

Contribution A L'Etude Des Briques De Terre Comprimées Et Stabilisées Par Le Mélange Chaux – Ciment Sur La Satisfaction Des Occupants Dans Les Résidences Modernes Durables Naturellement Ventilées En Zone Tropicale « Cas De L'Ile De Madagascar »

RAHARINIERANA Hantaniaina¹, RAVALINIAINA Kantonieràna Miravo Finaritra Tafitasoa²,
RAMAROSON Jean de Dieu³, ANDRIANARY Philippe Antoine⁴

¹ Mention Sciences de l'Ingénierie et du Métallurgie, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo

² Mention génie civil et aménagement du territoire

³ Département Matériaux et Génie Civil/ Centre de Recherches Industrielle et Technologique

⁴ Mention Génie Chimique, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antananarivo

Auteur correspondant : RAVALINIAINA Kantonieràna Miravo Finaritra Tafitasoa

Courriel : ravaliniaina1510@gmail.com



Résumé – Des nombreux spécialistes ont étudié les latérites mais chacun a sa version, sa compréhension et son interprétation sur leur formation. Dans notre recherche, nous avons effectué la recherche approfondie sur la brique de terre comprimée et stabilisée pour avoir un matériau favorable à la construction des habitats dur avec un confort thermique.

Mots clés – Latérite, Blocs de terre compressée et stabilisée (BTCS), confort thermique.

Abstract – Many specialists have studied laterites, but each has his own version, understanding and interpretation of their formation. In our research, we have carried out in-depth research on compressed and stabilized earth bricks, in order to obtain a material favorable to the construction of hard dwellings with thermal comfort.

Keywords – Laterite, compressed and stabilized earth blocks (BTCS), thermal comfort.

I. INTRODUCTION

L'un de soucis majeurs de la population dans les pays tropicaux comme MADAGASCAR est le réchauffement dans les habitations lié à la grande isolation causé par la destruction de l'environnement et le changement de climat.

Dans le secteur du bâtiment, il est nécessaire d'apporter des solutions pour résoudre ces problèmes.

L'initiative consiste à la construction d'habitats écologiques (moins d'émissions de CO₂), économiques, confortables (bonne régulation thermique, bonne isolation phonique), durable (résistant, pas de fissure dans le mur), répondre à la demande des occupants et surtout apporter des solutions de résilience et d'atténuation face aux effets du changement climatique.

L'objectif est de réaliser des bâtiments avec le système blocs de terre comprimé et stabilisé. Il s'agit à la fois de construire de nouveaux habitats et de réhabiliter les habitats déjà existants.

II. MATERIEL: TERRE

2.1. Localisation de la zone d'étude :

La zone d'étude est située aux environs du campus de Vontovorona ; sur la route qui est près de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Elle fait partie de la commune d'Alakamisy Fenoarivo dans la District Atsimondrano. La carte ci-dessous délimite la zone étudiée.



<p><u>Coordonnées</u></p> <p>Sud : 18° 57' 30,3'' Est : 047° 25' 52,6'' Z = 1283m</p>	<p>Latérite</p>	<p>Issue de l'altération migmatite granitique</p>	
---	-----------------	---	--

2.2. Caractéristiques géotechniques de la latérite de VONTOVORONA :

Les résultats des essais géotechniques de la latérite sont présentés dans le tableau 1

Tableau n°1 : Les différents essais géotechniques

Désignation	Analyse granulométrique	Limite d'Atterberg			Essai PROCTOR		Essai CBR (95% OPM)	
	% en fine (< 0.080mm)	WL	WP	IP	\square dmax (kN/m ³)	Wopt (%)	Indice CBR	Gonflement (%)
Latérite Jaunâtre	60	43,4	26,0	17,4	18,8	17,1	23,0	0,9

Source: LNTPB ANTANANARIVO MADAGASCAR

L'analyse granulométrie de notre terre (% de fine) est égale à 60, cela veut dire qu'elle n'est pas très fine, et pas très serrées donc elle est favorable à la construction des blocs de terre comprimées et stabilisées car il y a une place du liant dans la structure de notre latérite ;

L'indice de plasticité de notre terre est de 17,4 ; c'est la valeur favorable pour avoir une surface lisse de notre produit fini ;

La teneur en eau atteint une valeur de 17,1 ; alors on n'ajoute pas de l'eau de gâchage dans l'opération de blocs de terre comprimées et stabilisées ; donc le prix de briques diminue ;

III. METHODOLOGIE

Pour atteindre nos objectifs, nous avons choisi la méthode de stabilisation, dans notre étude nous avons utilisé le mélange de deux stabilisants classiques chaux - ciment. Dans ce cas, nous avons déterminé les pourcentages du ciment et de la chaux pour avoir un matériau à base de terre dure mais à faible conductivité thermique.

3.1. Pouvoir stabilisant :

La chaux est un excellent stabilisant pour la terre crue et ce mode de stabilisation se prête très bien au procédé de moulage par compression. Néanmoins, avec la chaux, il existe un dosage idéal pour chaque type de terre.

Tout comme pour la teneur en eau, des essais doivent être menés pour trouver à proportion optimale.

Les résistances mécaniques générales s'améliorent significativement avec l'augmentation du potentiel de cations échangeables du calcium apporté par la chaux ainsi qu'au pH élevé maintenu plus longtemps dans le milieu.

Au-delà de la teneur optimale en chaux, on observe une décroissance des résistances avec des concentrations de chaux trop importantes (IZEMOURREN et al 2013).

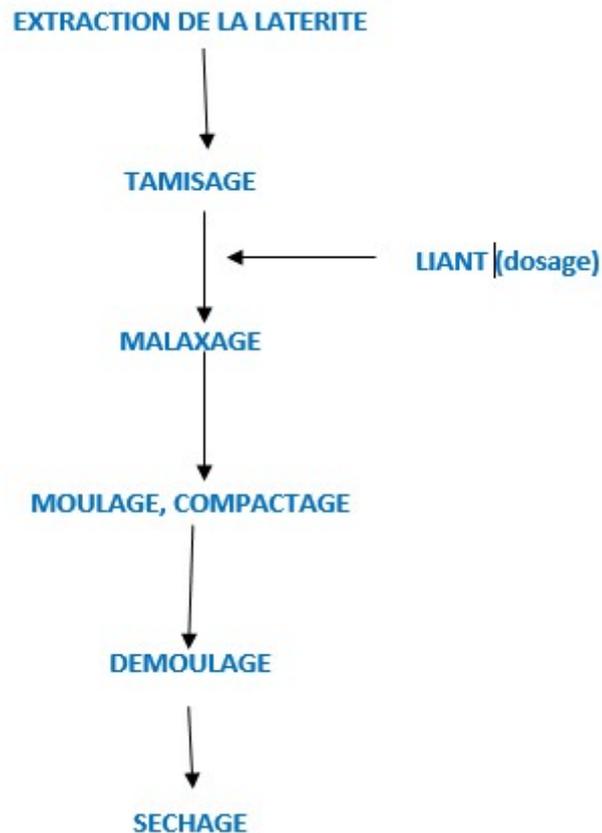
La terre stabilisée par la chaux verra une partie de ses propriétés modifiées. Pour une compression identique, sa masse volumique sèche sera légèrement plus faible, au fait de la floculation, les résistances mécaniques augmenteront, et ce progressivement avec le temps.

Enfin, les variations dimensionnelles seront réduites de l'ajout d'un faible pourcentage de stabilisant, diminuant d'utilisation. Les essais de caractérisation des éprouvettes se font au 14^{ème} et au 28^{ème} jour de séchage. Il est donc indispensable de fabriquer des éprouvettes pour pouvoir passer à ces essais.

Bien sûr, il est évident que les qualités propres à la chaux utilisée rentrent en jeu. On fera notamment attention aux paramètres de pureté, réactivité, finesses des particules, état hydrique, ségrégation des particules.

La détermination des caractéristiques de la terre stabilisée est basée sur l'étude des relations entre la structure et les propriétés des matériaux : La caractérisation des produits finis se fait par les calculs de conductivité thermique et de la résistance à la compression des blocs de terre comprimée.

3.2. Processus de stabilisation :



3.2.1. Principes de mesure des propriétés thermo physique :

Parmi les trois propriétés thermo physiques ; la conductivité thermique est l'une des plus recherchée pour les matériaux de construction ; la technique de mesure de conductivité thermique est la méthode de boîtes. Elle a été mise au point par le laboratoire d'études thermique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA VONTOVORONA ANTANANARIVO).

3.2.2. Principes de mesure des résistances à la compression :

Après le séchage, les éprouvettes subissent les essais à l'écrasement sur la presse hydraulique.

Le principe consiste à positionner les éprouvettes entre les plateaux d'une presse, puis soumettre progressivement à une charge jusqu'à la rupture par compression (écrasement sous charge axiale).

La résistance à la compression est exprimée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{f_{max}}{S}$$

Avec R_c : résistance à la compression (bar) f_{max} : force de compression maximale supportée (daN) ;

S : section de l'éprouvette (cm²).

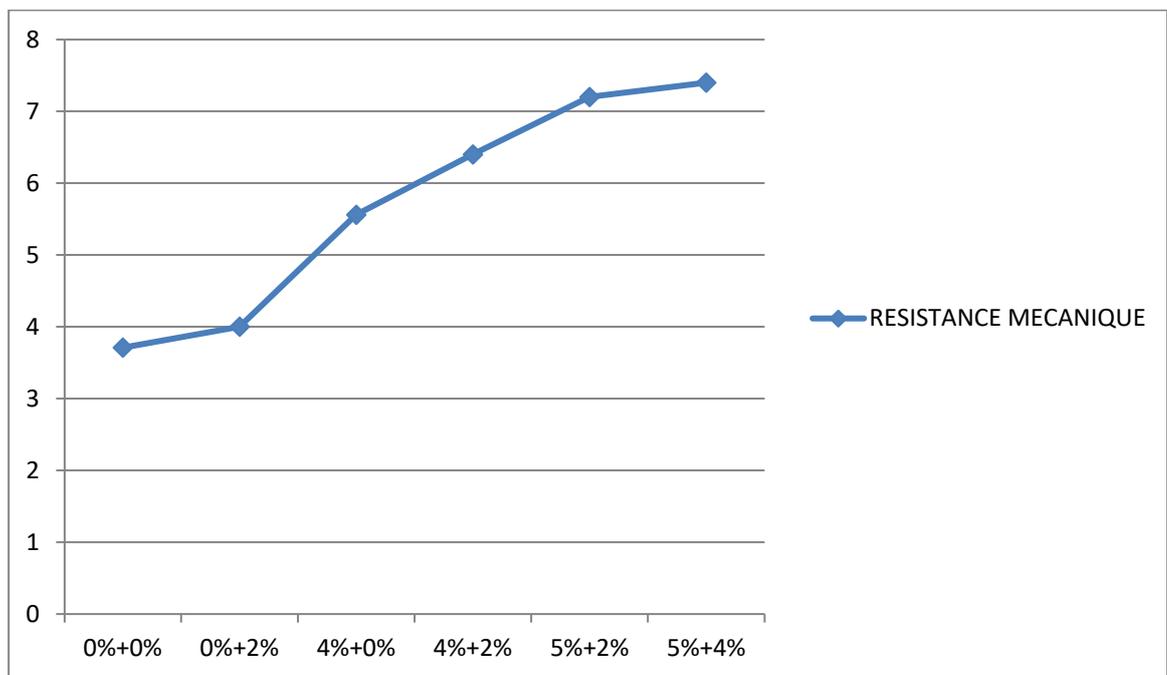
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Influence des teneurs en chaux -ciment sur la résistance à la compression des BTC :

Tableau n°2 : La résistance à la compression du BTC stabilisée au mélange chaux – ciment en pourcentage en masse

Teneurs en chaux- Ciment (% en masse)	0 +0	0+2	4 +0	4+2	5+2	5+4
Résistance à la Compression (MPa)	3,71	4,00	5,56	6,40	7,20	7,40

Courbe n°1 : Résistance à la compression en MPa en fonction de la teneur en chaux-ciment



La courbe n°1 montre qu'on a une augmentation de la compression en fonction de la teneur du mélange de la liante chaux – ciment.

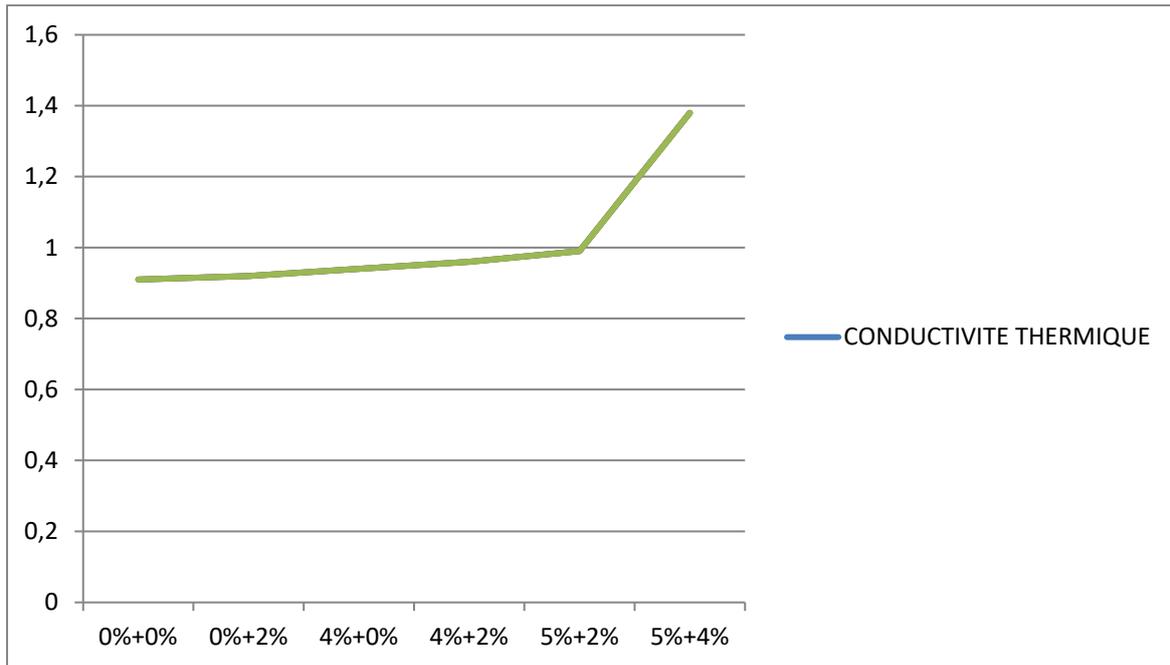
A partir du 5+2% on trouve que presque une droite horizontale c'est dire on a une augmentation lente de compression mécanique.

4.2. Influence de la teneur en chaux-ciment sur la conductivité thermiques des BTC :

Tableau n°3 : La conductivité thermique du BTC stabilisée à la chaux- ciment

Teneur en chaux- ciment (% en masse)	0+0	0+2	4 +0	4+2	5+2	5+4
Conductivité Thermique ($Wm^{-1}K^{-1}$)	0,91	0,92	0,94	0,96	0,99	1,38

Courbe n°2 : Influence de la teneur du mélange Chaux Ciment sur la conductivité thermique du BTC



La courbe n°2 montre que la conductivité thermique varie en fonction de la teneur du mélange chaux -ciment.

On note une faible augmentation de la conductivité entre 0% +0% jusqu'à mélange de 5% de la chaux et 2% du ciment : de 0,91 Wm⁻¹K⁻¹ pour les blocs sans stabilisant, elle passe de 0,99 quand la teneur en mélange de 5% chaux+2% ciment.

Avec la teneur du mélange plus de 5%+2% de ciment, la courbe de conductivité thermique a une pente aiguë ; ce qui explique qu'à partir 5% de la chaux+2% du ciment le bloc de terre n'isole plus.

La conductivité thermique d'un matériau dépend de plusieurs paramètres tels que la nature des éléments constituant le matériau, la teneur en eau, la température et la porosité. Les blocs étant réalisés dans les mêmes conditions et les mesures de la conductivité thermique effectuées en régime stationnaire, la variation de la conductivité pourrait être liée à une variation de la porosité du matériau, à la composition intrinsèque de chaque échantillon et à la cohésion du matériau.

La baisse de la conductivité thermique pourrait être liée à l'augmentation de la quantité des pores ou à l'augmentation du diamètre des pores occasionnée par une mauvaise répartition du ciment.

En effet, on estime que pour cet intervalle la quantité du ciment est insuffisante pour favoriser la mise en place d'une structure homogène.

Dans les conditions de mesure de la conductivité thermique mise en œuvre (régime stationnaire), on estime que le transfert de la chaleur se fait principalement par conduction. Alors les pores représentent donc des gaps au niveau du transfert, une augmentation de leur diamètre ou de leur quantité entraîne le ralentissement du transfert de la chaleur d'où la faible conductivité thermique mesurée. Quant à l'augmentation de la conductivité thermique au-delà de 5% de la chaux+2% de ciment, elle peut être engendrée par une augmentation de la cohésion au niveau des différents constituants du bloc. En effet, l'hydratation du ciment permet la formation de composés (les CSH et portlandite) qui permettent un renforcement des liaisons entre constituant (argile et sable) et favorise donc une diminution de la porosité (soit en quantité soit en taille). Cela a pour conséquence de créer une structure interne continue et homogène. Cette structure va donc être favorable au transfert de la chaleur. Ce qui explique donc l'augmentation de la conductivité thermique.

Il est à remarquer cependant que l'augmentation liée au ciment demeure dans des proportions proches de la conductivité au bloc sans ciment. En effet les résultats obtenus montrent que la mélange de 5% de la chaux et 2% de ciment, la conductivité thermique est de 0,99 Wm⁻¹K⁻¹, valeur très proche de celle obtenue pour les blocs sans ciment (0,91 Wm⁻¹K⁻¹) il faudrait donc

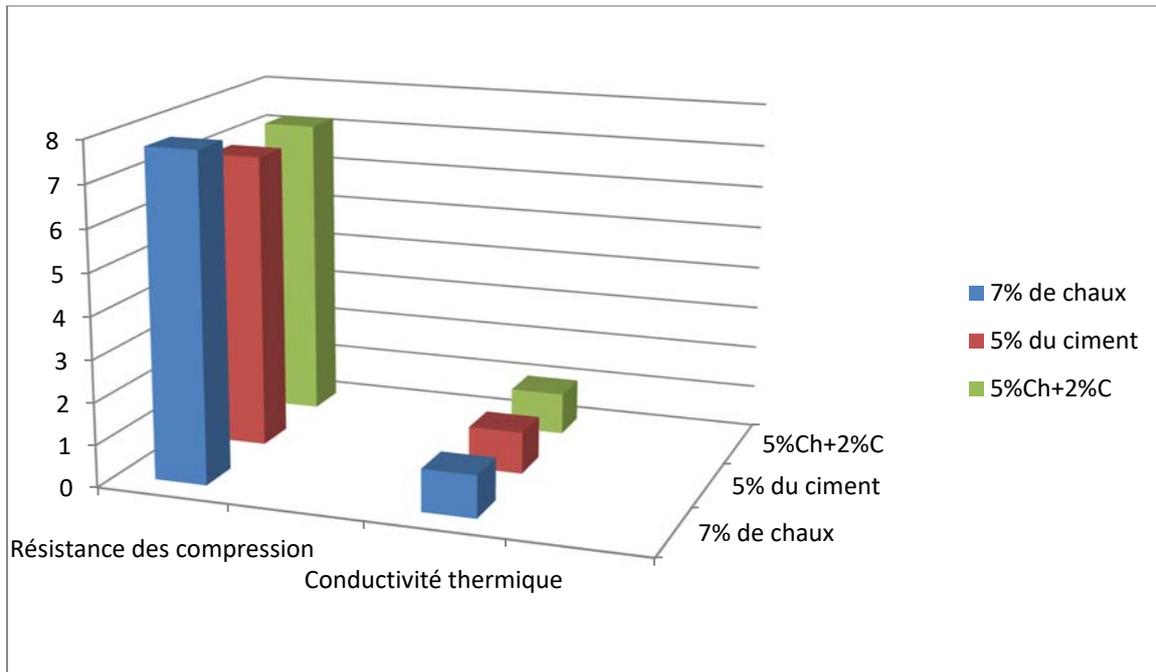
ajouter au – delà de la 5%+4% de ciment pour avoir une conductivité supérieure $1,38Wm^{-1}K^{-1}$ tellement élevée par rapport à celle du bloc sans stabilisant.

L'échantillon avec 5% de chaux +2% % de ciment a une combinaison attrayante de faible conductivité thermique et la capacité de stockage d'énergie plus ou moins élevée. Cela peut conduire à l'efficacité, la réduction des couts de l'énergie en hiver et la climatisation en été.

4.3. Discussions des résultats :

Les discussions concernant les résultats se fait à partir de nos résultats et celles des résultats de RAHARINIERANA Hantaniaina [7].

Courbe n°3 : Comparaison des résultats de la stabilisation au ciment, à la chaux et au mélange chaux ciment



L'étude des propriétés thermomécaniques des blocs de terre rouge stabilisée au ciment de 5% en masse, à la chaux de 7% en masse, mélange de 5% Ch + 2% C sont presque les mêmes et suivent les normes internationales pour les matériaux de constructions dure et isolant thermique, phonique (ces blocs présentent de bonnes résistances et de faibles conductivités thermiques). Ces paramètres varient en fonction de la teneur en ciment. En effet en faible quantité (0 à 2%) de ciment engendre la diminution de la résistance à la compression et de conductivité thermique. Au-delà de 5% on observe une augmentation de ces deux propriétés. La simulation de l'utilisation de ces blocs dans les conditions extrêmes permet de dire qu'il faudrait une teneur minimale en ciment de 2 % pour que les blocs soient conformes à la norme d'utilisation des blocs de terre stabilisée.

Il en est de même pour la conductivité qui augmente à partir de 4% de ciment mais reste toutefois dans des proportions voisines des matériaux sans ciment. Ces valeurs étant relativement faibles, nous pouvons dire que l'apport du ciment tout en améliorant les propriétés physiques et mécaniques n'altère pas les propriétés thermiques. Ce qui constitue donc un avantage pour ces matériaux.

La porosité de notre terre croit lentement, elle est presque stable avec la teneur en ciment lorsque la teneur en eau optimal atteint la valeur de 16% ; ceci explique la stabilité de la conductivité thermique.

Pour avoir un matériau de bloc de terre comprimé stabilisé, dure mécaniquement, isolant thermiquement, favorable en économie et pour l'environnements dans la construction des habitats : on stabilise la terre rouge par le ciment en teneur minimale de 5% en masse ; on a les résultats suivants :

- Résistance à la compression de notre BTC est de 7,20 Mpa ;
- Porosité est environ à 16 %
- Conductivité thermique est de $0,99\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Après les résultats obtenus, notre terre est un bon sol pour la fabrication du BTCS (stabilisées du mélange de la chaux et du ciment en pourcentage en masse) dans la construction de l'habitat économique, confortable thermique et durable dans la zone tropicale sec ou humide.

Il est important de permettre à toutes les collectivités territoriales ainsi qu'aux particuliers de choisir de construire selon le système BTCS. Les habitats en bloc de terre comprimés stabilisés en ciment de quelque pourcentage en masse ont beaucoup d'avantages : économiques, facile à produire, durable, confort au niveau thermique, moderne par rapport au « tranofalafa », « tranoritsoka », « trano feta ... ».

D'après les résultats obtenus (résistance de compression et la conductivité thermique) des BTC stabilisés à la combinaison de deux liant courante chaux - ciment, la terre crue stabilisée à 5% de chaux et 2% en ciment en masse est intéressante pour la fabrication des habitats moderne ; durable ; et pour un confort thermique dans notre pays. Dans ce cas ; c'est à dire notre terre stabilisée à 15% + 2% (5% chaux et 2% ciment) en masse est favorable (faible conductivité thermique et forte résistance à la compression) pour la construction des habitats dans la zone tropicale comme MADAGASCAR.

Aussi, la durée du séchage de notre BTC stabilisée au mélange de la chaux-ciment est réduit par rapport à celui de la chaux.

Et le dégagement du gaz carbonique est très faible par rapport à celui du matériau stabilisé au ciment.

La terre matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis de milliers d'années. Souvenez-vous de la grande muraille de Chine, des pyramides aztèques ou encore des Casbahs marocains. Sa transformation en matière pour l'habitat ne nécessite que peu d'énergie et sa disponibilité quasi immédiate, lui confère encore aujourd'hui un succès incontestable. Elles sont facilement recyclables et transformables en matériau de construction. De ce fait, il est indubitable que les briques en blocs de terre comprimée participent au développement durable d'un pays sous développé comme MADAGASCAR

V. CONCLUSION

Notre travail consiste à déterminer un matériau de construction des habitats dans la zone tropicale comme notre île MADAGASCAR. Les résultats obtenus permettent de conclure que les briques de terre stabilisées du mélange chaux- ciment à 5+2% en masse peuvent être utilisées comme matériau de construction des bâtiments dans les régions à climat tropical, à cause de leur durabilité fortement élevée et la conductivité thermique faible.

Nos résultats montrent que les BTC stabilisées au mélange de deux stabilisants très connus chaux ciment sont des matériaux économiques, le temps de séchage est réduit par rapport au stabilisé à la chaux, le dégagement de l'émission de CO₂ est réduit par rapport au matériau stabilisé au ciment donc l'impact environnemental est limité.

La brique de terre stabilisée présente la plus faible humidité relative donc la plus faible teneur en eau. Ce matériau a un meilleur comportement hygroscopique comme enveloppe de bâtiment. Les propriétés thermodynamiques et mécaniques devront être prises en compte pour le choix définitif qui devrait être un compromis entre la nécessité de réduire le cout de la climatisation ; la durabilité et le cout de l'enveloppe du bâtiment. Donc cette étude permet de sensibiliser tous les gens habités dans les régions tropicaux, de fabriquer la maison à partir des matériaux locaux c'est la brique de terre stabilisée ou bien à la chaux, ou bien au ciment, matériau facile à fabriquer, à moindre cout, protège l'environnement, ayant une propriété mécanique dure et faible conductivité thermique donc c'est un matériau isolant favorable pour avoir une maison confortable thermiquement qui est l'objectif principal de notre étude.

REFERENCES

- [1] COSTET Jean ; SANGERAT Guy « Cours pratique de mécanique des sols « PARIS / BORDAS 1983.
- [2] MIRINDRA Ingénierie Conseil et Service « Construire en Terre ».

- [3] AUTERT.P, latérites et graveleux latéritiques ISTED 1983.
- [4] RANAIVONIARIVO Velomanantsoa Gabriely « Contribution à l'étude des liants ESPA/ INSA Lyon.
- [5] KHAY (2012) « Etude physico- chimiques des interfaces chaux / argile (UNIVERSITE de LIMOGES : 135p).
- [6] www.graymont.com / Fr/ marches : matériaux de construction (juin 2019).
- [7] RAHARINIERANA Hantaniaina « Contribution des briques de terre comprimées et stabilisées de la chaux et du ciment », thèse de doctorat en 2021, ESPA.