

Utilisation des pouzzolanes d'Alakamisy Anativato en briques, dans le District de Betafo, Région Vakinankaratra

Ramanantsoa T.¹ Mandimbiharison A. J.²

1) École Normale SFM/FLM Fandriana, Option Scientifique, BP 23 Fandriana 308, Madagascar, lanitrafi@gmail.com

2) Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique, Département de Géologie, BP1500 Antananarivo 101 Madagascar, raory@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les pouzzolanes ont de nombreuses utilisations dans divers domaines : bâtiments (fabrication des bétons légers ou caverneux..), construction routière (construction des assises et structuration des chaussées, comme Matériaux Sélectionnés..), industrie cimentière (Ajout), agriculture (drainage et amendement des sols..). A Madagascar ces diverses utilisations sont méconnues des constructeurs et du grand public. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire de valoriser les pouzzolanes dans les environs de Betafo dans le domaine de bâtiment, en occurrence pour la fabrication des briques en pouzzolane. Des essais, analyses et expérimentations ont été effectués au sein du Laboratoire National des Travaux Publics et de Bâtiments (LNTPB). Pour cela nous avons confectionné des briques sous forme d'éprouvette (moule cylindrique) à partir des pouzzolanes noires (PN) et rouge mélangé (PRM) selon les teneurs en ciment (6, 8 et 10%) et les granulométries (4/10 ; 2/4 ; 0,5/2 ; 0/0,5) pour déterminer les résistances à la compression de chaque essai.

Mots-clés : *pouzzolanes, briques, résistance à la compression, utilisation, Betafo.*

ABSTRACTS

Pozzolans have many uses in various fields: buildings (manufacture of light or cavernous concrete..), road construction (construction of foundations and structuring of pavements, as Selected Materials...), cement industry (Addition..), agriculture (drainage and soil amendment...). In Madagascar these various used are little known by manufacturers and the general public. This is why it seemed necessary to us to develop the pozzolans in the surroundings of Betafo in the building sector, in fact for the manufacture of bricks in pozzolan. Tests, analyzes and experiments were carried out within the National Laboratory of Public Works and Buildings (LNTPB). For this, we made bricks from black (PN) and mixed red (PRM) pozzolanas according to the cement contents (6, 8 and 10%) and the grain sizes (4/10; 2/4; 0,5/2; 0/0,5) to determine the compressive strengths of each test.

Keywords: *pozzolans, bricks, compressive strength, use, Betafo.*

I- INTRODUCTION ET GENERALITES

De nombreuses pouzzolanes se trouvent dans la Région de Vakinankaratra, dans le District de Betafo et en particulier dans la Commune Rurale d'Alakamisy-Anativato. Elles peuvent servir comme matériaux routiers (Matériaux Sélectionnés ou M.S.) ou de construction en bâtiment (béton léger..) ainsi que des liants. Cette pluralité de nouvelle combinaison offre aux constructeurs des produits de plus en plus performants. De nos jours, les bétons légers font partie de la gamme des bétons spéciaux développés par des chercheurs et dans ce cas, on utilise des granulats légers dont leurs caractéristiques sont programmables par la connaissance des propriétés des matériaux, du mélange, des adjuvants et des conditions de formulation (**Moussa A .K 2009**).

Malgré la pluralité d'utilisation de pouzzolane la question qui traverse notre esprit est ce que la pouzzolane naturelle rencontrée à Alakamisy Anativato peut-elle être utilisée pour confectionner des briques? Avec une réponse affirmative deux hypothèses ont été émises :

- D'abord il faut faire le choix de la granulométrie de pouzzolane ;
- Puis avec l'expérimentation définir la teneur du liant (ciment) à utiliser.

L'objectif principal est de déterminer lors de l'expérimentation la granulométrie convenable avec la teneur en ciment pour obtenir une brique ayant une bonne résistance à la compression.

Dans cet article il sera question d'exposer les résultats des essais et des expérimentations pour confirmer les hypothèses proposées.

I.1 Sitologie

La Commune Rurale d'Alakamisy Anativato se trouve dans le District de Betafo, Région de Vakinankaratra. Elle est située à 21km au sud-ouest d'Antsirabe suivant la RN 34 (Figure 1). Cette commune a une superficie de 17,60 km² et compte 8 fokontany : Alakamisy, Ambalakatra, Ampamelomana, Antovontany, Iakarina, Imanja Soamanandrany et Soavina –Belanitra (*PCD Alakamisy Anativato, 2015*). Elle est délimitée :

- au Nord par les Communes Rurales de Ambohitovato, Andranomafana;
- au Sud par la Commune Rurale d'Alakamisy Marososona;
- à l'Est par la Commune Rurale de Tritriva ;
- à l'Ouest par la Commune Rurale de Betafo, et de Mahaiza.

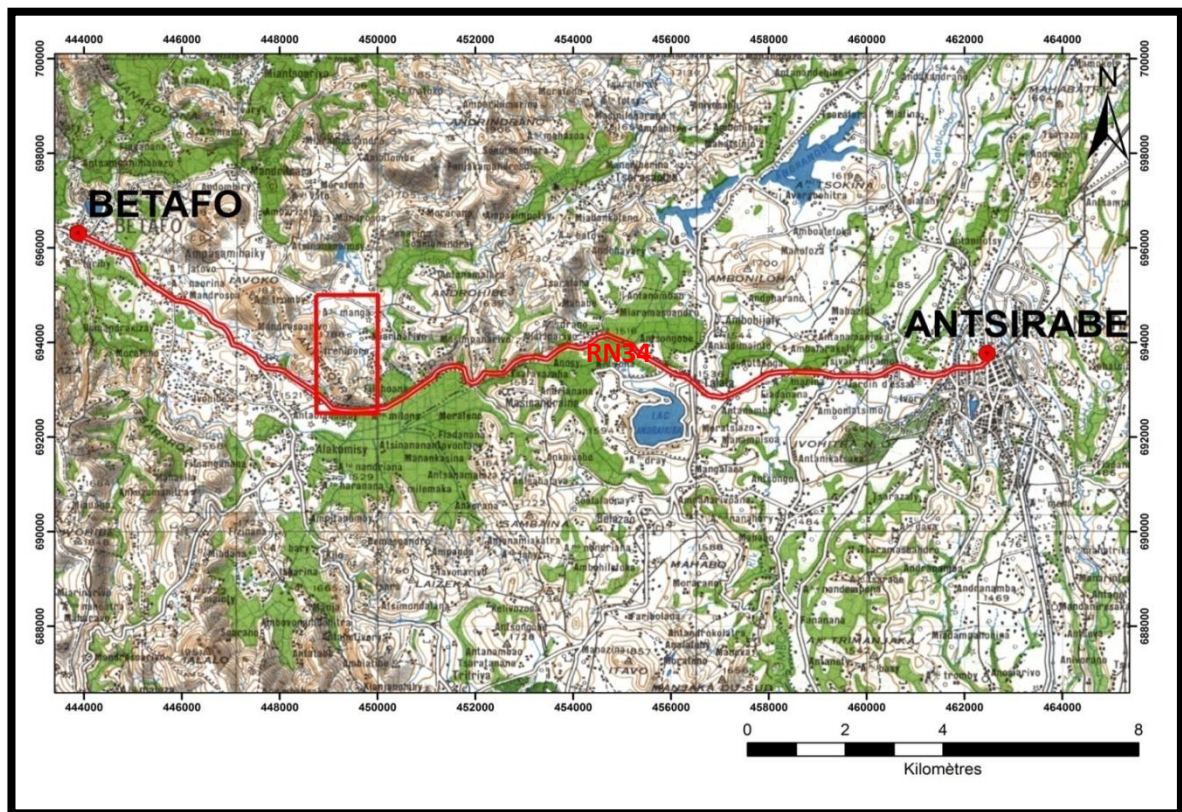


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

Sur le plan morphologique, la zone est caractérisée par une succession des monts (Iavoko 1817m, Antsifotra 1788m..) et des vallées plus ou moins larges occupées par des rizières. Certaines collines sont entaillées par de l'érosion en lavaka (figure 2) et que dans certains endroits quelques

appareils volcaniques (cône, cratère) sont conservés (figure 3) et le sol noir n'est autre que des cendres volcaniques très fertiles.



Figure 2. Versant d'une colline entaillée par l'érosion en lavaka



Figure 3 : Cône et cratère conservés

Du point de vue géologique, (Besairie H. 1962), l'axe Antsirabe – Betafo y compris notre zone d'étude présente deux entités géologiques bien distinctes (figure 4) :

- ❖ La formation volcanique récente du Vakinankaratra représentée par le basanite, le basanitoïde et les pouzzolanes ;
- ❖ La formation de socle précambrien matérialisée par la migmatite granitoïde.
- Basanite et Basanitoïde

Ces 2 types de roches ne se rencontrent que dans la région volcanique d'Antsirabe-Betafo. Elles forment dans cette région des puys très remarquables qui sont les monts volcaniques de l'Iavoko et de l'Antsifotra. avec une conservation parfaite particulièrement dans le flanc Sud et Sud –Ouest. La pouzzolane se trouve surtout sur le flanc et le sommet de la colline, tandis que les gros blocs (basanite) se placent dans les bas-fonds.

- Migmatite granitoïde

Le flanc Sud du mont d'Antsifotra montre un très bel affleurement de migmatite granitoïde. C'est une roche migmatitique à fort pourcentage d'élément granitique, ou encore comme de granite folié leucocrate dans lesquelles les minéraux ferromagnésiens tel que biotite, amphibole et parfois grenats disposés en minces lits appartiennent à une roche métamorphique préexistante. Du point de vue association minéralogique : aucun minéral de métamorphisme autre que l'amphibole et la biotite n'a été observé dans la migmatite granitoïde.

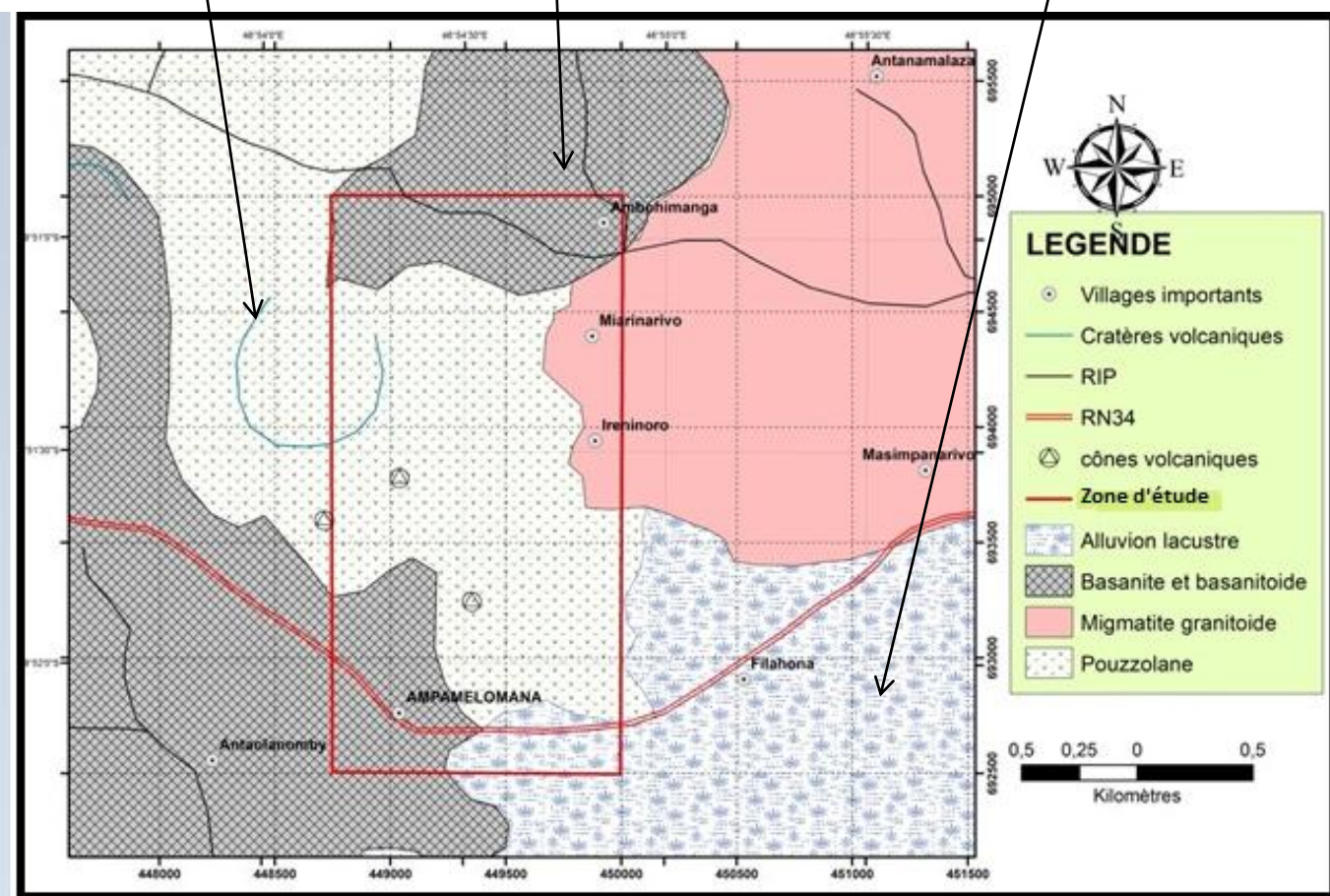


Figure 4 : Carte géologique de la zone d'étude

I.2 Description et caractéristiques des pouzzolanes

Définition de pouzzolanes

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories volcaniques de texture scoriacée et alvéolée de couleur allant du noir au rouge en passant par gris, brun violacé et essentiellement composée de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde ferrique (Fe_2O_3). Cette variation de couleur des pouzzolanes est liée au rapport des pourcentages pondéraux des **Oxydes Ferreux et Ferriques dans la roche** $\left[f = \frac{\text{FeO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \right]$ (Bagarre, 1987).

Mode de formation des pouzzolanes

La pouzzolane appartient à la famille des roches éruptives qui sont composées de roches plutoniques et de roches volcaniques.

Les roches volcaniques se divisent en deux groupes tels que les laves et les projections, et les pouzzolanes appartiennent à ce dernier groupe. Les volcans caractérisés par des explosions violentes projettent des débris de tout calibre. Les matériaux les plus fins, constitués de cendres, peuvent être transportés par le vent et tomber en pluie loin du centre d'émission, c'est le cas des pouzzolanes (Figure 6).

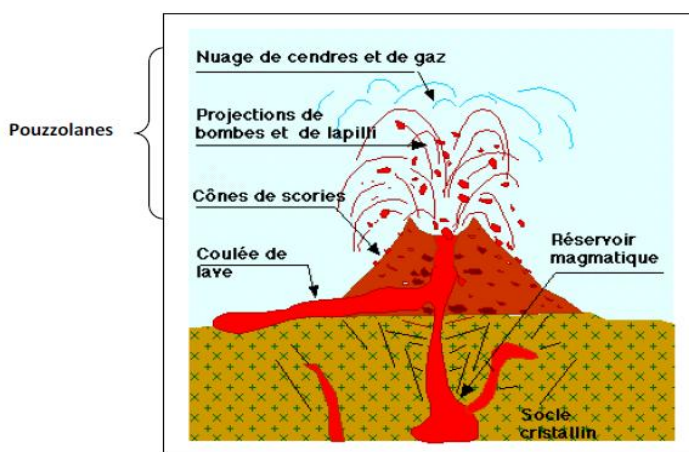


Figure 6 : Formation des Pouzzolanes (klouky.free.fr/Histoire/les volcans)

Caractéristiques des pouzzolanes

La première caractéristique de pouzzolane est sa capacité de **fixer l'Oxyde de Calcium (Chaux)** en présence d'eau pour donner des composés stables « **Silicate de Chaux** » possédant des propriétés de **liant hydrauliques** de ciment. C'est l'**effet pouzzolanique** et pour que la pouzzolane soit utilisée dans la fabrication du ciment, elle doit avoir un **indice de pouzzolanité $I_p > 75$** .

Selon la norme française NFP18 310 la composition des pouzzolanes naturelles doit être conforme au Tableau1 suivant.

Tableau 1- Norme française NFP18 310 sur la composition de pouzzolane (in Benkaddour M. 2009)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	I _p
42 à 55%	12 à 24%	8 à 20%	4 à 11%	1 à 10%	≥ 75

La compilation des résultats d'analyse chimique des pouzzolanes dans les environs de Betafo est représentée dans le tableau 2 suivant pour comparer avec la norme française.

Tableau 2 : Compilation de toutes les moyennes des résultats des analyses chimiques dans des sites situés dans les environs de Betafo.

Localité	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	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	72,57
Tritriva	44,18	13,94	12,10	12,10	10,46	79,79

(Source *Mandimbiharison A. et al, 2014*)

Se référant aux teneurs des éléments majeurs décrits dans le Tableau 1, 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. Tandis que pour les pouzzolanes le long de l'axe RN34, la teneur en silice (SiO₂) est faible et que celle de l'alumine (Al₂O₃) est trop élevée.

La pouzzolane possède d'autres propriétés et qualités dont : la légèreté, l'isolation thermique et phonique, la résistance au gel et un bon accrochement du liant grâce à sa rugosité.

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 Tritriva) de granulométrie 0/7 (microbéton) ont été faits et représentés dans le Tableau 3 suivant pour montrer la performance du béton de pouzzolane combiné avec du ciment dosé à 350kg/m³.

Tableau 3- 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	339,3	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	339,3	2,17	2,26	119,02	162,29
Pouzzolane	150	679	689	339,3	2	2,03	72,13	73,20
Granite		683	729	339,3	2,01	2,15	36,06	79,34

(Source *Mandimbiharison A et al. ,2014*)

I.3 Généralités sur les différents types des briques

Les briques sont classées en 2 types différents : les briques de terre industrielle et les briques de terre cuite artisanales.

Selon les Normes Malgache sur les Travaux des Bâtiments à Madagascar, ces briques ont des caractéristiques dimensionnelle (tableau 4) et mécanique (tableaux 5 et 6).

Tableau 4 : Caractéristiques dimensionnelles de deux types de briques

Briques de terre industrielle					Briques de terre cuite																														
Référence	Arrêté n° 2346 du ministère des travaux publics en date du 26 Octobre 1962				Arrêté 1877-PCH/TR du 26 Juillet 1963 portant les Normes Malgache des briques de terre cuite artisanales																														
Définition	Ce sont les produits briques pleines et creuses de terre cuite destinés à être montés soit à bain de mortier puis enduits sur les 2 faces, soit montés à mortier batard enduit ou non sur leurs faces.				C’est un matériau de construction formé par de terre argileuse ou brique pleine de terre cuite dite artisanale																														
Normes dimensionnelles [cm]	Briques pleines																																		
	<table><tr><td colspan="4">Dimension</td></tr><tr><td>Épaisseur</td><td>5,5</td><td>7</td><td>7,5</td></tr><tr><td>Largeur</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr><tr><td>Longueur</td><td>21</td><td>21</td><td>21</td></tr></table>				Dimension				Épaisseur	5,5	7	7,5	Largeur	11	11	11	Longueur	21	21	21	<table><tr><td>Dimension</td><td>Max</td><td>Mini</td></tr><tr><td>Épaisseur</td><td>12</td><td>9</td></tr><tr><td>Largeur</td><td>12</td><td>10</td></tr><tr><td>Longueur</td><td>24</td><td>20,5</td></tr></table>			Dimension	Max	Mini	Épaisseur	12	9	Largeur	12	10	Longueur	24	20,5
	Dimension																																		
	Épaisseur	5,5	7	7,5																															
	Largeur	11	11	11																															
	Longueur	21	21	21																															
	Dimension	Max	Mini																																
	Épaisseur	12	9																																
	Largeur	12	10																																
	Longueur	24	20,5																																
	Briques creuses																																		
	<table><tr><td colspan="4">Dimension</td></tr><tr><td>Épaisseur</td><td>5</td><td>6,5</td><td>8</td></tr><tr><td>Largeur</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>Longueur</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr></table>				Dimension				Épaisseur	5	6,5	8	Largeur	15	15	15	Longueur	30	30	30															
	Dimension																																		
	Épaisseur	5	6,5	8																															
	Largeur	15	15	15																															
	Longueur	30	30	30																															
	<table><tr><td colspan="4">Dimension</td></tr><tr><td>Épaisseur</td><td>10</td><td>12</td><td>15</td></tr><tr><td>Largeur</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>Longueur</td><td>30</td><td>30</td><td>30</td></tr></table>				Dimension				Épaisseur	10	12	15	Largeur	15	15	15	Longueur	30	30	30															
	Dimension																																		
	Épaisseur	10	12	15																															
Largeur	15	15	15																																
Longueur	30	30	30																																
<table><tr><td colspan="4">Dimension</td></tr><tr><td>Épaisseur</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td></tr><tr><td>Largeur</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td></tr><tr><td>Longueur</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr></table>				Dimension				Épaisseur	15	20	25	Largeur	20	20	20	Longueur	40	40	40																
Dimension																																			
Épaisseur	15	20	25																																
Largeur	20	20	20																																
Longueur	40	40	40																																
				Poids maximal : le poids d’une brique artisanale n’excédera pas 2,5 kg.																															

Tableau 5 : Les normes sur les caractéristiques mécaniques des briques industrielles à Madagascar

Catégories	Résistance à la compression à sec [Kg /cm ²]		Porosité
	Moyenne sur 7 Briques	Minimum	
Briques pleines : ▪ Porteuse P1 ▪ Porteuse P2 ▪ Porteuse P 3 ▪ Remplissage R	100 70 40 30	80 60 30 20	30%
Briques creuses ▪ Porteuse P1 ▪ Porteuse P2 ▪ Remplissage R1 ▪ Remplissage R2	35 22 15 12	28 18 12 8	22%

(Source : Normes Malgache sur les *Travaux des Bâtiments à Madagascar*)

Tableau 6 : Les normes sur les caractéristiques mécaniques des briques artisanales

CATEGORIES	Résistance en kg /cm ² de section brute	
	Moyenne sur 7 briques	Minimum sur 7 briques
Brique porteuse catégorie 1A ▪ À sec ▪ Imbibition 48 heures	70 50	60 40
Brique porteuse catégorie 2A ▪ À sec ▪ Imbibition 48 heures	40 30	30 20
Brique à remplissage RA ▪ À sec ▪ Imbibition 48 heures	30 20	20 15

(Source : Normes Malgache sur les Travaux des Bâtiments à Madagascar)

II- INVESTIGATION EXPERIMENTALE

II.1 Les matériaux utilisés

Les pouzzolanes

Les pouzzolanes utilisées pour l'expérimentation se trouvent dans le fokontany d'Ampamelonana au sein de la Commune Rurale d'Alakamisy Anativato. Elles sont de couleur noire (PN) et rouge mélangé (PRM).

Les caractéristiques de ces points d'échantillonnage sont représentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Description des points d'échantillonnage

N° Echantillon	Localisation Coordonnées Laborde(m)	Poids (kg)	Couleur	
1	X : 449 535 Y : 694 192	7 ,68	Noire PN	
2	X : 448 194 Y : 693 424	6, 34	Mélangée (rouge-noire-brun) PRM	

(Source : *Ramanantsoa T., 2017*)

Le ciment

Le ciment utilisé est «ORIMBATO CEM IV 42,5 COMUM PORTLAND CEMENT AFRICEM EN 197-1/2000 ». Les résultats des essais mécanique-physiques effectués sur ce ciment ont été fournis par le LNTPB. Le tableau 8 précise les résultats.

Tableau 8: Résultats des essais sur le ciment [LNTPB 2017]

Nature de l'essai	Résistance en MPa du mortier					
	48 heures		7 jours		28 jours	
Traction par flexion	4,9	Moyenne : 4,9	6,4	Moyenne : 6,4	7,1	Moyenne : 7,2
	4,9		6,4		7,3	
	5,0		6,5		7,3	
Compression simple	23	Moyenne : 23,6	36,8	Moyenne : 37,3	44,5	Moyenne : 45,8
	23,8		37,3		46,2	
	24,2		38,0		46,8	

(Source : Ramanantsoa T., 2017)

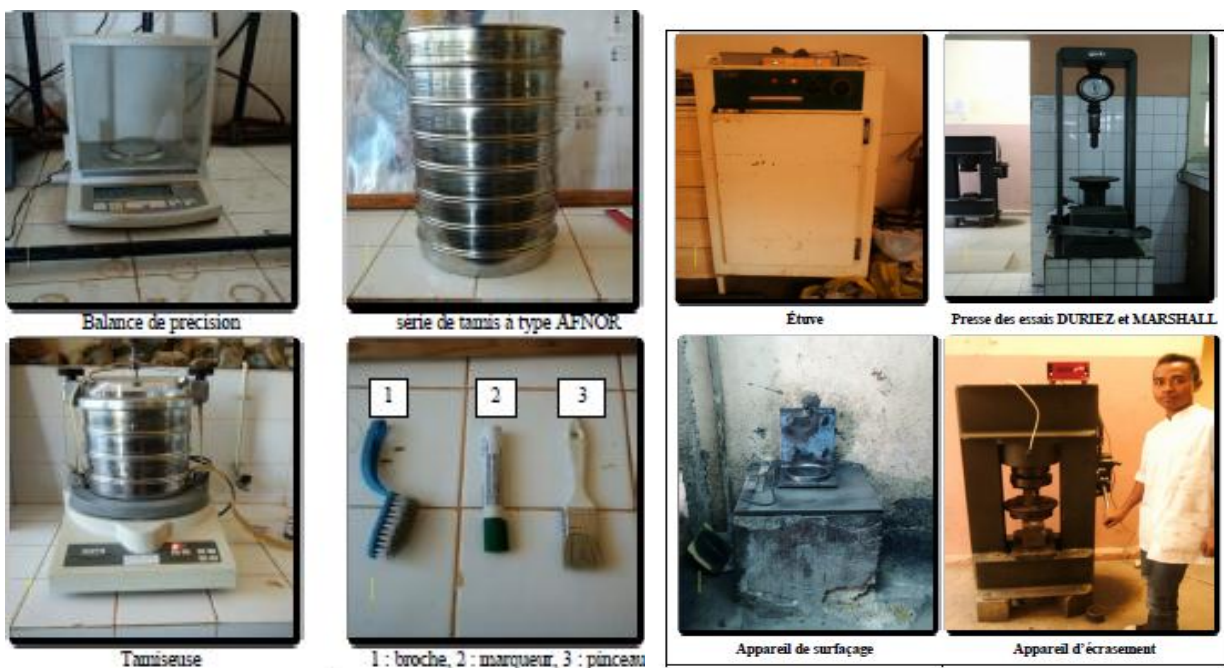
II.2 Déroulement des essais

La méthodologie de la confection de briques

Pour confectionner une brique, il n'est pas juste question de mélanger des pouzzolanes et du ciment avec de l'eau. Mais il faut calculer les dosages convenables de chacun de ces constituants de brique, d'où la notion de «**formulation**».

L'expérimentation nécessite les matériels suivants (Figure 7) :

Balance de précision - Série de tamis avec accessoires – Etuve – Presse de Duriez et Marshall- Appareil d'écrasement, de surfaçage et de démoulage - Moule du Duriez et Broyeur.



(Source : Ramanantsoa T., 2017)



Moule de DURIEZ



Appareil de démoulage



Broyeur

Figure 7 : Les différents matériels utilisés pour les essais et expérimentations

Les modes opératoires durant la confection des briques sont résumés dans l'organigramme de la figure 8.

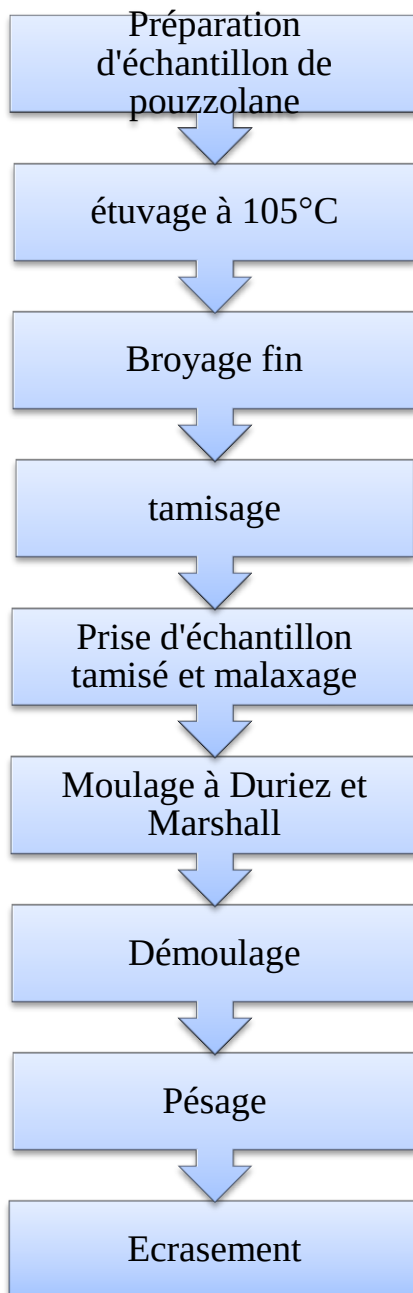


Figure 8 : Mode opératoire au laboratoire (Source : Ramanantsoa T., 2017)

La méthodologie de la formulation de brique

Elle comporte les différentes expérimentations sur des moules de forme cylindrique (Hauteur =7 à 7,5cm ; Diamètre =8cm) lors de la confection des briques. Les paramètres utilisés sont les types de pouzzolane (PN ; PRM), sa granulométrie (4/10 ; 2/4 ; 0,5/2 :0/0,5), sa masse (Mp[g]), le pourcentage du ciment (6% ; 8% ;10%), la charge de la presse et la teneur en eau (8 à 11 % Mp[g]). Les formules sont présentées sous forme des tableaux. Les tableaux 9 et 10 en sont des exemples.

Tableau 9 : Un exemple de formulation en variant la granulométrie, les teneurs en ciment et en eau pour la pouzzolane noire (PN) et la pouzzolane rouge mélangée (PRM).

Granulométrie [mm]	Pouzzolane	Mp[g]	Ciment [%]	Me[g]	date	
					Confection	Écrasement
4 /10; 2/4 ;	PN	500	10/8/6	55 à 40	21/08/17	04/09/17
0,5/2 ; 0/0,5	PRM	500	10/8/6	55 à 40	21/08/17	04/09/17

Tableau 10 : Un exemple de résultat pour la résistance à la compression d'une brique en pouzzolane confectionnée avec un dosage de 10% de ciment.

4/10 [mm]	Poids	Dimension		S [cm ²]	V [cm ³]	Charge en KN	Rc en MPa
		H (cm)	d (cm)				
PN	568	7,5	8	50,24	376,8	20	3,98
PRM	566			50,24	376,8	20	2,98

III- RESULTATS

III-1. Résultats des analyses granulométriques

Les tableaux 11et 12 exposent les résultats des analyses granulométriques et les figures 9 et 10 correspondent à leurs courbes granulométriques.

Tableau 11 : Résultats d'analyse de pouzzolane noire

Tamis [mm]	Refus partiel [g]		Pourcentage	
	refus	cumulé	Refus cumulé	complémentaire
4	98,163	98,163	98,163	1,84
2,50	1,531	99,69	99,69	0,31
1,60	0,061	99,75	99,75	0,25
PAN	0,080	99,83	99,83	0,16

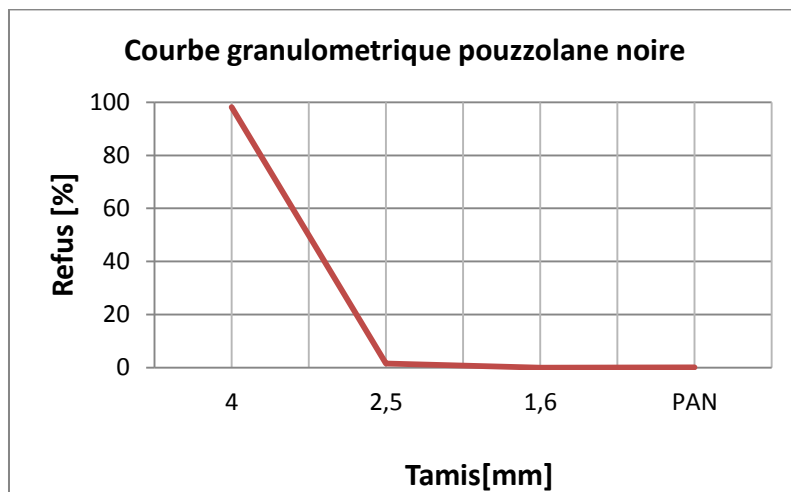


Figure 9 : Courbe granulométrique de pouzzolane noire (PN)

Tableau 12 : Résultat d'analyse de pouzzolane rouge mélangée

Tamis [mm]	Refus partiel [g]		Pourcentage	
	refus	Cumulé	Refus cumulé	complémentaire
4	50,629	50,629	50,629	49,38
2,50	19,605	70,22	70,22	80,40
1,60	15,442	85,66	85,66	84,56
0,5	14,016	99,67	99,67	85,99
PAN	0,222	99,89	99,89	99,78

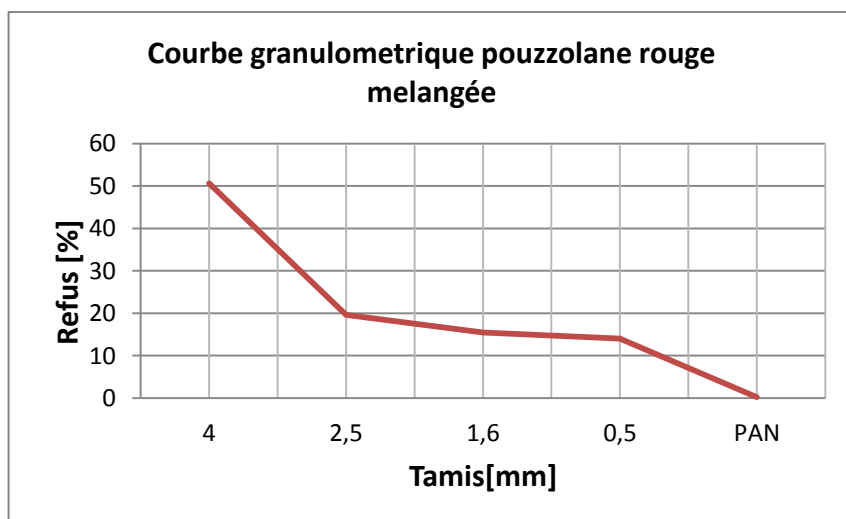


Figure 10 : Courbe granulométrique de pouzzolane Rouge Mélangé (PRM)

III-2 Résultats expérimentaux sur les briques

Les moules utilisées sont de forme cylindrique de hauteur variable et de diamètre constant = 8cm, les briques obtenues après expérimentation sont représentées par la figure 11 Tous les essais et expérimentations ont été faits au Laboratoire National des Travaux Publics et Bâtiments (LNTPB).



Figure 11: Briques en pouzzolane obtenues après expérimentation (forme cylindrique selon la moule)
(Source : Ramanantsoa T., 2017)

Les résistances à la compression en fonction de teneur en ciment et de la granulométrie pour 2 types de pouzzolane PN et PRM sont représentées sous forme de tableau (Tableaux 13,14) et de graphique (Figure 12 et 13).

Tableau 13 : Résistance à la compression de brique en pouzzolane noire en fonction de la teneur en ciment et de la granulométrie.

Résistance à la compression		Rc [MPa] Pouzzolane Noire PN			
Granulométrie		4/10	2/4	0,5/2	0/0,5
Teneur en ciment	6%	2,78	2,58	1,39	1,19
	8%	2,98	3,58	1,79	1,99
	10%	3,98	3,98	2,39	1,79

Tableau 14 : Résistance à la compression de brique en pouzzolane PRM en fonction de la teneur en ciment

Résistance à la compression		Rc [MPa] Pouzzolane Rouge Mélangé PRM			
Granulométrie		4/10	2/4	0,5/2	0/0,5
Teneur en ciment	6%	2,39	1,99	0,99	0,79
	8%	2,81	2,19	1,60	1,70
	10%	2,98	3,78	2,98	1,39

(Source : Ramanantsoa T., 2017)

La représentation graphique de résistance à la compression des briques en pouzzolane obtenue en fonction de la granulométrie et de teneur en ciment pour les deux types de pouzzolane PN et PRM sont illustrées par les figures 11 et 12.

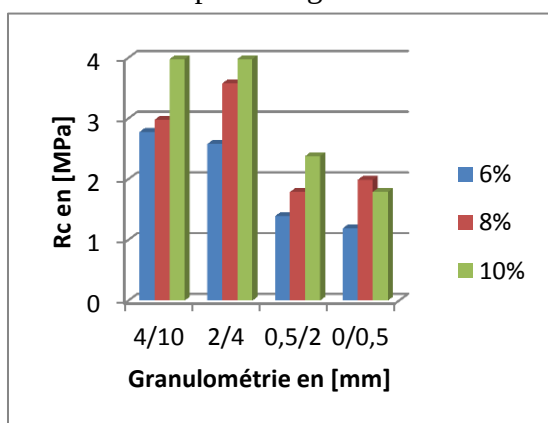


Figure 12: Rc en fonction granulométrie et teneur en ciment pour PN

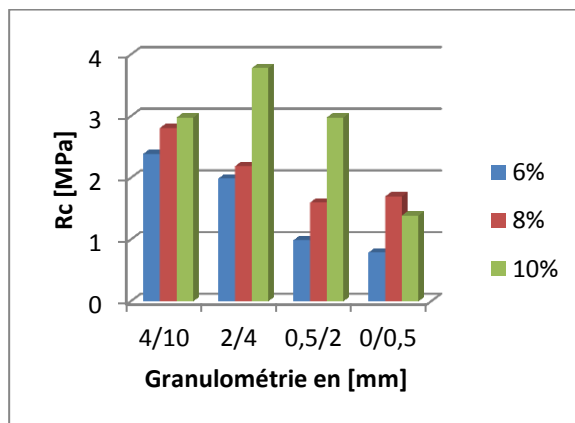


Figure 13: Rc en fonction granulométrie et teneur en ciment pour PRM

La brique de pouzzolane noire (PN) de granulométrie 4/10 ou 2/4 dispose plus de résistance à la compression que celle de pouzzolane rouge mélangé (PRM) pour les teneurs en ciment de 8 et 10%.

IV- DISCUSSION

La discussion est axée sur la comparaison entre la brique en terre cuite artisanale et celle en pouzzolane noire.

Les données moyennes des briques artisanales à Madagascar sont conférées par le tableau 15.

Tableau 15 : Caractéristiques des briques artisanales à Madagascar

Dimension en cm	Poids en g	Section en mm ²	Charge en KN	Rc en MPa
18,5 x 9 x 8	1 382	15 725	36	2,29
19,5 x 9,5 x 7,5	1 403	18 525	28	1,51
19 x 10 x 8,5	1 298	19 000	30	1,57
Moyenne	1 361	17 750	31,33	1,79

La comparaison effectuée avec la norme Malagasy selon TBM et la moyenne des données sur les briques artisanales à Madagascar permet de la montrer sous forme de tableau (Tableau 16).

Pour les deux types de pouzzolane (PN, PRM), la résistance à la compression pour les granulométries 2/4 et 4/10 et avec de teneur en ciment de 8 et 10% dépasse 2MPa (brique de remplissage selon la norme TBM).

Tableau 16 : Comparaison de brique en pouzzolane par rapport à la norme TBM et aux caractéristiques des briques artisanales à Madagascar.

	Dimension en cm	Densité	Poids en kg	Rc moyenne en MPa
Norme Malgache selon TBM	24 x 12 x 12	0,72	2,500	2 (remplissage)
	20,5 x 10 x 9	1,35	1,992	4 (porteur)
Brique en terre artisanale	18,5 x 9 x 8	1,02	1,361	1,79
Brique cylindrique en pouzzolane Si on utilise une moule	H = 7 ; R = 4 18,5 x 9 x 8	1,67	0,587 2,224	3,98 (en 14jr)

Les figures 14 et 15 montrent les deux types de brique en terre cuite et en pouzzolane.

**Figure 14** : Briques de terre cuite artisanales
10x10x20**Figure 15** : Briques en pouzzolane 20x20x40

Les pouzzolanes noires abondantes dans la zone peuvent être utilisées en tant que brique porteur pour les granulométries 4/10 et 2/4 en utilisant une teneur de 10% de ciment. Mais déjà pour une teneur en ciment de 6%, les briques confectionnées pour les mêmes granulométries peuvent être utilisées en tant que brique de remplissage.

CONCLUSION

Les pouzzolanes considérées comme granulats légers ont des comportements physique, chimique et/ou mécanique différents selon leur couleur et leur granulométrie. La recherche effectuée révèle que les pouzzolanes de la Commune Rurale d'Alakamisy-Anativato sont un très bon matériau de construction et peuvent être utilisé comme brique que ce soit remplissage ou porteur. Par rapport aux briques en terre artisanales, elles sont plus résistantes.

Les briques en pouzzolanes sont économiques financièrement par rapport aux parpaings et le gisement des pouzzolanes est plus accessible. Tout de même, il est recommandable et avantageux d'utiliser des pouzzolanes noires et des ciments.

En conclusion même si les pouzzolanes d'Alakamisy-Anativato ne possèdent pas une très bonne qualité à la cimenterie (Indice de pouzzolanité inférieur à 75), elles sont bien adaptées pour faire des briques porteuses ou remplissages. Elles dépassent de loin les caractéristiques physiques et mécaniques des briques en terre cuite. Ainsi, elles méritent d'être authentifiées et vulgarisées et pourraient être bénéfiques dans le développement des domaines de la construction de notre pays.

Références bibliographiques

- [1] 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.
- [2] BENKADDOUR M. (2009) - Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle -Département Génie Civil, École normale Supérieure d'Enseignement Technique Algérie, 11pp.
- [3] BESAIRIE H. (1962) - Géologie économique de la Préfecture d'Antsirabe N°156, p108-111. Service Géologique de Madagascar, 70p
- [4] MANDIMBIHARISON A. et al (2014) - Caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de pouzzolanes du District de Betafo-Antsirabe, Région Vakinankaratra. Madamines, ISSN 2220-0681, Vol. 6 ,2014
- [5] MOUSSA A. K., (2007) - Contribution à l'étude de valorisation de la pouzzolane, 158p
- [6] MINISTERE DES BATIMENTS ET DES TRAVAUX PUBLICS. (1962) - Travaux des Bâtiments à Madagascar, 430p
- [7] PCD de la Commune Rurale d'Alakamisy-Anativato (2015), Edition inédite 30p
- [8] RAMANANTSOA T. (2017) - Valorisation des pouzzolanes de Betafo en briques , mémoire de Master Mention Sciences de la Terre à l'ASJA,85p.