

Caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de pouzzolanes du District de Betafo-Antsirabe, Région Vakinankaratra

Mandimbarison A. J.¹, Rasolomanana E.H.^{2,3}, Randrianja R.²

1 Département de Géologie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo

2 Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo

3 Institut et l'Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, B.P.3843 Université d'Antananarivo

Résumé – Si Betafo est réputée par ses sols les plus fertiles à Madagascar, elle dispose aussi d'autres potentialités liées au volcanisme telles que la géothermie et les pouzzolanes. La connaissance des caractères physico-chimiques et mécaniques de ce dernier permet définir leur domaine d'utilisation. De l'analyse chimique, il ressort que les pouzzolanes de Betafo sont conformes à la Norme Française NFP18 310. Tandis que l'identification physique selon leur couleur permet de définir la teneur en eau, la capacité d'absorption, la densité apparente, le poids spécifique, la surface spécifique de Blaine et l'indice de pouzzolanité. Les essais mécaniques, en occurrence la résistance à la compression, sur des bétons confectionnés à partir des granulats de granite et de pouzzolane ne présentent pas beaucoup de différences.

Mots-clés- Pouzzolane, Betafo, Résistance à la compression, Indice de pouzzolanité, NFP18 310

Abstract – If Betafo is deemed by its most fertile soil in Madagascar, it also has other potential related to volcanism such as geothermal and pozzolan. Knowledge of physico-chemical and mechanical characteristics of the latter allows defining their area of application. Chemical analysis shows that the pozzolan of Betafo are conform to French standard NFP18 310. While the physical identification by color sets the water content, the absorption capacity, bulk density, specific gravity, specific surface Blaine and index Pozzolanicity. The mechanical tests, in case the compressive strength on concrete made from granite aggregates and pozzolan do not have much difference.

Keyword- Pozzolan, Betafo, compressive strength, index Pozzolanicity, NFP18 310

1.- Introduction

La Région de Vakinankaratra, faisant partie des Hautes Terres de Madagascar, se distingue :

- d'abord par sa morphologie très variée, caractérisée au Centre par le massif volcanique de l'Ankaratra culminant à 2644m à Tsiafajavona, au Sud par une série d'effondrements engendrant la formation des dépressions (fluvio-lacustre d'Antanifotsy, d'Antsirabe-Sambaina) terminée par la chaîne quartzitique d'Ibity et vers la partie occidentale dominée par la pénéplaine de Mandoto où l'altitude descend jusqu'à 1000 mètres ;

- ensuite par sa lithologie constituée du volcanisme Néogène à Quaternaire, de la série SQC et des formations granitiques, migmatitiques et gneissiques recoupées de pegmatites et ses potentiels miniers allant des pierres précieuses aux pierres industrielles ;
- puis par la qualité de ses sols et par son climat qui la rendent propice à l'agriculture ;
- enfin par l'abondance des usines industrielles de différents secteurs (textile : COTONA ; agro-alimentaire : SOCOLAIT, TIKO, STAR ; minière : Cimenterie Ibity HOLCIM).

Concernant cette dernière usine (HOLCIM) unique en son genre à Madagascar, presque toutes les matières premières utilisées pour la fabrication du ciment se trouvent à l'intérieur de la Région de Vakinankaratra (le cipolin à Ibity, l'argile à Bemololo (Andranomanelatra), les pouzzolanes à Tritriva) sauf le gypse à Ambondromamy (Région Boeny) à 600km environ d'Ibity.

Comme les ressources minières peuvent s'épuiser à mesure qu'on les exploite et qu'on les utilise, elles ne se régénèrent pas, il faut donc chercher d'autres gisements, ayant les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques requises pour la fabrication d'un tel produit.

L'étude décrit alors les différentes caractéristiques des pouzzolanes dans les environs de Betafo, à Alakamisy Anativato, à Tritriva, répondant aux normes de fabrication de ciment.

2.- Caractères généraux des zones étudiées

2.1.- Délimitation administrative

Les zones étudiées se trouvent dans le District de Betafo, Région de Vakinankaratra, situé au Sud de l'ex-Province d'Antananarivo et est constituée par sept Districts : Antsirabe I, Antsirabe II, Antanifotsy, Ambatolampy, Faratsiho, Mandoto et Betafo. La figure 1 illustre la Région et la localisation des ces trois zones d'études.

Les trois zones d'études : Betafo, Alakamisy Anativato et Tritriva se trouvent dans la partie orientale du District de Betafo (Figure 1)

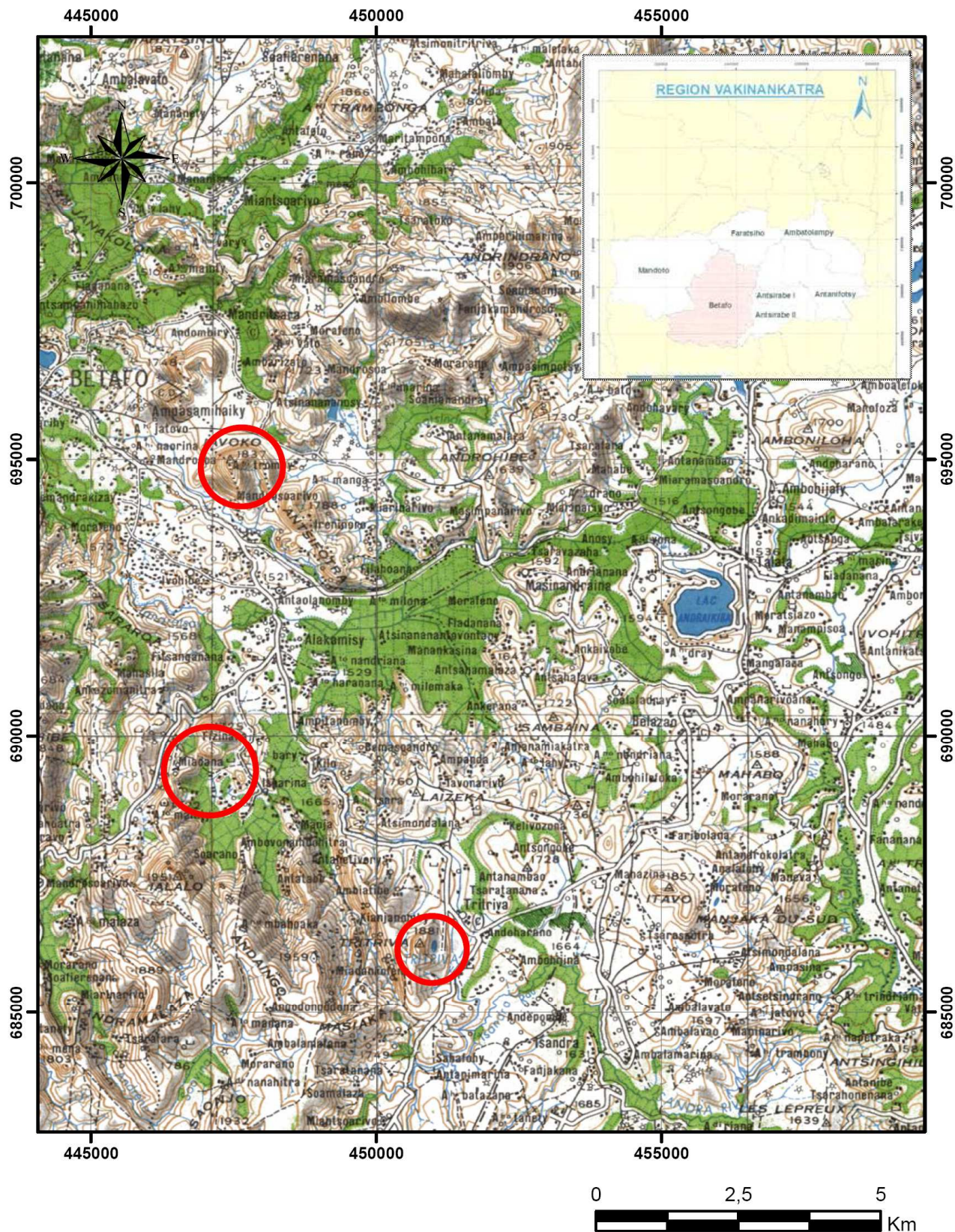


Figure 1 : Localisation de la Région de Vakinankaratra et des sites étudiés

2.2.- Contexte géographique

Betafo dans son ensemble connaît un climat de type tropical d'altitude avec deux saisons très contrastées : un hiver austral avec peu de pluies et un été pluvieux. Les températures moyennes mensuelles varient entre 11° et 24°C et la pluviométrie moyenne annuelle est de 1200mm.

Les sols dans les environs de Betafo (surtout dans les trois sites étudiés) sont considérés comme les plus fertiles à Madagascar. Ils proviennent des projections volcaniques (cendres, scories...) de nature basique.

La région est dominée par des collines entaillées par des « lavaka » et séparées par des vallées. Dans la partie Nord Est s'étend un bas fond alluvionnaire tandis qu'au Sud un ensemble montagneux formé des trois massifs se distingue : celui d'Itongafeno, d'Andaingo et d'Inanohazana. Mais la renommée de Betafo repose sur l'existence des trois collines de forme conique « IAVOKO » (Figure 2), d'altitude comprise entre 1400 à 1500 mètres.



Photo 1- Les trois monts historiques d'Iavoko Betafo

Du point de vue réseau hydrographique, le District de Betafo est traversé au centre par les fleuves Iandratsay et Ipongy.

2.3.- Cadre géologique

Dans l'ensemble, la géologie de la région (figure 3) est constituée par :

- des formations magmatiques et métamorphiques (granite, migmatite, gneiss, gabbro,...) ;
- la série Schisto-Quartzo-Cipolin ou Dolomie (SQC ou SQD) ;
- des roches volcaniques (basaltes, basanites, basanitoïdes, trachytes...) et des coulées de laves datant du Néogène au Quaternaire ;

- des alluvions volcano-lacustres et des alluvions récentes.

Le socle est surtout dominé par le massif granitique de Vavavato, par quelques affleurements de gabbros et de migmatites. Tandis que les massifs volcaniques d'âge Quaternaire renferment des basanites et des basanitoïdes. Les formations volcaniques sont très bien conservées entre Betafo et Tritriva avec les cônes de scories et les coulées de basanites et de basanitoïdes.

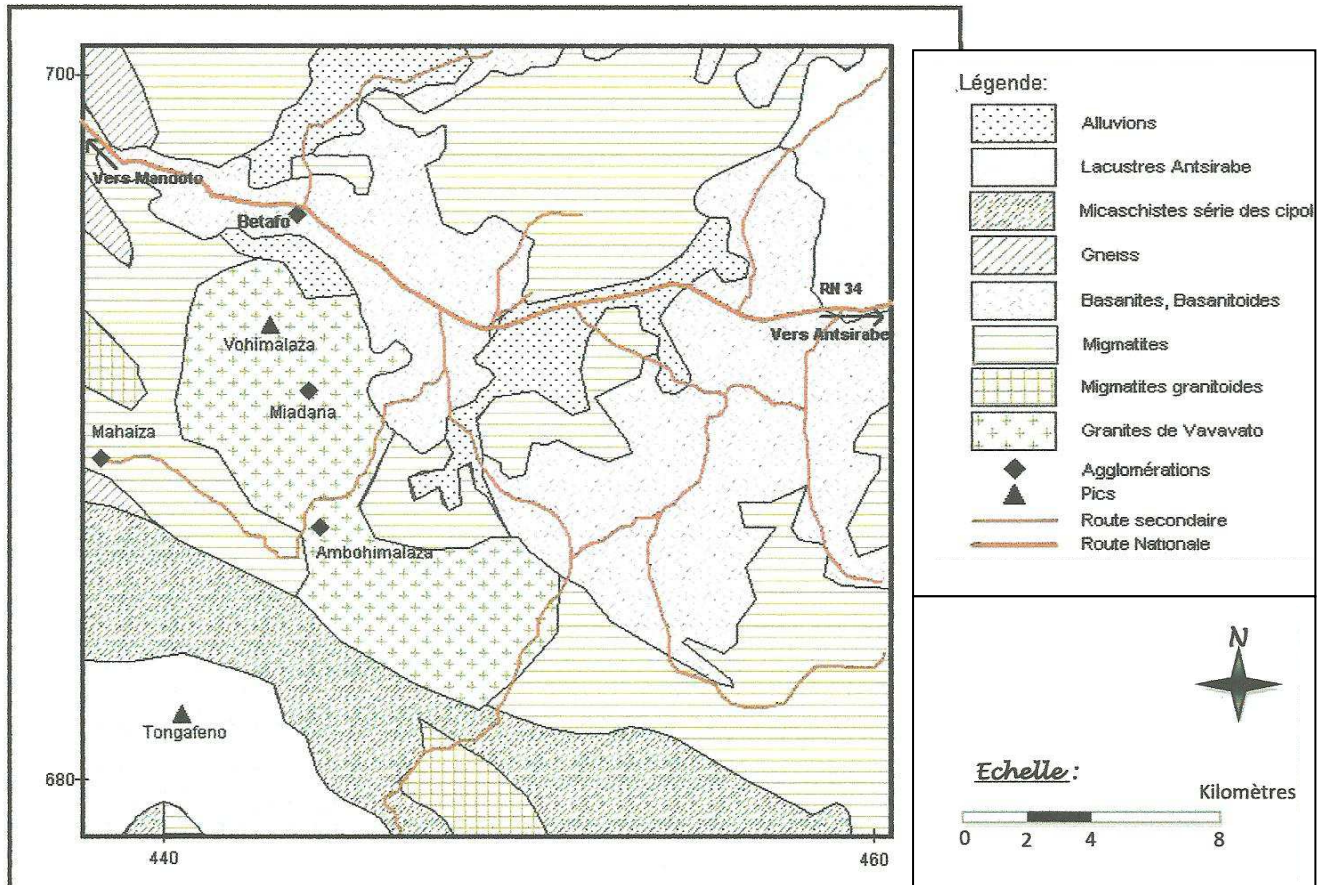


Figure 3 : Les différentes formations géologiques aux environs de Betafo par C Alsac en 1962

3.- Les moyens mis en oeuvre

A part l'analyse des références bibliographiques des travaux antérieurs effectués par le Service Géologique de Madagascar sur les Pouzzolanes de Betafo, des travaux de terrain sur trois sites ont été faits, suivis d'analyses des échantillons prélevés au Laboratoire de la Société HOLCIM à Ibity.

Des puits de reconnaissance de profondeur variable jusqu'au niveau de la roche mère altérée de couleur rougeâtre (figure 4b), des observations au niveau des coupes naturelles ou des rainurages au niveau des affleurements ou anciens fronts de taille (figure 4a) font partie des méthodes utilisées.

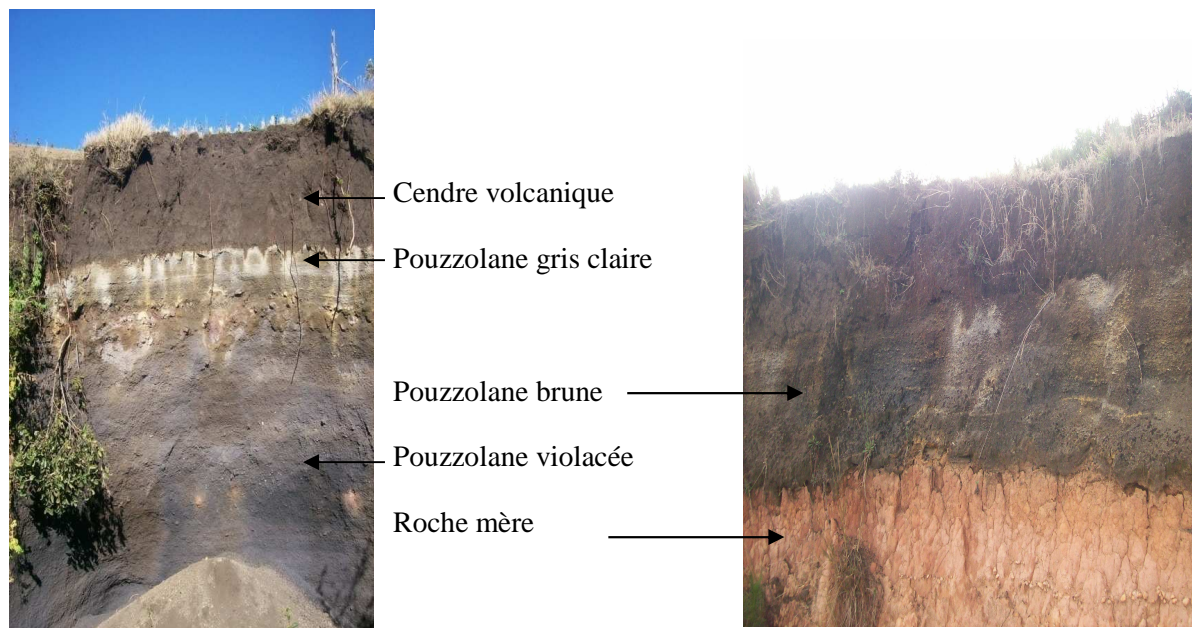


Figure 4a : Coupe naturelle montrant différentes couleurs de pouzzolane

Figure 4b : un affleurement montrant la roche mère

4.- Les résultats obtenus

Les pouzzolanes de la région de Betafo présentent des couleurs variées allant du noir au rouge en passant par les couleurs marron à gris et exceptionnellement au jaune. Cette variation de couleur est liée au rapport des pourcentages pondéraux des oxydes ferreux et ferriques $f = \text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Bagarre, 1987). Les analyses chimiques effectuées par le Service Géologique aux alentours de Betafo sur l'axe RN34 sont représentés par le Tableau 1 suivant.

Tableau 1- Résultat des analyses effectuées par le Service Géologique

Sites	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Observations
Talus de la route au PK 16+700	38,00	30,70	12,60	9,80	5,40	Pouzzolane noire sans argile
PK 17	30,60	26,70	14,15	3,40	5,40	Pouzzolane un peu argileux
PK 18+900	34,60	24,00	13,70	5,70	4,80	Affleurement en tranchée sur 50m
PK 19+000	26,40	28,50	15,10	3,00	5,10	Pouzzolane noire
PK 19+200	28,60	23,30	15,25	3,65	6,20	Pouzzolane un peu argileux sur un talus d'érosion naturelle

(Source, TBG 156)

Le Tableau 2 suivant montre les résultats des analyses sur les échantillons prélevés dans l'un des monts Iavoko à Betafo.

Tableau 2- Résultat des analyses des échantillons prélevés à Iavoko

N° Echantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
01	46,7	15,5	12,8	8,1	6,8
02	41,7	18,7	15,7	4,1	6,1
03	41,9	18	15,1	5,8	7,5
04	45,6	15,2	13	8,8	7,6
05	36,1	18,8	16,5	5,9	8,4

(Source, Rasamoela.F. 2007)

Le Tableau 3 ci-dessous présente les résultats des analyses effectués sur les échantillons issus de 16 puits, prélevés dans la Commune Rurale d'Alakamisy Anativato.

Tableau 3- Résultat des analyses des échantillons prélevés à Alakamisy Anativato

Puits	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Indice de Pouzzolanité
P1	43,61	17,25	16,59	4,73	3,34	80,81
P2	49,63	12,07	14,54	3,71	5,91	77,81
P3	37,21	15,93	16,82	5,84	5,76	76,16
P4	53,11	12,49	13,04	3,29	6,44	76,74
P5	57,07	10,77	12,77	2,97	7,73	85,08
P6	41,24	12,86	15,80	3,95	5,06	73,45
P7	39,95	14,07	16,71	2,37	7,16	78,68
P8	34,75	15,16	18,25	3,81	5,87	68,51
P9	50,11	10,18	16,67	3,48	6,15	65,5
P10	37,30	16,85	19,29	3,55	8,18	66,57
P11	40,70	16,28	23,94	1,69	6,94	76,65
P12	39,10	15,44	18,49	4,06	7,51	80,14
P13	63,50	10,22	8,30	4,20	7,28	81,59
P14	49,54	14,19	14,04	3,29	6,92	81,98
P15	40,79	17,86	17,78	2,45	7,84	80,33
P16	38,21	16,74	22,44	2,36	7,56	76,55

(Source : Rapport SECAM, 2012)

Le Tableau 4, ci-après, décrit les résultats des analyses chimiques des éléments majeurs, de l'Indice de pouzzolanité (Ip) et de la Résistance à la compression (Rc) de 28 jours des échantillons prélevés dans les environs du Lac Tritriva sur 46 puits. Rc est la résistance mécanique de pouzzolane mélangée avec le ciment témoin (ciment Manda).

Tableau 4- Résultat des analyses des échantillons prélevés à Tritriva

Puits	Profondeur en mètre	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Rc 28jours(Mpa)	Indice de pouzzolanicité
P1	0,7 - 1,3	43,40	15,27	13,62	12,62	11,68	46,10	86,33
P1	1,3 - 1,8	45,94	14,08	12,39	12,73	10,6	45,65	85,49
P2	0,3 - 1,6	43,06	15,06	13,3	11,93	11,47	43,40	81,27
P5	0,5 - 3	45,91	13,73	11,84	12,01	10,15	40,70	76,22
P6	0,5 - 3,2	46,33	13,88	11,72	11,93	9,86	44,00	82,40
P7	0,5 - 3,1	43,85	14,03	12,22	11,84	10,24	42,70	79,96
P8	0,3 - 5,2	45,66	13,35	11,69	12,33	10,3	44,25	82,87
P9	0,8 - 3,6	46,49	13,47	11,68	12,16	10,33	40,90	76,59
P10	0,5 - 2,1	45,78	13,52	11,82	12,16	10,44	41,95	78,56
P11	0,6 - 2,5	46,26	13,45	11,71	12,36	10,59	41,20	77,15
P12	0,7 - 3	45,92	13,42	11,77	11,18	9,54	40,05	75,00
P13	0,7 - 3,1	43,89	14,13	12,28	11,71	10,41	43,55	81,55
P14	0,3 - 3,5	45,74	13,02	11,52	11,99	9,28	42,50	79,59
P15	1,20 - 3	43,50	13,78	11,67	13,27	10,57	40,45	75,75
P16	0,8 - 2,6	42,74	14,52	11,79	12,04	10,02	42,65	79,87
P17	0,4 - 1,9	42,77	14,45	11,58	10,93	10,17	48,05	89,98
P18	1,10 - 2,3	43,11	14,5	11,58	10,88	1,02	46,35	86,80
P19	0,7 - 2,2	41,05	14,8	11,93	10,36	10,4	42,75	80,06
P20	0,5 - 1,3	41,86	13,41	12,54	13,92	12,38	42,95	80,43
P21	0,2 - 3,1	44,13	14,4	12,16	11,5	9,98	43,00	80,52
P22	0,6 - 3,6	44,08	13,85	12,17	12,32	10,9	44,90	84,08
P23	0,8 - 4,9	45,96	13,38	11,75	12,38	10,38	40,05	75,00
P24	0,5 - 3, 1	46,5	13,45	11,69	12,32	10,36	40,35	75,56
P25	0,6 - 3	46,7	13,58	11,44	11,7	10,07	40,60	76,03
P26	0,7 - 1,3	42,61	13,26	12,18	13,82	11,99	42,30	79,21
P26	1,3 - plus de 7	43,51	13,69	12,14	13,37	10,69	45,70	85,58
P27	0,2 - 1,5	41,73	13,78	12,6	12,78	11,72	42,45	79,49
P28	0,2 - 1,8	46,15	13,48	11,7	12,85	10,45	40,40	75,66
P29	0,1 - 1,2	42,06	14,17	12,78	12,38	11,35	41,60	77,90
P30	1,8 - 4,3	44,50	12,93	11,84	13,23	11,53	43,65	81,74
P31	1,7 - 3,6	43,48	14,18	12,35	11,81	10,58	44,85	83,99
P31	3,6 - 4	47,52	12,58	10,45	11,99	10,59	42,95	80,43
P32	0,4 - 2,7	44,74	13,26	11,89	12,99	11,29	42,75	80,06
P33	0,6 - 4	45,47	12,46	11,61	14,34	11,84	40,05	75,00
P34	0,5 - 1,3	42,02	13,54	12,37	13,81	12,33	41,50	77,72
P36	0,6 - 1,8	44,29	13,46	12,22	13,1	11,4	41,50	77,72
P37	0,6 - 4,7	45,21	13,67	11,82	12,15	10,34	46,30	86,70
P38	0,7 - 4,3	44,94	14,14	12,25	11,64	10,32	43,50	81,46
P39	0,2 - 0,5	42,45	13,48	12,6	12,56	11,35	40,95	76,69
P40	0,3 - 0,5	40,70	15,54	12,99	10,09	10,49	40,90	76,59

P41	0,3 - 1,2	41,49	15,02	12,72	10,84	10,38	43,95	82,30
P42	0,7 - 1,9	43,3	15,52	12,97	9,76	9,54	41,40	77,53
P43	1,3 - 1,7	40,92	14,78	13,14	11,15	11,43	42,55	79,68
P44	0,5 - 1,1	40,27	15,46	13,36	10,29	10,78	40,60	76,03
P45	0,6 - 2,5	46,68	13,94	11,58	11,51	10,07	40,85	76,50
P46	0,6 - 2	47,58	14,14	11,25	11,38	9,55	40,15	75,19

(Source : Laboratoire Holcim, Mémoire Andriamamonjiarivo A.M, 2014 - Rapport SECAM, 2014)

A part les analyses chimiques et physiques effectuées au Laboratoire d'Holcim, des essais d'identification physique ont été faits au Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) pour des échantillons prélevés aux alentours du Lac Tritriva.

La détermination de la couleur des pouzzolanes se fait par deux méthodes ; d'abord à l'œil nu puis à l'aide de l'utilisation du « verre de montre ». Ainsi pour les 46 échantillons analysés la couleur est répartie comme suit : 29 de couleur marron ; 11 de couleur noir ; 6 de couleur gris.

Les résultats de tous les essais selon la couleur des échantillons sont récapitulés dans le tableau 5 suivant.

Tableau 5- Identification physique des pouzzolanes de Tritriva selon leur couleur

Couleur	Teneur en eau (%)	Capacité d'absorption (%)	Densité apparente (g/cm ³)	Poids spécifique (g/cm ³)	Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	Moyenne Indice de pouzzolanité
Noire	5,36	2,35	1,061	2,675	3 873	78,44
Marron (Brune)	4,56	2,11	1,039	2,115	3 671	79,89
Gris-Jaunâtre	6,54	3,76	0,918	2,204	3 972	81,79

(Résultat LNTPB, 2015)

Les résultats des essais physique (densité du béton frais) et mécanique (résistance à la compression) des bétons confectionnés à partir des granulats de granite et de pouzzolane de granulométrie 0/7 (microbéton) sont donnés dans le Tableau 6 suivant.

Tableau 6- Densité du béton frais et résistance à la compression en 7jours/28jours

Type	Dosage	Poids (g)		Volume (cm ³)	Densité		Rc (Kg/cm ²)	
		7j	28 j		7j	28j	7j	28j
Pouzzolane	350	626	762,5	339,3	1,84	2,2	64,92	248,85
Granite		738	764,5		2,18	2,25	162,29	252,46
Pouzzolane	250	566	674	339,3	1,67	1,98	39,67	72,13
Granite		737	767		2,17	2,26	119,02	162,29
Pouzzolane	150	679	689	339,3	2	2,03	72,13	73,20
Granite		683	729		2,01	2,15	36,06	79,34

(Résultat LNTPB, 2015)

La résistance du béton augmente avec le temps et les bétons ont de très bonne valeur de résistance à la compression de l'ordre de 20 Mpa (203,94Kg/cm²) à 40Mpa (407,88Kg/cm²) donc le béton de pouzzolane dosé à 350kg/m³ présente une résistance presque similaire au béton de granite.

5.- Interprétation et discussions

Selon la norme française NFP18 310 la composition des pouzzolanes naturelles doit être conforme au Tableau 7 suivant :

Tableau 7- Norme française NFP18 310 sur la composition de pouzzolane (in Benkaddour M. 2009)

SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Ip
42 à 55%	12 à 24%	8 à 20%	4 à 11%	1 à 10%	≥ 75

Le Tableau 8 ci-après récapitule les moyennes des données d'analyse chimique sur les 4 sites permettant de mener une étude comparative avec le tableau 7.

Tableau 8 : Compilation de toutes les moyennes des résultats des analyses chimiques dans les 4 sites étudiés.

Localité	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Ip
Sur l'axe RN34 du PK16 au PK20	31,64	26,64	14,16	5,11	5,38	-
Sur l'un des monts Iavoko	42,4	17,24	14,62	6,54	7,28	-
Alakamisy Anativato	45,17	14,11	16,20	3,56	6,54	76,67
Tritriva	44,18	13,94	12,10	12,10	10,46	79,79

Se référant aux teneurs des éléments majeurs décrites dans le Tableau 7, dans l'ensemble la composition des pouzzolanes collectés dans les 3 sites (Tritriva, Alakamisy Anativato et Iavoko) sont conformes à la norme française NFP18 310.

Pour les pouzzolanes le long de l'axe RN34, la teneur en silice (SiO₂) est faible tandis que celle de l'alumine (Al₂O₃) est trop élevée. Il existe donc une corrélation inverse entre ces deux éléments, confirmée par le Tableau 9 relatif au coefficient de corrélation de Pearson des trois éléments majeurs.

Tableau 9- Matrice de corrélation entre les 3 éléments majeurs (Coef. de corrélation de Pearson)

	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃
SiO ₂	1,000		
Al ₂ O ₃	-0,747	1,000	
Fe ₂ O ₃	-0,478	0,308	1,000

A partir du Tableau 4, une matrice de corrélation (Tableau 10) a été dressée montrant une parfaite corrélation entre l'indice de pouzzolanité (Ip) et la résistance à la compression (Rc) à 28 jours.

Tableau 10 : Matrice de corrélation entre les éléments du tableau 4

Matrice (Coef. de corrélation de Pearson) :							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Rc 28jours(Mpa)	Indice de pouzzolanité
SiO ₂	1,000	-0,595	-0,724	0,186	-0,140	-0,193	-0,193
Al ₂ O ₃	-0,595	1,000	0,688	-0,708	-0,173	0,214	0,214
Fe ₂ O ₃	-0,724	0,688	1,000	-0,160	0,304	0,113	0,113
CaO	0,186	-0,708	-0,160	1,000	0,450	-0,050	-0,050
MgO	-0,140	-0,173	0,304	0,450	1,000	-0,221	-0,221
Rc 28jours(Mpa)	-0,193	0,214	0,113	-0,050	-0,221	1,000	1,000
Indice de pouzzolanité	-0,193	0,214	0,113	-0,050	-0,221	1,000	1,000
<i>En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)</i>							

La Silice (SiO₂) et l'Alumine (Al₂O₃), ainsi que la Silice (SiO₂) et l'Oxyde ferrique (Fe₂O₃) ont une corrélation inverse c'est-à-dire que l'augmentation de SiO₂ entraîne une diminution d'Al₂O₃ et de Fe₂O₃. Ni la résistance à la compression, ni l'indice de pouzzolanité ne dépendent pas de la teneur en éléments chimiques dans l'échantillon.

Du Tableau 5, il ressort la matrice de corrélation représentée par le Tableau 11 ci-après.

Tableau 11: Matrice de corrélation entre les éléments du tableau 5.

	Teneur en eau	Capacité d'absorption	Densité apparente	Poids spécifique	Surface spécifique de Blaine	Indice de pouzzolanité
Teneur en eau	1,000	0,962	-0,849	0,038	0,954	0,653
Capacité d'absorption	0,962	1,000	-0,962	-0,238	0,834	0,836
Densité apparente	-0,849	-0,962	1,000	0,496	-0,651	-0,954
Poids spécifique	0,038	-0,238	0,496	1,000	0,337	-0,732
Surface spécifique de Blaine	0,954	0,834	-0,651	0,337	1,000	0,395
Indice de pouzzolanité	0,653	0,836	-0,954	-0,732	0,395	1,000

Il existe une **corrélation très forte** entre la capacité d'absorption et la teneur en eau et cette dernière avec la surface spécifique de Blaine. Une **très forte corrélation inverse** aussi existe entre la capacité d'absorption et la densité apparente ainsi qu'entre cette dernière et l'indice de pouzzolanité.

Du Tableau 5, il ressort aussi que plus les pouzzolanes sont foncées, plus leur densité apparente augmente et leur indice de pouzzolanité diminue.

6.- Conclusion

Tenant compte des analyses chimiques effectuées au Laboratoire d'Holcim, les pouzzolanes des trois sites (Tableau 7) répondent aux normes pour la fabrication du ciment du type CEMII B ou CPJ.

Dans la région de Betafo, les pouzzolanes sont très abondantes et de couleurs très variées allant du brun au rouge et du gris jaunâtre au noir. Leurs caractères physico-chimiques et mécaniques leur permettent une large gamme d'utilisation : dans le bâtiment, dans la construction routière, dans l'agriculture et dans l'industrie.

Il faudra peut-être, pour faciliter l'exploitation et donc la récupération des pouzzolanes, essayer d'établir une bonne carte géologique à une échelle appropriée de ces roches et tenant compte, si possible, des différentes couleurs des formations citées dans l'étude. Cette étude permet, à moyen terme, d'assurer l'approvisionnement en matériaux alternatifs, présentant des caractéristiques physico-mécaniques, sensiblement analogues aux granites.

Références bibliographiques

Andriamamonjirivo A.M. (2014)- Caractéristiques physico-chimiques de Pouzzolanes dans la Région de Vakinankaratra, District Betafo, Commune Rurale de Tritriva- Mémoire Master2, ASJA, 83p.

Bagarre E. (1987)- Les matériaux volcaniques : utilisation en technique routière – Institut des Sciences et des Techniques de l'Équipement et de l'Environnement pour le Développement ISTED, Paris 84p.

Benkaddour M. (2009)- Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle- Département Génie Civil, Ecole normale Supérieure d'Enseignement Technique Algérie, 11pp.

Besairie H. (1962)- Géologie économique de la Préfecture d'Antsirabe-TBG N°156, p108-111. Service Géologique de Madagascar.

Rasamoela M.F. (2011)- Caractéristiques géochimiques et chimiques des pouzzolanes dans la Région de Betafo- Mémoire d'Ingénieur, ESPA, Université d'Antananarivo, 84p.

SECAM (2012)- Rapport des travaux géologiques des périmètres miniers d'Holcim à Alakamisy Anativato, inédit.

SECAM (2014)- Rapport des travaux géologiques des périmètres miniers d'Holcim à Tritriva, inédit.