

**CONTRIBUTION A LA VALORISATION DES SOLS LATÉRIQUES :
CIMENT POUZZOLANIQUE DE SYNTHÈSE**

M. SILVEIRA *

RESUME

Le ciment constitue au même titre que l'eau et l'énergie un élément indispensable dans le développement d'un pays, du fait qu'il contribue à la résolution des problèmes de logement et à la réalisation des infrastructures.

Au Cameroun, le ciment obtenu par broyage de clinker importé, peut être remplacé, dans les constructions modérément sollicitées, par un liant pouzzolanique produit à partir de matériaux locaux latéritiques.

En effet, la décomposition thermique de la latérite à 750°C conduit à l'obtention d'une phase désorganisée présentant des propriétés pouzzolaniques.

Le présent travail a permis d'optimiser la proportion de chaux à incorporer à la latérite calcinée, et a conduit aux résultats suivants :

- A tout âge, la proportion de chaux qui donne les résistances maximales est égale à 33% du mélange total :
- A tout âge, quel que soit le pourcentage de chaux incorporé, en fonction de la teneur en eau de moulage, l'étude de la résistance en compression montre que celle-ci est maximale pour le rapport

$$\frac{\text{Eau}}{\text{Solide}} = 0,55$$

- Pour le mélange optimum, la résistance à la compression simple atteint 29 MPA à 28 jours

* Laboratoire de Géotechnique
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique B.P. 8390 Yaoundé (Cameroun)

Des essais sur mortier normalisé ont permis de montrer que les résistances atteintes à 28 jours avec le liant pouzzolanique représentent 60% des résistances obtenues avec le ciment Portland usuel (CIMENTCAM 325).

Donc, bien que la prise du liant pouzzolanique soit lente, on peut envisager l'utilisation du liant pouzzolanique à la place du CIMENTCAM dans les structures modérément sollicitées.

A - INTRODUCTION

La recherche développée au Laboratoire de Géotechnique et Matériaux de l'ENSP a pour but de mettre en valeur les matériaux locaux, par leur emploi dans le domaine des constructions de façon à conduire à un habitat économique. Les axes actuellement investis sont (fig.1) :

- Bétons légers à partir de granulats de pouzzolanes naturelles.
- Matériaux composites à base de latérite calcinée renforcée par des fibres végétales.
- Ciment pouzzolanique de synthèse.

Le présent travail qui constitue l'amorce de ce dernier axe a pour objectif de montrer que l'on peut remplacer le ciment Portland produit au CAMEROUN, utilisant du clinker importé, par un ciment pouzzolanique élaboré à partir de sols latéritiques locaux, dans le cas des constructions modérément sollicitées.

B - POUZZOLANICITE DES ARGILES CALCINEES

En 1956, après avoir travaillé sur les latérites et autres sols rouges indiens, SRINIVASAN a proposé pour les pouzzolanes la définition suivante en généralisant celle préalablement donnée par LEA :

"Une pouzzolane est un matériau siliceux, alumineux ou ferrugineux, n'ayant aucune propriété liante en lui même, mais qui, sous certains états de cristallinité et de structure peut réagir en présence de chaux et d'eau à température et pression normales pour donner un ciment".

On distingue deux types de pouzzolanes :

- les pouzzolanes naturelles qui proviennent pour la plus grande partie des roches volcaniques dans lesquelles le constituant amorphe est le verre produit lors de la fusion.

- les pouzzolanes artificielles : les plus couramment employées sont les cendres volantes des centrales thermiques, les laitiers de haut fourneau, les bauxites et les argiles calcinées.

Des études (1) (2) ont montré que la réactivité hydraulique (ou pouzzolanité) des produits de déshydratation des argiles est liée à leur caractère de "phase cristallographiquement désorganisée" qui reste tributaire des caractéristiques cristallochimiques et de l'état de cristallinité du minéral de départ. L'état d'amorphisation pouvant être mis en évidence par diffractométrie de rayons X et analyse thermique différentielle.

Des travaux récents menés à l'INSA de LYON (2)(3) (4) ont montré :

- que l'ordre de réactivité hydraulique est le suivant kaolinite > montmorillonite > mica mal cristallisé (illite) > mica bien cristallisé (muscovite)
- que pour la kaolinite le mode de cuisson qui conduit à la meilleure réactivité est la cuisson en lit fixe, à 750°C, pendant cinq heures.
- que pour la kaolinite, la résistance maximale en compression est obtenue pour un rapport massique métakaolin/chaux égal à trois, quelle que soit la teneur en eau. Ainsi une valeur de 35 MPa est obtenue à 28 jours pour un rapport massique Eau/Solide = 0,55. Les hydrates responsables de la résistance sont le silicate de calcium hydraté (CSH de Taylor) et la gehlénite hydratée.

C - CIMENT POUZZOLANIQUE A PARTIR DES LATERITES (5) (6)

Les latérites et sols tropicaux renfermant des composants argileux, principalement de la kaolinite, il nous est apparu intéressant compte tenu des résultats précédents de réaliser une étude de la pouzzolanité des produits de cuisson des sols latéritiques de Yaoundé.

C.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES LATERITES UTILISEES

Les courbes granulométriques des matériaux utilisés apparaissent aux figures 2 et 3. L'analyse granulométrique a été effectuée sous l'eau par tamisage pour les éléments supérieurs à 100 μ , puis par sédimentométrie pour la fraction de sol passant au tamis de 100 μ .

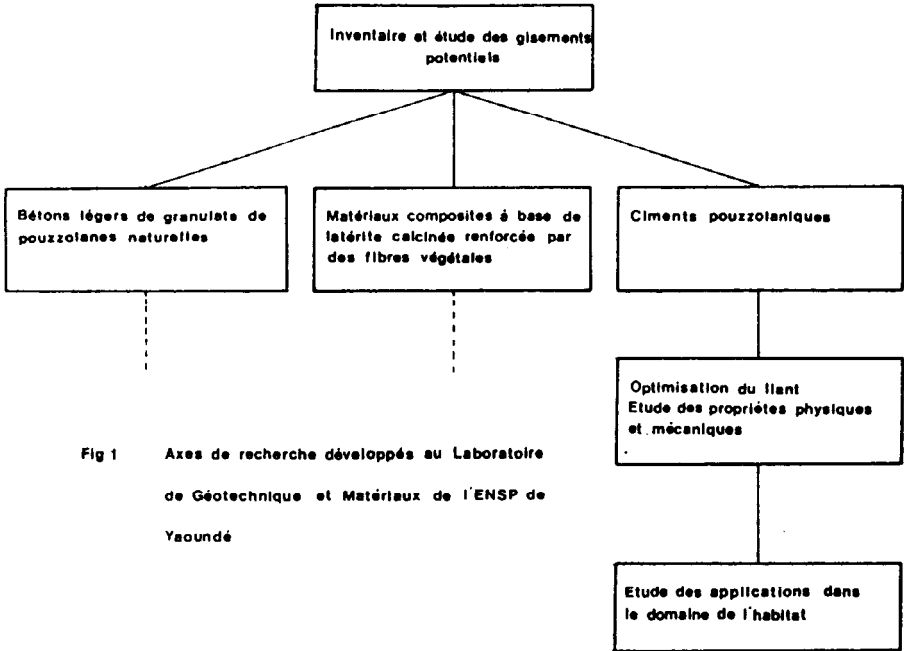


Fig 1 Axes de recherche développés au Laboratoire de Géotechnique et Matériaux de l'ENSP de Yaoundé

Fig. 1 : Axes de recherche développés au Laboratoire de Géotechnique et Matériaux de l'ENSP de Yaoundé

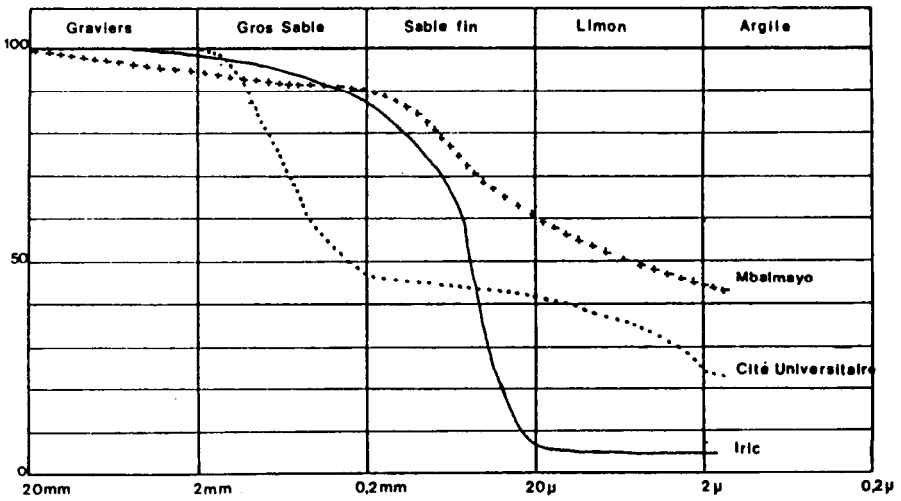


Fig. 2: Courbes granulométriques

C.2. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES LATERITES UTILISEES

Ne disposant pas de broyeur, nous avons décidé d'effectuer l'étude de la réactivité sur la partie de sol passant au tamis de 100μ . Les résultats d'analyse chimique sur les éléments de sol $<100\mu$ pour chacun des sols étudiés apparaît au tableau 1. Le pourcentage de kaolinite dans la fraction de sol $<100\mu$ a été calculé en supposant que l'alumine contenue est entièrement sous forme de kaolinite. Ce qui constitue une valeur par défaut, car une partie du fer contenu, se substitue partiellement à l'aluminium de la couche octaédrique.

C.3. PREPARATION DU LIANT. FABRICATION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES

Le protocole retenu est le suivant :

- tamisage, au tamis de 100μ , du matériau de départ
- calcination du passant à 100μ , à 750°C pendant 6 heures
- réalisation du liant
 - . mélange latérite calcinée-chaux à l'aide du malaxeur RILEM type 32
 - . ajout de l'eau de moulage. Mélange de l'ensemble au malaxeur RILEM type 32
- fabrication des éprouvettes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ à l'aide de l'appareil à chocs, en deux couches compactées par 60 chocs chacune.
- conservation des moules pendant 7 jours sous ambiance humide
- démoulage à 7 jours et conservation des éprouvettes dans l'eau jusqu'au jour de l'essai mécanique
- essai mécanique à l'échéance désirée.

C.4. OPTIMISATION DU LIANT OBTENU A PARTIR DE LA LATERITE DE L'IRIC

L'efficacité du traitement thermique se traduit sur la figure 4 par la disparition des raies caractéristiques de la kaolinite sur le diffractogramme du matériau calciné.

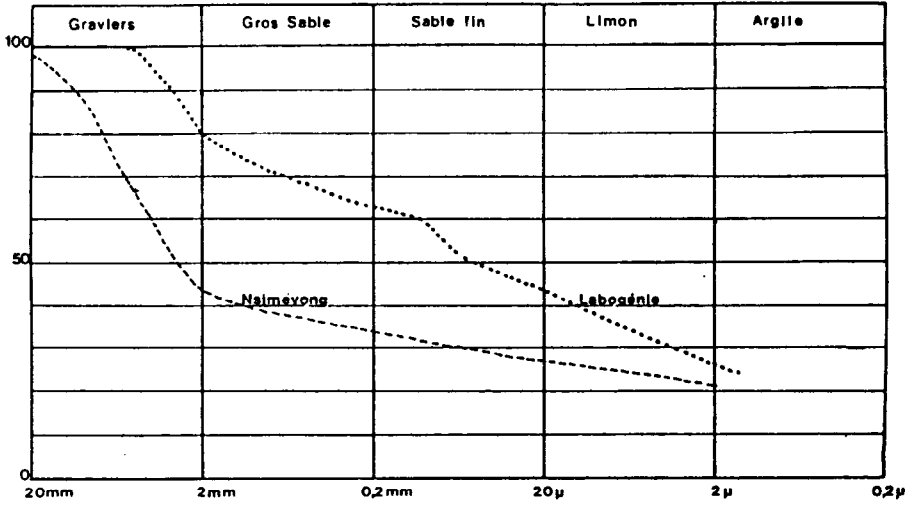


Fig. 3 : Courbes granulométriques

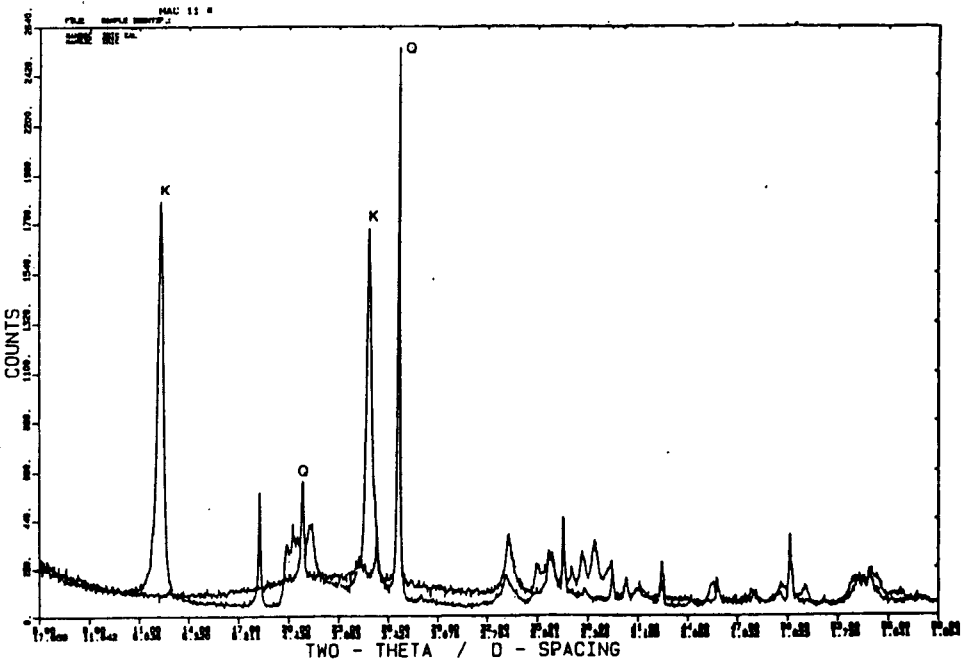


Fig. 4 : Diagramme de diffraction de la latérite de l'Iric et de son produit de cuisson

L'étude a concerné 5 valeurs du rapport latérite calcinée/Chaux éteinte ($\frac{LC}{CH} = 1, 2, 3, 4, 5$) et 3 valeurs du rapport Eau/Solide ($\frac{E}{S} = 0,45 ; 0,55 ; 0,75$). Les résistances mécaniques en compression ont été mesurées à échéance de 7, 14, 28, 60 et 90 jours.

a) Influence du dosage en chaux : Les résultats ont montré que quelle que soit la teneur en eau et l'âge à la rupture, la résistance maximale est obtenue pour un rapport $\frac{LC}{CH} = 2$, soit 33 % de chaux dans le ciment final. La figure 5 montre la variation de R_c , résistance en compression pour le rapport $\frac{E}{S} = 0,55$ et à diverses échéances.

b) Influence de la teneur en eau : Quelle que soit l'âge et la quantité de chaux, les résistances maximales sont obtenues pour le rapport $\frac{E}{S} = 0,55$, pour l'énergie de mise en place adoptée, à savoir : réalisation d'une éprouvette en deux couches compactées à 60 coups chacune. Cette faible énergie a rendu difficile et délicate la confection des éprouvettes pour les mélanges à teneur en eau réduite ($\frac{E}{S} = 0,45$) (figure 6)

c) Evolution des résistances avec le temps : La figure 7 montre pour différents rapports $\frac{LC}{CH}$ la variation des résistances mécaniques avec le temps, pour le rapport $\frac{E}{S} = 0,55$. On constate que la résistance croît rapidement entre zéro et sept jours. En effet la résistance en compression à sept jours représente 70 % de la résistance à soixante jours. ($R_{c7} = 0,7 R_{c60}$). Pour $\frac{LC}{CH} = 2$, on atteint la valeur de 29 Mpa à 28 jours.

d) Comparaison avec le ciment Portland CIMENCAM 325
 Nous avons réalisé des essais comparatifs sur pâte pure et sur mortier normalisé entre le mélange qui conduit aux meilleures résistances ($\frac{LC}{CH} = 2$) et le ciment Portland qui

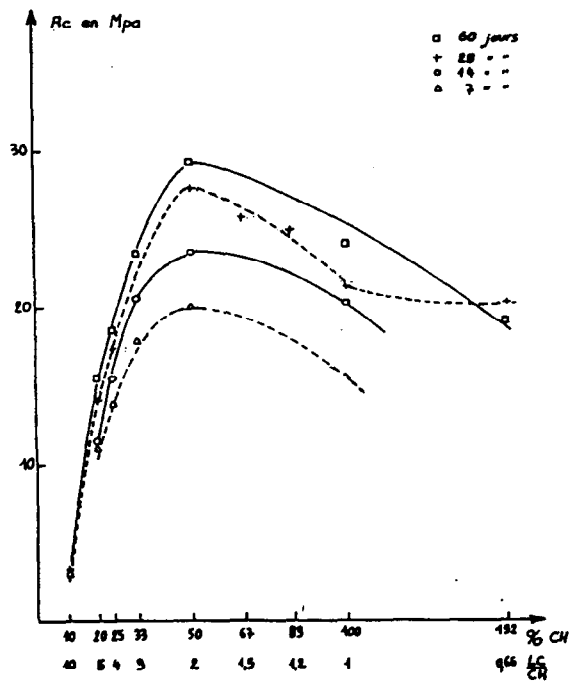


Fig. 5 : Variation des résistances en fonction de la teneur en chaux pour $\frac{E}{S} = 0,55$

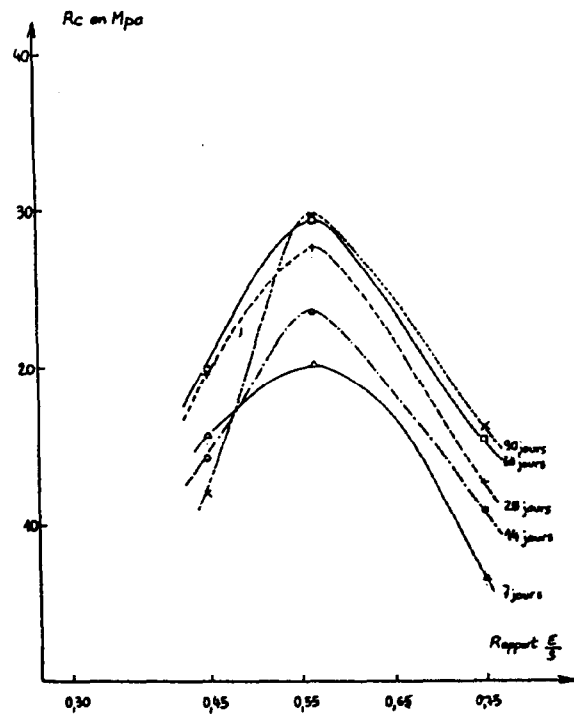


Fig. 6 : Variation des résistances en fonction de la teneur en eau pour le rapport $\frac{LC}{CH} = 2$

est le plus utilisé dans les constructions courantes au Cameroun, le ciment CIMENCAM 325. Les résultats qui apparaissent au tableau 2 montrent que le ciment pouzzolanique constitue un liant honorable puisqu'il conduit à des résistances en compression égales à 60 % de celles obtenues avec le CIMENCAM 325. Il faut cependant noter la prise lente du ciment pouzzolanique qui cependant ne constitue pas un handicap, car la mise en charge se fait de manière très progressive dans les constructions courantes.

C.5. RESULTATS OBTENUS AVEC LES AUTRES LATÉRITES

Les essais réalisés sur les autres latérites conduisent à des résultats et conclusions analogues à ceux établis pour la latérite de l'IRIC. Ainsi la figure 8 montre la variation de la résistance à la compression en fonction du dosage en chaux du liant pouzzolanique. On peut constater que les résistances maximales sont atteintes pour des rapports massiques Latérite calcinée/Chaux compris entre 2 et 3. Ce qui permet d'envisager un ciment pouzzolanique ne contenant que 25 % de chaux.

D - CONCLUSIONS

Le présent travail a permis de montrer qu'il est possible de produire à partir des matériaux locaux (latérites) un liant qui présente des résistances mécaniques suffisantes pour son emploi dans la construction. L'utilisation peut aller des parpaings à l'élaboration d'éléments porteurs et de couvertures en les renforçant avec des fibres végétales ou minérales. La fabrication de ce liant par cuisson à température moyenne (700-800°C) des matières premières pour la plus grande partie locales est intéressante pour le pays, comparativement à la production du ciment portland qui nécessite une cuisson à 1450°C, suivie du broyage du clinker, opération qui est particulièrement énergétivore. Il reste maintenant à développer ces résultats partiels, par l'étude d'autres activateurs chimiques, la détermination de l'influence de la composition minéralogique (rôle des constituants secondaires) sur la pouzzolanité et la recherche des applications du liant de synthèse dans l'habitat de façon à prouver son intérêt économique.

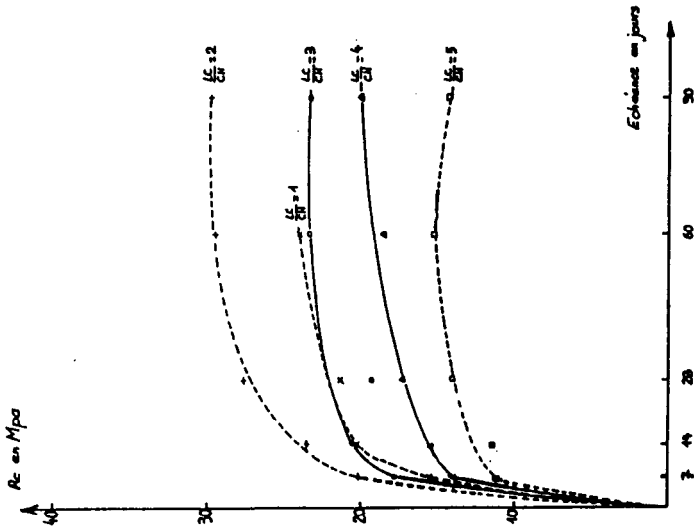


Fig. 7 : Evaluation des résistances en fonction du temps pour $\frac{E}{S} = 0,55$

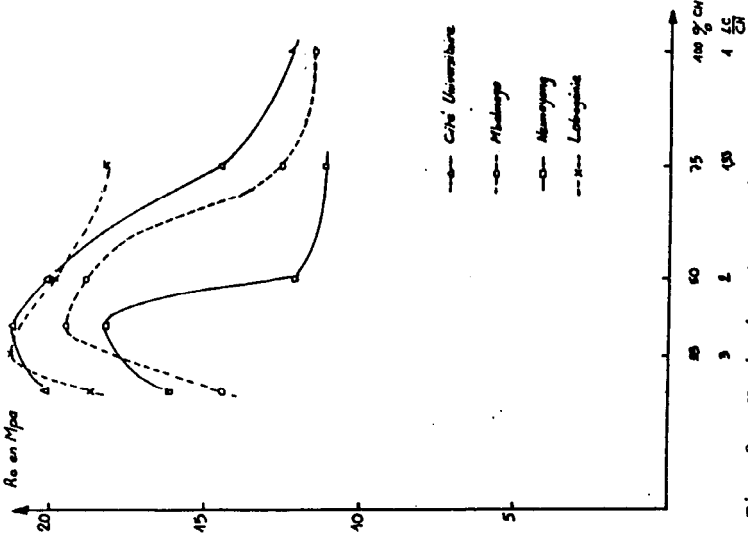


Fig. 8 : Variation des résistances à 14 jours, en fonction de la teneur en chaux, pour le rapport $\frac{E}{S} = 0,55$

B I B L I O G R A P H I E

- (1) MURAT, BACCHIORINI (1982) Corrélation entre l'état d'amorphisation et l'hydraulicité du métakaolin.
Bulletin de Minéralogie N° 105
pp 543-545, PARIS
- (2) MURAT, AMBROISE, PERA, BASTIDE (1984)
Influence des caractéristiques cristallochimiques sur les propriétés pouzzolaniques des minéraux argileux thermiquement activés.
C.R. Acad. Sc. PARIS, t.299, Série II, N° 17, 1984
- (3) MURAT, AMBROISE, PERA (1983)
Propriétés des ciments pouzzolaniques obtenus par cuisson de minéraux argileux à moyenne température. Cas des ciments de métakaolin.
Symposium 7-14 Novembre 1983 Nairobi
"Appropriate Building Materials for low cost housing"
- (4) AMBROISE (1984)
Elaboration de liants pouzzolaniques à moyenne température et étude de leurs propriétés physicochimiques et mécaniques
Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences INSA de Lyon et UCB Lyon I N° IDE 8410
165 pages
- (5) SIMO SIPOFO, SILVEIRA (1985)
Memoire de fin d'études 1985. Elaboration d'un liant synthétique à partir d'une latérite de Yaoundé.
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé
- (6) SILVEIRA (1984)
Rapport de recherche 1984. Hydraulicité des produits de cuisson de mélanges latéritiques. Laboratoire de Géotechnique et Matériaux, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique Yaoundé.

ANNEXES

Echantillon	IRIC	Cité U.	Mbalmayo	Nsimeyong	Labogénie
	<100 μ	< 100 μ	< 100 μ	< 100 μ	<100 μ
Perte au feu	14,07	13,82	14	14,08	14,54
SiO ₂	38,38	37,59	42,07	36,60	37,07
Al ₂ O ₃	28,02	28,14	26,46	26,55	27,64
TiO ₂	1,87	1,68	1,38	1,36	1,28
Fe ₂ O ₃	11,56	13,61	13,32	15,91	12,53
CaO	0,39	1,47	0,48	2,09	0,39
MgO	0,17	0,17	0,50	0,17	0,25
Na ₂ O	0,14	0,27	0,14	0,42	0,14
K ₂ O	0,18	0,12	0,36	0,60	0,60
C.Organique	0,59	0,59	0,19	1,18	0,96
% Kaolinite calculée	≈ 71%	≈ 71%	≈ 67%	≈ 67%	≈ 70%

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des sols étudiés

Ciments	Résistance en Compression en MPa			Temps de prise	
	2j.	7j.	14j.	Début	Fin
Ciment pouzzolanique	7,0	11,5	14,0	7h30'	24h
Cimencam 325	10,6	20,2	24,5	2h40'	4h50'
Ciment pouzzolanique CIMENCAM 325	0,66	0,57	0,57	////////	////////

Tableau 2 : Résistances sur mortier normalisé. Temps de prise sur pâte pure