

Étude expérimentale de la formulation de mortier à base de sable silteux du Togo et de liant de sachets plastiques type « voltic »

Kossi Bollanigni AMEY^{1*}, Kouma NEGLO¹, Ouro -Djoko SAMAH²,
Agbéko Yaovi KOUTO³ et Abalo P'KLA¹

¹Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs (ENSI) de l'Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo

²Centre de la Construction et du Logement (CCL), BP 1762, Lomé, Togo

³Institut Universitaire de Formation Technique (FORMATEC), Lomé, Togo

* Correspondance, courriel : ameykoss3@yahoo.fr

Résumé

La présente étude est destinée à valoriser les déchets plastiques par la recherche d'une formule optimale de mortier à base de sable silteux du Togo et de sachets plastiques fondus du type « voltic » offrant des propriétés mécaniques optimales. Trente six (36) échantillons de mortier à base de mélange de sable silteux et de liant de sachets plastiques à des dosages variant de 7% à 28% ont été préparés et soumis aux essais physiques et mécaniques après imbibition ou non dans de l'eau. Il ressort des résultats que le dosage en liant de sachets plastiques offrant de résistance optimale en compression (σ_c), au fendage (τ_d), en traction par flexion (σ_f) et par fendage (σ_d) varie de 16% à 22% avec des résistances à la rupture respectives d'environ 10,3 MPa (à 22%), 2,2 MPa (à 16%), 5,3 MPa (à 18%) et 1,4 MPa (à 16%). Le matériau présente des modules d'élasticité en compression (E_c), en flexion (E_f) et au fendage (G_d) respectivement d'environ 3 800 MPa, 700 MPa et 60 MPa pour des taux de liants de 22%. Pour de faibles taux de liants (8 à 10%), la densité du mortier et son absorption d'eau (en masse) sont optimales (respectivement de 1,95% et 0,29%). Cette absorption d'eau est nulle pour les teneurs en liant supérieures à 18% montrant le comportement étanche des mortiers. Les mortiers peuvent donc être utilisés pour les travaux de pavages, d'étanchement des toitures et de murs pour des taux de liants compris entre 18 à 22%.

Mots-clés : mortier, sachets plastiques, sable silteux, eau, propriétés physico-mécaniques.

Abstract

Experimental study of the formulation of basic mortar of siliceous sand in Togo and binder of plastic bags of the kind "voltic"

This article aims at valorizing plastic wastes by searching for an optimal formula of basic mortar from siliceous sand in Togo and molten plastic bags of the kind "voltic" providing optimal mechanic properties. Thirty-six (36) samples of mortar made up of a mixture of siliceous sand and binder of plastic bags at different mixtures of 7% to 28% have been prepared and tested physically and mechanically after imbibition in water or outside water.

It emerges from the results that the binder mixture of plastic bags providing optimal resistance in compression (σ_c), in splitting (τ_d) in traction by flexion (σ_f) and in traction by splitting (σ_d) varies from 16% to 22% with resistances to a respective breaking of about 10.3 MPa (at 22%), 2.2 MPa (at 16%), 5.3 MPa (at 18%) and 1.4 MPa (at 16%). The material has modules of elasticity in compression (E_c), in flexion (E_f), and in splitting (G_d) respectively at about 3, 800 MPa, 700 MPa and 60 MPa for binder rates of 22%. For low binder rates of (8 to 10%), the density of mortar and its absorption of water (in mass) are optima (respectively of 1.95% and 0.29%). This absorption of water is null for contents in binder beyond 18% indicating the water-resistant characteristics of the mortars. The mortars can then be used in the cobbling works and waterproof works on roofs and walls for the rate of binders between 18 and 22%

Keywords : *mortar, plastic bags, siliceous sand, water, physio-mechanic properties.*

1. Introduction

L'ensemble des objets en plastique mondial représente aujourd'hui 4% de l'utilisation du pétrole ; quant à l'emballage plastique, il en représente 1,5%. Les emballages ménagers représentent environ 20% du poids des ordures ménagères [1]. La gestion de leur fin de vie est de plusieurs manières: valorisation matière, valorisation énergétique et valorisation organique par compostage et biodégradation. Au Togo, les sachets plastiques d'emballage des eaux vendues communément appelées « pure water » sont l'un des plus répandus. Plusieurs sociétés produisent ces eaux qui sont consommées sur tout le territoire togolais. Après consommation, les sachets deviennent des produits « hors usages » et se retrouvent dans les rues et dans les dépotoirs sauvages etc.; alors qu'ils sont non biodégradables et donc source de pollution, d'insalubrité, de danger pour les animaux. Leur combustion provoque aussi l'acidification de l'atmosphère et des oxydations photochimiques. Pour faire face à ce fléau, l'état Togolais, par un arrêté, a interdit l'importation et l'utilisation de ces sachets non biodégradables. Mais fort est de constater que cet arrêté n'est pas suivi d'effet. La question qu'on peut se poser est de savoir « pourquoi ne pas valoriser ces sachets plastiques « hors usage » par leur utilisation dans le génie civil ? ».

Au Togo le béton composé de gravier, sable, ciment et eau est le matériau le plus utilisé dans les constructions. Parmi ses composantes, le sable est le plus utilisé car il intervient dans les mortiers des murs et dans les ouvrages en béton armé des bâtiments, route, pont etc. Le sable silteux disponible sur tout le territoire togolais à l'état naturel [2] est le plus utilisé. La combinaison des sables silteux et des sachets plastiques, tous disponibles sur tout le territoire togolais réduirait les problèmes que provoquent les sachets plastiques « hors usage » et aussi contribuerait à la réduction de la pauvreté en offrant de meilleures conditions de vie à la population togolaise à travers les ouvrages qui seront réalisés par ces produits. Ce travail consiste à rechercher une formulation de mortier à base de sable silteux et de liants de sachets plastiques fondus permettant d'avoir des résistances en compression, flexion et fendage optimales et de déterminer les modules élastiques du produit. Ce qui permettra de produire des revêtements, pavés, produits d'étanchéité, des murs dans les ouvrages de génie civil.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Les matières premières et le matériel suivants sont utilisés pour cette étude :

- du sable silteux prélevé sur le site d'extraction d'Aképe- Idavé situé à 20 km au Nord-Ouest de Lomé sur la nationale N° 2 (**Figure 1**);
- des sachets plastiques en polyéthylène (PE) [2] d'emballage de l'eau de type « pure water » et de la marque « voltic » produit au Togo (**Figure 2**);
- l'eau de la société « Togolaise des eaux » (TdE) du Togo;
- un mini malaxeur à enrobé de marque HOBART pour la fusion des sachets plastiques (**Figure 2a**);
- une balance électronique de marque SILVERCREST, de charge maximale 5000 g et de précision 1 g ;
- une machine à secouer les éprouvettes de l'essai d'équivalent de sable de marque LABOTEST de 90 cycles en 30 secondes à arrêt automatique;
- une série normalisée de tamis AFNOR d'ouvertures (mm) : 0,08- 0,1-0,125-0,16-0,2-0,25-0,315- 0,4-0,5-0,63-0,8-1-1,25-1,6 et 2;
- des moules prismatiques de dimensions 4cmx4cmx16cm ;
- un appareil à secouer les éprouvettes cylindriques 4cmx4cmx16cm de marque CEM à 1400 tours la minute (**Figure 3b**);
- une mini presse de marque PERIER, de charge maximale 300 kN et de précision 0,5 kN avec les cellules de compression, flexion et de fendage (**Figure 4**);
- une cuve à eau ;
- un tube transparent pour la mesure de densité absolue ;

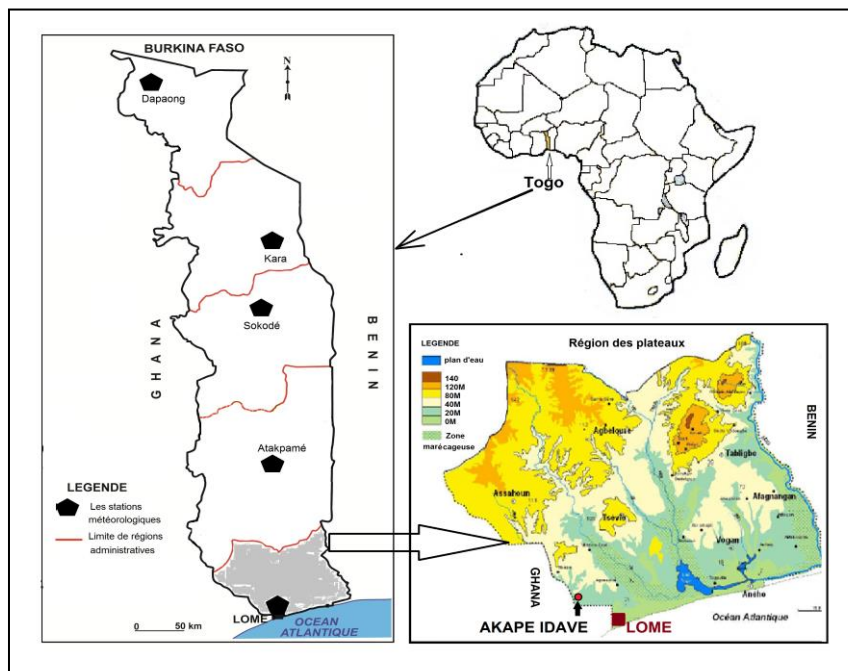


Figure 1 : Localisation des zones de prélèvement des matériaux



Figure 2 : Sachets « pure water » de marque « voltic » du Togo

2-2. Méthode

Les sachets plastiques sont collectés dans des ménages à Lomé, ils subissent ensuite la fusion dans le système « cuve-chauffante » du mini-malaxeur à enrobé de marque HOBART. Le produit obtenu a subi l'essai de densité par la méthode de déplacement de liquide. Des essais de densités apparente, absolue, de détermination de propreté et de tamisage sont faits sur les sables silteux prélevés dans la carrière de Aképé-Idavé conformément aux normes NF EN [4-8]. Les produits issus de la fusion des sachets sont pesés à des proportions de 7% et 8% à 28% à des pas de 2% de la masse du sable silteux. Les différentes masses de liants préalablement fondus sont malaxés avec les sables dans le mini malaxeur à enrobé (**Figure 3a**). Les matériaux composites faits de liant de sachets fondus et de sable silteux sont ensuite moulés dans les moules 4cmx4cmx16cm puis vibrés à partir de l'appareil à secousses (**Figure 3b**).

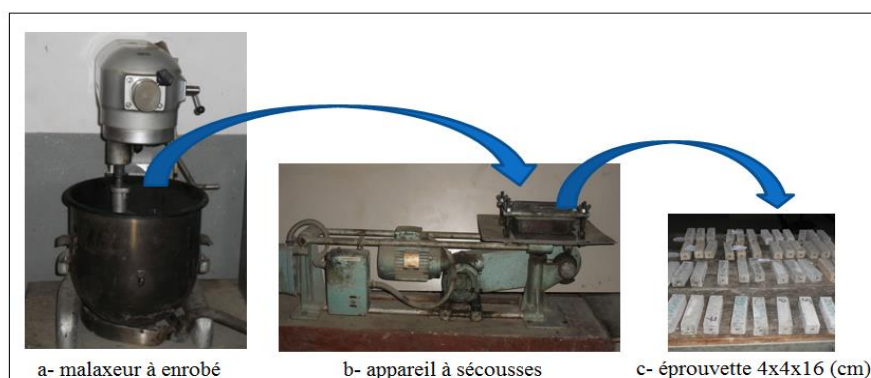


Figure 3 : Dispositif expérimental de préparation des éprouvettes

Les produits obtenus, à des taux de liants de 7% à 28% et démoulés après 24 h, sont soumis aux essais mécaniques sur la presse de marque PERIER (**Figure 4**) pour la détermination des résistances dont les lectures des forces appliquées se font sur un cadran et des déformations à partir d'un comparateur. Les conditions d'essais sont données de la façon suivante :

- pour les mesures de flexion, 36 éprouvettes de dimensions 4cmx4cmx16cm sont soumises à l'essai de flexion trois points (**Figure 4a**); la déformation est mesurée à mi- portée ;

La contrainte de flexion σ_f est donnée par l'expression [9]:

$$\sigma_f = \frac{M}{I} y \quad (1)$$

Avec M le moment de flexion, I le moment d'inertie et y la position de la fibre la plus tendue.

Pour notre expérience $M = \frac{PL}{4}$; $I = \frac{a^4}{12}$ et $y = \frac{a}{2}$; ainsi l'expression (1) devient :

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2a^3} \quad (2)$$

où P est la charge appliquée, L la distance entre les deux appuis ($L=100$ cm) et a la dimension de l'éprouvette ($a=4$ cm).

Quant à la flèche (Δ_f), son expression est donnée par [10]:

$$\Delta_f = \frac{PL^3}{48E_f I} \quad (3)$$

d'où l'expression du module d'élasticité (E_f) donnée par [4]:

$$E_f = \frac{PL^3}{4\Delta_f a^4} \quad (4)$$

Les paramètres de ces expressions sont définis comme précédemment.

- les moitiés des demi-éprouvettes (36) obtenues à l'issue de l'essai de flexion sont soumis à l'essai de compressions sur les faces 4cmx4cm ; la force de rupture à la compression ainsi que le raccourcissement de l'éprouvette sont mesurés ;

En considérant les éprouvettes dont les faces chargées sont carrées de coté « a », les expressions de la contrainte (σ_c) et du raccourcissement (Δ_c) sont données par [9]:

$$\sigma_c = \frac{P}{a^2} \quad (5)$$

$$\Delta_c = \frac{P}{E_c a} \quad (6)$$

- les secondes demi-éprouvettes (36) ont subi l'essai de fendage sur un contact linéaire de 4cm sur les deux faces opposées ; la charge de rupture au fendage et la déformation verticale de l'éprouvette sont mesurées ;

L'expression de la contrainte de traction par fendage (σ_d) est donnée par [11]:

$$\sigma_d = \frac{2P}{\pi a D} \quad (7)$$

Quant aux expressions de la contrainte de cisaillement (τ_d) et de la déformation de cisaillement γ_d par fendage, elles sont données par :

$$\tau_d = \frac{P}{A} = G_d \gamma \quad \gamma = \frac{\Delta_d}{a} \quad (8)$$

d'où l'expression du module d'élasticité de fendage (G_d) donnée par :

$$G_d = \frac{P}{a\Delta_d} \quad (9)$$

avec P la charge appliquée, a la longueur linéairement chargée ($a=4 \text{ cm}$), D la distance entre les deux charges verticales ($D=a=4 \text{ cm}$) et A la section chargée.

D'autres éprouvettes (36) de taux de liants variant de 7% à 28% sont imbibées dans une cuve d'eau et leurs masses mesurées chaque 24 h jusqu'à une masse constante. La teneur en eau (w) est calculée par l'expression :

$$w = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (10)$$

avec m_f et m_i respectivement la masse finale après absorption d'eau et la masse initiale avant immersion dans l'eau.

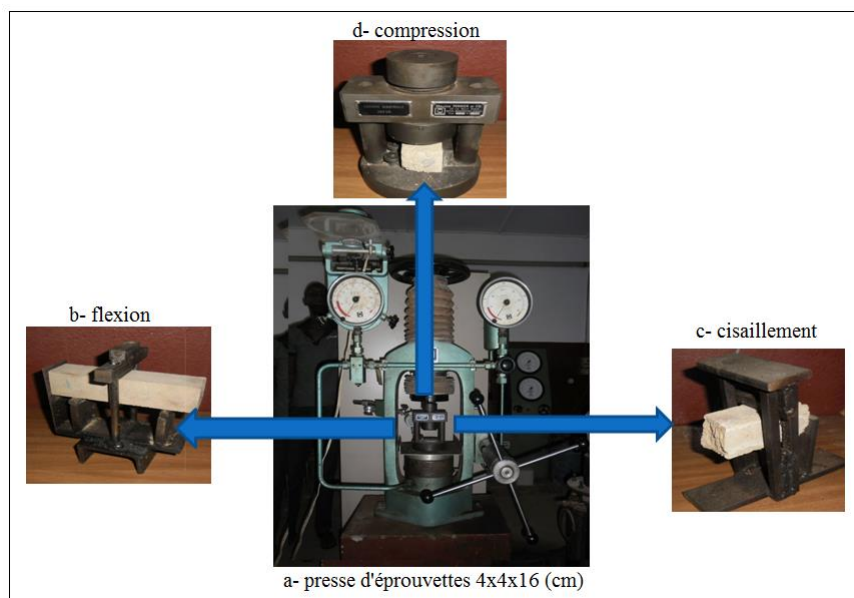


Figure 4 : Dispositif expérimental de détermination de propriétés mécaniques

3. Résultats

3-1. Caractéristiques des matériaux

Le *Tableau 1* et la *Figure 5* donnent les résultats des essais d'identification du sable et des sachets plastiques utilisés.

Tableau 1 : Caractéristiques du sable et des sachets plastiques

Matériaux	Sable silteux				
Paramètres	Sachet plastique	Densité apparente	Densité absolue	Equivalent de sable (ES)	Module de finesse (Mf)
Grandeur	0,89	1,60	2,63	52	1,80

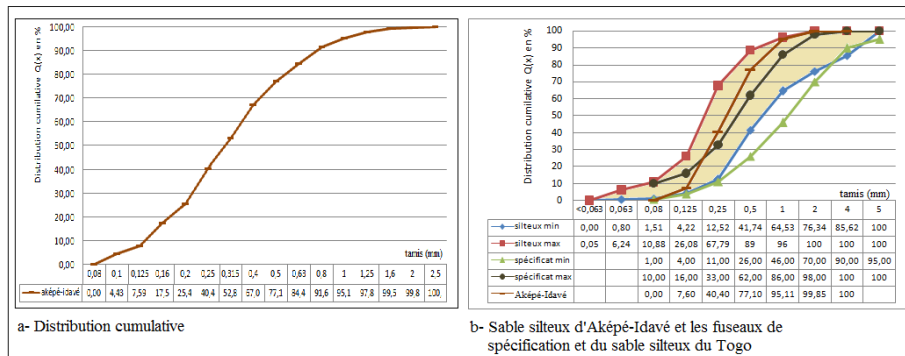


Figure 5 : Distribution granulométrique du sable utilisé

Ces résultats montrent que le sable silteux utilisé est un sable très fin et argileux. Les propriétés de ce sable sont conformes aux comportements globaux des sables silteux au Togo [3]. Ce sable a les propriétés des sables non autorisés pour les bétons hydrauliques si la résistance est recherchée; aussi ces bétons sont sujets de retrait ou de gonflement [12-14]. Le sable a une densité absolue forte de 2,63 par rapport à celle du liant de sachets fondus qui n'est que de 0,89.

3-2. Formule de mortier

Les résultats de détermination des densités et des résistances et déformations en compression, flexion et fendage et du comportement à l'eau sont illustrés par les figures 6 à 10. Ces résultats sont basés sur la moyenne de 3 mesures effectuées sur 3 échantillons différents.

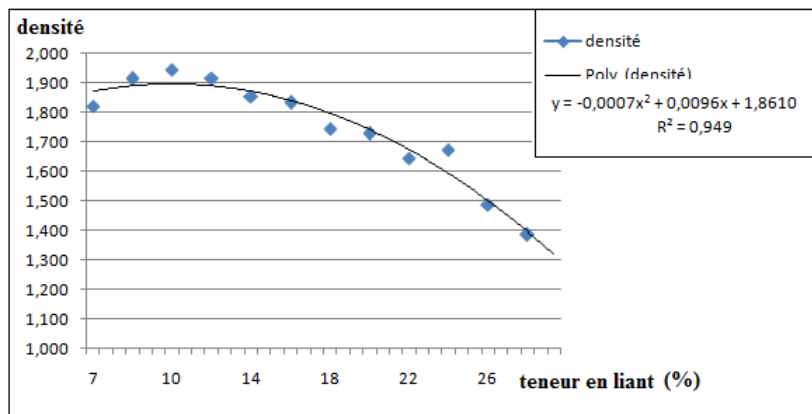


Figure 6 : Variation de la densité en fonction de la teneur en liant

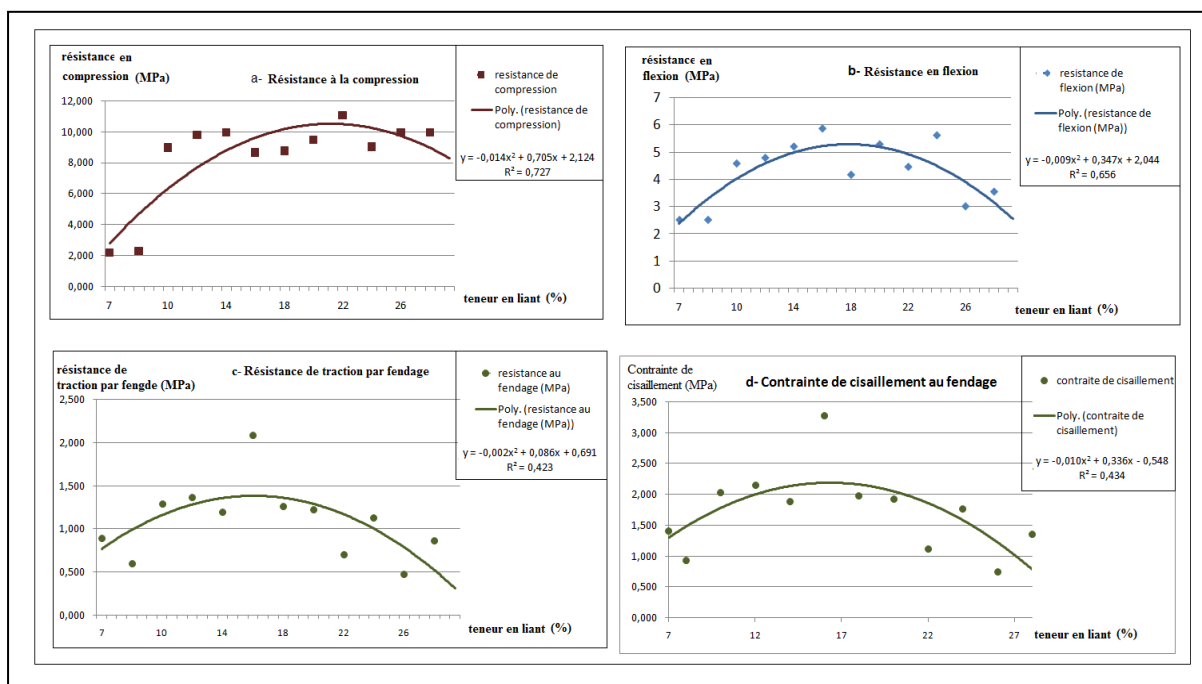


Figure 7 : Résistance en fonction de la teneur en liant

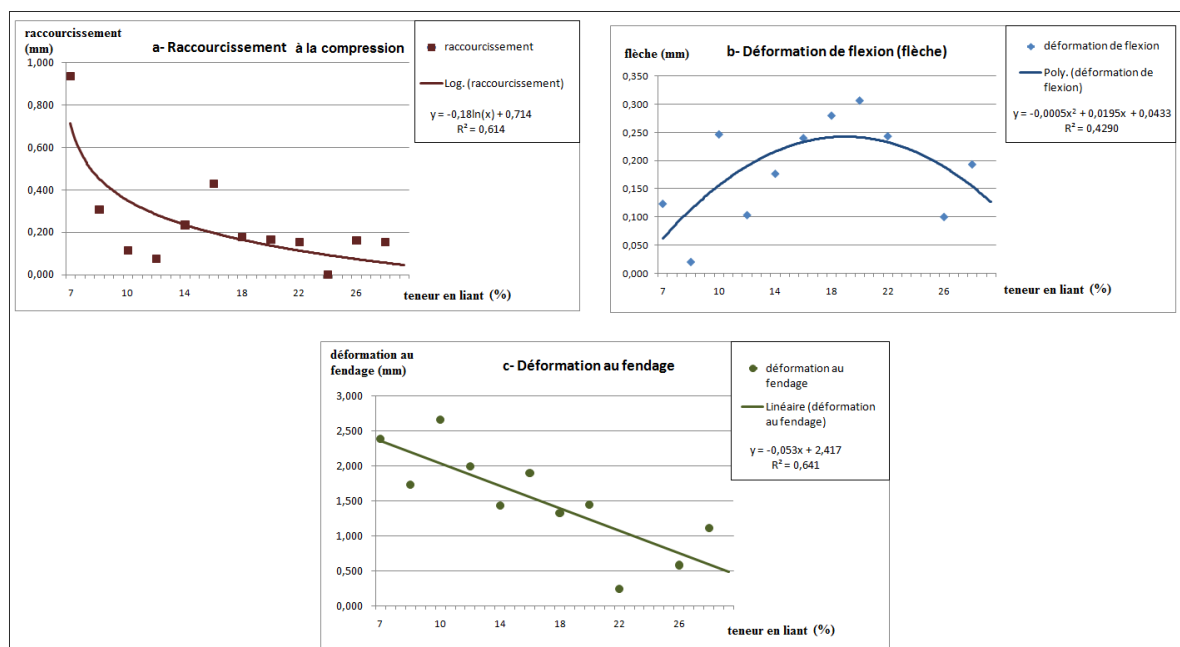


Figure 8 : Déformations en fonction de la teneur en liant

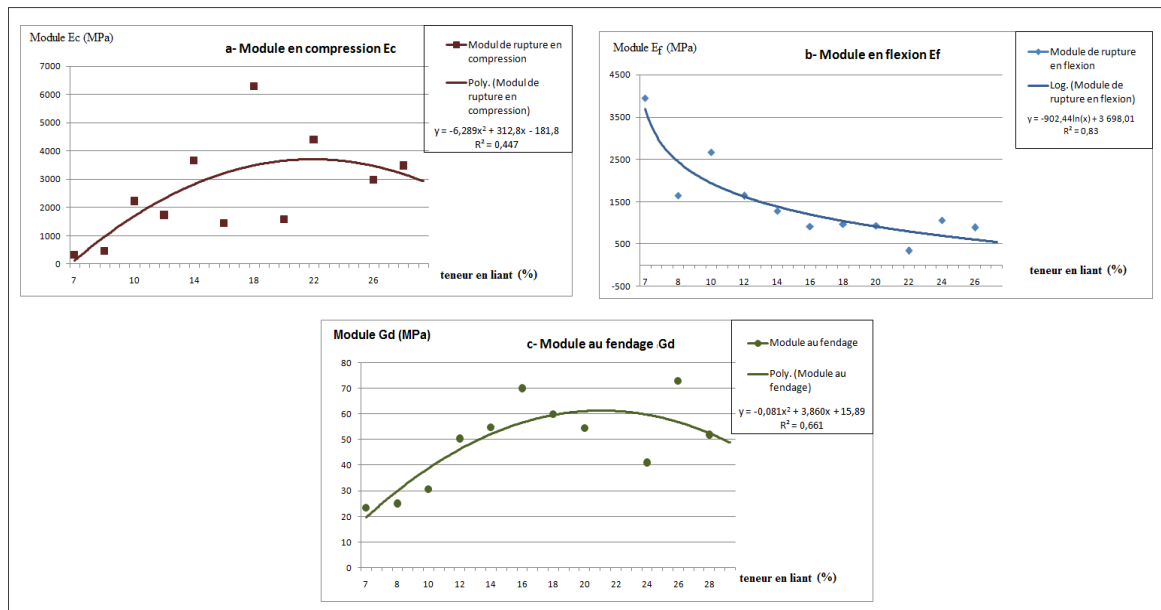


Figure 9 : Module d'élasticité en fonction de la teneur en liant

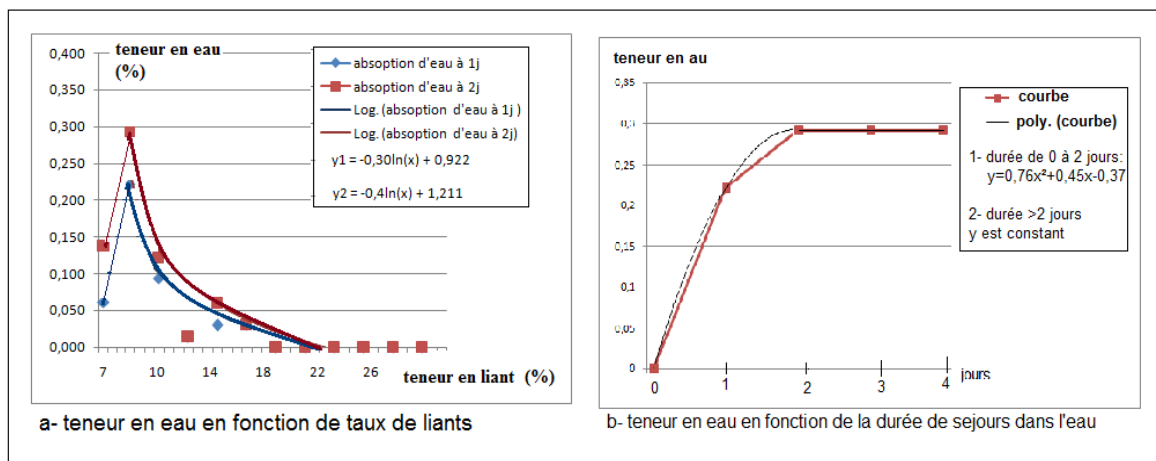


Figure 10 : Absorption d'eau

Il ressort du tableau 1 et des **Figures 6 à 10** que :

- la densité des éprouvettes croît pour des teneurs en liant inférieures à 10% et décroît pour des valeurs supérieures à cette valeur 10% avec un optimum de 1,9 (**Figure 6**). La croissance pour des teneurs en deçà de 10% serait due à une amélioration de compacité du mélange des deux matériaux liant et sable. Quand à la décroissance au delà de 10%, elle pourrait se justifier par la faible proportion de sable qui a une densité plus importante (2,63) que celle du liant (0,89). L'équation issue de cette expérimentation et le coefficient de détermination obtenus par les fonctions de « Excel » sont données par :

$$y_d = 0,0007l^2 + 0,0096l + 1,8610 \quad (11a)$$

$$R^2 = 0,9497 \quad (11b)$$

avec y_d la densité de produit, l sa teneur en liant en % et R^2 le coefficient de détermination.

- les contraintes normales en compression, traction par flexion et par fendage et celles de cisaillement par fendage sont croissantes et décroissantes ensuite, avec des optima respectivement pour des teneurs en liant de 22% (~10,3 MPa), 18% (~5,3 MPa), 16% (~1,4 MPa) et 2,2 MPa (à 16%) (**Figure 7**). La croissance suivie de décroissance peuvent s'expliquer respectivement par l'insuffisance de liant pour enrober les granulats et le surplus de liant occasionnant la non participation efficace des granulats qui sont l'un des facteurs de la résistance des bétons.
- la flèche présente une croissance entre les teneurs en liant de 7% à 20% et une décroissance pour des teneurs supérieures à 20% avec une déformation maximale d'environ 2,2 mm; ce qui montre que le matériau est d'une élasticité élevée en traction à ce taux de liant; contrairement à la flèche, la déformation en compression présente une décroissance logarithmique avec l'augmentation du taux de liants (de 7 à 28%); quant à la déformation par fendage, elle est décroissante linéairement entre la teneur en liant de 7% à 28% (**Figure 8**). Ces résultats montrent que le matériau a un comportement différent en traction qu'en compression;
- le module d'élasticité longitudinal en compression et celui transversal de fendage deviennent de plus en plus élevés entre une teneur en liant de 7% et 22% et décroissent ensuite à partir de 22% avec des valeurs extrêmes d'environ 3 800 MPa pour la compression et 60 MPa pour le fendage; quant au module en flexion, il présente une décroissance continue à allure logarithmique entre les valeurs 4 000 MPa et 500 MPa avec une valeur comprise entre 1 250 MPa et 550 MPa pour les taux de liants variant de 16 à 22%; (**Figure 9**)
- la capacité d'absorption d'eau des éprouvettes croît linéairement pour des teneurs en liant inférieures à 8%; et décroît de façon logarithmique pour des valeurs supérieures à cette valeur 8% avec des optima d'environ 2,25 % à un jour et 3% à deux jours de séjours dans l'eau (**Figure 10a**); cette absorption d'eau s'effectue en deux jours suivant une fonction polygonale de degré 2 (**Figure 10b**). Les équations qui décrivent l'absorption d'eau en fonction de la teneur en liant et du temps de séjour dans l'eau, obtenues à partir des fonctions de « Excel », sont les suivantes:

- pour l'absorption d'eau en fonction du temps de séjour dans l'eau :

$$y_{ej} = 0,76j^2 + 0,45j - 0,37 \quad \text{et } R^2 = 1 \quad \text{pour } 0 \leq j \leq 2 \quad (12a)$$

$$y_{e2} = y_{ej}(2) \quad \text{et } R^2 = 1 \quad \text{pour } j > 2 \quad (12b)$$

- pour l'absorption d'eau en fonction du taux de liant supérieur à 8%:

$$y_{l1} = 0,4 \ln(l) + 0,922 \quad \text{et } R^2 = 0,876 \quad \text{pour } 1 \text{ jour dans l'eau} \quad (12a)$$

$$y_{l2} = 0,3 \ln(l) + 1,211 \quad \text{et } R^2 = 0,872 \quad \text{pour } 2 \text{ jours dans l'eau} \quad (12a)$$

De ces équations, $y_{(e \text{ ou } j)}$ désigne la teneur en eau à j jours dans l'eau, j le temps de séjour dans l'eau en jours, l le taux de liant et R^2 le coefficient de détermination.

La faible teneur en eau dans les éprouvettes pour des teneurs en deçà de 8% serait due à un défaut de liant dans le mélange, source de porosité élevée du produit. Quand à la décroissance au delà de 8%, elle pourrait se justifier par la proportion croissante du taux de liant rendant le matériau étanche.

4. Discussion

Pour des teneurs faibles de liants, les mortiers manquent de liant pour lier les granulats ; ce qui justifie la faible densité pour des taux de liant de 7 et 8%. Ce comportement est confirmé par la teneur en eau élevée après immersion pour le taux de liant égal à 8%. Par contre la teneur en liant trop faible de 7% a donné des mortiers super poreux ne permettant pas aux éprouvettes de retenir l'eau d'immersion. Quant à la teneur en liant de 10%, le mortier a le minimum de liant pour l'enrobage des granulats ; d'où la densité devient optimale et l'absorption d'eau chute. Au delà de 10% de teneur en liant, on note un excès de liant dans le mortier provoquant une chute de la densité, car le liant est moins dense (0,89) que les granulats (2,63). On observe aussi une chute de l'absorption d'eau qui devient nulle à partir de 18%. L'absorption nulle d'eau par le mortier prouve qu'il est saturé de liant, c'est-à-dire que le liant a obturé tous les ports de mortier ; d'où les propriétés mécaniques optimales à partir de ce taux en liant de 18% : contrainte de rupture en compression, en traction par flexion et par fendage respectivement d'environ 10,3 MPa, 5,3 MPa et 1,4 MPa. Au-delà de 22%, il y a un excès exagéré de liants et la participation des granulats constitués par le sable silteux, à la résistance de produit est réduite ; d'où la chute des propriétés mécaniques.

Les mortiers deviennent plus élastiques donc plus déformables en flexion pour les teneurs en liant élevées. Ceci est confirmé par le module d'élasticité en flexion qui est de plus en plus faible pour de forts taux de liants avec une valeur d'environ 700 MPa pour un taux de liant de 22%. Ce qui n'est pas le cas pour les déformations et les modules d'élasticité en compression et au fendage qui sont de plus en plus élevés pour les teneurs en liants importants avec des extrema en compression et fendage respectivement d'environ 3 800 MPa et 50 MPa à un taux de liant de 22%. Le matériau est donc plus rigide en compression qu'en traction. Contrairement aux matériaux homogènes et isotropes qui ont les mêmes modules d'élasticité, le produit obtenu a deux comportements différents en traction et en compression. Ainsi les modules d'élasticité peuvent être considérés égaux à environ 3 800 MPa en compression, 700 MPa en traction par flexion et 50 MPa en traction par fendage pour un taux de liant 22%.

5. Conclusion

L'objectif de l'étude était de contribuer à la valorisation des sachets plastiques « hors usage » à travers la recherche d'une formule de mortier à base de sable silteux du Togo et des liants de sachets plastiques type « voltic » pour des propriétés mécaniques optimales. Les résultats ont montré que la teneur en liant comprises entre 16 et 22 % permettent d'avoir des résistances optimales à la compression ($\sim 10,3$ MPa), à la traction par flexion ($\sim 5,3$ MPa) et par fendage ($\sim 1,4$ MPa) ; aussi la résistance au cisaillement par fendage est de 2,2 MPa au taux de 16%. Les modules d'élasticité longitudinale (E_c) en compression et transversale (G_c) au fendage sont optima ($\sim 3 800$ MPa et ~ 60 MPa) et celui en flexion (E_f) est d'environ 700 MPa au taux de liant de 22%. Le comportement à l'eau a montré que le matériau devient étanche à partir du taux de liant de 18%. Il peut donc être utilisé dans la production des pavés, des revêtements et des produits d'étanchéité des toitures.

Remerciements

Ce travail ne serait abouti sans l'appui logistique et financier de l'institut universitaire de formation technique « FORMATEC » à qui nous présentons nos sincères remerciements.

Références

- [1] - CONSEIL NATIONAL DE L'EMBALLAGE, « *emballages compostables & matériaux plastiques dits « biodegradables* » issus de ressources renouvelables ; Note de position du Conseil National de l'Emballage, 2009.
- [2] - K. B. AMEY, K. NEGLO, S. TAMBA, A. K. C. JOHNSON, Y. A. KOUTO et E. NAYO, « *Caractérisation physique de sables silteux au Togo* » ; Journal Afrique SCIENCE 10(2) (2014) 53 – 69 ; site « <http://www.afriquescience.info> ».
- [3] - G. DOUBLIE, O. SORGHO, « *Valorisation des déchets de sachets plastiques application dans les villes subsahariennes* », site <http://www.envirobf.org/dossiers-speciaux/14> du 23/12/13, 2009.
- [4] - AFNOR, Normes NF EN 933-1, « *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 : Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage* », 1997, 16p.
- [5] - AFNOR, Normes NF EN 933-2, « *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 2 : Détermination de la granularité – Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures* », 1996, 12p.
- [6] - AFNOR ; Normes NF ISO 9276-1; « *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 1 : Représentation graphique* » ; 1998 ; 13p.
- [7] - B. LEFEU, O. FRANCY, « *Module de finesse d'un sable* », Fiche technique de CERIB, 1999, 2p.
AFNOR, Normes NF EN 933-8, « *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 8 : Evaluation des fines –équivalent de sable* », 1999, 14p.
- [8] - P. AGATI, F. LEROUGE et M. ROSSETTO, « *Résistance des matériaux* », Edition DUNOD, Paris, 2008.
- [9] - A. PICARD, « *Analyse des structures* », Editions Beauchemin Itée , Canada, 1992.
- [10] - T. TAHENNI, « *Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance* », USTHB, Algerie, Mémoire online (2000-2013), 2006.
- [11] - DREUX G. ; « *Nouveau guide de béton* » ; Edition Eyrolles ; Paris ; 329p
- [12] - R. DUPAIN, R. LANCHON, J. C. SAINT-ARROMAN, « *Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire* » , Edition CASTEILLA, Paris, 2004, 235p.
- [13] - AFNOR, Normes NF EN 12620, « *Granulats pour béton* », 2002, 54p.
- [14] - Y. GHERNOUTI et B. RABEHI, « *Béton à base des granulats de déchets des sacs en plastique renforcé de fibres métalliques* », INVACO2 : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION, N° : 10-035 Rabat – Maroc / 23-25, 2011.
- [15] - K. B. AMEY, « *Caractérisation des sédiments sableux du littoral togolais : expérimentation et détermination d'une formule de sable normal* », Thèse de Doctorat unique en science de l'ingénieur, Université de Lomé, 2006, 277p.