

## **Caractéristiques mécaniques de bloc de terre comprimée (BTC) stabilisée par la gomme arabique**

**Abakar ALI<sup>1,2\*</sup>, Jean - Louis TANGUIER<sup>1</sup>, Riad BENELMIR<sup>1</sup> et Abdoulaye Saleh TODJIBAL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Université de Lorraine, Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur le Matériau Bois (LERMAB),  
54500 Vandœuvre-Lès-Nancy, France*

<sup>2</sup> *Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP), PB 104, Ndjamena, Tchad*

---

\* Correspondance, courriel : [koudouri@yahoo.fr](mailto:koudouri@yahoo.fr)

### **Résumé**

Ce travail porte sur la valorisation de matériaux locaux disponibles au Tchad sans effet négatif sur l'environnement. Il concerne la détermination des caractéristiques Mécaniques de Blocs de Terre Comprimée (BTC). La gomme arabique est utilisée comme stabilisant de nos formulations en remplacement du ciment ou de la chaux. Les résultats des essais à la compression donnent des valeurs de 2,4 MPa pour les BTC stabilisés avec de la gomme arabique alors qu'ils ne sont que de 0,3 MPa sans stabilisant. Ces valeurs sont tout à fait compatibles avec celles recommandées dans le secteur de la construction. Des essais complémentaires de durabilité permettent, en exposant les BTC à des cycles pluie-séchage pendant un mois, de démontrer leur bonne tenue à l'eau lorsqu'elles sont stabilisées à la gomme arabique, si toutefois elles ne demeurent pas immergées.

**Mots-clés :** *BTC, gomme arabique, résistance à la compression, durabilité.*

### **Abstract**

**Measurement of the mechanical characteristics of compressed clay blocks stabilized by gum arabic**

This work focuses on the valorization of local materials available in Chad without any negative effect on the environment. It concerns the determination of the mechanical characteristics of Compressed Clay Blocks (BCC). Gum Arabic is used as a stabilizer of our formulations to replace cement or lime. The results of compression tests give values of 2.4 MPa for BTC stabilized with gum Arabic while they are only 0.3 MPa without stabilizer. These values are fully compatible with those recommended in the construction sector. Additional durability tests allow, by exposing BTCs to rain-drying cycles for one month, to demonstrate their good resistance to water when they are stabilized with gum Arabic, if however they do not remain immersed.

**Keywords :** *BTC, Arabic gum, compressive strength, durability.*

### **Nomenclature**

Symboles	Désignations	Unités
A	Argile	-
BTC	Bloc de terre stabilisée	-
E	Module de Young	MPa
Fr	Force de rupture en compression	N
GA	Gomme arabique	-
Ip	Indice de plasticité	%
L	Distance entre appui	m
P	Paille de riz	-
S	Sable	-
Se	Section de l'éprouvette	m <sup>2</sup>
W	Teneur en eau	%
WL	Limite de liquidité	%
WP	Limite de plasticité	%
b	Largeur de l'éprouvette	m
e	Indice de vide	%
h	Hauteur de l'éprouvette	m
n	Porosité	%
ε	Déformation à la rupture	%
σ <sub>c</sub>	Résistance à la compression	MPa
σ <sub>t</sub>	Résistance en traction	MPa
ρ <sub>app</sub>	Masse volumique apparente	Kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>réelle</sub>	Masse volumique réelle	Kg/m <sup>3</sup>

## **1. Introduction**

La terre est l'un des plus anciens matériaux de construction de la planète et de nos jours un tiers de la population mondiale vit dans des constructions en terre [1]. Le matériau est disponible quasiment partout mais le manque des normes internationales constitue un handicap pour son industrialisation [2]. De plus, le savoir faire ancestral tend à s'estomper au profit des ouvrages à base de ciment. Le Tchad doit faire face à des besoins croissants en matière de logement du fait de la croissance démographique et de l'exode rural. Cela représente un véritable enjeu, tant du point de vue socio-économique qu'environnemental. Pour construire des nouveaux édifices, la partie superficielle du sol est décapée et mise en décharge pour éviter les problèmes structurels sur les infrastructures. La valorisation de cette argile fait l'objet du présent travail en tant que matériau de construction local, durable, disponible et sans effet négatif sur l'environnement. De plus, sa mise en œuvre s'associe à une faible énergie grise et une forte inertie thermique qui est synonyme de confort dans l'habitat. Mais les produits à base de terre crue possèdent une faible résistance mécanique par rapport aux autres matériaux de construction et une forte sensibilité à l'eau. Pour améliorer ces propriétés, il est nécessaire de stabiliser l'argile. A cet effet, des liants minéraux (ciment, chaux) ou du bitume sont utilisés. Ces produits sont à forte teneur en énergie grise et sont polluants. Dans un précédent article [3] nous avons démontré que la gomme arabique permettait de stabiliser l'argile de Ndjamen. Sur des éprouvettes cylindriques, la résistance mécanique à la compression passe de 0,9 MPa pour l'argile seule à 1,8 MPa pour une stabilisation avec 7 % de gomme arabique. Pour augmenter la résistance mécanique, nous proposons un compactage initial en fabriquant des blocs de terre comprimée (BTC). Le compactage s'effectue à l'aide d'une presse manuelle qui permet d'appliquer une charge de l'ordre de 10 tonnes (2,1 MPa) sur la formulation et de produire des briques de dimension 30 x 15 x 8 cm. Nous avons également produit des éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm par extrusion avec une charge de compactage de 6,1 MPa. Ces mesures de résistance à la compression sont complétées par des tests de durabilité vis-à-vis de l'eau. L'objectif global de ce travail est de démontrer que les BTC peuvent être utilisées comme matériau de construction résistant et durable.

## 2. Synthèse bibliographique

### 2-1. Les blocs de terre comprimée (BTC)

C'est la nouvelle version de l'adobe. Développée dans les années 1950 en Colombie, cette technique remplace le moulage à la main par une compression mécanique de la terre ayant une faible teneur en eau. Les briques BTC ont alors une forme régulière, stable et possédant une résistance en compression accrue ainsi qu'à l'eau [4]. La résistance des blocs ainsi obtenus est influencée par des paramètres tels que la teneur en eau initiale, la force de compactage, la granulométrie du mélange et le type de stabilisant.

### 2-2. Influence de la teneur en eau

La teneur en eau a une grande influence sur le compactage des matériaux à base de terre. Presque tous les sols présentent un comportement similaire entre la teneur en eau et la densité sèche quand ils sont soumis à une contrainte de compactage donnée [5]. Un sol trop sec manque de cohésion entre les grains et le compactage n'est pas efficace. Un sol trop humide, par contre ne donne pas une densité satisfaisante après compactage (*Figure 1*), car une partie importante de l'énergie de compactage est amortie par l'eau et n'est donc pas communiquée aux grains.

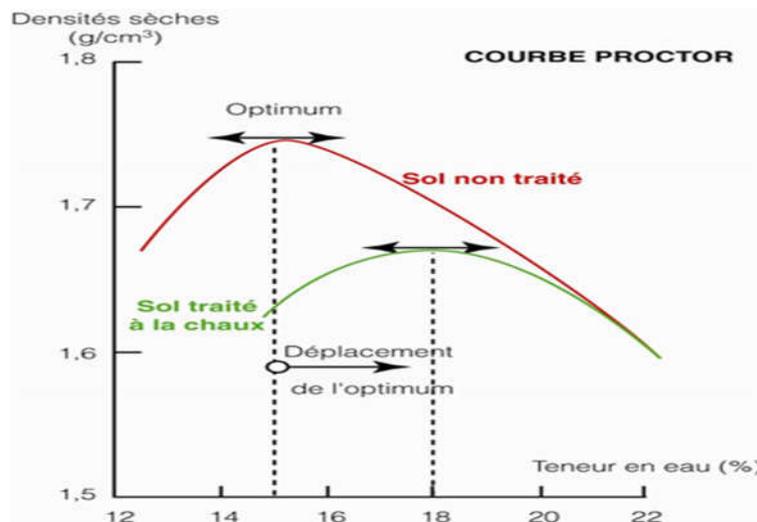


Figure 1 : Exemple de courbe Proctor

Pour chercher une densité suffisante, il faut déterminer la teneur en eau optimale (TEO). Elle est déterminée en laboratoire par l'essai Proctor qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche optimale d'un sol granulaire par compactage à une énergie fixée. Les études de [6], montrent qu'un compactage statique est mieux adapté aux sols argileux.

### 2-3. Influence de l'énergie de compactage

Plus l'énergie de compactage est importante, plus les grains se resserrent, la teneur en eau optimale (TEO) diminue et la densité sèche augmente [5, 7, 8]. Une énergie de compactage très importante peut produire un effet nuisible sur la qualité du matériau. Les travaux de [9] montrent que l'augmentation d'énergie de compactage a une grande influence sur la résistance à la compression du BTC stabilisé au ciment. Les travaux de [10], montrent que les résistances mécaniques augmentent avec l'augmentation de la contrainte de compactage jusqu'à un optimum de 17 MPa. Mais au-delà de cette valeur il y a une chute de la résistance de l'ordre de 7 % pour une contrainte de compactage de 20 MPa.

## 2-4. Influence de la granularité du sol

Une combinaison des matériaux fins et grenus donne une densité élevée après compactage par rapport à un sol exclusivement fin [5, 11]. Selon [12], les résistances à la compression des matériaux secs et humides augmentent en fonction du taux de sable dans le mélange. A titre d'exemple, pour 30 % de teneur en sable, la résistance à l'état sec et à l'état humide augmente successivement de l'ordre de 24 % et 28 %.

## 2-5. Stabilisants minéraux

Un sol stabilisé par du ciment voit sa résistance à la compression nettement augmenter [13, 14]. [15], ont trouvé que la résistance à la compression et à la traction par fendage augmente avec l'augmentation de la teneur en ciment. [13] a déterminé la résistance du sol avec différentes teneurs en ciment, il a constaté que la résistance à la compression augmente avec la teneur en ciment. La chaux donne également des résultats satisfaisants sur la résistance en compression [7, 16] Pour le loam argileux, une teneur en chaux de 2 % donne une résistance à la compression à 7 jours d'environ 0,7 MPa alors qu'elle passe à 1,2 MPa avec une teneur de 4 %.

## 3. Matériel et méthodes

Après identification des différents composants, nous avons élaboré différentes formulations avec des mélanges d'argile, de sable et de gomme arabique avec un compactage statique. Les éprouvettes seront testées en compression et exposées à la pluie pour estimer leur durabilité.

### 3-1. L'Argile [38]

Les différentes grandeurs physiques et géotechniques de l'argile de Ndjamenia sont présentées dans l'article de [3] et les résultats sont donnés dans *le Tableau 1*. Tous ces paramètres physiques ont contribué à la classification de l'argile de Ndjamenia, qui est de type « Argile peu plastique » [3].

**Tableau 1 : Caractéristiques physiques de l'argile de Ndjamenia [3]**

Essais	Symboles	Unités	Valeurs
Masse volumique à sec	$\rho_d$	kg.m <sup>-3</sup>	1,54.10 <sup>3</sup>
Masse spécifique	$\rho_s$	kg.m <sup>-3</sup>	2,45.10 <sup>3</sup>
Teneur en eau naturelle	W	%	11,12
Porosité	n	%	37
Indice de vides	e	%	59
Limite de liquidité	W <sub>L</sub>	%	44
Limite de plasticité	W <sub>P</sub>	%	22,1
Indice de plasticité	I <sub>p</sub>	%	21,9

### 3-2. Le sable

Le sable utilisé pour ces travaux de recherche, provient de la carrière de Ndjamenia. Sa courbe granulométrique par tamisage est déterminée grâce à la norme NF P 94-056 [17]. Les résultats sont donnés sur *la Figure 2*. Les masses volumiques des particules solides et apparentes sont déterminées selon les normes [18, 19]. Les différents résultats sont présentés dans *le Tableau 2*.

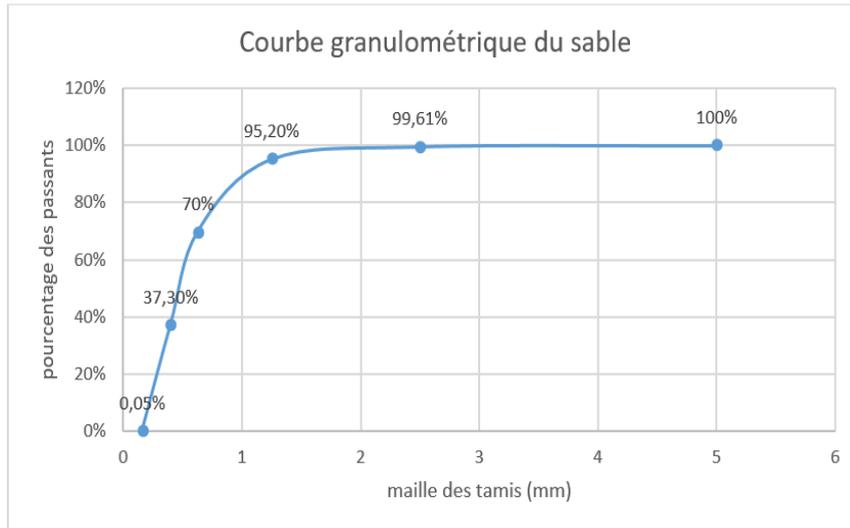


Figure 2 : Courbe granulométrique du sable

Tableau 2 : Caractéristiques physiques du sable

$\rho_{app}$ ( $kg/m^3$ )	$\rho_{relle}$ ( $kg/m^3$ )	Distribution de la taille des grains					
		0,16 mm	0,4 mm	0,63 mm	1,25 mm	2,50 mm	5 mm
1500	2700	0,35 %	12,55 %	32,6 %	88,2 %	99,6 %	100 %

### 3-3. La gomme arabique

Selon le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le secteur du bâtiment est le secteur le plus gros consommateur d'énergie [20]. En plus des charges énergétiques pour l'exploitation du bâtiment, l'industrie cimentière dégage 5 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et consomme pour son fonctionnement 2 % de l'énergie primaire mondiale [21]. Le ciment ne peut pas être considéré comme un matériau "durable". Nous proposons donc de le remplacer par la gomme arabique (issue de la biomasse). Elle ne présente pas de problème environnemental, elle est économique et disponible localement. La gomme arabique est un exsudat de sève, solidifié naturellement ou par incision, sur le tronc et au pied d'arbre de la famille des acacias (*Figure 3*). Elle est récoltée en Afrique subsaharienne (Egypte, Maghreb, Mali, Sénégal, Soudan, Tchad, etc).



a : Exsudation de l'acacia



b : Cristaux de gomme arabique

Figure 3 : Gomme arabique

La gomme arabique c'est un polysaccharide acide fortement ramifié qui se présente sous la forme d'un mélange de sels de potassium, de magnésium et de calcium. Les éléments monomères qui la composent sont : les D-galactose, le L-rhamnose et l'acide D-glucuronique. La fraction de masse moléculaire supérieure contient une part d'acides aminés, certes modeste mais déterminante pour ses propriétés. Environ 2 % de la gomme arabique est une protéine qui est riche en hydroxyprolyl, prolyl et seryl [22]. Ses compositions chimiques varient légèrement avec, le climat, la saison ; l'âge de l'arbre, etc., mais les données analytiques typiques sont données dans *le Tableau 3*.

**Tableau 3 :** Caractéristique de gomme arabique d'acacia seyal et acacia Sénégal [22]

Paramètres	Acacia Sénégal	Acacia seyal
Galactose (%)	44	38
Arabinose (%)	27	46
Rhamnose (%)	13	4
Acide glucuronique (%)	14.5	6.5
Acide 4-O-méthyl-glucuronique	1.5	5.5
Azote (%)	0.36	0.15
Rotations spécifiques (degrés)	-30	+51
Masse moléculaire moyenne (kDa)	380	850

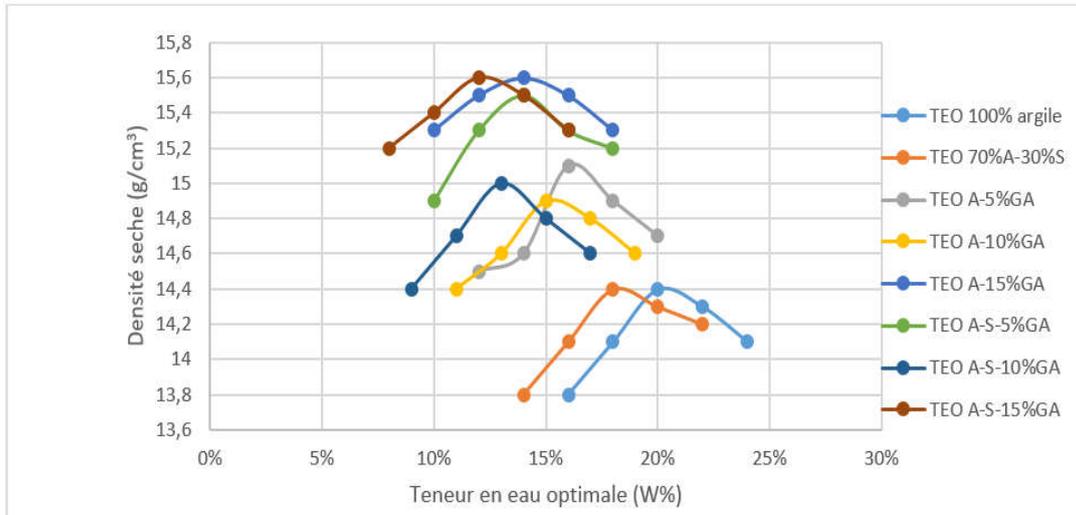
Les différentes propriétés physiques et chimiques de la gomme arabique sont présentées dans l'argile de [3]. Cette dernière est utilisée dans plusieurs domaines comme [22] :

- *Épaississant*, notamment dans les dragées. En Europe, elle est normalisée en sous l'appellation : épaississant alimentaire E 414 ;
- *Agent de solidification* et de brillance des tissus de coton damassé (très prisés pour la confection de vêtements d'apparat en Afrique de l'ouest ;
- *Traitement de la peau*, des blessures, de la lèpre, de la dysenterie, et sert d'excipient dans la fabrication de certains médicaments ;
- *Agent d'étanchéité*, les maçons l'utilisent en mélange avec de l'argile, de l'eau et de la paille pour rendre étanche les toitures des maisons, et les peintres la mettent dans la chaux pour badigeonner les murs des maisons ;
- *Pigment* dans la fabrication des peintures à eau telles que : le pastel sec, l'aquarelle et la gouache.

Les propriétés essentielles de la gomme arabique font qu'elle s'approche des liants minéraux (ciment et chaux). Avec son aspect collant, elle assemble les grains pour former un bloc compact.

### 3-4. Les formulations

Le mélange est préparé à partir des passants au tamis de 5 mm pour l'argile, de 2 mm pour la gomme arabique et entre 0,16 mm et 2,5 mm pour le sable. L'eau de gâchage est ajoutée après mélange des constituants solides. Nous préparons des éprouvettes avec des teneurs en eau différentes puis nous déterminons leur masse volumique sèche. La teneur en eau optimale (TEO) correspond à la valeur la plus élevée de la masse volumique sèche, appelée masse volumique sèche optimale (*Figure 4*). *Le Tableau 4* renseigne sur la composition de nos formulations.



**Figure 4 :** *Courbe de teneur en eau optimale (TEO)*

La teneur en eau optimale varie de 12 % à 20 %. En tant que matériau de construction, l'argile nécessite une importante quantité d'eau pour son hydratation, ce qui explique une TEO de 20 % pour les BTC en argile seule. Par contre, pour le mélange argile + sable + gomme arabique, une plus faible quantité d'eau suffit pour hydrater la gomme arabique, qui enrobe et assemble les grains pour former un bloc cimentaire.

### 3-5. Préparation des blocs de terre comprimée (BTC)

Une presse manuelle, permettant d'exercer une charge de 10 tonnes, produit les briques BTC de 30 x 15 x 8 cm (*Figure 5*). Après compactage, la brique est stockée pendant 3 jours à l'ombre pour éviter une perte en eau trop rapide. Ensuite elle sera exposée au soleil pendant une semaine puis passées à l'étuve 24 heures à 105 °C pour obtenir un séchage complet.



**Figure 5 :** *Procédure de préparation des briques BTC*

Ce sont quelques 80 briques qui seront ainsi fabriquées pour être testées en flexion 3 points (*Tableau 4*). Les 2 morceaux sont alors récupérés, liés avec 1 cm de mortier selon la procédure de l'ENTPE-RILEM, séchés et finalement écrasés en compression uni axiale.

**Tableau 4 : Préparation des éprouvettes pour les caractéristiques mécaniques**

Formulations	Teneur en eau	Nombres d'échantillons
100 % A	20	10
70 % A-30 % S	18	10
95 % S-5 % GA	16	10
90 % A-10 % GA	15	10
85 % A- 15 % GA	14	10
65 % A-30 %S-5 % GA	14	10
60 % A-30 %S-10 % GA	13	10
55 % A-30 % S-15 % GA	12	10

## 4. Caractéristiques mécaniques

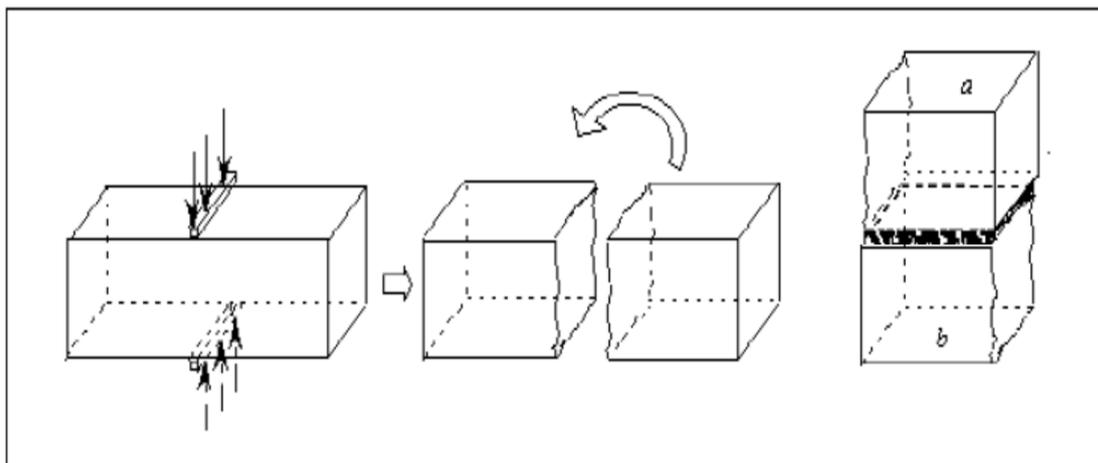
### 4-1. Essai de traction

Généralement, la résistance à la traction des éprouvettes en argile est faible car les ouvrages sont destinés à travailler uniquement en compression. En cas de besoin, les valeurs de la résistance en traction sont mesurées par des essais indirects tels que la flexion trois points. Le dispositif de caractérisation, est constitué d'un piston supérieur sur lequel est fixé un capteur de force et un comparateur de déplacement et le piston inférieur reçoit l'éprouvette. Le piston inférieur monte avec l'éprouvette jusqu'au contact avec le piston supérieur, à partir de ce moment le capteur de force enregistre les efforts exercés sur l'éprouvette. La mesure de la résistance à la traction est donnée par *la Relation 1*. Le dispositif d'essai est illustré par la *Figure 7a*.

$$\sigma_t = \frac{3F_{tmax}L}{2bh^2} \quad (1)$$

### 4-2. Essais de compression uni-axiale

La procédure de l'ENTPE-RILEM consiste à appliquer une force de compression sur deux demi-briques reliées par un mortier de 1 cm. Cette méthode a été développée à l'ENTPE et elle est reprise dans la norme française [XP 13-901]. La procédure est illustrée par *la Figure 6*.



**Figure 6 :** A partir d'un essai flexion 03 points, on obtient deux demi-blocs qui seront testés en compression uni-axiale [Norme XP 13-901]

Les valeurs des résistances sont données par *les Relations 2 et 3*.

$$\sigma_c = \frac{F_r}{S_e} \tag{2}$$

$$E = \frac{\sigma_c}{\varepsilon} \tag{3}$$



a : essai de traction



b : essai compression uni-axiale

**Figure 7 : Dispositif de caractérisation**

Les résultats de caractérisation mécanique sont récapitulés dans *le Tableau 5*.

**Tableau 5 : Résultats des Caractéristiques mécaniques des BTC**

Formulations	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	E (MPa)
100 % A	0,28	0,1	1457	24
95 % A-5 % GA	0,36	0,21	1386	30
90 % A-10 % GA	1,05	0,23	1446	59,7
85 % A- 15 % GA	1,27	0,25	1442	67,6
70 % A-30 % S	0,14	0,1	1461	9,7
65 % A-30 % S-5 % GA	1,50	0,33	1509	85,6
60 % A-30 % S-10 % GA	2,22	0,33	1501	122
55 % A-30 % S-15 % GA	2,43	0,51	1551	138

## 5. Analyse des résultats

Les caractéristiques physiques mesurées par [3] révèlent une porosité de 37 % pour l'argile de Ndjamen. Elle agit sur les caractéristiques mécaniques, ce qui se traduit par une résistance mécanique faible. Avec une force de compactage de 2 MPa, les résultats obtenus restent faibles par rapport aux autres matériaux de construction car la porosité reste élevée. Pour les briques non stabilisées, la résistance à la compression n'excède pas 0,14 MPa pour le mélange sable et argile et 0,28 MPa pour l'argile pure. La stabilisation à la gomme arabique améliore la résistance à la compression pour atteindre des valeurs comprises entre 0,36 et 1,27 MPa pour les briques en argile. L'ajout de sable au mélange initial permet d'atteindre des valeurs de 1,5 MPa à 2,43 MPa. Ces résultats sont conformes à ceux de [12] sur des BTC stabilisées à la chaux. La stabilisation à la gomme arabique permet donc d'augmenter la résistance à la compression du matériau

obtenu et permet même d'atteindre le niveau des recommandations. Une teneur de 10 à 15 % de gomme arabique permet d'augmenter la résistance à la compression d'un facteur 4,5. Elles atteignent des valeurs de résistance en compression qui sont du même ordre de grandeur que celles obtenues avec des briques en terre cuite (2,8 à 3,3 MPa) ou des parpaings en béton (3,3 à 3,7 MPa). Nos résultats sont du même ordre de grandeur que les résistances minimales en compression des BTC proposées par certains pays. Ils sont de l'ordre 2 MPa [23].

### 5-1. Effet du compactage initial

Pour vérifier l'influence du compactage, nous avons fabriqué, avec des formulations identiques, des éprouvettes (4 x 4 x 16 cm) par extrusion. La différence avec les BTC est que nous pouvons contrôler la force de compactage que nous avons fixée à 6,13 MPa. Pour réaliser les mesures de résistance mécanique, nous avons utilisé un dispositif automatisé pour essais de compression—flexion de marque 3R\* (*Recherches et Réalisations Rémy SAS*) (*Figure 8*).



Figure 8 : Banc d'essai flexion - compression 3R

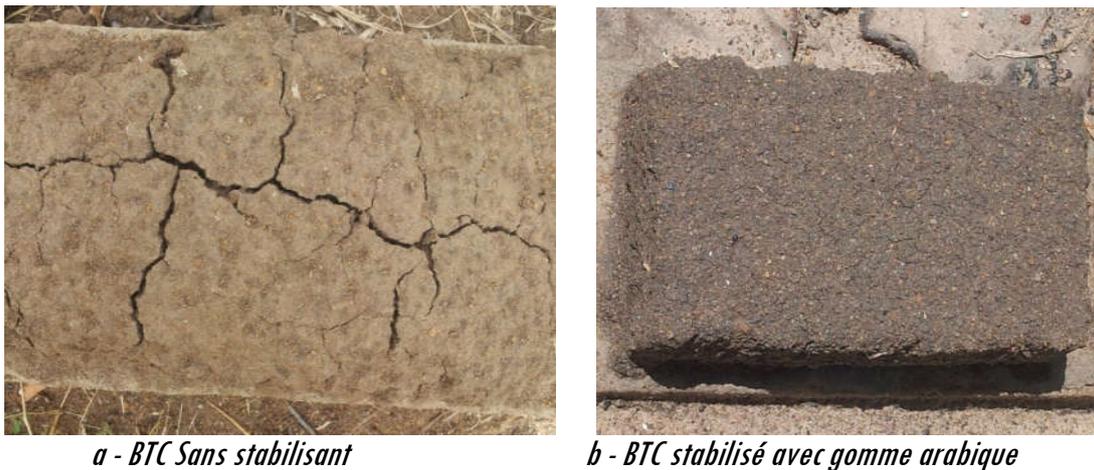
Tableau 6 : Caractéristiques mécaniques des éprouvettes

Formulations	Résistance en traction		Résistance en compression		$\rho_{app}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Ecart type
	$\sigma_t$ (MPa)	Ecart type	$\sigma_C$ (MPa)	Ecart type		
100 % A	1	0,28	3,525	0,27	1929	2,17
95 % A-5 % GA	1,2	0,18	6,4875	0,36	1921	1,25
90 % A-10 % GA	2,675	0,12	8,3	0,6	1927	2,82
85 % A-15 % GA	2,4	0,28	12,12	0,73	1916	2,34
70 % A-30 % S	0,55	0,06	4,525	0,28	1934	2,75
65 % A-30 % S-5 % GA	1,35	0,53	6,1425	0,33	1934	2,9
60 % A-30 % S-10 % GA	1,725	0,48	9,775	0,31	1932	2,26
55 % A-30 % S-15 % GA	3,175	0,29	13,175	0,22	1931	2,34

Les résultats obtenus (*Tableau 6*) sont très intéressants. La contrainte de compactage appliquée (6,13 MPa) se traduit par une augmentation importante de la résistance mécanique du matériau avec des valeurs qui peuvent largement dépasser les 13 MPa. Pour l'argile seule, un compactage triplé permet de multiplier la résistance mécanique du produit final par un facteur 10. Avec l'ajout de 15 % de gomme arabique, ce facteur se limite à un facteur 6. Le compactage se traduit également par une augmentation de la masse volumique des éprouvettes qui passe de 1300 k.m<sup>-3</sup> à 1920 kg.m<sup>-3</sup>. Nous étudions les répercussions envisageables en termes d'impact sur le comportement thermique dynamique de bâtiments construits avec ce matériau.

## 5-2. Test de durabilité à l'eau

Lors de la saison de pluies, la Région de N'Djamena a une pluviométrie de 500 à 700 mm [*Météo Tchad*]. La durabilité par rapport à l'eau fait également partie de la qualité recherchée des matériaux de construction. Nous avons exposé des BTC à la pluie, à l'humidité et au séchage sous le soleil pendant un mois. Nous avons constaté que les BTC non stabilisées par la gomme arabique ont été dégradées. Par contre, celles qui sont stabilisées, ont maintenues leurs bonnes tenues à la pluie, (*Figure 9*). Nous nous sommes placés dans des conditions extrêmes : les BTC sont exposées à la pluie sur 5 faces. Dans la réalité, lorsqu'elles sont assemblées en mur, elles ne le sont que sur une face (8 x 30 cm). Nous pouvons en conclure que la stabilisation à la gomme arabique se traduit par une bonne tenue à l'eau de pluie.



**Figure 9 : Tenue à la pluie des BTC**

Lorsque les BTC baignent dans l'eau, les briques "fondent" en 15 minutes et cela même si elles sont stabilisées à la gomme arabique. Cette détérioration est due au fait qu'argile et gomme arabique présentent une forte sensibilité à l'eau. Lorsqu'elle pénètre dans le matériau, l'eau détruit la cohésion argile - gomme arabique. Les BTC fabriquées avec de l'argile et de la gomme arabique ne peuvent donc pas être utilisées pour les fondations des ouvrages de génie civil.

## 6. Conclusion

Les résultats présentés dans cet article montrent qu'il est possible d'utiliser des ressources locales pour construire les logements dont le Tchad a besoin. Pour ce faire, l'argile doit être stabilisée à la gomme arabique. Des teneurs de 10 à 15 % sont nécessaires pour assurer la cohésion des BTC avec le faible taux de compactage associé aux presses manuelles pour obtenir une résistance à la compression de 2 MPa qui est requise pour la construction des logements. Le recours à des presses industrielles, pouvant assurer un compactage à 6,1 MPa, se traduit par une valorisation possible de l'argile seule. Par contre la sensibilité à l'eau de l'argile est telle, qu'il faut tout de même envisager une stabilisation à la gomme arabique. Avec le même taux que pour les BTC, nous pouvons atteindre des niveaux de résistance de l'ordre de 10 MPa avec une relative insensibilité à l'eau, si les ouvrages ne sont pas submergés. Actuellement, nos travaux se poursuivent avec des mesures de conductivité thermique du matériau. L'idée étant de prévoir le comportement thermique dynamique de bâtiments construits avec ce matériau. Les résultats seront comparés à des mesures réalisées in situ.

## Références

- [1] - H. BINICI, O. AKSOGAN, D. BAKBAK, H. KAPLAN and B. ISIK, "Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls". *Construction and Building Materials*, N°23 (2009) 1035 - 1041 p.
- [2] - M. C. JIMÉNEZ DELGADO, I. C. GUERRERO, "The selection of soils for unstabilised earth building : a normative review", *Constr Build Mater*, 21 (2007) 237 - 251 p.
- [3] - A. ALI, R. BENELMIR, J. L. TANGUIER et A. S. TODJIBAL, Caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjamenas stabilisée par la gomme arabique, *Afrique Science*, Vol 12, (2017)
- [4] - CRATERRE, GATE. Bloc de terre comprimée. Eléments de base., Eschborn, Allemagne, (1991) 28 p.
- [5] - IVAN FERNANDO OTALVARO, MANOEL PORFÍRIO CORDÃO NETO, PIERRE DELAGE, BERNARDO CAICEDO, "Relationship between soil structure and water retention properties in a residual compacted soil", *Engineering Geology*, Vol. 205, (29 April 2016) 73 - 80 p.
- [6] - B. V. VENKATARAMA REDDY, M. S. LATHA, " Retrieving clay minerals from stabilised soil compacts", *Applied Clay Science*, Vol. 101, (November 2014) 362 - 368 p.
- [7] - D. T. BERGADO, L. R. ANDERSON, N. MIURA, A. S. BALASUBRAMANIAM, *Soft Ground Improvement in lowland and other Environments. ASCE Press, New York, (1996)*
- [8] - SATOSHI MATSUMURA, FUMIO TATSUOKA, " Effect of compaction conditions and fines content on cyclic undrained strength of saturated soils", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 112, (September 2018) 152 - 161 p.
- [9] - J. RODRIGO GONZÁLEZ-LÓPEZ, CÉSAR A. JUÁREZ-ALVARADO, BÁRBARA AYUB-FRANCIS, JOSÉ MANUEL MENDOZA-RANGEL, "Compaction effect on the compressive strength and durability of stabilized earth blocks", *Construction and Building Materials*, Vol. 163, (28 February 2018) 179 - 188 p.
- [10] - A. GUETTALA, H. HOUARI, B. MEZGHICHE, R. CHEBILI, Durability of lime stabilized earth blocks. *Courrier du Savoir*, N°02 (2002) 61 - 66 p.
- [11] - A. AMMARI, K. BOUASSRIA, M. CHERRAJ, H. BOUABID, S. CHARIF D'OUAZZANE, " Combined effect of mineralogy and granular texture on the technico-economic optimum of the adobe and compressed earth blocks", *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 7, (December 2017) 240 - 248 p.
- [12] - A. GUETTALA, Béton de terre stabilisée : amélioration de sa durabilité à l'eau. Thèse de doctorat, Université de Biskra, (2003) 203 p.
- [13] - L. CHEN, D.-F. LIN, "Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement", *Journal of Hazardous Materials*, 162 (1) (2009) 321 - 327 p.
- [14] - P. WALKER, P. STRENGTH. Durability and Shrinkage Characteristics of Cement Stabilized Soil Blocks. *Cement & Concrete Composites*, 17 (4) (1995) 301 - 310 p.
- [15] - R. BAHAR, M. BENZAOUIG, S.KENAL, Performance of compacted cement stabilized soil. *Cement and Concrete Composites. Elsevier Applied Science Publishers, U.K., Vol. 25, N°6 (2004) 633 - 641 p.*
- [16] - V. RIGASSI, Blocs de terre comprimée. Volume I. Manuel de production, CRATerre-EAG, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, Allemagne, (1995) 104 p.
- [17] - NF P 94-056, Analyse granulométrique ; méthode par tamisage à sec après lavage, (1996)
- [18] - NF P 94-054, Détermination de la masse volumique des particules solides des sols ; méthode du pycnomètre à eau, (1991)
- [19] - NF EN 1097-6, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats- Partie 6 : détermination de la masse volumique et du coefficient d'absorption d'eau, (janvier 2014)
- [20] - R. K. PACHAURI et A. REISINGER, « Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat », (publié sous la direction-)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

- [21] - C. A. HENDRIKS, E. WORRELL., D. DE JAGER, K. BLOK, P. RIEMER, GREENHOUSE, Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry gases control technologies conference, (Août 2004)
- [22] - S. AL-ASSAF, M. SAKATA, C. MCKENNA, H. AOKI, G.O. PHILIPS, "Molecular associations in acacia gums", *Struct. Chem.*, 20 (2009) 325 - 336 p.
- [23] - I. CAÑAS, J. CID-FALCETO & F. MAZARRÓN, "Assessment of compressed earth blocks made in Spain : International durability tests". *Construction and Building Materials*, 37 (2012) 738 - 745 p.