

Les bétons de terre renforcés de fibres de paille et de palmier dattier: un matériau écologique et durable

Benzerara Mohammed¹

Belouettar Redjem²,

Saadi Imene¹

¹Laboratoire Matériaux, Géomatériaux et Environnement, Université Badji Mokhtar- Bp 12 Annaba, Algérie

²Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar- Bp 12 Annaba, Algérie

Résumé :

La terre est un matériau de construction millénaire. C'est l'un des matériaux le plus utilisé à travers le monde sous forme de briques de terre crue, en pisé, etc. Des efforts ont été orientés vers le développement de nouvelles méthodes de construction en utilisant des matériaux locaux conçus dans cette optique - les éco-matériaux - vont devoir, à terme, remplacer les matériaux usuels afin d'apporter une réponse adéquate aux crises de logement. L'utilisation des fibres naturelles et en particulier les fibres végétales comme renfort du matériau terre présente plusieurs avantages.

Cet article consiste à étudier les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques des matériaux utilisés. L'élaboration de nos bétons de terre consiste dans la première série à faire varier le pourcentage de sable dans la terre (de 10 à 18%), dans la deuxième série, on ajoute deux fibres différentes (paille, palmier dattier) avec des différents pourcentages (2, 4 et 6%). Les résultats obtenus montrent que le stabilisant et les renforts confèrent au béton de terre une bonne ductilité et plus de résistance dépassant ceux de certains matériaux visés de la maçonnerie.

Mots clés : éco matériaux, béton de terre, environnement, ductilité

1. INTRODUCTION

La terre, matière première naturelle, est utilisée par l'homme dans la construction depuis des milliers d'années. Souvenez-vous de la grande muraille de Chine, des pyramides aztèques ou encore des casbahs marocaines. Sa transformation en matériau pour l'habitat ne nécessitant que peu d'énergie et sa disponibilité quasi immédiate, lui confèrent encore aujourd'hui un succès incontestable.

La terre a toujours été utilisée pour bâtir sur notre planète, car elle est présente partout et directement sur le lieu de construction. On estime que 30% des habitations dans le monde sont construites à base de terre [1].

Stabiliser la terre c'est modifier les propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière : meilleures caractéristiques mécaniques (augmenter la résistance de traction, de compression et de cisaillement), une meilleure cohésion, réduire la porosité et les variations de volume (gonflement-retrait à l'eau) ainsi améliorer la résistance à l'érosion du vent et de la pluie : réduire l'abrasion de surface et imperméabiliser [2].

L'utilisation des fibres naturelles, et en particulier les fibres végétales comme renfort du matériau terre présente plusieurs avantages : ces fibres sont largement disponibles à faible coût, et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ et demandent peu d'énergie pour être produites [3].

2 . MATERIAUX UTILISES ET ESSAIS

1. analyse des matériaux utilisés

Dans cette étude, on utilise une terre argilo-sableuse de la région de Souk-Ahras la figure1 montre son analyse granulométrique. L'analyse granulométrique par tamisage selon la norme [NF P 18-560] est représentée par la courbe suivante

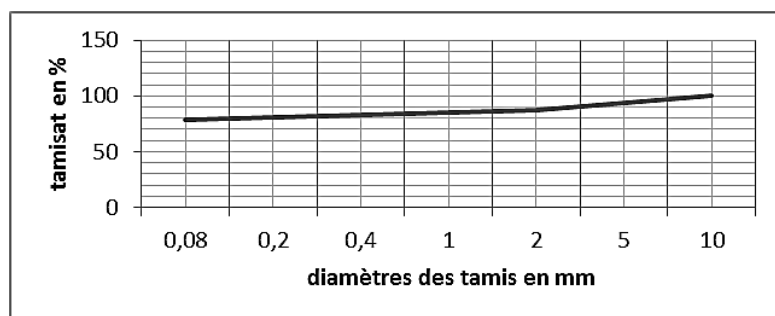


Figure 1 : Courbe granulométrique de la terre.

Le sable concassé utilisé dans cette étude a été préparé dans le laboratoire de Matériaux du département de Génie Civil de l'université d'Annaba. Ce gravier provient de la carrière de Ben-Azzouz dans la région d'Annaba. Les principales caractéristiques physiques de Sable concassé sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques de sable concassé utilisé.

Caractéristiques	Unité	Valeur
Masse volumique apparente [NF EN 1097-3]	kg/m ³	1375
Masse volumique absolue[NF EN 1097-3]	kg/m ³	2586
La porosité	%	46.82
Equivalent de sable (ES)[P 18-597]	%	96
Module de finesse (MF)[XP P 18-540]	-	3.97
d/D	mm	0/5

Nous avons constaté que la valeur moyenne de ES montre que le sable est très propre (ES > 85). Il y'a donc absence presque totale des fines argileuses. La courbe granulométrique du sable est étalée ce qui explique que les granulats sont pauvres en éléments fins. : le sable utilisé est un sable gros ($1.25 > d < 5$).

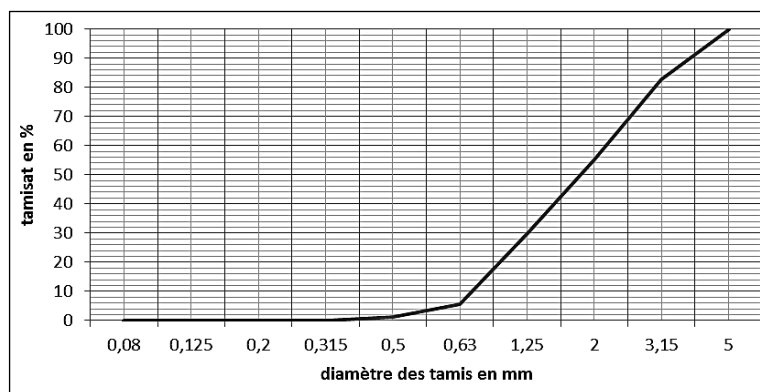


Figure 2 : Courbe granulométrique de gravier concassé.

2. Les fibres naturelles

Pour la confection de nos bétons, nous avons utilisé des fibres végétales qui sont : fibre de paille de la région d'Annaba et des fibres de palmier dattier de la région de Biskra, dont les caractéristiques physiques sont indiquées au tableau 2.

3. Caractéristiques physiques des fibres de palmier dattier et de paille

Tableau 2 : Caractéristiques physiques des fibres utilisées.

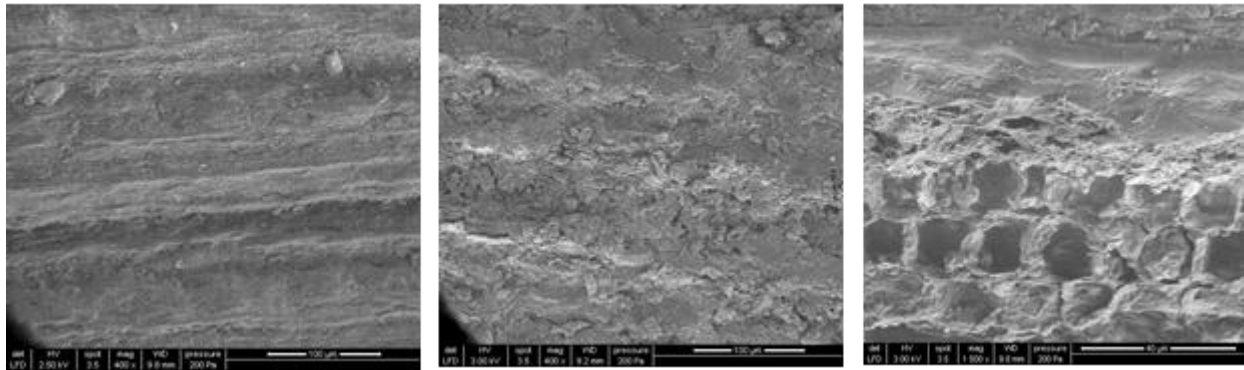
Caractéristiques	Unité	Fibres de palmier dattier		Fibres de paille
Masse volumique apparente	kg/m ³	352		215
Absorption d'eau	%	146		422
diamètre	mm	1 – 2		1 – 4
Longueur		mm	10 - 40	10- 50

Nous avons constaté que l'absorption d'eau des fibres de palmier dattier est inférieure à celle de la fibre de paille, par contre les fibres des palmiers dattier ont une masse volumique apparente supérieure que celle des fibres de paille (figure 3).



Figure 3: fibres de palmier dattier et de paille.

Dans un but d'observation des surfaces des fibres utilisées ont été élaborées une analyse de vue au microscope électronique à balayage (MEB) (figures 4). Ces dernières sont de surface rugueuse ce qui permet de créer une très bonne liaison entre fibres et terre et peut donner des résistances élevées à l'arrachement (pull out) [4].



Figures 4: micro structure d'une fibre de palmier dattier.

3. CHOIX DES COMPOSITIONS DES MELANGES REALISEES

La préparation des mélanges a été réalisé manuellement par la vois rustique dans le laboratoire.

On a pris une quantité d'une terre tuf et on a variée le pourcentage de gravier concassé, et le pourcentage de différentes fibres.

On a réalisé quatre types de mélange :

- Mélanges sans fibres : sans et avec de gravier concassé.
- Mélanges avec fibres de palmier dattier : sans et avec de gravier concassé.
- Mélanges avec fibres de paille : sans et avec de gravier concassé.

1. Eau de gâchage

Les conditions imposées à l'eau de gâchage sont précisées par la norme FP18-303. Cette eau doit être propre et sans matières organiques.

L'eau utilisée pour notre étude est l'eau potable de robinet de la ville d'Annaba.

2. Détermination de la teneur en eau

Pour déterminer la teneur en eau des sols, l'essai qui a priori, semblait le plus approprié était l'essai Proctor normal et/ou modifié. Mais cet essai s'est avéré peu utilisable et non représentatif des conditions de fabrication des briques compressées. En effet, d'une part, il est à peu près impossible de fabriquer des éprouvettes à partir du moule Proctor, mais surtout, il semble ne pas exister de relation entre 1'« énergie Proctor » et la force de compression.[5, 6]

Pour cela les matières premières dosées en quantité nécessaire sont homogénéisées à sec pendant 3min pour obtenir un mélange le plus homogène possible avec une bonne répartition des particules dans le volume de l'éprouvette. Puis malaxé pendant 2mm.

Les éprouvettes utilisées dans cette étude sont de forme cylindrique, de dimensions (11×13) cm. Les éprouvettes, après la mise en œuvre, subissent une contrainte de compression de 5 KN et une vitesse de compactage de 0.02 mm/s.



Figures 5 : Essai de compactage statique pour déterminer de la teneur en eau.

D'après les résultats obtenus de la densité sèche des échantillons de la terre et celles renforcées par les fibres de palmier dattier et de paille, nous avons remarqué que la teneur en eau optimale pour les mélanges est variable entre 17% et 19%, Alors nous avons fixé la teneur en eau optimal à 18% pour tous les mélanges.

3. Formulation des bétons de terre utilisée

Les bétons préparés contiennent 2000 gr de terre et une teneur en sable concassé variable entre 0 à 18 % avec un dosage en eau de 360 ml. Les compositions des mélanges réalisées avec les fibres de palmier dattier sont données dans le tableau ci-dessous

Tableau 3 : compositions des mélanges utilisés : terre + fibres de palmier dattier

Mélanges	Terre	Fibre	Eau en ml
100% terre + 2% de fibre de palmier dattier	1960 (98%)	40 (2%)	360
100% terre + 4% de fibre de palmier dattier	1920 (96%)	80 (4%)	
100% terre + 6% de fibre de palmier dattier	1880 (94%)	120 (6%)	

Tableau 4: compositions des mélanges utilisés : terre + fibres de palmier dattier +sable.

Mélanges	Composition en g			Eau en ml
	Terre	Fibre	Gravier concassé	
Terre + 12% de gravier concassé + 2% de fibre de palmier dattier	1720 (86%)	40 (2%)	240 (12%)	360
Terre + 12% de gravier concassé + 4% de fibre de palmier dattier	1680 (86%)	80 (4%)	240 (12%)	
Terre + 12% de gravier concassé + 6% de fibre de palmier dattier	1640 (84%)	120 (6%)	240 (12%)	

4. Cure et conservation des éprouvettes

Les éprouvettes sont démoulées juste après leurs fabrications. Elles sont conservées dans une étuve (figure 7) à une température de 40 ± 1 °C. Les éprouvettes sont séchées jusqu'à une masse constante (pendant 15 jours).

Pour chaque mélange 3 éprouvettes ont été réalisées et testées : en traction par flexion et en compression simple

4- RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- Comportement mécanique du béton de terre

2- Influence de pourcentage de sable sur le comportement mécanique du béton de terre

L'augmentation de la teneur en sable dans la composition du béton de terre induit une croissance des contraintes de flexion et de compression et ce jusqu'à 12 % de sable (figure 6). Au-delà de cette valeur, on observe une chute des contraintes

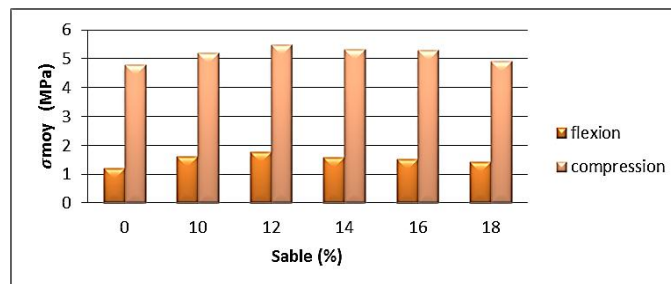


Figure 6 : Contraintes moyennes de compression et flexion des éprouvettes des compositions contenant de 10 à 18 % de sable.

3. Influence du taux de fibres (palmier dattier et paille) sur le comportement mécanique de béton de terre

4. Influence du pourcentage de fibres sur les résistances mécaniques en flexion

Dans cette série d'essais nous avons introduit des teneurs en fibres de palmier dattier et de paille dans le but de renforcer la terre.

A partir de 0% de fibre, on observe une augmentation des contraintes de flexion pour les éprouvettes contenant de la terre + fibres (palmier dattier, paille). Cette augmentation des contraintes de flexion est due au rôle joué par les fibres (comme une armature reprenant les efforts de traction et à la bonne liaison entre la terre et les fibres). A partir de 2% de fibres les contraintes diminuent, à cause de l'adhérence entre fibres et pâte de terre qui devient faible (augmentation du nombre de fibres).

Les résistances en flexion des éprouvettes contenant (terre + 12% de sable et fibres (palmier dattier, paille)) diminuent quand on ajoute des fibres à cause d'une faible adhérence entre pâte (argile)-sable-fibres et la pâte devienne insuffisante pour coller les différentes constitutions. Figures 9

Ces chutes des contraintes à la flexion variant dans de larges limites.

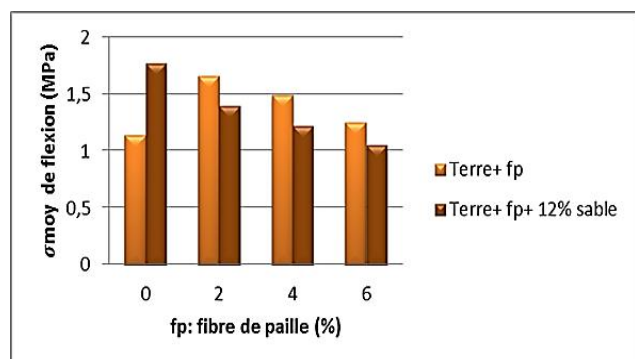
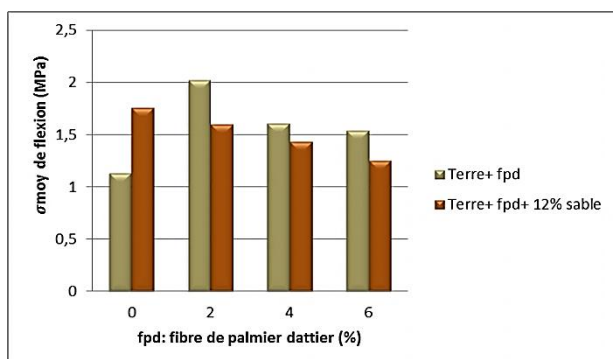


Figure 9 : Évolution des contraintes de flexion des éprouvettes de composition contenant de 0 à 6 % de fibres

5. Influence du pourcentage de fibres sur les résistances mécaniques en compression

Les essais effectués sur des compositions contenant des fibres (palmier dattier, paille) ont permis de faire les remarques suivantes :

L'augmentation du taux de fibres dans la brique de terre influe négativement sur les contraintes de compression. Il apparaît clairement que l'incorporation de fibres dans le béton de terre n'améliore pas la résistance à la compression. Cette chute des contraintes est due probablement à deux causes :

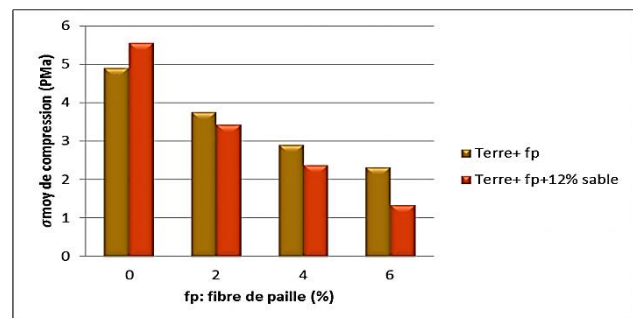
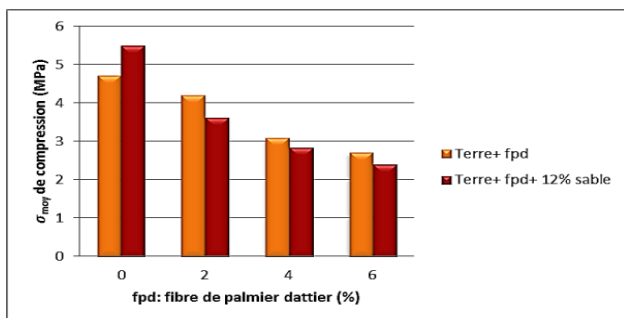
- Le dosage excessif en fibres peut engendrer une très mauvaise maniabilité tout en entraînant une formation d'oursins.
- Les fibres ne travaillent efficacement que pendant l'effort de traction lorsqu'elles relient les lèvres de petites fissures en empêchant leur extension. Lors de l'écrasement de la matrice sous les efforts de compression, les contraintes locales sont très élevées pour pouvoir être reprises par les fibres.

Ces deux phénomènes tendent plutôt alors à limiter et à diminuer la résistance du béton à la compression.

Cela peut être due aussi à la liaison fibre- pâte de terre, (figure 10) On observe plutôt un comportement ductile du matériau contenant un taux de fibres élevé.

Le taux et l'hétérogénéité de la répartition des fibres dans la masse de la terre influent largement sur le comportement du matériau en flexion et en compression.

Comme le montre la figure 10, l'augmentation du taux de fibres dans la brique de terre influe négativement sur les contraintes de compression. Il apparaît clairement que l'incorporation de fibres dans le béton de terre n'améliore pas la résistance à la compression.



Figures 10 : Évolution des contraintes de compression des éprouvettes de composition contenant de 0 à 6 % de fibres de palmier dattier et de fibres de paille.

D'après les résultats précédents, on constate que les résistances du béton de terre renforcée de fibres de palmier dattier sont meilleures à celles du béton renforcé de fibres de paille. Cette supériorité est due à une bonne adhérence entre la pâte et la fibre de palmier dattier à cause de la surface rugueuse des fibres de palmier comme le montrent les images au MEB (figure 4), alors que la surface des fibres de paille est lisse.

5. CONCLUSION GENERALE

-Les matériaux à base de terre possèdent des propriétés remarquables par rapport à beaucoup d'autres matériaux. Ils peuvent être utilisés dans les différentes constructions. Les moyens de renforcement de ces matériaux sont divers dans un but d'améliorer leurs propriétés mécaniques, leur ductilité et leur durabilité

-Cette étude a permis d'utiliser des matériaux locaux, d'étudier l'influence de certains paramètres (sable et fibre de palmier dattier) sur les caractéristiques du béton de terre.

-A partir de cette recherche expérimentale, les conclusions principales suivantes peuvent être tirées :

-Le pourcentage de sable ajouté influe sur les résistances mécaniques du béton de terre. Ces contraintes augmentent jusqu'à un taux de 12% ensuite on remarque des chutes de résistances.

- L'incorporation des fibres dans les bétons de terre est bénéfique pour l'amélioration de la ductilité de ces matériaux. Les résultats obtenus montrent que l'ajout de fibres influe sur les résistances mécaniques de ces bétons

-L'ajout des fibres de palmier dattier dans les briques de terre augmente la résistance en flexion au dosage de 2%. Les bétons de terre renforcé de fibre de palmier dattier ont des bonnes résistances comparable aux des bétons de terre renforcé de fibres de paille. Ceci est dû essentiellement à l'état de surface des fibres comme le montrent les figures vues au MEB. Au-delà de cette valeur, cette résistance diminue, alors que la résistance en compression diminue aussi.

6. Bibliographie

[1] CHAIB, H. *Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-mécaniques des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale Locale. (Cas de la ville d'Ouargla)* » Thèse de doctorat, université de Ouargla, 2017.

[2] BAHAR R., BENAZZOUG M., KENAI S. *Durabilité du matériau terre stabilisée*. NVACO2: Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011.

[3] BOUTARFA M., BELOUATTAR R. *Elaboration des mortiers renforcés par des fibres naturelles : cas d'alpha*. MLDC: Séminaire national, LES MATERIAUX LOCAUX DANS LA CONSTRUCTION, Ouargla – Algérie / 20-21 Février 2013.

[4] BELOUATTAR R. *Essais d'observation et d'analyse de vue au microscope électronique à balayage (MEB) sur des fibres végétales*. Rapport de recherche, Institut des sciences et technologie Luxembourg, université d'Annaba, 2016.

[5] OLIVIER, M. ET MESBAH A., *Le matériau terre : Essai de compactage statique pour la fabrication de briques de terre compressées*, Bull. liaison Labo. P. et Ch. 146 1986.

[6] MESBAH, A., MOREL, J.C. ET OLIVIER, M. *Méthodologie d'essais de laboratoire pour permettre l'utilisation de matériaux locaux en géotechnique routière*. Séminaire international sur les pistes rurales, Rabat, 22-23 sept 1997.