

RP-50469

DOCUMENT PUBLIC

Mémento roches et minéraux industriels

La perlite

décembre 2000
BRGM/RP-50469-FR



DOCUMENT PUBLIC

25.03.2001
BIBLIOTHÈQUE

Mémento roches et minéraux industriels

La perlite

P.M. Thibaut, A. Coumoul

décembre 2000
BRGM/RP-50469-FR



Mots clés : Perlite, Obsidienne, Rhyolite, Construction, Bâtiment, Horticulture, Filtration, Charges industrielles, Isolation, Cryogénie, Réfractaire, Fonderie, Industrie du verre, Céramiques, Absorbants, Abrasifs, Elevage, Minéraux de synthèse.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Thibaut P.M., Coumoul A. (2000) - Mémento roches et minéraux industriels : La perlite. BRGM/RP-50469-FR, 90 p., 24 fig., 17 tabl.

© BRGM, 2000 ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Sommaire

1. Définition et propriétés fondamentales	9
1.1. Définition	9
1.2. Caractéristiques fondamentales	9
2. Géologie et gisements	11
2.1. Composition et origine	11
2.2. Morphologie des gisements et faciès lithologiques des minerais perlitiques	13
2.3. Méthodes de prospection des gisements et de caractérisation des minerais perlitiques	19
2.3.1. Méthodes de prospection des gisements	19
2.3.2. Caractérisation des minerais perlitiques : tests de laboratoire	21
2.3.3. Critères d'évaluation des gisements	31
2.4. Méthodes d'exploitation et de traitement	31
2.4.1. Méthodes d'exploitation	31
2.4.2. Techniques de broyage et de criblage	32
2.4.3. Traitement en usine d'expansion	33
3. Utilisations et spécifications industrielles	37
3.1. Secteur de la construction	37
3.1.1. Principales utilisations	37
3.1.2. Spécifications industrielles	42
3.2. Secteur de l'horticulture	42
3.2.1. Principales utilisations	42
3.2.2. Spécifications industrielles	43
3.3. Secteur de la filtration	43
3.3.1. Principales utilisations	43
3.3.2. Spécifications industrielles	44

3.4. Secteur des minéraux de charge	44
3.4.1. Principales utilisations	44
3.4.2. Spécifications industrielles	44
3.5. Secteur de la cryogénie	44
3.6. Secteur des réfractaires et de la fonderie	45
3.7. Industries du verre et des céramiques	45
3.8. Absorption des huiles et des graisses	45
3.9. Secteur des abrasifs	45
3.10. Secteur de l'élevage	46
3.11. Matière première pour la fabrication des matériaux de synthèse	46
3.12. Réglementation française relative à la protection des travailleurs exposés à l'inhalation de poussières siliceuses sur leurs lieux de travail	46
4. Panorama mondial de la production de perlite	49
4.1. Données générales	49
4.1.1. Préambule sur l'information traitée et ses sources	49
4.1.2. Production mondiale	51
4.1.3. Réserves mondiales	53
4.2. Principaux pays producteurs	55
4.2.1. Etats Unis	55
4.2.2. Grèce	59
4.2.3. Chine	61
4.2.4. Japon	63
4.2.5. Turquie	64
4.2.6. Hongrie	66
4.2.7. Italie	66
4.2.8. Autres pays producteurs du 2 ^e groupe	67
4.2.9. Pays producteurs du 3 ^e groupe	69
5. Panorama français des ressources et du marché de la perlite	71
5.1. Ressources potentielles françaises	71

5.2. Approvisionnement de la France en perlite, et marché	73
5.2.1. Importations françaises de perlite crue	73
5.2.2. Exportations françaises de perlite crue	77
5.2.3. Consommation apparente française	77
5.2.4. Sociétés présentes sur le marché français	82
6. Coûts	83
7. Produits de substitution	85
Bibliographie	87

Liste des figures

Fig. 1 - Coupe transversale schématique et zonation lithologique dans le gisement de perlite de No Agua Peaks, New Mexico, USA	12
Fig. 2 - Gisement de perlite de Tucker Hill, Lake County, Oregon, USA : coupe transversale schématique et zonation lithologique	14
Fig. 3 - Coupe géologique schématique du gisement de perlite de Pálháza, mont Tokaj, Hongrie	17
Fig. 4 - Gisement de perlite de Xinyang, province du Henan (Chine). Coupe transversale schématique	18
Fig. 5 - Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical de laboratoire montrant la circulation des produits et les principaux points de contrôle	25
Fig. 6 - Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur indépendant	34
Fig. 7 - Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur intégré	34
Fig. 8 - Diagramme schématique d'un four d'expansion horizontal avec préchauffeur intégré	35

Fig. 9 - Coupe en lame mince d'une particule de perlite expansée (grossissement 200 fois)	35
Fig. 10 - Répartition de la production mondiale de perlite crue en 1998 au prorata des pays producteurs	52
Fig. 11 - Localisation des gisements de perlite et des usines de traitement en Amérique	56
Fig. 12 - Structure du groupe Silver and Baryte Ores Mining Co. (d'après Kendall, 1999)	60
Fig. 13 - Localisation des principaux gisements et producteurs de perlite en Chine	62
Fig. 14 - Localisation des principaux gisements et des usines de traitement en Turquie	64
Fig. 15 - Evolution des importations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 - Par origine et en tonnage (t)	74
Fig. 16 - Répartition par origine du tonnage des importations françaises de perlite crue en 1999	74
Fig. 17 - Evolution des importations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 - Par origine et en valeur (kF)	75
Fig. 18 - Répartition par origine de la valeur des importations françaises de perlite crue en 1999	75
Fig. 19 - Evolution des exportations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 - Par destination et en tonnage (t)	78
Fig. 20 - Répartition par destination du tonnage des exportations françaises de perlite crue en 1999	78
Fig. 21 - Evolution des exportations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 - Par destination et en valeur (kF)	79
Fig. 22 - Répartition par destination de la valeur des exportations françaises de perlite crue en 1999	79
Fig. 23 - Consommation apparente française de perlite crue de 1994 à 1999. Exprimée en tonnage (t)	81
Fig. 24 - Consommation apparente française de perlite crue de 1994 à 1999. Exprimée en valeur (kF)	81

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Compositions chimiques d'une sélection de perlites typiques commercialisées	8
Tabl. 2 - Liste partielle des principaux tests élaborés par le Perlite Institute et des spécifications établies par l'ASTM	22
Tabl. 3 - Distributions granulométriques typiques aux USA de minerais perlitiques en fonction des utilisations	33
Tabl. 4 - Tableau synthétique des principales utilisations de la perlite et caractéristiques physiques correspondantes	38
Tabl. 5 - Spécifications relatives à la granulométrie de la perlite crue en fonction des applications	39
Tabl. 6 - Spécifications relatives à la granulométrie de la perlite expansée en fonction des utilisations	40
Tabl. 7 - Densité de la perlite expansée « non tassée » (DNT) requise suivant les principales applications	41
Tabl. 8 - Evolution de 1991 à 1999 de la production mondiale de perlite crue incluant les 23 principaux pays producteurs	50
Tabl. 9 - Production mondiale de perlite crue en 1998 – Détaillée pour les 15 plus grands pays producteurs	52
Tabl. 10 - Etat des réserves mondiales de perlite estimé en 2000	53
Tabl. 11 - Production et flux de perlite aux États-Unis de 1997 à 1999	54
Tabl. 12 - Principaux producteurs de perlite crue en Chine en 1997	63
Tabl. 13 - Importations françaises de perlite crue – Période de 1994 à 1999	72
Tabl. 14 - Exportations françaises de perlite crue – Période de 1994 à 1999	76
Tabl. 15 - Principaux flux français de perlite crue et consommation apparente - Période de 1994 à 1999	80
Tabl. 16 - Coûts indicatifs de la perlite en fonction des qualités	85
Tabl. 17 - Principaux produits de substitution à la perlite et avantages comparés	88

	Grèce	Turquie	Italie	Bulgarie	Hongrie	USA			Argentine	Arménie	Russie	Japon	Chine
	Milos	Biga	Monte Sparau (Sardaigne)	Schupenata	Pálháza	No Agua (Nouveau Mexique)	Pioche (Nevada)	Fish Springs (Californie)	Rio Negro	Aragats	Sibérie	Akita	Xinyang (Henan)
SiO ₂	74,20	73,00	72,80	73,80	73 ,50	72,10	73 ,10	75,00	72,30	73,00	72,80	74,20	72,00
Al ₂ O ₃	12,30	13,80	13,80	12,8	13,00	13,50	12,80	13,20	13,40	12,40	14,15	12,90	12,31
Fe ₂ O ₃	0,95	0,70	2,10	0,56	1,80	0,80	0,70	0,70	1,00	0,70	0,17	0,68	1,34*
TiO ₂	0,08	0,20	0,30	0,07	-	0,06	0,08	n.d.	0,08	0,05	n. d.	0,06	n. d.
CaO	0,85	0,70	0,90	0,50	1,50	0,89	0,90	0,50	0,59	0,40	0,82	0,45	1,00
MgO	0,13	0,25	0,40	0,03	0,40	0,50	0,20	trace	0,30	0,10	-	0,05	0,14
Na ₂ O	4,00	3,25	3,30	3,00	3,50	4,60	3,00	4,30	3,40	4,50	2,50	4,10	3,29
K ₂ O	4,40	4,50	5,60	4,90	3,80	4,40	4,70	4,60	4,70	4,90	4,35	4,00	4,67
H ₂ O+	2,80	3,70	n. d.	4,00	3,00	3,00	3,90	3,20	3,70	3,50	?	3,30	?

n. d. : non-déterminé

* : Fe₂O₃+FeO

Source : Kadey, Jr (1983), Lu, 1998, et divers producteurs.

Tabl. 1 – Compositions chimiques d'une sélection de perlites typiques commercialisées.

1. Définition et propriétés fondamentales

1.1. DÉFINITION

La première identification de la perlite en tant que verre volcanique particulier semble remonter à l'antiquité, peut-être dès le troisième siècle avant J. C. (Langford, 1979). D'autres auteurs situent les premières descriptions de la roche et de ses propriétés au XVIII^e et au XIX^e siècles, mais ce n'est que depuis 1940-1950 environ qu'est née une véritable industrie de la perlite.

Sous sa forme naturelle, la perlite est une roche volcanique acide, vitreuse et hydratée, de couleur gris clair, verdâtre ou noirâtre, dont la composition chimique est celle d'une rhyolite (plus de 72 % SiO₂). Fréquemment, la roche présente un aspect lustré, avec un débit caractéristique en perles à structure concentrique en pelures d'oignon, mais elle peut également se présenter sous d'autres textures. Elle se distingue des autres verres naturels par une teneur en eau chimique de constitution de 2 à 5 % dans la structure vitreuse.

Les compositions chimiques d'une sélection de perlites typiques commercialisées sont données dans le tableau 1.

Mais le terme « perlite » désigne également le granulats léger à structure cellulaire obtenu par expansion thermique rapide de cette roche, après qu'elle ait été broyée.

1.2. CARACTÉRISTIQUES FONDAMENTALES

• Perlite crue

- Masse volumique apparente de la roche brute : 2 200 à 2 400 kg/m³.
- Densité de la roche granulée et foisonnée (densité non tassé sur cru) : 950 à 1 200 kg/m³.
- Dureté assez élevée : 5,5-7,0 (échelle de Mohs).
- Température de ramollissement et d'expansion de 870 à 1 100 °C, qui est fonction de la teneur en eau et de la composition chimique de la roche. Le taux d'expansion volumique (rapport de la densité non tassé sur cru à la densité non tassé sur expansé) est de 10 à 20 pour les perlites lourdes et de 20 à 40 pour les légères.

• Perlite expansée

- Densité du granulats non tassé : 30 à 180 kg/m³.
- Température de fusion assez élevée : 1 280-1 350 °C (incombustibilité).

- Très faible conductivité calorifique : 0,04 à 0,05 W/m par °C.
- Très faible conductivité acoustique.
- Bonne inertie chimique : pH = 6,5 à 8,0.
- Granulat de texture cellulaire, de surface spécifique de 1-10 m²/g.
- Blancheur : 80-85 %.
- Capacité d'absorption d'eau de 50 % en poids, 500 % en volume.
- Faible force de rétention de l'eau.
- Solubilité : 0,1-0,3 % dans l'eau,
 - 1 % dans l'acide sulfurique à 35 %,
 - 1,2 % dans l'acide chlorhydrique à 15 %,
 - 1,8 % dans l'acide phosphorique à 78 %,
 - 0,1 % dans l'acide tartarique à 5 %,
 - 0,04 % dans l'acide citrique à 1 %,
 - 5-8 % dans l'hydroxyde de sodium,
 - 90 % dans l'hydroxyde de sodium en solution à 50 %.

L'ensemble de ces propriétés explique la grande diversité des utilisations industrielles de la perlite.

2. Géologie et gisements

2.1. COMPOSITION ET ORIGINE

Les perlites sont des verres volcaniques hydratés, issus de l'hydratation secondaire d'une obsidienne (roche magmatique effusive entièrement vitreuse) après son dépôt. La teneur en eau des perlites véritables varie de 2 à 5 %. L'eau y est sous forme libre (molécules H₂O) ou hydroxylée (ions OH⁻).

La composition chimique globale d'une perlite est celle d'une rhyolite (roche magmatique effusive acide), avec une teneur en SiO₂ supérieure à 72 % et pouvant atteindre 75 %, une teneur en Al₂O₃ de 12 à 15 %, et une teneur en K₂O d'environ 4 à 5 % (tabl. 1). Cette composition chimique influence directement le taux d'hydratation de l'obsidienne originelle. Mais la composition chimique de certaines perlites peut également correspondre à un verre andésitique ou dacitique, ces dernières variétés ayant toutefois une importance commerciale négligeable.

Outre la phase vitreuse, la perlite peut renfermer des minéraux résiduels, tels des phénocristaux de quartz, de feldspath, de biotite et de hornblende, et des microcristaux de magnétite, d'ilménite et d'hématite ; tous ces minéraux ne peuvent être expansés par chauffage. Certains faciès de perlite contiennent des reliquats d'obsidienne sous forme de petits corps arrondis de verre noir dénommés « marekanites » ou « larmes d'Apache ».

D'une manière générale, les obsidiennes, qui renferment naturellement moins de 2 % d'eau, s'expansent mal et à une température plus élevée que la perlite proprement dite. Il en est de même des pechteins : rhyolites vitreuses brunâtres contenant environ 10 % d'eau.

Dans un gisement, après formation de la perlite, les pressions hydro- et lithostatique conduisent progressivement au cours du temps à une dévitrification partielle puis totale du dépôt perlitique. Cette dévitrification se manifeste en particulier par la cristallisation de tridymite, de quartz et de feldspath dans les lithophyses¹ originelles de la coulée

¹ Les lithophyses sont des petites cavités sphériques de quelques millimètres à plusieurs centimètres de diamètre qui montrent souvent des zones d'accroissement « en écailles d'oignon », de teinte généralement gris-rosé, correspondant initialement au dégazage de la lave lors de son écoulement et de son refroidissement. Elles sont parfois jointives (amygdalaires) et sont souvent tapissées de cristallisations tardives de quartz et feldspath. Elles sont, soit isolées, soit concentrées dans un niveau généralement situé à la base des coulées (Boucarut, 1971).

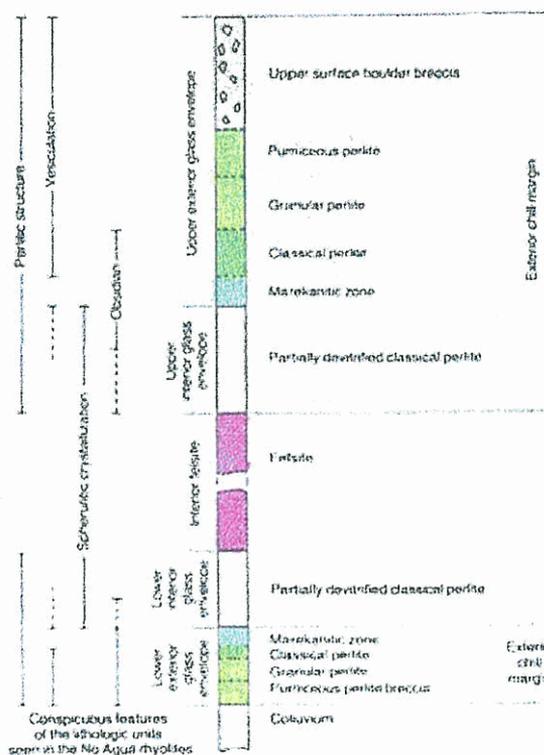
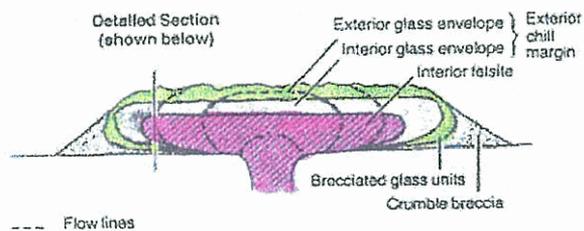
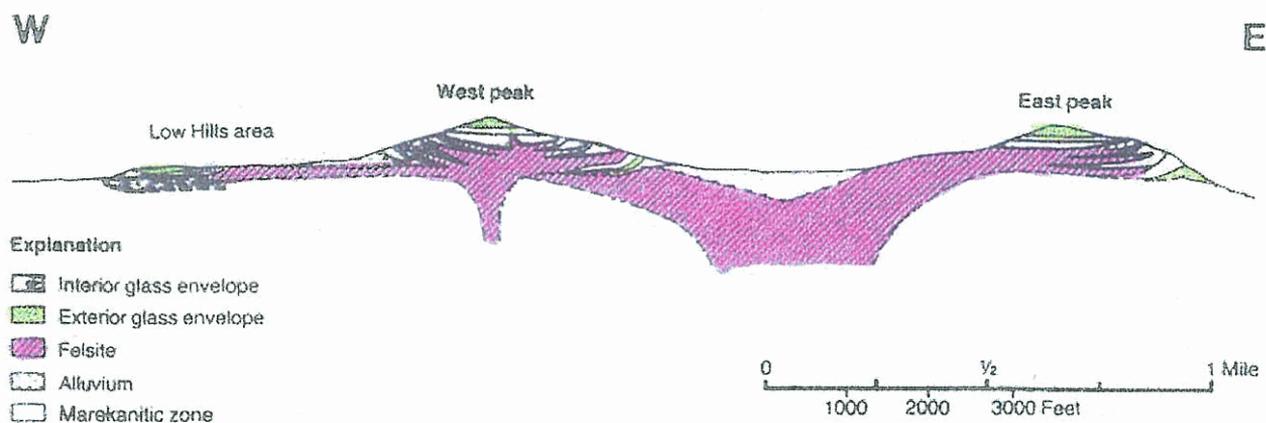


Fig. 1 - Coupe transversale schématique et zonation lithologique dans le gisement de perlite de No Agua Peaks, New Mexico, USA (source : Whitson, 1982).

perlitique, et par la formation de sphérolites² plus ou moins abondants et volumineux, jusqu'au stade d'un assemblage microcristallin de quartz et de feldspath.

Le gisement peut également subir une altération hydrothermale conduisant à la formation de minéraux argileux et de zéolites, en particulier de smectite et de clinoptilolite (Weber et Austin, 1982).

D'une manière générale, les minéraux issus de la dévitrification (quartz, tridymite et feldspath), les minéraux argileux et les zéolites sont considérés comme des matériaux stériles, car ils ne s'expansent pas.

En raison de cette dévitrification progressive au cours du temps, les gisements de perlite de qualité commerciale sont généralement d'âge tertiaire ou début quaternaire et sont rarement plus anciens que l'Oligocène. Des gisements d'âge crétacé sont toutefois exploités, notamment en Chine, mais les occurrences plus anciennes, trop dévitrifiées, ne présentent pas d'intérêt commercial. Les obsidiennes trop récentes n'ont également pas d'intérêt, car elles ne sont pas à un stade d'hydratation suffisamment avancé.

2.2. MORPHOLOGIE DES GISEMENTS ET FACIÈS LITHOLOGIQUES DES MINÉRAIS PERLITIQUES

Les gisements de perlite se présentent communément sous forme de dômes et de coulées pouvant atteindre une superficie de plusieurs kilomètres carrés, dans lesquels le matériau perlitique proprement dit est localisé dans des poches ou des enveloppes lenticulaires, dont le grand axe peut atteindre plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres, associées à des roches rhyolitiques.

Les plus grands et les plus importants gisements sur le plan commercial sont des dômes circulaires ou allongés, de plusieurs kilomètres de diamètre et de plus de 200 m de puissance, bien que des zones vitreuses incluses dans des coulées de tufs soudés, et d'autres associées à des dykes et des sills aient également été observées.

Dans de nombreux dômes et coulées de nature perlitique, on peut observer une zonation concentrique typique du gisement, qui consiste en une enveloppe externe de texture vitreuse recouvrant une zone interne de roches partiellement dévitrifiées, passant elles-mêmes en profondeur à un noyau rhyolitique (fig. 1). Cette zonation concentrique initiale est due au refroidissement rapide de la surface externe du dôme, par opposition à la cristallisation qui s'opère à l'intérieur de la masse où le refroidissement est plus lent. Cette enveloppe vitreuse externe, qui peut être rencontrée à la fois à la base, à la

² Les sphérolites sont des petites masses sphériques de quelques millimètres de diamètre, atteignant parfois un à plusieurs centimètres de diamètre (macrosphérolites), généralement pleines, de teinte brun-rougeâtre, à structure fibro-radiée, avec parfois superposition d'une structure concentrique. Ils correspondent à la recristallisation, à partir de la mésostase perlitique ou rhyolitique en voie de dévitrification, de cristaux fibreux de quartz et de feldspath. Ces sphérolites peuvent être jointifs dans une coulée très dévitrifiée. Les macrosphérolites se localisent à la base des coulées mises en place en milieu lacustre, au-dessus du niveau à lithophysés.

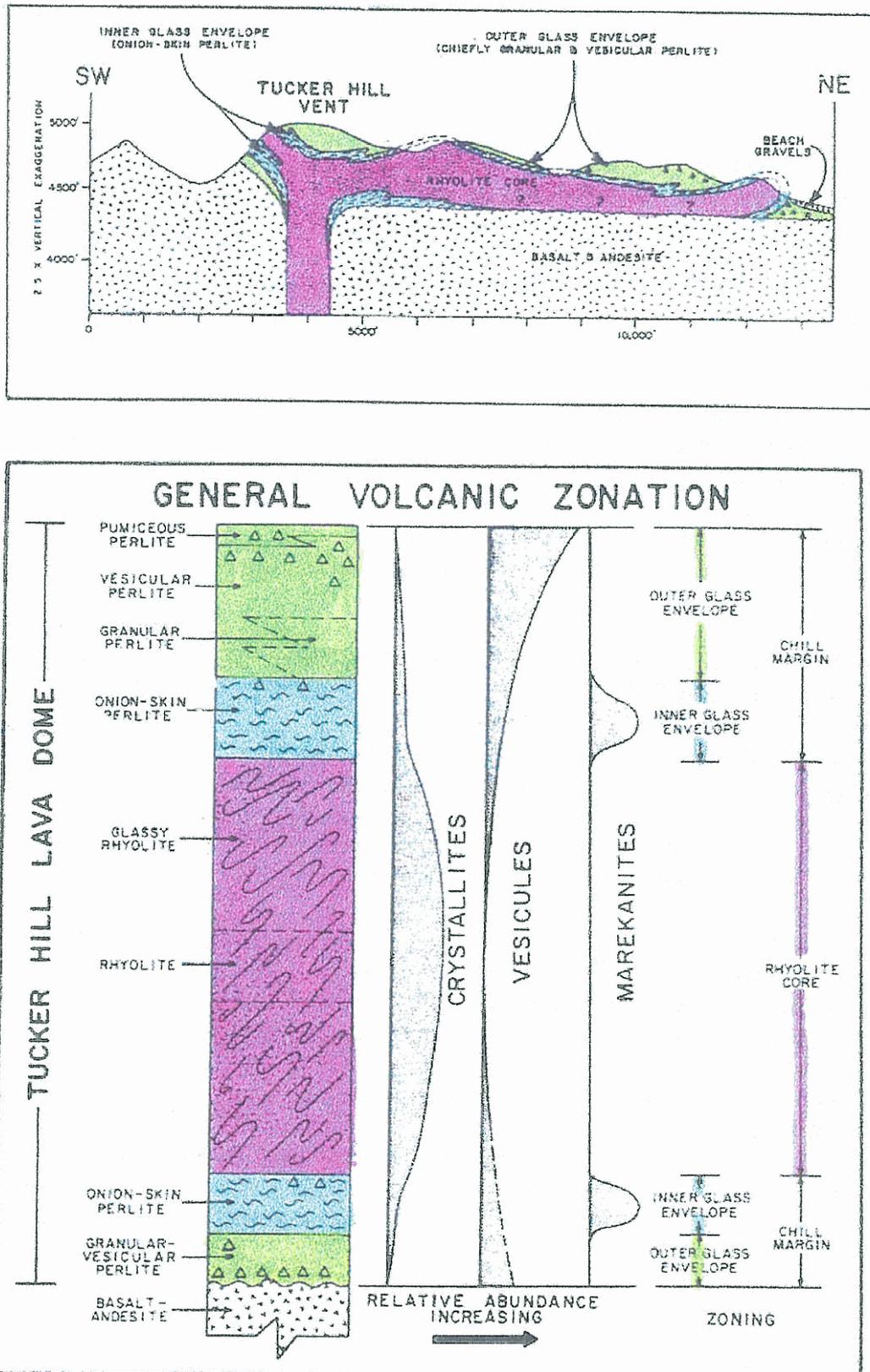


Fig. 2 - Gisement de perlite de Tucker Hill, Lake County, Oregon, USA : coupe transversale schématique et zonation lithologique (source : Wilson and Emmons, 1985).

périphérie et au sommet du gisement, peut avoir plusieurs dizaines de mètres de puissance.

Cette zonation typique, observable dans de nombreux gisements de perlite, a été particulièrement décrite dans le gisement de No Agua Peaks, état du Nouveau Mexique, USA (Whitson, 1982), et peut servir de modèle structural de base pour d'autres gisements plus complexes dans lesquels les différentes textures de minerais perlitiques observées sont parfois difficiles à ordonner les unes par rapport aux autres.

Un autre exemple analogue a été observé dans le gisement de perlite de Tucker Hill, dans l'état de l'Oregon aux USA, où la même zonation classique a été décrite (Wilson and Emmons, 1985), (fig. 2).

Dans de nombreux gisements, on peut observer des variations verticales de texture de plus en plus compactes depuis les niveaux superficiels jusqu'aux plus profonds, en raison du confinement hydro- et lithostatique (Kadey, 1983). En particulier, dans l'enveloppe externe vitreuse de nature perlitique, on peut distinguer, de l'extérieur vers l'intérieur des dômes et coulées, l'existence de plusieurs faciès lithologiques successifs caractérisés par leurs textures, le passage de l'un à l'autre étant progressif sur un à plusieurs mètres d'épaisseur : la texture ponceuse ou vésiculée, la texture granulaire et la texture classique :

• **Texture vésiculaire ou ponceuse**

A la partie extérieure du gisement, la perlite est typiquement vésiculaire et d'aspect mousseux, avec des vésicules qui peuvent montrer un aplatissement et une certaine distorsion liés aux forces de compression et de fluage au moment de la mise en place des dômes et coulées. L'obsidienne résiduelle et les fractures perlitiques originelles, si elles existent, peuvent ne pas être visibles macroscopiquement et sont généralement limitées aux cloisons épaisses entre vésicules contiguës.

A noter que la friabilité de ces textures ponceuses peut entraîner une certaine réduction du taux de récupération au cours des opérations de carottage, en phase d'exploration. Certaines précautions doivent donc être prises, en particulier le diamètre de carottage doit être suffisamment grand.

• **Texture granulaire**

L'aspect du minerai perlitique est saccharoïde et rubané, avec une fracturation à débit en blocs. Le passage progressif de la texture ponceuse précédente à cette texture granulaire se traduit en particulier par des vésicules très réduites donnant un aspect lustré et soyeux aux surfaces qui sont presque parallèles aux foliations de flux.

Dans ce faciès de minerai perlitique, on observe rarement des fractures perlitiques, de même que des nodules d'obsidienne.

A noter que cette variété texturale plus dense donne de meilleurs taux de récupération au carottage et se concasse aisément.

• Texture classique

Le minerai perlitique montre typiquement des fractures perlitiques bien développées donnant un aspect de billes en pelures d'oignon concentriques, avec un faciès perlitique lustré à résineux. Initialement, c'est cette variété de perlite qui servit de définition au terme « perlite ». Observée en lame mince sous le microscope, c'est la variété de perlite la plus dense, avec des vésicules très largement espacées, mais fortement réduites en taille.

Dans la perlite de texture classique, les nodules d'obsidienne résiduelle peuvent être assez abondants et peuvent se présenter en grains isolés ou en rognons de dimensions variées. L'apparition de ces granules d'obsidienne dans cette zone de perlite classique, bien qu'elle soit généralement progressive, peut être parfois brutale, et l'abondance des granules peut augmenter rapidement, soit en profondeur, soit latéralement dans des zones où l'hydratation du verre initial est restée incomplète.

Cette dernière unité de texture classique correspond à une zone de transition passant progressivement à la partie extérieure de l'enveloppe interne de verre dévitrifié, laquelle couronne le noyau cristallin de nature rhyolitique (fig. 1).

Compte tenu que la succession stratigraphique de ces unités se retrouve assez communément dans de nombreux gisements, l'identification des zones successives peut servir de repère pour se situer à l'intérieur de la coupe classique du gisement, et par conséquent, elle peut servir de guide au cours de la phase d'exploration, puis de l'exploitation.

Toutefois, dans certains gisements, cette structure classique en enveloppes successives n'est pas reconnaissable.

En Hongrie, par exemple, dans les principaux gisements des environs du mont Tokaj (gisements de Pálháza, Erdóbenye, Abaujszántó, Telkibánya et Mád), la perlite est associée à des formations volcaniques acides, de nature rhyolitique.

Dans le gisement de Pálháza, plusieurs types de perlites peuvent être distingués (fig. 3) :

- une variété communément de couleur verte, de teneur en eau initiale plus élevée, s'est mise en place avec des tufs rhyolitiques ;
- une variété de teinte grise à noire, de teneur en eau de constitution plus faible, est associée essentiellement à des laves.

L'activité volcanique ayant engendré la formation des perlites a également entraîné la formation d'une dépression tectonique au centre de laquelle on rencontre la perlite

verte, et, sur sa bordure, les variétés noires, grises, argentées et roses. Les gisements sont constitués de perlite massive de plusieurs centaines de millions de tonnes ; leur épaisseur est fréquemment d'une centaine de mètres, et leur extension de plus de 3 km².

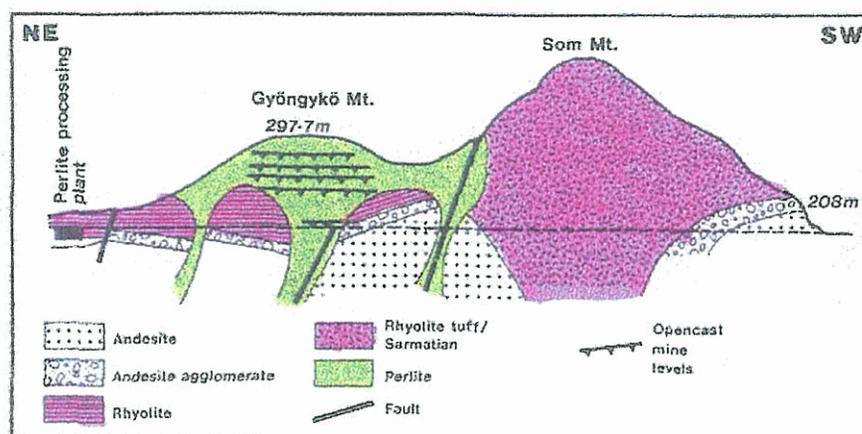


Fig. 3 - Coupe géologique schématique du gisement de perlite de Pálháza, Mont Tokaj, Hongrie (Source : Molnár, 1989).

Les différentes variétés de perlites se sont formées à partir d'un même magma acide, fortement différencié, de nature essentiellement rhyolitique, plus rarement rhyodacitique (Molnár, 1989).

La composition chimique des différentes variétés de perlites est déterminée par les processus de différenciation ayant eu lieu dans le magma au cours de son ascension, tandis que leur composition minéralogique est conditionnée par la vitesse ascensionnelle du magma, les paramètres thermiques et les conditions de solidification de la roche.

En ce qui concerne la texture des perlites, on admet qu'elle correspond au stade final du processus de formation, au moment où le magma s'est solidifié en roche.

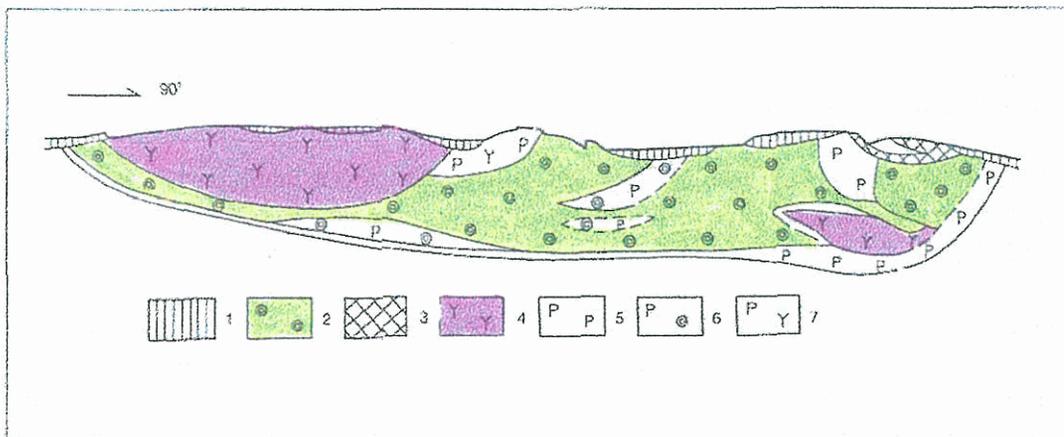
Dans le gisement de Pálháza, la perlite se présente à la fois sous forme de colonnes prismées, que l'on rencontre essentiellement sur la bordure des centres d'effusion, cette variété correspondant à la meilleure qualité de minerai, et de perlites en amas, généralement de forme sphérique, ces dernières étant particulièrement faciles à broyer et tamiser.

La perlite noire, de texture compacte et relativement résistante, est assez semblable à une obsidienne, tandis que la perlite grise est plutôt friable, avec une surface de forme sphérique ou en haricot.

Les perlites de couleur argentée présentent un aspect lustré et soyeux ; elles sont résistantes et, pour la plupart, elles apparaissent en lits intercalés dans des sables perlitiques.

Les perlites roses sont tendres et friables, et ne donnent au broyage qu'un sable fin (Molnár, *op. cit.*).

Un autre exemple de gisement important, dans lequel la succession classique des différentes variétés texturales de perlites ne semble pouvoir être reconnue, est celui du gisement chinois de Xinyang, dans la province du Henan. Les coulées rhyolitiques y sont situées tantôt en noyau vers la base du gisement, tantôt en couverture des coulées perlitiques. En outre, ce gisement, exceptionnellement ancien, d'âge crétacé, a subi d'importantes altérations hydrothermales, avec dévitrifications locales des coulées perlitiques, cristallisation de zéolites, et transformation plus poussée de la roche initiale en bentonite. Ces différentes variétés de roches se présentent en masses et lentilles complexes, plus ou moins imbriquées dans le gisement (fig. 4).



Key: (1) Quaternary System; (2) perlite; (3) zeolite ore; (4) rhyolite; (5) bentonite; (6) devitrified perlite; (7) zeolite rock.

Fig. 4 - Gisement de perlite de Xinyang, province du Henan (Chine). Coupe transversale schématique (Source : Li Dahao, 1987).

Dans ce gisement, les masses perlitiques sont localisées dans la zone médiane des séries de coulées, et suivant les endroits, elles recouvrent ou sont recouvertes par des rhyolites ou des bentonites. La plupart des corps perlitiques ont entre 50 et 800 m de longueur, 50 à 550 m de largeur et 10 à 60 m de puissance.

Le minerai perlitique de qualité industrielle est essentiellement constitué d'un verre volcanique (plus de 90 %) ; il présente une texture vitreuse et une structure perlitique (Lu, 1998).

Dans d'autres gisements, la zonation verticale originelle n'est plus reconnaissable à cause d'un redépôt aérien. Ce remaniement partiel ou total peut être dû à une explosion phréato-magmatique survenue lors de l'évolution précoce du gisement perlitique.

2.3. MÉTHODES DE PROSPECTION DES GISEMENTS ET DE CARACTÉRISATION DES MINÉRAIS PERLITIQUES

2.3.1. Méthodes de prospection des gisements

D'une manière générale, les gisements de perlite se rencontrent dans le monde entier, et d'un point de vue strictement géologique, les perspectives de découverte et de développement de nouvelles ressources en perlite sont *a priori* favorables. En revanche, d'un point de vue strictement économique, la compétition que se livrent les producteurs actuels dans les différentes zones d'influence du marché mondial est peu favorable au développement de nouvelles sources d'approvisionnement en perlite qui prétendraient alimenter le même marché et les mêmes utilisateurs industriels.

Fondamentalement, toute stratégie d'exploration de nouvelles ressources en perlite implique une approche intégrée comprenant la prospection d'indices géologiques, l'étude lithologique des minéraux perlitiques, et l'établissement de projets d'exploitation dans le cadre de marchés déterminés.

Dans un premier temps, la prospection régionale de nouvelles ressources en perlite doit être guidée par l'existence de formations volcaniques acides dont les âges sont compris entre le Tertiaire et le début, voire le milieu du Quaternaire, ainsi que par la présence de dômes et de coulées. Partout dans le monde, les complexes rhyolitiques d'âges compris entre l'Oligocène jusqu'au milieu du Quaternaire ont montré qu'ils constituaient une cible intéressante pour initier une prospection de ressources perlitiques. Les perlites antérieures à l'Oligocène sont généralement dévitrifiées, ce qui nuit à leur expansibilité, et n'ont donc pas d'intérêt commercial. Les obsidiennes trop récentes sont à un stade d'hydratation insuffisant ; elles doivent être délaissées car elles ne permettent pas de produire des perlites expansées de bonne qualité.

En complément des dômes et coulées, les tufs et les brèches perlitiques qui leur sont fréquemment associés peuvent représenter un potentiel de réserves complémentaires, qui pourront être facilement exploitées à un coût peu élevé.

Bien que la présence et le développement de différentes textures et de leur zonation soient variables d'un gisement à l'autre, la succession lithologique et structurale bien établie dans le gisement de No Agua, dans le Nouveau Mexique, se rencontre dans de nombreux dômes et coulées à travers le monde. Quoiqu'un seul modèle ne puisse pas être appliqué à tous les gisements, les variétés lithologiques, les textures et la zonation décrites à No Agua peuvent servir de base à la cartographie géologique des gisements, et à une description et une interprétation comparative uniforme de ces derniers. En outre, la zonation lithologique et structurale de l'ensemble du gisement fournit un

modèle de base facilitant l'identification de corps perlitiques potentiels, et la prévision de la localisation de zones perlitiques et des grandes lignes lithologiques du gisement.

En ce qui concerne les prévisions lithologiques, ce modèle sert, en outre, de guide à l'implantation des sondages, à la détermination de leur longueur prévisionnelle, à la non réalisation de sondages inutiles et coûteux, et à l'établissement du projet d'exploitation.

Dans une première phase, une cartographie générale du gisement permet d'identifier les sources d'émission de coulées et l'extension de celles-ci. Elle doit s'appuyer sur une étude préalable des images satellitaires et des photographies aériennes : étude morphologique et structurale.

Dans une deuxième phase, une cartographie détaillée du gisement sera établie, en délimitant les zones correspondant aux différents types lithologiques rencontrés, y compris les zones éventuellement dévitrifiées et les zones stériles (encaissant, noyaux rhyolitiques ou felsitiques³), les différentes textures perlitiques (ponceuse ou vésiculaire, granulaire, classique, cendreuse, bréchique...) et l'abondance des matériaux contaminants (obsidienne, felsite, argile...).

Un premier échantillonnage des différents faciès perlitiques rencontrés, suivi d'une série de tests préliminaires en laboratoire, donneront un premier aperçu de l'intérêt commercial des minerais perlitiques. La cartographie et la modélisation du gisement peuvent être utilisées conjointement avec des reconnaissances géophysiques pour la prévision des grands ensembles lithologiques et structuraux et la localisation de panneaux perlitiques éventuellement cachés.

Dans une troisième phase, une campagne de sondages carottés et de tranchées est indispensable pour reconnaître la continuité lithologique de subsurface et latérale des amas perlitiques, et pour permettre un échantillonnage systématique des différents horizons rencontrés.

D'une manière assez générale, on adopte un espacement de 60 m entre sondages pour reconnaître les panneaux perlitiques et pour servir de base au calcul des réserves exploitables.

Toutefois, un espacement et une implantation optimum des sondages doivent refléter les variations lithologiques et de qualité des minerais dans chaque gisement ; dans certains cas, une maille inférieure à 60 m devra parfois être adoptée.

Les sondages sont souvent difficiles à effectuer en raison de la friabilité du matériau, notamment dans l'horizon de perlite ponceuse ou vésiculaire, et des pertes de boue dues à la fracturation. Il est donc conseillé d'utiliser un double carottier avec « basket » pour maintenir le pied des carottes, avec peu de pression sur l'outil, une faible circulation de boue et une vitesse de rotation minimale. L'emploi d'un carottier à câble, triple tube (type « Mazier ») est même recommandé. Dans tous les cas, on utilisera un diamètre

³ On entend sous l'appellation de felsite, une rhyolite cryptocristalline constituée de fins cristaux d'orthose fibreuse et de quartz.

suffisamment grand (minimum 101/79 mm) pour s'assurer un taux de récupération des carottes satisfaisant et pour fournir suffisamment de matériaux destinés aux tests de laboratoire. Dans le cas où la qualité de la perlite est uniforme et lorsque la géologie du gisement est bien connue, on peut se permettre d'effectuer des sondages destructifs par percussion ou par circulation d'air inversée.

On notera qu'en grande prospection, notamment en prospection alluvionnaire, la présence de galets d'obsidienne dans les cours d'eau est parfois le seul indice possible de l'existence, à proximité et en amont, d'un gîte éventuel de perlite. La perlite proprement dite, généralement plus friable, se désagrège rapidement en sable et ne persiste, sous forme de blocs ou galets, que sur de très courtes distances.

2.3.2. Caractérisation des minerais perlitiques : tests de laboratoire

a) Considérations générales

L'évaluation des minerais perlitiques est particulièrement adaptée aux quatre principaux secteurs d'utilisation industrielle : l'horticulture, la construction, la filtration et les charges industrielles.

Des tests classiques de base sont effectués en laboratoire au cours des phases successives de l'exploration des gisements. Quelques tests complémentaires sont effectués sur les granules de perlite expansée destinés à l'horticulture et au secteur de la construction. Pour les perlites destinées à la filtration dans l'industrie alimentaire, un broyage spécial et des tests chimiques particuliers doivent être effectués. L'utilisation de la perlite comme charge industrielle est relativement récente, ce qui explique que peu de procédures de tests en laboratoire et peu de spécifications sont officiellement établies ; elles sont d'ailleurs souvent considérées confidentielles par les industriels.

Quelle que soit l'utilisation finale de la perlite, il est important de doser la teneur en silice cristalline libre de la perlite, à la fois crue et expansée, en raison de nouvelles normes établies pour prévenir tout risque pour la santé (silicose).

L'organisme américain « the Perlite Institute » publie un manuel rassemblant les protocoles de tests en laboratoire et de spécifications concernant l'échantillonnage des minerais perlitiques, le traitement, le transport et l'utilisation des perlites expansées dans les différentes filières industrielles. Ce document regroupe les tests qu'il a lui-même élaborés, ainsi que les spécifications établies par « the American Society for Testing and Materials » (ASTM). Ce document fait généralement référence dans le monde entier, bien que dans la plupart des pays, des procédures et des spécifications particulières aient été établies, parfois même un peu différentes d'une usine à l'autre, suivant les spécificités du produit final fabriqué.

Le « Perlite Institute » est également associé dans ses travaux à l'« International Congress of Building Officials », l'« International Standards Organization » (ISO), et le Comité Européen de Normalisation (CEN).

A titre indicatif, on trouvera dans le tableau 2 une liste partielle des principaux tests établis par le Perlite Institute et des spécifications ASTM concernant la perlite.

- PI 108-77 Bulk Box Car Sampling of Sized Perlite Ore
- PI 109-77 Sampling Sized Perlite Ore from Hopper Cars
- PI 110-77 Sampling of Perlite
- PI 111-77 Preparation of Perlite Sample for Testing by Coning and Quartering Method
- PI 112-77 Preparation of Perlite Sample for Testing by Splitter or Riffle Method
- PI 113-77 Sieve Analysis of Fine Materials
- PI 114-77 Sieve Analysis of Expanded Perlite Volume Basis
- PI 115-77 Sieve Analysis of Expanded Perlite Weight Basis
- PI 116-77 Fractional Density of Expanded Perlite
- PI 117-77 Wet Screen Analysis
- PI 118-77 Determination of Free and Combined Moisture in Perlite
- PI 200-77 Loose Weight Determination of Expanded Perlite
- PI 201-77 Compacted Density
- PI 202-77 Test for pH Value of Expanded Perlite
- PI 300-77 Determination of Floats and Sinks of Expanded Perlite
- PI 301-80 Percent Non-expansibles in Perlite
- PI 303-85 Water Repellency Test
- PI 305-77 Yield Test for Perlite Aggregate
- PI 306-80 Compaction Resistance Test
- PI 307-77 Perlite Ore Expansibility Test
- PI 400-77 Setting Time of Gypsum Plaster
- PI 401-77 Plaster Coverage Test
- PI 501-83 Method for Determination of Wet Density and Relative Water Permeability of Powder Type Filter Aids
- C 28-80 Specification for Gypsum Plaster
- C 29-78 Unit Weight and Voids in Aggregate
- C 35-76 Inorganic Aggregates for Use in Gypsum Plaster
- C 136-83 Sieve or Screen Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- C 331-81 Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units
- C 332-82 Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- C 472-79 Physical Testing of Gypsum Plasters and Gypsum Concrete
- C 495-80 Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete
- C 513-82 Securing, Preparing, and Testing Specimens from Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength
- C 520-81 Density of Granular Loose Fill Insulations
- C 549-81 Perlite Loose Fill Insulation
- C 926-81 Application of Portland Cement-Based Plaster
- C 11-81 Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes

Tabl. 2 - Liste partielle des principaux tests élaborés par le Perlite Institute et des spécifications établies par l'ASTM.

D'une manière générale, il faut garder à l'esprit que les tests de laboratoire effectués sur la perlite ne sont qu'indicatifs et peu rigoureux. L'interprétation des résultats nécessite une bonne expérience. En particulier, l'extrapolation des résultats doit se faire avec beaucoup de précautions, et tout projet d'usine ne peut être établi par simple extrapolation des résultats des tests de laboratoire. Il est donc indispensable d'effectuer des essais pilotes en vraie grandeur en usine avant d'entreprendre l'exploitation d'un gisement.

b) Tests de laboratoire

Ils doivent être exécutés à la fois sur la perlite crue et la perlite expansée.

• Contrôles sur minerai cru

- Conditionnement du minerai

Le minerai brut (2 à 5 kg environ) doit être concassé, broyé et calibré à une granulométrie adaptée aux essais d'expansion, car l'efficacité de l'expansion des particules de perlite crue est étroitement liée au rapport entre leur superficie et leur volume. En outre, la taille réduite des fours d'expansion de laboratoire les rend très sensibles à la dimension des produits enfournés.

La fraction granulométrique préconisée aux USA est de - 50 + 100 mesh (280 à 150 μm), quoique la fraction - 30 + 50 mesh (560 - 280 μm) puisse aussi être utilisée. A noter qu'un laboratoire d'usine d'expansion française utilise la fraction 400 - 80 μm , un autre la fraction 600 - 44 μm .

- Humidité

Lors du conditionnement du minerai, 10 g doivent être réservés pour déterminer son humidité par séchage à l'étuve à 110 °C pendant 2 h. De même, si le minerai est trop humide pour être convenablement conditionné, on le place, après pesée, dans une étuve à 110 °C pendant une nuit. La différence de poids, ramenée en pourcentage, donne l'humidité du produit.

Dans le calcul de la perte au feu, on doit tenir compte de cette humidité du minerai.

- Analyse granulométrique de la perlite crue calibrée

Elle permettra la comparaison avec la granulométrie du produit après expansion.

- Perte au feu

Le taux d'expansion de la perlite est essentiellement fonction de sa composition, notamment de sa teneur en eau combinée, et de sa température de ramollissement.

A ce titre, les perlites crues peuvent être classées soit en perlites « vivantes », soit en perlites « mortes » en fonction de ces deux facteurs (Murdock et Stein, 1950).

Les perlites « mortes » renferment généralement moins d'eau combinée et ont une température de ramollissement plus élevée que les perlites vivantes. Par conséquent, davantage de chaleur sera nécessaire pour obtenir une expansion satisfaisante dans le four à partir de perlites « mortes ». En pratique, pour de telles perlites, on procédera par préchauffage de l'alimentation en perlite crue, en augmentant la température du four et/ou la durée du séjour des particules dans le four.

Suivant les laboratoires, la perte au feu est mesurée à 500 et 800 °C ou 550 et 950 °C. S'agissant d'un test rapide et peu onéreux, certains auteurs l'utilisent pour une première sélection des minerais, en considérant par expérience que les perlites de qualité industrielle ont communément une perte au feu comprise entre 2,5 et 3,5 % à 500 °C, et entre 3 et 4 % à 800 °C. En dehors de ces fourchettes, les minerais perlitiques seraient de qualité médiocre.

- Densité de la perlite crue

Par convention, les industriels français et anglo-saxons utilisent les termes de « densité (de la perlite) non tassée » (DNT) ou de « densité libre » correspondant à « loose density », « bulk density », « uncompacted density », et de « densité tassée » (DT) correspondant à « compacted density », bien qu'en toute rigueur, il s'agisse en fait de la masse volumique du produit granulé, non tassé ou tassé, mesurée suivant un protocole normalisé.

La mesure de la densité tassée nécessite la mise en oeuvre d'une machine spéciale de compactage. Suivant les laboratoires, ces densités sont exprimées en kg/m³, g/dm³ ou en g/l. La mesure de la densité libre de la perlite crue permet, après expansion, de calculer le taux d'expansion du minerai.

• Expansion de la perlite

L'expansion de la perlite en laboratoire peut être réalisée soit dans un four horizontal, soit dans un four vertical (fig. 5). Mais de nos jours, les fours verticaux sont les plus employés. En effet, aucune corrélation n'a pu être établie entre les tests d'expansion en laboratoire effectués dans des fours horizontaux, et les tests similaires réalisés en usine. En revanche, l'extrapolation des résultats des tests réalisés dans des fours verticaux de laboratoire aux résultats obtenus en vraie grandeur montre de meilleures corrélations.

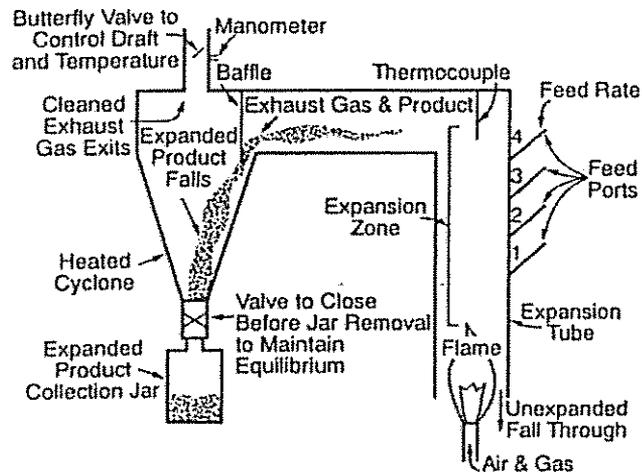


Fig. 5 - Diagramme schématisique d'un four d'expansion vertical de laboratoire montrant la circulation des produits et les principaux points de contrôle (d'après Barker and Harris, 1990).

Outre la teneur en eau combinée du minerai perlitique et sa température de ramollissement, l'expansion de la perlite et le fonctionnement du four sont très sensibles à certains paramètres, tels la température du four, le temps de séjour des particules au contact de la flamme, le débit d'alimentation, l'hygrométrie, la pression barométrique et la température ambiante. Pour pallier cet inconvénient, on procède systématiquement au cours de chaque série d'essais à l'expansion d'un échantillon témoin provenant d'un stock préparé pour plusieurs années et réhomogénéisé avant chaque opération. On dispose ainsi d'un élément de correction des résultats obtenus.

Les tests d'expansion sont généralement effectués à différentes températures comprises entre 700 et 1 110 °C environ. Parfois, des températures aussi basses que 510 °C ont été utilisées.

• **Contrôles sur perlite expansée**

- **Densité de la perlite non tassée (DNT)**

La densité libre de la perlite expansée est déterminée suivant un mode opératoire normalisé. Elle est exprimée en kg/m³, g/dm³ ou g/l. La mesure de la densité libre de la perlite expansée est cruciale pour déterminer les utilisations industrielles les plus favorables.

- **Coefficient d'expansion**

C'est le rapport de la DNT sur brut à la DNT sur expansé. Les perlites de qualité industrielle ont communément un coefficient volumique d'expansion compris entre

20 et 40 %. C'est un élément important lorsque, comme c'est souvent le cas, le produit expansé est vendu au volume.

- Densité de la perlite tassée

La densité de la perlite expansée et tassée nécessite la mise en œuvre d'une machine de compaction. Elle est également exprimée en kg/m^3 , g/dm^3 ou g/l , suivant les laboratoires. C'est un critère essentiellement utilisé en isolation cryogénique. La conductivité thermique d'une isolation à base de perlite expansée, sous la pression atmosphérique normale, peut être directement corrélée à sa densité et à son coût, après mise en place (Anon., 1984).

- Résistance à la compression

La résistance à la compression correspond à la résistance de la perlite à l'écrasement sous une charge déterminée. Pour les perlites de qualité commerciale, cette résistance est fixée à 355 kg/m^3 . Les perlites dont la résistance à la compression est inférieure à 97 kg/m^3 sont parfois utilisées comme granulats légers. Cette résistance à la compression est directement proportionnelle à la densité de la perlite expansée non tassée (DNT).

- Rendement du four

C'est le rapport entre le poids de perlite expansée récupérée à la sortie du four et le poids de perlite crue introduite dans le four. Les perlites de qualité commerciale expansées à une température proche de leur température d'expansion optimale donnent des rendements du four élevés, souvent supérieurs à 90 %.

- Pourcentage d'impuretés non perlitiques ou de matières lourdes

Les stériles ou matières lourdes sont constitués par des particules d'inclusions ne s'expansant pas, par de la perlite partiellement expansée ou de la perlite fragmentée (débris de cloisons de sphérules perlitiques), dont la densité est supérieure à 1. Les inclusions correspondent à des microlites, des cristallites, des sphérulites, et des phénocristaux de quartz, feldspath, biotite, hématite, hornblende, magnétite, sphène (Weber and Austin, 1982), d'argile et d'obsidienne. La pétrographie de la fraction de stériles doit être décrite.

Le pourcentage d'impuretés ou de matières lourdes est déterminé à partir de 10 g du produit récupéré à la sortie du four, que l'on introduit dans de l'eau suivant un protocole préétabli.

Les perlites de qualité industrielle ont généralement une teneur en stériles n'excédant pas 1 %.

La proportion de stériles dans le produit expansé dépend en partie de la densité de la perlite expansée, elle-même déterminée par les conditions d'expansion dans le four.

Un minerai perlitique expansé à une température voisine de sa température optimale d'expansion donnera moins de stériles que s'il était expansé à une température plus basse ou plus élevée. Si la température est trop basse, les particules qui auraient pu totalement s'expanser ne le sont pas ou ne le sont que partiellement. En revanche, une température trop élevée peut entraîner une densité plus élevée du produit expansé et un taux plus important de particules lourdes, en raison de l'éclatement des particules vésiculaires qui produit des débris de cloisons de ces vésicules.

- Résistance mécanique à l'attrition (friabilité)

Le test est sensé rendre compte de la résistance mécanique d'une perlite expansée au cours de son utilisation pour des applications de type bâtiment (granulat léger, charge pour plâtre...) qui nécessitent notamment le malaxage des produits.

Ce test normalisé consiste à déterminer le pourcentage de perlite non réduite en fines, à partir d'une masse initiale de perlite expansée et calibrée, que l'on introduit dans une bouteille avec des billes de verre et à laquelle on imprime un mouvement de rotation.

Le résultat est en fait indicatif, dans la mesure où une corrélation avec les propriétés de la perlite lors de sa mise en œuvre n'a pu être établie de façon précise.

- Blancheur relative

La blancheur de la perlite a une grande importance dans plusieurs utilisations, telles les charges dans les peintures, les plastiques et le plâtre, en filtration, dans les bétons et en isolation. Dans chacune de ces filières industrielles, la blancheur de la perlite utilisée doit satisfaire des spécifications préétablies.

La blancheur de la perlite expansée est liée à la taille des particules, l'arrangement des vésicules et l'espace des vides. Les plus grosses particules sont moins blanches en raison de la perte d'une petite partie de la lumière dans les pores intergranulaires les plus grands. En revanche, les particules ayant un arrangement plus serré présentent moins d'espaces vides.

En outre, la blancheur de la perlite est indirectement influencée par sa densité qui, elle-même, est partiellement liée à la quantité d'impuretés contenue.

- pH d'une suspension

Le contrôle du pH est important non seulement en filtration (influence sur le pH du liquide à filtrer), mais également pour d'autres applications de la perlite (horticulture, charges...). La valeur du pH, qui dépend de la teneur en alcalins et en calcium du minerai, varie d'un gisement à l'autre. Certains industriels préfèrent, à la notion de pH, celle d'alcalinité ou d'acidité.

- Analyse granulométrique de la perlite expansée

En France, elle est couramment effectuée sur la série de tamis AFNOR suivante (ouverture de maille en mm) : 1,00 - 0,710 - 0,355 - 0,050.

Les granulométries de la perlite, avant et après expansion, doivent être comparées. Le point de jonction entre les deux courbes portées sur un même graphique est parfois utilisé, notamment en Europe.

Lorsque l'on vise la production d'une classe granulométrique déterminée, de larges variations entre les quantités de perlite expansée constatées pour chacune des fractions granulométriques ne sont pas souhaitables, car les autres fractions granulométriques constituent alors des déchets coûteux. La distribution granulométrique de la perlite expansée est fortement conditionnée par celle de l'alimentation en perlite crue. L'augmentation de la proportion de la fraction la plus grossière est souhaitable pour certaines utilisations, notamment en horticulture où le matériau est utilisé pour partie pour le conditionnement des sols. En revanche, l'abondance de la fraction de fines est recherchée pour une utilisation en filtration, une partie de celles-ci pouvant d'ailleurs résulter d'un broyage des particules au cours du tamisage.

Des mesures de la densité de la perlite pour chacune des fractions granulométriques peuvent révéler des hétérogénéités entre ces dernières, car les impuretés peuvent être réparties en fonction de leur taille. La mise en évidence de cette répartition des impuretés peut aider au contrôle et à la sélection des fractions granulométriques spécifiques de la perlite les plus adaptées aux utilisations industrielles visées, et permet d'éliminer certaines fractions granulométriques pour la production d'un produit de plus haute qualité.

- Tests spécifiques pour perlites destinées à la filtration

Pour une utilisation en filtration, on emploie soit de la perlite expansée, soit de la perlite expansée et broyée. Toutes deux doivent être contrôlées par des tests particuliers. Aux USA, on se réfère aux procédures publiées par le Perlite Institute (Anon., 1984) et l'US Food Chemical Codex (USFCC), et à une communication écrite de F.M. Bodycomb (1987). En France, on utilise communément les mêmes procédures ou des protocoles analogues plus ou moins adaptés suivant les laboratoires.

Expansion et rendement

On procède à l'expansion du minerai granulé à - 50 + 100 mesh (280 à 150 μm) pour obtenir une perlite expansée de densité libre de 30 à 40 g/l, en évitant l'éclatement des particules, et on calcule le rendement de l'expansion.

Résistance à la compression

Une résistance à la compression élevée correspond à des particules résistantes et peu friables, de plus grandes difficultés au broyage et des pertes de matériaux plus importantes. Ce test, effectué sur la perlite expansée avant broyage, est utile pour l'évaluation des agents de filtration, mais a une moindre importance.

Broyage, pourcentage de particules flottantes et analyse granulométrique

L'opération de broyage de la perlite expansée est le test crucial pour une utilisation en filtration. Un broyage insuffisant donne naissance à trop de particules flottantes et, en définitive, à un gâteau de filtration peu efficace. Inversement, un broyage trop agressif produit trop de fines, ce qui entraîne un faible taux de filtration du gâteau. En effet, le surbroyage de la perlite donne un produit de plus haute densité, ce qui va à l'encontre des propriétés recherchées dans l'usage des agents de filtration de faible densité.

Au laboratoire, la préparation de l'agent de filtration nécessite le broyage progressif de la perlite expansée à moins de 100 mesh (150 μm), le refus à 100 mesh étant à nouveau broyé. Finalement, toutes les fractions à - 100 mesh sont recombinaées pour donner l'agent de filtration qui sera utilisé dans les autres tests. Son analyse granulométrique globale est effectuée sur la série de tamis de 16 mesh (1 mm), 30 mesh (560 μm), 50 mesh (280 μm), 100 mesh (150 μm) et 200 mesh (75 μm). Au préalable, on aura également effectué l'analyse granulométrique de la perlite avant broyage et aux différentes étapes de l'opération de broyage. Comparées à celles d'un témoin, ces distributions granulométriques permettent d'évaluer les conditions d'alimentation du broyeur, la facilité et l'efficacité du broyage, et de caractériser les agents de filtration obtenus.

Densité libre

La mesure de la densité libre de la perlite expansée détermine la valeur du minerai perlitique, l'efficacité de l'expansion, et la possibilité d'une utilisation en filtration. Elle doit être effectuée à la fois avant et après broyage.

Abondance et densité des stériles

Des tests sont effectués sur la perlite expansée avant broyage pour déterminer la quantité de particules non expansées ou éclatées et la densité de ces particules lourdes. Une faible densité de ces particules lourdes indique une perlite friable, tandis qu'une densité élevée correspond à la présence de particules non expansées. Un minimum de particules denses est souhaitable, mais leur présence n'est pas toujours rédhibitoire.

Densité humide

La densité humide détermine les quantités minimales de perlite à mettre en œuvre, la densité du gâteau humide sous pression ou sous vide, et la capacité de filtration du gâteau.

Taux de filtration

Le taux de filtration joint à la densité humide constitue le critère le plus déterminant pour comparer des agents de filtration. En utilisant de l'eau injectée sous vide à travers des gâteaux de perlite, la perméabilité relative de ces derniers peut être directement mesurée et comparée à celle d'autres agents de filtration.

Couleur

La couleur d'un agent de filtration doit être blanche, sans particules sombres visibles. Une évaluation visuelle de cette couleur est donc recommandée. Bien qu'il s'agisse d'un paramètre pris en compte dans l'industrie des cosmétiques, mais qui n'affecte pas ses possibilités d'utilisation, la présence d'une quantité notable de particules sombres dans le produit marchand peut avoir une incidence néfaste sur les ventes, dans les marchés pour lesquels l'apparence est importante.

pH

Le contrôle du pH d'une perlite pour filtration indique le contenu en calcium ; il est particulièrement important pour la filtration de produits alimentaires. Suivant les sources d'information, le pH doit être compris entre 5 et 9 dans le filtrat (Breese and Barker, 1994), ou de l'ordre de 9-10 (Ceca, comm. orale).

Conformité chimique aux normes internationales pour l'alimentation

La perlite destinée à la filtration doit être testée pour être conforme, sur le plan de sa composition chimique, aux normes nationales et internationales pour l'alimentation, notamment en ce qui concerne sa teneur en oxydes métalliques et en métaux lourds. Les dosages sont souvent effectués par la méthode ICP (inductively coupled plasma). Par exemple, elle ne doit pas renfermer plus de 10 ppm As ou Pb. La teneur en fer soluble peut être établie par différentes méthodes de dosage, suivant l'industrie utilisatrice. Dans l'industrie pharmaceutique, la méthode « PFIZER » par colorimétrie est couramment employée. Certaines opérations de filtration (brasserie, industrie pharmaceutique) exigent moins de 600, voire 400 ppm de Fe, alors que pour d'autres applications, plus de 1 000 ppm peuvent être admis.

c) Teneur en silice libre cristalline de la perlite

Bien que la perlite soit essentiellement constituée de verre volcanique amorphe, elle peut renfermer de faibles quantités de silice libre cristalline, sous forme de quartz α ou β , et plus accessoirement sous forme de cristobalite ou de tridymite.

D'une manière générale, les perlites renferment moins de 1 à 5 % de silice libre cristalline. Une partie de celle-ci peut se retrouver naturellement sous forme de poussières inhalables, d'un diamètre inférieur à 10 µm, lors des opérations d'exploitation et de transport du minerai, lors de son traitement en usine ou encore de son utilisation, que le matériau soit cru ou expansé.

Quoi qu'il n'y ait aucune corrélation directe entre la teneur en silice libre cristalline de la perlite crue ou expansée et la concentration moyenne en silice libre cristalline des poussières alvéolaires inhalables par les travailleurs, son dosage préalable donne une indication sur les dispositions à prévoir au niveau des installations et, à titre individuel, pour les employés, au cours du montage d'un projet d'exploitation et de traitement.

En laboratoire, ce dosage est effectué soit par spectrométrie infrarouge, soit par diffractométrie des rayons X.

2.3.3. Critères d'évaluation des gisements

Les gisements doivent être exploitables à ciel ouvert, avec un rapport D/E (épaisseur de la découverte sur épaisseur exploitable la plus faible possible et n'excédant pas 2, en fonction de la distance par rapport aux centres de consommation qui peut atteindre plusieurs milliers de kilomètres. La réserve exploitable doit être supérieure à 500 000 t.

En fonction des résultats des tests en laboratoire sur les différents types de minerais définis au cours de la prospection du gisement, il est possible de sélectionner des niveaux ou des panneaux dont la qualité du minerai perlitique est la plus adaptée à la fabrication de la perlite expansée exigée par la filière industrielle d'utilisation, suivant le ou les marchés visé(s), et de calculer les réserves correspondant à chacune des qualités industrielles définies.

2.4 MÉTHODES D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENT

2.4.1. Méthodes d'exploitation

L'exploitation à ciel ouvert est la seule méthode d'extraction économique. La plupart des exploitations de perlite utilisent soit le ripage, soit l'explosif, ou une combinaison des deux procédés. Quand le minerai perlitique est suffisamment tendre et friable, bréchifié ou intensivement diaclasé, l'utilisation d'un ripeur est la plus économique. En revanche, lorsque le minerai est résistant, la création de gradins et l'utilisation d'explosifs sont nécessaires. Dans ce cas, il faut veiller à ce que la fragmentation du massif ne produise pas trop de fines ou, à l'inverse, de blocs de grandes dimensions.

Le minerai est ensuite chargé sur des camions ou, lorsque la forme du plancher de la carrière le permet, il peut être directement récupéré par un scraper, puis transporté jusqu'à l'installation de broyage de l'usine de traitement.

Une extraction sélective est couramment effectuée lorsque la qualité du minerai est variable ou l'abondance des substances contaminantes (argile, obsidienne) la nécessite.

Dans certains cas, lorsque le gisement renferme des minerais perlitiques de textures variables, ces derniers peuvent être mélangés pour produire un minerai composite présentant des caractéristiques de broyage constantes et, en définitive, des propriétés régulières pour les utilisateurs.

Pour les opérations d'extraction, la dépense énergétique est couramment de l'ordre de 0,4 thermie/t.

2.4.2. Techniques de broyage et de criblage

D'une manière générale, la dimension finale de la particule de perlite expansée est conditionnée par la taille initiale de la particule de perlite crue introduite dans le four d'expansion. Par conséquent, les spécifications industrielles concernant la granulométrie de la perlite expansée pour chaque type d'utilisation déterminent la granularité dans laquelle le minerai doit être broyé et calibré.

Bien que la répartition granulométrique des particules de perlite crue puisse varier selon les producteurs, les opérations de broyage et de classification granulométrique sont effectuées selon le même procédé général : broyage primaire et secondaire, séchage, classification, broyage tertiaire et récupération des fines. Par exemple, la première étape consiste à la réduction du minerai brut à moins de 8 mm par broyeurs à mâchoires. La réduction à 1,6 mm se fait par un broyeur giratoire et celle à moins de 2,36 mm par un broyeur à percussion. Le fractionnement granulométrique est assuré par des cribles vibrants et un classificateur pneumatique pour les plus fines particules. Suivant les installations, ce procédé général peut inclure différentes variantes, telles que l'utilisation de broyeurs giratoires pour le broyage primaire, et des broyeurs à percussion, des broyeurs à marteau, des girodisques et des broyeurs à cylindres pour les broyages secondaires et tertiaires.

Pour les opérations de broyage, séchage et criblage, la dépense énergétique varie de 6,3 à 12,6 thermies/m³.

Les différentes classes granulométriques obtenues sont stockées dans des silos ; des mélanges ultérieurs sont effectués pour satisfaire les exigences spécifiques des utilisateurs. A titre indicatif, on trouvera dans le tableau 3 quelques distributions granulométriques typiques de minerais perlitiques en fonction des utilisations, élaborées par la société américaine Manville.

Sieve Size	Celite Grade							
	PA-4000	PA-3000	PA-1000	PA-116	PA-130	PA-220	PA-420	PA-610
	Application							
	Silica Source Micro Bubbles	Plastic and Resin Filler	Cryogenics & Acoustical Tile	Roof Insulation Board & Filter Aid	Plaster Aggregate	Concrete Aggregate, Masonry, & Loose Fill	Horticulture & Foundry Slag	
+8						0-2	10-25	
8-16						22-30		
8-12							40-60	
12-16							25-42	
+20						7-16		
16-20							0-8	
+30			Trace	0-9				
16-30						53-65		
20-30						26-35		
-20							0-4	
30-50			4-12	48-75	40-52	10-21		
50-100			45-75	20-42	6-13			
-50						0-4		
-100				0-6	0-4			
+100		0-1	0-8					
100-200	0-15	0-15	20-47	20-40				
-200	85-100	85-100	50-75	0-10				

Source: Manville Bulletin FF 391, September, 1988.

Tabl. 3 - Distributions granulométriques typiques aux USA de minerais perlitiques en fonction des utilisations.

2.4.3. Traitement en usine d'expansion

La perlite broyée et criblée est expansée dans des fours stationnaires verticaux ou des fours rotatifs horizontaux (fig. 6 à 8). L'expansion se produit généralement à une température comprise entre 870 et 1 100 °C. La température optimale est atteinte lorsque, simultanément, le verre devient visqueux et l'eau de composition se volatilise. La perlite peut alors s'expanser jusqu'à 20 fois son volume initial. On obtient des particules bulleuses extrêmement légères, de grande surface spécifique, de couleur claire ou blanche (fig. 9).

Une volatilisation excessive de l'eau produit trop de fines particules par éclatement des granules initiaux de perlite crue, alors qu'une insuffisance d'eau combinée donne des qualités de perlite trop denses. Les minerais perlitiques qui présentent quelques difficultés à l'expansion sont couramment préchauffés vers 450 °C avant de passer dans la zone d'expansion proprement dite du four (fig. 6 à 8).

Les particules de perlite expansées sont collectées dans un cyclone avant d'être conditionnées en sac. Suivant les utilisations industrielles auxquelles elles sont destinées, elles peuvent subir, avant l'ensachage, un broyage et une classification ou un traitement de surface.

La taille des unités d'expansion est très variable. Il en existe des mobiles qui sont utilisées sur les lieux de consommation (fabrication de méthanier, station d'emballage...).

Pour l'opération d'expansion, dans l'hypothèse d'une température moyenne de 900 °C, la dépense énergétique varie de 45,3 à 90,6 thermies par mètre cube de perlite crue, suivant la densité du minerai cru.

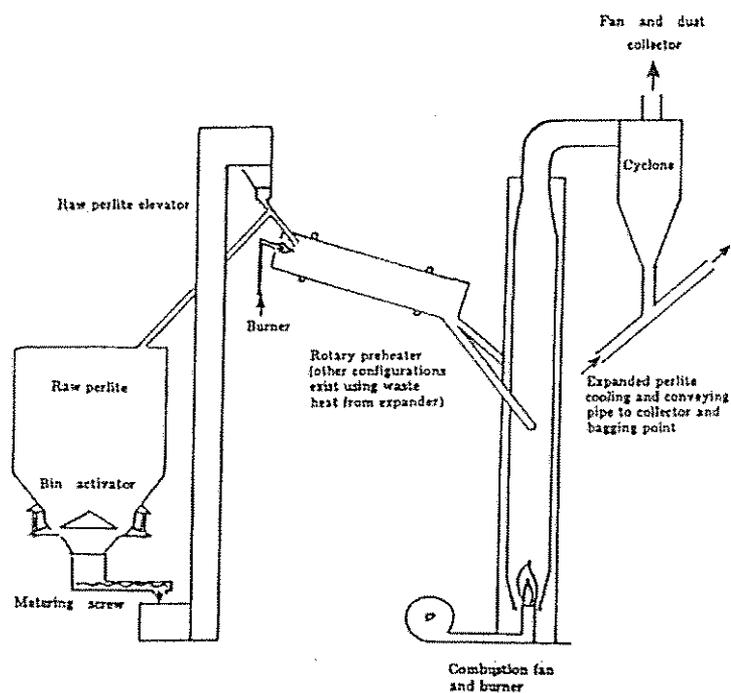


Fig. 6 - Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur indépendant (d'après M.J. Allen, 1992).

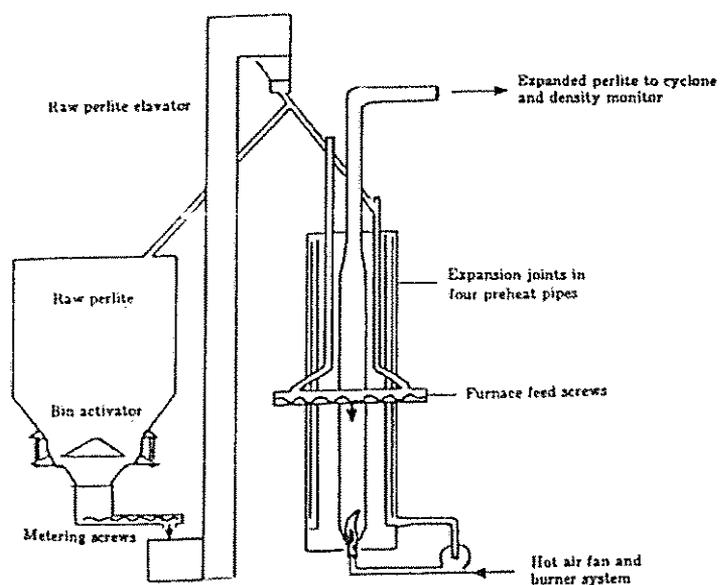


Fig. 7 - Diagramme schématique d'un four d'expansion vertical avec préchauffeur intégré (d'après M.J. Allen, 1992).

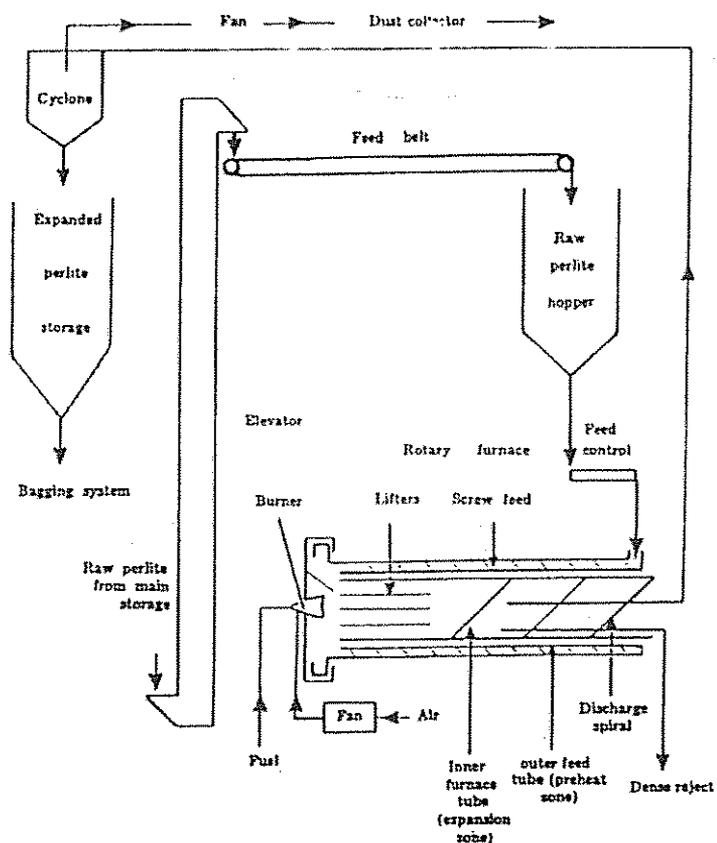


Fig. 8 - Diagramme schématique d'un four d'expansion horizontal avec préchauffeur intégré (d'après M.J. Allen, 1992).

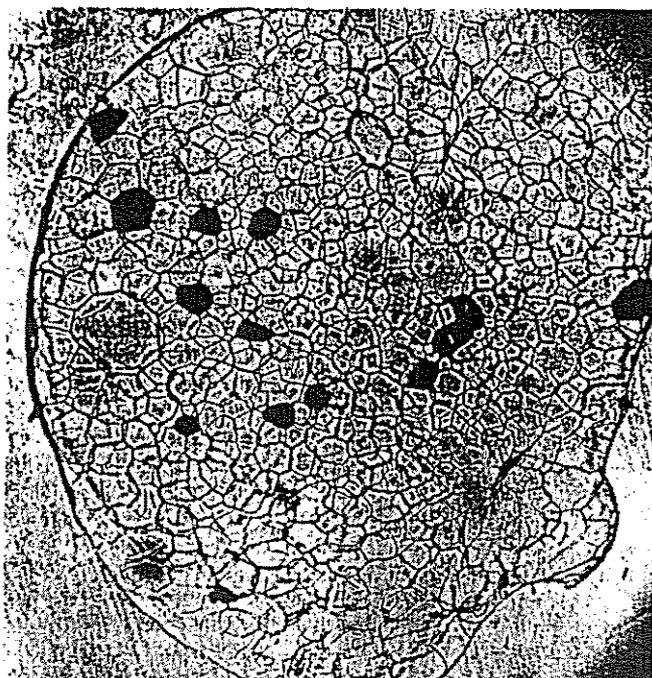


Fig. 9 - Coupe en lame mince d'une particule de perlite expansée (grossissement 200 fois).

3. Utilisations et spécifications industrielles

Les utilisations principales de la perlite mettent surtout à profit sa faible densité, sa porosité, sa très faible conductibilité thermique et la résistance des particules.

Les principaux secteurs d'utilisation et les caractéristiques correspondantes sont synthétisés dans le tableau 4.

En ce qui concerne les spécifications industrielles, les plus importantes sont résumées dans les tableaux 5 à 7 et dans les paragraphes suivants. Pour le détail, on se reportera au document publié par le « Perlite Institute » et « the American Society for Testing and Materials » (ASTM), 1984 et tabl. 2.

D'une manière générale, il est très difficile de connaître les spécifications requises par les industriels français, ceux-ci leur donnant le plus souvent un caractère confidentiel.

3.1. SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

C'est le secteur qui représente la plus grande part de la consommation mondiale.

3.1.1. Principales utilisations

On l'utilise dans les bétons légers, dans les panneaux isolants, mais aussi dans les enduits de plâtre ou de ciment. On peut injecter la perlite dans les volumes creux des constructions comme on le fait avec la laine de verre ou la laine de roche ou encore le polystyrène.

Mélangée avec un liant bitumineux, elle sert pour les revêtements de toits. On utilise aussi la perlite pour les terrasses, les sous-couches de plancher, les revêtements anti-incendie (faible dilatation thermique), en isolation phonique et thermique.

En isolation, la perlite est délaissée peu à peu par les consommateurs au profit de la vermiculite et du polystyrène expansé.

Secteur d'utilisation	Application	Granulométrie mm	Densité kg/m ³	Proportion volumes	Autres caractéristiques			
Construction (bâtiment)	- Isolation	0,1 - 3 30 à 60 % > 0,6	32 - 80	100 %	Conductibilité thermique très faible : 1 - 0,05 kcal/m.h. °C			
	- Granulat (bétons isolants légers)	0,15 - 4,75 dont 25-65 % > 0,6	120 - 136	Liant/perlite 1/7	kg/m ³ 400	Résistance 14 kg/cm ²	Conductivité 0,09 W/m °C	Retrait % 0,14
				1/6	480	21,5		
	- Enduits ciment, plâtre	0,1 - 1,5 0,6 - 10 0 - 1,5	60 - 120 80 - 100 50 - 100	1/5	560	34	à	à
				1/4	640	47,5	0,14	0,20
				1 kg/5 l 1/1,5 < 5 % en poids	600 - 700	60	0,08 - 0,2 0,18	0,1
Préfa. plâtre, bitume, silicate Na (+ Na ₂ SiF ₆)	0,1 - 3 0,1 - 3	55 - 65 80 - 120 80 - 120	160 l/200 kg	300 - 400	4 - 6	0,1		
			170 l/180 kg 20 kg	250 - 350	7 - 10	0,08		
Horticulture			100 - 130		Forte porosité à l'eau et à l'air, grande inertie chimique			
Filtration		70 à 80 %	110 - 200 (dans le filtre)		Filtre de gros débits, sans clarification			
		< 0,08	50 - 80 (à sec)					
Charges	- peinture - détergent - boues de forage - absorbant - abrasifs - emballage - additifs	- 0,1 - < 0,1 - 0,010	110 - 120					
		35 à 65 % < 0,300	40 - 100					
Cryogénie		0,06 - 0,8	30 - 65		Ininflammable, facilité de manutention, faible force de rétention de l'humidité			
Réfractaires			100 - 150					
Fonderie			32 - 64					

Tabl. 4 - Tableau synthétique des principales utilisations de la perlite et caractéristiques physiques correspondantes.

<u>Maximum cumulative % retained by weight</u>																								
Sieve size (μm)	US Standard Sieve No.	<u>Fines</u>				<u>Plaster</u>				<u>Plaster concrete</u>				<u>Concrete</u>		<u>Loose fill insulation Horticultural and Foundry applications</u>								
		10	20	30	40	5	10	15	20	3	4	5	6	7	8	9	10	15	25	5	10	14	15	45
2500	8																			5	10	14	15	45
1800	12									3	3	8	8	10	15	25			15	20	40	75	90	
1250	16									16	16	28	28						45	50	75	95	100	
900	20					5	5	9	9	40	40	55	55	65	75	80			85	85	95	100		
600	30					10	18	30	30	80	96	87	97	90	95	97			98	95	100			
300	50	15	30	60	75	85	75	95		100	100	100	100	100	100	100								
150	100	10	80	90	98	95	100	100	100															
75	200	40																						
<u>Typical cumulative % retained by weight</u>																								
Sieve size (μm)	US Standard Sieve No.	<u>Fines</u>				<u>Plaster</u>				<u>Plaster concrete</u>				<u>Concrete</u>		<u>Loose fill insulation Horticultural and Foundry applications</u>								
		5	10	20	40	3	5	6	6	2	2	4	4	5	10	20	2	5	7	10	30			
2500	8																	2						
1800	12																	8	10	30	55	80		
1250	16									2	2	4	4	5	10	20			35	40	70	88	95	
900	20					3	3	6	6	12	12	20	20						77	75	85	95		
600	30					5	14	14	25	35	35	45	45	58	67	72			95	88	95			
300	50	7	22	53	65	77	70	85		75	89	80	91	85	90	92								
150	100	5	60	80	88	90	97	95	95	96	98	97	98	97	97	98								
75	200	27																						

Tabl. 5 – Spécifications relatives à la granulométrie de la perlite crue en fonction des applications (d'après Roskill Information Services Ltd, London, 1981).

Typical Gradings

Grade	Sieve Size (microns)	% by weight Passing	Range of Densities	Average Poured Bulk Density		Average volume m ³ /t	
				kg/m ³	lb/ft ³		
Superfine	1200	95-100)	40-100 kg/m ³ (2½-6½ lb/ft ³)	60	3	21	Oil Absorbent
	600	75-95)					Cryogenic insulation
	300	35-65)					Insulation boards
	150	15-35)					Fillers
Fine	1200	85-100)	40-120 kg/m ³ (2½-7½ lb/ft ³)	50	3	21	Fillers for plastics
	600	40-60)					Chimney lining mixes
	300	15-35)					Spray textured finishes
	150	5-20)					General insulation for hot and cold applications Horticulture
Standard	2400	90-100)	90-150 kg/m ³ (5½-9½ lb/ft ³)	110	7	9	Ceiling panels and wallboards
	1200	65-85)					Refractory materials
	600	30-50)					Lightweight plasters
	300	15-25)					Lightweight mortars
	150	5-15)					
Coarse	4750	95-100)	100-180 kg/m ³ (6½-11½ lb/ft ³)				Bituminous roof screeds
	2400	75-95)					Horticulture
	1200	45-65)					Loose fill insulation
	600	25-40)					Lightweight insulating concrete
	300	10-25)					
Super Coarse	4750	90-100)	100-150 kg/m ³ (6½-9½ lb/ft ³)				Fireplace manufacture
	2400	55-80)					Loose fill insulation
	1200	25-50)					Horticulture
	600	15-30)					
	300	0-20)					

Tabl. 6 – Spécifications relatives à la granulométrie de la perlite expansée en fonction des utilisations (d'après Roskill Information Services Ltd, London, 1981).

	<u>lb/cu. ft</u>	<u>kg/cu.m</u>
Floor fill	60-80	960-1280
Structural lightweight concrete aggregate	28-55	448-880
Fertiliser	24-28	380-448
Roof screed	20-24	320-380
Lightweight aggregate for portland cement	20-40	320-640
Powder for fire fighting extinguishers	20-40	320-640
Loose fill insulation, insulation boards	7.5-1.5	120-240
Fillers	7-12	112-192
Dense filter media	7-12	112-192
Plaster mix, plaster aggregate, concrete aggregate	7.5-8.5	120-136
Masonry and cavity fill insulation	6	96
Horticultural applications	6-8	96-128
Roof insulation board	4	64
Formed products	3.5	56
Cryogenic grades	2-15	32-240
Low temperature cryogenic insulation	2-4	32-64
Low density filter media	2-4	32-64
Thermal and acoustic insulants	2-4	32-64
Scouring agents, cleansers	2-4	32-64
Foundry facing sands	2-4	32-64
Low density fillers and extenders	2-4	32-64

Tabl. 7 – Densité de la perlite expansée « non tassée » (DNT) requise suivant les principales applications (d'après Roskill Information Services ltd., London, 1981.

3.1.2. Spécifications industrielles

Dans ce secteur, les spécifications ont été définies par l'« American Society for Testing and Materials » (ASTM).

a) Enduits (ASTM C-35-67)

- Granulométrie

Dimension de maille du tamis	% en volume du refus sur tamis	
	Maximum	Minimum
N° 4 (4,760 mm)	0	-
N° 8 (2,380 mm)	5	0
N° 16 (1,190 mm)	60	5
N° 30 (0,590 mm)	95	45
N° 50 (0,297 mm)	98	75
N° 100 (0,149 mm)	100	88

- Densité : 55 à 120 kg/m³

b) Bétons isolants légers (ASTM C-332-66)

- Granulométrie

Dimension de maille du tamis	% en volume du refus sur tamis	
	Maximum	Minimum
N° 4 (4,760 mm)	-	-
N° 8 (2,380 mm)	15	-
N° 16 (1,190 mm)	60	15
N° 30 (0,590 mm)	80	40
N° 50 (0,297 mm)	95	75
N° 100 (0,149 mm)	100	90

- Densité : 120 à 136 kg/m³

3.2. SECTEUR DE L'HORTICULTURE

3.2.1. Principales utilisations

La perlite est utilisée comme conditionneur de sols, qu'ils soient essentiellement sableux ou argileux : pelouses, terrains de sport, terrains de golf..., utilisée seule ou mélangée à de la tourbe ou du compost.

Elle est également utilisée mélangée à de la tourbe en diverses proportions pour la multiplication des plantes par semis ou par bouturage. Elle empêche le dessèchement des tourbes dont la réhumectation est difficile. Pour les semis, un mélange typique est composé de 15 % de perlite fine (0-2 mm) et 85 % de tourbe.

Pour la culture des plantes en pots ou en containers, des mélanges de perlite, de tourbe et de terre, ou des mélanges sans terre contenant de la perlite, de la tourbe et un composé de matériaux fertilisants sont généralement utilisés. Pour les plantes d'appartement, un mélange typique est composé de perlite de 2-5 mm et de 75 % de tourbe.

Dans la culture des plantes hors sol, l'utilisation de la perlite donne de meilleurs rendements qu'avec les autres supports, notamment la laine de roche.

De la perlite est également utilisée pour le stockage au sec ou l'expédition des bulbes et boutures. En revanche, on utilise de la perlite humide comme support de fleurs coupées dans les compositions florales.

En outre, elle sert de support aux agents fertilisants, aux pesticides et aux herbicides.

3.2.2. Spécifications industrielles

Dans ce secteur, les spécifications ont été définies par le « National Bureau of Standards » (NBS).

- Granulométrie

Dimension de maille du tamis	% en volume du refus sur tamis	
	Maximum	Minimum
3/8 inch (9,52 mm)	0,0	-
N° 8 (2,380 mm)	-	20,0
N° 20 (0,850 mm)	-	80,0
N° 100 (0,149 mm)	-	97,0

- Densité : 100 à 130 kg/m³
- pH compris entre 6,0 et 8,0
- Absence totale de bactéries ou de champignons

3.3. SECTEUR DE LA FILTRATION

3.3.1. Principales utilisations

La perlite qualité filtration est obtenue par broyage ménagé de la perlite expansée pour libérer les cavités, et par aéroclassification. La perlite forme un gâteau filtrant incompressible qui retient les solides avant leur arrivée sur le support du filtre (toile, grille...). La perlite est appréciée lorsque l'on recherche une filtration grossière avec des débits élevés (proportionnels à la granularité).

Filtration basse pression : eau, bière, jus de fruits, huiles, résines.

Filtration haute pression : huiles, sucre, produits pharmaceutiques.

Filtration très haute pression : ultrafiltration.

3.3.2. Spécifications industrielles

Les spécifications sont très variables suivant le type de filtration, les substances à filtrer et les caractéristiques finales recherchées. A titre indicatif, les perlites commercialisées sous l'appellation « Dicalite » ont, suivant les qualités, une granularité moyenne comprise entre 3,9 μm et 15 μm , et un taux de circulation du flux respectivement de 130 à 1 325. Les densités des gâteaux correspondant à ces différentes qualités ne sont pas en relation directe avec la granularité des particules ou le taux de circulation du flux ; elles varient entre 240 et 336 kg/m^3 .

3.4. SECTEUR DES MINÉRAUX DE CHARGE

3.4.1. Principales utilisations

Dans ce secteur, les utilisations mettent surtout à profit la dureté de la perlite, sa faible densité et sa blancheur de 80 à 85 %.

Elle est utilisée comme charge ou comme agent de texture dans les peintures (la perlite peut représenter 4 % du poids mais 75 % du volume), les papiers peints, le mastic, les résines, les plastiques, le caoutchouc (Royaume-Uni). On l'utilise également dans les gommes naturelles ou synthétiques, les produits de polissage, les détergents, les adhésifs, les matériaux pour la confection des joints... Elle allège les boues de forage et permet le colmatage des trous (diamètre moyen des particules : environ 10 μm).

3.4.2. Spécifications industrielles

Dans ce secteur, et suivant les applications, la perlite expansée est utilisée soit telle quelle, en particules bulleuses, soit sous forme de poudre de particules perlitiques brisées, obtenue par broyage. Les spécifications concernant la granulométrie sont donc très variées.

A titre indicatif, la dimension des particules est d'environ 0,1 mm pour les peintures, et inférieure à 0,1 mm pour les détergents. La densité de la perlite utilisée est d'environ 100-180 kg/m^3 pour certaines applications (perlite grossière de granularité comprise entre 4,750 mm et 0,300 mm), mais elle n'est généralement que de 40 à 100 kg/m^3 pour les perlites ultrafines (granularité comprise entre 1 et 300 μm).

3.5. SECTEUR DE LA CRYOGÉNIE

La perlite est utilisée dans le stockage cryogénique (< -100° C) de l'oxygène, hydrogène, azote, hélium, méthane, propane, éthylène et ammoniaque, et pour le transport dans les méthaniers (consommation de perlite en baisse dans cette dernière utilisation à cause de l'arrêt de la fabrication de méthaniers).

En isolation cryogénique, la perlite a généralement une granulométrie comprise entre 0,06 et 0,8 mm et une densité libre (DNT) de 30 à 65 kg/m³.

3.6. SECTEUR DES RÉFRACTAIRES ET DE LA FONDERIE

L'utilisation de la perlite dans la fabrication de produits réfractaires est assez mineure mais peut s'accroître dans les prochaines années, en particulier dans la fabrication de bétons et ciments isolants, de blocs et de briques réfractaires, pour l'isolation de chaudières, d'incinérateurs et de fours industriels.

En fonderie, l'ajout de perlite au sable utilisé pour la fabrication des moules diminue la vitesse de refroidissement des cubilots, lingots et coulées et, de ce fait, réduit les défauts de fabrication.

De la perlite expansée ou crue, de granularité grossière, est aussi utilisée pour couvrir le métal en fusion afin de réduire les déperditions de chaleur avant les coulées. Dans de nombreuses fonderies d'acier, on utilise de la perlite pour coaguler le laitier à la surface du métal avant de verser ce dernier dans le moule.

Pour les moules de fonderie, la densité libre de la perlite expansée est généralement comprise entre 32 et 64 kg/m³ ; pour la fabrication de réfractaires, elle est de 100 à 150 kg/m³.

3.7. INDUSTRIES DU VERRE ET DES CÉRAMIQUES

Dans certains pays, des quantités de plus en plus importantes de perlite crue, simplement broyée, sont utilisées à la place du feldspath pour la fabrication de produits céramiques et de leur glaçure, et pour la fabrication du verre teinté. En Hongrie, par exemple, les fines de broyage de la perlite crue sont utilisées pour la fabrication du verre de teinte verte.

3.8. ABSORPTION DES HUILES ET DES GRAISSES

Bon absorbant de graisse, la perlite est utilisée dans la résorption des marées noires (formation d'une masse élastique récupérable), l'absorption d'huiles et de graisses dans certains ateliers et sites industriels, notamment dans les garages d'automobiles. Elle entre également dans la composition de certaines pâtes ou savons utilisés par les travailleurs manuels.

Dans les emballages légers de produits liquides dangereux, la perlite absorbe les polluants en cas de fuite.

3.9. SECTEUR DES ABRASIFS

Moyennement abrasive, la perlite est utilisée dans la fabrication de gommes, de produits nettoyants, d'agents polisseurs, de pâte dentifrice...

De même, dans l'industrie textile, de nombreux fabricants utilisent la perlite à la place de la ponce pour assouplir certains textiles, la ponce étant beaucoup plus agressive sur les équipements.

3.10. SECTEUR DE L'ÉLEVAGE

Ajoutée à l'alimentation du bétail, des porcs et de la volaille, la perlite augmente sa digestibilité ; c'est un agent anti-coagulant qui améliore la fluidité des aliments secs des animaux d'élevage. Elle réduit également le taux de moisissure de ces aliments.

Dans l'alimentation des volailles, l'adjonction de perlite augmente la densité et l'épaisseur des coquilles d'œufs, ainsi que la blancheur et la faible teneur en graisse de la viande.

Dans les traitements vétérinaires, les propriétés d'absorption de la perlite sont mises à profit en tant que support de produits pharmaceutiques ou de vitamines ingérables par les animaux.

Dans les élevages de volaille, la perlite est utilisée pour désodoriser les bâtiments, tout en augmentant le contenu nutritif de la litière et en diminuant son taux de moisissure. Il en résulte une réduction des coûts d'énergie pour la ventilation et une augmentation de la valeur du fumier.

En aquaculture, la perlite peut être utilisée comme écran biologique dans l'eau, en lui enlevant l'ammoniaque et les micro-organismes qu'elle renferme. En outre, elle peut être ajoutée aux boulettes de nourriture pour les aider à flotter.

3.11. MATIÈRE PREMIÈRE POUR LA FABRICATION DE MATÉRIAUX DE SYNTHÈSE

La composition chimique de la perlite peut être mise à profit pour la fabrication de zéolites de synthèse, de silicate de calcium, de fibres et d'électrodes. Dans les procédés de fabrication, ce sont les teneurs de la perlite en silice, alumine et alcalis qui sont les plus importantes.

3.12. RÉGLEMENTATION FRANÇAISE RELATIVE À LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS EXPOSÉS À L'INHALATION DE POUSSIÈRES SILICEUSES SUR LEURS LIEUX DE TRAVAIL

D'une manière générale, les perlites crues peuvent renfermer moins de 1 à 5 % de silice libre cristalline, sous forme de quartz α ou β et plus accessoirement sous forme de cristobalite ou de tridymite, une partie de celle-ci pouvant se retrouver dans la perlite expansée.

Lors des opérations d'exploitation en carrière, de transport, de traitement en usine et de mise en œuvre du matériau, une partie de cette silice libre cristalline peut se trouver sous forme de poussières alvéolaires d'un diamètre inférieur à 10 μm , inhalables par les

travailleurs. Dans certaines conditions, elles peuvent présenter un danger pour la santé de ces derniers (risque de silicose).

La concentration en silice libre cristalline des poussières alvéolaires de l'atmosphère inhalables par les travailleurs dépend de plusieurs facteurs, tels la zone géographique de travail (poste de travail) de l'employé, en carrière ou en usine de traitement, le temps d'exposition journalier, la friabilité et la granulométrie des matériaux, les installations de traitement et de dépoussiérage, les conditions atmosphériques (vent, courants d'air)...

En France, actuellement, les conditions de contrôle des émissions de poussières, de dosage des poussières alvéolaires siliceuses (teneur en quartz > 1 %) et de travail dans les milieux empoussiérés des carrières sont réglementées par le titre « empoussiérage » du règlement général des Industries extractives (décret n° 94-784 du 2 septembre 1994, du ministère de l'Industrie), et d'une manière plus générale, « dans les lieux de travail où le personnel est exposé à l'inhalation de poussières contenant de la silice libre cristalline, naturelle ou synthétique », par le décret n° 97-331 du 10 avril 1997 et l'arrêté du 10 avril 1997 du ministère du Travail et des Affaires sociales. Pour le détail de cette réglementation, on se référera à ces deux documents.

4. Panorama mondial de la production de perlite

4.1. DONNÉES GÉNÉRALES

4.1.1. Préambule sur l'information traitée et ses sources

Les données chiffrées font référence à des moyens de classement qui sont loin d'être respectés ou homogènes, faute de précision. Les distinctions faites dans les statistiques américaines sont données ci-dessous à titre de référence, sachant qu'à l'échelle mondiale les chiffres de production mélangent minerai cru, minerai traité, et minerai criblé.

Phase amont	Minerai extrait /ou abattu « Mined ore »	
Phase intermédiaire à minerai cru : « crude ore » ou « unexpanded perlite »	Minerai broyé et criblé « Screened ore »	Expansé sur place Vendu à expanseurs
	Minerai traité : broyé-criblé-mélangé « Processed ore »	Expansé sur place Vendu à expanseurs
Phase aval	Perlite expansée « Expanded perlite »	

Les Américains retiennent dans leurs statistiques de production la quantité de « processed ore ». Celle-ci est en général inférieure de 13 à 18 % à celle du « mined ore », tandis qu'elle est très peu différente de la quantité d'« expanded perlite » produite.

Les données disponibles de production de perlite reflètent non seulement les imprécisions ci-dessus, mais la méconnaissance de la production industrielle pour nombre de pays, de raisons diverses et connues. Ce problème s'aggrave quand il s'agit de pays dont le poids relatif est important, comme la Grèce, la Chine ou la Turquie. Enfin, certains pays ne suivent pas l'année civile, et sont étalonnés sur leur année financière (Australie, Inde, Iran, Japon).

Les sources d'information utilisées sont les sources officielles ou privées citées ci-dessous. L'USGS étant une référence incontournable, le calcul de la production mondiale a tenu compte de la comparaison de cette source américaine avec un « panel » constitué des autres sources (parfois déjà pondéré avec les chiffres de l'USGS), ou par une autre source unique. Toutefois, l'information de l'USGS sur certains pays et/ou sur les années 1991-1993 faisant défaut, la copie de l'autre panel d'information dans ces cas (chiffres en italique) a permis d'obtenir un total USGS approché et une comparaison possible au final.

Mémento roches et minéraux industriels - La perlite

Unité : kt	sources	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	part % sur 1998
Afrique du Sud	USGS	0,1	0,1	0,3	0,9	1,3	0,7	0,4	0,4	0,4	0,0
	autres sources	0,1	0,1	0,3	0,9	1,3	0,7	0,4	0,5		0,0
Argentine	USGS	25,2	16,5	9,4	21,2	20,1	21,5	27,6	25,0		1,1
	DEMD	25,2	16,5	9,4	21,2	20,1	21,5	27,6	25,0		0,9
Arménie	USGS	220,0	216,0	48,0	5,0	6,0	6,0	6,0	35,0	35,0	1,5
	autres sources	220,0	216,0	48,0	24,0	24,0	24,0	24,0	35,0		1,3
Australie	USGS	2,6	3,4	4,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,2
	autres sources	2,6	3,4	4,2	4,1	6,2	5,0	5,0	5,0		0,2
Bulgarie	USGS	20,0	20,0	25,0	25,0	32,5	25,5	22,5	22,5		1,0
	autres sources	20,0	20,0	25,0	25,0	32,5	25,5	22,5	22,5		0,8
Chine	USGS	300,0	250,0	300,0	300,0	300,0	350,0	370,0	400,0		17,3
	autres sources	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0		11,1
Etats Unis	USGS - traitée	514,0	541,0	569,0	644,0	700,0	684,0	706,0	685,0	711,0	29,7
	autres sources	514,0	541,0	569,0	644,0	700,0	684,0	706,0	685,0		25,4
Géorgie	USGS	6,0	6,0	6,0	6,0	3,6	2,4	2,4	2,4		0,1
	autres sources	6,0	6,0	6,0	6,0	3,6	2,4	2,4	2,4		0,1
Grèce	USGS - criblée	286,0	398,4	350,0	372,0	431,0	417,9	500,1	425,0	500,0	18,4
	SSN - MIET	655,9	505,3	548,6	468,7	565,5	460,0	690,0	690,0		25,6
Hongrie	USGS	106,6	83,0	80,0	85,0	151,0	110,0	120,0	130,0	100,0	5,6
	autres sources	106,6	83,0	80,0	85,0	151,0	150,0	150,0	150,0		5,6
Inde	USGS	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5		0,0
	autres sources	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5		0,0
Iran	USGS	6,3	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,3
	autres sources	6,3	5,0	5,0	0,4	1,3	2,0	2,0	2,0		0,1
Italie	USGS	70,0	65,0	65,0	65,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	2,6
	autres sources	70,0	65,0	65,0	65,0	60,0	60,0	60,0	60,0		2,2
Japon	USGS	203,0	77,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	8,7
	autres sources	203,0	203,0	263,3	268,8	275,6	304,3	288,0	245,0		9,1
Maroc	USGS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	50,0		2,2
	autres sources	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	50,0		1,9
Mexique	USGS	48,9	42,6	34,6	31,9	33,5	37,4	51,8	54,8	55,0	2,4
	autres sources	48,9	42,6	34,6	31,9	33,5	37,4	51,8	55,0		2,0
N ^{elle} Zelande	USGS	1,7	2,0	0,8	1,0	1,8	1,9	2,0	2,0		0,1
	autres sources	1,7	2,0	0,8	1,0	1,8	1,9	2,0	2,0		0,1
Philippines	USGS	2,9	2,8	19,8	20,0	17,1	20,0	20,0	20,0	20,0	0,9
	autres sources	2,9	2,8	19,8	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0		0,7
Russie	USGS	120,0	126,0	78,0	42,0	30,0	24,0	24,0	24,0		1,0
	autres sources	120,0	126,0	78,0	42,0	30,0	24,0	24,0	24,0		0,9
Slovaquie	USGS	40,7	40,0	22,0	50,0	21,8	25,2	25,0	24,0	25,0	1,0
	autres sources	40,7	40,0	22,0	18,9	18,2	25,2	25,0	25,0		0,9
Thaïlande	USGS					1,1	1,2	0,7	1,0		0,0
	autres sources					1,1	1,2	0,7	1,0		0,0
Turquie	USGS	133,9	280,8	147,9	164,6	171,0	157,6	103,4	124,3	130,0	5,4
	autres sources	133,9	192,5	178,0	186,0	223,3	206,0	280,0	280,0		10,4
Ukraine	USGS	48,0	48,0	24,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0		0,5
	autres sources	48,0	48,0	24,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0		0,4
total mondial annuel	USGS	2 156,0	2 223,8	1 989,3	2 056,9	2 205,3	2 168,6	2 316,6	2 308,9	1 847,4	100,0
	autres sources	2 525,9	2 418,4	2 281,3	2 225,2	2 481,5	2 367,4	2 745,1	2 691,9	0,0	100,0
	moyenne	2 341,0	2 321,1	2 135,3	2 141,1	2 343,4	2 268,0	2 530,9	2 500,4		
	progression		-0,8	-8,0	0,3	9,5	-3,2	11,6	-1,2		
dont zone Europe	USGS	1 051,2	1 283,2	845,9	826,6	918,9	840,6	926,6	909,2	850,0	39,4
	autres sources	1 421,1	1 301,8	1 074,6	932,6	1 120,1	989,1	1 341,1	1 350,9	0,0	50,2
dont zone circum Pacifique	USGS	1 104,8	940,6	1 143,4	1 230,3	1 286,4	1 328,0	1 390,0	1 399,7	997,4	60,6
	autres sources	1 104,8	1 116,6	1 206,7	1 292,6	1 361,4	1 378,3	1 404,0	1 341,0	0,0	49,8

Cases roses pour les pays producteurs du groupe 1, jaunes pour les pays producteurs du groupe 2, bleues pour les totaux ; cases vertes pour les données des pays de l'Est encore intégrés à l'ex-URSS, ou avant sa séparation pour la Slovaquie, et chiffres extrapolés en italiques

Tabl. 8 - Evolution de 1991 à 1999 de la production mondiale de perlite crue incluant les 23 principaux pays producteurs.

Sources d'information utilisées :

Etats-Unis :	Geological Survey
Afrique du Sud :	Department of Minerals and Energy
Argentine :	Dirección de Economía Minera y Desarrollo
Australie :	Statistics of Queensland Government Mining Journal
Grèce :	Service Statistique National et ministère de l'Industrie-Energie-Technologie
Inde :	Bureau of Mines
Russie :	Comité d'Etat des Statistiques et Comité Inter-états des données des pays de la CEI
Arménie, Géorgie :	idem Russie
Professionnels :	Roskill Metals and Minerals Annual Review

4.1.2. Production mondiale

Le tableau présentant la production mondiale de perlite non expansée de 1991 à 1999, tient compte des 23 pays qui participent à la quasi-totalité de cette production (tabl. 8). Les chiffres de 1999 sont très incomplets, aussi les parts de production ont-elles été calculées sur l'année 1998. Les données annuelles à retenir sont les moyennes des deux sources d'information, tandis que la production mondiale a été scindée en deux grands groupes permettant de comparer une zone « européenne » (empiétant sur la bordure ouest-asiatique et nord-africaine), et une zone dite « circum Pacifique » au sens large.

La production mondiale s'est établie à 2,5 Mt en 1998 (milieu de fourchette 2,309-2,692 Mt), soit en baisse de 1,2 % sur l'année 1997, et en hausse de 6,8 % sur l'année 1991. L'irrégularité manifeste de l'évolution de la production est aussi liée aux événements politiques. En 1993, on note une baisse de 8 %, due à la chute de la production arménienne. En 1995, la hausse de 9,5 % est justifiée par les augmentations de production en Grèce, USA, Turquie, tandis qu'en 1997, la hausse de 11,6 % est au compte de la Grèce, des USA, et du Maroc qui fait son apparition sur le marché. On note en 1994 la bascule entre les deux grandes zones distinguées : de poids équivalents jusqu'à 1993, leur équilibre est rompu en 1994 par la baisse de la zone Europe en raison des chutes de production dans les ex-pays de l'URSS.

Le classement par rangs de taille des pays producteurs fait ressortir trois grands groupes. Les deux premiers sont détaillés dans le tableau 9 :

- le groupe 1 rassemble six pays qui totalisent 86,3 % de la production mondiale ;
- le groupe 2 rassemble neuf pays pour seulement 12,6 % du total ;
- le groupe 3 est formé du restant des 23 pays cités, pour environ 1 % du total.

La figure 10 donne la répartition de la production mondiale en 1998, dont les Etats-Unis et la Grèce assurent la moitié du tonnage à eux seuls.

Groupe 1			Groupe 2		
	Production unité : kt	% Part mondiale		Production unité : kt	% Part mondiale
Etats Unis	685	27,6	Italie	60	2,4
Grèce	558	22,0	Mexique	55	2,2
Chine	350	14,2	Maroc	50	2,1
Japon	223	8,9	Arménie	35	1,4
Turquie	202	7,9	Argentine	25	1,0
Hongrie	140	5,6	Slovaquie	25	0,9
			Russie	24	0,9
			Bulgarie	23	0,9
			Philippines	20	0,8
total Gr.1	2158	86,3	total Gr.2	316	12,6
total Gr.3 (les autres)	26	1,1	total mondial	2500	100,0

Tabl. 9 - Production mondiale de perlite crue en 1998 - Détaillée pour les 15 plus grands pays producteurs.

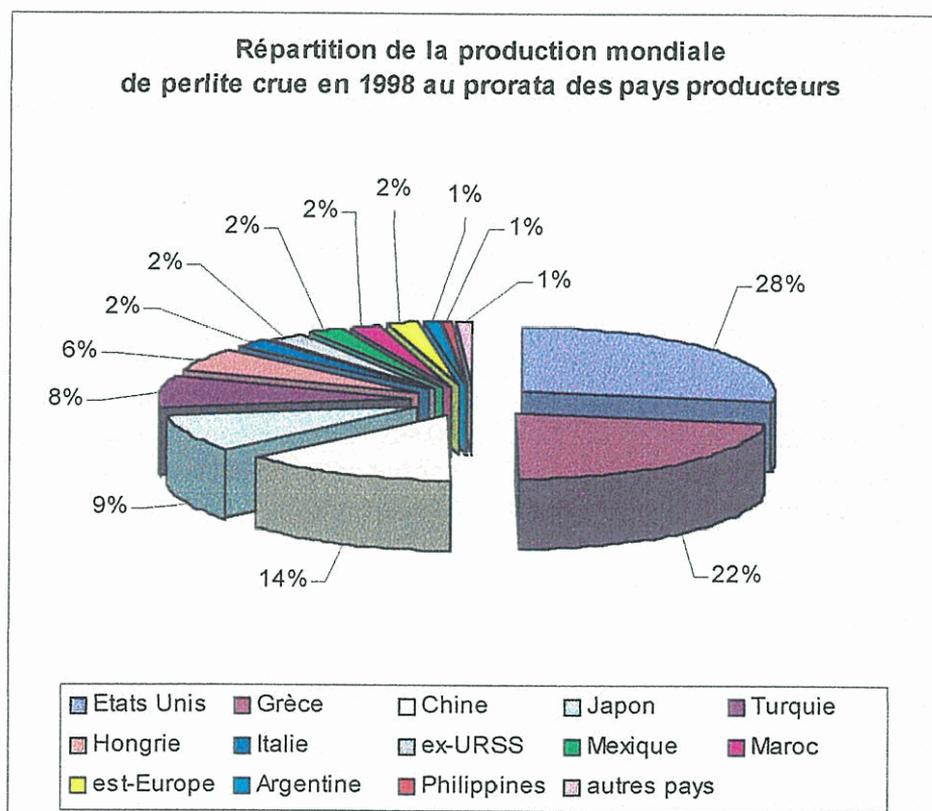


Fig. 10 - Répartition de la production mondiale de perlite crue en 1998 au prorata des pays producteurs.

4.1.3. Réserves mondiales

Les réserves mondiales de perlite sont particulièrement difficiles à estimer, car en plus de l'insuffisance de données, la plus grande confusion existe dans la notion de réserves et de ressources dans les informations disponibles. Il semble qu'une simplification devrait permettre de distinguer seulement, comme le fait l'USGS :

- les réserves, dans le sens de volumes économiques disponibles à court terme ; le sens est large, au-delà des quantifications précises permettant aux exploitants de gérer sur un an ou quelques années (ou sur des gisements précis évalués) ;
- les ressources, dans le sens de volumes identifiés présentant en grand les caractéristiques recherchées, à partir des données géologiques et économiques en cours au moment de l'estimation.

Les réserves et ressources mondiales ont été collationnées telles quelles dans l'information disponible la plus récente (tabl. 10). Sur les réserves, en dépit de manques concernant l'Asie, le continent américain et l'Australie, on obtient le total de 873 Mt. Sur les ressources, les données sont rares et parfois élastiques : ainsi l'absence de chiffre pour la Chine, la sous-estimation probable aux Etats-Unis, et le chiffre à 4 000 Mt cité pour la Turquie ; aussi le résultat est-il à considérer sereinement. L'USGS cite les chiffres de 700 Mt en « réserve », et 2 000 Mt en « ressources » au niveau mondial. Dans les deux hypothèses, cela signifie des siècles de production au rythme actuel.

Unité : kt	Réserves	Part % réserves	Ressources
Afrique du Sud			3 000
Arménie			170 000
Australie			
Bulgarie	10 000	1,1	
CEI	280 000	32,1	
Chine	260 000	29,8	
Etats-Unis	50 000	5,7	200 000
Grèce	50 000	5,7	1 300 000
Hongrie	9 000	1,0	
Italie	9 000	1,0	
Japon	32 000	3,7	
Maroc	2 000	0,2	40 000
Mexique	9 000	1,0	
Nouvelle Zélande			23 000
Royaume Uni	10 000	1,1	
Slovaquie	5 000	0,6	
Turquie	30 000	3,4	4 000 000
Reste Amériques			
Reste Asie			
Reste Europe	117 000	13,4	
Total réserves - ressources	873 000	100,0	5 736 000

Tabl. 10 - Etat des réserves mondiales de perlite estimé en 2000.

Mémento roches et minéraux industriels - La perlite

Unité de masse : kt	Perlite traitée produite	Perlite expansée produite	Perlite expansée vendue	Valeur en US\$	Valeur moyenne par tonne
Californie		46,3	46,7	12 900 000	276
Floride		38,1	34,3	8 990 000	262
Michigan		28,9	28,9	5 900 000	204
Mississippi		83,7	83,7	9 320 000	111
Pennsylvanie		57,2	57,2	10 700 000	187
Autres Etats		445,8	444,2	95 190 000	214
Total prod.1997	706,0	700,0	695,0	143 000 000	206
Imports	135,0				
Exports	38,0				
Consom. apparente	803,0				
Californie		44,7	44,3	11 600 000	262
Floride		30,8	30,3	8 090 000	267
Michigan		26,6	27,9	5 440 000	195
Mississippi		129,0	129,0	14 500 000	112
Pennsylvanie		47,8	47,8	9 040 000	189
Autres Etats		459,1	456,7	99 330 000	217
Total prod.1998	685,0	738,0	736,0	148 000 000	201
Imports	150,0				
Exports	42,0				
Consom. apparente	793,0				
Californie		29,3	29,0	9 600 000	331
Floride		34,3	33,1	8 900 000	269
Michigan		24,9	24,9	5 310 000	213
Mississippi		136,0	136,0	16 200 000	119
Pennsylvanie		46,8	46,8	8 770 000	187
Autres Etats		459,7	459,2	99 220 000	216
Total prod.1999	711,0	731,0	729,0	148 000 000	203
Imports	152,0				
Exports	42,0				
Consom. Apparente	821,0				

Tabl. 11 - Production et flux de perlite aux Etats-Unis de 1997 à 1999.

4.2. PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS

Un résumé des activités de production et de marché de la perlite par pays est donné ci-après, par ordre d'importance décroissant. Les sept premiers pays producteurs sont détaillés (groupe 1 et l'Italie, premier pays du groupe 2), les autres sont traités par groupe.

4.2.1. Etats-Unis

Les Etats-Unis d'Amérique sont le premier producteur mondial de perlite crue (27,6 % en 1998), et le premier consommateur aussi : en 1998, la production a atteint 0,685 Mt, et la consommation 0,793 Mt, grâce à l'importation de 0,150 Mt, dont 0,128 Mt en provenance de Grèce dont la confédération est un des deux premiers acheteurs. De 1991 à 1998, la tendance de la production a été à l'augmentation, avec une hausse plus forte en 1994 et 1995 (13 % et 9 %), et un palier depuis 1996. Les principaux éléments du marché pour les années 1997 à 1999 sont présentés dans le tableau 11. Les chiffres marquent une certaine stabilité sur tous les plans (production de minerai cru, import, export, production de perlite expansée, consommation apparente), mais avec un petit signe de reprise en 1999 (chiffres à consolider).

Les principaux états producteurs sont : le Nouveau Mexique, le Nevada, la Californie, l'Arizona, l'Idaho, l'Utah, le Colorado et l'Oregon (fig. 11). Les gisements sont associés à un volcanisme rhyolitique d'âge tertiaire qui se manifeste en coulées et dômes. Au Nouveau Mexique, les principaux gisements sont localisés dans le district de No Agua, qui renferme les plus fortes réserves connues des pays occidentaux. Au Nevada, les gisements sont situés dans le Nord-Ouest, Comté de Pershing, et dans le Sud-Est, Comté de Lincoln. En Arizona, les gisements sont situés dans la région de Picketpost Mountain, Comté de Pinal. Dans les autres Etats, les gisements sont moins importants en nombre et en taille.

La revue par société, faite plus loin, permet d'établir une production globale virtuelle de 950 kt, excédentaire par rapport aux chiffres officiels de production brute de minerai (« mined ore »), qui sont de 820-830 kt ces dernières années.

Les principaux états où le produit est expansé (tabl. 11) sont le Mississippi, la Pennsylvanie, la Californie et la Floride. On notera que l'opération d'expansion, jusqu'en 1978 captée par les producteurs, a été de plus en plus assumée par des expanseurs - distributeurs des produits ; le basculement a été encore plus net à partir de 1994, pour aboutir aujourd'hui à 85 % de la production de perlite expansée assumés par les sociétés spécialisées.

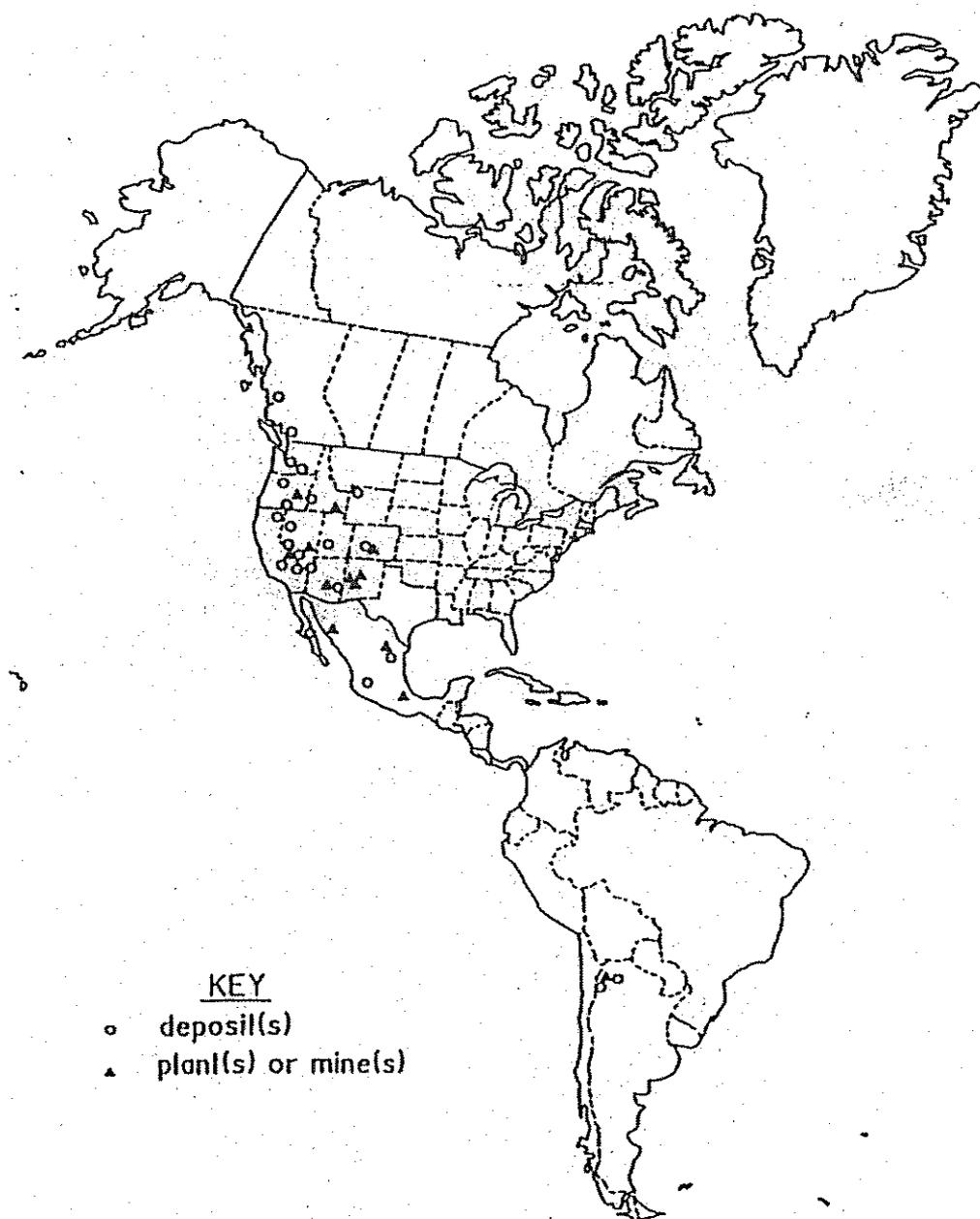


Fig. 11 - Localisation des gisements de perlite et des usines de traitement en Amérique (d'après Breese et Barker, 1994).

• **World Minerals Inc**

Basée à Santa Barbara, World Minerals Inc opère par ses filiales Europerlite et surtout Harborlite Corporation, implantée à Vicksburg (Michigan).

Harborlite exploite des gisements au Nouveau Mexique, en Arizona, et au Colorado. Au Nouveau Mexique, le gisement est situé dans le riche district de No Agua, et ses réserves sont estimées à plus de vingt années de production. En Arizona, la société exploite deux gisements dans le Comté de Pinal, dont le minerai est traité à Superior, puis expansé dans les usines de Green River (Wyoming), La Porte (Texas), Quincy (Floride), Youngsville (Caroline du Nord). Dans le Colorado, près d'Antonito, se situe la mine à plus forte capacité de production actuelle, avec 450 000 t/an ; l'unité de traitement en absorbe 70 %, pour produire sept qualités différentes de perlite crue. Le minerai est ensuite retraité en fonction des finalités des clients, puis acheminé par rail depuis Antonito.

A l'international, Harborlite a des intérêts en Turquie et au Mexique (cf. ci-dessous). Les activités d'Europerlite sont, soit limitées à des bureaux de transaction (France, Islande, Russie), soit couplées à des usines d'expansion : usine Perlite Italiana srl, près de Milan, et usine à Rubi, près de Barcelone.

• **Dicaperl Minerals Inc**

Dicaperl Minerals Inc est la filiale d'opération US pour la perlite de Grefco Minerals Inc., dont la holding Belmont Holdings Corp constitue la maison mère. Dicaperl exploite des gisements dans le district de No Agua (Nouveau Mexique). Le minerai produit est partiellement expansé par le groupe, soit directement par Dicaperl (Antonito-Colorado, Crawfordsville-Indiana), soit indirectement par l'autre filiale de Belmont, Chemrock Corporation (Nashville-Tennessee, Jacksonville-Floride, Thomaston-Maine, Lafayette-Indiana).

Le gisement d'El Grande, localisé à proximité de Tres Piedras, produit environ 200 000 t/an de minerai, qui est traité sur place et distribué par rail depuis Antonito, où une partie du minerai est expansé. La construction absorbe 80 % de la production.

Le deuxième gisement est situé près de Socorro, d'où 200 000 t/an sont extraites. Le minerai traité sur place fournit 8 à 10 qualités différentes, qui sont acheminées par rail depuis le centre de traitement vers les clients : la construction et l'horticulture en sont les principaux débouchés.

A l'international, l'opérateur Grefco a des intérêts au Mexique et en Arménie (cf. ci-dessous).

• **American Perlite Company**

Basée dans la vallée d'Owen (Californie), American Perlite Company exploite le gisement de Fish Springs situé dans le Comté d'Inyo. La production avoisine 40 000 t/an, dont 5 qualités sont tirées après traitement. Des sociétés filiales assurent le transport du minerai cru et son expansion qui se fait à North-Hollywood, d'où les produits sont commercialisés dans les filières construction, horticulture et divers.

• **Eagle-Picher Minerals Inc**

L'opérateur Eagle-Picher Minerals Inc exploite un gisement de perlite près de Lovelock (Nevada) d'où sont extraites annuellement de 7 à 8 000 t. Le traitement et l'expansion de la totalité sont réalisés à Lovelock, pour fournir une perlite utilisée en filtration. La société exporte vers l'Europe, l'Afrique et le Moyen-Orient grâce à ses accords avec les sociétés allemandes United Minerals GmbH and Co, et KG de Munster.

• **Idaho Minerals Inc**

La société Idaho Minerals Inc a été rachetée en juillet 1999 par Idaho Minerals LLC, filiale créée pour la circonstance par Inca Mining Corporation, à Moneta Porcupine Mines Inc. Le gisement de Wrights Creek est situé près de Pocatello (Idaho). Fermé au début des années 1990, et racheté par Moneta en 1996, les recherches entreprises avaient permis de trouver un nouveau stock représentant 22 Mt de réserves. La production avait démarré en 1997 (moins de 3 000 t) sur un projet de capacité portée à 90 000 t, le traitement étant réalisé sur place et l'expansion effectuée à Malad City. Inca, bien que diversifiée récemment dans les médias, entend redémarrer au plus vite la production.

• **Pearl Queen Perlite Corp**

Pearl Queen Perlite Corp est basée à Kaysville et exploite une mine de perlite avec son unité de traitement à Milford, Comté de Beaver (Utah). Les réserves sont estimées à 35 Mt. Démarré en 1998, le projet prévoyait la production de 90 000 t/an, mais des problèmes de qualité ont ralenti la croissance ; la production 1999 serait de 43 000 t. Le problème évoqué surmonté, la société cherche aujourd'hui à étendre ses ventes vers le Midwest et la côte Pacifique, facilitées par la situation de la mine à proximité du réseau ferroviaire principal reliant Salt Lake City à Las Vegas. La perlite commercialisée est utilisée dans toute la gamme de produits classiques.

• **Seven Peaks Mining Inc**

Basée à Pikeville (Kentucky), Seven Peaks Mining Inc a racheté début 1999 les droits sur le gisement de Tucker Hill qui est localisé à proximité de Lakeview, Comté de Lake (Oregon). Les réserves sont données pour 50 Mt, dont 4,9 Mt prouvées. Le gisement est entré en production en début d'année 1997 avec le précédent propriétaire, mais des difficultés l'ont conduit à vendre à Seven Peaks Mining Inc. La production actuelle est de 45 000 t/an, et son développement prévoit une augmentation de 70 %. Le débouché commercial principal est un industriel fabricant des plaques isolantes pour le bâtiment : Armstrong Industry.

• **USG Corporation**

La société USG Corporation exploite une mine dans l'état du Nouveau Mexique, à East Grants Ridge, Comté de Cibola. Elle vend toute sa production comme charges de plastiques, et achète des compléments sur le marché pour fournir ses usines d'expansion de Greenville (Mississippi) et Cloquet (Minnesota) qui servent à fabriquer des plaques isolantes pour le bâtiment.

• **Supreme Perlite**

Supreme Perlite exploite le gisement de Dooley Mountain, situé à l'est de Portland, Comté de Baker (Oregon). La qualité du matériau est spécialement intéressante dans les produits de construction. La société expanse une partie de sa production à son usine de Portland, qui traite également des minerais achetés ailleurs.

4.2.2. Grèce

La Grèce est depuis deux décennies le producteur mondial n° 2. Mais les sources d'informations donnent une très large fourchette de production (500 ou 690 kt en 1997, et 425 ou 690 kt en 1998). L'évolution de 1991 à 1996 se fait (moyennes) entre un plancher à 420 kt et un plafond à 500 kt ; à partir de 1997, une nette reprise a amené la production sur un palier à 560-590 kt.

La revue par société, faite plus loin, permet d'établir une production globale virtuelle de 615 kt, excédentaire par rapport à la moyenne de production établie à 560-600 kt ces dernières années par nos deux sources d'informations (fourchette des sources : 425 à 690 kt).

Le pays présente de grands épandages de volcanisme fini-Pliocène à fini-Pléistocène, riches en verres perlitiques. Les régions principales sont des îles égéennes : Milos, Kos, Yali, Khios, Kimalas, Nisiros, et la Thrace. L'île de Milos est actuellement le principal centre de production, avec ses gisements de Trachylas (Nord), et Provatas - Phyrptaka, Tsigrado, Buras mine (Sud) ; les ressources de l'île sont estimées à 1 070 Mt, dont 83 % pour la partie sud. La Grèce compte aujourd'hui trois producteurs, dont un mastodonte, n° 1 mondial de l'exportation.

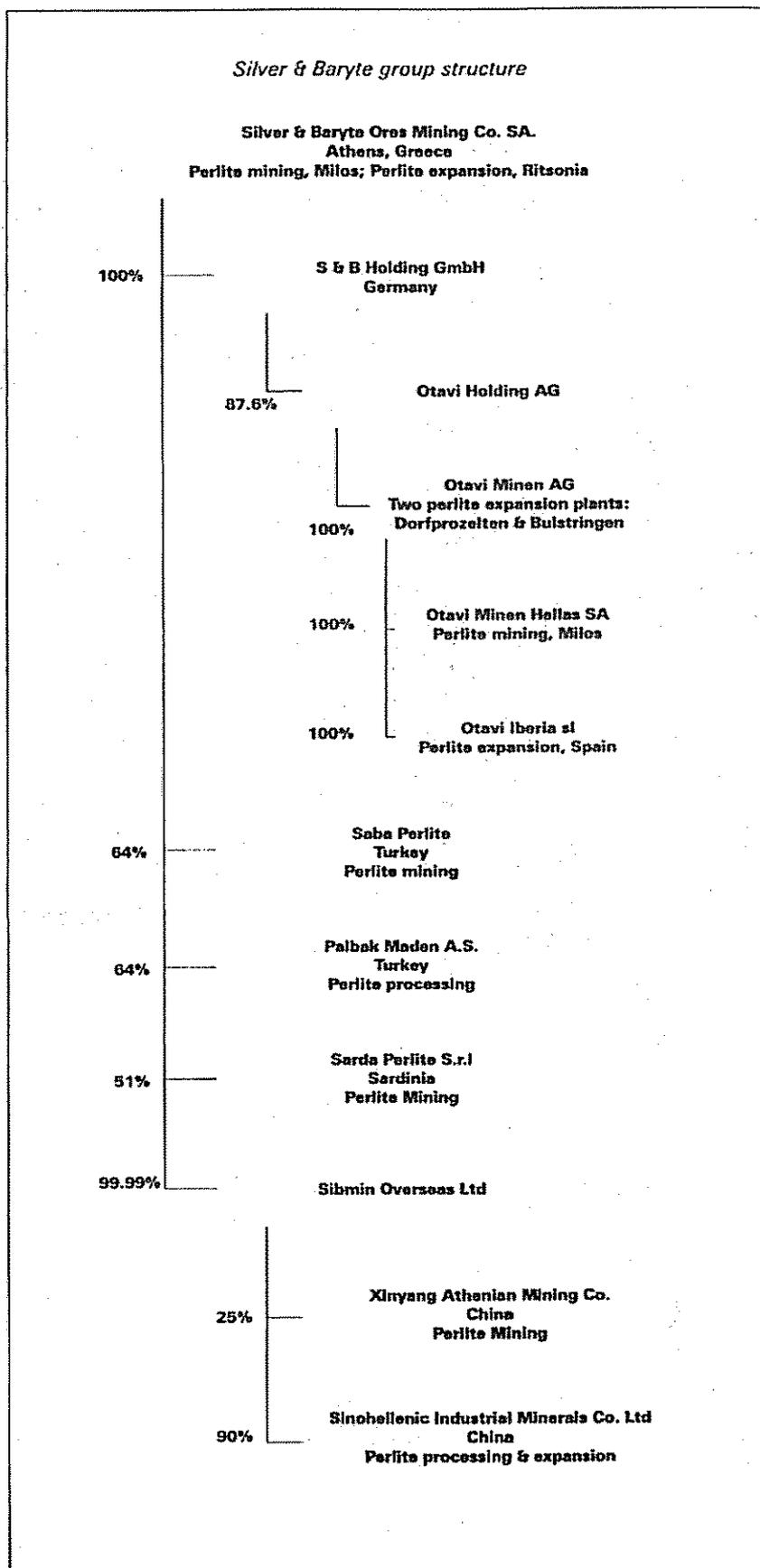


Fig. 12 - Structure du groupe Silver and Baryte Ores Mining Co. (d'après Kendall, 1999).

• **Silver and Baryte Ores Mining Co (S & B)**

La société S & B a absorbé en 1998 son concurrent (producteur n° 2 local) Otavi Minen Hellas SA. C'est aujourd'hui une multi-société au réseau international très ramifié, dont les intérêts se sont étendus à la Turquie, l'Italie, l'Espagne, la Chine, l'Allemagne (fig. 12).

Les sites de production principaux sont dans les îles égéennes de Kos, et surtout de Milos, où les infrastructures S & B et Otavi MH ont été regroupées :

- au nord de l'île, l'usine de Vouthia Bay traite le minerai du gisement de Trachylas et partie du minerai du sud, grâce à sa capacité de 390 000 t/an ;
- au sud, l'usine d'Adamas traite le minerai en provenance des gisements Tsigrado, Verunalia, et Provatas, avec une capacité de 180 000 t/an.

La production 1998 est exportée à 94 %, les 6 % destinés au marché grec (commercialisés par Isocon SA) étant expédiés à Ritsona, au nord d'Athènes. L'export part directement par bateau sur l'Union Européenne (55 %), sur les USA - Canada (25 %), et en divers pays (14 %). La société dispose de « comptoirs » en France, en Allemagne, au Royaume-Uni. Les matériaux de Milos sont d'excellente qualité, et une dizaine de variétés de produits est commercialisée.

• **Aegean Perlite SA**

La société a démarré sa production en 1998, à partir d'un gisement situé sur l'île de Yali. La capacité de la mine est de 30 000 tonnes/an, mais la vente plafonnerait à 15 000t de perlite traitée.

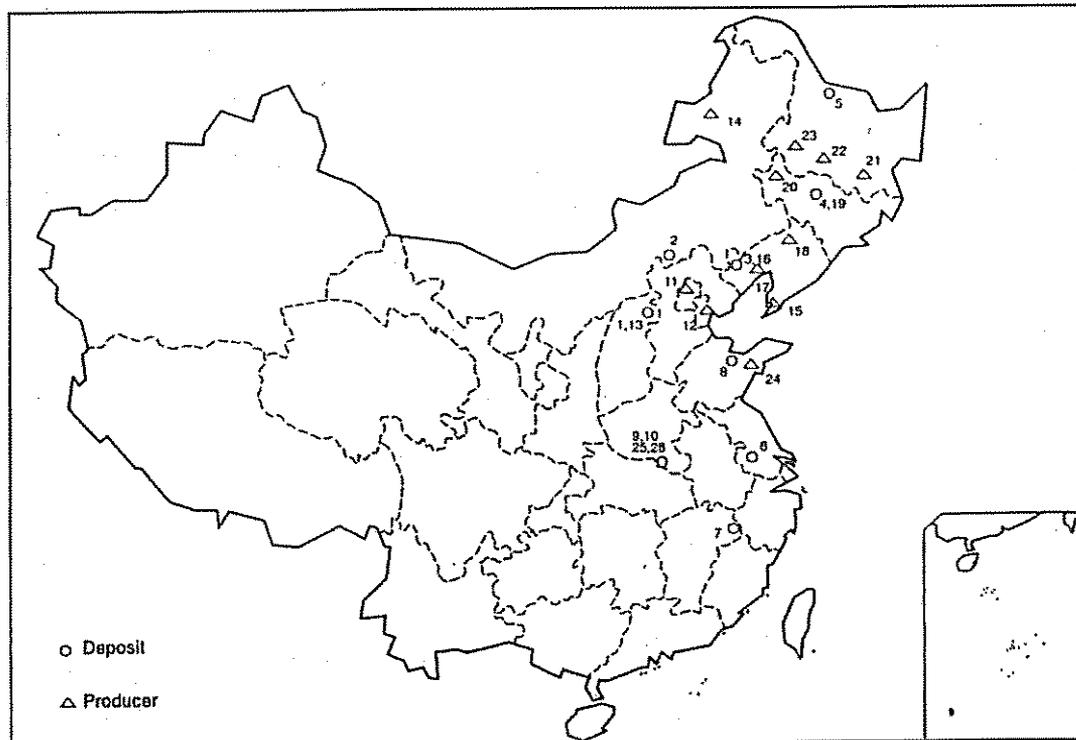
• **Buras Company**

Cette société produit environ 30 000 t/an sur un gisement de l'île de Milos.

4.2.3. Chine

Les sources d'informations sont réduites à fournir des extrapolations sur la production de perlite chinoise, très éclatée, d'autant que 90 % du matériau extrait serait consommé sur place. Le chiffre de 300 kt produites a été conservé de 1991 à 1995, puis a été augmenté (sauf source USGS) pour donner en 1998 une estimation moyenne à 350 kt.

La partie orientale du vaste territoire chinois offre de grandes étendues couvertes de laves perlitiques associées à des épisodes volcaniques d'âge jurassique et crétacé, où plus de 200 sites ont été recensés. La localisation de la majeure partie des indices correspond aux régions du Centre-Est et du Nord-Est. Le plus gros gisement, Xinyang, est localisé dans le Crétacé de la province du Henan.



Deposits: (1) Tadi, Lingqiu, Shanxi; (2) Erdonggou, Taibus Qi, Inner Mongolia; (3) Jianping, Liaoning; (4) Santai, Jiutai, Jilin; (5) Shimazi Dagang, Xunke, Heilongjiang; (6) Chuishan, Dantu, Jiangsu; (7) Lijia, Guangfeng, Jiangxi; (8) Yongquanzhuang, Weifang, Shandong; (9) Yangjiawan, Xinyang, Henan; (10) Liujiaochong, Xinyang, Henan.
Producers: (11) Beijing Yaxin Special Building Materials Co.; (12) Tianjin Thermal Insulating Materials Works; (13) Shanxi Lingqiu Perlite Works; (14) Inner Mongolia Hailar Perlite Works; (15) Dalian Refractories Factory; (16) Liaoning Jianping Perlite Mine; (17) Liaoning Jinzhou Perlite Works; (18) Faku Baojiatun Perlite Mine; (19) Jiutai Perlite Works; (20) Baicheng Chengfeng Perlite Works; (21) Harbin Light Insulating Materials Works; (22) Mudanjiang Perlite Works; (23) Daqing Light Materials Works; (24) Jiaozhou Thermal Insulating Materials Works; (25) Xinyang Shangtianti Nonmetal Mine; (26) Xinyang Zhongxin Perlite Products Co.

Fig. 13 - Localisation des principaux gisements et producteurs de perlite en Chine (in Wen Lu, 1998).

L'industrie de la perlite est très éclatée en Chine, avec une quarantaine de producteurs et plus de 300 expanseurs. Les principaux centres producteurs sont situés dans les provinces du Liaoning (70 % du total), Henan, Shanxi (fig. 13). Seules les données élémentaires de cette industrie sont connues ; elles sont rassemblées dans le tableau 12. On notera l'implantation du producteur grec Silver & Baryte à travers les deux sociétés Sino-Hellenic Industrial Minerals Co et Xinyang Athenian Mining Co (cf. 4.2.2 et fig.12).

Les 10 % de production exportés, soit 35 000 t, sont majoritairement expédiés au Japon (estimation de 15 000 t).

China: Producers of crude perlite, 1997		
<u>Company</u>	<u>Location</u>	<u>Annual capacity</u>
Baicheng Chengfeng Perlite Works	Baicheng, Jilin	50,000m ³
Faku Baojiatun Perlite Mine	Faku, Liaoning	30,000m ³
Guangfeng Nonmetal Minerals Industry Co.	Guangfeng, Jiangxi	5,000t
Henan Xinyang Shangtianti Non-Metal Mine	Xinyang, Henan	200,000t
Liaoning Jianping Perlite Mine	Jianping, Liaoning	10,000m ³
Shanxi Lingqiu Perlite Works	Lingpiu, Shanxi	5,000t
Sino-Hellenic Industrial Minerals Co. Ltd	Xinyang, Henan	100,000t ¹
Xinyang Athenian Mining Co.	Xinyang, Henan	n.a
Zhejiang Jinyun No. 726 Works	Jinyun, Zhejiang	5,000t

Source: Chinese Minerals Directory, Silver and Baryte

Notes: 1) Believed to be processing capacity for Xinyang Athenian Mining Co.

Tabl. 12 - Principaux producteurs de perlite crue en Chine en 1997 (in Roskill, 2000).

4.2.4. Japon

La production japonaise, en pleine croissance jusqu'en 1996, a atteint un sommet à 250 kt de perlite (fourchette 200-304 kt), avant de subir la crise asiatique. Elle a ensuite fléchi, pour atteindre 220 kt en 1998.

Les gisements sont associés aux volcanites acides d'âge néogène à quaternaire qui sont exposées dans les provinces de Kushiro, Kitakata, Tomioka, Yamaguchi, Chiba.

• Mitsui Mining and Smelting Co Ltd

C'est le principal producteur nippon, avec 40 % du total produit (environ 90 000 t). Les gisements exploités et les unités de traitement sont à Kushiro, Kitakata, Tomioka, tandis que les usines d'expansion sont à Tokyo, Osaka, Kyushu, Kitakata.

• Autres producteurs et producteurs-expandeurs

Ce sont Ube Kosan (basé à Yamaguchi), Asano Perlite (basé à Chiba), Showa Chemical Industry Co, dont les mines sont à Kawasaki et Osaka, Toho Perlite, Hattori Co, Fuyo Perlite. On a vu que 15 000 t/an de perlite chinoise sont importées.

4.2.5. Turquie

L'évolution est lue avec la difficulté d'avoir, sur les dernières années, des chiffres qui varient du simple au double suivant les deux sources comparées (les chiffres officiels, considérés anormalement faibles, sont cependant repris par l'USGS). La production a quasiment doublé de 1991 (134 kt) à 1992 (237 kt), pour chuter lourdement en 1993 (163 kt). A partir de 1993, la production affiche une tendance haussière, qui donne pour 1998 un total de 202 kt.

La revue par société permet d'établir une production globale virtuelle de 425 kt, qui est très excédentaire par rapport à la moyenne de production établie à 190-210 kt ces dernières années par nos deux sources d'information (fourchette des sources : 425 à 690 kt).

Les gisements turcs sont principalement situés dans la région égéenne (Izmir, Manisa, Bergama, Dikili, Çanakkale), et en Anatolie (Nord d'Ankara surtout), en association avec des volcanites tertiaires (fig. 14). La deuxième source de perlites, par importance, est le volcanisme fini-tertiaire à quaternaire, localisé dans la contrée orientale, région d'Erzurum, Kars, et Van. Les régions d'Erzurum et de Kars sont citées pour leur fort potentiel. Les ressources turques globales atteindraient 4 000 Mt dans une projection à 6 600 Mt au niveau mondial.

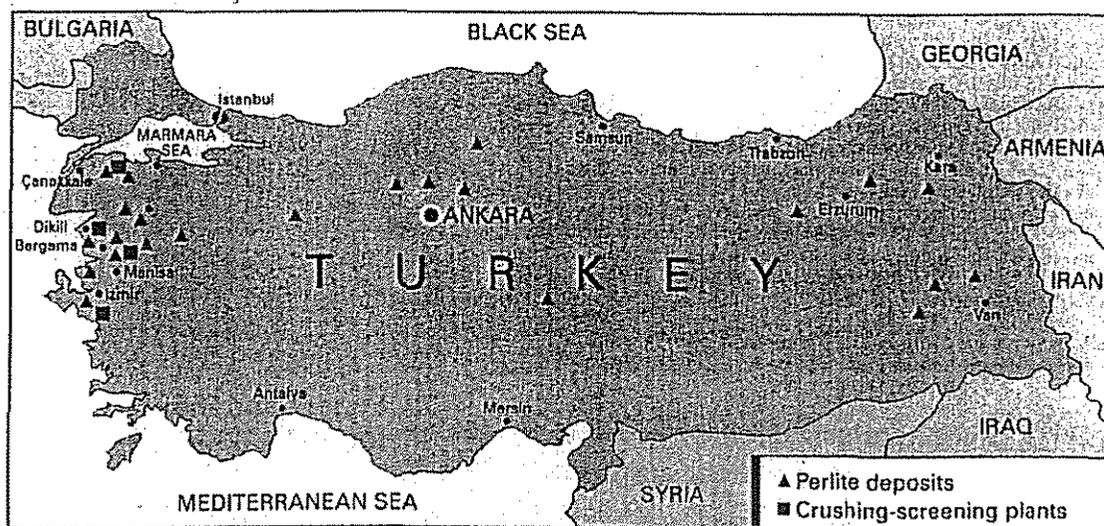


Fig. 14 - Localisation des principaux gisements et des usines de traitement en Turquie (d'après Ozgur, 1997).

• **Etibank General Management**

La compagnie d'Etat exploite trois mines, près d'Izmir (Cumsovnasi), Bergama (Zeytindag), Manisa (Demirci). L'usine, située sur le premier site, est estimée produire 145 000 t/an de perlite broyée et calibrée. Si le potentiel de développement est important, Etibank entend poursuivre en partenariat avec d'autres investisseurs.

• **Persa Perlit Türevleri Sanayi ve Ticaret AS**

D'expasseur, la société est devenue productrice de minerai depuis 1996. Les mines sont situées dans la région de Bergama et Çanakkale (Biga, Balikesir), assurant 80 000 t/an. Des projets d'extraction sont en démarrage dans la région d'Ankara, ou à l'étude dans la région de Kars (Sarikami).

L'essentiel de la production est consommé en Turquie, la société ayant des unités d'expansion à Yukari et Dudullu (4 000 t/an, banlieue d'Istanbul). Cependant, la société projette d'exporter en utilisant les ports voisins de Karabiga et de Bandirma.

• **Harborlite Aegean Endustri AS**

Cette société est le résultat de l'absorption en 1995 d'Ege Endustri Mineralleri Sanayi par l'américain Harborlite. L'usine de Dikili traite environ 100 000 t/an de minerais produits dans la région de Bergama, principalement exportés vers l'Europe, mais aussi au Brésil et en Corée du Sud.

• **Pabalk Mining SA, Saba Madenliçik SA, et Pabalk Perlite Sanayi SA**

Les deux premières sociétés d'extraction (Pabalk Mining) et de traitement (Saba Madenliçik) de perlite sont détenues à 64 % par Silver & Baryte Ores Mining Co. Pabalk exploite une mine près de Biga, tandis que Saba traite sur Karabiga, près de Çanakkale, environ 40 000 t/an de perlite. L'extension de sa capacité est prévue. Si la quasi-totalité de la production est destinée à l'export, Pabalk Perlite assure l'expansion des produits vendus localement sur son site de Sütluçe, près d'Istanbul.

• **Perlitas Istanbul Perlit Sanayi ve Ticaret SA**

Perlitas produit à partir de sa mine de la région de Bergama, et des apports d'autres sociétés associées, environ 50 000 t/an de perlite crue, traitée sur Bergama. Les trois quarts de la production sont achetés par Harborlite, qui exporte vers la France et le Royaume-Uni.

• **IPM Iperlit Mining and Construction Ltd Co, et Perlisan Ltd**

Ces deux sociétés sont associées avec Perlitas Istanbul, à qui elles fournissent du minerai cru extrait de la région de Bergama.

4.2.6. Hongrie

Jusqu'aux années 1993-1994, la production hongroise était en déclin, descendant à 80-85 kt. Elle est ensuite remontée pour atteindre 140 000 t en 1998.

Les gisements sont localisés dans le Nord du pays (province de Zemplen), région du mont Tolken : Pálháza, Erddibenye, Ababjzanto, Telkibany, Mad. La fraction exportée de la production est principalement destinée à l'Allemagne, l'Autriche, et la France. Un seul producteur a une taille notable.

• **Perlit 92 Kft - Duna Drava Cement es Meszmuvek Kft**

Cette société a racheté début 1999 à Navan Resources PLC ses actifs matériaux dont Perlit 92 Kft fait partie. Perlit 92 Kft exploite le gisement de Pálháza, situé dans le Nord-Est du pays, et le traite sur place ; si la capacité avancée est de 200 000 t, la production serait de 125 000 t/an. La commercialisation est en principe faite par Mineralholding Company Ltd, et des contrats d'achats sont passés avec Deutsche Perlite GmbH.

La Hongrie dispose de cinq sociétés d'expansion de perlite, dont Ediafilt Kft.

4.2.7. Italie (2^e groupe, mais n^o 7 mondial)

De 1991 à 1998, l'évolution de la production est en très léger déclin, passant de 70-65 kt à 60 kt les dernières années.

Les plus gros gisements sont en Sardaigne dans la zone volcanique du Monte Arci (Morgongiori, Pugifiari). Le gisement de l'île de Ponza, au large de Naples, n'est plus exploité depuis 1978.

• **Sarda Perlite srl**

La société est détenue à 51 % par Silver & Baryte Ores Mining Co. L'extraction se fait à Morgongiori, et le traitement à Torre Grande (capacité 120 000 t/an), près du port d'Oristano d'où la perlite crue est expédiée en Europe.

• **Ceca Italiana srl**

La société est détenue par Elf-Atochem. La mine et l'unité de traitement sont situés à Pugifiari, les usines d'expansion à Pioltello, près de Milan, et à Salerno.

• **Autres expandeurs**

VIC Italiana a trois usines à Settala, Montaguto, Castellina, et commercialise une grande variété de produits. Perlite Italiana srl, appartenant à Europerlite (filiale de World Minerals Inc), expand dans son usine de Corsico, près de Milan, 24 000 t/an.

4.2.8. Autres pays producteurs du 2^e groupe

Le Mexique a produit 55 kt en 1998, en hausse régulière depuis 1995, après le repli des années 1992 à 1994. Les gisements sont le pendant des gisements américains de l'Etat du Nouveau Mexique.

Termolita SA est la principale société productrice du pays. Les gisements exploités sont situés dans l'Etat de Durango, et produisent sensiblement moins que leur capacité estimée à 60 000 t/an, tandis que le minerai est traité à Monterrey, Etat du Nuevo Leon. Les produits commercialisés touchent maintenant tous les secteurs d'utilisation classique, mais la filière filtration n'a été ouverte qu'en 1998.

Cia Minera Oriental SA est au second rang des producteurs. La société est de capitaux américains, détenue à 51 % par Dicalite Mexico (filiale d'Harborlite), et à 49 % par Grefco Minerals Inc. Le minerai est extrait du gisement d'Oriental, Etat de Puebla, et traité sur place ; la capacité est de 25 000 t/an. Le minerai est en partie expansé sur place, l'autre partie étant fournie à la société Dicalite de Mexico.

Le Maroc est producteur depuis 1996, suite à l'appel d'offres lancé par le BRPM (resté partenaire à 20 %) pour développer le gisement de Tidiennit. Les productions 1997 et 1998 se sont respectivement élevées à 51,2 et 50,0 kt.

La société canado-marocaine Roche Invest est l'actionnaire principal à 80 %. Le gisement de Tidiennit est situé près de Tanger, à proximité de la mer Méditerranée ; ses réserves sont estimées à 38 Mt, dont 2 Mt prouvées. En 1997, environ 37 000 t (72 %) ont été exportées.

L'Arménie a été par le passé un gros fournisseur de l'ex-URSS (700 000 t/an). Depuis 1993, sa production a chuté à 48 kt, puis 20 kt. Mais l'année 1998 marque une nette reprise avec 35 000 t produites. Son potentiel est très important et la qualité du matériau est généralement excellente. Son handicap, outre l'instabilité politique, est le problème logistique, avec l'obligation d'acheminer par rail le minerai à travers la Géorgie, vers le port de Poti sur la mer Noire.

Les gisements se trouvent dans la région de Prisevan, et correspondent à des lits d'obsidienne hydratée au sein de formations volcaniques très épaisses : les plus importants (2/3 du potentiel total) sont ceux d'Aragats, les autres sont situés à Dzhaber et Fontan-Dzhaber.

Dicalite Armenia (filiale de l'américain Grefco Minerals Inc) a profité de sa situation de client régulier de la production locale, pour racheter à l'Etat en 1998 le pool de production des gisements d'Aragats, et les unités de traitement et d'expansion connexes. La société a repris vigoureusement l'exploitation et commencé à exporter dès 1999 vers l'Europe de l'Ouest.

Armnerud Company d'Erevan exploite les gisements de Dzhaber.

L'Argentine a produit quasi-régulièrement de 20 à 28 kt de perlite depuis 1991 ; sa production 1998 s'est élevée à 25 kt. La production est assurée par les sociétés Perfiltra SA et Minaclar SA qui tirent le minerai de gisements de la province de Rio Negro, et par la société Granutherm y Cia Sa qui exploite dans la région de Mendoza. La première société citée expande la perlite dans son usine de Buenos Aires, pour toute la gamme de produits d'utilisation classique.

La Slovaquie a produit 25 000 t de minerai en 1998, à partir de gisements de la région de Stiavnicke-hory, située dans l'Est du pays. Ces gisements appartiennent à des volcanites d'âge néogène, qui sont la formation rhyolitique de Sarmatian, et les pyroclastites sus-jacentes associées. L'expansion est réalisée localement par la société Kerko AS sur Kosice.

La Russie affiche une production de 24 kt depuis le redécoupage politique, bien inférieure aux chiffres de production antérieurs à 1993. Ses principaux producteurs sont JSC Perlit Zaigraevsky qui exploite les gisements de Mukhor et Yalinskoe en Bouratie, et JSC Kamchatkstroimaterialy qui exploite les gisements de Nachikinskoe au Kamchatka.

Une infime part de la production est exportée. Cinq principales sociétés expandent le minerai pour le marché national, à Moscou, Irkoutsk, Sverdlovsk.

La Bulgarie a une production stable, dans la fourchette 20-25 kt ; elle a atteint 22,5 kt en 1998. Les gisements sont associés à un volcanisme d'âge oligocène, et sont localisés dans les Rhodopes orientales, notamment autour de la ville de Dzebel, et à Svetoslav. La compacité du matériau est telle, qu'il nécessite une température très élevée pour l'expandre.

Bentonite JSC est le principal producteur. Sur le total produit, plus de 10 000 t de perlite crue sont absorbées par l'industrie du verre, le reste de la production est expandé et utilisé à 50 % pour la construction, et 30 % pour la filtration. De petites quantités sont exportées vers la Hongrie, la Macédoine et la Grèce.

Les Philippines ont leur production concentrée autour de la ville de Legazpi. La production est stable depuis quelques années, à 20 000 t/an.

4.2.9. Pays producteurs du 3^e groupe

Ces pays sont l'Afrique du Sud, l'Australie, la Géorgie, l'Inde, l'Iran, la Nouvelle Zélande, la Thaïlande, et l'Ukraine. Ils comptent pour environ 1 % de la production mondiale 1998, soit 25 000 t/an. Leurs productions unitaires s'échelonnent de 500 t à quelques milliers de tonnes, sauf pour l'Ukraine dont la production a atteint 12 000 t.

5. Panorama français des ressources et du marché de la perlite

5.1. RESSOURCES POTENTIELLES FRANÇAISES

Si les verres volcaniques acides figurent bien dans le panorama géologique métropolitain, leur gisement correspond en général à des corps en sill de trop faible épaisseur et/ou trop petits pour être exploités économiquement.

Le dernier inventaire des indices français a été réalisé en 1975 par M. Tegye. Tous les affleurements cités sont localisés dans le Massif central ; leurs principales caractéristiques sont rappelées ci-dessous.

• Département du Cantal

Les indices des sites Les Chazes, Veyrières, et Les Gardes, montrent des pechsteins comenditiques à structure perlitique, qui correspondent à des obsidiennes riches en eau et à quartz exprimé.

Les indices des sites Font d'Alagnon et Ravin de Vassivières correspondent à des pechsteins trachytiques, sans silice exprimée.

Enfin, l'indice des Tournels montre un faciès de pechstein rhyolitique, tandis qu'à Rambertières, il s'agit d'un faciès d'obsidienne.

• Département du Puy-de-Dôme

Les indices des sites Lusclade, Vendeix, et Le Pregnoux montrent des faciès rhyolitiques vitreux.

L'indice de Pédaire correspond à une pyroméride à gros sphérolites (rhyolite d'apparence noduleuse, dévitrifiée).

• Aspect économique

Seul le site de Lusclade (carrière des Planches) présente un empilement de coulées dont le volume est digne d'intérêt, bien que négligé jusqu'à présent. La roche est plus ou moins dévitrifiée et a subi un dégazage important (Y. Gros, 1976).

ORIGINE	1994			1995			1996			1997			1998			1999			Cumul par pays	
	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)
AFRIQUE DU SUD	1 594	1 971	1 237										1	1	1 000				1 595	1 972
ALLEMAGNE	187	379	2 027	241	530	2 199	374	759	2 029	428	900	2 103	473	852	1 801	351	503	1 433	2 054	3 923
AUTRICHE							1	54	54 000										1	54
BELGIQUE & LUXEMBOURG	11 724	839	72	843	576	683	507	371	732	1 101	400	363	1 558	401	257	243	380	1 554	15 976	2 967
DANEMARK																80	80	1 000	80	80
ESPAGNE	13	65	5 000	25	143	5 720	904	882	978	209	100	478	3 547	3 093	872	4 878	4 522	927	9 576	8 605
ÉTATS UNIS	8	66	8 250	16	125	7 818	33	253	7 667	9	40	4 444							66	484
GABON							1	30	30 000										1	30
GRÈCE	1 440	1 155	802	23 802	8 267	347	18 070	6 232	348	24 351	7 620	313	22 797	7 358	323	8 126	2 440	300	99 586	33 072
HONGRIE				2 780	1 288	463	3 010	1 294	430										5 790	2 582
ITALIE	18 965	4 820	254	7 690	4 683	609	8 318	2 484	299	17 988	5 210	290	19 182	5 514	287	32 667	9 436	289	104 810	32 147
MAROC													20	1	50	2 053	461	225	2 073	462
MEXIQUE													25	18	720				25	18
MOZAMBIQUE	189	172	910																189	172
NAMIBIE	83	99	1 193																83	99
PAYS-BAS				54	41	759	178	124	697	119	90	758	50	51	1 020	148	260	1 757	549	566
POLOGNE	7	60	8 571																7	60
PORTUGAL													1 109	299	270				1 109	299
ROYAUME-UNI	1 155	1 764	1 527	62	285	4 597	2 858	1 264	442	413	510	1 235	802	934	1 185	610	723	1 185	5 900	5 480
SLOVAQUIE	44	33	750	46	39	848	44	36	818	22	20	909	22	19	864				178	147
SUEDE							26	9	346										26	9
SUISSE	24	28	1 167	10	11	1 100	25 374	849	33				24	28	1 187				25 432	916
TURQUIE	19 594	6 373	326	26 868	12 220	472	21 520	7 306	339	24 531	8 260	337	20 218	7 442	368	22 759	7 479	329	134 490	49 080
TOTAL	55 027	17 824	324	61 437	28 208	459	81 218	21 947	270	69 171	23 150	335	69 828	26 011	373	71 915	26 284	365		

Tabl. 13 – Importations françaises de perlite crue – Période de 1994 à 1999.

5.2. APPROVISIONNEMENT DE LA FRANCE EN PERLITE, ET MARCHÉ

Avec une production nulle, la France est totalement tributaire de l'importation pour assurer sa consommation de perlite. Sont exposés ci-après les bilans des importations et des exportations de perlite crue, effectués grâce aux statistiques de la direction des Douanes, puis celui de la consommation apparente, et enfin le panel des sociétés présentes sur le marché français.

5.2.1. Importations françaises de perlite crue

Les flux importateurs de perlite crue pour la période de 1994 à 1999 sont rassemblés dans le tableau 13. Le tonnage total importé s'établit dans la fourchette 55 000 – 81 000 tonnes pour une valeur totale respectivement de 17,8 à 21,9 MF. L'importation est en hausse soutenue en 1995 et 1996 (12 % et 32 %), puis en chute en 1997 (- 15 %), suivie d'un palier à tendance positive sur 1998 et 1999 (1 % et 3 %).

Les fournisseurs attitrés sont la Grèce, l'Italie et la Turquie, qui participent pour 73 à 97 % suivant les années au quota national. Le flux turc est le plus régulier, tandis qu'on note la bascule en 1999 entre les imports grecs et italiens, au bénéfice des seconds, en raison de l'acquisition de gisements sardes par la principale société grecque (et mondiale) qui continue de nous approvisionner. L'Italie est donc actuellement notre premier fournisseur avec 32 667 t en 1999, pour une valeur totale de 9,436 MF.

La situation chez les autres fournisseurs montre une montée en puissance irrégulière des importations espagnoles, beaucoup plus importante depuis 1998, et l'arrivée récente de perlite marocaine sur notre marché. Des flux en transit viennent d'Allemagne, de Belgique et Luxembourg (très fort en 1994, le flux a chuté aussitôt après), des Pays-Bas et du Royaume-Uni. L'import suisse exceptionnel de 1996 est un cas isolé. On note également l'arrêt des importations de perlite de Hongrie depuis 1997 et des USA depuis 1998.

Dans le tableau 13, les statistiques d'importations établies par la direction des Douanes françaises ont été reprises telles quelles de manière exhaustive, même si l'importation de faibles tonnages à partir de pays non producteurs peut paraître surprenante, par exemple dans le cas de l'Autriche, du Danemark, du Gabon ou de la Suède.

L'évolution des importations françaises est illustrée sous forme de graphiques (fig. 15 à 18), par origine pour la période 1994-1999 (tonnages et valeurs), puis en parts de marché pour l'année 1999 (tonnages et valeurs). On constate une assez bonne cohérence dans cette évolution, entre tonnage et valeur totale correspondante.

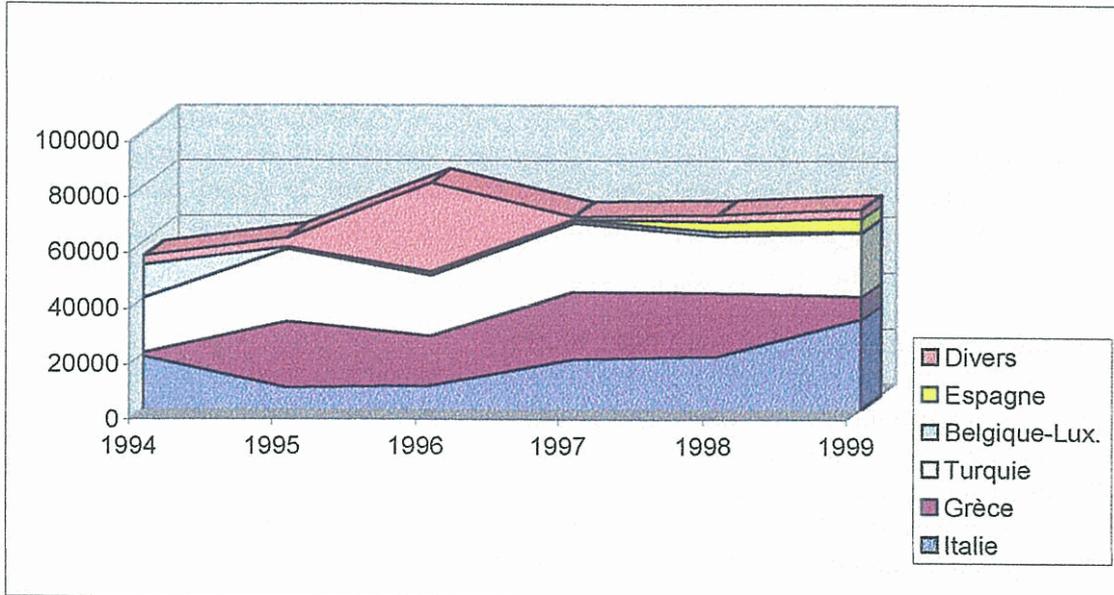


Fig. 15 – Evolution des importations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 – Par origine et en tonnage (t).

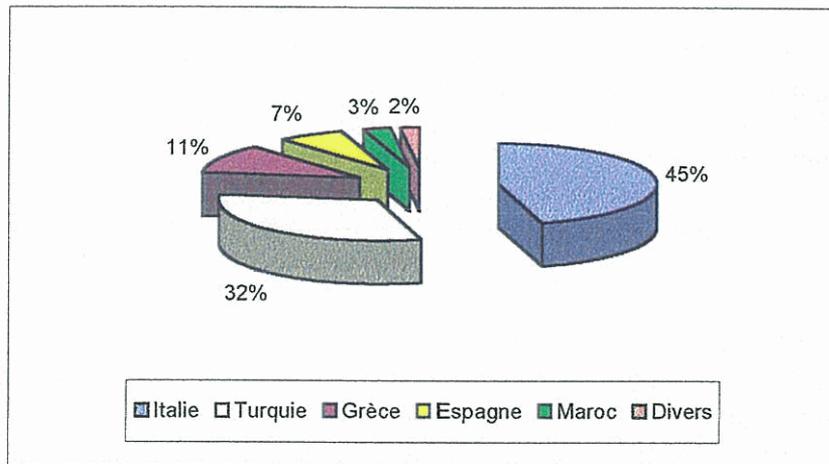


Fig. 16 – Répartition par origine du tonnage des importations françaises de perlite crue en 1999.

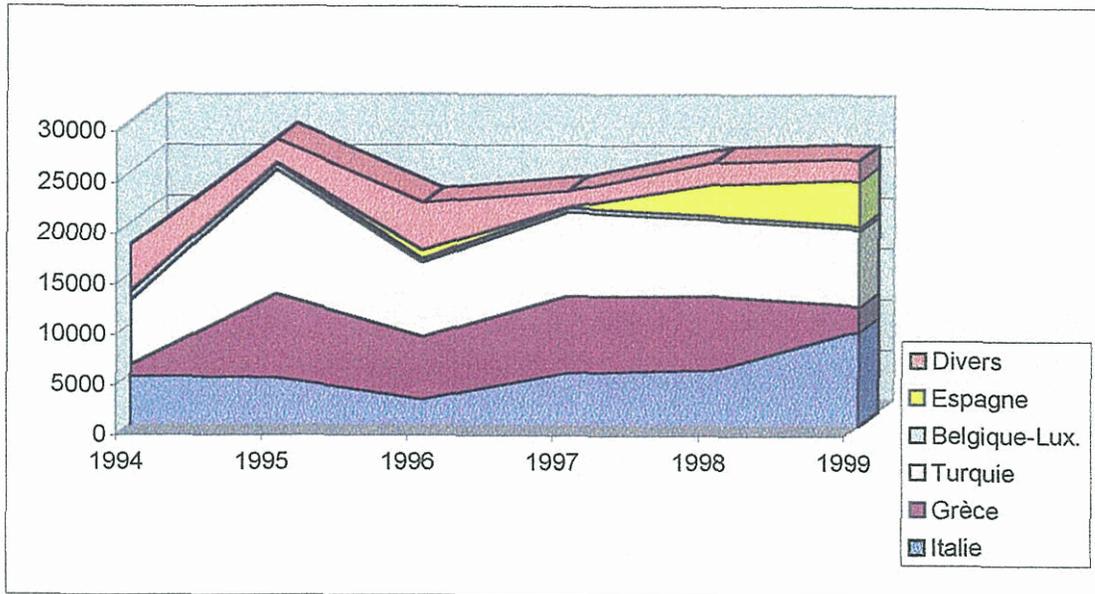


Fig. 17 – Evolution des importations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 – Par origine et en valeur (kF).

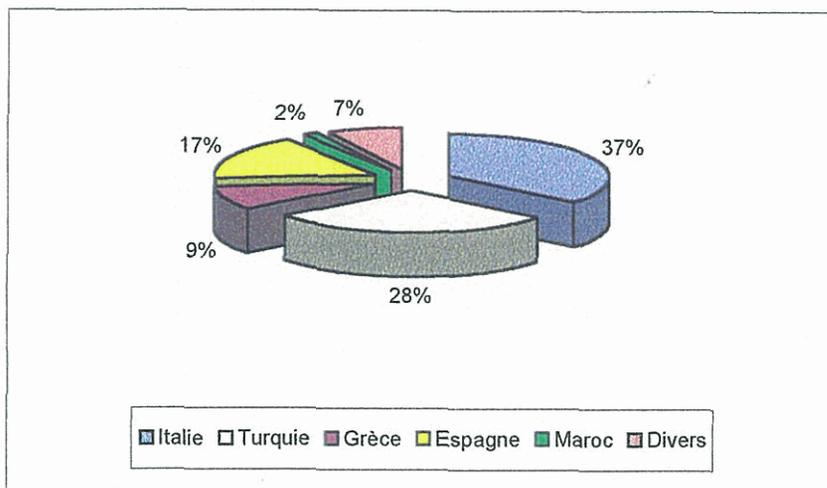


Fig. 18 – Répartition par origine de la valeur des importations françaises de perlite crue en 1999.

ORIGINE	1994			1995			1996			1997			1998			1999			Cumul par pays	
	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	COUT (F/t)	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)
ALGERIE	60	111	1 850	139	743	5 384	1	7	7 000				25	47	1 880	12	17	1 417	236	925
ALLEMAGNE	111	70	631	119	68	571	683	1 069	1 565	4	1	250	15	32	2 133				932	1 240
ARABIE SAOUDITE	10	20	2 000	34	45	1 324	65	82	1 262	102	120	1 176	161	196	1 217	60	82	1 387	432	545
AUTRICHE							82	149	1 817										82	149
BELGIQUE & LUXEMBOURG	85	252	2 965	576	661	1 148	91	120	1 319	77	50	649	31	37	1 194	36	35	972	896	1 155
CAMEROUN										1	1	1 000	1	3	3 000	1	5	5 000	3	9
CONGO Rép. Dém.										1	10	10 000							1	10
DANEMARK																1	1	1 000	1	1
DJIBOUTI							2	19	9 500										2	19
EGYPTE													9	57	6 333				9	57
ESPAGNE	239	210	879	60	59	983													299	269
GRECE	1	44	44 000				1	13	13 000										2	57
MAROC	20	32	1 600	5	10	2 000	8	197	24 625	12	50	4 167	24	40	1 667	38	128	3 368	107	457
MAYOTTE																1	217	217 000	1	217
MOLDAVIE							13	38	2 923										13	38
NIGERIA				1	14	14 000				514	230	447	680	2 697	3 966				1 195	2 941
NORVEGE																184	329	1 788	184	329
PAYS-BAS	8	22	2 750	7	11	1 571	29	50	1 724	4	10	2 500	10	16	1 600	12	24	2 000	70	133
POLOGNE							24	299	12 458										24	299
PORTUGAL	191	257	1 346	204	276	1 353	185	251	1 357	199	270	1 357	229	312	1 362	229	312	1 362	1 237	1 678
ST PIERRE et MIQUELON													1	9	9 000				1	9
SENEGAL				1	24	24 000							2	20	10 000				3	44
SUISSE	97	101	1 041	91	107	1 176	82	89	1 085	32	30	938	34	41	1 206	56	52	929	392	420
SYRIE	3	6	2 000																3	6
TUNISIE										9	50	5 556				7	42	6 000	16	92
TURQUIE										1	10	10 000							1	10
TOTAL	825	1 125	1 364	1 236	2 018	1 633	1 266	2 383	1 882	956	832	870	1 222	3 507	2 870	637	1 244	1 953		

Tabl. 14 – Exportations françaises de perlite crue – Période de 1994 à 1999.

5.2.2. Exportations françaises de perlite crue

Bien que la France ne produise pas de perlite, elle en exporte de faibles quantités. Les flux exportateurs de perlite crue enregistrés dans la période de 1994 à 1999 sont rassemblés dans le tableau 14. Globalement, les tonnages sont bien évidemment modestes, avec une oscillation autour de la barre des 1 000 t. Les flux les plus réguliers et quelque peu substantiels sont vers le Portugal, l'Arabie Saoudite, la Belgique et le Luxembourg, et la Suisse. Beaucoup de cas correspondent à des événements plus ou moins isolés (Autriche, Nigeria, Norvège) ou au tarissement du flux (Espagne). Certaines statistiques paraissent même suspectes, telles les exportations vers la Grèce en 1994 et 1996.

L'exportation 1999 marque une chute très nette (baisse de 48 % sur l'année précédente), mais reste peu significative en regard des quantités impliquées.

L'évolution des exportations françaises est illustrée sous forme de graphiques (fig. 19 à 22), par destination pour la période 1994-1999 (tonnages et valeurs), puis en parts de marché pour l'année 1999 (tonnages et valeurs).

5.2.3. Consommation apparente française

Le tableau 15 rassemble les flux importateurs et exportateurs de perlite non expansée pour la même période considérée, avec le calcul de la balance entre flux, qui correspond à la consommation apparente nationale. Par référence au domaine commercial, les flux exportateurs sont considérés positifs et inversement.

La consommation française s'étalonne sur les importations du fait de la part négligeable du flux à l'exportation. On notera que la France n'est pas une plaque tournante du marché comme la Belgique, le Royaume-Uni, et à moindre titre l'Allemagne. Les tonnages annuels consommés s'inscrivent dans la fourchette de 54 000 à 80 000 t. La consommation a été en hausse soutenue en 1995 et 1996 (11 % et 32 %), puis en chute en 1997 (- 15 %), suivie d'un palier à tendance positive sur 1998 et 1999 (1 % et 4 %).

L'évolution de la consommation française de 1994 à 1999 est illustrée sous forme de graphiques comparatifs entre import - export - consommation apparente. Les graphiques sont calculés sur la base des tonnages, et sur la base des valeurs (fig. 23 et 24). Le graphique des tonnages met en évidence, sur les six années considérées, le tassement du taux de hausse ; les tonnages exportés sont insignifiants. Le graphique des valeurs répète l'évolution générale du précédent, à la différence d'une culmination de la valeur en 1995 ; les valeurs à l'export sont relativement plus importantes en comparaison du premier graphique.

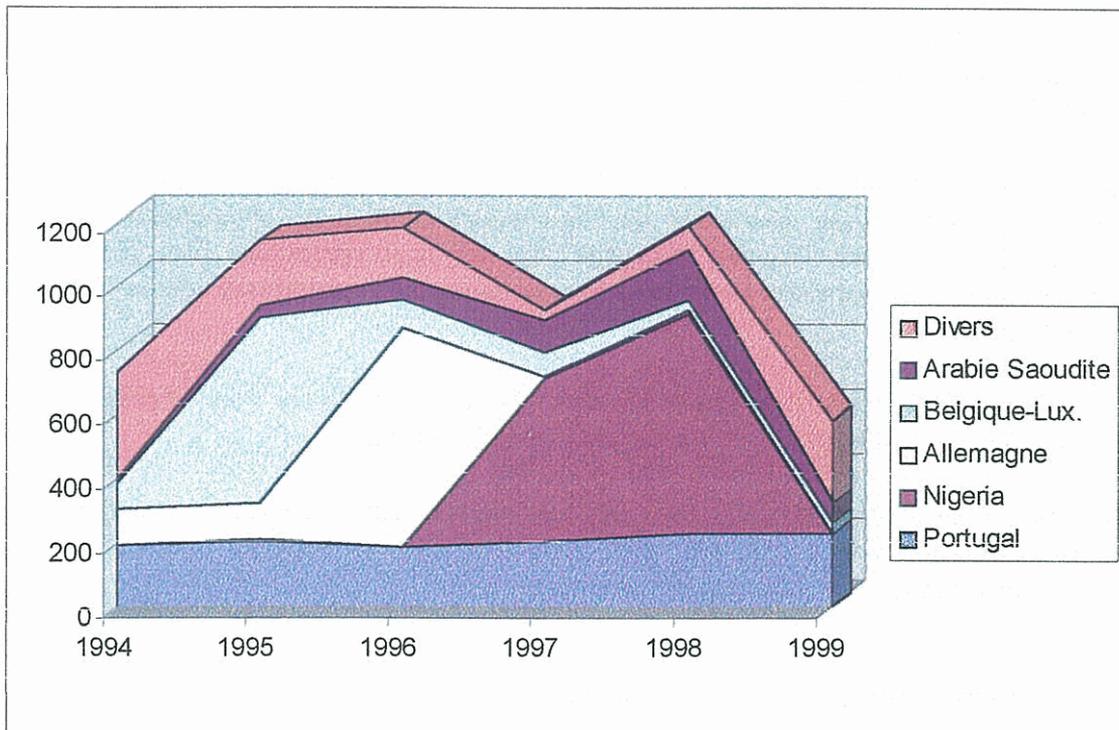


Fig. 19 – Evolution des exportations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 – Par destination et en tonnage (t).

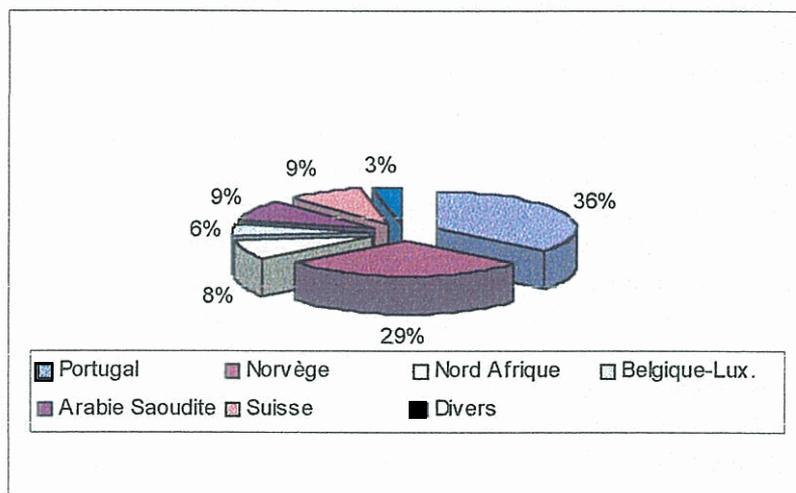


Fig. 20 – Répartition par destination du tonnage des exportations françaises de perlite crue en 1999.

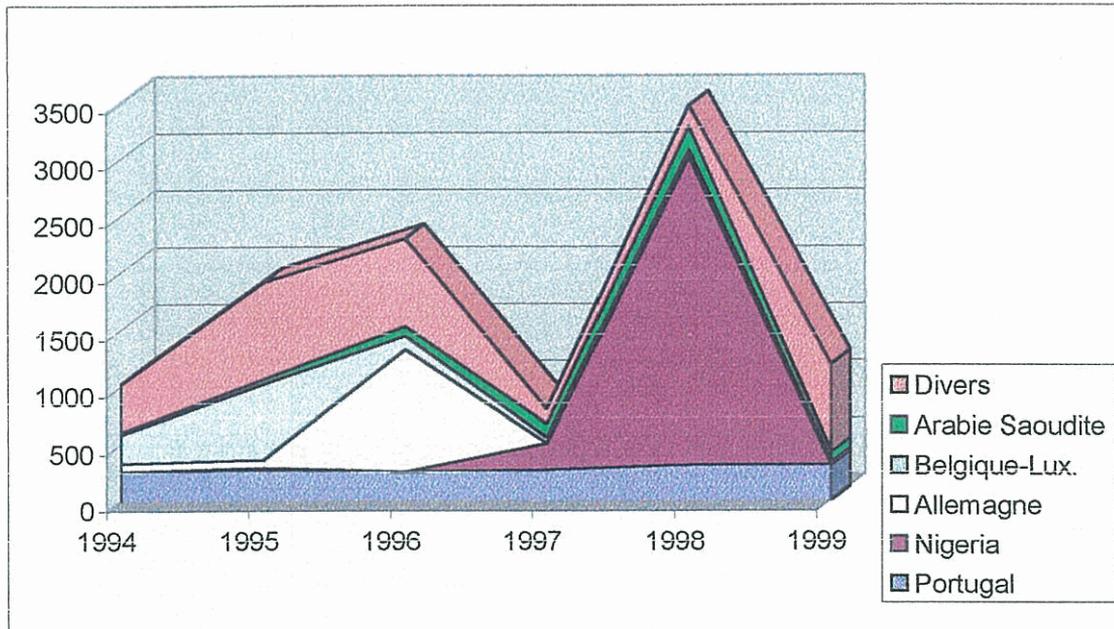


Fig. 21 – Evolution des exportations françaises de perlite crue de 1994 à 1999 – Par destination et en valeur (kF).

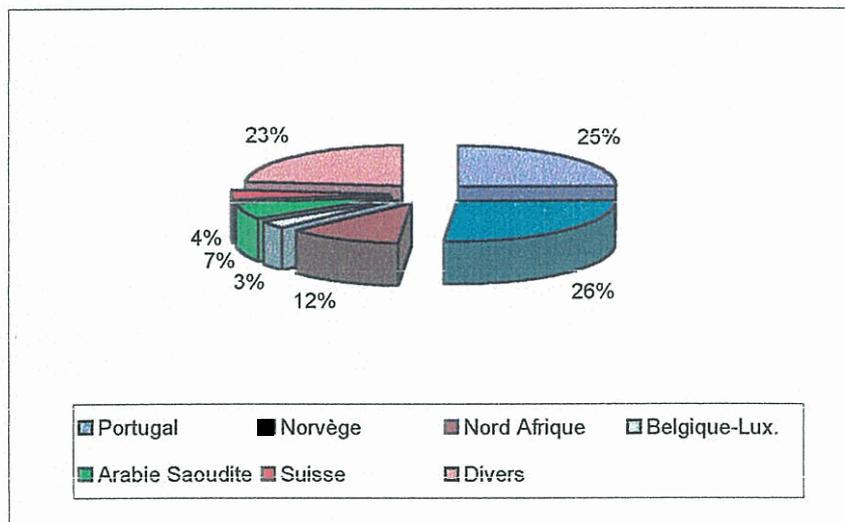


Fig. 22 – Répartition par destination de la valeur des exportations françaises de perlite crue en 1999.

ORIGINE	FLUX	1994			1995			1996			1997			1998			1999			Cumul par pays	
		QUANTITE (t)	VALEUR (kF)		QUANTITE (t)	VALEUR (kF)	Evolution tonnage %	QUANTITE (t)	VALEUR (kF)												
ALLEMAGNE	export	111	70		119	68	7	683	1 069	474	4	1	-99	15	32	275				932	1 240
	import	187	379		241	530	29	374	759	55	428	900	14	473	852	11	351	503	-26	2 054	3 923
	balance	-76	-309		-122	-462	61	309	310	-353	-424	-899	-237	-458	-820	8	-351	-503	-23	-1 122	-2 683
ARABIE SAOUDITE	export	10	20		34	45	240	65	82	91	102	120	57	161	196	58	60	82	-63	432	545
	import																			0	0
	balance	10	20		34	45	240	65	82	91	102	120	57	161	196	58	60	82	-63	432	545
BELGIQUE- LUXEMBOURG	export	85	252		576	661	578	91	120	-84	77	50	-15	31	37	-80	36	35	16	896	1 155
	import	11 724	839		843	576	-93	507	371	-40	1 101	400	-117	1 558	401	42	243	380	-84	15 976	2 967
	balance	-11 639	-587		-267	85	-98	-416	-251	56	-1 024	-350	146	-1 527	-364	49	-207	-345	-86	-15 080	-1 812
ESPAGNE	export	239	210		60	59	-75			-100										299	269
	import	13	65		25	143	92	904	882	3516	209	100	-77	3 547	3 093	1597	4 878	4 522	38	9 576	8 805
	balance	226	145		35	-84	-85	-904	-882	-2683	-209	-100	-77	-3 547	-3 093	1597	-4 878	-4 522	38	-9 277	-8 536
GRECE	export	1	44				-100	1	13											2	57
	import	1 440	1 155		23 802	8 267	1553	18 070	6 232	-24	24 351	7 620	35	22 797	7 358	-6	8 126	2 440	-64	98 586	33 072
	balance	-1 439	-1 111		-23 802	-8 267	1554	-18 069	-6 219	-24	-24 351	-7 620	-35	-22 797	-7 358	-6	-8 126	-2 440	-64	-98 584	-33 015
ITALIE	export																			0	0
	import	18 965	4 820		7 690	4 683	-59	8 318	2 484	8	17 988	5 210	116	19 182	5 514	7	32 667	9 436	70	104 810	32 147
	balance	-18 965	-4 820		-7 690	-4 683	-59	-8 318	-2 484	8	-17 988	-5 210	-116	-19 182	-5 514	-7	-32 667	-9 436	-70	-104 810	-32 147
MAROC	export	20	32		5	10	-75	8	197	60	12	50	50	24	40	100	39	128	58	107	457
	import													20	1		2 053	461	10165	2 073	462
	balance	20	32		5	10	-75	8	197	60	12	50	50	4	39	-67	-2 015	-333	-50475	-1 966	-5
PORTUGAL	export	191	257		204	276	7	185	251	-9	199	270	6	229	312	15	229	312	0	1 237	1 678
	import													1 109	299				-100	1 109	299
	balance	191	257		204	276	7	185	251	-9	199	270	6	-880	13	-542	229	312	-126	128	1 379
ROYAUME-UNI	export																			0	0
	import	1 155	1 764		62	285	-95	2 858	1 264	4510	413	510	-86	802	934	94	610	723	-24	5 900	5 480
	balance	-1 155	-1 764		-62	-285	-95	-2 858	-1 264	4510	-413	-510	-86	-802	-934	94	-610	-723	-24	-5 900	-5 480
TURQUIE	export										1	10				100				1	10
	import	19 594	6 373		25 868	12 220	32	21 520	7 306	-17	24 531	8 260	14	20 218	7 442	-18	22 759	7 479	13	134 490	49 080
	balance	-19 594	-6 373		-25 868	-12 220	32	-21 520	-7 306	-17	-24 530	-8 250	14	-20 218	-7 442	-18	-22 759	-7 479	-13	-134 489	-49 070
AUTRES PAYS	export	168	240		238	899	42	233	651	-2	561	331	141	762	2 890	36	274	687	-64	2 236	5 698
	import	1 949	2 429		2 906	1 504	49	28 667	2 649	886	150	150	-99	122	117	-19	228	340	87	34 022	7 189
	balance	-1 781	-2 189		-2 668	-605	50	-28 434	-1 998	966	411	181	-101	640	2 773	56	46	347	-93	-31 786	-1 491
BILANS	export	825	1 125		1 236	2 018	50	1 266	2 383	2	956	832	-24	1 222	3 507	28	637	1 244	-48		
	import	55 027	17 824		61 437	28 208	12	81 218	21 947	32	69 171	23 150	-15	69 828	26 011	1	71 915	26 284	3		
Consommation apparente	balance	-54 202	-16 699		-60 201	-26 190	11	-79 952	-19 564	33	-68 215	-22 318	-15	-68 606	-22 504	1	-71 278	-25 040	4		

Tabl. 15 – Principaux flux français de perlite crue et consommation apparente – Période de 1994 à 1999.

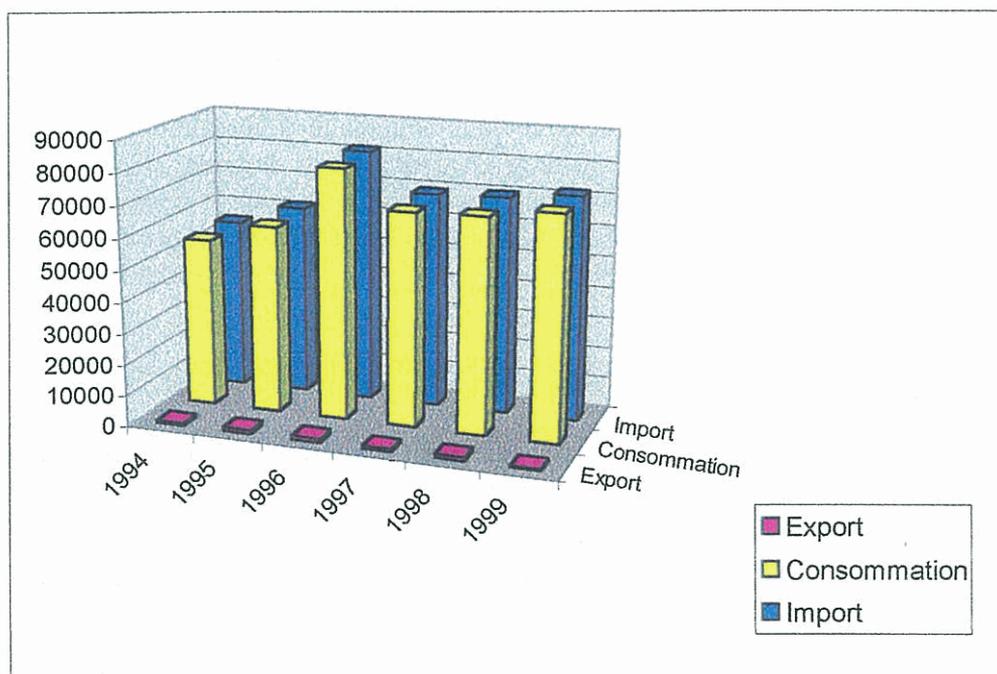


Fig. 23 – Consommation apparente française de perlite crue de 1994 à 1999. Exprimée en tonnage (t).

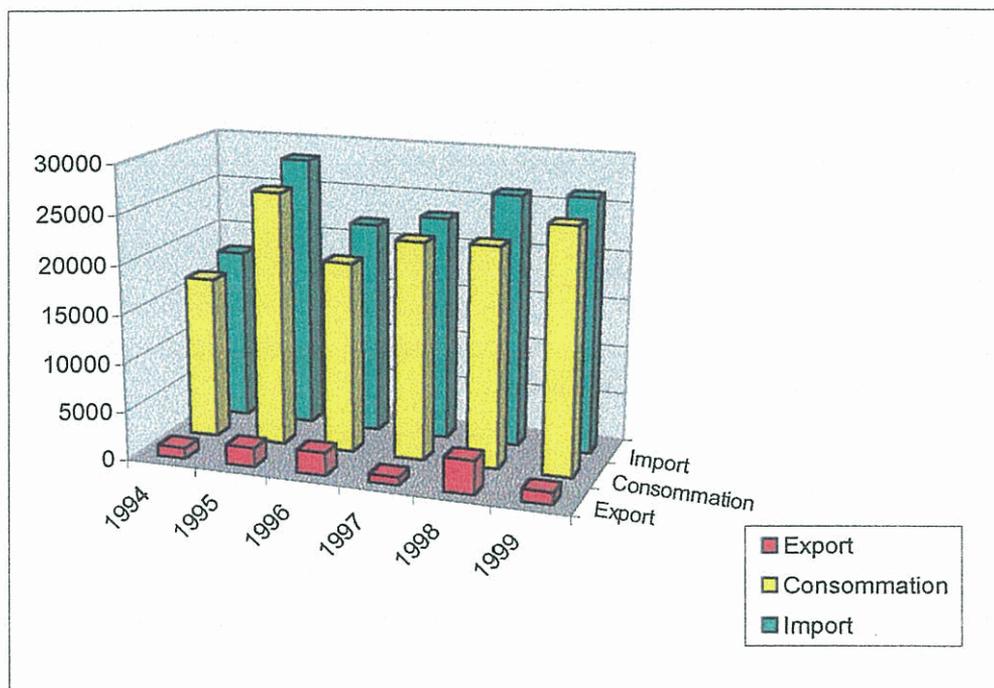


Fig. 24 – Consommation apparente française de perlite crue de 1994 à 1999. Exprimée en valeur (kF).

5.2.4. Sociétés présentes sur le marché français

Sociétés qui importent des minerais pour les expanser dans leurs usines :

- CECA (filiale d'Elf - Atochem) expanse dans son usine d'Honfleur (Calvados) des minerais provenant de sa filiale productrice sarde Ceca Italiana srl, et d'origines diverses ; les utilisations sont en filtration, cryogénie, fonderie et industries diverses. Elle possède également plusieurs installations mobiles d'expansion pour la production de perlite de qualité isolation cryogénique à proximité de gros chantiers (Air Liquide, Gaz de France...);
- Efisol SA expanse dans son usine de la Seyne-sur-Mer (Var) pour la fabrication de produits pour la construction ;
- Thermal Ceramics de France (filiale de Morgan Crucible Group) expanse dans son usine de Wissembourg (Bas-Rhin) et fabrique des panneaux d'isolation supports d'étanchéité de toiture et des panneaux d'isolation hautes températures ;
- Harborlite (filiale de World Minerals Inc) produit, sur le même site de Wissembourg, de la perlite de qualité filtration ;
- Armstrong World Industries expanse dans son usine de Pontarlier pour la fabrication de plaques isolantes de bâtiments ;
- les sociétés Placoplâtre et Lambert, du groupe BPB, expansent de la perlite de diverses origines, notamment dans l'usine de Vaujours (Seine-et-Marne) pour la fabrication de plâtre allégé ;
- la Société Lafarge expanse également de la perlite dans son usine du Pin (Seine-et-Marne) pour sa propre fabrication de plâtre ;
- Piral SA (filiale du danois Skamol AS) expanse dans son usine d'Alissas (Ardèche) pour la fabrication de briques et blocs de construction.

Société qui importe et vend des minerais crus :

Silver & Baryte Ores Mining Co S.A. importe, stocke en flux tendu, et diffuse ses produits crus, à partir de son centre de Chalon.

Sociétés qui maintiennent un bureau commercial :

- Europerlite (filiale de World Minerals Inc) a un bureau à Nanterre ;
- Eagle-Picher Minerals International SARL (filiale d'Eagle-Picher Minerals Inc) a un bureau à Paris.

6. Coûts

Les prix indicatifs du marché communiqués par Industrial Minerals en décembre 2000 étaient les suivants, pour les différentes qualités de produits :

Nature et qualité	Cotation internationale	Equivalence en Francs Français	Equivalence en Euros
Perlite crue, broyée et calibrée, en vrac, prix CIF port du Royaume-Uni	55-60 £/t	550-600 F/t	84-91 €/t
Qualité granulats, expansée, départ usine du Royaume-Uni	210-300 £/t	2100-3000 F/t	320-457 €/t
Qualité filtration, expansée et broyée, livrée usine au Royaume-Uni	312-335 £/t	3120-3350 F/t	475-510 €/t
Qualité filtration, expansée et broyée, départ usine aux USA	210-422 \$/t	1470-2950 F/t	224-450 €/t

Tabl. 16 - Coûts indicatifs de la perlite, en fonction des qualités (d'après Industrial Minerals, décembre 2000).

En ce qui concerne la perlite crue, broyée et calibrée, en vrac, il ressort des statistiques de la direction des douanes françaises pour 1999 (tabl. 13), une valeur moyenne à la tonne de nos importations de perlite, toutes qualités industrielles confondues, directement à partir des principaux pays producteurs, comprise entre 225 F (Maroc) et 329 F (Turquie). En revanche, la valeur moyenne à la tonne de nos importations à partir de pays non producteurs s'échelonnait la même année entre 927 F (Espagne) et 1757 F (Pays-Bas).

7. Produits de substitution

Les deux principaux produits concurrents sont la vermiculite et la diatomite.

Dans le domaine du bâtiment, la vermiculite est appréciée pour ses qualités réfractaires lorsque l'effet retardateur d'incendie est recherché. La perlite se distingue par un coût moins élevé et une meilleure résistance mécanique.

D'une façon générale, le polystyrène et tous les dérivés du pétrole sont des bons isolants thermiques de faible densité, et sont utilisés dans le secteur de la construction.

En cryogénie, la perlite est sans concurrence sérieuse du fait de son excellente isolation thermique à basse température et sa faible force de rétention de l'humidité.

En horticulture, l'inertie chimique de la perlite peut être préférée à la capacité d'échange cationique de la vermiculite suivant l'effet recherché.

Dans le secteur de la filtration, la diatomite domine nettement lorsqu'un effet clarifiant est nécessaire.

Les principaux produits de substitution à la perlite et leurs avantages comparés sont résumés dans le tableau 17.

Secteur	Perlite	Produits de substitution
Filtration	Agent filtrant incompressible. Pour filtration grossière à débit élevé sans clarification (glucoserie)	Diatomite : agent filtrant et clarifiant (filtrations alimentaires), ultra-filtration (haute pression)
Bâtiment Construction	Très employée dans les bétons grâce à sa bonne résistance mécanique	Vermiculite : plus chère, de moins bonne résistance mécanique et dégradation à l'humidité, mais meilleure résistance au feu ; polystyrène (et autres dérivés du pétrole), laines de verre et de roche
Bâtiment Plâtre Ciment	Bonne isolation phonique et thermique, granularité 0,6-1,0 mm souvent plus fine que celle de la vermiculite : (80 % > 0,6 mm)	Vermiculite : plus chère mais meilleure résistance au feu, meilleure adhésion aux parois, meilleur état de surface du plâtre, meilleure absorption des déformations
Bâtiment Revêtement sols	Couleur blanche contrastant avec le liant	Vermiculite : couleur sombre plus discrète, meilleur état de surface du revêtement
Cryogénie	Faible force de rétention de l'humidité, ininflammabilité, très bonne isolation thermique pour les températures négatives	Vermiculite : plus forte rétention de l'humidité et manutention moins aisée
Horticulture	Isolation thermique atténuant les variations de température, grande capacité d'absorption de l'eau, évite le dessèchement total irréversible des tourbes	Vermiculite : plus forte rétention de l'eau et en moindre quantité ; possède une capacité d'échange cationique et fait tendre le pH vers des valeurs acides, et enfin moins bonne résistance mécanique
Charges	Le plus léger des minéraux de charge	Kaolin, sépiolite, talc, craie, zéolite, etc... sont plus denses, mais craie et zéolite ont une meilleure résistance mécanique

Tabl. 17 - Principaux produits de substitution à la perlite et avantages comparés.

Bibliographie

- Allen M.J. (1992) - The expanding perlite industry. 10th Industrial Minerals International Congress San Francisco 1992. Metal Bulletin plc, UK, May 1992, pp. 51-56.
- Anonyme (1977) - Perlite, market patterns and future potential. *Industrial Minerals*, May 1977, pp. 17-37.
- Anonyme (1981) - The economics of Perlite, third edition 1981. Roskill Information Services Ltd., London, UK, 101 p., 31 ann.
- Anonyme (1984) - Test Methods and Related Standards, 4th edition, 1984. Perlite Institute Inc., New-York, 95 p.
- Anonyme (1992) - The economics of Perlite, sixth edition 1992. Roskill Information Services Ltd., London, UK, 153 p., 29 ann.
- Anonyme (2000) - Perlite consumption expected to increase to 2.5 Mt (2.7 M st). *Mining Engineering*, May 2000, p. 22.
- Anonyme (2000) - Perlite consumption to increase. *Skilling's Mining Review*, 19 february, 2000, vol. 89, n° 8, p. 10.
- Anonyme (2000) - The economics of Perlite, seventh edition 2000. Roskill Information Services Ltd, London, UK, 110 p., 8 ann.
- Bares M. and *al.* (1984) - Perlite industrial exploitation. UNIDO-Czechoslovakia Joint Programme for International Cooperation in the Field of Ceramics, Building Materials and Non-metallic Minerals Based Industries. Pilsen, Czechoslovakia, March 1984, 124 p., 16 tabl., 17 fig.
- Barker J.M. and Santini K. (1999) - « Perlite », *in Mining Engineering*, June 1999, vol. 51, n° 6, pp. 40-41.
- Benbow J. (1987) - Minerals in fire protection – Construction supports market. *Industrial Minerals*, September 1987, pp. 61-73.
- Bolen W.P. (1999) - « Perlite », *in Mineral Industry Surveys*, 1998 Annual Review. USGS, July 1999.
- Bolen W.P. (2000) - « Perlite », *in Mineral Industry Surveys*, 1999 Annual Review. USGS, August 2000.

- Boucarut M. (1971) - Etude volcanologique et géologique de l'Esterel (Var, France) - Thèse Univ. de Nice, 1971, 2 tomes, 453 p.
- BPB - Placoplâtre (2000) - Communication orale.
- Breese R.O.Y., Barker J.M. (1994) - « Perlite », in *Industrial Minerals and Rocks*, 6th Edition, D.D. Carr Editor, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc, Littleton, Colorado, USA, pp. 735-749.
- Cameron D. and Russel A. (1997) - « Perlite », in *Industrial Minerals Prices and Data 1996*, J.B. Griffiths editor, pp. 75-77.
- CECA SA (2000) - Communication orale.
- Chesterman C.W. (1975) - « Perlite » in *Industrial Minerals and Rocks*, S.J. Lefond Ed., SME-AIME Inc., New-York, 4th edition, pp. 927-934.
- Comptoir des Minéraux et Matières Premières (CMMP) (2000) - Communication orale.
- Coope B. (1998) - Perlite. Supplement to Mining Journal, London, September 4, 1998, vol. 331, n° 8496, p. 11.
- Coope B. (1999) - « Perlite », in *Mining journal annual Review 1999*, p. 136.
- Direction Nationale des Statistiques du Commerce Extérieur (DNSCE) de la direction des Douanes (1990 à 2000) - Statistiques annuelles des importations et exportations de la France.
- DRIRE - Pays de la Loire (1996) - Travail dans les milieux empoussiérés des carrières - Plaquette d'information, février 1996.
- Fédération des chambres syndicales des Minerais, Minéraux Industriels et Métaux non ferreux (2000) - Communication orale.
- Giordano N., Recupero V., Pino L. and Bart J.C.J. (1987) - Zeolitisation of perlite. A prospective route. *Industrial Minerals*, September 1987, pp. 83-95.
- Gout D., Floret B. (1997) - La silicose : une maladie professionnelle d'actualité. *Travail et Sécurité*, juillet-août 1997, pp. 21 à 43.
- Grès M. (1979) - La perlite. Mémento substances utiles (matériaux de carrières), rap. BRGM n° 79 SGN 166 MTX, janvier 1979.
- Gros Y. (1976) - Etude sur la visite et les échantillonnages (complétés par une étude pétrographique) de quelques gisements de perlites dans le Massif central français. Rap. BRGM 76 SGN 403 MTX.

- Harben P.W., Bates R.L. (1984) - Geology of the Nonmetallics « Perlite ». Metal Bulletin Inc., New-York, USA, pp. 69-76.
- Harben P.W. (1999) - « Perlite », in the Industrial Minerals Handy Book third edition, Industrial Minerals Information Ltd, Surrey, UK, pp. 150-153.
- Harmand C. (1976) - Contribution à l'étude des propriétés expansives des verres volcaniques acides. Thèse, Clermont-Ferrand, 14 mai 1976.
- Jebson D.H. and Allen M.J. (1984) - The changing emphasis in the exploration, processing and marketing of Sardinian perlites. 7th Industrial Minerals International Congress, 1984.
- Kadey F.L., Jr (1983) - « Perlite », in Industrial Minerals and Rocks, 5th ed., vol. 2, S.J. Lefond, Edition, Society of Mining Engineers, New-York, USA, pp. 997-1015.
- Kendall T. (1999) - Perlite producers - Heavy hitters in a lightweight business. *Industrial Minerals*, August 1999, pp. 57-63.
- Kendall T. (2000) - No sign of the bubble bursting - Perlite uses and markets. *Industrial Minerals*, June 2000, pp. 51-59.
- Langford R.L. (1979) - « Mineral Dossier n° 21 ». Institute of Geological Sciences, London.
- Lin I.J. (1989) - Vermiculite & Perlite for animal feedstuff and crop farming. *Industrial Minerals*, July 1989, pp. 43-49.
- Lin I.J. (1998) - Perlite and vermiculite. Crudely speaking, the potential is good. *Industrial Minerals*, May 1998, pp. 55-59.
- Loughbrough R. (1991) - Minerals in lightweight insulation. Filling the market. *Industrial Minerals*, October 1991, pp. 21-35.
- Lu W. (1998) - « Perlite », in Chinese Industrial Minerals, J. Griffiths Editor, Industrial Minerals Information Ltd, Publ., Surrey, UK, pp. 110-112.
- Maton D. (2000) - Poussières inhalables et poussières alvéolaires siliceuses : réglementation, conditions de prélèvement, résultats des mesures et commentaires. Communication orale. BRGM, service analyses et caractérisation minérale.
- Ministère de l'industrie (1994) - Décret n° 94 784 du 2 septembre 1994, introduisant le titre « Empoussiérage » dans le règlement général des Industries extractives.
- Ministère du travail et des affaires sociales (1997) - Arrêté du 10 avril 1997 relatif au contrôle de l'exposition des travailleurs exposés aux poussières de silice cristalline. Journal officiel de la République française, 12 avril 1997, p. 5 582.

- Ministère du travail et des affaires sociales (1997) - Décret n° 97-331 du 10 avril 1997 relatif à la protection de certains travailleurs exposés à l'inhalation de poussières siliceuses sur leurs lieux de travail. Journal officiel de la République française, 12 avril 1997, p. 5 578.
- Molnar J. (1989) - Perlite Mining in Hungary. *Mining Magazine*, December 1989, pp. 498-501.
- Murdock J.B., Stein H.A. (1950) - Comparative Furnace Designs for the Expansion of Perlite. *Trans.AIME*, vol. 187, pp. 111-116.
- Pettifer L. (1981) - Perlite - diversification the key to overall expansion. *Industrial Minerals*, December 1981, pp. 55-75.
- Power T. (1986) - Perlite and Vermiculite. The market overlap. *Industrial Minerals*, November 1986, pp. 39-49.
- Rocci J.P. (1987) - Mémento roches et minéraux industriels « La perlite ». Rap. BRGM 87 SGN 075 GEO, janvier 1987, 29 p.
- Shackley D. (1989) - 4th Hungarian Perlite Conference. Competition and profitability in future. *Industrial Minerals*, December 1989, pp. 64-65.
- Shackley D. (1990) - The Hungarian perlite industry. *Industrial Minerals*, April 1990, pp. 61-65.
- Stamatakis M.G., Lutat U, Regueiro M, Calvo J.P. (1996) - Milos. The mineral island. *Industrial Minerals*, February 1996, pp. 57-61.
- Tegyey M. (1975) - Aperçu bibliographique pour la recherche de perlite en France. Rap. BRGM SGN/GEO, mars 1975.
- Thermal Ceramics de France (1994 et 1998) - Communications orales.
- Thibaut P.M. (1997) - « Perlite », in *European Minerals Yearbook*, second edition 1996-1997. European Commission, prepared by BRGM for Directorate-General III, Industry, pp. 286-292.
- Wilson J.L., Emmons D.L. (1985) - Tucker Hill perlite deposit, Lake County, Oregon. *Mining Engineering*, technical papers, vol. 37, n° 11, pp. 1301-1308.

BRGM

SERVICE RESSOURCES MINÉRALES

Unité Roches et minéraux industriels

BP 6009 – 45090 Orléans cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34