

59
BUREAU DE RECHERCHES
GEOLOGIQUES ET MINIERES

DIRECTION DE MADAGASCAR

B. P. 458

TANANARIVE

CONFIDENTIEL



DEPARTEMENT DE LA REUNION

ETUDE SOMMAIRE DE L'UTILISATION
DES POZZOLANES ET DE L'OLIVINE

BUREAU DE RECHERCHES
GEOLOGIQUES & MINIERES

MADAGASCAR

TAN.64 - A/37

DEPARTEMENT DE LA REUNION

ETUDE SOMMAIRE DE L'UTILISATION
DES POZZOLANES ET DE L'OLIVINE

Novembre 1964

I.- LES POUZZOLANES DE L'ILE DE LA REUNION

I.1 - RESULTATS DES ESSAIS DE PRISE SUR DIFFERENTS MELANGES CIMENT/POUZZOLANE

Provenance

Pouzzolanes grises et rouges échantillonnées à la carrière de l'APECA, Piton Dugain.

Généralités

Les pouzzolanes sont des laves acides, légères, à structure vacuolaire ou scoriacée, essentiellement composées de silice (jusqu'à 55 %), d'alumine et de fer. Une de leurs propriétés, et la plus importante, est de fixer la chaux libre des ciments incorporés pour donner des silicates de chaux en milieu saturé d'eau, en conférant au mélange ainsi formé une résistance qui s'améliore sans cesse avec le temps. Cette propriété est accrue avec la finesse des pouzzolanes et peut être activée par la présence de soude ou de potasse. Elle rejoint donc le caractère principal des liants hydrauliques qui est de faire prise sous l'eau.

Avec 40 % de ciment Portland et 60 % de pouzzolane active, on obtient un produit qui, au bout d'un an, a la même résistance que 100 % de ciment Portland. Pratiquement, comme les essais physiques se font au bout de 2, 7 et 28 jours, on considère que l'on obtient les meilleurs résultats avec un produit composé de :

- . 40 % de pouzzolane au maximum
- . 60 % de ciment Portland au minimum

L'addition de pouzzolane, soit à un ciment, soit à un mortier , apporte en outre au matériau constitué un certain nombre de caractères utiles :

- . résistance accrue à la corrosion et, en particulier, à celle de l'eau de mer;
- . diminution sensible du poids de matériau;
- . diminution appréciable du poids du ciment Portland employé.

Essais effectués

Les essais effectués concernent uniquement les essais de prise définis par la norme PN P 15 - 431 à l'aide de l'appareil VICAT décrit par la norme NF P 15 - 414 avec éprouvette immergée.

Ces essais ont été faits avec du ciment Portland CPA 210-325 et des pouzzolanes grises et rouges ainsi préparées :

- . pouzzolanes naturelles pulvérisées à - 0,063 mm (tamis AFNOR, Module 19);
- . pouzzolanes chauffées pendant 3 heures à 500°, puis pulvérisées à - 0,063 mm;
- . pouzzolanes chauffées pendant 3 heures à 700°, puis pulvérisées à - 0,063 mm.

L'appareil VICAT est composé d'une aiguille de 1 mm² de section (diamètre : 1,13 mm), surmontée par un plateau, l'ensemble mobile pesant 300 grammes pour l'essai des pâtes ou 1 000 grammes pour l'essai des mortiers. Les moules sont tronconiques et de dimensions :

- . grande base inférieure, de diamètre intérieur 80 mm
- . petite base supérieure, de diamètre intérieur 70 mm
- . hauteur 40 mm.

La quantité d'eau de gâchage a été déterminée à l'aide de la sonde de consistance suivant la norme PN P 15 - 402 = quantité d'eau qu'il faut pour obtenir une pâte normale telle que la sonde de consistance ne descende pas à plus de 6 mm du bord inférieur du moule.

L'essai de prise donne deux temps :

- le premier indique le début de prise, c'est-à-dire la durée qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le moment où l'aiguille de VICAT s'arrête à une distance du fond du moule supérieure à 2,5 mm;
- le deuxième indique la fin de prise, c'est-à-dire la durée qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le moment où l'aiguille de VICAT ne s'enfonce plus d'une distance appréciable à l'oeil.

L'essai de prise a été fait :

- sur la pâte composée de ciment CPA et de pouzzolane pulvérisée avec un ensemble mobile pesant 300 grammes;
- sur le mortier composé de sable, de ciment CPA et de pouzzolane pulvérisée avec un ensemble mobile pesant 1 00 grammes.

Le tableau suivant résume les essais effectués; les temps ne sont donnés qu'à ± 15 minutes près, les observations ayant lieu au grand maximum toutes les 30 minutes.

Essai N°	Composition des éprouvettes		Pourcentage		Début de prise	Fin de prise
	<u>Pâte témoin</u>					
1	CPA Eau	500 g 150 g	CPA 100 %		3 h 47	8 h 31
2	CPA PR Eau	400 g 100 g 150 g	CPA PR 80 % 20 %		4 h 07	8 h 28
3	CPA PR Eau	300 g 200 g 150 g	CPA PR 60 % 40 %		4 h 10	9 h 12

Essai N°	Composition des épreuves		Pourcentage	Début des prise	Fin de prise
4	CPA PG Eau	400 g 100 g 150 g	CPA 80 % PG 20 %	3 h 23	7 h 12
5	CPA PG Eau	300 g 200 g 150 g	CPA 60 % PG 40 %	4 h 25	8 h 20
6	CPA PG Eau	500 ^g 400 g 100 g 150 g	CPA 80 % PG 500 ^g 20 %	4 h 06	8 h 39
7	CPA PG Eau	500 ^g 300 g 200 g 150 g	CPA 60 % PG 500 ^g 40 %	5 h 03	9 h 25
8	CPA PR Eau	500 ^g 400 g 100 g 150 g	CPA 80 % PG 500 ^g 20 %	4 h 41	9 h 59
9	CPA PR Eau	500 ^g 300 g 200 g 150 g	CPA 60 % PR 500 ^g 40 %	5 h 09	10 h 20
10	CPA PG Eau	700 ^g 400 g 100 g 150 g	CPA 80 % PG 700 ^g 20 %	4 h 22	9 h 36
11	CPA PR Eau	700 ^g 400 g 100 g 150 g	CPA 80 % PR 700 ^g 20 %	4 h 19	9 h 38

Essai N°	Composition des éprouvettes		Pourcentage		Début de prise	Fin de prise
	<u>Mortier témoin</u>					
12	Sable	390 g	Sable	75 %	7 h 15	11 h 35
	CPA	130 g	CPA	25 %		
	Eau	78 g				
13	Sable	390 g	Sable	75 %	5 h 40	10 h 10
	CPA	104 g	CPA	20 %		
	PG	26 g	PG	5 %		
	Eau	78 g				
14	Sable	390 g	Sable	75 %	5 h 40	11 h 00
	CPA	65 g	CPA	12,5 %		
	PG	65 g	PG	12,5 %		
	Eau	78 g				
15	Sable	390 g	Sable	75 %	7 h 01	vers 13 h
	CPA	104 g	CPA	20 %		
	PR	26 g	PR	5 %		
	Eau	78 g				
16	Sable	390 g	Sable	75 %	8 h 32	vers 13h10
	CPA	65 g	CPA	12,5 %		
	PR	65 g	PR	12,5 %		
	Eau	78 g				

Nota..- Essais de début et de fin de prise effectués avec éprouvettes immer-
gées :

- . CPA : ciment Portland 210-325
- . PG : pouzzolane grise pulvérisée à - 0,063 mm
- . PR : pouzzolane rouge pulvérisée à - 0,063 mm
- . Température d'immersion : 20° ± 2 dans eau potable
- . Sable de granulométrie comprise entre 0,160 et 1,60 mm

Conclusion

Les essais sur les mélanges ciment + pouzzolane et ciment + pouzzolane + sable ont été effectués dans les mêmes conditions que les essais sur ciment pur et ciment pur + sable et ceux-ci peuvent nous servir de témoins ou de tests de comparaison.

Considérant que les ciments pouzzolaniques ont tendance à avoir des temps de prise plus longs que les ciments CPA, nous pouvons conclure que tous nos essais sont satisfaisants en ce qui concerne les pouzzolanes non chauffées

- . le CPA à 100 % commence à prendre à partir de 3 h 47 et la prise du CPA 60 % minimum + pouzzolane 40 % maximum varie entre 3 h 28 et 4 h 25;
- . le CPA à 80 % + pouzzolane grise 20 % a le meilleur temps de prise et il est même inférieur au temps normal de prise du CPA 100 %.

Nous avons observé, par contre, que le mélange pouzzolane rouge + CPA est plus plastique et se moule mieux que le mélange pouzzolane grise + CPA avec la même quantité d'eau de gâchage.

Le chauffage à 500° ou à 700° ne diminue pas le temps de prise (mais ce qui ne signifie pas que les propriétés physiques à la compression ne soient pas améliorées). Le rendement paraît cependant meilleur avec les pouzzolanes chauffées à 700° qu'avec celles chauffées à 500°.

En ce qui concerne les essais sur les mortiers, on arrive aux mêmes résultats, à savoir :

- . le mélange sable + CPA et pouzzolane grise a un début de prise nettement inférieur à celui du mélange sable 75 % + CPA 25 %.
- . le mélange sable 75 % + CPA 12,5 % et pouzzolane grise 12,5 % donne de très bons résultats.

La conclusion des essais de prise permet d'indiquer que les pouzzolanes de l'Ile de la Réunion semblent avoir une propriété pouzzolanique active et plus particulièrement celles qui ont une couleur grisâtre. Il est bien évident que seuls les essais de prise ne permettent pas de conclure d'une façon catégorique et qu'ils doivent être accompagnés de tous les autres essais physiques, notamment ceux donnant la résistance à la compression au bout de 2, 7 et 28 jours.

*

* *

I.2 - ESSAIS COMPLEMENTAIRES SUR LES POZZOLANES DE LA REUNION

Provenance

- . Pouzzolanes n°1 : prélevées à la carrière APECA, Plaine des Cafres, sur des horizons rouge-noir = B
- . Pouzzolanes n°2 : prélevées à la Grande Montée, altitude 1 450 m, sur des horizons noirs = C

Préparation des échantillons

Les pouzzolanes ont été préparées de la façon suivante :

- . séparation à l'échantillonneur JONES en deux échantillons des pouzzolanes n°1 et n°3;
- . pulvérisation à - 0,063 mm (tamis AFNOR, Module 19) des premiers échantillons
- . pulvérisation à - 0,063 mm, après incinération à 500° pendant 3 heures, des deuxièmes échantillons.

Constitution des mélanges

Nous avons constitué les mélanges suivants, chaque mélange pesant 5 kg

A	- Ciment Portland CPA 210-325	100 %
B1	- Ciment CPA	80 %
	Pouzzolanes APECA n°1	20 %
B2	- Ciment CPA	80 %
	Pouzzolane APECA n°1 incinérées à 500°	20 %
C1	- Ciment CPA	80 %
	Pouzzolanes Grande Montée n°3	20 %
C2	- Ciment CPA	80 %
	Pouzzolanes Grande Montée n°3, incinérées à 500°	20 %

Les essais ont été effectués au Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics d'Alarobia - Tananarive. Ils donnent les résultats suivants.

Nature des essais	A	B1	B2	C1	C2
Poids spécifique T/m ³	3,08	3,12	3,12	3,09	3,09
Perméabilité Blaine cm ² /g	2 725	2 618	2 967	2 698	3 084
Eau de gâchage pâte normale ..	28 %	29,5 %	30 %	29,1 %	29,5 %
Essai de prise.....					
{ Début ..	2h10	2h10	2h35	2h30	2h20
{ Fin	5h25	5h50	5h45	5h00	4h45
Déformation à 18°C en mm	1,10	0,40	0,30	3,70	4,70
Déformation à 100°C en mm	2,00	1,30	1,70	4,10	5,00
Résistance à la traction en kg/cm ² {					
à 2 j	25	17	14	13	14,5
à 7 j	30	23,5	24,5	23	24,5
à 28 j	33,5	32	31	30	34,5
Résistance à la compression en kg/cm ² {					
à 2 j	203	115,5	150	137,5	168,5
à 7 j	309	231	275	284	281
à 28 j	531	431	384	341,5	409
Eau de mortier $\frac{E}{5} = 0,5$					

Examen des résultats

- a)- Poids Spécifique.- La densité apparente, variant de 0,7 à 1,2 pour les ciments, n'est pas réglementée.

Le poids spécifique normal est compris entre 2,80 et 3,20.

- b)- Pernéabilité Blaine.- Elle est effectuée à l'aide du perméabilimètre Blaine suivant la norme P 15-353 et donne la mesure de la surface spécifique en cm^2/g de poudre.

- c)- Eau de gâchage.- La quantité d'eau de gâchage est définie par la norme PN P 15-402 visant à préparer une pâte normale.

- d)- Essai de prise.- Les essais de prise sont définis par la norme PN P 15-431 et sont effectués à l'aide de l'appareil VICAT. Le début de prise est normalisé et la fin de prise est mal réglementée.

Les débuts de prise se font généralement entre 30 minutes et 3 heures et pratiquement 2 heures après le gâchage. Les temps donnés par les essais sont donc excellents.

- e)- Déformation à 18°C et à 100°C.- Les essais d'expansion à froid et à chaud sont définis par la norme PN P 15-432. On mesure les déformations 7 jours après le gâchage. Les limites de déformation, tant à chaud qu'à froid, admises par la norme P 15-432 sont de 10 mm et débordent largement nos essais. Cependant, l'Administration des Ponts et Chaussées ne tolère qu'une limite de 5 mm, déformation atteinte par l'essai C2.

- f)- Résistance à la traction.- Les résistances minimales à la traction du CPA employé, données par la norme NF P-15-302, sont :

à 7 jours = 20 kg/cm^2

à 28 jours = 25 kg/cm^2

Les chiffres déterminés par les essais sont tous supérieurs aux résistances minimales.

g)- Résistance à la compression. - Les résistances minimales à la compression du CPA 210-325 doivent être :

à 7 jours = 210 kg/cm^2

à 28 jours = 325 kg/cm^2

Les essais donnent toujours des chiffres supérieurs.

Conclusion

On constate que dans tous les cas, les caractéristiques obtenues avec les différents mélanges CPA/Pouzzolanes sont toujours supérieures à celles imposées par les normes, que la pouzzolane ait été ou non incinérée au préalable.

Nous avons prévu d'effectuer une nouvelle série d'essais :

- d'une part en procédant à un broyage plus poussé des pouzzolanes de manière à obtenir une perméabilité Blaine du mélange CPA/Pouzzolane d'environ $4\,000 \text{ cm}^2/\text{g}$, ce qui aurait très probablement amélioré les résistances à la compression;
- d'autre part en augmentant la proportion de pouzzolane dans le mélange.

Nous avons malheureusement dû interrompre nos travaux, le Département ayant décidé de confier la poursuite des essais au Service des Ponts et Chaussées.

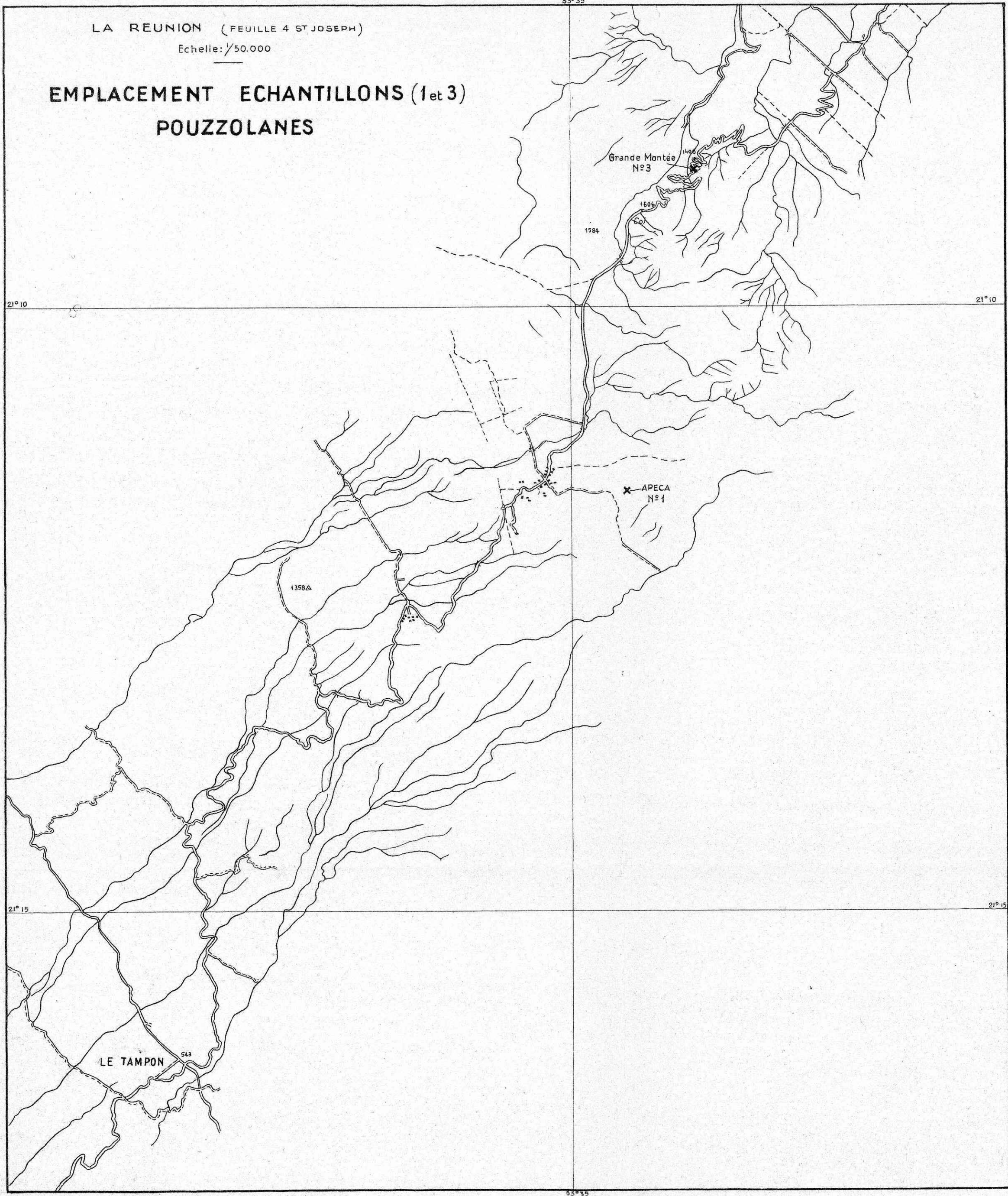
*

* *

LA REUNION (FEUILLE 4 ST JOSEPH)

Echelle: 1/50.000

EMPLACEMENT ECHANTILLONS (1 et 3) POUZZOLANES



II.- L'OLIVINE DANS LES SABLES DE PLAGES DE LA REUNION

II.1 - ETUDE D'UN SABLE DE PLAGE PRELEVE A LA SORTIE NORD D'ETANG-SALE-LES-BAINS

Poids initial : 5 225 grammes

Poids étudié : 643 grammes obtenus après trois séparations à l'échantillonneur JONES P.M.

Etudes effectuées

1°- Etude granulométrique. - 92 % du sable ont une granulométrie comprise entre 0,2 et 0,5 mm.

2°- Etude minéralogique de chaque fraction granulométrique après différentes séparations magnétiques et densimétriques.

Les produits SM, SM1 et SM2 correspondent aux minéraux de susceptibilité magnétique très élevée, moyenne et faible.

Granulométrie	!	%	!	!	!	SM 1	!	Olivine	!	Divers+Refus	
	!		!	!	!	(1) ! (2)	!	(1) ! (2)	!	(1) ! (2)	
- 0,2	!	3	!	22 ! 0,7	!	9 ! 0,3	!	66 ! 2	!	3 ! 0,1	
0,2 - 0,5	!	92	!	18 ! 16,6	!	39 ! 35,9	!	38 ! 35	!	5 ! 4,6	
0,5 - 1	!	5	!	16 ! 0,8	!	44 ! 2,2	!	30 ! 1,5	!	10 ! 0,5	
Totaux.....	!	100	!	!	!	18,1 !	!	38,4 !	!	38,5 !	
										!	5,2

(1)- correspond au pourcentage dans la tranche granulométrique

(2)- correspond au pourcentage dans l'échantillon.

II.2)- ETUDE D'UN SABLE DE PLAGE PRELEVE 3 km AU SUD DE SAINT-LEU

Poids initial : 4 002 g

Poids étudié : 506 g obtenus après trois séparations à l'échantillonneur JONES P.M.

Etudes effectuées

1^{re}- Etude granulométrique : 97 % du sable ont une granulométrie comprise entre 0,2 et 0,5 mm.

2^{de}- Etude minéralogique

Granulométrie	%	S.M.		S.M.1		Olivine		Divers+Refus	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
- 0,2	1	18	0,2	8	0,1	66	0,7	8	0,1
0,2 - 0,5	97	8	7,7	17	16,4	68	65,9	7	6,8
0,5 - 1	2	14	0,3	8	0,2	48	1	30	0,6
1 - 2	Traces							100	Traces
Totaux ...	100		8,2		16,7		67,6		7,5

(1)- correspond au pourcentage dans la tranche granulométrique

(2)- correspond au pourcentage dans l'échantillon

Résultats

Le sable prélevé à l'Etang-Salé Nord contient 38,5 % d'olivine. La fraction granulométrique comprise entre 0,2 et 0,5 mm et représentant 92 % de l'échantillon en possède 33 %.

Le sable prélevé à 3 km au Sud de Saint-Leu contient 67,6 % d'olivine. La fraction granulométrique comprise entre 0,2 et 0,5 mm et représentant 97 % de l'échantillon en possède 68 %.

Le produit S.M., fortement magnétique (susceptibilité magnétique équivalente à celle de la magnétite), est composé de :

- . basalte roulé contenant des inclusions de fer titané (ou de magnétite et ilménite)
- . teneur en Fe = 12,5 %
- . teneur en TiO_2 = 3,2 %

Le produit S.M.1, moyennement magnétique (susceptibilité magnétique équivalente à celle de l'ilménite), est composé de :

- . basalte roulé contenant également des inclusions de fer titané (ou magnétite et ilménite);
- . péridots très magnétiques;
- . ilménite rare;
- . teneur en Fe = 10 %
- . teneur en TiO_2 = 2,8 %

Le produit S.M.2 est composé de 90 à 95 % d'olivine et quelques autres minéraux, tels que : pyroxènes, amphiboles, grenats.

L'évaluation de la teneur en olivine a été faite en déduisant ces minéraux.

Le produit "Résidus" est composé de débris de coquilles d'animaux marins, de quartz très rare.

II.3 - ANALYSE CHIMIQUE DE L'OLIVINE

Nous donnons ci-dessous les résultats des analyses chimiques effectuées sur le même échantillon d'olivine prélevé sur la plage de Saint-Leu par le Laboratoire de la Direction des Mines de Tananarive et le Laboratoire du B.R.G.M. (Paris).

Sur le même tableau figure la composition chimique des meilleurs olivines norvégiennes actuellement utilisées.

RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE EFFECTUEE SUR UNE OLIVINE DE LA PLAGE DE St-LEU

	Laboratoire de la Direction des Mines de MADAGASCAR	Laboratoire de chimie du.B.R.G.M. PARIS (Analyse de contrôle sur le même échantillon).	Composition chimique des meilleures olivines norvégiennes actuellement utilisées
SiO ₂	38,70	40,70	entre 32 et 45 %
FeO	15,56	15,60	entre 6 et 15 %
MgO	42,60	40,30	entre 40 et 57 %
FORSTERITE SiO ₄ Mg ₂	83,00	78,10	
FAYALITE SiO ₄ Fe ₂	17,00	21,90	

UTILISATION DE L'OLIVINE

Les briques d'olivine sont utilisées dans la métallurgie du cuivre et du plomb (voutes de fours) comme creusets dans les fours à haute fréquence, comme empilage dans les fours à bassin de verrerie. On essaie de les utiliser dans les carneaux.

L'olivine, dans l'industrie des réfractaires, sert à la fabrication des briques de forstérite, celle-ci étant peu répandue dans la nature. L'olivine est moins riche en magnésie.

CONSOMMATION

Pratiquement nulle en France, de l'ordre de 2 000 tonnes par an en Allemagne.

Les réfractaires en forstérite (en partant de l'olivine) ont cependant tendance à être plus utilisés et il faut s'attendre à un accroissement des consommations (surtout en France) lorsque les produits finis seront mieux connus et aussi améliorés.

P R I X

L'olivine de Norvège arrive CIF Dunkerque ou Le Havre à 100 francs la tonne, par quantités supérieures à 1 000 tonnes; 140 francs départ port par petites quantités (wagons).

Ces prix s'entendent en vrac, hors taxes.

*

*

*