



mémento roches et minéraux industriels

vermiculite

C.H. Spencer et M. Grès

décembre 1990
R 31802



Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur

Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM

BRGM
Service Géologique National
Département Géologie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France
Tél. : (33) 38.64.34.34

La vermiculite est un mica de couleur mordorée caractérisé par sa capacité d'expansion lorsqu'on la soumet à une augmentation soudaine de température, qui entraîne une augmentation importante de volume. Ceci permet son transport intercontinental à l'état dense (non-exfolié) et sa transformation (exfoliation) près du marché consommateur.

Les propriétés d'isolation, dues aux espaces d'air abondants, expliquent les utilisations de la vermiculite exfoliée en remplissage en vrac pour l'isolation des toitures, des murs et son incorporation dans des panneaux de plâtre, des bétons et pour le maintien des températures de métaux en fusion dans la sidérurgie. Les capacités élevées d'échange cationique et de rétention des liquides permettent les applications dans l'horticulture (hydroponique) et l'agriculture en tant que support de fertilisant ou dans la nourriture animale.

La consommation mondiale de vermiculite brute, environ 600 000 t/an, est dominée par les Etats-Unis (51%) et l'Afrique du Sud (38%). Le Brésil est en train d'augmenter sa part du marché. Sans gisements commerciaux, la France (et la CEE) dépend de l'Afrique du Sud pour ses importations, qui sont de l'ordre de 25 000 t. Le prix CIF de la vermiculite brute en Europe est entre 150 et 250 \$ US la tonne.

Du point de vue géologique, la vermiculite se rencontre quand une roche mère, la pyroxénite, a subi un métamorphisme rétrograde la transformant en biotite + phlogopite, généralement influencé par une intrusion acide. Dérivée probablement de la phlogopite, la vermiculite se forme par l'incorporation d'eau interfoliaire, soit par des processus superficiels, soit par des processus hydrothermaux.

Le traitement des minerais est souvent complexe et comprend élutriation pneumatique et/ou hydroclassification afin d'extraire la vermiculite.

Vermiculite is a brownish mica that expands (exfoliates) under sudden heating, increasing greatly in volume. This permits intercontinental transport in its dense state and exfoliation near the consumer market.

Excellent insulation properties due to abundant air spaces explain uses of exfoliated vermiculite ranging from loose-fill roof and wall insulation to incorporation into plasterboard and concrete, as well as temperature maintenance of molten metal in the steel industry. High cationic exchange and liquid retention capacities provide applications in horticulture (hydroponics) and agriculture as fertilizer support and food stuffs.

World crude vermiculite production, about 600,000 t/year, is dominated by the USA (51%) and South Africa (38%). Brazil is emerging as a significant supplier. Without commercial deposits, France (and the EEC) depend on South African imports. The French market is about 25,000 t/year; CIF prices for crude vermiculite are between \$ 150 and \$ 250 / t in Europe.

Vermiculite occurs where pyroxenite parent-rock has undergone retrograde metamorphism to biotite-phlogopite, usually influenced by a silicic intrusion. Derived probably from phlogopite, vermiculite results from the incorporation of interlayer water, either by surficial or hydrothermal processes. Mineral processing of vermiculite is often complex, involving winnowing or hydroclassification.

TABLE DES MATIÈRES

	page
1 - GÉNÉRALITÉS	7
2 - DONNÉES ÉCONOMIQUES	9
2.1 - Marché français	9
2.1.1 - Importations	9
2.1.2 - Exportations	9
2.2.3 - Consommation française	9
2.2 - Marché mondial	11
2.2.1 - Production	11
2.2.2 - Sociétés productrices	13
2.3 - Prix	13
3 - GÉOLOGIE	15
3.1 - Minéralogie	15
3.2 - Composition chimique	15
3.3 - Caractéristiques physico-chimiques	16
3.4 - Gîtologie	17
3.4.1 - Gisements de type 1	18
3.4.2 - Gisements de type 2	20
3.4.3 - Gisements de type 3	20
3.5 - Potentialités	20
4 - SECTEURS D'UTILISATION	23
4.1 - Usages comme granulats	23
4.1.1 - Bétons à vermiculite	23
4.1.2 - Plâtres à vermiculite	25
4.1.3 - Asphalte à vermiculite (vermiculite exfoliée bitumée)	25
4.1.4 - Vermiculite en vrac	25
4.1.5 - Réfractaire	29
4.1.6 - Fonderie, sidérurgie	29
4.1.7 - Peintures ignifugées	29

4.2 - Usages agro-alimentaires	29
4.2.1 - Horticulture	29
4.2.2 - Nourriture pour bétail	31
5 - SPÉCIFICATIONS INDUSTRIELLES	32
6 - EXPLOITATION ET MODE DE TRAITEMENT DE LA VERMICULITE ...	34
6.1 - Exploitation aux Etats-Unis.....	34
6.2 - Exploitation à Palabora (Afrique du Sud).....	34
6.3 - Fabrication de la vermiculite expansée	36
7 - PRODUITS DE SUBSTITUTION.....	37
7.1 - Substances minérales	37
7.2 - Substances manufacturées	37
BIBLIOGRAPHIE	38
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Vermiculite expansée (cliché x 8).
- Fig. 2 - Vermiculite non expansée (cliché x 20).
- Fig. 3 - Valeur et importations françaises de vermiculite (1959-1987).
- Fig. 4 - Secteurs d'emploi de la vermiculite aux Etats-Unis (1988).
- Fig. 5 - Production mondiale de vermiculite 1988 par pays (pays d'Europe de l'est non compris).
- Fig. 6 - Pays producteurs de vermiculite (1978-1988).
- Fig. 7 - Carte géologique de Palabora, Afrique du Sud.
- Fig. 8 - Carte géologique des indices de vermiculite du massif de la Bessenois, près de Decazeville (Aveyron).

Fig. 9 - Conductivité thermique de bétons à vermiculite.

Fig. 10 - Propriétés typiques de bétons à vermiculite.

Fig. 11 - Vermiculite exfoliée en vrac (cliché x 10).

Fig. 12 - Utilisations de la vermiculite exfoliée dans l'isolation des combles et des murs (*in* document publicitaire EFISOL).

Fig. 13 - Nivellement de vermiculite exfoliée en isolation des combles non habités.

Fig. 14 - Vermiculite utilisée comme emballage pour produit chimique.

Fig. 15 - Vermiculite exfoliée étalée sur la surface d'un moulage de lingot.

Fig. 16 - Schéma de traitement de minerais de vermiculite par voie humide (d'après STRAND, 1975).

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1 - Petits producteurs de vermiculite (1986-1988).

Tabl. 2 - Composition chimique moyenne de la vermiculite de Palabora (Source : d'après Palabora Mining Co).

Tabl. 3 - Granulométries et densités des vermiculites sud africaines (Source : Mandoval Limited, Londres).

Tabl. 4 - Granulométries des vermiculites commercialisées aux Etats-Unis (Source : Industrial Minerals & Rocks, Lefond, 1977).

LISTE DES ANNEXES

Ann. 1 - 1.1 et 1.2 - Information publicitaire sur "Pannofeu", plafonds à vermiculite et plâtre (Société Efisol).

Ann. 2 - 2.1 à 2.5 - Information publicitaire sur bitume à vermiculite (Société Efisol).

Ann. 3 - Cliché de la mine de Palabora, Afrique du Sud (source Mandoval Ltd.).

1 - GÉNÉRALITÉS

La vermiculite est un minéral micacé se présentant en paillettes de couleur mordorée. Elle est caractérisée par sa capacité d'expansion par chauffage brutal à 1000°C au cours duquel les paillettes se gonflent perpendiculairement aux surfaces planes, ressemblant à de petits accordéons (fig. 1 et 2). Sa densité est alors d'environ 100 kg/m³ et sa conductivité thermique de 0,06 kcal.m/m² h °C ; elle est inerte et incombustible jusqu'à 1 100°C.

De densité supérieure à 2 à l'état brut, la vermiculite peut être transportée en vrac d'un continent à l'autre. Rendue proche des lieux de consommation, on procède à l'exfoliation dans des fours conçus pour cette transformation.

Les utilisations de la vermiculite sont diverses, mais ses propriétés d'isolation thermique et de résistance au feu font que le secteur du bâtiment est de loin le plus gros consommateur. En effet, la vermiculite expansée est utilisée en vrac dans l'isolation des toitures et des murs ; elle est également incorporée dans de nombreux types de plâtres et de bétons afin de leur conférer ses qualités thermiques ainsi que sa légèreté ; non expansée, elle est incorporée dans certaines peintures et enduits offrant aux surfaces d'application une meilleure résistance au feu. Son emploi sous forme expansée est en évolution constante dans l'agriculture, particulièrement dans l'horticulture en milieu hydroponique et dans le conditionnement des sols agricoles. Ses capacités d'échange cationique très élevée et d'absorption des liquides permettent la rétention et l'optimisation des fertilisants et autres substances liquides. La vermiculite est aussi incorporée dans la nourriture pour le bétail. La vermiculite trouve d'autres débouchés dans la sidérurgie, la purification des eaux et comme emballage pour substances dangereuses.

La France, pays où l'on ne connaît aucun gisement, dépend pour sa consommation des importations en provenance d'Afrique du Sud et, dans une moindre mesure, du Brésil.



Fig. 1 - Vermiculite expansée (cliché x 8) (Source : Mandoval Ltd., Londres).

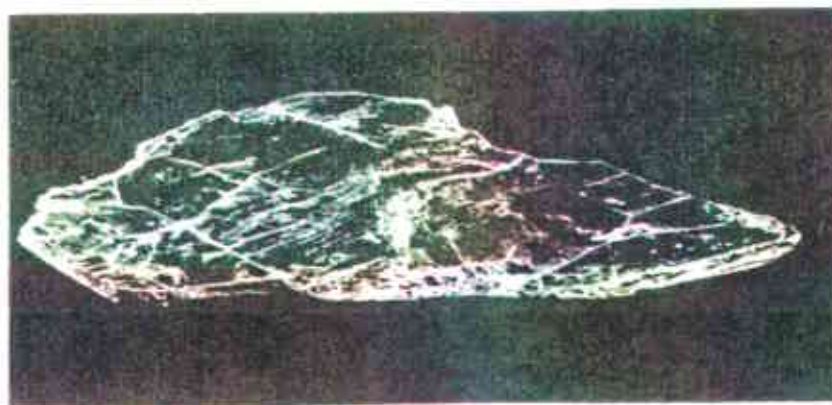


Fig. 2 - Feuillet de vermiculite non expansée (cliché x 25) (Source : Mandoval Ltd., Londres).

2 - DONNÉES ÉCONOMIQUES

2.1 - MARCHÉ FRANÇAIS

2.1.1 - IMPORTATIONS

La France est totalement tributaire de l'étranger. Sa consommation brute (6 000 t en 1961, 12 000 tonnes en 1968) s'établit à environ 15 000 t/an de vermiculite brute de 1973 à 1975 ; par la suite et bien qu'elles soient en dents de scie de 1976 à 1984 (fig. 3), les importations indiquent que la consommation avoisine 18 000 t/an. En 1987, la consommation peut être estimée à 24 690 t représentant une valeur marchande de 21,27 millions de francs. Notons que les données statistiques du Ministère de l'Economie et des Finances confondent vermiculite, perlite et chlorite. Les chiffres de la figure 3 supposent que les importations en provenance d'Afrique du Sud étaient nulles pour la perlite et la chlorite.

De 1973 à 1975, la France aurait importé seulement 2 300, 3 300 et 1 500 t de pays autres que l'Afrique du Sud, et depuis 1976 de 200 à 600 t/an. Depuis 1989, la France importe de la vermiculite brésilienne (communication orale d'un importateur) mais aucune statistique n'est disponible à ce jour.

Le coût en 1975 était 17 MF pour 17 000 t (fig. 3). Ces dernières années (1987 et 1988), la facture se situe entre 20 et 25 MF. Le coût à la tonne, inférieur à 300 F/t jusqu'en 1973, est passé à 400 F/t en 1974 ; il semble avoir peu varié jusqu'en 1979. En 1980, il avoisine 600 F/t, 800 F/t en 81, 1 100 F/t en 85 puis 900 F en 86. Pour 1989-1990, le prix à la tonne CIF est estimé à environ 1 250 F (cf § 2.3)

2.1.2 - EXPORTATIONS

La France, n'étant pas producteur de vermiculite brute, ne peut que ré-exporter soit sous forme brute (non expansée), soit sous forme expansée. Les exportations semblent inférieures à 700 t/an d'après les statistiques du Ministère de l'Economie et des Finances. Le commerce de perlite, vermiculite, chlorite expansées et produits minéraux expansés similaires, porte sur 1 000 t à l'exportation en 1987.

2.1.3 - CONSOMMATION FRANÇAISE

En France, l'expansion (exfoliation) de la vermiculite est réalisée par une seule société : EFISOL (anciennement Elfisol), filiale depuis 1988 de FIBRASA, multinationale helvétique. Cette société possède 5 centres d'exfoliation répartis sur l'hexagone : Troyes, Toulon, Lyon, Nanterre et Toulouse.

Memento : vermiculite

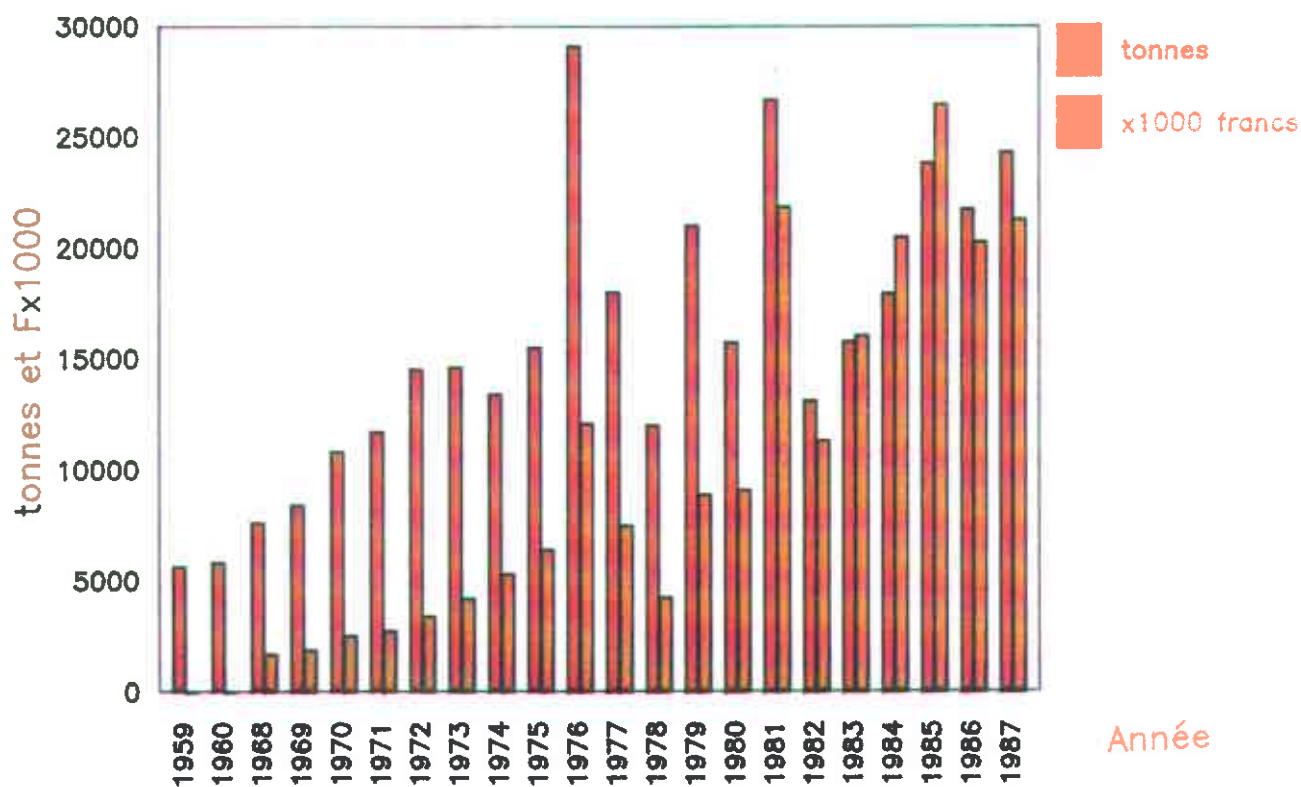


Fig. 3 - Valeur et importations françaises de vermiculite 1959-1987.

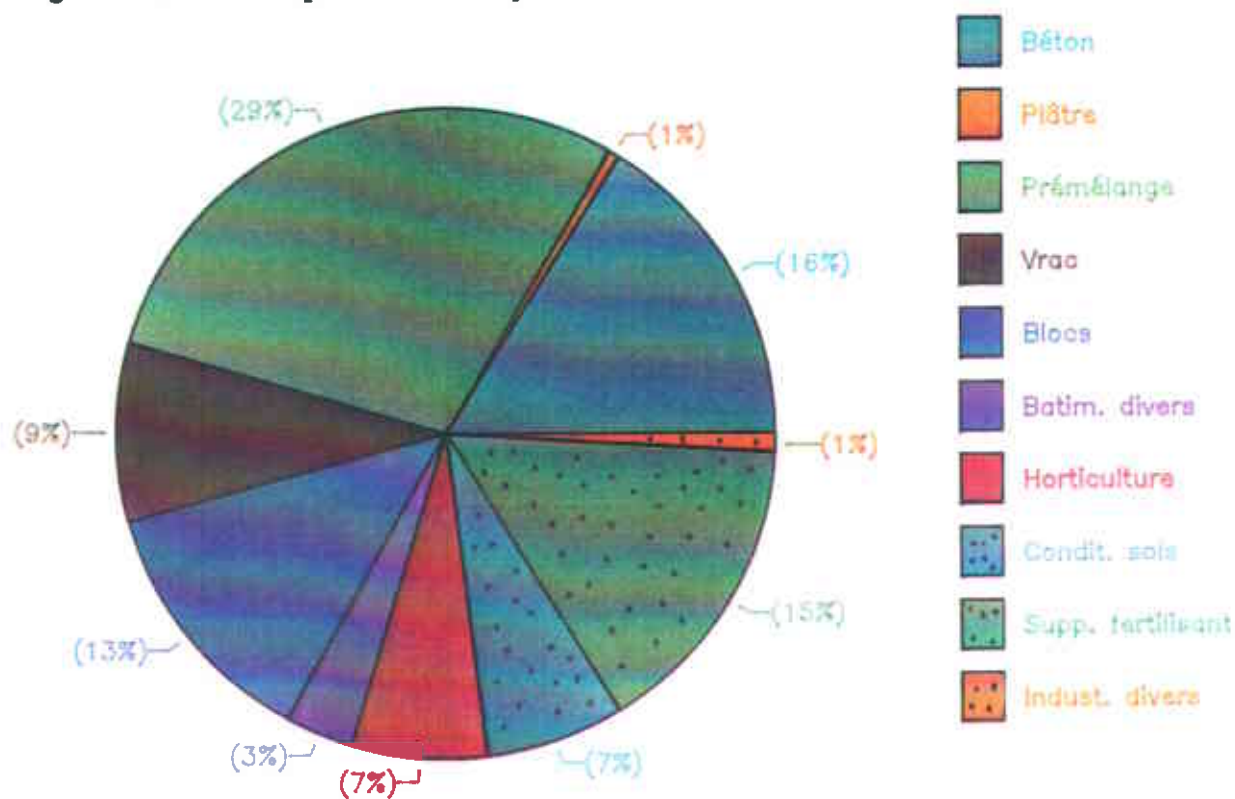


Fig. 4 - Secteurs d'emploi de la vermiculite aux Etats-Unis (1988).

La vermiculite expansée, issue des unités d'exfoliation, est incorporée dans des produits manufacturés tels que des parois en plâtre, etc ou bien vendue en sacs ou en vrac pour utilisation telle quelle. En ce qui concerne la France, aucune donnée spécifique relative aux secteurs d'utilisation de la vermiculite n'est disponible. Par contre, et à titre d'exemple, des données de cette nature existent pour les Etats-Unis d'Amérique : elles sont publiées dans le Minerals Yearbook (fig. 4).

2.2 - MARCHÉ MONDIAL

2.2.1 - PRODUCTION

La production mondiale de vermiculite en 1988 a été estimée à 595 705 tonnes (Minerals Yearbook, 1988).

Les figures 5 et 6 présentent les données de production depuis 1978 d'après le Minerals Yearbook. Les statistiques ne concernent pas les pays de l'Est (Union Soviétique et République Populaire de Chine).

On constate la domination, au niveau marché mondial, des Etats-Unis pour l'hémisphère nord et de l'Afrique du Sud pour l'hémisphère sud. La production de vermiculite brute aux Etats-Unis a dépassé 304 000 tonnes en 1988. L'Afrique du Sud a produit 227 791 tonnes durant cette même période.

Il est très intéressant de noter que le Brésil augmente régulièrement sa production. D'après le mensuel Industrial Minerals (juillet 1990), ce pays compte accaparer une part non négligeable du marché mondial. En 1988, sa production était de 26 000 tonnes et la projection provisoire pour 1989 était de 30 000 tonnes. Fin 1991, la capacité de production devrait être de 90 000 tonnes.

Les données d'autres pays producteurs sont fournies dans le tableau 1

Pays	Production en tonnes courtes		
	1986	1987	1988
INDE	7365	2689	2800
KENYA	2804	4285	086
MEXIQUE	243	177	211
ÉGYPTE	546	550	550

Tabl. 1 - Petits producteurs de vermiculite (1986-1988).

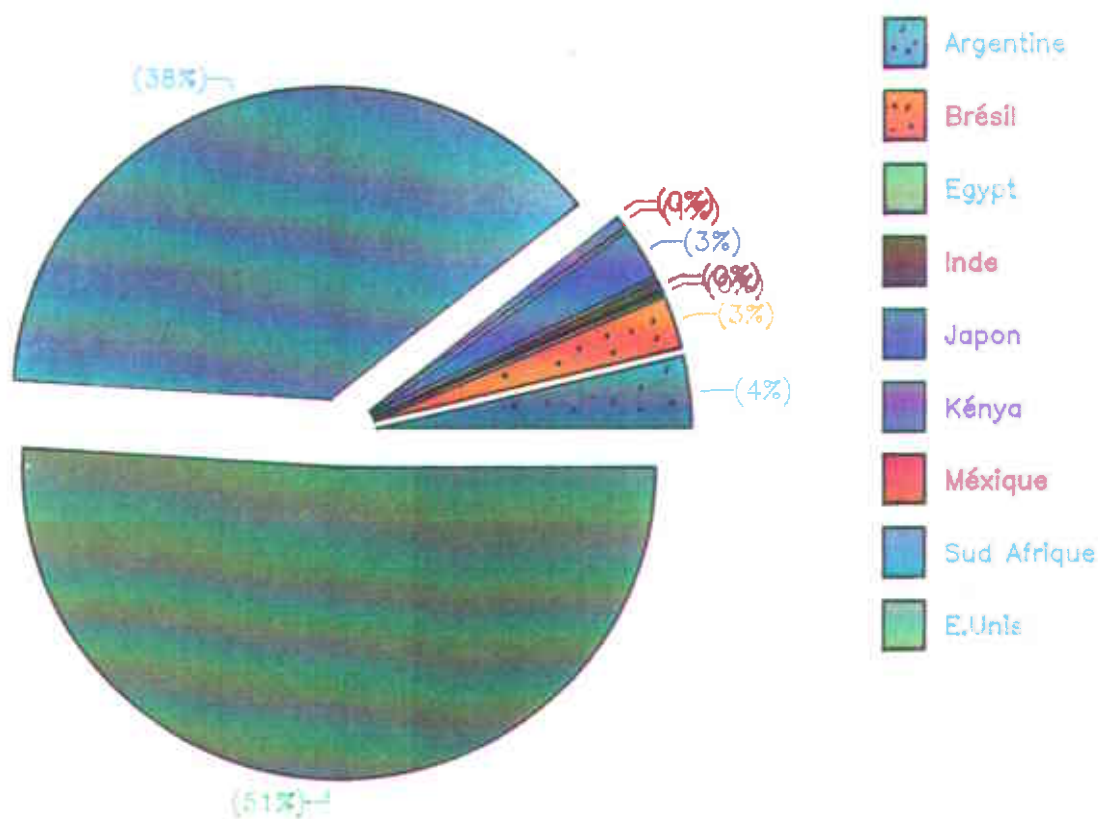


Fig. 5 - Production mondiale de vermiculite 1988 (par pays : ancien bloc de l'est non compris).

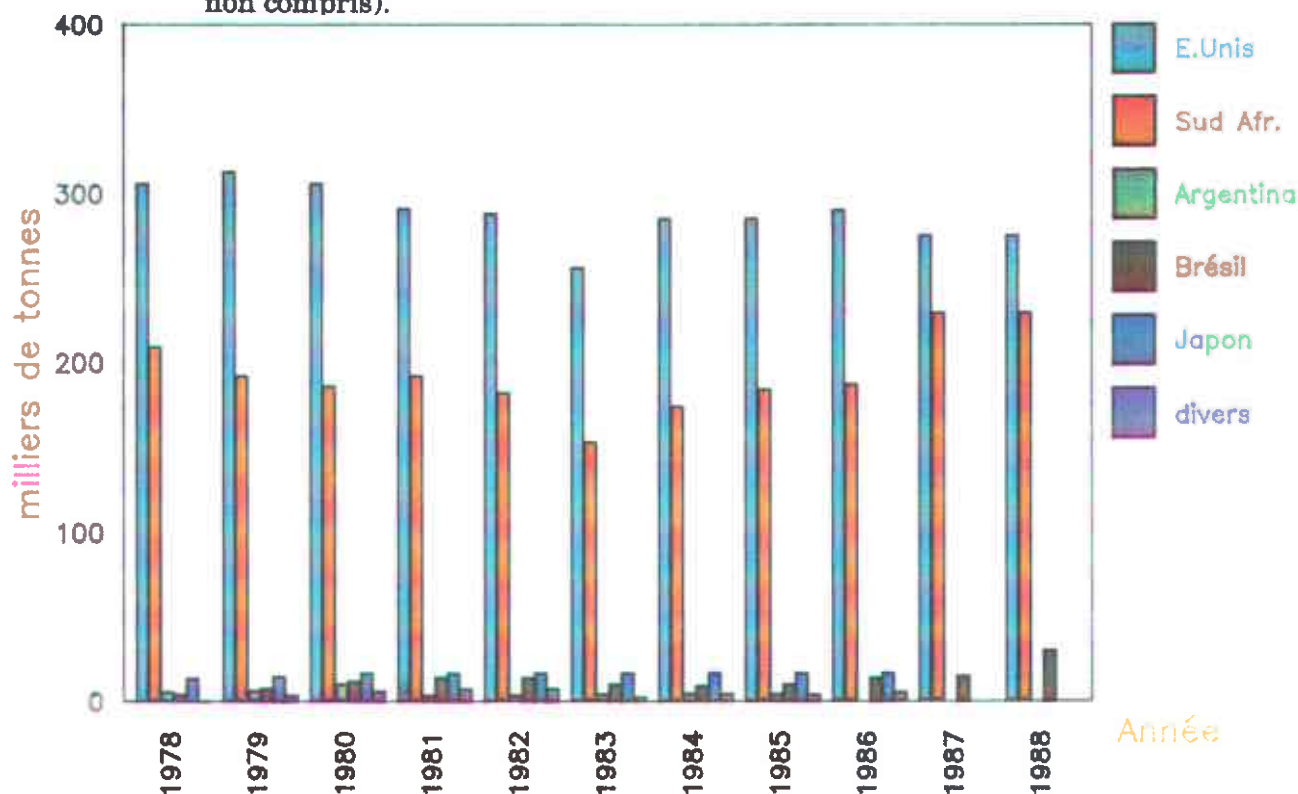


Fig. 6 - Pays producteurs de vermiculite (1978-1988).

2.2.2 - SOCIÉTÉS PRODUCTRICES

Deux compagnies, W.R. Grace (U.S.A.) et Palabora Mining (Afrique du Sud), ont presque le monopole de la production occidentale dont elles assurent 95 %.

Aux Etats-Unis, la société W.R. Grace contrôle deux unités de production, l'une à Libby dans le Montana, l'autre à Enoree en Caroline du Sud. La société a annoncé la fermeture définitive de la mine de Libby, fin 1990, mais des concentrés en stockage continueront à être fournis jusqu'à fin 1992. Outre W.R. Grace, il existe cinq autres sociétés américaines, principalement situées en Caroline du Sud.

En Afrique du Sud, la production est concentrée dans une seule unité, faisant partie des multiples exploitations du complexe de Palabora dans le nord-est du Transvaal. La société Palabora Mining est une filiale du groupe minier géant Rio Tinto Zinc (RTZ). La commercialisation de la vermiculite sud-africaine brute en Europe est entièrement contrôlée par une filiale de RTZ, Mandoval Limited (Grande Bretagne).

Le Brésil compte quatre producteurs :

- Eucatex SA Industria e Comercio,
- Minebra Minerios Brasilleros Mineração e Industrialização,
- União Brasileira de Minerios (UBM),
- Goias Vermiculita.

La plus active de ces sociétés semble être Eucatex SA qui a produit 18 000 tonnes en 1988.

2.3 - PRIX

Le prix de la vermiculite sur le marché international est variable selon les volumes achetés et l'état du marché lui même. Ce fait est caractéristique de nombreux minéraux industriels. Les gros consommateurs passent des marchés avec les fournisseurs sur des longues périodes ; les deux parties sont assez réticentes lorsqu'il s'agit de divulguer les prix exacts.

Selon la revue Industrial Minerals, trois gammes de prix servent de référence. En novembre 1990, elles étaient les suivantes :

- Vermiculite brute, FOB, tonne courte, Port de Rotterdam, provenance Afrique du Sud :US \$ 115-178,
- Vermiculite brute, FOB, vrac, usine, Etats-Unis, tonne courte : ...US \$ 65-135,

- Vermiculite brute, FOB, tonne courte, livrée Golfe du Mexique, provenance Afrique du Sud :US\$ 105-170.

Les variations de prix signalées par Industrial Minerals depuis 1981 sont négligeables, ce qui indique un niveau de stabilité remarquable pour cette substance.

De la lecture de ces prix, il est possible de retenir que la vermiculite sud africaine, en dépit de son transport maritime, peut être livrée aux Etats-Unis à des prix relativement compétitifs par rapport à la vermiculite produite sur place. On comprend aussi que la vermiculite américaine ne soit pas très compétitive sur le marché européen.

D'après Industrial Minerals (juillet 1989), le Brésil proposait la vermiculite à 120 US\$ la tonne, FOB Rio de Janeiro. Ce même produit, livré en big bags CIF Europe, se vendait entre 200 US\$ et 250 US\$ la tonne.

D'après Minerals Yearbook 1988, le prix moyen de la vermiculite brute aux Etats-Unis était 112 US\$ la tonne, FOB départ usine. Le prix de la vermiculite expansée s'élevait à 221 US\$ la tonne.

3 - GÉOLOGIE

3.1 - MINÉRALOGIE

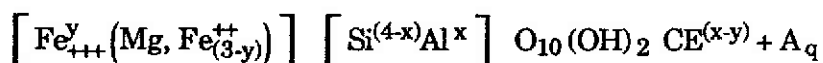
La vermiculite fait partie de la famille des micas qui sont des phyllosilicates constitués par des empilements de feuillets formés de trois couches dont deux de formule $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ en forme hexagonale de tétraèdres. Dans chacune des deux couches, les sommets libres des tétraèdres comprennent un atome d'oxygène avec deux électrons libres, tournés vers l'intérieur. Les atomes d'oxygène forment ainsi les ions OH^- des octaèdres de coordination, constituant la troisième couche, occupés par des atomes bivalents ou trivalents.

Les micas montrent la formule générale $X_n (\text{Y}_4 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2 Z$ correspondant à une demi-maille dans laquelle Z représente les cations fixés dans les divers micas, ou les cations échangeables dans les autres minéraux ; X et Y sont les ions en position octaédrique et tétraédrique dans la structure ; $n = 3$ lorsque la couche centrale est trioctaédrique ; $n = 2$ lorsque la couche centrale est dioctaédrique. Les micas de la famille biotite - phlogopite - vermiculite sont trioctaédriques. Pour les micas dioctaédriques (muscovite par exemple), deux octaèdres sur trois sont occupés par un ion trivalent, généralement l'alumine.

Les vermiculites sont des minéraux d'altération hydrothermale des micas. Elle possèdent la structure de la biotite, mais les déficits de valence dus aux substitutions sont compensés par des ions Mg^{++} et Ca^{++} fortement hydratés et échangeables qui se localisent entre les feuillets successifs et assurent leur liaison. Ces ions seraient au centre d'octaèdres dont les sommets seraient occupés par des molécules d'eau liée en plus à de l'eau de liaison qu'on rencontre dans les montmorillonites.

3.2 - COMPOSITION CHIMIQUE

D'après C.A. JOUENNE (1975), la vermiculite tri-octaèdre a pour formule chimique théorique :



où CE est généralement du magnésium. Le tableau 2 montre la composition chimique moyenne des vermiculites d'Afrique du Sud.

	%
SiO ₂	39,37
TiO ₂	1,25
Al ₂ O ₃	12,08
Fe ₂ O ₃	5,45
FeO	1,17
MnO	0,03
MgO	23,37
CaO	1,46
Na ₂ O	0,8
K ₂ O	2,46
H ₂ O ⁺ (105°)	5,18
H ₂ O ⁻ (105°)	6,02
CO ₂	0,6
P ₂ O ₅	0,03
ZrO ₂	0
Cr ₂ O ₃	0
V ₂ O ₃	0
NiO	0
CoO	0
BaO	0,03
Cl	0,02
F	0
SO ₃	0,02
S	0,18
Silice libre	1,36

Tabl. 2 - Composition chimique moyenne de la vermiculite de Palabora (Source : Palabora Mining Co).

3.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Densité	- brute crue	640 - 960 kg/m ³
	- exfoliée	56 - 192 kg/m ³
Température	de collage	1260°C
	de fusion	1315°C
Chaleur spécifique		840 j/kg°C

Memento : vermiculite

Conductivité thermique (à 20°C)	0,053 à 0,056 kcal.m/m ² h °C 0,06 à 100°C 0,10 à 500°C 0,14 à 1000°C.
Incombustibilité :	La vermiculite est incombustible et peut être utilisée jusqu'à 1100°.
Insolubilité :	La vermiculite est insoluble dans l'eau et dans les solvants organiques.
Capacité de rétention d'eau :	La vermiculite peut retenir, en pourcentage de l'air sec, jusqu'à 240% d'eau dans les espaces vides des particules.
Capacité d'échange cationique :	Le cation échangeable est normalement le magnésium. La capacité d'échange est de 90 à 100 milli-équivalents pour 100 g.
Absorption d'eau et d'autres liquides :	La vermiculite absorbe des liquides, l'eau, la graisse animale, la cire liquide, le bitume, tout en conservant la capacité de couler librement. Par exemple un mélange de 3 parts de vermiculite expansée et de 7 parts de graisse coule aussi bien que la vermiculite expansée sèche.
Dessiccation :	Tout de suite après l'exfoliation la vermiculite est avide d'eau. Elle peut dans ces circonstances, ré-absorber plus de 5% d'humidité par rapport au poids exfolié. Cette capacité de dessiccation cesse par la suite.

A l'état naturel, la vermiculite a un aspect de mica de couleur variable : ambre, bronze, marron, vert foncé ou noir. Non expansée, sa densité se situe entre 1 et 2,8 et sa dureté varie de 1,5 à 2,8, parfois plus.

3.4 - GÎTOLOGIE

Pratiquement tous les gisements de vermiculite sont associés à des complexes mafiques à ultramafiques, d'origine ignée ou métamorphique, ayant été envahis par des magmas acides ou des carbonatites.

P. HARBIN et R.L. BATES (1981) reconnaissent trois types de gisements :

Type 1 : la vermiculite est contenue dans une masse (pluton) intrusive ultramafique, une pyroxénite par exemple, coupée et intrudée par du granite alcalin ou de la syénite puis par des carbonatites et des pegmatites.

Type 2 : en association avec des corps ultramafiques intrusifs, tels les dunites, pyroxénites ou péridotites, recoupés par des granites ou des syénites.

Type 3 : formée à partir de roches ultramafiques métamorphiques, telles des schistes à amphibole en contact avec de la pyroxénite ou recoupés par des pegmatites.

3.4.1 - GISEMENTS DE TYPE 1

Le pluton de "Rainy Creek" est situé à 7 km au nord-est de Libby dans le nord-ouest de l'état du Montana. Il mesure près de 65 km dans sa plus grande dimension et forme un relief de 350 m environ. C'est une pyroxénite crétacée zonée, avec un noyau de biotitite intrusive dans des quartzites, argilites et marbres du Précambrien. Une syénite recoupe la pyroxénite et des filons de syénite néphélinique recoupent la biotitite. Les pyroxènes ont été transformés en biotite par apport de Si, Al, K des syénites. La biotite de la pyroxénite a été altérée en vermiculite jusqu'à 300 m de profondeur alors que celle du noyau ne l'est pas.

Palabora représente le second gîte producteur après Libby (fig. 7). C'est un vaste complexe alcalin igné du nord-est du Transvaal en forme de haricot (8 km N-S et 3,2 km E-W). Le complexe de Palabora est "le supermarché sans rival des minéraux". Chaque année, il en sort 3 250 000 t de phosphates, 180 000 t de vermiculite, 120 000 t de cuivre, 12 000 t de baddeleyite et une grande quantité de sous-produits : H_2SO_4 - Fe_3O_4 - $NiSO_4$ - $ZrSO_4$ - Au - Ag - Th. Chronologiquement, il s'agit d'intrusions de syénite et de bouchons de dunite dans l'Archéen granito-gneissique, puis de pyroxénites autour des dunites, puis de filons de syénite, puis de foskorite, enfin de carbonatites en 2 phases. L'essentiel est constitué par une pyroxénite micacée auréolée d'une pyroxénite feldspathique obtenue par réaction sur l'Archéen environnant.

Il semblerait que la vermiculite du dépôt de Kovsdora (U.R.S.S) qui, tout comme Palabora, produit de la baddeleyite (ZrO_2), soit du même type. Les réserves économiques de minerai à 10 % de vermiculite sont plutôt situées dans les ultrabasites (olivinites) que dans les pyroxénites alcalines, de préférence très micacées, désagrégées et altérées, enfermées dans des turjaïtes, mélitites-meltaïjites et ijolites, roches grenues ou effusives constituées essentiellement de néphéline et d'augite avec apatite, calcite, et grenat.

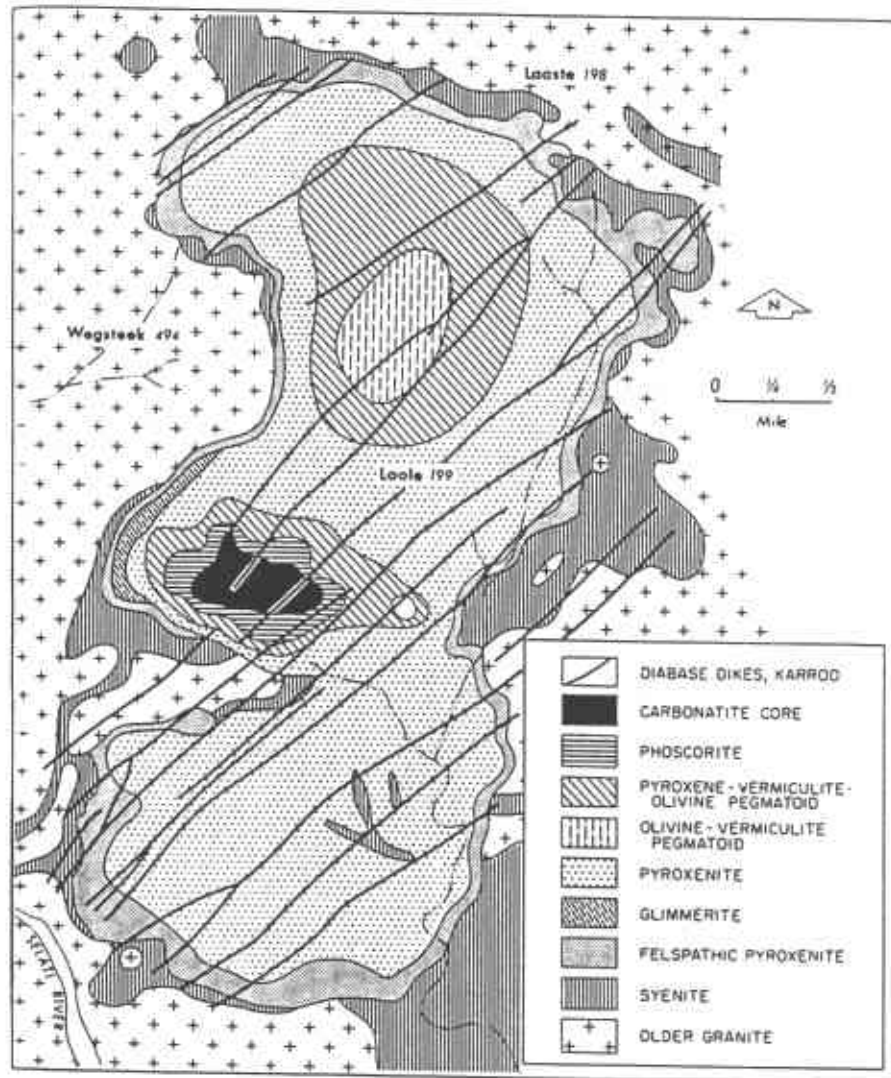


Fig. 7 - Carte géologique de Palabora, Afrique du Sud.
Echelle approximative 1/50 000.

3.4.2 - GISEMENTS DE TYPE 2

A Blue Ridge Green, en Caroline du Nord, la vermiculite se présente en veines ou lentilles de 20 m x 1,5 m le long des contacts serpentinisés des dunites et pyroxénites avec les roches métamorphiques environnantes et pegmatites recoupantes. Ces gisements, contenant quelques millions de tonnes de vermiculite, ne sont plus exploités.

3.4.3 - GISEMENTS DE TYPE 3

Dans le gisement d'Enoree (Caroline du Sud), la vermiculite semble résulter du lessivage de la biotite dans les lentilles de pyroxénite au contact des schistes et gneiss à biotite. La biotite non altérée se trouve à 25 m de profondeur.

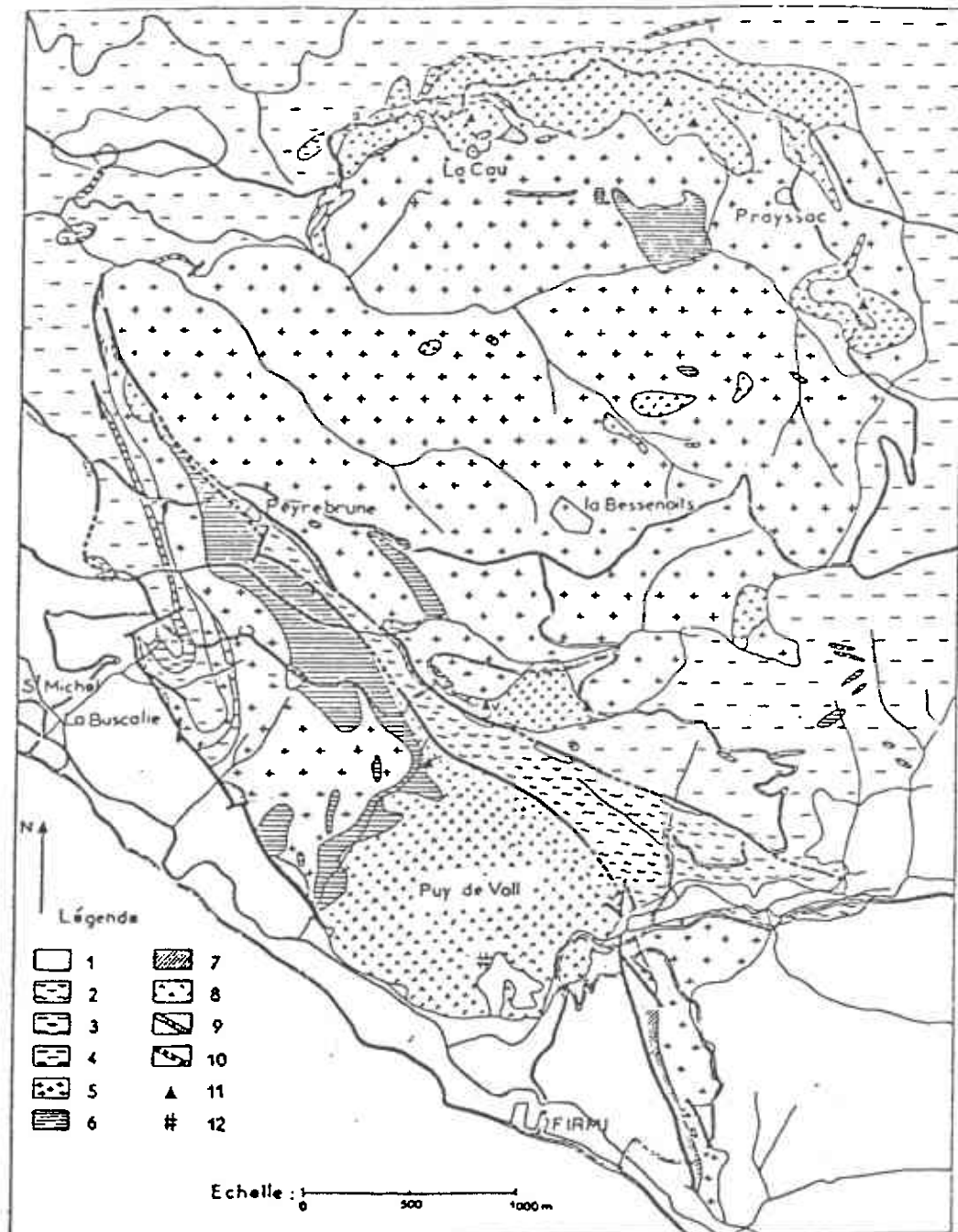
A Potanina (U.R.S.S.) le dépôt est associé au complexe alcalin de Vignevogorsk qui s'étend sur 130 km le long de la bordure orientale de l'Oural et sur 3 à 6 km de large (Monts des Cerises et Mont Ilmen) ; vers le milieu, cette bande est rétrécie jusqu'à être un "pointillé" de dykes de miaskites et de syénites en intrusion dans les schistes, amphibolites et gneiss. Les miaskites sont des syénites néphéliniques (plagioclase = 14-39 % ; orthoclase = 35-49 % ; néphéline = 16-29 % ; biotite = 3-9 % ; calcite = 0,5 - 2,5 % ; minéraux accessoires = 0,5-2 %). La myaskite contient 15 % de lépidomélane, de la sodalite, de la cancrinite, du zircon et de l'apatite.

Les gisements du Malawi peuvent se classer dans le type 3 (C.H. SPENCER *et al.*, 1990). Situés dans le district de Mwanza, la vermiculite se trouve au cœur de corps lenticulaires composés essentiellement de phlogopite, renfermés dans des gneiss de faciès amphibolite à granulite. Les lentilles sont recoupées par des pegmatites quartzo-perthitiques et localement par des pegmatites à néphéline et cryptoperthite. La phlogopite est considérée comme le produit d'altération de la pyroxénite et de l'harzburgite dont on trouve localement quelques reliques dans la phlogopite.

3.5 - POTENTIALITÉS

Les indices intéressants en France sont rares. Une étude documentaire relative aux zones favorables à la prospection de vermiculite en France (Massif Central - Bretagne - Corse) a été réalisée en 1982 (M. DELFAU, 1982).

Ces indices, revus en 1983-84, n'ont pas suscité de prospection plus approfondie. Par contre, les indices de Prayssac près de Decazeville (fig. 8), reconnus en 1962, ont été repris en 1984 par une prospection à la tarière à main et méthodes géophysiques utilisant la résistivité et le magnétisme (P. LE BERRE, 1985).



— Massif de La Bessennois. Carte géologique et des indices de vermiculite. (D'après P. Monchoux.)

1 : terrains sédimentaires ; 2 : micaschistes à séricite ; 3 : micaschistes à biotite ; 4 : leptynites ; 5 : migmatites ; 6 : amphibolites ; 7 : mylonites ; 8 : serpentines ; 9 : trachytes et dolomies à fuchsite ; 10 : filons de quartz ; 11 : vermiculite ; 12 : magnétite (ancien puits).

Fig. 8 - Carte géologique des indices de vermiculite dans l'Aveyron près de Decazeville. D'après P. MONCHOUX (1961).

Des forages carottés inclinés atteignant 30 m de profondeur n'ont pas trouvé de concentrations économiques. Un complément de forages exécutés en 1987 sur des anomalies magnétiques semble montrer que la minéralisation serait meilleure aux alentours de noyaux de résistivité (M. GRÈS, 1988).

Des indices et des gisements intéressants ont été signalés en Australie, Autriche, Canada, Chili, Corée du Sud, Maroc, Espagne, Sri-Lanka, Tanzanie, Ouganda et Zimbabwe (Metals & Minerals Annual Review, 1990). Le développement des gisements au Zimbabwe (Shawa, District de Nyazura) et au Malawi (district de Mwanza) est en cours.

En ce qui concerne la Chine, un gisement de qualité exceptionnelle se trouve dans le désert de Chine occidentale, à Xingiang. Ce gisement a fourni environ 20 000 tonnes en 1989.

Le gisement de Kovdor en URSS, situé à proximité de la frontière finlandaise, semble avoir produit de l'ordre de 25 000 tonnes de vermiculite brute en 1989 (Metals & Minerals Annual Review, 1990).

4 - SECTEURS D'UTILISATION

L'utilisation de la vermiculite est récente. Ses propriétés spécifiques d'exfoliation vers 900°C, connues dès 1824 et qui conditionnent ses utilisations industrielles, n'ont été mises à profit qu'en 1915 par les américains. La première carrière fut ouverte en 1921 à Libby (Montana). Le gisement de Palabora, au Transvaal, est exploité depuis 1938.

Minerals Yearbook publie chaque année les secteurs d'utilisation finale de la vermiculite américaine. La figure 4 fournit les données de 1988.

4.1 - USAGES COMME GRANULATS

4.1.1 - BÉTONS À VERMICULITE

La vermiculite expansée est incorporée dans le béton afin de produire des bétons isolants, légers et résistants aux incendies. La vermiculite peut être utilisée "in situ" : il en est souvent ainsi pour des éléments de toiture isolants. La vermiculite est aussi employée dans la fabrication d'éléments en béton préfabriqués. Le rapport vermiculite/ ciment peut varier selon différents critères concernant la résistance mécanique et le degré d'isolation recherchés.

On constate que l'utilisation de granulométries plus fines entraîne moins de compaction des bétons et se prête mieux au pompage.

Les propriétés des bétons à vermiculite sont :

- meilleure conductivité thermique : $0,074 \text{ kcal m/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$
- faible densité: 320 à 800 kg/m^3 .

D'autres spécifications sont apportées par les figures 9 et 10.

La vermiculite non expansée est utilisée dans des bétons d'enduit destinés à étanchéifier mais surtout à conférer une résistance très élevée aux chaleurs spontanées. Ces bétons sont appliqués par projection sous pression et sont employés couramment dans les mines d'Afrique du Sud.

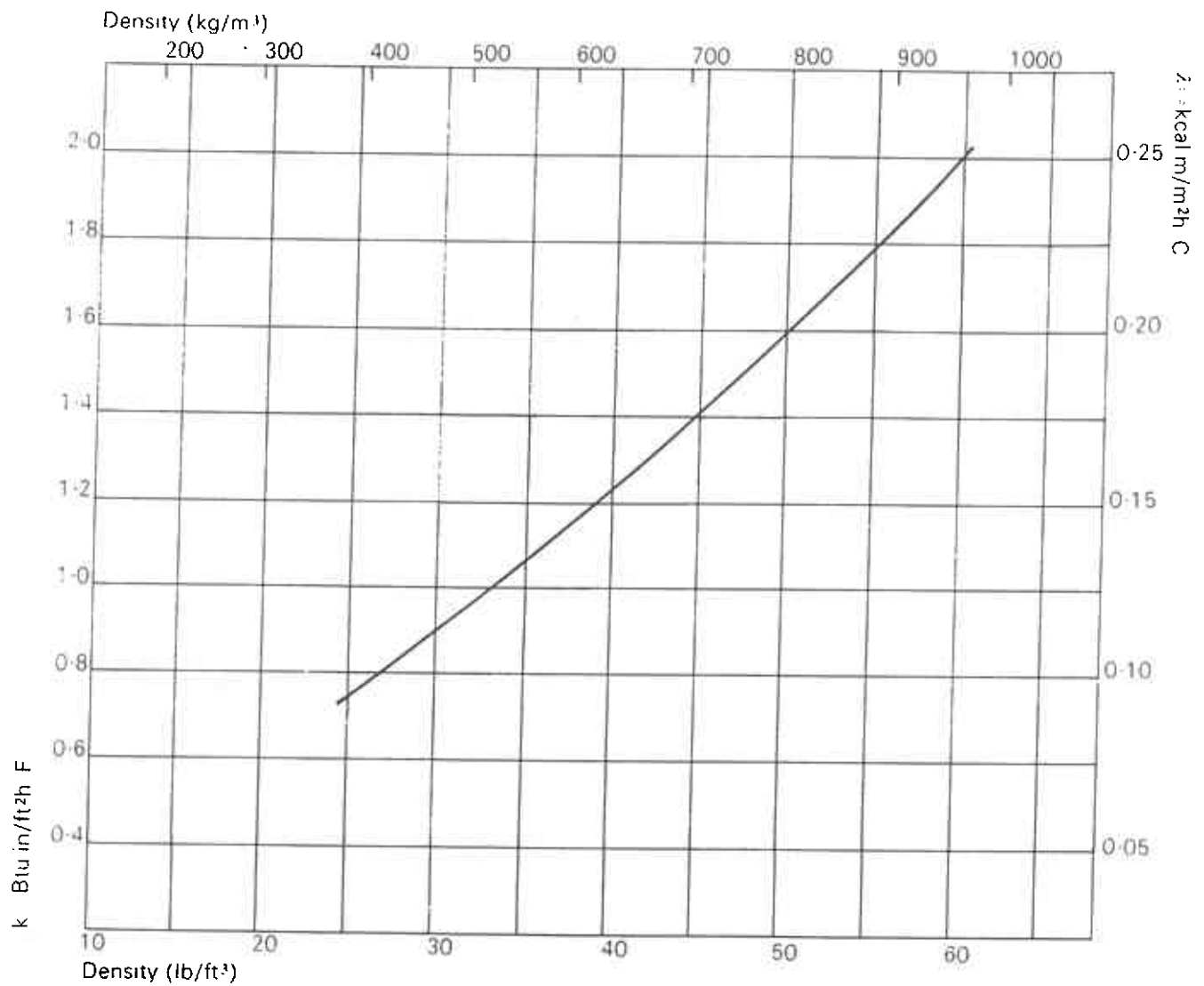


Fig. 9 - Conductivité thermique de béton à vermiculite.

Proportion Ciment/vermiculite	Densité à sec		résistance mécanique après 28 jours		Conductivité 'thermique'		Retrait au séchage	
	kg/m³	lb/ft³	N/mm²	lbf/in²	W/m°C	Btu in/ft²h°F	kcal/m²h°C	%
8:1	400	25	0.70	100	0.094	0.65	0.081	0.35
6:1	480	30	0.95	135	to	to	to	to
4:1	560	35	1.23	175	0.158	1.10	0.136	0.45

Fig. 10 - Propriétés typiques de bétons à vermiculite (d'après Mandoval Ltd.Londres).

4.1.2 - PLÂTRES À VERMICULITE

Les principales caractéristiques des plâtres à vermiculite sont :

- légèreté,
- isolation thermique élevée,
- résistance aux incendies,
- protection contre la condensation.

Les plâtres à vermiculite peuvent être à base de gypse ou de ciment Portland. Pour des utilisations "in situ", le plâtre est généralement prémélangé pour assurer des qualités homogènes. Ces plâtres se prêtent aussi bien à l'épandage à la main qu'à la projection sous pression. La préfabrication d'éléments de construction en plâtre représente une des utilisations les plus consommatrices de vermiculite. La société Efisol manufacture des panneaux de plafonds sous le nom "Pannofeu" (annexe 1, documents publicitaires Efisol).

4.1.3 - ASPHALTE À VERMICULITE (VERMICULITE EXFOLIÉE BITUMÉE)

Ce produit, commercialisé en France par Efisol sous le nom "Vermaspha" (annexes 2.1 à 2.5), est utilisé dans la réhabilitation d'immeubles au niveau des planchers en bois. Il confère isolation thermique et acoustique ainsi qu'une résistance élevée à la moisissure et à l'humidité.

4.1.4 - VERMICULITE EN VRAC

Valorisant ses propriétés d'isolant très efficace, la vermiculite expansée, commercialisée en sacs de 100 litres ou plus, peut être mise en place en vrac dans les combles des maisons individuelles, entre les poutres, au-dessus des panneaux de plafond (fig. 11, 12 et 13). Elle coule facilement et présente l'avantage de remplir les cavités irrégulières. L'utilisation de la vermiculite sur un plan vertical, entre deux parois d'un mur par exemple, nécessite un processus de compaction à effectuer tous les 30 cm de remplissage, soit par compression légère, soit par vibration. Dans le cas où la vermiculite en vrac serait soumise aux courants d'air ou à des vibrations, une technique permet de lier les particules de vermiculite en les traitant préalablement avec une petite quantité d'acétate de polyvinyle. Ce liant fonctionne uniquement après la mise en place de la vermiculite suivie d'une légère compaction. La densité est alors de 128 à 160 kg/m³.

La vermiculite expansée est très largement utilisée comme emballage protecteur de certains produits chimiques - bromine, chlorate de sodium, ammoniac et phénol entre autres (fig. 14). Légère et propre, la vermiculite est utilisée pour l'emballage d'objets fragiles car elle absorbe les impacts inopportuns.



Fig. 11 - Vermiculite exfoliée en vrac (cliché x 10).

ISOLATION DES COMBLES

VERMEX M

VERMEX M est le procédé le plus simple pour l'isolation thermique des combles non habités. Son emploi est aisé, même dans les combles d'accès difficile ou aux poutres complexes. Il suffit de déverser la vermiculite VERMEX calibre M, entre les solives ou sur l'aire du comble, puis d'égaliser à l'épaisseur voulue, sans tasser.



RÉSISTANCE THERMIQUE UTILE DU VERMEX M Déversement manuel sur plancher			
Ép. moy. cm	5	7,5	10
R m ² .°C/W			
plancher plat	0,7	1,1	1,5
pl. à solives	0,7	1,0	1,3
Ép. moy. cm	12,5	15	17,5
R m ² .°C/W			
plancher plat	1,9	2,2	2,6
pl. à solives	1,6	2,0	2,3

Suivant règles Th-K 77, déc. 82.

ISOLATION DES MURS

VERMEX H

VERMEX H est une vermiculite exfoliée et hydrofugée par un traitement spécial en usine. Elle assure l'isolation thermique par remplissage des lames d'air entre murs et contre-cloisons, dans les constructions existantes.

VERMEX H est mis en place en vrac, par des applicateurs spécialisés.

La pulsion pneumatique se fait sous très faible pression, par des ouvertures de petit diamètre, pratiquées de loin en loin dans la cloison, puis rebouchées au plâtre.

VERMEX H est l'objet de l'Avis Technique C.S.T.B. N° 7/83-232.



RÉSISTANCE THERMIQUE UTILE DU REMPLISSAGE VERMEX H			
Épaisseur cm	3	4	5
R m ² .°C/W			
pulsion	0,4	0,5	0,65
Épaisseur cm	6	7	8
R m ² .°C/W			
pulsion	0,75	0,85	0,95
Épaisseur cm	6	8	10
R m ² .°C/W			
déversement	0,9	1,2	1,45

Calcul du K du mur : voir Avis Technique.

Fig. 12 - Utilisations de la vermiculite exfoliée dans l'isolation des combles et des murs (tiré de document publicitaire EFISOL).



Fig. 13 - Nivellement de vermiculite exfoliée en isolation des combles non habités.



Fig. 14 - Vermiculite utilisée comme emballage pour produit chimique.

4.1.5 - RÉFRACTAIRE

La vermiculite expansée s'emploie avec des ciments réfractaires (ciment fondu par exemple), ou avec une argile réfractaire dans la fabrication de revêtements de fours industriels (briques réfractaires). Ces produits, contenant la vermiculite, sont bien adaptés à des conditions de mise en marche périodiques des installations, car ils atteignent rapidement la température optimale sans absorber trop d'énergie. De tels revêtements supportent une température de 1 100°C et montrent une bonne résistance à l'oxyde de carbone.

4.1.6 - FONDERIE, SIDÉRURGIE

La vermiculite (sous forme exfoliée et non exfoliée) trouve utilisation dans les industries de la fonderie et de la sidérurgie. Ses propriétés d'isolation thermique, sa faible densité et sa nature réfractaire sont employées pour couvrir les métaux et les aciers en fusion dans les cuillères à couler ou en moulage de lingot, soit pour le transport au sein de l'usine, ou bien en attendant le processus de coulage (fig. 15). Elle sert à maintenir la chaleur.

4.1.7 - PEINTURES IGNIFUGES

Des peintures contenant de la vermiculite non expansée sont utilisées pour la protection des parois contre une montée de chaleur brutale. La vermiculite fine, dispersée dans la peinture, s'exfolie au contact de la chaleur, créant une barrière isolante. Les parois et autres éléments porteurs de charge dans les immeubles à étages, sont ainsi protégés.

4.2 - USAGES AGRO-ALIMENTAIRES

Bien que les applications agricoles de la vermiculite restent modestes, la plupart des revues spécialisées estiment que ce domaine verra une croissance importante dans les années à venir.

4.2.1 - HORTICULTURE

La vermiculite a été utilisée depuis de nombreuses années dans le domaine des "cultures hydroponiques", sous forme expansée où elle constitue 100% de la matrice du sol de culture dans un circuit hydraulique fermé. Développées principalement par Israël pour pratiquer l'horticulture dans les climats désertiques, ces techniques sont appelées "culture sans sols". L'eau, retenue sous des bâches en plastique, est soigneusement enrichie de substances nutritives nécessaires aux plantes. Toute évaporation est ainsi évitée. La vermiculite expansée, grâce à ses capacités d'absorption et d'échanges ioniques élevées, gère la libération des substances nutritives et de l'eau aux racines.



Fig. 15 - Vermiculite exfoliée étalée sur la surface d'un moulage de lingot.

Dans l'horticulture conventionnelle, la vermiculite, incorporée dans des sols à base de tourbe, joue le même rôle vis-à-vis de l'eau et des nutriments. Elle peut également servir de porteur d'herbicide et d'insecticide. On constate également une meilleure aération des sols.

4.2.2 - NOURRITURE POUR BÉTAIL

En tant que substance minérale, la vermiculite n'a pas de valeur nutritive. Elle peut cependant, sous sa forme expansée, absorber et adsorber une gamme de produits : mélasse, vitamines, chlorure de choline, graisse. Son caractère non toxique permet son incorporation dans une variété de nourritures concentrées pour bétail. Elle peut être employée sans ajout afin d'augmenter le volume de la nourriture.

Des instituts de recherche en Israël affirment avoir constaté que la vermiculite améliore les processus de la digestion du bétail, absorbant l'ammoniac et augmentant la rapidité de la croissance (I.J. LIN, 1989).

5 - SPÉCIFICATIONS INDUSTRIELLES

Les spécifications industrielles de la vermiculite concernent :

- sa granulométrie,
- sa capacité d'exfoliation,
- sa couleur.

La vermiculite brute vendue par Palabora Mining Co. est commercialisée avec les spécifications données au tableau 3.

Spécifications	Granulométrie	Densité après exfoliation (kg/m ³)
Premium(6)	<16 mm	56-72
Large (5)	<8 mm	64-80
Medium (4)	<4 mm	72-88
Fine(2)	<2 mm	88-112
Superfine(1)	<1 mm	104-144
Micron(0)	<0,1 mm	104-160

Tableau 3 - Granulométries et densités des vermiculites sud-africaines. (Source : Mandoval Limited, Londres, Anonyme, 1974)

Aux Etats-Unis, les spécifications granulométriques sont les suivantes (tableau 4).

Tyler Standard Mesh Sizes	Equivalent en mm
<3 - >10	<6,3 - >1,6
<6 - >14	<3,15 - >1,25
<8 - >28	<2,5 - >0,6
<20 - >65	<800μ - >200μ
<50	<300μ

Tableau. 4 - Granulométries des vermiculites commercialisées aux Etats-Unis (Source : Industrial Minerals & Rocks, Lefond, 1977).

La couleur de la vermiculite expansée n'est pas précisée dans les spécifications de Palabora, probablement parce qu'elle est remarquablement homogène dans ce

gisement. Sa couleur crème clair s'intègre bien dans les plâtres pour panneaux apparents (cf § 4.1.2). Cependant, lors de différentes opérations de reconnaissance de gisements de vermiculite effectuées par le BRGM, des produits expansés plus foncés ou colorés n'ont pas du tout été appréciés en utilisation dans les plâtres par les consommateurs français.

6 - EXPLOITATION ET MODE DE TRAITEMENT DE LA VERMICULITE

D'une manière générale lors du traitement d'un minerai à vermiculite, deux problèmes se posent :

- la séparation de la fraction micacée (vermiculite + phlogopite) de la gangue,
- la séparation de la vermiculite de la phlogopite.

La séparation de la fraction micacée est entreprise en voie sèche par vannage ou en voie humide par hydrocyclonage. La séparation de la phlogopite et de la vermiculite est plus délicate. Les gros producteurs semblent exploiter leurs carrières très sélectivement afin d'éviter les zones riches en phlogopite.

6.1 - EXPLOITATION AUX ETATS-UNIS

LIBBY : la carrière est exploitée en gradins de 8-9 m par minage sélectif à l'explosif et reprise à la pelleteuse. Le minerai est concassé à 16 mm. A la laverie, le minerai est tamisé sous l'eau, séché et enrichi par classification pneumatique, puis tamisé en 5 granulométries pour expédition (fig. 16).

ENOREE : le lessivage est assez poussé et l'explosif n'est pas utilisé. Le minerai provenant de diverses buttes est mélangé, homogénéisé et stocké. Le stock est repris au monitor hydraulique avant de passer en laverie.

6.2 - EXPLOITATION À PALABORA (AFRIQUE DU SUD)

La vermiculite, intimement associée à la phlogopite, atteint 40-50 m de profondeur. Chaque zone de la carrière (ann. 3) est soigneusement explorée avant son exploitation afin d'obtenir une bonne homogénéisation au cours des opérations d'extraction. Jusqu'en 1972, le minerai à moins de 19 % de vermiculite était rejeté, la teneur du minerai abattu étant de 30,3 %. En 1983, elle était de 22,1 %, le minerai à moins de 10 % n'étant pas exploité. Le minerai est abattu à l'explosif par minage sélectif pour maintenir la régularité de l'alimentation de la laverie (un tir par jour en saison des pluies, un tir par semaine en saison sèche). En 1988, il y avait 10 gradins de 4,6 m ; il en est prévu 13. Le taux de recouvrement est de 0,6. La laverie est alimentée au rythme mensuel de 112 000 t de minerai.

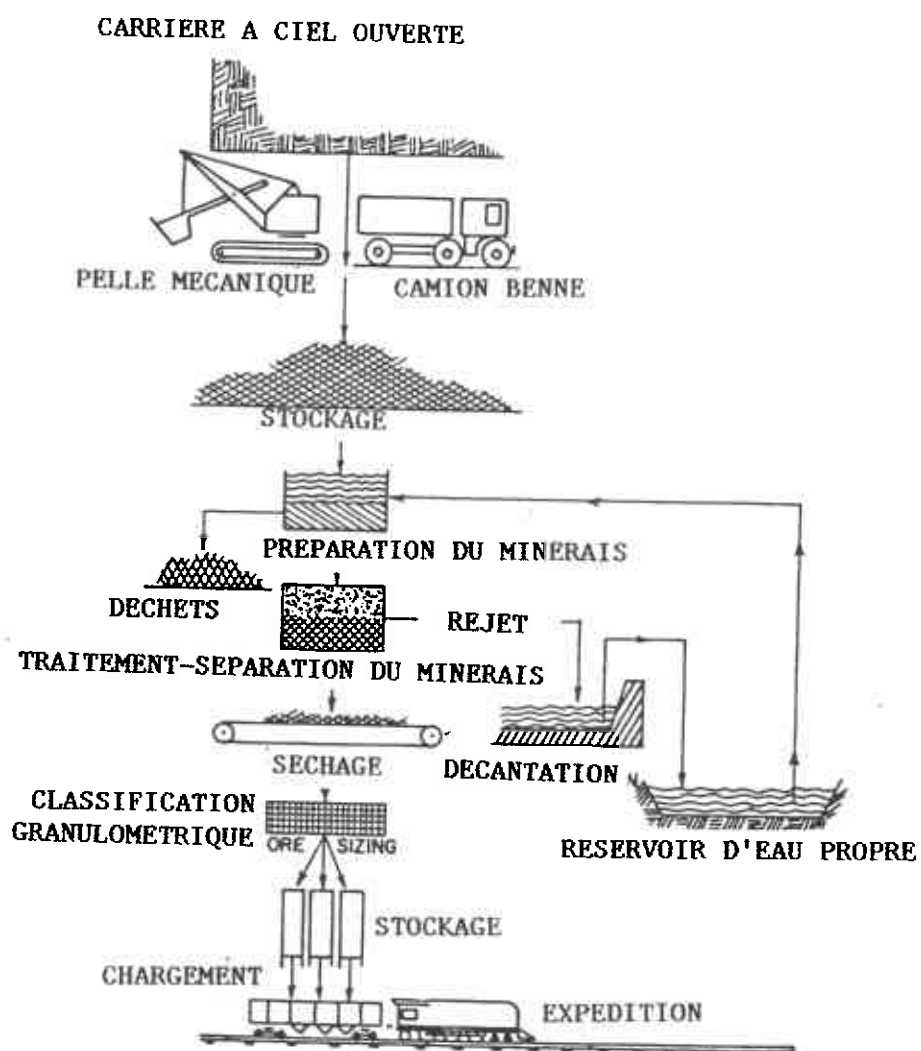


Fig. 16 - Schéma de traitement de minerais de vermiculite par voie humide (d'après STRAND, 1975).

A la laverie, le minerai est criblé à 30 puis 15 cm. Les + 30 et + 15 cm sont considérés comme stériles. Un Hazemag à percussion broie le -15 cm en -20 mm ; un séchage à l'air chaud ramène l'humidité de 7 à 3,5 %. Le minerai est criblé en plusieurs granulométries qui sont enrichies par vannage et aspiration, les mixtes sont rebroyés et recyclés.

On a expérimenté, en 1983, l'enrichissement de minerai à 80 % de phlogopite et 20 % de vermiculite pour obtenir un produit à commercialiser sous le nom de phlogopite.

6.3 - FABRICATION DE LA VERMICULITE EXPANSÉE

La vermiculite est expansée au plus près du lieu de son utilisation.(cf § 2.1, localisation des usines en France). Le transport des matériaux légers augmente fortement le prix de commercialisation et il y a risque de détériorer ces matériaux par tassement et attrition.

La vermiculite crue a une masse spécifique en vrac de 0,8 à 1 kg par litre. Une fois expansée, elle atteint 70 à 140 kg/tonne selon les granulométries (cf § 5).

L'expansion de la vermiculite nécessite un matériel relativement simple :

- élévateur à godets ;
- four circulaire horizontal fixe ou vertical de faible encombrement qui est un simple tube en acier réfractaire emballé de briques isolantes (2 ou 3 m de longueur) équipé d'un brûleur à gaz, d'un souffleur de vermiculite crue en entrée et d'un cyclone en sortie ;
- dépoussiéreur à sacs.

Un tel four débite 800 kg/h de vermiculite pour une consommation de gaz (à 1 bar) de 50 à 60 m³/h. La température dans le four est de 900 à 1 000°C, le temps de séjour de 5 à 10 secondes.

La vermiculite expansée tombe ensuite dans une trémie d'où elle est mise en sacs de 100 l pesant 7 kg environ.

7 - PRODUITS DE SUBSTITUTION

7.1 - SUBSTANCES MINÉRALES

Dans la gamme des substances minérales, la perlite présente de nombreuses caractéristiques communes avec la vermiculite. La perlite est employée comme granulat dans les bétons légers, dans les substrats agricoles où, comme la vermiculite, elle absorbe l'eau et des liquides porteurs de nutriments. De par son prix, 400 à 450 F/tonne CIF (novembre 1989) la perlite possède un avantage énorme sur la vermiculite, bien que plus gourmande au niveau du processus d'expansion (1200 kW/h contre 700 kW/h).

Dans le bâtiment, l'amiante est aussi un sévère concurrent, toutefois sa nocivité en limite l'emploi en projection.

Dans le domaine agricole, les zéolites de type clinoptilolite, mordenite, chabazite et phillipsite sont également en mesure d'adsorber l'ammoniaque et constituent des adjuvants nutritifs au niveau de la nourriture animale.

7.2 - SUBSTANCES MANUFACTURÉES.

Quant aux produits concurrents végétaux, animaux ou plastiques, ils nécessitent beaucoup de préparations industrielles avant d'être mis en œuvre et d'acquiescer les qualités naturelles de la vermiculite. Cependant l'isolation des bâtiments et des maisons individuelles se fait en grande partie avec des laines de verre ou de roche ainsi que des polystyrènes et des polyuréthanes.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME (1974) - Vermiculite: 6ème édition. Publié par Mandoval Ltd. Londres, 36 p.
- CHILDS F. (1990) - Vermiculite ; *in* "Metals & Minerals Annual Review 1990", p. 97-98.
- CLARK G. (1981) - The Palabora complex. Industrial Minerals, n° 169, octobre, p. 45-62.
- DELFAU M. (1982) - Recherche de zones favorables à la prospection de vermiculite en France (Massif Central, Bretagne, Corse) Rap. BRGM, 82 SGN 769 GMX.
- GRÈS M. (1988) - Vermiculite de Prayssac (Decazeville). Etat des recherches en 1988. Rap. BRGM 88 GEO/RMI 008, 25 p.
- HARBIN P., BATES R.L. (1981) - Vermiculite : *in* "Geology of the Non-Metallics", Metals Bulletin, Londres, p. 205-207.
- HOLZ P. (1983) - Vermiculite expands in more than one way. Industrial Minerals, n° 192, septembre, p. 45-48.
- JOUENNE C.A. (1975) - Traité de céramique et matériaux minéraux. Ed. Septima, Paris, 657 p.
- KINCH D. (1989) - Brazil set to boost vermiculite market. Industrial Minerals, n° 262, juillet, p. 40-41.
- LE BERRE P. (1985) - Recherches de gisements de vermiculite : Etude géologique des indices de la région de Prayssac, près de Decazeville (Aveyron). Rap. BRGM 85 SGN 013 GEO.
- LIN I.J. (1989) - Vermiculite and Perlite for animal feedstuffs and crop farming. Industrial Minerals, n° 262, juillet, p. 43-49.
- MEISINGER A.C. (1988) - Vermiculite : *in* "Minerals Year Book 1988", p. 929-932.
- MONCHOUX P. (1961) - Etudes minéralogiques dans le massif de la Bessenois (Aveyron). Bull. Soc. Franc. Miner. Crist., vol. 84, p. 227-230.
- SPENCER C.H., CHISALE R.T.K., FLYNN D. (1990) - Geological and Industrial Evaluation of the Mwanza District Vermiculite deposits, Republic of Malawi. Rap. BRGM R 31613.
- STRAND P.R. & STEWART O.F. (1983) - Vermiculite : *in* "Industrial Minerals & Rocks", P. Lefond ed., 5e édition, AIMI, New York p. 1375-1381.

ANNEXES

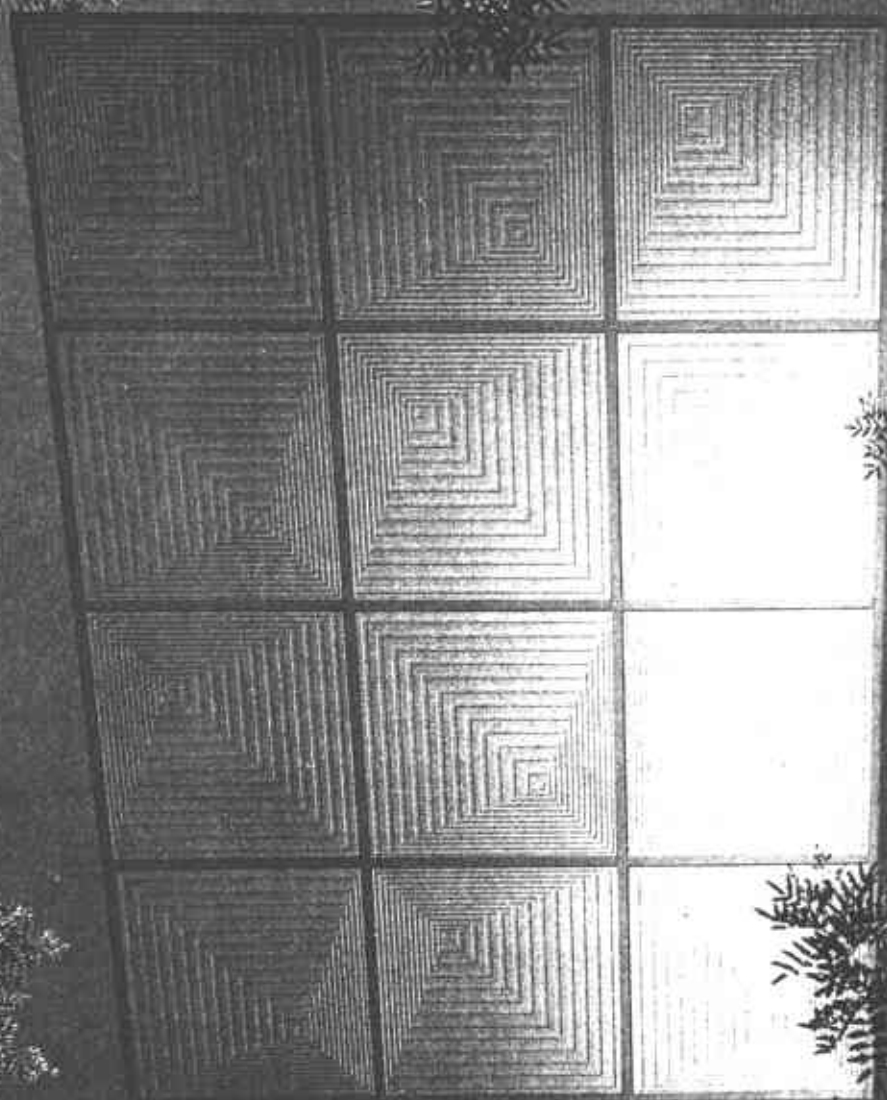
Ann 1.1 et 1.2 - Information publicitaire sur "Pannofeu", plafonds à vermiculite et plâtre (Société Efisol).

Ann 2.1 à 2.5 - Information publicitaire sur bitume à vermiculite (Société Efisol).

Ann. 3 - Cliché de la mine de Palabora, Afrique du Sud (source Mandoval Ltd.).

PANNOFEU

PLAFONDS MINÉRAUX - MINERAL CEILINGS



elfi

ELF ISOLATION

PANNOFEU: LE PLAFOND DES PLAFONDS

Fabriqué par moulage d'un matériau naturel : la vermiculite, les plafonds PANNOFEU offrent, grâce à leurs caractéristiques originales, une large liberté de création pour le prescripteur.

LA RECHERCHE ESTHÉTIQUE

PANNOFEU renouvelle le concept décoratif des plafonds suspendus. Avec une gamme étendue de modèles, régulièrement enrichie de nouveaux motifs, PANNOFEU valorise la recherche esthétique en architecture d'intérieur.

LA BEAUTÉ A L'ÉPREUVE DU TEMPS

Constitué à base d'une roche exfoliée, PANNOFEU affirme sa teinte naturelle blonde inaltérable. Les pollutions habituelles n'encrassent pas le plafond, les années passent sans action sur PANNOFEU.

LA MAÎTRISE DES ÉLÉMENTS

LE FEU : PANNOFEU, matériau M0, incombustible, a résisté au difficile essai du feu naturel au C.S.T.B., et dispose d'excellents classements en protection incendie.

L'HUMIDITÉ : PANNOFEU résiste jusqu'à 80% d'humidité relative à 30°C, et peut s'utiliser à l'extérieur, sous abri, ou dans des locaux à forte hygrométrie*.

LE BRUIT : PANNOFEU affaiblit fortement la transmission des bruits entre locaux par le plenum. L'isolation acoustique normalisée atteint 40 dB(A) pour les dalles de 25 mm.

* Pour des emplois en ambiance tropicale, nous consulter.

PANNOFEU: HEAVENLY CEILINGS

Moulded from a natural mineral - vermiculite - and with their unique specifications, PANNOFEU ceiling panels provide interior decorators and architects with considerable scope for creativity.

AESTHETIC

PANNOFEU is a brand new decorative concept for suspended ceilings. Its wide range of designs, to which new patterns are regularly added, means that PANNOFEU can give just the right aesthetic touch to interior architecture.

TEST OF TIME

Its basic constituent being exfoliated rock, PANNOFEU has a beautiful natural blond colour, which doesn't age. The usual pollutants don't dirty the ceiling, nor is there any deterioration after years of service.

CONTROL OF THE ELEMENTS

FIRE: PANNOFEU is fireproof and non-combustible, which means that it is highly rated for fire protection.

HUMIDITY: PANNOFEU stands up to 80% humidity at 30°C.*

NOISE: PANNOFEU, thanks to the plenum, cuts down noise transmission between premises. For 25 mm panels standardised acoustic insulation tests give a reduction of 40 dB(A).

* For installation in the tropics, please consult us.

PLAFONDS PANNOFEU - PANNOFEU CEILINGS

MODELE - PATTERN	DALLES - SLABS				PANNEAUX - PANELS	
	STRIES MANILLE JACQUARD CHEVRONS	VARIANCE	SEQUENCE MADRAS SABLON	MADRAS SABLON	RABANE	SELENE
Module mm Module mm	600	600	600	600	1200 x 600	1200 x 600
Système d'ossature Suspension system	encastré concealed	encastré concealed	semi-apparent semi-exposed	semi-apparent semi-exposed	apparent exposed	apparent exposed
Couleur d'ossature Suspension colour	blanc, sable ou marron (rives) white, sand or brown (wall angles)		sable ou marron sand or brown			
Epaisseur mm Thickness mm	25	25	15	10	10	12
Poids Kg/m ² env. Approx. net weight Kg/m ²	9,5	9,5	6	5	5,5	6
Résistance au feu (1) Fire-protection (1)	P.V.	-	P.V.	-	P.V.	-
Réaction au feu Fire resistance	M0 incombustible - classement sans limitation de durée - Arrêté du 30.6.1983 non-combustible					
(1) Consulter les P.V. de classement officiels. (1) Consult official tests reports.						

VERMASPHER

REGALISATION ET ISOLATION ACOUSTIQUE
DES PLANCHERS BOIS



elfi

VERMASPHA

VERMICULITE EXFOLIÉE BITUMÉE

NOTICE DE POSE

CARACTERISTIQUES

VERMASPHA est livré prêt à être compacté à sec.

Après compactage :

masse volumique apparente $< 300 \text{ kg/m}^3$

conductivité thermique $\lambda \text{ } 0,09 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Délai maxi d'utilisation : 12 mois après la date inscrite sur le sac.

ETAT DES LIEUX AVANT MISE EN ŒUVRE

Bâtiment clos et couvert, vitrage posé.

Cloisons de distribution et huisseries en place.

Trait de nivellement sur les murs à 1 m du sol fini.

Plancher support sec, hors poussière et de résistance suffisante aux charges prévues.

Lames cassées, manquantes ou déboîtées : remplacées ou vissées.

Canalisations fixées tous les 80 cm et protégées selon les règles de l'art.

Sur plancher traité aux produits fongicides ou insecticides, attendre l'évaporation des solvants.

TRAVAUX PREPARATOIRES

Appliquer, si nécessaire :

Sur les planchers disjoints à fissures ou trous ainsi que dans les pièces humides : un feutre bitumé tendu et agrafé (lès à recouvrement de 5 cm).

Sur les supports vernis, cirés ou tachés : une émulsion bitumineuse à froid.

Vérifier que les canalisations seront recouvertes par 2 cm minimum de VERMASPHA compacté.

Disposer un blocage provisoire aux seuils des portes.

Poser une bande résiliente au droit de toutes les parties verticales, jusqu'à hauteur du sol fini (rupture de pont phonique).

QUANTITATIF

1 sac = 50 litres = 1 m² de VERMASPHA compacté à 3/3,5 cm d'épaisseur.

1 sac = 50 litres = 3 à 3,5 m² de VERMASPHA compacté à 1 cm d'épaisseur.

La consommation à prévoir est : 15,4 litres de VERMASPHA/m²/cm d'épaisseur compactée ou : 1,540 m³ de VERMASPHA/m³ de volume à rattraper.

Nombre de sacs à prévoir sur chantier :

Exemple : une pièce de 7 x 4 m avec une pente régulière de 0,06 m.

1 / Calcul du volume compacté :

épaisseur de VERMASPHA au point haut : 0,03 m,

épaisseur de VERMASPHA au point bas : 0,06 + 0,03 = 0,09 m,

soit une épaisseur moyenne de $\frac{0,03 + 0,09}{2} = 0,06 \text{ m}$;

le volume de VERMASPHA compacté sera donc de : $7 \times 4 \times 0,06 = 1,680 \text{ m}^3$.

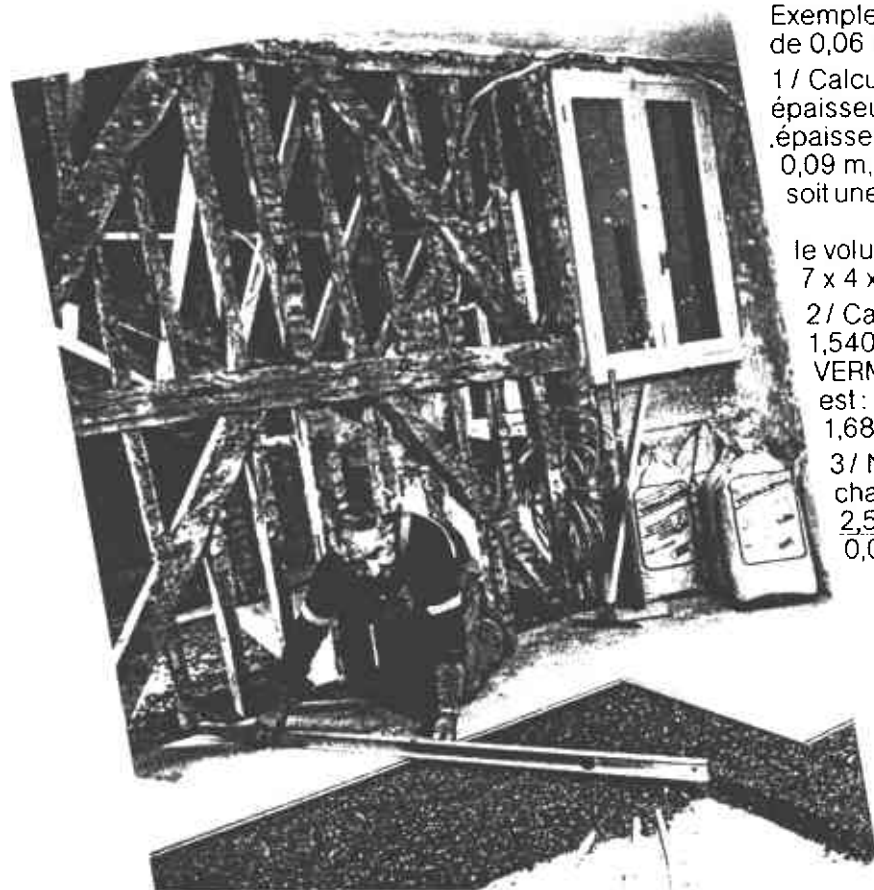
2 / Calcul du volume à mettre en œuvre : à raison de 1,540 m³ de VERMASPHA en vrac pour 1,000 m³ de VERMASPHA compacté, la consommation à prévoir est :

$1,680 \times 1,540 = 2,587 \text{ m}^3$.

3 / Nombre de sacs nécessaire :

chaque sac contenant environ 0,050 m³ :

$\frac{2,587}{0,050} = 51,74$ arrondi à 52 sacs.



elfi

MISE EN ŒUVRE DE LA FORME VERMASPHA

POSE DES RÈGLES

- Pose de niveau d'un calage 1/3 plus épais que la forme à réaliser (photo 1).
- Ecartement en fonction de la longueur des règles métalliques et à 50 cm des murs.

MISE EN PLACE DU VERMASPHA

- Démotter les sacs en les tapant sur le sol.
- Déverser entre les règles (photo 2).
- Étendre au râteau.
- Tirer la surface à la règle métallique en appui sur les règles bois (photo 3).
- Ôter les règles bois et remplir leurs emplacements au VERMASPHA.

COMPACTAGE DU VERMASPHA

- A la dame en commençant le long des murs et en cheminant jusqu'au centre (photo 4).
- Puis au rouleau (environ 70 kg) en passes croisées, sans le pousser, ni le faire pivoter, ni le stocker sur VERMASPHA (photo 5).

POSE DES PANNEAUX DE PARTICULES

Contrôler la planimétrie avant la pose du plancher support de revêtement de sol. Recouvrir à l'avancement par des panneaux de particules de qualité CTBH en épaisseur minimum 19 mm et longueur maximum 2,10 m, usinés sur les 4 faces (rainés/bouvetés), posés en quinconce et collés sur leurs 4 rives selon les prescriptions du DTU 51.3 (photo 6).

La mise en œuvre doit se faire à une température ambiante supérieure à 5°C. Dans le cas où la température extérieure est inférieure à 5°C, stocker les sacs de VERMASPHA 24 heures à l'avance dans un local à température ambiante supérieure à 5°C et chauffer à environ 10°C le local où se fait la mise en œuvre. L'épaisseur minimum de la couche de VERMASPHA compacté est de 2 cm localement (à condition bien entendu sur le support de 3 cm en plan et courantes).



OUTILLAGE IDEAL :

- 1 jeu de règles rigides en bois (4 x 6 cm)
- 1 sac de cales - Des règles métalliques de différentes longueurs
- 1 niveau à bulle
- 1 dame en tôle non peinte (8 mm x 25 x 25 cm)
- 1 rouleau Ø 60 à 70 cm x 50 cm en tôle brute de 3 mm, chargé de 40 l d'eau environ pour atteindre environ 70 kg
- 1 râteau à dents droites
- Des chaussures à semelles plates.



PRATIQUES DE CHANTIER

La pose des règles commence toujours par le point haut (sans calage). Avant d'enlever les cales près de la porte, placer dans le local suivant une cale de référence.

Avant de compacter, attendre d'avoir réglé toute la surface de la pièce, sauf pour les endroits ayant + de 6 cm de rattrapage où des couches de 5 cm sont préalablement damées. Si VERMASPHA colle à la dame ou au rouleau, humidifier leur surface.

Pour faciliter l'emboîtement des panneaux: positionner en surface de la forme de VERMASPHA et à cheval sous les bords des panneaux posés, des cales de 3 mm d'épaisseur sur lesquelles le panneau suivant glissera sans risque d'entraîner des grains de VERMASPHA.

Perpendiculairement aux seuils des portes, noyer dans la couche de VERMASPHA trois tasseaux de bois de 50 cm de long et 3 cm de haut, qui serviront au vissage des panneaux.

CAS PARTICULIER DES SALLES D'EAU

La forme de VERMASPHA s'arrête toujours devant l'encadrement de la baignoire.

Avec un revêtement de sol en carrelage, la pose est :

- Soit collée selon les prescriptions du cahier des charges "système PLANOX + carrelage" édité par Rougier.
- Soit scellée, selon le DTU n° 52.1, sur une chape béton de type "G" épaisseur 5 cm - dosage à 350 kg/m³, armature treillis soudé: maille maximale 100 x 100 mm, masse minimale : 1100 g/m² (ex.: 3 mm x 3 mm mailles 100 mm x 100 mm).

elfi

ELF ISOLATION S.A. au capital de 43.035.600 F - R.C.S. PARIS B 314 527 557
5, rue du Dôme - 75116 PARIS - Tél. (1) 505.14.63

S. 12 Jan 85

VERMASPHA

Caractéristiques:

Vermiculite exfoliée enrobée de bitume.

Livrée prête à être compactée à sec.

Après compactage:

- Masse volumique apparente $\leq 300 \text{ kg/m}^3$
- Conductivité thermique $\lambda 0,09 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
- Epaisseur mini : 2 cm localement sur point haut avec interposition d'une émulsion bitumineuse.

3 cm en partie courante.

- Epaisseur maxi : pas de limitation, au-delà de 6 cm, compacter par couches successives de 5 cm d'épaisseur.

Délai d'utilisation maximum : 12 mois après la date de fabrication inscrite sur le sac.

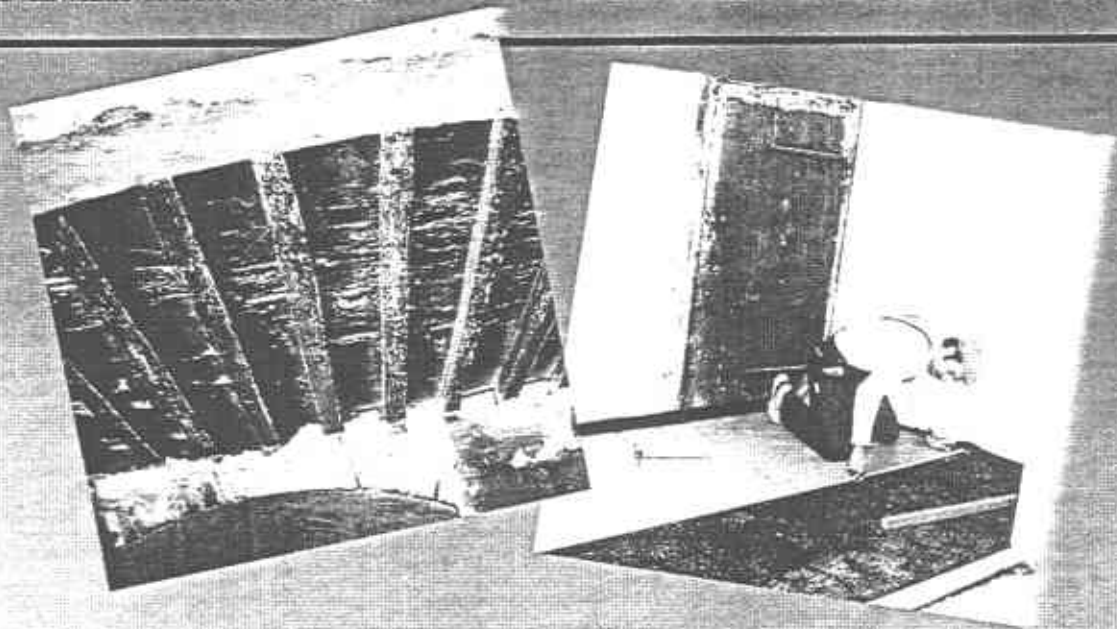
Consommation:

50 litres (1 sac)/ m^2 pour 3 à 3,5 cm d'épaisseur compactée.

Présentation:

VERMASPHA est livré en vrac dans des sacs de 50 l à l'ensachage.

Le stockage doit être fait à l'abri de l'eau et du gel sur une hauteur maxi de 10 sacs.



ASSISTANCE ELFI.

La société ELF ISOLATION, dans toutes ses directions régionales, apporte, sur demande, une assistance technique pour l'étude d'un projet en VERMASPHA et une formation appropriée des entreprises à l'occasion de leur premier chantier VERMASPHA.

RESULTATS DES ESSAIS ACOUSTIQUES

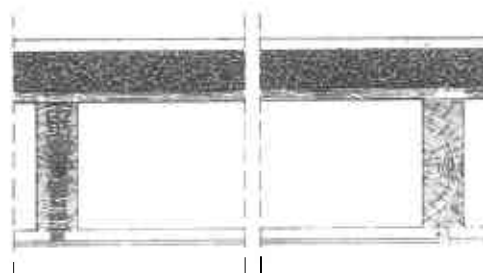
P.V. C.S.T.B. n° 20238

AVANT



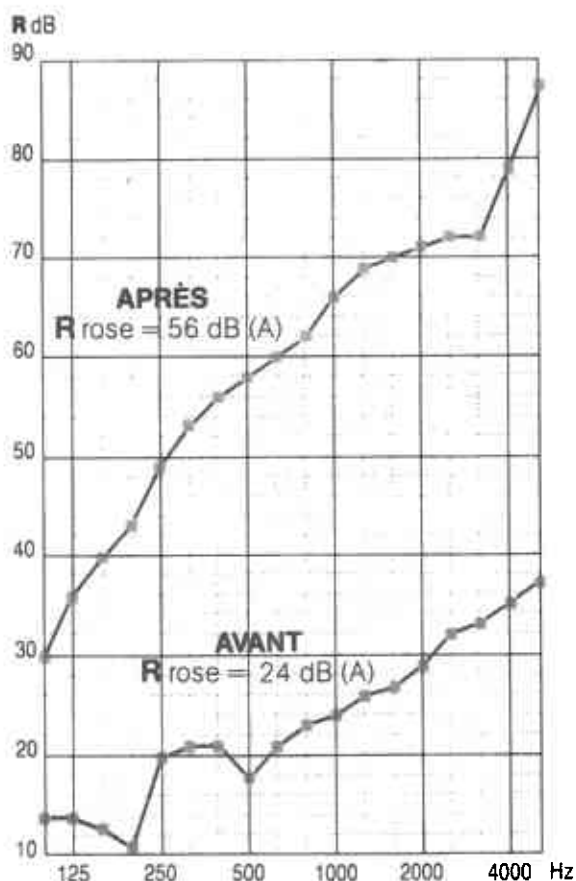
Plancher de base composé de lames de pin de 23 mm d'épaisseur, posées sur solives et entretoises de 8 x 23 cm.

APRÈS



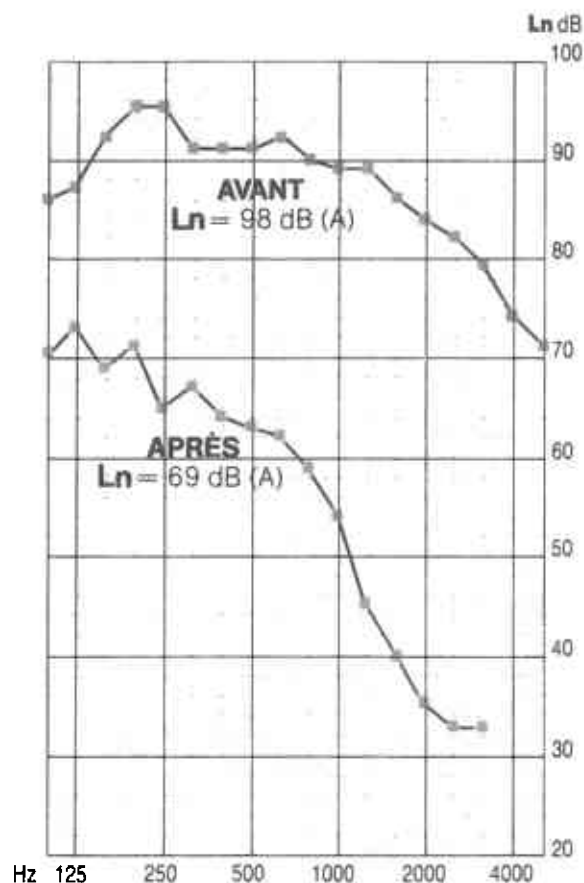
60 mm de VERMASPHA compacté sur le plancher de base et recouvert d'un panneau CTBH de 22 mm d'épaisseur; plafond sous solives constitué de plaques de plâtre cartonnées de 10 mm d'épaisseur fixées sur tasseaux de 25 mm.

BRUITS AÉRIENS R



LE PLANCHER EST D'AUTANT PLUS ISOLANT QUE R EST GRAND

BRUITS D'IMPACT L_n



LE PLANCHER EST D'AUTANT PLUS ISOLANT QUE L_n EST PETIT

RESULTATS DES ESSAIS ACOUSTIQUES

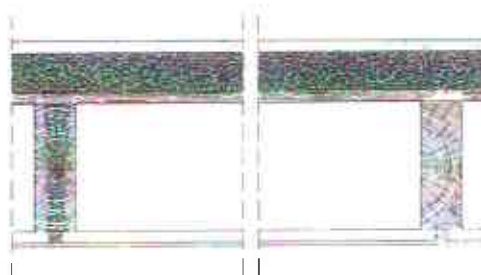
P.V. C.S.T.B. n° 20238

AVANT



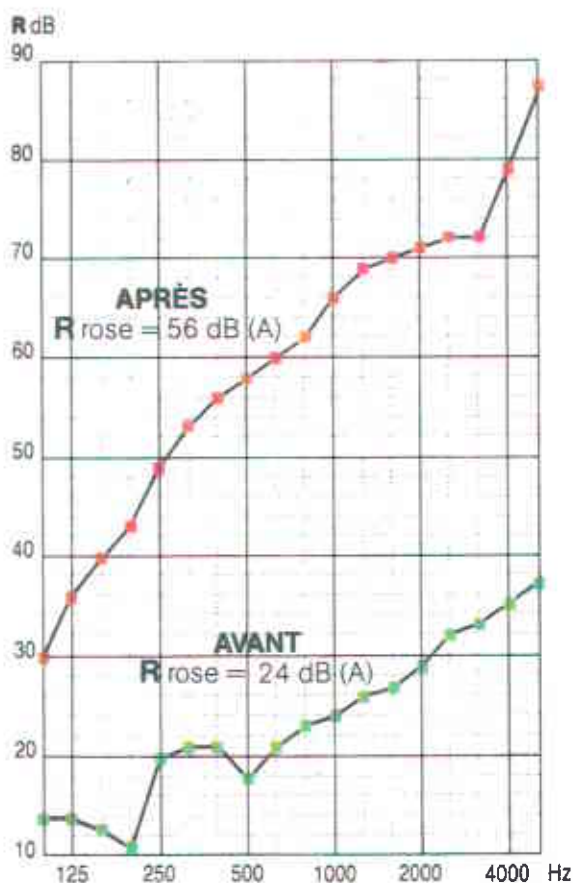
Plancher de base composé de lames de pin de 23 mm d'épaisseur, posées sur solives et entretoises de 8 x 23 cm.

APRÈS



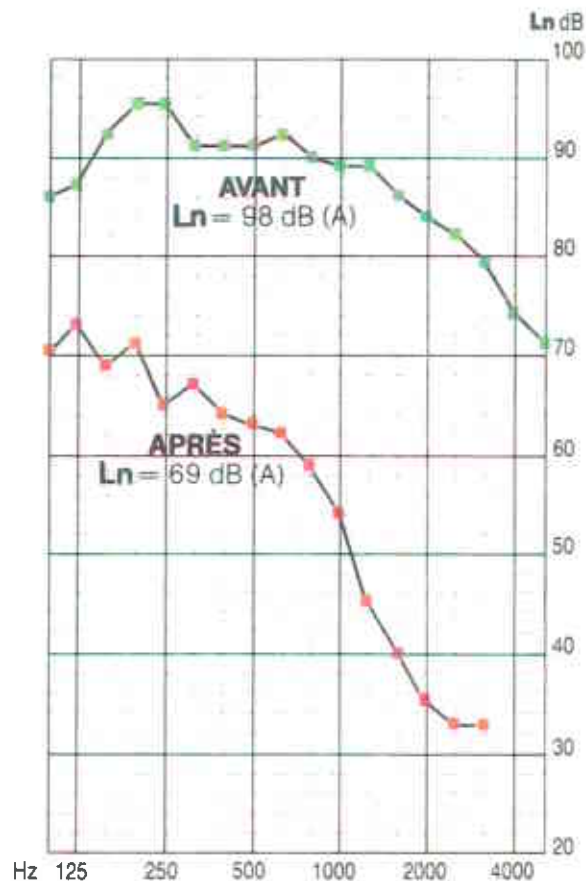
60 mm de VERMASPHA compacté sur le plancher de base et recouvert d'un panneau CTBH de 22 mm d'épaisseur; plafond sous solives constitué de plaques de plâtre cartonées de 10 mm d'épaisseur fixées sur tasseaux de 25 mm.

BRUITS AÉRIENS R

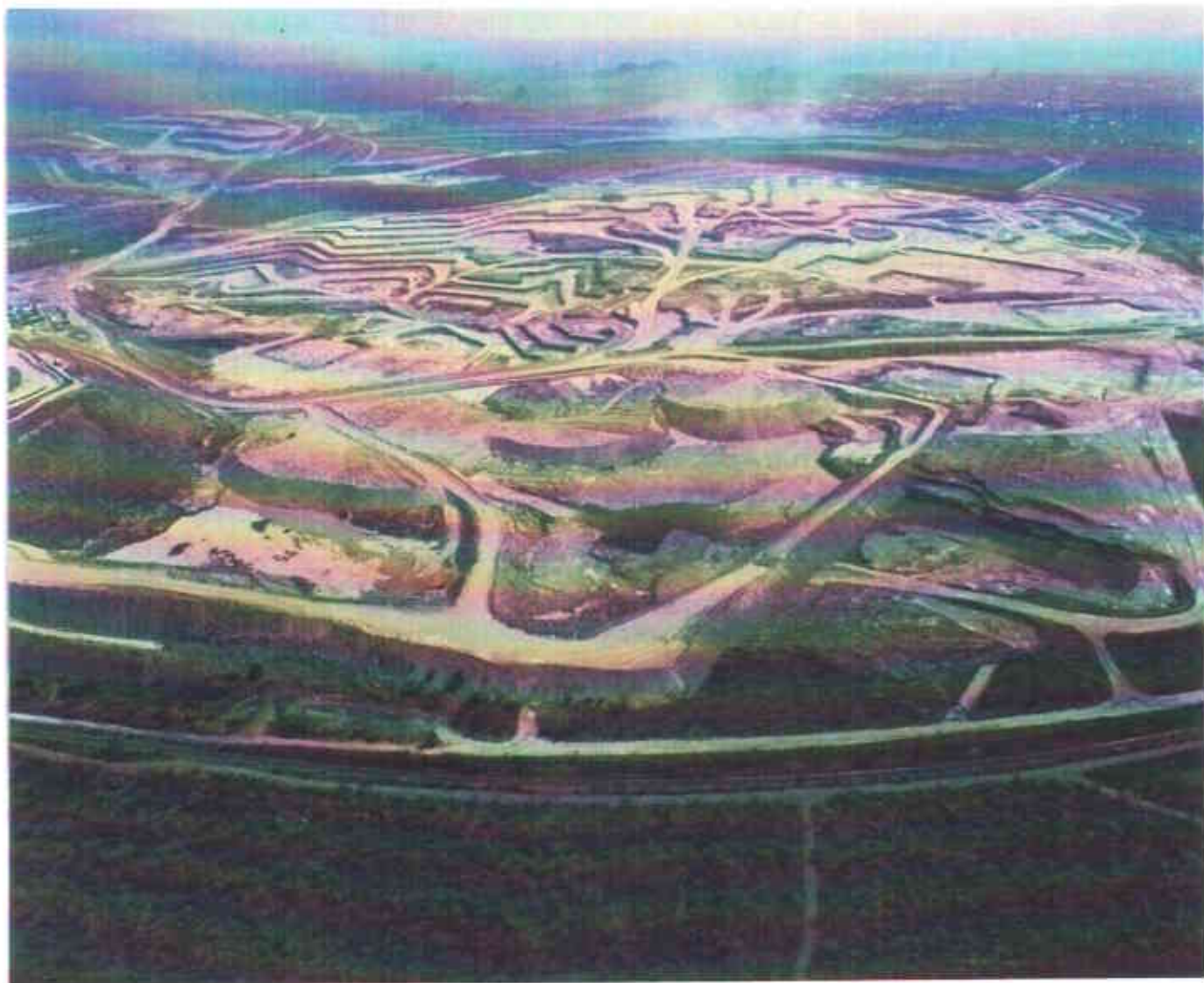


LE PLANCHER EST D'AUTANT PLUS ISOLANT QUE R EST GRAND

BRUITS D'IMPACT L_n



LE PLANCHER EST D'AUTANT PLUS ISOLANT QUE L_n EST PETIT



ANNEXE 3

Cliché de la mine de Palabora, Province du Natal, Afrique du Sud (fourni par la société Mandoval Ltd.).