

Caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjamena stabilisée par la gomme arabique

Abakar ALI^{1,2*}, Riad BENELMIR¹, Jean-Louis TANGUIER¹ et Abdoulaye Saleh TODJIBAL²

¹ *Université Henri Poincaré, Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux Bois (LERMAB),
54500 Vandoeuvre - Lès-Nancy, France*

² *Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP), BP 104, Ndjamena, Tchad*

* Correspondance, courriel : ali.abakar@univ-lorraine.fr

Résumé

Cet article porte sur les caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjamena stabilisée par la gomme arabique. Des essais de caractérisation tels que : la granulométrie ; la teneur en eau naturelle ; les limites d'Atterberg ont été menés pour la classification de notre matériau de base. Les résultats d'essai à la compression simple obtenus pendant cette campagne expérimentale varient de : 1,01 MPa à 1,35 MPa pour les échantillons fabriqués avec de l'argile pure et 1,67 MPa à 3,25 MPa pour le mélange d'argile-gomme arabique. Les résultats de l'essai de traction varient de 0.1 à 0.25 MPa et les valeurs de module de Young sont dans l'ordre de 472 à 929 MPa. Cette étude sera complétée par les caractérisations mécanique et thermique des éprouvettes préparées avec un mélange d'argile, de paille de riz et de gomme arabique pour son utilisation comme nouveau matériau de construction à N'Djamena au Tchad.

Mots-clés : *caractéristique mécanique, gomme arabique, stabilisation, argile.*

Abstract

Mechanical characteristics of gum arabic stabilized Ndjamena clay

This paper is about the mechanical Characteristics of gum Arabic stabilized N'djamena clay. Characterization tests such as the particle size analysis, natural water content, Atterberg limits, was performed to classify our base material. Results from unconfined compression test obtained during the campaign range from 1.01 MPa to 1.35 MPa for the samples made from only clay and 1.67 MPa to 3.25 MPa for the clay-gum Arabic mixture sample. Results from tensile test range from 0.1 to 0.25 MPa and Young's modulus value are around 472 MPa to 929 MPa. This study will be then completed by the mechanical and thermal characterisations of the test pieces made of a mixture of clay, rice straw and Gum Arabic in order to be used as new construction material in N'djamena (Republic of Chad)

Keywords : *mechanical property, gum arabic, stabilization, clay.*

1. Introduction

L'argile est le matériau naturel le plus ancien que l'homme utilise pour la construction de son habitation. Elle est disponible un peu partout dans le monde et son exploitation ne demande pas d'effort particulier ni des connaissances poussées. Elle est également sans nuisance particulière ni sur l'atmosphère ni sur l'homme. L'argile est un matériau abondant et doté de plusieurs qualités. Il est estimé que le tiers de la population mondiale vit sous des toits construits avec de l'argile. A peu près la moitié de la population des pays en développement et au moins 20 % des habitants des villes vivent dans les constructions en terre. Ce matériau peut être industrialisé mais le manque de normes internationales constitue le seul handicap [5]. Au Tchad, les fleuves ont déposé une couche d'argile de 1 à 5 m d'épaisseurs sur la partie centrale du pays, particulièrement le long des fleuves Logone et Chari entre la ville de Bongor et le Lac Tchad [1], ce qui fait qu'à Ndjamenà le sol est argileux jusqu'à 10 m de profondeur dans certains endroits. Pour construire un bâtiment ou une route, la partie superficielle sera découpée et mise en décharge pour éviter les problèmes structurels au niveau de l'ouvrage. Cette terre argileuse obtenue par découpage occupe 1 km² à 1,5 km² par arrondissement. Notre travail de recherche vise à valoriser cette terre argileuse dans la construction, ce qui permet également de créer des emplois à la population voisine. Compte tenu des problèmes environnementaux provoqués par les liants minéraux (ciment et chaux) lors de leurs fabrications et de leurs coûts élevés, cette terre sera stabilisée par la gomme arabique. Nous allons procéder à l'étude de ses différentes propriétés d'usage afin de vérifier la possibilité de sa vulgarisation.

1-1. Zone d'étude

La zone d'étude est la ville de N'Djamena, Capitale du Tchad, composée de 10 communes d'arrondissements. Elle est caractérisée par un climat de type tropical sec, qui a transité de la zone climatique Soudano-Sahélien entre 1951-1967 vers un climat sahélien. Elle est alternée par deux saisons, une saison sèche longue qui s'étale sur 7 à 8 mois (de novembre à mai) et une saison humide de courte durée (3 à 5 mois de mai à octobre) [23]. Les précipitations pluviométriques varient entre 400 et 700 mm / an, qui tombent plus ou moins violemment et parfois Ndjamenà reçoit des pluies de grande intensité en une seule fois où la plupart des quartiers seront inondés. Les températures varient en moyenne de 33°C à 42°C en saison sèche et entre 34°C et 40°C en saison humide. Le relief de la zone d'étude est dans son ensemble légèrement plat. Il est constitué de plaines inondables et exondées issues du quaternaire récent. Des bas-fonds se trouvent un peu partout ou parfois des faibles dépressions conservent les eaux de pluie pendant quelques temps après la saison de pluie [23].

2. Méthodologie

Des essais d'identification sont menés pour la classification de l'argile de N'Djamena. Des mélanges d'argile et de gomme arabique sont préparés pour le choix de la meilleure formulation. La teneur en eau optimale est déterminée par la méthode de Proctor Normal et également la même méthode est utilisée pour la préparation des éprouvettes pour leurs caractérisations mécaniques.

2-1. Les Matériaux

2-1-1. Argile

La teneur en eau naturelle est déterminée selon la norme [6]. Le poids spécifique est obtenu grâce au pycnomètre à eau selon la norme [2]. La porosité et l'indice de vide sont déduits à partir des relations qui

existent entre les paramètres physiques. La granulométrie par tamisage et par sédimentométrie sont déterminés selon les normes respectivement [3, 7]. La courbe granulométrique est illustrée par la **Figure 1**. Les limites d'Atterberg, à savoir la limite de liquidité et la limite de plasticité sont obtenues selon la norme [4] et l'indice de plasticité est déduit à partir des essais des limites d'Atterberg. Les résultats sont récapitulés dans le **Tableau 1**. Par ailleurs, le diagramme de Casagrande est utilisé pour la classification de l'argile de Ndjamen, qui est de type « Argile peu plastique » (**Figure 2**).

Tableau 1 : Caractéristiques physiques de l'argile de Ndjamen

Essais	Symboles	Unités	Valeurs
Masse volumique sec	ρ_d	Kg.m ⁻³	1,54.10 ³
Masse spécifique	ρ_s	Kg.m ⁻³	2,45.10 ³
Teneur en eau naturelle	W	%	11,12
Porosité	n	%	37
Indice de vide	e	%	59
Limite de liquidité	W _L	%	44
Limite de plasticité	W _P	%	22,1
Indice de plasticité	I _P	%	21,9

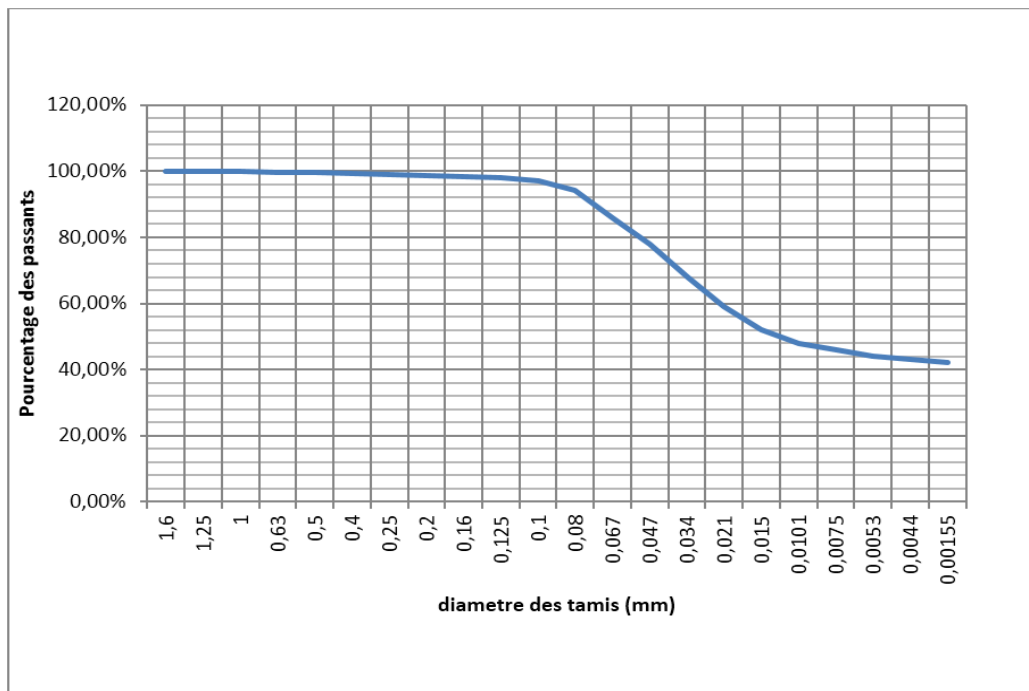


Figure 1 : Courbe granulométrique de l'argile de Ndjamen

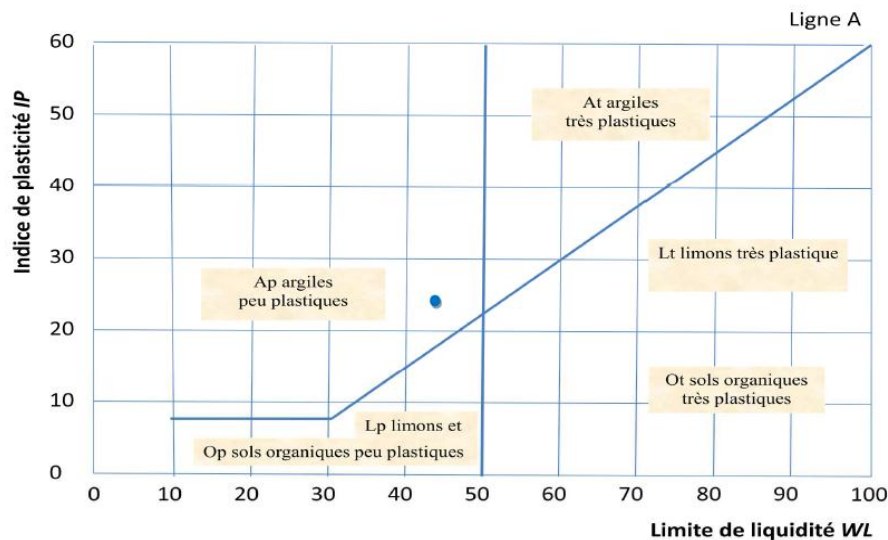


Figure 2 : Diagramme de Casagrande

2-1-2. Les liants

2-1-2-1. Le ciment

Les études statistiques menées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [16] ont classé le secteur du bâtiment comme l'un des grands consommateurs d'énergie. Une partie de la consommation est due à la fabrication de ciment et à la recherche du confort par le chauffage et la climatisation. Le long processus de fabrication de ciment, en commençant par l'extraction des matières premières, le transport, le broyage et la cuisson émet une quantité importante de gaz carbonique dans l'atmosphère. En effet, ce gaz est à l'origine du changement climatique [17]. Le constituant principal de ciment portland artificiel est le clinker. Ce dernier est obtenu par la cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile (respectivement 80 % et 20 % en masse). Le clinker est additionné avec 5 % de gypse et finement broyé pour obtenir le ciment. De nos jours, le ciment portland est le liant le plus utilisé dans la construction des infrastructures grâce à ses caractéristiques mécaniques élevées, malgré ses effets négatifs sur l'environnement. Dans les pays développés beaucoup d'inquiétudes viennent d'être soulevées à travers des conférences internationales sur le climat à propos des émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, lors de sa fabrication, l'industrie cimentière dégage dans l'atmosphère 5 % des émissions mondiales de CO₂ et utilise 2 % de l'énergie primaire mondiale pour son fonctionnement [14]. Face à ce problème environnemental, qui devient de plus en plus inquiétant, des plaintes sont adressées à l'encontre des industries cimentières, ce qui a permis aux fabricants des ciments de revoir leurs méthodes et manière de faire. Dans cette optique, la quantité de CO₂ produite par tonne de ciment a diminué. Par exemple en 2006 la tonne de ciment produit 660 kg de CO₂ dans l'atmosphère dans le monde [21] contre 890 kg en 1990 [11]. Ce qui est sûr, fabriquer de ciment sans émission des gaz à effet de serre est impossible. Pour cette raison, il est préférable de proposer des liants alternatifs. Pour ce travail de recherche, nous faisons recours aux matériaux locaux disponibles, économiques et sans problèmes environnementaux. Il s'agit de la gomme arabique. Dans la partie suivante, les caractéristiques essentielles de la gomme arabique seront développées, pour une bonne compréhension de son utilisation dans la construction.

2-1-2-2. La gomme arabique

La gomme arabique appelée aussi « Gomme Sénégal », est une biomasse végétale, obtenue par exsudat de sève, solidifié naturellement ou par incision, sur le tronc et au pied d'arbres de la famille des acacias (*Figure 3*).

Elle est récoltée principalement en Afrique saharienne (Maghreb, Mali, Sénégal, Tchad, Égypte, Soudan, etc.). On trouve la gomme arabique dans le commerce sous forme de poudre ou de cristaux. Elle est de couleur jaune pâle à jaune brunâtre, inodore, soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool, mais elle est soluble dans le glycérol et le propylène glycol avec un chauffage prolongé. La partie visible des cristaux est « mate » et présente des fines fissures difficilement visibles à l'œil nu [26] (*Figure 4a*).



Figure 3 : *Gomme arabique sous forme des cristaux*

Ses propriétés physico-chimiques font que la gomme arabique est présente dans les industries agroalimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques (produit de grand commerce au niveau international). C'est un polysaccharide acide, qui se présente sous la forme de mélanges de sels de potassium, de magnésium et de calcium. Les éléments monomères d'acide libre (acide arabique) sont le D-galactose, le L-arabinose, le L-rhamnose et l'acide D-glucuronique⁵. Son numéro CAS est 9000-01-55. Elle est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire, où son code ingrédient européen est E414 [26]. La gomme arabique reste très peu visqueuse même en concentration de 30 à 40 % [24]. Elle sert d'émulsifiant pour les huiles d'agrumes, de colloïde protecteur dans les émulsions et de support pour les arômes. La gomme arabique ne provoque pas d'autres problèmes de santé en dehors des réactions d'allergie en l'inhalant sous forme de vapeur. Elle a une masse spécifique de 13,5 KN / m³. Sa masse moléculaire moyenne indiquée oscille entre 200 et 300 kilodaltons. Les propriétés physiques essentielles font que la gomme arabique ressemble aux liants minéraux (ciment et chaux) même si le processus de durcissement est différent. Elle se dissout dans l'eau et assemble les grains avec son comportement adhésif pour former une agglomération. Par la suite la prise et le durcissement vont suivre (*Figure 4b*). Son utilisation comme liant en substitution des liants minéraux entre dans une démarche de développement durable car elle constitue une matière première renouvelable et sans danger pour l'environnement. Pour confirmer les informations obtenues sur l'article de B. Karka [24] relatives à l'existence du sucre dans la gomme arabique, nous avons mené des analyses chimiques sur la gomme arabique en utilisant la chromatographie à échange d'anion en milieu fortement basique, couplée à la détection par ampérométrie pulsée (HPAE-PAD). Cet appareil est généralement utilisé pour la quantification des monosaccharides et des acides uroniques. La préparation des éluants et des échantillons ont suivi les étapes ci-dessous :

- 1^{ère} étape : réalisation d'un mélange de 175 mg de gomme arabique anhydre dans 100 mL d'eau distillée ;
- 2^e étape : dilution du mélange à 1 / 100^{ème}, c'est-à-dire 1 ml du mélange dans 100 mL d'eau ultra-pure ;
- 3^e étape : remplissage des fioles de chromatographie avec 1,5 mL de la solution diluée ;
- 4^e étape : analyse de 20 µL de la solution. Les résultats sont donnés dans le **Tableau 1**.

Tableau 2 : Constituants chimiques de la gomme arabique

N°	Échantillons	Rhamnose	Arabinose	Galactose	Glucose	Ac glucuronique
		mg / L	mg / L	mg / L	mg / L	mg / L
1	GA-1	26,5949	24,2831	10,4654	21,5959	1,0824
2	GA-2	25,8056	24,1674	10,6771	22,2690	0,8678
3	GA-3	26,1375	24,3845	10,6706	21,7140	0,9182
4	GA-4	26,0787	24,3538	10,9191	21,9844	0,9601
5	GA-5	24,7922	23,2866	9,9996	20,3935	0,8269

L'analyse chimique effectuée sur la gomme arabique révèle bien la présence des sucres et des acides uroniques.

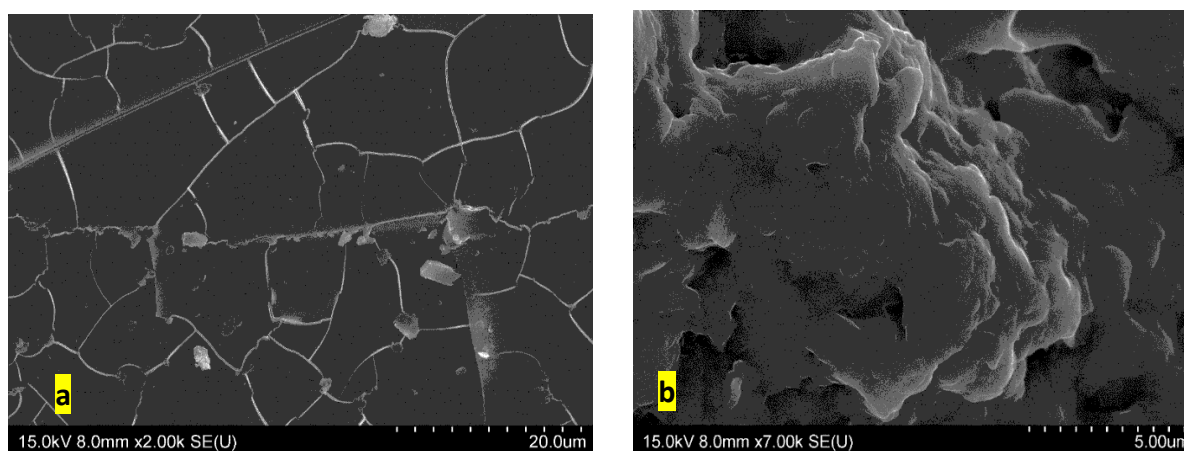


Figure 4 : Image MEB de couche extérieure de la gomme arabique (a) et de mélange d'argile et de gomme arabique (b)

2-1-3. L'Eau de gâchage

L'eau que nous utilisons pour préparer nos échantillons provient de la STE (Société tchadienne d'eau).

2-2. Les formulations

Pour la préparation des éprouvettes, le mélange est réalisé comme suit : Nous avons récupéré les passants au tamis de 5 mm pour l'argile et les passants au tamis de 2 mm pour la gomme arabique. Le mélange est constitué à sec entre l'argile et la gomme arabique et ensuite de l'eau est ajoutée. La teneur en eau est déterminée par la méthode de Proctor Normal qui consiste à compacter l'argile dans un moule normalisé à l'aide d'une dame normalisée et à mesurer sa teneur en eau naturelle et sa masse volumique après compactage suivant la norme [8]. Le dispositif d'essai est illustré par la **Figure 5a**. L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneur en eau et la courbe Proctor normal est tracée. Elle représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau et l'ordonnée, la masse volumique sèche optimale (**Figure 5b**).

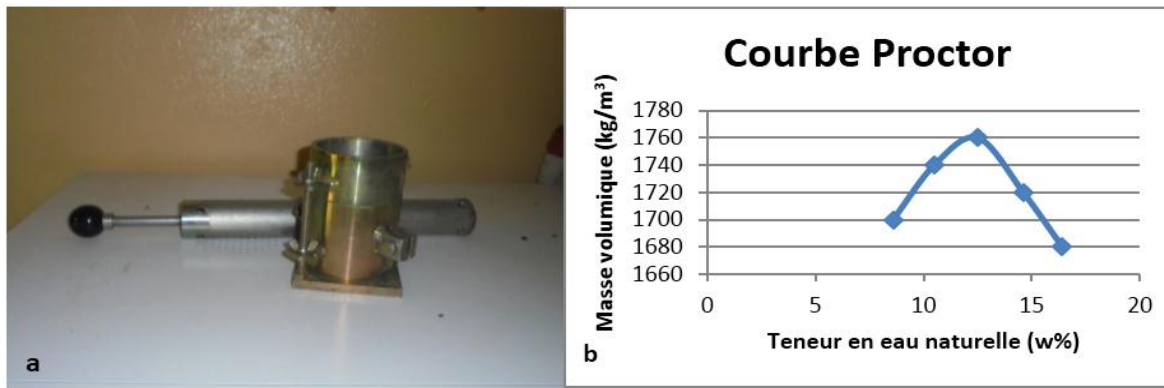


Figure 5 : *Un moule et une dame pour Proctor Normal (a) et courbe Proctor (b)*

Cette courbe Proctor indique que la masse volumique maximale de $1,76.10^3 \text{ kg / m}^3$ correspond à la teneur en eau de 12,5 %. Cette teneur en eau sera utilisée pour la suite dans la préparation de nos éprouvettes. Pour la gomme arabique, des pourcentages de 2 %, 5 % et 7 % massiques ont été retenus pour préparer le mélange.

2-3. Préparation des éprouvettes

Un papier et un pastique sont placés à l'intérieur du moule pour éviter le collage de l'argile sur la paroi. Le compactage démarre en laissant tomber la dame sur le matériau jusqu'à 25 fois par couche (**Figure 6a**). Une fois les compactages de trois couches terminés, l'éprouvette sera démoulée, pesée, puis posée sur une pailleasse pour séchage à l'air libre ou en étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse sèche constante (**Figure 6b**). Au total, 80 éprouvettes ont été fabriquées et écrasées à différents âges comme suit : 16 éprouvettes sont écrasées à 3 jours d'âge, 16 à 7 jours d'âge, 16 à 14 jours d'âge et les dernières 16 sont écrasées après séchage à l'étuve. Les écrasements pour les mesures de résistance à la traction sont menés sur 16 éprouvettes préalablement séchées à l'étuve. Le détail est donné dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : *Préparation des éprouvettes pour les caractérisations mécaniques*

Formulation	Nombre d'échantillons
100 % Argile + 12,5 % d'eau	20
98 % Argile + 2 % GA + 12,5 % d'eau	20
95 % Argile + 5 % GA + 12,5 % d'eau	20
93 % Argile + 7 % GA + 12,5 % d'eau	20

GA : Gomme arabique



Figure 6 : *Préparations des éprouvettes (a), éprouvettes fabriquées et mises au séchage (b)*

2-4. Caractéristiques mécaniques

Essais à la compression uni-axiale des éprouvettes : L'éprouvette est placée sur un plateau de compression, qui est constitué de deux pistons. Un piston supérieur fixe, sur lequel est placé un capteur de force de 60 kN qui enregistre les efforts appliqués sur l'échantillon et un piston inférieur mobile à l'aide d'un volant, qui permet de mettre en contact l'échantillon avec le piston supérieur. Deux disques en acier sont placés, l'un au-dessus et l'autre en dessous de l'échantillon pour bien répartir la pression sur l'éprouvette. Un comparateur de déplacement est fixé sur le piston supérieur pour évaluer la déformation de l'échantillon lors de l'écrasement. Dès que l'éprouvette est mise en place sur le plateau de l'essai, le volant est manié manuellement dans le sens de l'aiguille d'une montre. Le piston inférieur monte avec l'éprouvette jusqu'au contact avec le piston supérieur et c'est à ce moment que le capteur de force et le comparateur de déplacement commencent à enregistrer respectivement l'effort exercé par le bâti sur l'échantillon jusqu'à la rupture et la déformation de cette dernière. Une fois que la rupture a eu lieu, l'effort de rupture et la valeur de déformation sont relevés. Le dispositif de l'essai est illustré par la **Figure 7**. La mesure de la résistance à la compression est donnée par la **Formule 1** et celle de module Young par la **Formule 2**.

$$\sigma_c = \frac{Fr}{S} \quad (1)$$

avec, Fr (N) : la force de rupture ; S (mm²) : la section de l'éprouvette ; σ_c (MPa) : résistance à la compression.

$$E = \frac{\sigma_c}{\varepsilon} \quad (2)$$

avec, σ_c (MPa) : résistance à la compression et ε : la déformation à la rupture.

Les résultats sont présentés dans (les **Figures 9a et 9b**).



Figure 7 : Dispositif d'essai pour la compression simple

Essai de traction : La résistance à la traction des matériaux est généralement faible. Les ouvrages en terre sont disposés à travailler uniquement à l'effort de compression. Cette mesure est rare, mais pour des nécessités, elle est déterminée par des essais indirects tels que la flexion trois points sur les éprouvettes prismatiques et l'essai brésilien (ou de fendage) sur les éprouvettes cylindriques. Dans ce travail de recherche, l'essai brésilien est utilisé pour déterminer la résistance à la traction. L'équipement utilisé pour la

mesure de la résistance à la traction est le même que celui de la résistance en compression. L'essai s'effectue sur un échantillon de section transversale circulaire et comprimé suivant deux plateaux diamétralement opposés. L'éprouvette est centrée sur le piston inférieur mobile. A l'aide du volant ce dernier monte avec l'échantillon jusqu'au contact avec le piston supérieur. L'écrasement de ce dernier est effectif lorsque l'aiguille du comparateur de force repart à 0. La valeur de la résistance à la traction est donnée par la **Formule 3** et le dispositif est illustré par la **Figure 8**.

$$\sigma_t = \frac{2.F_{tmax}}{\pi.D.H} \quad (3)$$

avec, σ_t (MPa) : la résistance à la traction ; F_{tmax} (N) : effort maximal de traction ; D (mm) : diamètre de l'éprouvette ; H (mm) : hauteur de l'éprouvette.



Figure 8 : Dispositif d'essai pour traction simple (essai brésilien)

3. Résultats et discussion

Les résultats des propriétés physiques de l'argile de Ndjamena récapitulés dans le **Tableau 1** montrent que le poids spécifique est très faible par rapport aux autres matériaux de construction. Cette faible valeur est due au fait que l'argile de N'Djamena contient un pourcentage élevé de pores. Cette porosité affecte négativement les valeurs des caractéristiques mécaniques et plus particulièrement la résistance à la traction. A travers les résultats obtenus, nous constatons que l'argile de Ndjamena stabilisée par la gomme arabique donne des valeurs satisfaisantes pour la résistance à la compression. Par exemple l'argile stabilisée à 2 % de gomme arabique, donne une augmentation de 65 % pour sa résistance à la compression simple par rapport à l'argile non stabilisée. A 5 % de gomme arabique, nous avons une augmentation de 116 % et à 7 % de gomme arabique, la résistance augmente de 222 % (**Figure 9a**). Nos résultats de la résistance à la compression qui varient de 1,67 à 3,25 MPa sont dans les mêmes plages que les résultats obtenus sur les latérites de Burkina Faso qui sont de 1,5 à 5 MPa [22] et sur les latérites indiennes qui varient de 0,5 à 3 MPa [17, 18].

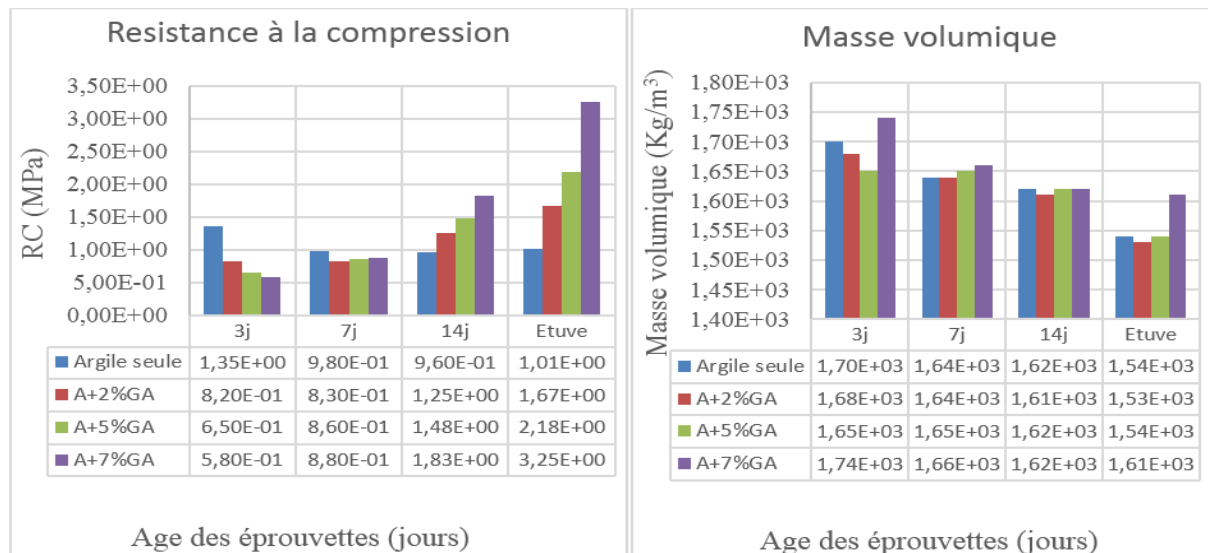


Figure 9 : a) Résistances à la compression

b) Masses volumiques

D'autres résultats rapportés par [22] sont obtenus sur des matériaux de construction utilisés en Turquie. Il s'agit des pierres naturelles utilisées dans les constructions d'habitats (2,03 à 10,4 MPa) [20], les ignimbrites (1,6 à 2,8 MPa) [15]. Et enfin des résultats à la compression sur des BTC (brique des terres comprimées) et des échantillons cylindriques, stabilisés à 4 % de ciment et non stabilisés, rapportés par Abalo P'KLA [9] sont présentés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Résistance à la compression des BTC et terre brute

	ENTPE (RC en MPa)			Maroc (RC en MPa)		
	BTC	ENTPE	Cylindre	BTC	ENTPE	Cylindre
Terre brute	2,07	1,2	1,25	1,54	2,15	2,67
Terre + 4 % de ciment	4,76	2,71	3,10	1,80	2,74	3,94

La résistance à la traction des matériaux de construction est généralement faible. Elle varie de 1,6 à 2,01 MPa pour le béton. Les autres matériaux dépassent rarement 1,5 MPa, en dehors de l'acier qui donne une résistance à la traction assez élevée, de l'ordre de 215 à 435 MPa selon sa nuance. L'argile de N'Djamena donne des résultats très faibles malgré sa stabilisation par la gomme arabique. Les valeurs de résistance en traction varient de 0.1 à 0.25 MPa. Toutefois, ces valeurs sont dans les mêmes plages que les valeurs de résistance en traction obtenues par quelques pays. Il s'agit de la nouvelle Zélande qui impose que la plus faible des résistances à la flexion mesurées sur 5 échantillons soit supérieure à 0,25 MPa. Plusieurs normes telles que la norme Australienne considère une résistance à la traction nulle pour la terre par absence d'essais. Quant à la nouvelle Zélande, la norme propose une valeur de 0,1 MPa pour la résistance à la traction ou de déduire à partir de la résistance à la compression en l'absence d'essais [13]. Les valeurs de module de Young obtenues dans ce travail de recherche varient entre 0.47 à 0.93 GPa. Nous constatons que le module de Young croît avec le taux de gomme arabique. Dans l'ensemble, ces valeurs sont modestes, mais elles sont supérieures aux résultats obtenus par A.LAWANE sur des blocs de latérites stabilisés utilisés dans la construction (0.25 à 0.28 GPa) [22]. Par ailleurs, nos résultats sont dans le même ordre de grandeur que ceux obtenus par [25] dans leurs travaux relatifs à la stabilisation de la latérite de Cameroun à différents pourcentages de ciment, ils varient de 0,35 à 0,79 MPa. Les résultats mécaniques sont présentés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Résultats des caractéristiques mécaniques

	100 % Argile	98 % Argile + 2 % GA	95 % Argile + 5 % GA	93 % Argile + 7 % GA
Masses (kg)	1.631	1.612	1.632	1.743
Masse volumique (kg / m ³)	1.54 .10 ³	1.53.10 ³	1.54.10 ³	1.61.10 ³
F _c (kN)	8.17	13.50	17.67	26.54
F _t (kN)	2	2.80	3.9	4.7
σ _c (MPa)	1.01	1.67	2.18	3.25
σ _t (MPa)	0.1	0.15	0.21	0.25
E (MPa)	472	520	647	927

- F_c : force de rupture en compression ;
- F_t : force de rupture en traction ;
- σ_c : la résistance en compression ;
- σ_t : la résistance en traction;
- E : module de Young.

Les résultats obtenus dans ce travail de recherche suscitent l'intérêt de s'orienter vers les matériaux locaux tels que l'argile et la gomme arabique. Par ailleurs, comme les autres biomasses, la gomme arabique contient du sucre (voir les résultats de l'analyse chimique dans le **Tableau 2**) et ceci a un effet néfaste sur la prise et le durcissement des composites cimentaires. Plusieurs chercheurs ont mis en évidence le problème de sucre dans le composite cimentaire. Entre autres, [10, 12] ont testé l'influence du sucre sur la prise et le durcissement des composites cimentaires et ont trouvé que le sucre retarde la prise et le durcissement. Les résultats obtenus montrent que plus le pourcentage de la gomme arabique est élevé, moins le durcissement est lent, c'est pourquoi à 3 jours de séchage, la résistance du mélange à 7 % de gomme arabique est très modeste. Elle commence le durcissement qu'à partir du 14^e jour (**Figure 8a**).

4. Conclusion

Les différentes caractérisations ont permis de classer notre argile qui est de type : « Argile peu plastique ». Les résultats obtenus dans ce travail par les essais mécaniques sont suffisants pour justifier son utilisation dans la construction. La stabilisation de l'argile par la gomme arabique donne des résultats satisfaisants en compression. Par ailleurs, le sucre contenu dans la gomme arabique est à l'origine du retard de prise et de durcissement du composite cimentaire. En effet, la gomme arabique peut être utilisée à un faible taux, par exemple, à 7 % de gomme arabique où le durcissement se fait sentir à partir de 14^e jours d'âge, ou bien prévoir un moyen de séchage à faible impact environnemental.

Références

- [1] - B. DABIN « rapport de synthèse », Inspecteur général de Recherche de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer (ORSTOM), 198 pages, (1969) 35 - 36
- [2] - NF P 94-054 : détermination de la masse volumique des particules solides des sols ; méthode du pycnomètre à eau, (1991)
- [3] - NF P 94-057 ; Analyse granulométrique des sols : méthode par sédimentation, (1992)
- [4] - NF P 94-052-1 : Limite d'Atterberg ; limite de liquidité à la coupelle-limite de plasticité au rouleau, (1993)

- [5] - H. HOUBEN, H. GUILLAUD, *Earth construction*, Intermediate Technology publications, London, (1994)
- [6] - NF P 94-050 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux, (1995)
- [7] - NF P 94-056 : Analyse granulométrique ; méthode par tamisage à sec après lavage, (1996)
- [8] - NF P 93-093 : Mesure sur des échantillons compactés dans le moule de Proctor Normal
- [9] - A. P'KLA, *Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (BTC) : application aux maçonneries « BTC-mortier terre »*, Volume 234 pages, (2002) 33 - 34
- [10] - G. JUENGER M. C, H. M. JENNINGS, *New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes*, *Cement and Concrete Research*, 32 (2002) 393 - 399
- [11] - *Toward a sustainable cement industry* Publication of World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (mars 2002)
- [12] - K. BILBA, M. A. ARSENE, A. OUENSANGA, *Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composites*, *Cement and Concrete Composites*, 25 (2003) 91 - 96
- [13] - V. MANIATIDIS, P. J. WALKER, *A review of rammed earth construction. Report for DTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing'. Natural Building Technology Group, University of Bath, Bath, (2003)*
- [14] - 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)
- [15] - F. ÖNER, S. TÜRKMEN, A. ÖZBEK, T. KARAKAYA, «*Engineering properties of HInls ignimbrites and their usability as a building stone (Erzurum, Turkey)* », *Environ Geol*, Springer-Verlag, 50 (2006) 275 - 284
- [16] - 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 de ~). GIEC, Genève, Suisse, 103 p.
- [17] - A. K. KASTHURBA, M. SANTHANAM, «*A Re-look into the Code Specifications for the Strength Evaluation of Laterite Stone Blocks for Masonry Purposes*», *Journal of The Institution of Engineers (India)*, Kolkata, Vol. 86, (April 2005) 1 - 6 p.
- [18] - A. K. KASTHURBA, M. SANTHANAM, M. S. MATHEWS, «*Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala state, SW India - Part 1 : Field studies and profile characterisation*», *Construction and Building Materials* 21, Elsevier, (2007) 73 - 82
- [19] - A. M. BRANDT, «*Fiber reinforced cement-based (FRC) composites after 40 years of development in building and civil engineering*» *Composite Structures*, Vol. 86, (2008) 3 - 9
- [20] - I. DINÇER, A. ACAR, S. URAL, «*Estimation of strength and deformation properties of Quaternary caliche deposits*», *Bull EngGeol Environ*, Springer-Verlag, 67 (2008) 353 - 366
- [21] - *Cement Industry Energy and CO₂ performance "Getting the numbers right"* Publication of World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (30 juin 2009)
- [22] - A. LAWANE, R. VINAI, A. PANTET, J. H. THOMASSIN, «*Characterization of laterite stone as building material in Burkina Faso*», *Journee Scientifique ZIE*, (6 Avril 2011)
- [23] - F. BESSE, D. ALRARI, M. GAUTHIER, A. GAELLE, «*synthèse des études thématiques sur la foresterie urbaine et périurbaine de Ndjamen* », Vol. 117, (2012)
- [24] - R. K. BOZABE, C. A. TOUKOUROU, G. A. GBAGUIDI et M. N. HOUNKONNOU, «*Article scientifique sur des caractéristiques physico-mécaniques des tuiles en micro-béton fabriquées localement à base de la gomme arabique* », *Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi*, 4-5, Vol. 15, (2013)
- [25] - EMMANUEL MENGUE, HUSSEIN MROUEH, LAURENT LANCELOT et ROBERT MEDJO EKO, *Dimensionnement d'une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à différents dosages*, 33^{èms} Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, Anglet, 27 au 29 mai 2015
- [26] - A. GUILAUME-GENTIL, S. GAYI, Y. ZHAN, D. BOGLIO et B. MILICEVIC, *Fonds de la CNUCED pour l'information sur les marchés des produits de base agricoles New York*, Vol. 15, (2016)