

Études De L'influence Des Poudres Fines Des Termitières Sur Les Comportements À La Compression Et Les Comportements À L'eau Des Adobes

Rakotomalala Zolimboahangy¹, Ratsimbazafy Hery Mikaela², Randriana Nambinina Richard Fortuné³,
Rakotosaona Rijalalaina³, Ranaivoniarivo Velomanantsoa Gabriely¹

¹Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique Antananarivo, Mention Science et Ingénierie des Matériaux. BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

²Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil. BP 6294 Antananarivo 101 Madagascar

³Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique Antananarivo, Mention Génie des Procédés et Chimie Industrielle. BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar



Résumé – Le mot adobe qui désigne la terre crue est utilisé pour désigner les matériaux en terre crue non compactés. En compactant la terre crue, on obtiendra des blocs ou briques de terre comprimée ou compressée. Dans notre étude, nous utilisons le mot adobe pour désigner le matériau non compacté, c'est-à-dire la latérite stabilisée à la termitière. Les murailles des termitières sont réduites en poudre par broyage puis tamisées et mélangées avec de la latérite selon plusieurs formulations. Les résultats obtenus ont révélé que la résistance mécanique des matériaux en terre crue (Adobe) stabilisés non compactés, par de la poudre fine de termitière augmente avec l'augmentation du temps de cure, et que le premier meilleur résultat a été enregistré après 7 jours de cure. Cette cure à l'air libre est caractérisée par l'absence de dépense énergétique, tout en minimisant les impacts sur l'environnement. Les analyses au laboratoire ont évoqué que l'utilisation des nids en activité, constitués de matériaux résistants aux intempéries et compacts, donnent des bons résultats de stabilisation mieux que les nids effondrés, du point de vue résistance à la compression sèche et humide. À 35 jours d'âge, la résistance à la compression sèche obtenue est de 2,88 MPa. Après immersion dans l'eau pendant 24h, la résistance de la Rci évaluée atteint 0,81 MPa. La poudre de termitière en activité améliore alors les résistances à la compression sèche et humide des adobes. Elles ont augmenté de 2 à 3 fois avec un dosage de 3 volumes de latérite pour 1 volume de poudre de termitière. Aucun phénomène de retrait-gonflement n'a été enregistré, malgré la présence des minéraux argileux instables montmorillonites dans la poudre de termitière. L'interprétation des résultats sur l'activité argileuse a montré que ces minéraux argileux sont inactifs et pourront ne pas engendrer du retrait-gonflement important.

Mots Clés – Stabilisation, Termitières, Latérites, Résistance A La Compression, Retrait-Gonflement, Adobe

Abstract – Adobe is used to refer to uncompacted raw soil materials. By compacting the raw soil, we will obtain compressed or compressed soil blocks or bricks. In our study, we use the word adobe to denote the uncompacted material, that is, the laterite stabilized at the termite mound. The walls of termite mounds are reduced to powder by grinding then sieved and mixed with laterite according to several formulations. The results obtained revealed that the mechanical resistance of uncompacted raw soil materials (Adobe) stabilized by fine powder of termite mound increases with increasing curing time, and that the first best result was recorded after 7 days. of cure. This open-air treatment is characterized by the absence of energy expenditure, while minimizing the impact on the environment. The analyzes in laboratory have suggested that the use of active nests, made of weather-resistant and compact materials, gives good stabilization results better than collapsed nests, in terms of resistance to dry and wet compression. At 35 days of age, the obtained dry compressive strength

was 2.88 MPa. After immersion at a water for 24 hours, the resistance of Rci reached 0.81 MPa. The active termite mound powder improves the dry and wet compressive strengths of the adobe. They increased by 2 to 3 times with a dosage of 3 volumes of laterite for 1 volume of termite mound powder. We did not record a shrinkage-swelling phenomenon. This is due by the presence of the unstable clay minerals montmorillonites in the termite mound powder. The results on clay activity showed that these clay minerals are inactive and may not cause shrinkage-swelling.

Keywords – Stabilization, Termite Mounds, Laterite, Compressive Strength, Shrinkage-Swelling, Adobe.

I. INTRODUCTION

En tenant compte des dégradations de l'environnement, l'utilisation des matériaux ne nécessitant pas d'énergie, s'avère être une remédiation adéquate. Parmi ces matériaux, on compte les latérites qui recouvrent une grande partie des pays en voie de développement, et largement utilisées dans divers domaines, aussi bien dans l'art que dans le génie civil. Les latérites meubles ou indurées sont facilement exploitables et donnent des produits fiables, durables et esthétiques (BTC, tuiles, etc.). Toutefois, leur exploitation en carrière pose un problème : leurs capacités mécaniques diminuent au fur et à mesure que la profondeur d'extraction augmente. L'exploitation des carrières de latérites indurées pose donc un problème d'optimisation du rendement. De nombreuses études ont été menées pour utiliser différents types de stabilisants naturels pour optimiser les caractéristiques des matériaux de construction en terre crue, en particulier dans les pays en voie de développement, en raison de leur disponibilité, de leur faible coût économique et énergétique ainsi que de la technicité relativement faible nécessaire à leur production. Dans cette étude, nous essayons de valoriser les poudres fines des murailles des termitières comme stabilisants de ces matériaux en terre crue. De taille importante, et de densité pouvant atteindre jusqu'à 100 à 250 nids/ha, les termitières nous étonnent, non seulement par la complexité de leur architecture interne, mais aussi par les caractéristiques d'imperméabilités, les compacités rigides des murailles externes des nids. Nous pouvons estimer qu'en raison de leur forte teneur en argile, et leur architecture massive, les termitières édifiées par les termites limitent localement l'infiltration. Cette infiltration est particulièrement à l'aplomb des nids. Même, lors d'événements pluvieux importants, l'humidité de la muraille du nid est peu affectée, qu'il soit en activité ou effondré. Les termites utilisent les matériaux locaux pour construire leurs nids. Ils digèrent certains minéraux qui vont subir des modifications chimiques et minéralogiques dans leurs tubes digestives. Les matières fécales et les salives servent de stabilisants et liants pour construire les murailles et des murs de cloisonnement à l'intérieur des nids. Ceci va positionner nos réflexions sur la possibilité de valoriser les murailles des termitières dans le domaine de la construction en terre crue. Dans cette recherche intitulée « **Etudes de l'influence des poudres fines des termitières sur les comportements à la compression et les comportements à l'eau des adobes** », on s'intéresse plus particulièrement à l'évolution de la résistance à la compression sèche et humide, la sensibilité à l'eau des matériaux en examinant son absorption totale et son retrait-gonflement après immersion dans l'eau.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Lieux d'extraction des matières premières

2.1.1 La latérite

Le matériau de base utilisé est la latérite. Celle-ci a été extraite manuellement aux alentours de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Vontovorona, à 22km à l'Ouest de la ville d'Antananarivo-Madagascar, sur les coordonnées géographiques suivantes : S18°58'11.80" ; E47°25'27.00" ; Altitude 1411m. Les échantillonnages ont été faits pendant la saison sèche à une profondeur de 110cm. Ainsi, nous avons créé une fosse pédologique de 100*100*120cm de dimensions pour avoir le bon échantillon de latérite.

2.1.2 Les termitières

Les échantillons de termitières utilisées sont en provenance de la région Vakinankaratra (à 205km au sud de la ville d'Antananarivo-Madagascar). Les coordonnées géographiques des sites de prélèvements sont S20° 013533, E 47° 050456, Altitude 1511m.



Photo 1 : Fosse pédologique



Photo 2 : Nid en activité



Photo 3 : Nid effondré

2.2 Méthodes de caractérisations des échantillons et des éprouvettes

L'analyse des sols constitue une étape majeure de la caractérisation des échantillons prélevés in-situ. Ces échantillons concernaient la latérite, les nids en activités et les nids effondrés.

Nous avons effectué des essais normalisés pour connaître toutes les caractéristiques physiques et chimiques, les paramètres de nature, les paramètres hydriques et la résistance à la compression simple des échantillons et des éprouvettes. Pour la détermination de ces paramètres, nous avons suivi les protocoles opératoires données par les normes suivantes :

Tableau 1 : liste des essais normalisés

Essais et analyses		Normes
PARAMETRES PHYSIQUES	Détermination des masses volumiques des sols fins	NF ISO 17892-2 : 2014
	Détermination de la porosité	NF P 94 410 : 3
PARAMETRES HYDRIQUES	Détermination de la teneur en eau pondérale	NF ISO 17892-1 : 2014
	Essai Proctor	NF P 94 093
	Limites d'Atterberg	NF ISO 17892-12 : 2018
PARAMETRES DE NATURE	Analyses granulométriques	NF EN ISO 17892-4
	Valeur au bleu	NF P 94 068
RESISTANCE	Essai de compression simple	NF ISO 17892-11 : 2014
CARACTERISTIQUES CHIMIQUES	Méthode courante de dosage	Méthode de dosage de Voinovitch A., 1971)

2.3 Etudes de formulations

Nous avons effectué des séries d'essais et d'analyses des éprouvettes d'expérimentation. Ces éprouvettes sont confectionnées avec de la latérite et des poudres fines issues des deux types de nids : nids en activité ou nids effondrés.

La quantité d'eau des mélanges dépendra de la teneur en eau optimale définie lors de l'essai de compactage de la latérite pure. Le stabilisant ne doit pas dépasser le 1/3 du volume de la latérite à stabiliser.

Nous avons noté par **L** la latérite, **TA** les poudres fines des nids en activités et **TE** les poudres fines des nids effondrés. Pour chaque type de nid, nous avons adopté 3 formulations dont les proportions de TA et/ou de TE varie de 1/10 à 3/10 du volume total, et dont l'éprouvette témoin est constitué de 100% de latérite.

Le dosage est raisonné en rapport volumique.

Nous montrons dans les tableaux suivants ces essais de formulations.

Tableau 2 : Détermination du dosage volumique L/ TA

Essai	L Volume	TA Volume
Témoin	10	0
L.TA.1	10	1
L.TA.2	10	2
L.TA.3	10	3

Tableau 3 : Détermination du dosage L/ TE

Essai L/S	L Volume	TE Volume
Témoin	10	0
L.TE.1	10	1
L.TE.2	10	2
L.TE.3	10	3

2.4 Confection des éprouvettes

Après le dosage des matières premières, nous allons suivre les étapes décrites dans la figure 1 pour la confection des éprouvettes.

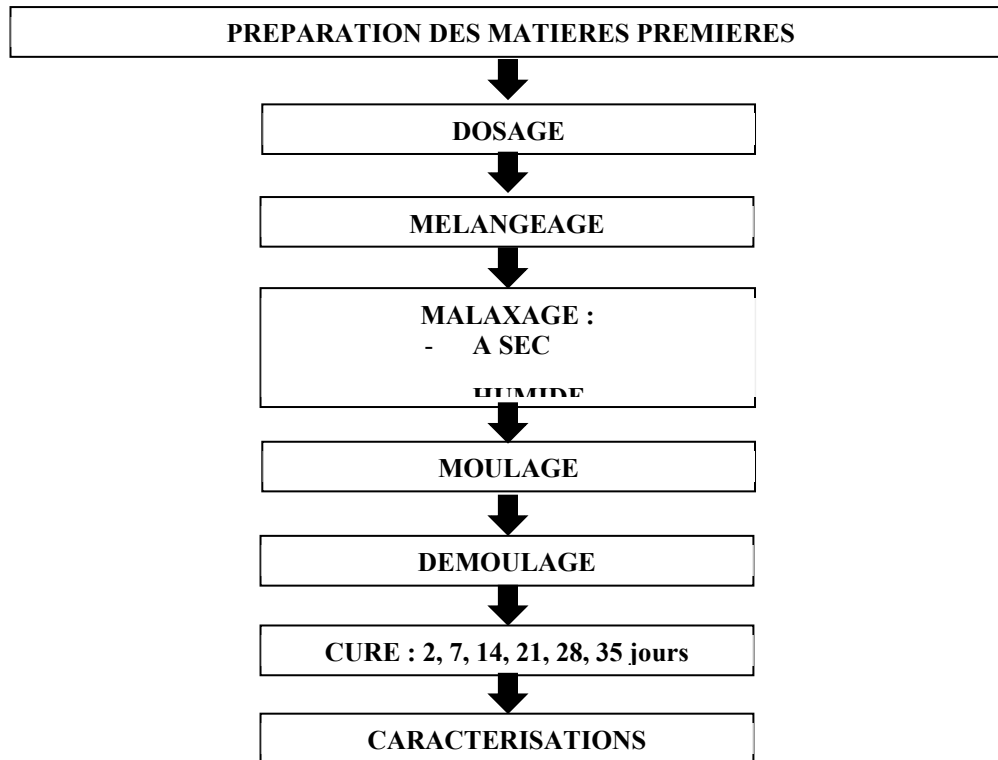


Figure 1 : *Etapas de la confection des éprouvettes*

Le moulage et compactage :

Il s'agit de couler dans un moule la pâte ainsi composée pour avoir la forme souhaitée. Nous avons utilisé des moules cylindriques et parallélépipédique, fabriqué à partir d'un tuyau GALVA, de 5mm d'épaisseur dont la dimension interne est la suivante : 5*5cm et 14*7cm

Nous avons utilisé une presse hydraulique multifonctionnelle (machine Testwell) pour le moulage et compactage des éprouvettes. Nous avons adopté une pression de compactage de 20,4 MPa pour les éprouvettes 5*5 (F.appl = 4000 daN, Section du moule $S=\pi d^2/4 = 1,96 \times 10^{-3}m^2$) et de 33,1Mpa pour les éprouvettes 14*7 (F.appl = 12700 daN, Section du moule $S=\pi d^2/4 = 3.86 \times 10^{-3}m^2$). Nous avons choisi ces pressions de compactage pour pouvoir comparer nos résultats par rapport aux résultats des études antérieures.

Comme agent démoulant, nous avons utilisé de la graisse pour faciliter ce procédé.

Cure et Séchage 35 jours

Le premier séchage se fait naturellement en mettant les éprouvettes à l'ombre et à l'abri de l'humidité pour favoriser leurs maturations. Nous les avons placés dans un milieu bien aéré pendant 10 jours car l'action brusque des rayons solaires entraîne leur retrait rapide, cause de fissuration et après nous les laissons exposées au soleil pendant trois à quatre semaines.



Photo 4 : machine Testwell

III. RESULTATS

3.1 Caractéristiques des matières premières

3.1.1 Caractéristiques chimiques

Les résultats des analyses chimiques de la latérite de Vontovorona (L) et des échantillons des termitières en activités et effondrés (TA et TE) sont consignés dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : Compositions chimiques en oxydes des échantillons L, TA et TE (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	PF	pH
Latérite (%)	24,43	28,18	27,1	1,06	3,29	-	-	-	0,03	15,91	6,85
TA (%)	26,21	23,72	9,35	14,43	0,62	2,4	1,01	2,08	1,2	17,98	7,1
TE (%)	30,98	28,52	9,32	13,7	0,54	1,68	0,82	0,5	0,62	16,32	7,3

L'échantillon de la latérite L analysé montre une proportion élevée en oxydes SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃. Il est pauvre en CaO et en matières organiques.

Les nids actifs et effondrés présentent des teneurs en oxydes relativement proches. Les teneurs en silice sont élevées de l'ordre de 31% en moyenne. Aucune différence significative n'est observée entre les teneurs en d'autres éléments (Al₂O₃, Na₂O, MgO, K₂O, SO₃, TiO₃). On observe la présence de la chaux qui joue le rôle de liant avec les sécrétions fournies par les occupants (défécations et salives).

Le pH est légèrement plus élevé dans les murailles des nids effondrés par rapport aux nids en activité. Les légères valeurs des pertes au feu dans les murailles s'expliquent par la faible teneur en matières organiques.

3.1.2 Caractéristiques physiques

Les masses volumiques, les teneurs en eau pondérales, les porosités et les taux d'absorption d'eau des échantillons de latérite et des termitières sont données dans le tableau 5 suivant. Nous nous sommes servis des éprouvettes ayant un volume 196,34cm³ pour la détermination des masses volumiques.

Tableau 5 : paramètres physiques des échantillons

		Latérite	TA	TE
Masses Volumiques	MVA ρ (g/cm ³)	1,41	0,64	0,82
	MVS ρ_d (g/cm ³)	2,68	0,84	1,2
Teneur en eau ω %	Pendant saison sèche	14,9	5,8	6,1
	Pendant saison humide	24,8	8,3	15,61
Porosité n		0,42	0,49	0,38
Taux d'absorption d'eau (%) – 24h d'immersion		48	1,35	18,32

3.1.3 Analyses granulométriques

La répartition des grains dans les échantillons de latérite et des termitières sont montrées par le tableau de répartition des grains et la figure montrant les courbes granulométriques suivants :

Tableau 6 : Résultats des analyses granulométriques

Ouverture des tamis d (mm)	Module AFNOR	Tamisats cumulés (%)		
		L	TA	TE
4	37			100
2	34	100	100	100
1,25	32	100	100	99
1	31	98	98	93
0,63	29	86	93	83
0,315	26	74	85	72
0,125	22	61	72	56
0,08	20	54	64	49
0,05	18	48	58	43
0,02	14	36	52	39
0,01	11	29	48	36
0,002	4	15	40	31

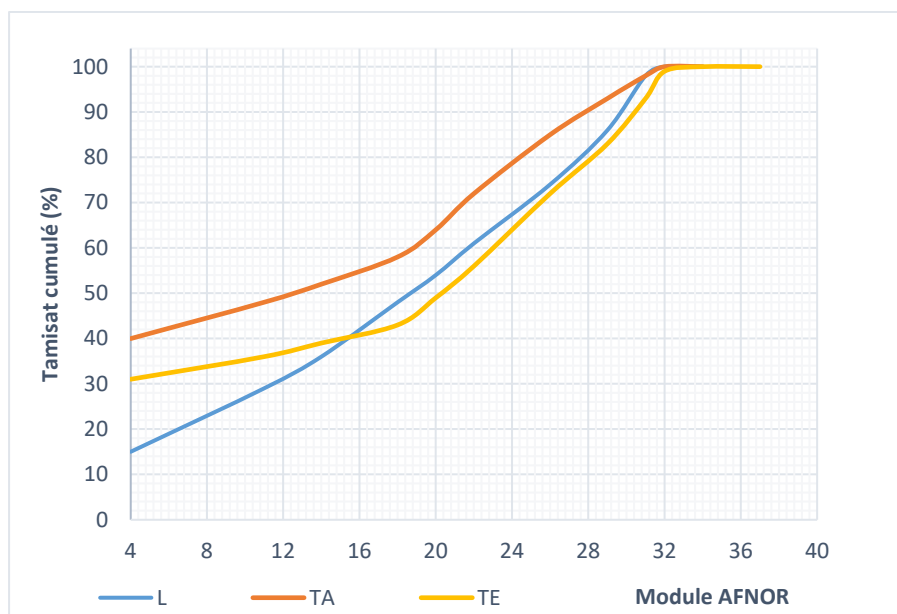


Figure 2 : Courbes granulométriques des échantillons L, TA et TE

Les grains de diamètres différents sont représentés dans l'échantillon de la latérite. Ce dernier contient 54% d'éléments fins inférieurs à 0,08mm et 46% d'éléments grossiers.

Tous les échantillons de termitières sont constitués majoritairement d'éléments fins supérieurs à 80µm. L'échantillon de la termitière en activité est très riche en éléments inférieurs à 2µm par rapport à celui de la termitière effondrée.

3.1.4 Les limites d'Atterberg

Les essais effectués sur les limites d'Atterberg ont donné les résultats suivants :

Tableau 7 : Résultats des limites d'Atterberg

	L	TA	TE
$\omega_L\%$	39,3	53,2	48
$\omega_P\%$	26,6	82,2	71
$I_P\%$	13,7	29	23
Nature des sols	Sol moyennement argileux	Sol argileux à très argileux	Sol moyennement argileux
Plasticité	Ap	At	Am

$I_P \leq 12$: sols faiblement argileux,

$12 \leq I_P \leq 25$: sols moyennement argileux,

$25 \leq I_P \leq 40$: sols argileux et très argileux

Les limites d'Atterberg servent à étudier la plasticité et la consistance d'un sol par la valeur des ω_L

La latérite peut renfermer de l'argile à plasticité moyenne et présente une bonne caractéristique de compactage par la valeur de son I_p de 13,7.

3.1.5 Valeur au bleu

Tableau 8 : Résultats des essais à la valeur au bleu

	L	TA	TE
VBs	1.62	5,6	5,2
Nature des échantillons	sols à plasticité moyenne	sols argileux	sols limoneux de plasticité moyenne
A_c	0,108	0,12	0,16
Activité argileuse	Inactive		

Ces valeurs indiquent que la fraction argileuse dans tous les échantillons L, TA et TE est inactive. Ce qui confirme également que les échantillons renferment de la kaolinite qui est le principal minéral argileux.

- $VB_s \leq 0,1$: sol est insensible à l'eau
- $0,1 \leq VB_s \leq 0,2$: apparition de la sensibilité à l'eau.
- $0,2 \leq VB_s \leq 1,5$: seuil distinguant les sols sablo-limoneux.
- $1,5 \leq VB_s \leq 2,5$: sols limoneux de plasticité moyenne.
- $2,5 \leq VB_s \leq 6$: sol argileux
- $8 \leq VB_s$: sols très argileux.

L'activité argileuse A_c est calculée par la relation $A_c = \frac{VB_s}{C_2}$, (C_2 : % inf à $2\mu m$).

Tableau 9: Qualificatif des sols en fonction de A_c

A_c	Qualificatif
$0 < A_c \leq 3$	Inactive
$3 < A_c \leq 5$	Peu active
$5 < A_c \leq 13$	Moyenne
$13 < A_c \leq 18$	Active
$A_c > 18$	Très active

3.2 Caractéristiques des éprouvettes d'expérimentation

3.2.1 Résultats des essais Proctor

Le tableau de variation de la densité sèche γ_d en fonction de la teneur en eau $\omega\%$ permet de tracer les courbes Proctor de chaque échantillon. Ces figures serviront dans la suite, à la détermination de la valeur de la densité sèche optimale Proctor γ_{dopt} ainsi que celle de la teneur en eau optimale Proctor $\omega_{opt}\%$. Ces résultats ont été obtenus avec la même énergie de compactage, égale à 2,5MPa. Nous ne montrons que les résultats des formulations numéro 3 de chaque lot qui ont donné des bons résultats.

Tableau 10: résultats des essais Proctor

$\omega\%$		10	12	14	16	18	20	22	24
γ_d	L		2.48	2.59	2.67	2.74	2.79	2.75	2.64
	L.TA.3	2.46	2.58	2.7	2.82	2.87	2.81	2.72	
	L.TE.3	2.46	2.54	2.64	2.76	2.85	2.81	2.74	

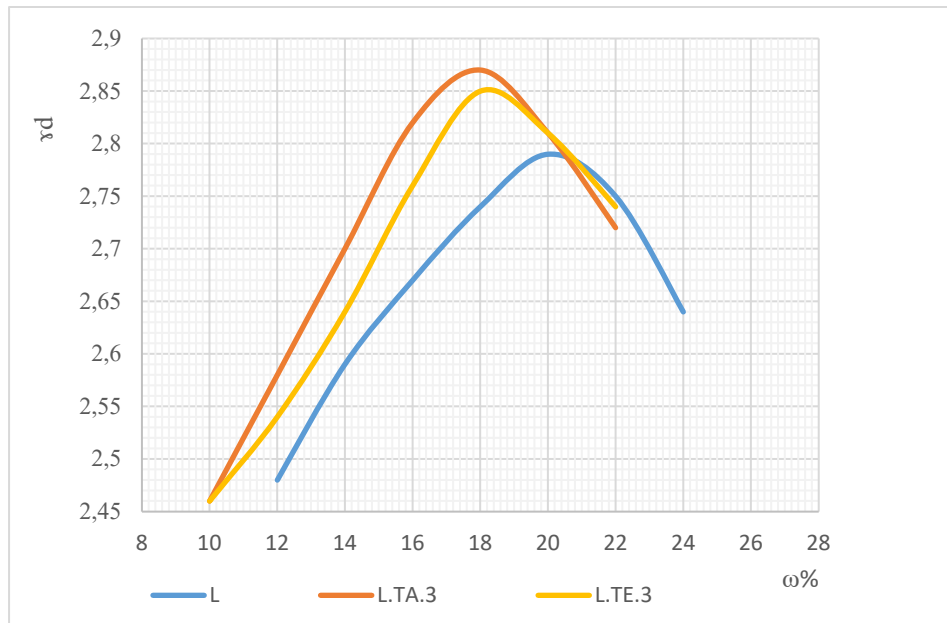


Figure 3 : Courbes Proctor des éprouvettes L, L.TA.3 et L.TE.3

A partir de ces courbes, nous pouvons déterminer les optimums Proctor de la latérite, nécessaire aux travaux de compactage et moulage lors de la confection et caractérisation des éprouvettes, ainsi que les optimums Proctor des éprouvettes donnant les plus grandes valeurs de densité sèche qui correspondent au compactage maximal.

Tableau 11 : Les Optimums Proctor pour chaque échantillon

	L	L.TA.3	L.TE.3
$\omega_{opt} \%$	20,2	17,8	18,2
$\gamma_d \text{ opt}$	2,79	2,87	2,855

3.2.2. Résistances à la compression sèche et humide

Le tableau suivant montre les caractéristiques à la compression des éprouvettes. Les mesures ont été effectuées à partir du 2^{ème} jour d'âge, puis 7, 14, 28 et 36. Le temps d'immersion des éprouvettes sèches est de 24h.

Tableau 12 : Résistances à la compression des éprouvettes

	Formulation	Rc ₂ MPa	Rc ₇ MPa	Rc ₁₄ MPa	Rc ₂₈ MPa	Rc ₃₆ MPa	Rc _r MPa
1	Témoin	0,13	0,31	0,62	0,69	0,69	-
	Lot de formulation = L + TA						
2	L.TA.1	0,15	0,56	1,01	1,83	1,89	0,34
3	L.TA.2	0,33	0,83	2,05	2,15	2,25	0,76
4	L.TA.3	0,46	1,12	2,17	2,83	2,88	0,81
	Lot de formulation = L + TE						
5	L.TE.1	0,16	0,45	1,12	1,27	1,74	0,21
6	L.TE.2	0,72	1,47	1,73	1,66	1,76	0,56
7	L.TE.3	0,87	1,91	2,15	2,54	2,59	0,8

3.2.3 Comportement à l'eau des éprouvettes

Le tableau suivant donne les caractéristiques à la compression des éprouvettes

Tableau 13 : Résultats du comportement à l'eau des éprouvettes

	Formulation	TEA %	Retrait R %	Gonflement G%
1	Témoin	21	1,6	0
	Lot de formulation = L + TA			
2	L.TA.1	28	1,8	0
3	L.TA.2	25	1,2	0
4	L.TA.3	19	0,5	0
	Lot de formulation = L + TE			
5	L.TE.1	23	1,6	0
6	L.TE.2	18	1,9	0
7	L.TE.3	12	1,3	0

IV. DISCUSSIONS

4.1 Essai Proctor

Une teneur en eau optimale Proctor élevée correspond à un caractère sableux marqué pour un échantillon. Or, plus le caractère sableux d'un sol est élevé, plus son aptitude au compactage est diminuée, ce qui est caractérisée par une γ_{dopt} faible.

Etant donné que tous les échantillons de termitières renferment une teneur importante en argile, ils ne nécessiteraient que peu d'eau pour les opérations de compactage. Les courbes Proctor nous informent que si on mélange de la latérite avec les poudres fines des termitières, les teneurs en eau optimales pour obtenir les densités sèches optimales diminuent avec le type de termitière utilisé.

La plus grande valeur de la densité sèche optimale $\gamma_{d\text{ opt}}$ est obtenue avec la formulation composée par de la latérite et des poudres de termitière en activités TA, dont la teneur en eau optimale $\omega_{\text{opt}}\%$, pour un compactage optimal, est inférieure qu'avec les poudres fines issues des termitières effondrées TE.

4.2 Variation du retrait et taux d'absorption d'eau

Les figures 4 (a),(b) suivantes montrent les variations du retrait dans le mélange Latérite + Termitière :

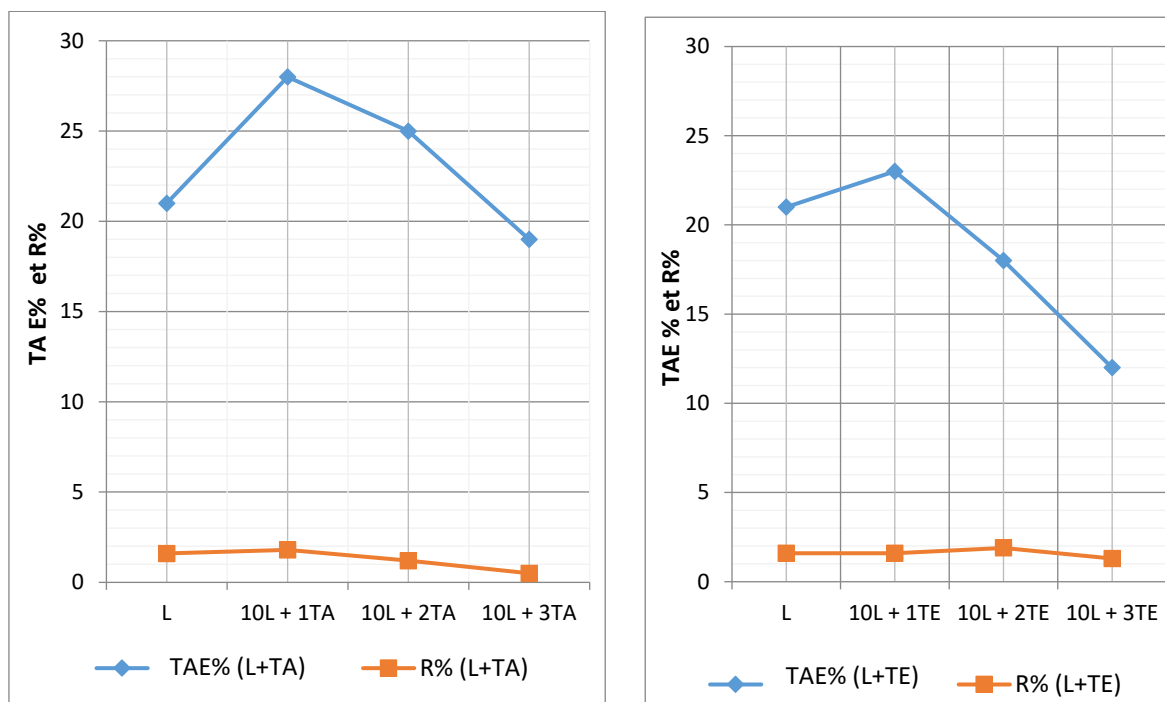


Figure 4: Variation du retrait et taux d'absorption des éprouvettes

(a) Formulation avec TA

(b) formulation avec TE

La poudre de termitière ne montre pas une variation significative sur le retrait. Lorsque l'on a ajouté 1 volume de T pour 10 volumes de latérite dans le mélange, les éprouvettes connaissent une augmentation du retrait puis diminue après l'augmentation du volume des poudres. Cette contradiction peut s'expliquer soit par le mode de séchage de nos éprouvettes, soit par le phénomène de retrait-gonflement qui est une particularité de la montmorillonite contenue dans la termitière. Dans ce cas, l'utilisation des renforts comme des fibres pourront être envisagée pour corriger le phénomène de retrait gonflement.

Une des propriétés les plus remarquables des montmorillonites est leur capacité de gonflement résultant de l'entrée d'eau dans l'espace entre les feuillets. Une montmorillonite dispersée dans l'eau donne très facilement une suspension colloïdale stable. Leurs propriétés de plasticité et d'imperméabilité justifient l'imperméabilisation des nids à l'eau pendant la saison de pluie. Cependant, cette aptitude au gonflement n'est pas remarquée pendant les expérimentations qui peuvent se traduire par le collapsus des feuillets argileux, lors de la dessiccation. Ceci est due peut-être à la dominance des minéraux argileux, type Kaolinite que de la montmorillonite dans la termitière. Ce phénomène de gonflement pose des problèmes notables sur le plan de la géotechnique.

4.3 Etudes du comportement à la résistance à la compression humide et sèche

Le temps de cure des adobes crues est long, ceci peut prendre plusieurs jours à plusieurs semaines. Selon les expériences, le temps de cure pourra aller jusqu'à 40 jours pour avoir la résistance à la compression simple voulue avant la mise en œuvre dans la maçonnerie. Toutefois, ceci peut varier en fonction de plusieurs facteurs entre autres, les conditions de séchage, la saison, l'humidité du milieu de cure, etc...

4.3.1 Variation des résistances sèches et humides des éprouvettes

Dans les figures suivantes, nous présentons la variation des résistances sèches et humides des latérites stabilisées à la poudre fine de termitière à 2 – 7 – 14 – 28 et 36 jours d'âge.

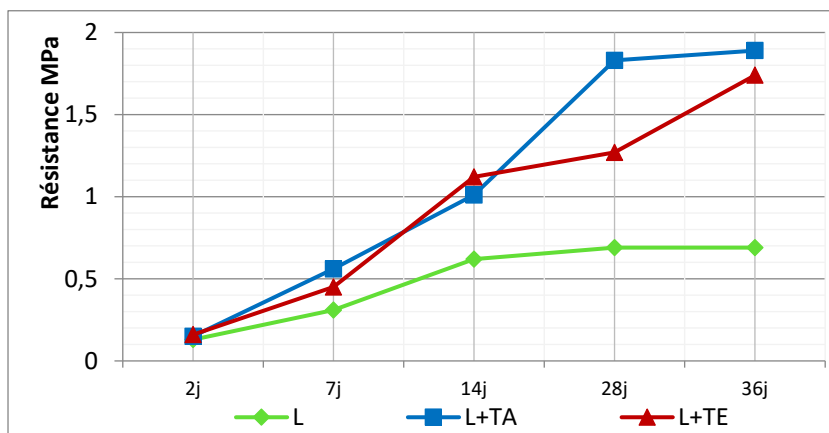


Figure 5 : Evolution des résistances sèches des éprouvettes, dosage 10L + 1T, en fonction du temps de cure

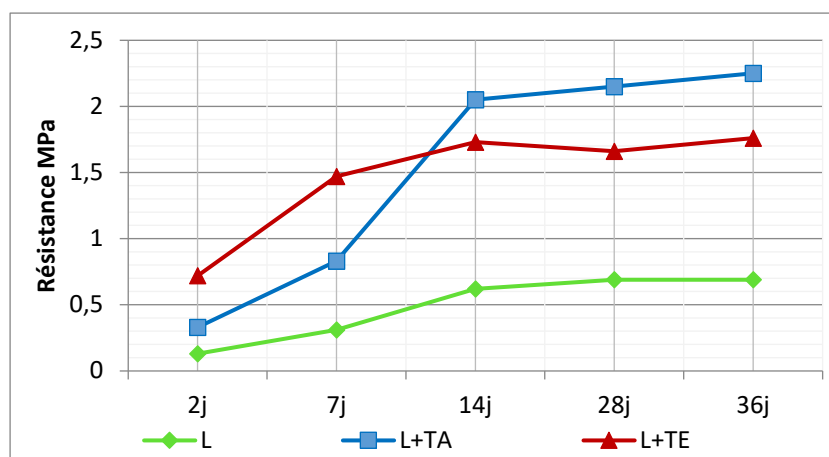


Figure 6 : Evolution des résistances sèches des éprouvettes, dosage 10L + 2T, en fonction du temps de cure

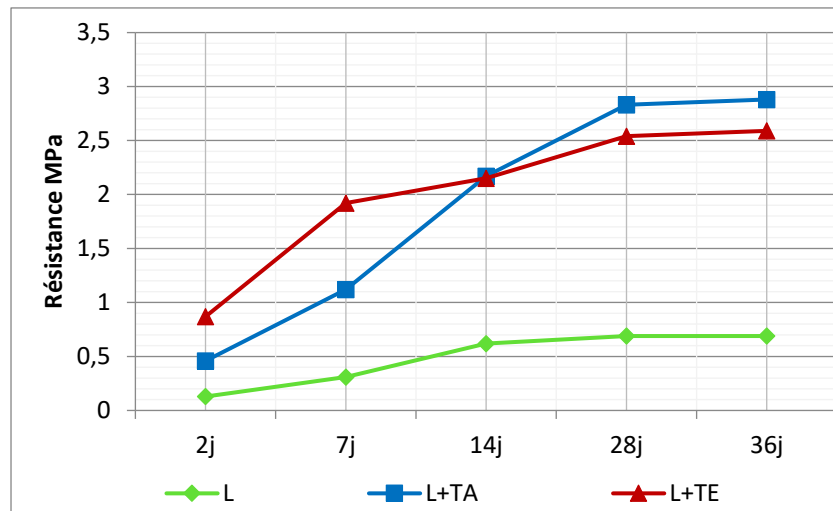


Figure 7 : Evolution des résistances sèches des éprouvettes, dosage 10L + 3T, en fonction du temps de cure

À travers ces résultats, on remarque que l'ajout des poudres de termitières a conduit à une importante augmentation de la résistance jusqu'à 3 fois de celle du témoin composé uniquement de la latérite. La plus grande valeur a été obtenue avec le rapport 1/3 de termitière pour 1 volume de latérite.

On peut constater aussi qu'en termes de résistance à la compression, l'utilisation de la poudre de termitière en activité donne de meilleurs résultats que celle des nids effondrés.

4.3.2 Variation de la résistance après immersion

L'immersion des éprouvettes d'expérimentation dans une cuve à eau n'est pas très idéale pour les matériaux en terre crue (c'est – dire sans cuisson). Posées directement dans l'eau, les éprouvettes se désagrègent rapidement. Nous avons choisi donc de surélever le matériau et de le poser sur un papier absorbant en contact avec le bain d'eau. L'eau monte progressivement dans le bloc, la baisse du niveau du bain d'eau nous donnant une idée de la quantité d'eau qui a été absorbée. Puis, les éprouvettes ont été écrasées entre deux moules avec une force de compression 20,4MPa.

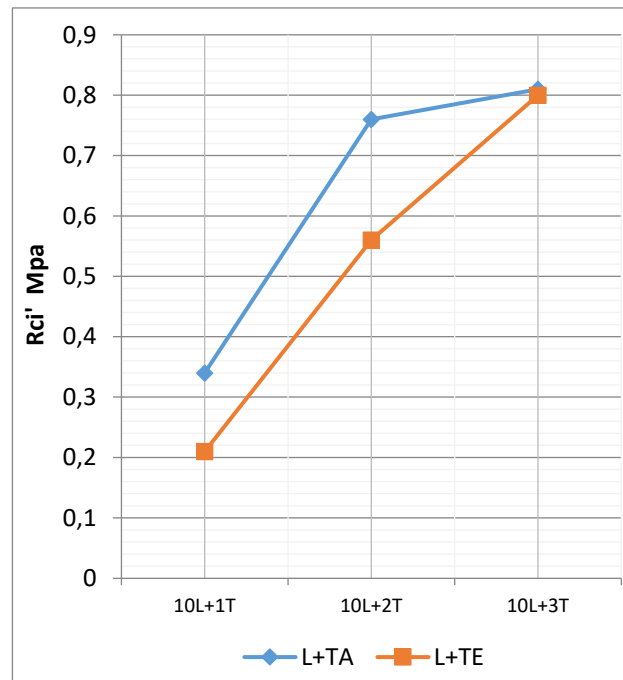


Figure 8 : Variation de la résistance après immersion des éprouvettes

Les résistances $R_{c,i'}$ des mélanges sont largement différentes. En règle générale, les courbes de variation montrent une bonne résistance et une bonne tenue à l'eau des éprouvettes.

La bonne résistance à l'eau des éprouvettes peut s'expliquer par la bonne cohésion des grains solides par la poudre de termitière et aussi peut être par les caractéristiques imperméabilisantes des poudres de termitière. Ceci est en cohérence avec le taux d'absorption d'eau faible et la faible porosité des éprouvettes. La plus grande valeur est obtenue par le dosage de 10 volumes de latérites pour 3 volumes de poudres fines de termitières.

4.3.3 Effet du temps de cure

L'analyse des résultats présentés sur toutes les figures montre que la plus faible et la plus grande valeur de la résistance sont obtenues respectivement pour 2 jours et 36 jours de cure.

Les résistances sèches augmentent avec l'augmentation du temps de cure. On remarque aussi qu'après 28 jours de cure l'évolution de la résistance est atténuée comparativement à la phase précédente.

La résistance des éprouvettes après 28 jours de cure dépasse largement celle de l'éprouvette curée à 7 jours, un dépassement jusqu'à 3 fois par rapport à l'éprouvette témoin.

V. CONCLUSION

Le présent document fournit des réflexions sur la durabilité des constructions en terre crue à Madagascar. Sur le plan scientifique, il contribue à l'optimisation et à la vulgarisation des productions des matériaux en terre crue, de bonnes caractéristiques, et écologiques en valorisant les poudres fines des termitières disponibles à Madagascar. En grande partie, les murailles des termitières peuvent être valorisées dans la stabilisation des matériaux en terre crue. Les résultats obtenus sont satisfaisants si le choix de critère est l'amélioration de la résistance tout en assurant la qualité de l'adobe et/ou les matériaux en terre crue vis-à-vis de l'eau. Mais si le critère de choix est l'isolation thermique, par exemple, tout en assurant une résistance mécanique modérée meilleure, alors là, on peut procéder à une étude appropriée, en utilisant des fibres végétales utilisées dans le mélange. Des inconvénients pourront avoir lieu sur le plan pédologique : si on prélève tous les nids d'une zone pour les travaux de stabilisation, les termites qui sont classées parmi les espèces envahissantes, ravageurs et nomades, après l'effondrement de leurs nids, elles trouveront facilement d'autres zones pour en bâtir des nouveaux en l'espace de quelques jours à quelques semaines.

REFERENCES

- [1] CRAterre (Centre de Recherche et d'Application de la Terre), 1995 : Traité de la construction en terre, Grenoble, France, pp15-100. <http://craterre.org/>
- [2] Doat P. et al, 1979 : Construire en terre, Revues Scientifiques, Vol.2, Collection An Architecture.
- [3] Denis M., 1994 : Le matériau terre : compactage, comportement et application aux structures en blocs de terre. Institut Nationale des sciences Appliquées de Lyon (INSA), Lyon/ France
- [4] Houben H., Hubert G., 1989 : *Traité de construction en terre*, Marseille, Edition Parenthèses.
- [5] Jehanne P., 2015 : Construction en terre crue : dispositions qualitatives, constructives et architecturales – Application à un cas pratique : Ouagadougou. Université de Liège – Faculté des Sciences Appliquées
- [6] Lee K. et Wood T.J., 1971 : Termites and Soils. Academic Press. New York.
- [7] Rakotomalala Zolimboahangy et al, 2021. « Études des caractéristiques et classification des termitières pour être valorisées et utilisées comme stabilisants des matériaux en terre crue », MADA-HARY, ISSN 2410-0315, vol. 10, 2021, 2021, pp 169 – 182, <http://madarevues.recherches.gov.mg>.
- [8] Rakotomalala Zolimboahangy et al, 2021 « Numérisation et stockage des données sur les caractéristiques des terres rouges de quelques sites de la région Analamanga dans le logiciel QGIS, MADA-HARY, ISSN 2410-0315, vol. 11, 2021, pp 23 – 38, <http://madarevues.recherches.gov.mg>.
- [9] Rakotondrabe J. et al, 2000 : Contribution à la valorisation de " matériau terre "
- [10] Rakotondravaly D., 2003 : Essai de fabrication de briques en terre stabilisée, à base de stabilisants routiers, cas de la latérite de Vontovorona, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Études Approfondies en Science des Matériaux, ESPA, Université d'Antananarivo.
- [11] Robisonarison G. et al, 1990 : Contribution à la valorisation de latérite comme matériaux de construction, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Études Approfondies en Chimie Minérale, ESPA, Université d'Antananarivo.
- [12] Randriana N., 2004 : Contribution à la stabilisation des latérites par élaboration d'un liant oxyde de fer et de silice active, Thèse de Doctorat du IIIème Cycle, ESPA, Université d'Antananarivo.
- [13] Randrianofidina A, 2012 : Les exopolysaccharides des bactéries associées au tube digestif des termites et leurs implications dans le phénomène d'agrégation du sol Memoire de DEA en sciences de la vie - option : biotechnologie- microbiologie, Faculté des Sciences - Université Antananarivo.
- [14] Vincent E., 1996 : Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux ORSTOM, UR 605, Station de Science du Sol, INRA, 78000 Versailles