Bega Mining Division. In February this year Steetley Industries Ltd. of the UK became the major shareholder in Pyrophyllite Corp.

The operation, near the port of Eden about 300 miles south of Sydney, is based on pyrophyllite lenses within shear zones cutting Devonian rhyolites. As in Japan and South Korea, most of the pyrophyllite mineralisation is siliceous with a low alkali content (necessary for use as a refractory), although patches of mineralisation with a higher (5%) alkali content are mined to yield a material for use in ceramics. Overall the mineralised zone covers a 2,600ft. by 100/700ft. area, and drilling has shown that it extends to a depth of around 500ft. Inferred reserves are estimated to be 27m. tons.

Commercial exploitation of the deposit started in 1971 and reached a maximum output of over 13,000 tons in 1975/76. The hope is that this will be increased considerably over the next few years. After extraction from the open pit the ore is first reduced to 3/5in. particles in a jaw crusher, and then hand sorted into two grades: grade 1 is a pale green uncontaminated rock and grade 2 contains more quartz grains and is often stained with iron oxide (see tables for chemical compositions).

Chemical composition of Pambula Pyrophyllite

| | Grade 1 | Grade 2 |
|--|---------|---------|
| | % | % |
| SiO ₂ | 65.8 | 67.5 |
| Al ₂ O ₃ | 28.2 | 25.5 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.11 | 0.29 |
| FeO | 0.01 | 0.07 |
| MgO | 0.01 | 0.03 |
| CaO | 0.28 | 0.26 |
| Na ₂ O | 0.10 | 0.12 |
| K ₂ O | 0.04 | 0.55 |
| H ₂ O+ | 4.95 | 4.75 |
| H ₂ O— | 0.15 | 0.24 |
| TiO ₂ | 0.18 | 0.18 |
| P ₂ O ₅ | 0.01 | 0.02 |
| MnO | <0.01 | <0.01 |
| CO ₂ | 0.05 | 0.10 |
| SO ₃ | 0.04 | 0.11 |

*Analyses by The Australian Mineral Development Laboratories.

World production of pyrophyllite (metric tons)

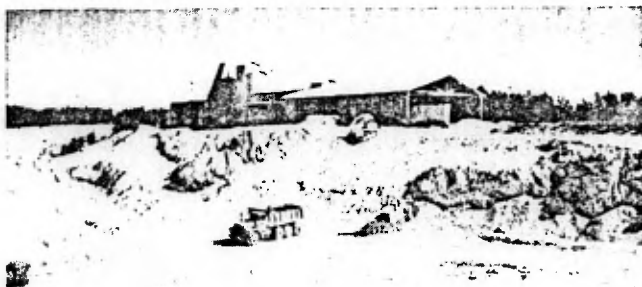
| | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Argentina | 7,263 | 8,325 | 6,313 | 5,412 | 8,357 | n.a. |
| Australia | 1,577 | 8,288 | 7,804 | 11,478 | 13,589 | 10,320 |
| Brazil | 6,356 | 33,136 | 40,058 | 45,813 | 65,778 | n.a. |
| Canada | — | — | — | — | — | — |
| India | 11,780 | 15,086 | 14,912 | 15,562 | 14,994 | 14,807* |
| Japan | 1,434,286 | 1,365,131 | 1,372,834 | 1,396,184 | 1,073,111 | n.a. |
| South Korea† | 142,335 | 163,396 | 304,842 | 238,418 | 223,000 | 349,000 |
| Peru | 4,528 | 8,944 | 8,343 | 10,968 | n.a. | n.a. |
| Thailand | 50 | 1,550 | 9,550 | 1,640 | 10,300 | n.a. |
| Turkey | — | — | — | — | — | 3,000 |
| South Africa‡ | 3,333 | 2,059 | 4,743 | 8,510 | 6,782 | 5,784 |
| Swaziland | 204 | 108 | 126 | 36 | — | n.a. |
| USA | 91,653 | n.a. | n.a. | 95,892 | 83,364 | n.a. |

n.a.—not available *Jan-July only. †wonderstone. ‡includes the following output of 'agalmatolite' (a massive pyrophyllite): 1973 224,040 tons; 1974 205,701 tons; 1975 196,239 tons; 1976 108,025 tons. Source: Institute of Geological Sciences, Mineral Statistics and economics Unit, London, UK.

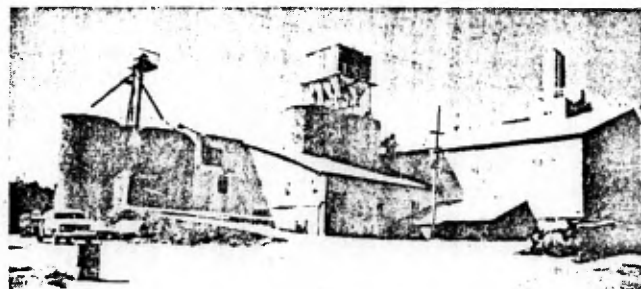
As far as the market is concerned, constant research is seeking new uses for pyrophyllite in the home market. The location of the deposit, 12 miles from the deep-water port of Eden and between the industrialised Sydney and Melbourne conurbations, is ideal to serve the increased future market.

North America

By far the bulk of pyrophyllite production in North America comes from within a belt of Precambrian volcano-sedimentary rocks extending parallel to the eastern Appalachians from Newfoundland in the north to Georgia in the south. This has been termed the 'Avalon Zone'. The bulk of the production comes from a 400 mile long section, known as the Carolina Slate Belt, which runs in a southwesterly direction through the North and South Carolinas and into Georgia.



A view across the Robbins, North Carolina, pit with the primary crushing plant in the background.

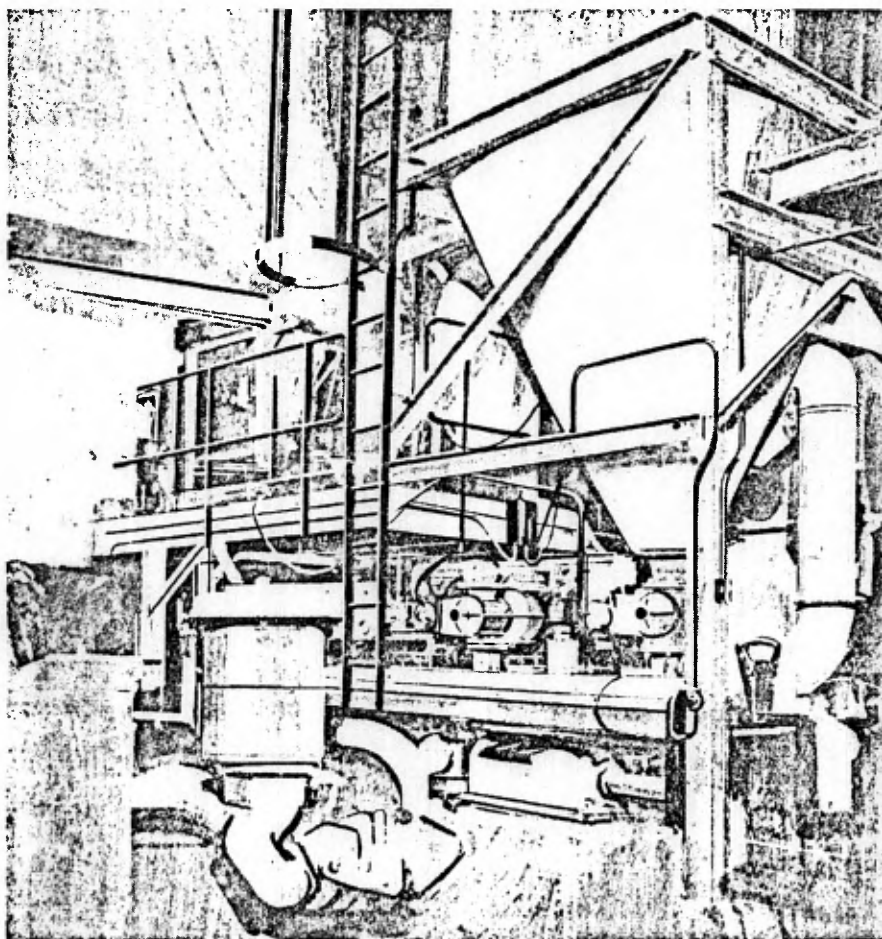


The mill at Robbins, NC, operated by Standard Mineral Co., a subsidiary of R. T. Vanderbilt Co. Inc.

USA

It is thought that pyrophyllite has been mined continuously in North Carolina since the mid-1800s, first of all from outcrops by shallow pits and cuttings, and then by larger pits and underground mines. Today almost the entire US production of just over 100,000 tpa comes from five open pit operations in North Carolina. The deposits are irregular, oval, or lens-shaped deposits within the acid tuffs and breccias, and are completely absent in the sedimentary and basic rocks. This, and the various stages of replacement, indicates a metasomatic replacement mode of formation as in Japan and Australia. The bodies, predominantly of the foliated or the platy variety, are often 150/500ft. wide, 700/2,000ft. long, and in excess of 500ft. deep.

The mineralogy is naturally dominated by pyrophyllite, although a great many accessory minerals



Processors & Traders of Industrial Minerals

- Many years experience in most types of processing
- Importers and Distributors
- Customers own materials processed
- Servicing a wide range of industries and markets
- Production capacity in excess of 80,000 tonnes per year

Colin Stewart Minerals Limited

Wharton Lodge Mills, Nat Lane,
Winsford, Cheshire.
Telephone: Winsford (STD 06065) 2291
Telex: 867059.



members of the
Leigh and Silavan Group
joint owners of
Triland Metals Limited
Ring Dealing Members
of the London Metal Exchange

USA: Pyrophyllite production and sales (short tons)

| | | Production | Sales | Value (\$'000) |
|------|-------|------------|---------|----------------|
| 1971 | | 101,030 | 90,477 | 1,155 |
| 1972 | | W | 90,482 | 1,236 |
| 1973 | | W | 113,019 | 1,469 |
| 1974 | | 105,703 | 101,132 | 1,474 |
| 1975 | | 91,893 | 85,574 | 1,379 |

W -Withheld to avoid disclosing individual company confidential data. Source: USBM.

are present including (in order of abundance) quartz, chloritoid, sericite, pyrite, chlorite, feldspar, iron oxides, epidote, zircon, titanite, rutile, zeolites, and apatite.

The producers

In 1888 pyrophyllite was found during a gold mining operation on a property about 2.5 miles from the town of Robbins. A limited amount of production followed the discovery and in 1920 Charles and Paul Gerhardt formed the Standard Mineral Company to mine the Robbins pyrophyllite deposit. Now a subsidiary of R.T. Vanderbilt Co. Inc. of Norwalk, Connecticut, *Standard Mineral Co.* is the largest domestic producer of pyrophyllite with an annual production of about 50,000 tons from the Robbins and Glendon deposits. The company is also attempting to develop the Wadeville deposit in Montgomery County.

Through a process of selective mining, blending, drying, and grinding in conical Hardinge Mills., Standard Mineral can produce 15 grades of pyrophyllite marketed under the trade name of PYRAX. For example, PYRAX B is used as a pigment in the paint industry (it has a dry brightness of 80, density of 2.8, oil absorption of 36, and a 1% residue on a 200 mesh screen); PYRAX HS is used in the preparation of ceramic wall tile bodies (it has a high sericite content, PCE of 26, and a screen residue of 3% maximum on 200 mesh); PYRAX RG is refractory grade (material with a low alkali content and a PCE of 27/28); Pyrax Granules as carriers for agricultural toxicants, non-slip coatings and filtration beds; and Pyrax AF30 is used as an asphalt filler and backing.

The other producers in North Carolina include Tredmont Inc., operating the Jones Mine in Granville County (the company also bought the Boren and Harvey pyrophyllite properties in 1976) and North State Pyrophyllite Co. This latter company is a refractory manufacturer which through its subsidiary, Piedmont Minerals Co. Inc., operates the Hillsborough Mine. The

pyrophyllite/andalusite mixture mined is crushed and separated by heavy media separation. The production (at present around 25,000 tpa) is largely used within the group, although some surplus mineral is sold on the open market. The company hopes to be using a flotation process by the end of the year which will also give a good quality silica sand which may be marketed as a glass raw material. According to USBM estimates, North Carolina has reserves of pyrophyllite of around 12m. tons.

California is also a producer of pyrophyllite, in particular in San Diego County, in the south of the state. *Interpace Corp.*, the major clay, wollastonite, and refractory producer, has a pyrophyllite mine and plant in southern California which produces intermittently (no production was recorded in 1976). Most of the production is utilised within the company, for the production (under licence for Japan) of ladle bricks and allied uses, and only a small amount is sold on a spot basis to local industries. There is a pyrophyllite deposit in Adams County, Pennsylvania, which to date has never been exploited.

Canada

The only current commercial source of pyrophyllite in Canada is on the Avalon Peninsula of Newfoundland, near the small town of Foxtrap. Pyrophyllite was first extracted in the area in 1904 when a shipment of 1,750 tons was sent to the USA. Thereafter production continued in fits and starts, the most consistent period being 1938/48 when Industrial Minerals Company of Newfoundland mined and milled 6,500 tons. However, *Newfoundland Minerals Ltd.*, a wholly owned subsidiary of American Olean Tile Co. Inc. of the USA, took over the operation in 1956 and since then production has been continuous.

The pyrophyllite occurs in a narrow belt running south of Conception Bay in eastern Newfoundland and along the east side of the Precambrian Holyrood granite batholith. It is thought that hydrothermal solutions, moving up via faults and shear zones from the granite, may have recrystallised rhyolitic rocks into the fine grained assemblage of quartz, sericite, and pyrophyllite. Rhyolitic rocks remote from the granite showed no signs of pyrophyllite mineralisation.

Current production from the 450 by 300 metres open pit is around 30,000/40,000 tpa. The mineral material is crushed to minus seven inches prior to shipping the material to American Olean's tile plants in Lansdale, Pennsylvania, and Jackson, Mississippi.

PYROPHYLLITE CORPORATION LIMITED

A DIVISION OF STEETLEY INDUSTRIES LIMITED

HEAD OFFICE: 1 York Street, Sydney, NSW 2000, Australia. TEL: (02) 27 9684.

CAPITAL: Authorised \$1,500,000 Issued \$1,023,665.

DIRECTORS: B. E. Cornish (Managing), D. G. Gill, A. J. Wennerbom.

MINE LOCATION: Pambula, Eden District, NSW Australia.

PRODUCTS: A number of grades and sizes of pyrophyllite are produced for various applications as follows:

| | | |
|---------------------------|------------------------------------|--------|
| Application: | Industry: | Grade: |
| Contact Refractories | Steel Industry | PPR-L |
| Tunnel Kiln Car Furniture | Brick Industry | PPR-G |
| Refractory Mortars | Refractories Industry | PPR-M |
| Whiteware, Sanitary Ware | Ceramic Industry | PPC-W |
| Fillers | Industrial Mineral Filler Industry | PPF-80 |

PRODUCTION: Present 30,000 tonnes per annum. ORE RESERVES: 27,000,000 tonnes

Potential in the East

A future Canadian source of pyrophyllite may well be the Senneterre deposit located in Carpentier Township, Abitibi region, Quebec, which has been actively prospected since the 1930s. It was not until 1962, however, that a mapping project conducted by the Quebec Department of Natural Resources identified the rock in the shear zone as pyrophyllite. Domtar Ltd. optioned the property between 1964 and 1974 since when it has been in the hands of Descarreaux & Mousseau Tremblay Inc. of Quebec.

The property, which is within the mineral-rich Precambrian Shield area of Canada, has pyrophyllite mineralisation in a series of zones associated with sheared metamorphic volcanics and pyroclastics ranging in composition from andesites to rhyolites. Again, a metasomatic origin has been assigned to the deposit. The present owners hope that further tests will prove that the pyrophyllite won from the ore will be suitable for present markets.

... and the West

Some occurrences of pyrophyllite have been reported in western Canada. For example, the northwestern portion of Kyuquot Sound, a small inlet on the west coast of northern Vancouver Island, has been described as a pyrophyllite area. In addition, Mountain Minerals Ltd. of Lethbridge, Alberta, has been actively investigating several pyrophyllite claims in western Canada.

South America

Pyrophyllite production has been reported in several localities in South America. In Brazil, the vast refractory producer, *Magnesita SA*, has an output of about 60,000 tpa at Belo Horizonte. The entire production is consumed by the company, largely for the manufacture of ladle linings. *Finapa Assessoria Comercial Industrial Ltda.* of Sao Paulo claims to have a 100,000 tpa capacity pyrophyllite mine which supplies the ceramics industry. *Cia. Minera Agregados Calcareos SA* of Lima, Peru, has been mining and processing a mineral similar in chemical composition and uses to pyrophyllite, although it is mineralogically different. The company has also isolated a large deposit of pyrophyllite—the only one on the Pacific coast of South America—which it hopes to exploit in the near future. Argentina has an output of less than 10,000 tpa.

Brazil: Pyrophyllite reserves

| State | Region | Quantity (tons) | |
|--------------|---------------------|-----------------|-----------|
| | | Proven | Indicated |
| Minas Gerais | | 687,613 | 310,000 |
| | Onca de Pitangui | 434,555 | 310,000 |
| | Pitangui | 253,058 | — |
| Sao Paulo | | 412,140 | — |
| | Santana do Parnaiba | 412,140 | — |
| Total | | 1,099,753 | 310,000 |

Africa

Wonderstone (1937) Ltd. has been producing a massive block pyrophyllitic material in the Western Transvaal for some time now. The material mined in fact is a metasedimentary rock made up of pyrophyllite (89%), cloritoid, epidote, and rutile. The product, with an average chemical composition of 55.5% SiO₂, 35.24% Al₂O₃, 0.31% MgO, 2.8% TiO₂, and 6.15% loss on ignition, is different from a standard pyrophyllite in having a Mohs hardness of 8. Naturally, the end uses are therefore different—the main ones are bushes for

submerged pumps, inserts for sluice way nozzles, spigots for coal washing plants, abrasion and acid resisting linings for pipes, and for lining coal chutes. Sales for wonderstone are handled by Ore and Metal Co. Ltd. of Johannesburg.

Swaziland has been producing small tonnages of pyrophyllite for some years now, particularly from the Usetu area between the Mkhondvo and Great Usutu Rivers. However, the production is only of the order of hundreds of tons a year.

Europe

Turkey

Turkey has been a commercial producer of pyrophyllite since 1976 when *Endustrie Mineralleri ve Tastari Sanayi Ltd.* (Industrial Minerals of Turkey Ltd.) started up its production in the Malatya Province of eastern Turkey. Approximately 6m. tons of pyrophyllite is contained in hydrothermally altered dacite tuffs found in lenses scattered over a wide area. Three main grades are mined: a green coloured massive block variety; a white soft clay material; and a sericite-contaminated dark green pyrophyllite. The typical chemical compositions are given in the accompanying table.

Current production is around 3,000 tpa, although there are plans for a substantial increase. The entire

Turkey

| | Massive Type | Natural Powder | Sericite contaminated (High Aluminous Type) |
|--------------------------------|--------------|----------------|---|
| | % | % | % |
| Loss on Ignit. | 4.26 | 5.60 | 4.23 |
| SiO ₂ | 65.88 | 61.54 | 42.70 |
| Al ₂ O ₃ | 26.39 | 28.59 | 43.48 |
| TiO ₂ | 1.00 | 0.60 | 0.60 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.60 | 0.50 | 0.43 |
| CaO | 0.67 | 0.79 | 0.45 |
| MgO | 0.17 | 0.78 | 0.78 |
| K ₂ O | 0.33 | 0.33 | 4.66 |
| Na ₂ O | 0.70 | 1.27 | 2.67 |



An outcrop of pure pyrophyllite on the eastern part of a deposit operated by Industrial Minerals of Turkey in Malatya Province.



Just some of the Processed Minerals we supply to Industry

Our extensive experience and technical facilities enable us to provide you with a comprehensive range of high quality materials and to advise on new developments.

For full details please contact our Sales Office.



RAMSDEN

C. E. RAMSDEN & CO LTD



EDWARDS

GEORGE EDWARDS & SONS LTD

Meir, Stoke-on-Trent ST3 7QB Tel: 0782-316111
Telex: 36105 Cerglas Stoke

production is currently being consumed by Canakkale Ceramic Ractories, part owners of Industrial Minerals of Turkey, in its production of wall tiles and cordierite products, and as a natural grog for kiln furniture like setters, slabs, pins, and posts. There are plans to produce pyrophyllite for the production of pyrophyllite/zircon ladle lining bricks, and later the market as a paper filler will be examined.

Utilisation—present and future

Pyrophyllite's similarities with talc allow it to be used in many of the same industries, and its differences means that it is still more versatile. Unlike talc, pyrophyllite does not flux when heated and therefore makes an efficient refractory—in fact its name comes from the Greek words 'pyr' meaning fire and phyllite, a rock or stone. Its first use was as a hearthstone, and today the refractory industry is still the largest consumer of pyrophyllite.

In the USA almost 50% of pyrophyllite's consumption is taken up by refractories, and in Japan the figure is as high as 60%. Vanderbilt's refractory grade material is used in the manufacture of insulating firebrick, metal pouring refractories, alumina-silica monolithic refractories, and kiln car refractories; it is available in 3in., 4in., 16 mesh, 140 mesh, and 200 mesh sizes. A popular method of using pyrophyllite is as part of a mixture, usually with varying proportions of zircon. Experiments in Australia have shown that the average life for ladle lining using pyrophyllite alone

USA: end uses for pyrophyllite in 1976 (metric tons)

| | |
|--------------------|---------------|
| Ceramics | 19,480 |
| Cosmetics | 45 |
| Insecticides | 15,513 |
| Paint | 1,950 |
| Refractories | 48,384 |
| Roofing | 570 |
| Rubber | 217 |
| Other uses | 11,182 |
| Total | 97,341 |

Source: US Bureau of Mines.

is 30/35 heats, whereas a zircon enriched ladle lining lasted on average 50 heats. Zircon alone lasts up to 80 heats but it is much more expensive.

Pyrophyllite's major refractory advantages are its permanent expansion characteristics, good reheat stability, low hot load deformation, and low thermal conductivity properties. The permanent expansion, such an important characteristic in refractory bricks, is due to the separation of the aluminium silicate layers and the loss of water. One major disadvantage of pyrophyllite is its soft and friable nature, although it has been shown that this can be successfully combated by close control of particle size distribution. It is generally accepted that the massive form of pyrophyllite is suitable for refractory manufacture whereas the foliated crystal form is used mainly in ceramics.

Ceramics

Pyrophyllite's high alumina content and pyrochemical properties are useful in the ceramics industry. Although this has been known for many years, only now is research opening up new varied uses within the

industry. It has been found that semi-vitreous dinnerware incorporating pyrophyllite attains good drying and firing characteristics, a high mechanical strength, and a good resistance to crazing. A high sericite pyrophyllite is used extensively in tile manufacture as a (part) substitute for the silica/feldspar mixture. This reduces crazing, shrinkage, and warping, and is the largest end use for pyrophyllite in the ceramics industry. Tests in Australia have shown that pyrophyllite replacing silica in vitreous chinaware increases the green strength of the casting, the whiteness of the body, and the degree of vitrification, whilst at the same time decreasing the firing temperature and time.

Sundry uses

A major expanding use for pyrophyllite is as a carrier in the insecticide industry. Many chemical products may be transported by inert non-metallic minerals such as various clay products, diatomite, talc, and pyrophyllite. In the USA, for example, insecticides are the third most important use, being exceeded only by refractories and ceramics.

Various grades of pyrophyllite are used in the construction industry for products such as roof shingles, dry wall joint compounds, sealants, and paints. One use that is particularly interesting is the use of pyrophyllite in road building. The variety of aggregates used in roads are designed to increase the life of the road surface, give good bitumen adhesion, high luminance, a high polished stone value (PSV), and a low aggregate impact value (AIV). The researchers in Australia claim that pyrophyllite imparts a softly reflective glow which is useful, particularly at intersections, pedestrian crossings, bridges, tunnels, and other hazardous sectors. Short stretches of road in the Melbourne area of Australia have been converted to the white pyrophyllite surface and the results are being monitored by several interested parties including the Building Research Division of the CSIRO.

Talc is a major white filler used in the paper, paint, plastics, and rubber industries. However, pyrophyllite is used in some parts of the world, particularly Japan, and this end-use may increase as the market for fillers expands and pyrophyllite becomes more plentiful. Paint is currently the largest filler market for pyrophyllite, although it still only contributes 2% of US consumption.

The reaction vessel used for the manufacture of synthetic diamonds usually consists of pyrophyllite. This is because it can be easily machined to accurate specifications, and it remains inert during the reaction. The product, which is the harder 'wonderstone' product from South Africa, also acts as an excellent electrical insulator and is a perfect sealant (in fact the pyrophyllite flows during the reaction increasing the effectiveness of the seal). Other smaller uses include rice polishing, art sculptures, foundry facing, stucco, and asphalt filler.

Round-up

Although pyrophyllite has been used successfully for years in Japan, only now is it being recognised in other parts of the world as a valuable commercial mineral. The widespread presence and utilisation of talc in many industries has been a major factor in retarding pyrophyllite's progress. However, current research is illus-

trating the versatility of pyrophyllite. In Japan and Australia talc resources are restricted (and are confined to Western Australia), and so research on the use of pyrophyllite has been particularly active in these areas. In the USA, although there is a very healthy talc production, the use of pyrophyllite is growing because it has certain desirable properties required by the ceramics and refractory industries. In fact, all the Canadian production is consumed in the USA. Most other producers are small by comparison, and here consumption is restricted to domestic industry.

Environmental considerations offer mixed blessings for the future of pyrophyllite. Asbestos has been comprehensively criticised as a health hazard which has adversely affected its commercial use. It is now talc's turn to feel the brunt of opinion (often misinformed) which may in turn cause an alternative to be sought for certain applications. Pyrophyllite would of course be an obvious choice, although it must be borne in mind that pyrophyllite would be the next most obvious material to be examined by OSHA, EPA, and other such organisations.

Nevertheless, it appears that at last pyrophyllite has emerged from talc's shadow—in fact the USBM is now starting to separate pyrophyllite and talc in their publications—and is becoming an important mineral in its own right. At the moment quite a high proportion of the output is for the producer's own requirements. However, when production has increased substantially—and there are many signs that this is happening—then more will be available on the open market which should accelerate the importance of the mineral.

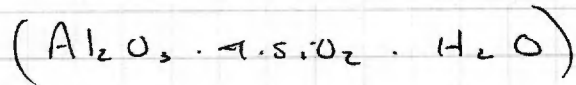


H.J. SCHMIDT KG
NEUWIED

FIRST CLASS
CANADIAN
PYROPHYLLITE
REFRACTORY GRADE
CERAMIC GRADE

mineral and inorganic raw-materials, carriers,
fillers for the refractory, ceramic, glass,
chemical and related industries

ADDRESS:
P.O.B. 2168 D-5450 Neuwied 1
Telex 0867 817 tons phone (02631) 23950



Propriétés similaires au talc, mêmes usages ou presque

Industrie céramique : tuiles et briques

Canton cantonier, lots 28-33, rang IV et V

Schiste à quartz - pyrophyllite - chlorite

Bande de 1500' de largeur x 400' de largeur

Composition minéralogique

| | |
|--------------|--------------|
| pyrophyllite | 50-70% |
| quartz | 25-45% |
| chlorite ou | 0-25% |
| analcime | } accessoire |
| pyrite | |
| corindon | |
| kyanite | |
| diaspore | |

Travaux de mise en valeur

- Basecoms Mines Ltd (1945) Forage pour l'or
- Canadian Johns Manville Ltd (1962) Forage pour l'or
- Macmillan Mines Ltd (1964) Forage pour l'or
- Dantec Chemical Ltd (1965-1966) : pyrophyllite

16 heures de forage

Analyses chimiques

" " minéralogiques

Essais de concentration

Essai de production industrielle de briques réfractaires