

31908

Comme permis
Amstres

BE0

MEMENTO ROCHES ET MINERAUX INDUSTRIELS

L'OLIVINE

par

H. AFZALI

M. GRES



1988

88 SGN GEO



3 5000 00111081 5

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	1
1 - ECONOMIE ET MARCHÉ	2
1.1 - MARCHÉ FRANÇAIS	2
1.2 - PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS	2
2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS	8
2.1 - GEOLOGIE	8
2.2 - CONDITIONS DE GISEMENTS	9
2.3 - DISTINCTION DE DIVERS TYPES DE GISEMENTS PERIDOTIQUES	10
2.4 - GISEMENTS FRANÇAIS	11
3 - SECTEURS D'UTILISATION	18
3.1 - UTILISATION D'OLIVINE DANS LA SIDERURGIE ET LA FONDERIE	18
3.2 - UTILISATION D'OLIVINE DANS LA FABRICATION DES REFRACTAIRES ET BRIQUES ACCUMULATRICES	19
3.3 - AUTRES UTILISATIONS	19
4 - CRITERES DE SELECTION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES	20
4.1 - LA SIDERURGIE	20
4.2 - LA FONDERIE	21
4.3 - LE SABLAGE	22
4.4 - LE REFRACTAIRE	22
5 - MODE DE TRAITEMENT	25
6 - TENDANCES DU MARCHÉ	25
7 - PRODUITS DE SUBSTITUTION	25
BIBLIOGRAPHIE	27

INTRODUCTION

On désigne sous le nom d'olivines ou péridots, les minéraux appartenant à une solution solide dont les termes extrêmes sont : la forstérite $Mg_2(SiO_4)$ et la fayalite $Fe_2(SiO_4)$. Dans les variétés riches en magnésium, les olivines présentent souvent un léger remplacement de (Mg, Fe) par Mn et Ca, ainsi que par des traces de Co et Ni.

L'olivine (forstérite-fayalite) est un minéral, ferro-magnésien caractéristique des roches éruptives basiques (péridotites, gabbros, basaltes). Plus accessoirement, on la rencontre comme minéral de métamorphisme de certaines roches sédimentaires silico-magnésiennes (dolomie). [Les météorites en renferment également, de même que les scories d'affinage du fer qui contiennent de la fayalite].

L'olivine est principalement utilisée comme fondant en sidérurgie (pour l'élaboration de la fonte dans les hauts-fourneaux), comme réfractaire dans les sables de fonderie et dans la fabrication des briques accumulatrices de chaleur, comme abrasif de projection non siliceux (et comme amendement en milieu tropical).

Accessoirement, elle est parfois utilisée en joaillerie sous le nom de chrysolite (pierre semi-précieuse).

Actuellement, la France ne produit pas d'olivine. Les principaux pays producteurs sont : le Japon, la Norvège, les USA, l'Espagne, l'Autriche et l'Italie.

1 - ECONOMIE ET MARCHE

1.1 - MARCHE FRANCAIS

La France ne produit pas d'olivine. Celle-ci est surtout importée de Norvège, d'Espagne et d'Autriche.

Dans les statistiques douanières françaises, l'olivine ne figure pas nominativement. Une rubrique "cailloux et pierres concassées, etc... sous le n° 25.17.90.4", donne des quantités importées de Norvège et de l'Espagne (Cf. tabl. 1).

La sidérurgie en a utilisé 125.000 t en 1986. USINOR à Dunkerque et SOLMER à Fos sont les deux principaux consommateurs.

1.2 - PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS

Les principaux pays producteurs d'olivine sont : le Japon, la Norvège, les U.S.A., l'Espagne, l'Autriche et l'Italie.

En 1978, la production mondiale d'olivine était de l'ordre de 3.556.000 t (LEFOND, 1983) :

- JAPON	: 1.905.087 t
- NORVEGE	: 362.873 t, 2.800 000 t en 1986
- U.S.A.	: 217.724 t
- ESPAGNE	: 635.029 t
- ITALIE	: 90.718 t
- SUEDE	: 45.359 t
- AUTRICHE	: 27.215 t
- AUTRES	: 272.155 t

Années		Norvège	Espagne
1980	Quantités (t)	157.698	10.605
	Valeurs F.F.	10.215.000	740.000
	Prix/t F.F.	64,77	69,77
1981	Quantités (t)	143.116	-
	Valeurs F.F.	10.613.000	-
	Prix/t F.F.	74,15	
1982	Quantités (t)	141.915	14.209
	Valeurs F.F.	11.867.000	1.140.000
	Prix/t F.F.	83,62	80,23
1983	Quantités (t)	47.397	74.091
	Valeurs F.F.	4.340.000	6.127.000
	Prix/t F.F.	91,55	82,69
1984	Quantités (t)	210.112	55.058
	Valeurs F.F.	17.268.000	4.561.000
	Prix/t F.F.	82,18	82,83
1985	Quantités (t)	139.762	40.842
	Valeurs F.F.	11.528.000	3.910.000
	Prix/t F.F.	82,48	95,73
1986	Quantités (t)	107.023	37.455
	Valeurs F.F.	9.651.240	2.989.080
	Prix/t F.F.	90,17	79,80

TABLEAU 1

Importation française d'Olivine
(d'après statistiques douanières)

Le Japon

Le Japon est un grand pays producteur d'olivine (majeure partie de la production utilisée à l'intérieur du pays). La demande pour la consommation locale est estimée à 485 000 t/an. Durant l'année 1982, sur un total de 3.159.000 t, 93,6 %, c'est-à-dire 2.957.000 t, ont été utilisées dans les travaux publics et différents usages de construction. Le reste c'est-à-dire 204.000 t est utilisée dans les secteurs suivants :

Sidérurgie : 144.000 t, fonderie : 22.000 t, divers : 20.000 t, ciment : 15.000 t et réfractaires : 3.000 t (Industrial Minerals, 1984).

Vingt compagnies assurent la production de l'olivine au Japon, dont deux de ces sociétés 80 %.

. Toho Olivine Industrial Co-Ltd et Akaishi Olivine Co (Industrial Minerals, 1984).

Les mines d'olivine au Japon sont situées à 13 km de Sud Ouest de Samani à Hokkaido ; la composition chimique des minerais, est la suivante :

- MgO % : 47 (Max.)
- SiO₂ % : 42 (Min.)
- Fe₂O₃ % : 2
- CaO % : 0,4
- Oxydes % : 8,5 (Max.)
- Perte au feu % : 2.5.

La Norvège

Il existe d'importants gisements d'olivine de qualité en Norvège. Ceux de LEFDAL et de NORDDAL, en font partie. Ils sont situés tous deux sur la côte, respectivement dans le Nordfjord et le Norddalsfjord. L'Olivine de Lefdal est caractérisée par une forte teneur en forstérite. Elle est de nature sableuse. L'Olivine est extraite de carrières à ciel ouvert puis broyée et tamisée grossièrement à Lefdal ; elle est ensuite dirigée sur Rønne (Ile de Bornholm, Danemark) où elle est lavée.

A/S Olivine a extrait en 1986, 2.300.000 t d'olivine des mines de Aaheim (Almeklavdalen), Ouest de la Norvège, alors que la seconde compagnie : la Industrimineraler A/S en a produit 350.000 t à Norddal près de Tafjord et à Lefdal près de Aaheim.

La production de dunite qui dépend du complexe de Fjordane consiste en 91,3 % de forstérite, 6,8 % d'enstatite, 0,9 % de serpentine, 0,7 % de chromite et de 0,4 % de spinelle.

La composition chimique de l'olivine commerciale de Norvège est la suivante :

- MgO	: 48-49 %
- SiO ₂	: 42-43 %
- FeO + Fe ₂ O ₃ environ	: 8 %
- Al ₂ O ₃	: 0,5 %
- CaO	: 0,2 %
- MnO	: 0,1 %
- Perte au feu	: 0,4-0,6 %

Parmi les autres Pays scandinaves, la Suède produit une quantité modeste de 10.000 t/an.

L'analyse chimique est la suivante :

. MgO	: 46,0 %
. SiO ₂	: 41,1 %
. Fe ₂ O ₃	: 8,2 %
. CaO	: 0,8 %
. Oxydes	: 2 %

USA

Les mines d'olivine des Etats-Unis sont localisées dans les Etats de Washington et de Caroline du Nord.

Washington : le centre de production, est situé à Twin Sisters au centre de Skagit à 20 milles Est de Bellingham. Les roches non altérées de ces mines, sont constituées d'olivine, d'enstatite, de chromite et de clinopyroxène, la forstérite est dominante.

Caroline du Nord dans la région de Watauga, Nord Carolina, au Sud-Ouest de White Georgia, plusieurs masses de dunite constituent une ceinture sur une distance de 175 milles.

Quatre compagnies détiennent la production :

- . International Minerals et Chemical Corporation (IMC), avec à lui seul 60 à 70 % de la production de l'olivine des Etats Unis.
- . Olivine Corporation Compagnie produit près de 20 000 t/an de la région de Bellingham.
- . Spruce Pine Olivine Co, produit 40 à 50 000 t/an. Il exploite les mines de Sprue Pine, Mitchel County et North Carolina
- . National Olivine Co, qui est opérateur en Caroline du Nord produit 8 à 10.000 t/an des mines de Blanton, Silva et Franklin.

Ces olivines ont les compositions suivantes :

Washington

- . MgO : 49,4 %
- . SiO₂ : 41,2 %
- . Fe₂O₃ : 7,1 %
- . CaO : 0,2 %
- . Oxydes : 1,8 %

North Carolina

- MgO : 50,5 %
- SiO₂ : 40,1 %
- Fe₂O₃ : 6,7 %
- CaO : 0,2 %
- Oxydes : 1 %

Espagne

L'Espagne produit entre 600-700.000 t/an de dunite dont la plus grande partie (400.000 t/an) est sous le contrôle de la Société Pasek Espana SA, filiale de SA Pasek & Cie de Belgique (Industrial Minerals, 1980), qui exploite les carrières de la Sierra de la Capaleda près de Corogne. Près de 80 % de cette production est destinée à l'exportation vers la France et la Belgique (Industrial Minerals - Décembre 1980).

Dunitas Industriales qui est la deuxième compagnie exploite "Herbia mine" près d'Ortiguerra dans la région de Pasek.

Analyse chimique de la dunite espagnole en % :

. SiO ₂	: 41,5
. Al ₂ O ₃	: 2,4
. CaO	: 1,86
. MgO	: 36,20
. MnO	: 0,14
. Na ₂ O	: 0,18
. K ₂ O	: 0,06
. Fe total	: 6,35
. P.F.	: 8,4

Autriche

La Société Magnolithe GmbH, produit 120.000 t/an d'olivine serpentinisée. L'olivine est extraite des carrières de LEOBEN dont 40 à 70 % sont constituées de serpentine ; elle est utilisée en tant que sable de fonderie et réfractaire (P.W. Harben et al., 1984).

La composition de cette olivine serpentinisée est la suivante :

. SiO ₂	: 24-35 %
. MgO	: 43-44 %
. Fe ₂ O ₃	: 7,6-7,7 %
. Autres oxydes	: 0,7-0,8 %.

Italie

La production d'olivine des carrières de Nuova Cives SPA, près de Turin est de l'ordre de 80 à 90 000 t/an. Cette production est utilisée dans les applications traditionnelles et en particulier en sidérurgie, fonderie, etc..

Autres pays producteurs

URSS, Nouvelle Zélande, Zimbabwe, Afrique du Sud, Nouvelle Calédonie, Grèce, Inde, Brésil et Canada.

2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS

2.1 - GEOLOGIE

On désigne sous le nom d'olivine ou de péridot, les minéraux appartenant à une solution solide dont les termes extrêmes sont : la forstérite $Mg_2(SiO_4)$ et la fayalite $Fe_2(SiO_4)$. Ils sont orthorhombiques. La structure est constituée par un empilement pratiquement hexagonal compact d'atomes d'oxygène ; les atomes de Si occupent les sites tétraédriques et ceux de Mg ou de Fe les sites octaédriques.

Les olivines présentent souvent un léger remplacement de (Mg, Fe) par Mn et Ca ainsi que par des traces de Cr et Ni mais ceci surtout dans les termes riches en magnésium. Quant à la présence de Fe^{3+} elle est principalement due à une oxydation, conséquence de l'altération.

Les beaux cristaux sont rares et ont été exploités comme gemme dès l'Antiquité dans les veines d'une péridotite serpentinisée de l'île de Zebirget (Mer Rouge) ; ils sont utilisés en joaillerie sous le nom de Chrysolite. L'olivine est facilement reconnaissable à son aspect grenu, les grains étant généralement arrondis. La cassure de chaque grain est conchoïdale avec un éclat huileux ; la couleur est jaune verdâtre à verte. Les forstérites pures peuvent être incolores et transparentes tandis que les fayalites sont de couleur brune à noire.

L'altération classique en serpentine se propageant le long des fractures est la plus commune (chrysotile ou antigorite), l'altération en chlorite est également fréquente. Postérieurement à la serpentinisation et sous une influence hydrothermale conditionnée par la présence de CO_2 , il peut y avoir formation de talc ou de magnésite, ceci aboutissant souvent à des gisements industriels (Oural, Autriche). Communément, l'altération atmosphérique de l'olivine aboutit à une coloration rougeâtre due à la libération d'oxydes ferriques associés à la silice amorphe et à la magnésite : c'est l'iddingsite. Du point de vue industriel, il faut insister sur la concentration, lors de l'altération atmosphérique, du nickel substitué isomorphiquement au magnésium ceci sous forme d'antigorite nickélique (garniérite) et parfois de sépiolite nickélique (gîtes de type Nouvelle Calédonie).

L'hortonolite, comprenant entre 50 à 70 % de Fe_2SiO_4 , est un élément caractéristique des dunites ; elle serait réfractaire à la serpentinisation et persiste donc aux affleurements.

2.2 - CONDITIONS DE GISEMENTS

• *Roches intrusives*

Rappelons tout d'abord que la présence de l'olivine n'est pas compatible avec celle du quartz, les deux minéraux réagissant pour donner un pyroxène ; il existe cependant des granites à fayalite mais ils sont très rares. Les variétés magnésiennes sont de loin les plus fréquentes tandis que les fayalites sont plus spécialement restreintes aux sédiments métamorphisés riche en fer.

Minéral typique de haute température et d'origine profonde, l'olivine est un élément caractéristique des péridotites et, d'une façon générale, des roches intrusives en provenance du manteau ; leur présence dans les kimberlites est notamment à rappeler. Signalons que les dunites dont elle constitue la masse principale sont plus spécialement platinifères.

L'olivine est également présente dans certains gabbros (troctolite), pyroxénites et parfois disséminée dans des lamprophyres (Kersantite et minette). Des nodules de péridotites où l'olivine est associée au spinelle chromifère, au chrome-diopside, à l'enstatite, etc..., sont ramenés de la profondeur par les basaltes (rift des Causses). C'est enfin un élément caractéristique des basaltes, surtout dans les océanites.

• *Roches métamorphiques*

L'olivine magnésienne peut-être commune dans les calcaires dolomitiques impurs ayant subi un métamorphisme thermique, les cristaux sont parfois enveloppés d'une couronne de diopside (Sar-e-Sang, Afghanistan). Ces couronnes sont également connues dans certaines roches éruptives basiques ultérieurement métamorphisées : elles sont constituées alors de pyroxènes ou d'amphiboles (P. BARRIANT et al., 1977).

Etant formées à haute température et en l'absence d'eau, les olivines sont très sensibles aux agents d'altération ; elles sont souvent transformées en serpentine ou en mélanges de teintes vertes (saponite), oranges à vertes (chlorophalite) ou en rouges (iddingsite) et en proportions variables en montmorillonite, chlorite, talc, goethite, calcite et quartz. Les agents d'altération sont, selon les cas, soit les gaz tardimigmatiques soit les liquides des sols.

Les olivines se rencontrent en cristaux xénomorphes dans toutes les péridotites quels que soient leurs gisements (météorites pierreuses, dunites plutoniques, nodules péridotiques des basaltes) ainsi que dans les gabbros et les basaltes.

2.3 - DISTINCTION DE DIVERS TYPES DE GISEMENTS PÉRIDOTIQUES

Les péridotites apparaissent dans l'écorce terrestre en gisements dont les types peuvent se grouper en un nombre restreint de catégories.

- . Intrusions puissantes et étendues (plusieurs milliers de km²) généralement très différenciées, riches en concentrations métalliques. Age allant du Précambrien au Tertiaire. Type : Sudbury, Bushweld.

- . Chapelets d'intrusions plutoniques accompagnant les zones orogéniques. Très répandues dans les chaînes alpines où elles sont incluses dans les terrains sédimentaires ou faiblement métamorphiques. On admet généralement que leur mise en place est contemporaine de la phase géosynclinale par laquelle débute un cycle orogénique. Types : massifs des roches vertes des Alpes, des Balkans, d'Anatolie...

- . Péridotites ou serpentines d'origine métasomatique, se formant par voie métamorphique à partir de sédiments carbonatés dolomitiques. Des exemples de tels gisements ont été décrits en Amérique et en Afrique du Nord. Dans certains cas, de telles serpentines poursuivant leur évolution engendreraient des péridotites.

- . Noyaux péridotiques innombrables, d'étendue insignifiante par rapport aux gîtes précédents, inclus dans terrains cristallophylliens ou des granites. Ce mode de gisement se rencontre dans tous les môles cristallins anciens profondément érodés : Ecosse, Inde, etc...

- . Les péridotites forment dans de nombreux basaltes des noyaux à contours anguleux ou arrondis dont la taille varie de quelques millimètres à plus de un mètre. Ces nodules sont parfois disséminés au sein des coulées de lave, ou présents dans les produits de projection, au cœur des bombes volcaniques. On en connaît des exemples dans les volcans tertiaires et quaternaires du Massif Central et de toutes les régions à volcanisme basique semblable (FORESTIER F.H., 1962).

2.4 - GISEMENTS FRANCAIS

Nous ne connaissons aucun gisement équivalent à ceux des pays producteurs d'olivine. Dans les variétés de péridotites qui se trouvent en Bretagne, dans les Vosges, le Massif Central, dans les Alpes ou Pyrénées, l'olivine constitue un pourcentage insuffisant pour que l'on puisse envisager l'exploitation industrielle. Très souvent sous l'action de l'altération, l'olivine a été transformée en serpentine. Les péridotites les moins serpentinisées sont surtout localisées dans les Pyrénées et rarement en bordure du Massif Central.

- PYRENEES

Parmi les gisements reconnus de Lherzolite (roche ultrabasique riche en MgO), cinq sites paraissent intéressants (B. ROZES : 1983) :

- Etang de Lherz dans l'Ariège,
- Tuc Desse dans la Haute Garonne,
- bois de la Pinouse dans l'Ariège,
- Pic de Geral dans l'Ariège,
- Bois du Fajou dans l'Ariège.

Les principales caractéristiques de ces sites sont résumées dans le tableau suivant (tableau 2) :

	Altitude (m)	Surface des affleurements	Serpentinisation	CHIMISME		Accès	Réserves possibles Mt
				MgO %	H ₂ O %		
Etang de Lherz	1250-1555	48 ha	faible	39,45	3,10	facile	60
Tuc Desse	700-1237	60 ha	faible	39,90	2,00	difficile	30 à 40
Bois de La Pinouse	1680-1720	70 ha	faible	39,25	0,68	assez facile	24
Pic de Geral	1775	10 ha	faible	42,55	3,10	assez facile	4
Bois du Fajou	1200-1450	18 ha	faible	39,43	0,35	difficile	30

TABLEAU 2

Les principales caractéristiques des Lherzolites des Pyrénées

- MASSIF CENTRAL

- Région de Thiviers-Dordogne (24)

. Le massif de la Robière (2 km x 0,4 km) à 5 km à l'WNW de Thiviers, a la composition d'une ~~harzburgite~~ serpentinisée dont l'analyse moyenne est la suivante (%):

harzburgite

SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	(+ FeO)	CaO	CO ₂	H ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O
40	33,5	8	3,5	2,5	1	11	3,2	0,3

. Le massif de Sarrazac (1 km x 0,5 km) à l'ENE de Thiviers est composé en partie de serpentinites montrant d'assez nombreuses reliques de péridotite, leur composition moyenne est la suivante :

SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	(+ FeO)	CaO	CO ₂	H ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O
38	35	7	3	2	0,5	8	6	0,5

- Région d'Uzerches - Corrèze (19)

. Massifs du Plantadis (amande de 800 m sur 300 m) et du Chatenet Nord (tout petit) près de Le Lonzac, à 15 km au NE d'Uzerches, entièrement fait d'une olivinite à amphibole et magnétite.

. Région de Châlus

Les péridotites peu ou pas serpentinisées n'ont été trouvées qu'à Cussac, Champagnac et La Boissonie.

. A Cussac, c'est une ~~harzburgite~~ *harzburgite*, l'olivine est à 49 % MgO et 9 % FeO, l'hypersthène à 32 % de MgO et 8 % FeO.

. A Champagnac et la Boissonie, c'est une lherzolite légèrement feldspathique composée essentiellement d'olivine à 49 % MgO, l'hypersthène est à 31 % MgO et 11 % FeO.

- CAP CORSE

Les travaux géologiques récents réalisés dans ce secteur (M. OHNESTETTER, 1982) ont montré que le massif de péridotite du Monte Maggiore (bordure nord-ouest du Cap Corse) renferme des panneaux peu serpentinisés. Les analyses chimiques rassemblées dans le tableau 3 (analyses M. OHNESTETTER, 1982 et BRGM, 1986) montrent que ces péridotites présentent une teneur moyenne en MgO de 39 %, la perte au feu est de 5 %. Cette composition est par conséquent compatible avec une utilisation en sidérurgie (P. Le BERRE et M. GRES, 1986).

. En Bretagne, près de Quimper et au Sud de Nantes, sont signalés des affleurements de serpentinites ; renfermant quelques reliquats de péridotite.

TABLEAU 3

Composition chimique de la péridotite du Monte Maggiore (Cap Corse) -
 Comparaison avec les péridotites de Norvège et d'Espagne et la Lherzolite des Pyrénées
 (d'après P. Le BERRE et M. GRES, 1986)

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF	
péridotite de Norvège		42 - 43	0,5	8	0,1	48 - 49	0,2					0,5	
Péridotite d'Espagne (1978) (La Corogne)		40,3	2,7	6,2		36,3	2	0,06	0,13			9,5	
Lherzolite des Pyrénées (1983)		43,7	2,7			38,9		0,2				?	
PÉRIDOTITE DU MONTE MAGGIORE (CORSE)	B. R. G. M. 1970	45,31	4,54	12,12	0,06	24,16	2,91	0,20	0,35	0,09	0,04	11,58	
	M. OHNSTETTER (1982)	39,91	1,92	8,35	0,14	37,80	1,85	0,01	tr.	0,12	0,03	tr.	6,36
		41,34	2,78	7,79	0,13	36,15	2,80	tr.	0,01	0,12	0,02	tr.	7,60
		40,1	1,10	8,86	0,14	38,81	0,49	0,01	0,01	0,09	0,02	tr.	9,25
		41,72	2,15	8,53	0,14	39,77	2,22	0,02	0,06	0,07	tr.	tr.	5,43
	B. R. G. M. (1986) FLUO. X	1 A	42,5	2,59	8,38	0,13	40,34	2,01	0,05	0,02	0,11	0,05	2,31
		1 B	40,4	2,73	8,15	0,12	37,99	2,00	"	"	0,10	"	6,18
		2	41,5	2,27	7,95	0,13	40,11	1,69	"	"	0,10	"	5,36
		3	41,3	2,50	7,86	0,13	37,84	1,81	"	"	0,16	"	7,13
		4	42,0	2,58	7,89	0,13	38,62	2,36	"	"	0,07	"	5,69
		5	42,3	2,61	7,61	0,13	38,94	2,38	"	"	0,07	"	4,92
		6	41,3	3,00	7,97	0,13	39,82	2,47	"	"	0,08	"	3,32
	M	41,6	2,61	7,97	0,13	39,09	2,10	0,05	0,02	0,10	0,05	tr.	4,99

REMARQUE : *Les basaltes du Massif Central ont entraîné lors de leur mise en place des débris de péridotites provenant des couches profondes (manteau supérieur) : coulées, necks ou projections contenant souvent des nodules de péridotite. Ces nodules toutefois sont de taille généralement inférieure à 10 cm et lorsqu'ils sont abondants, n'excèdent pas 10 % du volume total du basalte. Différents lieux sont mentionnés sur les cartes à 1/50 000 de :*

. RIOM en Montagne, avec des basaltes à nodules de péridotites dont les teneurs sont (%) :

SiO ₂	MgO	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O + Na ₂ O	H ₂ O
41	13-15	9-12	5-10	4-1	17-9	1-6	3-9

. PLEAUX : basaltes riches en olivine à Ally et Barriac-les-Baquets, neck de Bragne à 10-20 % de phénocristaux d'olivine.

. VIC : basaltes riches en olivine à Poulhenc (Est).

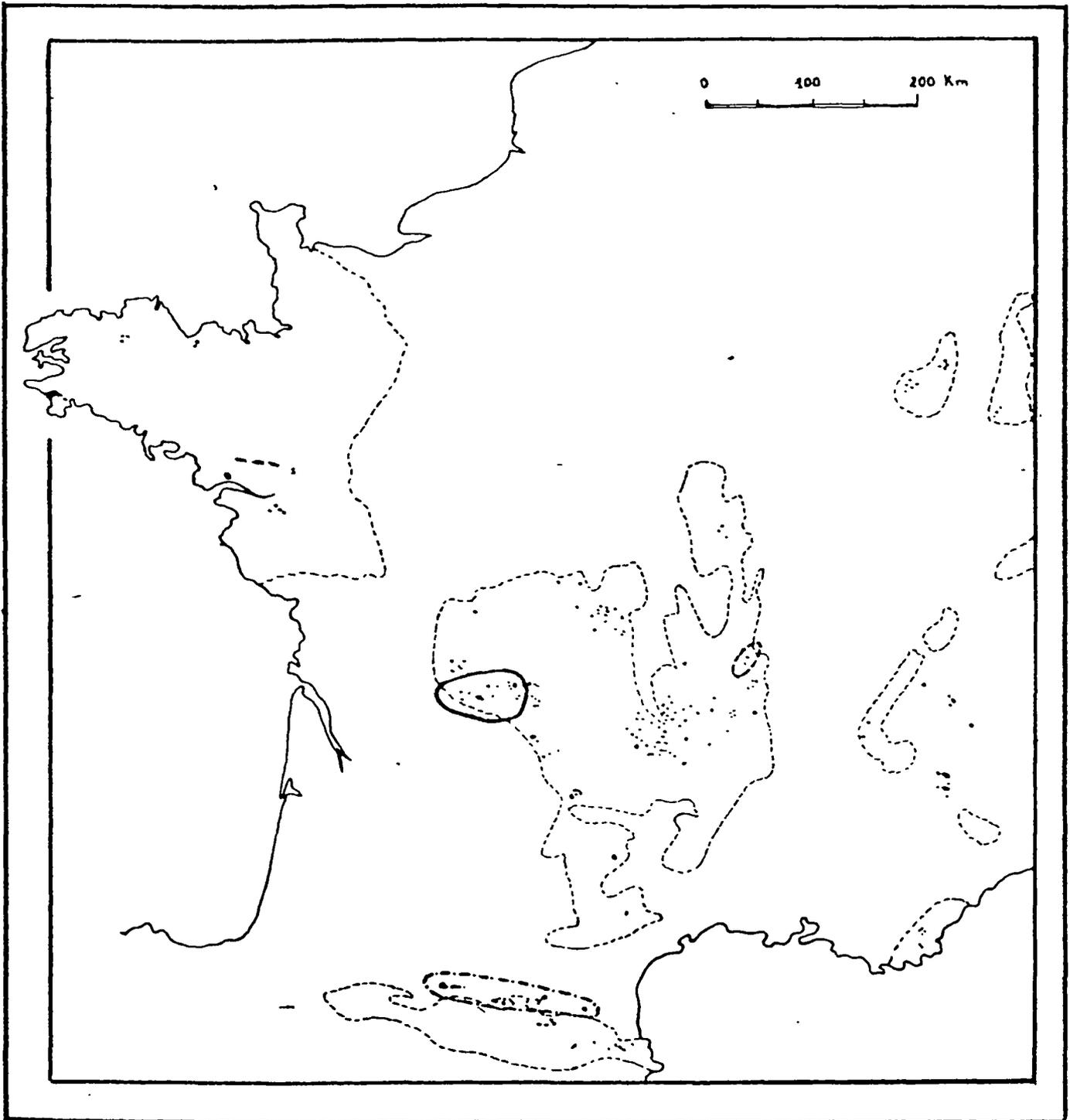
. CAYRES : enclaves de péridotites dans le basalte des plateaux, et dans les coulées de Conac, Conaguet près de Saint-Privat d'Allier.

. LANGOGNE : les nodules de péridotite se rencontrent surtout dans les scories des appareils volcaniques (carrière du Bois de Chanteperdix, Mont Redon) au NE.

. LANGEAC.

LES PERIDOTITES SERPENTINISEES EN FRANCE (CORSE EXCEPTEE)

D'après F.H. FORESTIER.



○ Contour des principaux massifs cristallins anciens.

•• Massifs ultrabasiques (l'échelle de la carte n'a pas permis de figurer ces massifs en vraie grandeur).

● Province péridotique limousine.

○ Péridotites hercyniennes de la Brévenne.

○ Lherzolites pyrénéennes.

3 - SECTEURS D'UTILISATION

L'olivine, trouve différentes applications dans l'industrie comme réfractaire, sable de fonderie, briques accumultrices. La sidérurgie l'utilise également en roche, introduite directement en haut-fourneau : en France, elle est principalement utilisée dans la fabrication des agglomérés (minerai de fer + coke + olivine) avant leur introduction dans les hauts-fourneaux.

Selon Industrial Minerals and Rocks (1983), sur une production mondiale d'olivine de 3.900.000 Short Tons en 1978, les quantités consommées pour différents usages sont les suivantes :

Sidérurgie (haut fourneau)	3.000.000
Sable de fonderie	600.000
Briques accumultrices	75.000
Réfractaires	75.000
Abrasifs	50.000
Divers	100.000
TOTAL	3.900.000

3.1 - UTILISATION D'OLIVINE DANS LA SIDERURGIE ET LA FONDERIE

En 1980, la CEE a importé 800 000 t d'olivine et 400 000 t de dunité pour la sidérurgie. Plus récemment la consommation d'olivine dans la sidérurgie européenne est estimée entre 1,5 et 1,8 millions de t/an (Industrial Minerals, septembre 1984).

L'olivine pure fond à 1910°C mais avec l'ensemble des minéraux du haut fourneau, elle permet la fusion globale à 1450°C en donnant un laitier fluide, moins visqueux et moins abondant qu'avec le calcaire.

En 1987, la sidérurgie française a utilisé un peu plus de 200.000 t d'olivine et 40.000 t de dunité, la fonderie** 5.000 t d'olivine de granulométrie fine et serrée, vendue par les grossistes importateurs : 650 F/T H.T en vrac.

** chromite : 15.000 t à 950 F/t H.T.

zircon ~ 4.000 t à 2.600 F/t.

- Sont également importés pour la sidérurgie, en provenance de Suède, des boulettes autofondantes contenant 3 % d'olivine ; la CEE en a importé 3.900.000 t en 1986. Par rapport aux boulettes siliceuses, celles à l'olivine permettent une économie de combustible (464 kg à la tonne de métal contre 521) et limitent la production de scories (145 kg à la tonne de métal au lieu de 276 (Source LKAB, 1987).

3.2 - UTILISATION D'OLIVINE DANS LA FABRICATION DES REFRACTAIRES ET BRIQUES ACCUMULATRICES

L'utilisation des briques accumultrices s'est développée à partir de 1956 en Allemagne. A la suite de tests, les briques accumultrices d'olivine forstérite se sont substituées à celles réalisées au début avec la magnésite. Les expériences ont montré que les briques à base de forstérite offraient des avantages tant au point de vue accumulation de la chaleur qu'au niveau prix de revient. Sept à huit cent milles tonnes d'olivine sont ainsi utilisées annuellement dans ce secteur. Les briques accumultrices sont également utilisées dans les verreries (régénérateurs-réchauffeurs) car insensibles aux attaques des produits chimiques entraînées par les gaz des bains de verre (sulfates). Pour les mêmes raisons, leur emploi est apprécié dans les usines d'incinérations d'ordures et de déchets industriels.

3.3 - AUTRES UTILISATIONS

L'olivine est aussi utilisée comme abrasif de projection non siliceux et comme amendement en milieu tropical.

4 - CRITERES DE SELECTION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

4.1 - LA SIDERURGIE

Propriétés chimiques

Le principal consommateur d'olivine est la sidérurgie. Les caractéristiques chimiques que doivent alors présenter les olivines sont :

- Teneur en MgO la plus élevée possible (Norvège : 48-49 %, USA : 45-50 % Espagne - dunite : 36 %, Autriche : 43-44 %, Japon : 47 %) et dans tous les cas supérieure à 36 %.
- Perte au feu la plus faible possible car elle engendre une consommation d'énergie. Cette perte au feu ne nuit pas à la qualité physique des agglomérés puisque l'eau est éliminée lors de la fabrication sur grille vers 1300°C. Par contre, lorsque l'olivine est enfourée en roche, une perte au feu trop importante provoque des éclatements prématurés entraînant une diminution de la porosité du lit et un mauvais fonctionnement du haut fourneau. La perte au feu doit être inférieure à 10 % pour les agglomérés et 4 % pour l'olivine en roche.
- Teneur en Na₂O, K₂O et ZnO inférieures à 0,2 %. Les éléments volatils tels que Na, K, Zn reprécipitent dans les zones moins chaudes du haut fourneau, provoquant des garnissages ± corrosifs du briquetage ainsi qu'une diminution de la porosité du lit, gênant le passage des gaz réducteurs. Bien entendu, elle ne doit pas contenir non plus de poisons de l'acier : P-As-S.
- Teneur en SiO₂ supérieure à 36 % (USA : 40-41 %, Norvège : 42-43 %, Suède : 41 %, Espagne : 41,5 %).
- Le fer et accessoirement Al, Mn ne sont pas gênants. En effet, Al permet d'obtenir un laitier fort apprécié pour la fabrication des granulats et la confection de certains ciments (CHF* et CLK* ~ CE III et CE II européens).

* Pour obtenir cette teneur, il faut parfois rajouter de l'alumine : à ce titre, 25 à 30.000 t de bauxite pure en morceaux a été importée de Grèce en 1987. Par ailleurs, il a été utilisé quelque 10.000 t de silex dans le Nord et de grès vosgien en Lorraine pour fondre des minerais trop calcaires.

** CHF : ciment de haut fourneau
CLK : ciment de laitier et klinker.
En 1986 : 6.000.000 t de laitier ont été utilisés comme granulats en Nord-Pas-de-Calais en France 2060.000 t à la fabrication des CHF et CLK.
L'emploi des péridotites corses à 2-3 % de Al₂O₃ éviterait l'utilisation d'alumine grecque obligatoire avec l'olivine de Norvège titrant 1 % Al₂O₃.

TABLEAU 4
Analyse de quelques "olivines" sidérurgiques (en %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	PF
Dunite Espagnole	41,5	2,4	1,86	36,2	0,14	0,18	0,066	6,4	8,4
Olivine Norvégienne	41-42	1		45-46				7	4,3
"Olivine" suédoise				> 40					

(Rapport 1986 - LKAB - p.10)

- **Propriétés physiques** : Les points de ramollissement et de fusion sont des caractéristiques primordiales. Une dunite qui éclate lors de l'enfournement colmate \pm le lit et de ce fait nuit au rendement et à la qualité de la fonte ; une température de fusion trop basse ou trop haute entraîne des conséquences analogues : minerai de fer et forstérite doivent fondre en même temps.

- **Granulométrie**

Pour l'enfournement direct, la dunite a, une granulométrie comprise entre 10 et 40 mm.

Pour l'agglomération sur grille, l'olivine doit posséder une granulométrie comprise entre 0,5 et 1 mm.

Pour le bouletage, la granulométrie de l'olivine doit être inférieure à 40 μ .

4.2 - LA FONDERIE

L'olivine est utilisée en tant que sable de fonderie, comme beaucoup d'autres minéraux tels que quartz, sillimanite, chromite, zircon.

L'olivine est sensiblement plus adaptée que le sable siliceux, du fait de son coefficient d'expansion thermique plus faible (1 % à 820°C au lieu de 1,7 à 620°C) permettant ainsi un refroidissement plus rapide des moules. Zircon et chromite sont encore meilleurs à ce point de vue (cf. 5^e Congrès Minéraux Industriels - Madrid, 1982 : l'Avenir des sables en Fonderie par G. ASHBY).

. Composition chimique

MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	PF
48 à 53 %	41 à 43 %	-	7 % maxi	0,2 % maxi	0,6 % maxi
49	41	3	7,3		

. Caractéristiques physiques

Masse volumique vraie : 3,2 à 3,6 g/cm³

Expansion thermique à 900°C : 1,1 %

Masse volumique : en vrac ~ 1700 kg/m³ - tassé elle atteint 2000 kg/m³

Alcalinité : demande acide à pH 3 : 28 ml ; pH 4 : 26 ml ; pH 5 : 25 ml

L'olivine de Norvège fritte à 1450°C, fond à 1700°C et a une dureté Mohs de 6,5-7,0.

. Granulométrie :

Sable 0,1 à 0,8 mm avec moins de 0,3 % inférieur à 50 µ. Finesse AFS : 20 à 120 µ.

Farine < 70 µ pour "peindre" la surface des moules en contact avec le métal -

(voir tabl. 5 ci-après).

4.3 - LE SABLAGE

L'olivine utilisée en sablage pour le décapage des surfaces métalliques, avant zingage ou peinture doit être "dure" (dureté Mohs 6-7 Knoop 560-820) donc ne pas comporter d'impuretés tendres (micas, chlorite, sulfure, épidote) qui nuiraient à la qualité du décapage.

La granulométrie comme celle de tous les abrasifs doit être très serrée -

(voir tabl. 5 ci-après).

4.4 - LE REFRACTAIRE - Accumulation de chaleur

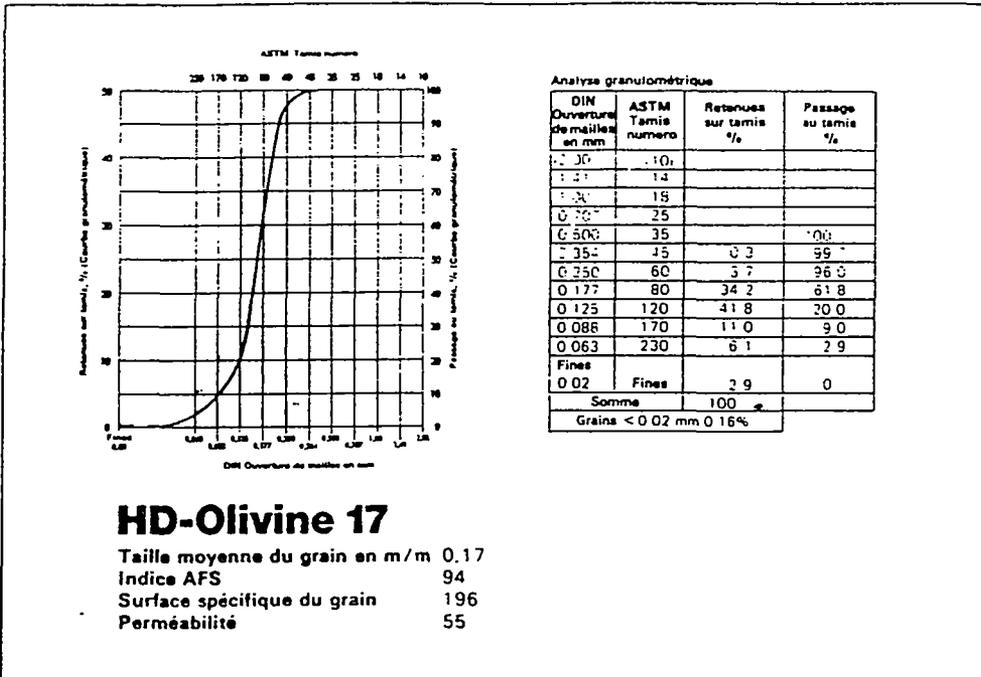
L'olivine ne doit pas contenir de fondants (micas, chlorite...). En France, il n'en est presque pas consommée, sauf pour les réfractaires non façonnés (goulottes). Elle coûte 2 à 3 fois moins chère que la magnésie mais est moins performante. Les granulométries les plus utilisées sont comprises entre 1 et 7 mm.

* AFS : America Foundry Society (series de tamis ASTM American Society for testing and Materials).

La finesse AFS est fonction du refus sur chaque tamis (N° 12 à 270 c'est-à-dire 1,68 mm à 53 µ) affectée d'un coefficient C (5 à 300) ⇒ finesse AFS =

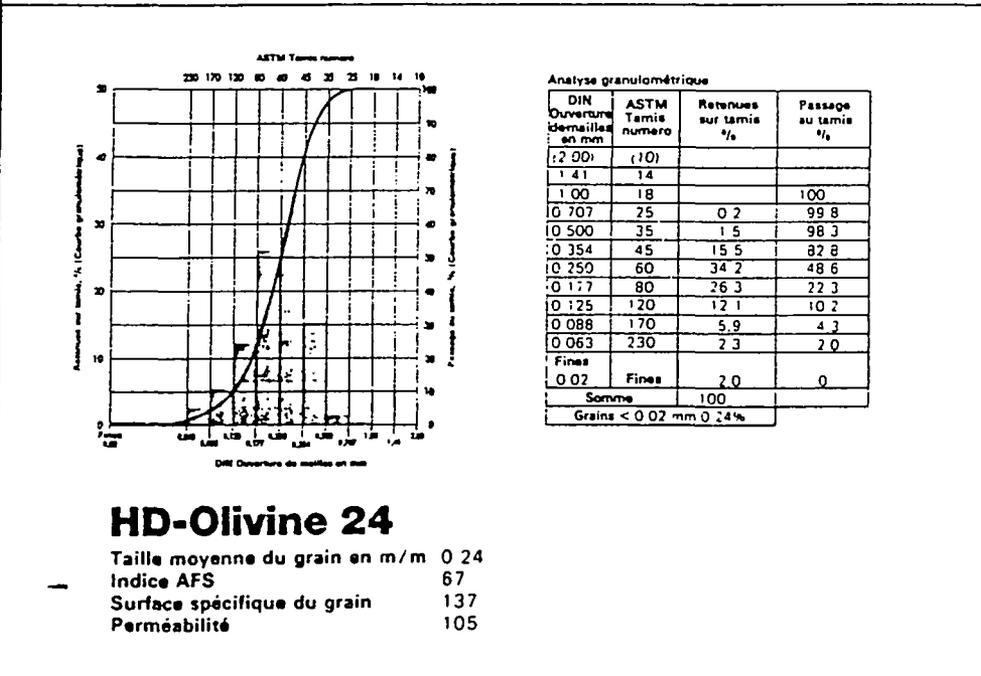
$$\text{finesse AFS} = \frac{\Sigma (\% \text{ refus sur tamis } N \times C_n)}{100}$$

TABLEAU 5
Caractéristiques physiques des Sables d'olivine (Norvège)



HD-Olivine 17

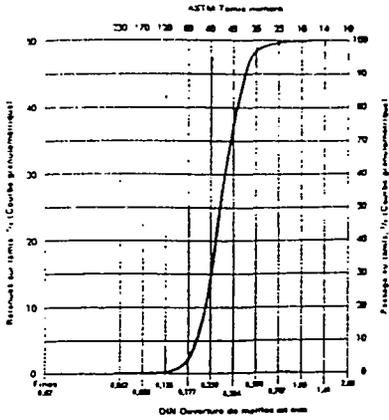
Taille moyenne du grain en m/m 0.17
 Indice AFS 94
 Surface spécifique du grain 196
 Perméabilité 55



HD-Olivine 24

Taille moyenne du grain en m/m 0.24
 Indice AFS 67
 Surface spécifique du grain 137
 Perméabilité 105

TABLEAU 5 (suite)

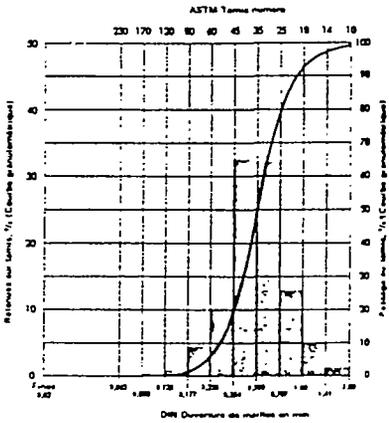


Analyse granulométrique

DIN Ouverture de mailles en mm	ASTM Tamis numero	Retenues sur tamis %	Passage au tamis %
2 000	10		
1 411	14		
1 000	18		100
0 707	25	0,2	99,8
0 500	35	1,9	97,9
0 354	45	21,3	78,6
0 250	60	47,4	52,6
0 177	80	25,7	74,3
0 125	120	7,3	92,7
0 088	170	0,6	99,4
0 063	230	0,4	99,6
Fines	Fines	0,2	0
Somme		100	
Grains < 0,02 mm		0,32%	

HD-Olivine 33

Taille moyenne du grain en m/m 0 33
 Indice AFS 50
 Surface spécifique du grain 103
 Perméabilité 245

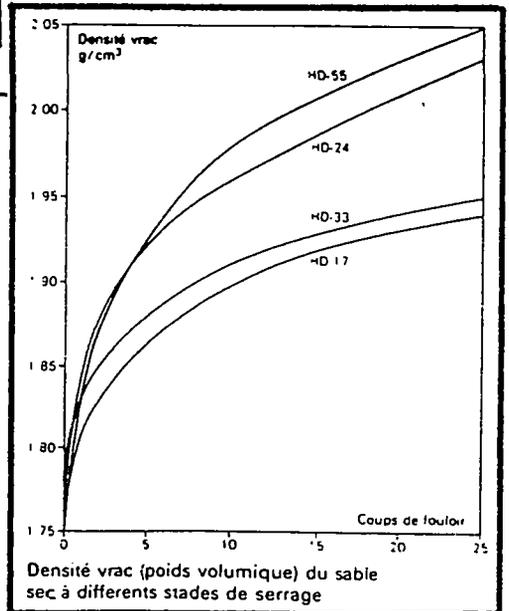


Analyse granulométrique

DIN Ouverture de mailles en mm	ASTM Tamis numero	Retenues sur tamis %	Passage au tamis %
2 000	10		100
1 411	14	1,4	98,6
1 000	18	5,2	94,8
0 707	25	13,1	86,9
0 500	35	32,0	68,0
0 354	45	32,3	67,7
0 250	60	10,3	89,7
0 177	80	4,4	95,6
0 125	120	1,2	98,8
0 088	170	0,1	99,9
0 063	230		
Fines	Fines		0
Somme		100	
Grains < 0,02 mm		0,4%	

HD-Olivine 55

Taille moyenne du grain en m/m 0 55
 Indice AFS 31
 Surface spécifique du grain 98
 Perméabilité 465



5 - MODE DE TRAITEMENT

Il ne semble pas qu'il y ait des procédés de traitement spécifique. On utilise suivant la qualité du minerai un traitement à sec ou par voie humide éliminant les fines et éventuellement les impuretés.

En Norvège, l'olivine est extraite de carrières à ciel ouvert, broyée et tamisée. Elle est parfois lavée et tamisée à l'eau pour la fabrication de sables de fonderie. L'olivine (à hautes performances) ainsi obtenue à une faible teneur en fines, une courbe granulométrique subverticale et une faible perte au feu.

L'ensemble de ces traitements entraîne un prix beaucoup plus élevé pour l'olivine des fonderies 600 F/t par rapport à celui de l'olivine de sidérurgie 100 F/t simplement concassée et criblée.

6 - TENDANCES DU MARCHÉ

Elle semble favorable en ce sens que l'usage de la dunite ou de l'olivine permet de faire des économies d'énergie (fusibilité à plus faible température) par rapport à l'utilisation de la dolomie. La dunite et l'olivine permettent aussi de diminuer la corrosion des fours et avec un minimum de matières, d'ajuster la basicité. Le choix de la dolomie, de la dunite ou de l'olivine dépend cependant des utilisateurs et il est difficile de se prononcer sur une extension des usages de l'olivine en sidérurgie.

En sable de fonderie, l'olivine a un coût beaucoup moins élevé que celui du zircon et de la chromite lorsqu'elle peut se substituer à eux. 600 F au lieu de 1560 et 1000 F/t.

Enfin sur le plan "Pollution" son emploi peut éviter celui de la silice responsable de la silicose.

7 - PRODUITS DE SUBSTITUTION

• Dolomie et magnésie, sont utilisées dans le domaine réfractaires de même que chromite* et zircon**, ce dernier essentiellement pour les électrofondus.

• En sidérurgie, la serpentine pourrait remplacer aussi l'olivine, malgré sa teneur plus faible en MgO et la présence de CO₂ et H₂O. Son utilisation ne nuit pas aux qualités de résistance des agglomérés mais elle entraîne une plus grande consommation d'énergie. La serpentine, résulte de l'altération de certaines roches éruptives, sa composition se situe entre les extrêmes ci-dessous :

Silice : 37 à 44 % Magnésie : 35 à 44 % Eau : 13 à 18 %

Cette roche est infusible au chalumeau.

La sidérurgie recherche un fondant dont les qualités chimiques essentielles sont les suivantes :

- richesse en MgO > 36 %

- teneurs en eau et en CO₂ les plus faibles possible < 10 %

En première approximation, conviendraient donc toutes les péridotites fraîches contenant au moins 36 % de MgO :

- Dunite, Harzburgite et Lherzolite composées au 2/3 d'olivine forstérite.

- Wehrlite, cortlandite, kimberlite composées au 2/3 de forstérite dans la mesure où les minéraux hydratés ne sont pas trop abondants.

Parmi les péridotites altérés, originellement plus riches en MgO, il faut noter : dunite serpentinisée à moins de 50 %, harzburgite serpentinisée à moins de 30 %, lherzolite, wehrlite, cortlandite, kimberlites peu serpentinisées.

- La fonderie utilise également des sables de chromite et zircon dont les performances sont meilleures mais ils sont aussi plus coûteux en France et en Europe qui n'en produisent pas, ils sont importés d'Australie - Afrique du sud - Turquie - Finlande.

*Chromite : 5 000 t utilisées en réfractaire en 1986 en France (2500 t en 1984).

**Zircon : 16 000 t utilisées en réfractaire en 1984 (1150 F/t).

La Badelleyite ZrO₂ est préférée au zircon pour les réfractaires basiques façonnés, l'oxyde Cr₂O₃ est de plus en plus utilisé avec l'alumine.

BIBLIOGRAPHIE

ASHBY G (1982). - The future for mineral sands in the foundry industry. 5ème Congrès Minéraux Industriels Madrid (1980).

AUBOUIN J., BROUSSE R., LEHMAN J.P. (1975) - Précis de géologie : Pétrologie. Dunod Université. France.

BARIAND P., CESBRON F., GEFFROY J. (1977) - Les minéraux : leurs gisements, leurs associations. Editions : Minéraux et Fossiles - France.

BAUMGART W. (1981) - Fifty years of utilisation of olivine. 4th "Industrial Minerals" International Congress. Atlanta. P.185-188.

CMMP (1974) - Comptoir de minéraux et matières premières : Publication sur olivine de Norvège. Paris - France.

FORESTIER F.H (1962) - Les péridotites serpentinisées en France. Bull. BRGM n°2, 1962.

GRES M. (1978) - Sources possibles de dunite et d'olivine en France. Rapport intern. BRGM (RMI).

HERNANDEZ J. (1973) - Le volcanisme tertiaire des monts Forez (Massif central français). Bull. Soc. Min. Crist.. 96, pp.303-312 France.

HARBEN P.W., BATES R.L. (1984) - Olivine : Geology of the non metallics. Published by Metal, Bulletin Inc. New-York. USA.

Industrial Minerals : Different n° : décembre 1975, décembre 1980, sept. 1984.

KEITH SUTTILL (1987) - Engineering Mining Journal, sept. 1987.

Le BERRE P., GRES M. (1986) - Etude préliminaire du gisement de péridotite du Monte Maggiore (Cap Corse). Rapport 86 GEO SED 058.

LEFOND (1983) - Industrial Minerals and Rocks.

Mining Engineering : differents n° : n°5, 1981, may 1986.

ROZES B. (1983) - Projet de carrière de Lherzolite dans les Pyrénées. BRGM 83 SGN 333 GMX -

Statistiques commerce extérieure de la France : 1980-1985.

- Renseignements oraux :

USINOR - SOLMER

Syndicat des fab. produits réfractaires

Centre technique de la fonderie.