

MISE AU POINT ET CARACTERISATION PHYSIQUE ET MECANIQUE D'UN MATERIAU A BASE DU SABLE ARGILEUX LIE PAR DES DECHETS PLASTIQUES FONDUS.

TCHEHOUALI D. A.¹, KOWANOU H.¹, AMEY K. B.², SANYA E. A.¹, TOSSE F.¹

1- Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA) – Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi (EPAC) de l'Université d'Abomey Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou Bénin

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

Corresponding author: 03 BP 3620 Cotonou Tel: +229 95 81 77 20

E-mail: tchehoua@yahoo.fr

(Reçu le 22 Mars 2014 ; Révisé le 10 Août 2014 ; Accepté le 23 Août 2014)

RESUME

Les quantités de plus en plus élevées de déchets plastiques produites dans les villes d'Afrique occidentale posent un problème environnemental majeur en raison du caractère non biodégradable de ces déchets et de l'inexistence de moyens de traitement appropriés. L'une des voies de recyclage de tels déchets passe par leur utilisation dans divers procédés de construction.

La présente étude vise à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques d'un matériau composé du sable, de l'argile et de sachets plastiques fondus. Des variétés du matériau contenant successivement 0%, 10%, 20% et 30% d'argile en remplacement partiel du sable ont été élaborées pour étudier l'influence de l'introduction de l'argile dans le mélange, sur la cinétique de refroidissement et sur les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau. La variété du matériau ne contenant pas d'argile est prise comme variété de référence. Des résultats expérimentaux, il ressort que les variétés contenant de l'argile, se refroidissent plus lentement que la variété de référence. La variété du matériau contenant 30% d'argile s'est révélée 1,5 fois plus résistants en compression que la variété de référence. L'accroissement des résistances en compression est proportionnel au taux d'argile et est encore plus prononcé en ambiance réchauffée. La tendance contraire est observée en ce qui concerne les résistances en traction.

Mots - clés: Déchets plastiques, sable, argile, fusion, résistances mécaniques.

Elaboration and physical and mechanical characterization of a material made from sandy clay and melted plastics waste.

ABSTRACT

The more and more increasing quantities of plastic waste produced in the cities of West Africa constitute a major environmental problem because of the nature of these non- biodegradable wastes and the lack of appropriate processes of treatment. One way to tackle this problem is to use such wastes in various construction processes. This study aims to determine the physical and mechanical properties of a material prepared from the mixture of plastic bags melted, clay and sand. The neat material is constituted of mixture "plastic bags melted and sand only. Varieties of material containing 0%, 10%, 20% and 30% of clay used as partial replacement of sand were elaborated to study the influence of the incorporation of clay in the mixture on the cooling kinetics and on the physical and mechanical properties. Experimental results have shown that the varieties of material containing clay cool more slowly. The variety containing 30% of clay provided 50% higher compressive strengths than control variety. The compressive strengths increase with the content of clay. This tendency is highly observed when the samples were heated and is in opposition with the results in case of splitting tensile strengths.

Keywords: Plastic waste, sand, clay, melting, mechanical strengths.

INTRODUCTION

L'urbanisation effrénée qui s'observe de nos jours dans les sociétés modernes s'accompagne de la production de quantités de plus en plus élevées de déchets solides avec une part importante de déchets plastiques. Les déchets plastiques sont non biodégradables et la gestion qui en est faite dans les pays sub-sahariens en général et au Bénin en particulier pose un problème environnemental majeur. En effet, au Bénin, on se débarrasse de ces déchets en les jetant dans la nature, dans les espaces publics encore inoccupés, en les incinérant ou en les enfouissant tout simplement dans le sol. Heureusement, la littérature mentionne qu'il existe une panoplie de voies de recyclage de ce type de déchets à travers divers procédés de construction. Plus précisément, des travaux de VASUDEVAN *et al.*, (2006), il a été rapporté que des déchets plastiques ont été utilisés pour construire des chaussées souples dans les travaux de routes en Inde. Les investigations menées par ZOOROB *et al.*, (2000) ont abouti aux conclusions selon lesquelles du béton bitumineux contenant des granulats de déchets plastiques partiellement substitués aux granulats naturels a été confectionné avec des caractéristiques satisfaisantes. La littérature a aussi fait état de l'utilisation massive de déchets plastiques pour améliorer les caractéristiques géotechniques des sols (CHOUDHARY *et al.*, 2010), (SOBHAN *et al.*, 2002). Une étude récemment effectuée au Bénin par TCHEHOALI *et al.*, (2012) a rapporté que les résistances mécaniques d'un nouveau matériau élaboré à partir de sachets plastiques fondus et de granulats constitués de sable et de gravillon, ont présenté des résistances mécaniques très faibles. Ces résistances sont d'autant plus faibles que la granulométrie des granulats est grossière. Ces conclusions permettent d'envisager que l'utilisation de granulat très fin pourrait améliorer les caractéristiques mécaniques d'un tel matériau. D'un autre côté, le sable argileux communément appelé terre de barre est un matériau de proximité disponible en abondance et sous utilisé dans la

construction. La présente étude vise à élaborer et à caractériser un matériau constitué de sachets plastiques fondus, de sable et d'argile issus de la terre de barre.

MATERIEL ET METHODE

Matériel

Le matériel utilisé comprend :

- une balance électronique de portée 2500g et pesant à un gramme près;
- trois moules cubiques de dimensions 50x50x50 mm ;
- trois moules cylindriques ayant pour diamètre 50mm et pour hauteur 100mm ; une bouteille transparente, munie de bouchon étanche pour la mesure de densité absolue ou poids spécifique (à l'instar du pycnomètre pour la mesure de la densité absolue du sable) ;
- un enregistreur de température de marque TESTO et pouvant enregistrer de 0° à 1000°C avec 4 sorties ;
- des thermocouples de type K ;
- une série normalisée de tamis AFNOR d'ouvertures (mm) : 0,08- 0,16-0,315- 0,63- 1,25- 2,5- 5, 6,3, et 8 ;
- Une presse hydraulique de marque SATEX, de capacité de 30 000 N opérant à 100 N près ;
- des sachets plastiques de couleur noire, tirés des décharges, lavés à l'eau savonnée, puis soigneusement séchés au soleil ;
- de la terre de barre.

Méthode

La terre de barre est décomposée par tamisage à travers le tamis de 0,08 mm pour obtenir du « sable » et de l' « argile » ; ces deux constituants sont soumis à des essais d'identification à savoir : l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, la densité absolue et l'Equivalent de sable. Le sable et l'argile ainsi obtenus sont mélangés à chaud dans le liquide formé par le fondu de sachets plastiques. Les essais ont porté sur quatre variétés de ce matériau, élaborées en remplaçant partiellement le sable par l'argile au taux pondéral successif de 0%, 10%, 20% et 30%. Les différents matériaux ainsi

obtenus sont désignés respectivement par M_0 , M_{10} , M_{20} et M_{30} .

Le processus d'élaboration comporte une première phase au cours de laquelle le sachet plastique est porté à fusion à 300°C environ et une seconde où s'effectue le mélange granulats-sachets fondus ; il s'en suit un refroidissement - durcissement à l'air libre.

Les différents dosages pondéraux en liants (sachets plastiques fondus) testés sont les suivants :

- Cas de la variété M0 : 20% et 25% ;
- Cas des variétés M10 et M20 : 23% et 27% ;
- Cas de la variété M30 : 26%, 29% et 36%

Des échantillons cubiques et cylindriques ont été confectionnés en utilisant respectivement les moules cubiques de 50 mm x 50 mm x 50 mm et les moules cylindriques de diamètre 50 mm et de hauteur 100 mm. Le démoulage est intervenu aussitôt après refroidissement complet du mélange.

Les densités absolues des variétés d'échantillons sont déterminées par la procédure de pesé déjaugée ; la cinétique de refroidissement est déterminée par mesure de la température faite sur les mélanges des variétés M_0 et M_{30} , toutes les minutes du début à la fin du refroidissement. La cinétique se définit comme étant la chute de température par unité de temps et par unité de masse. Son expression est donnée par la formule (1) :

$$C = \frac{T_i - T_f}{t \cdot m} \quad (1)$$

Où C désigne la Cinétique, T_i la température initiale, T_f la température finale, t le temps et m la masse de l'échantillon.

Les différentes éprouvettes préparées sont soumises à des essais mécaniques tels que :

- des essais de traction par fendage (essais brésilien) pour les éprouvettes cylindriques ;
- des essais de compression centrée pour les éprouvettes cubiques.

Pour évaluer la vulnérabilité supposée du matériau vis-à-vis de la chaleur excessive, face au réchauffement climatique sur la planète terre, l'influence du réchauffement ambiant sur les résistances mécaniques a été mesurée en plaçant, dans un four réglé à 80°C pendant 2h, six (6) éprouvettes cubiques 50 mm x 50 mm x 50 mm et six (6) éprouvettes cylindriques de diamètre 50 mm et de hauteur 100 mm de chaque variété du matériau. Ces éprouvettes ont été ensuite soumises aux essais mécaniques.

Signalons que les différentes mesures se sont effectuées dans une ambiance à température de 31±1°C et à humidité relative de 82±2% sauf la mesure de la vulnérabilité du matériau vis-à-vis de la chaleur.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques des matériaux

Le tableau I et la figure 1 donnent les résultats des essais d'identification sur le sable et l'argile utilisés.

Tableau I : Caractéristiques du sable et argile

Matériaux	Densité apparente	Densité absolue	Equivalent de sable (ES)	Limite d'Atterberg	Module de finesse (Mf)
Sable	1,635	2,071	97	WL=53	1,936
Argile		1,730		WP=31 IP=22	

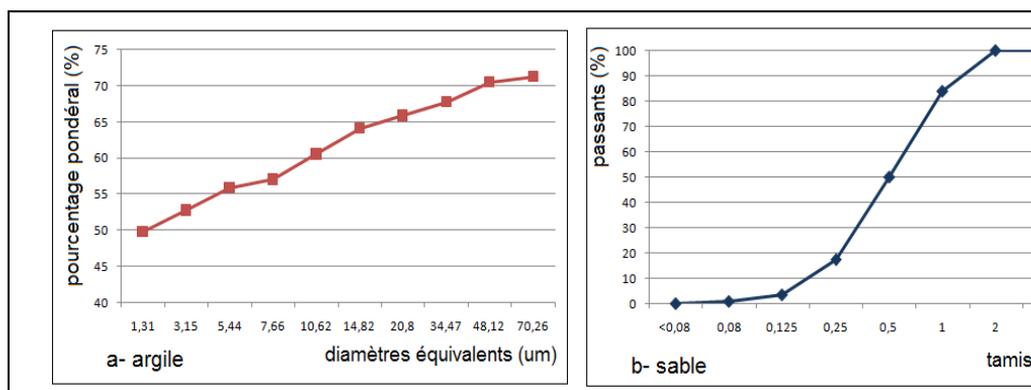


Figure 1 : Courbes granulométriques du sable et de l'argile

Ces résultats montrent d'un côté, que le sable issu de la terre de barre est un sable fin et propre et que, de l'autre côté, l'argile utilisée appartient à la classe des argiles très plastiques.

Optimisation du dosage «liant/granulat»

- Les éprouvettes issues de la variété M₀, élaborée à 25% de liant ont montré un retrait brusque, visible à l'œil nu. Ceci laisse penser à un excès de liant dans le mélange. Par contre, la même variété, élaborée à 20% de liant, présente un aspect acceptable. Ce dernier dosage de 20% sera donc retenu pour la variété M₀.

- Les différentes investigations ont permis d'observer qu'au fur et à mesure que le taux d'argile augmente, le mélange granulats-sable fondu devient moins fluide, ce qui exige une augmentation de la teneur en

liant pour une bonne maniabilité. La variété M₃₀, avec un dosage en liant de 26%, a donné un aspect trop sec et on a noté une incohérence entre les grains ; cela signifie qu'il manque de liant. Par contre, avec un dosage de 36% en liant, l'aspect présenté par les échantillons indique un retrait brusque ce qui signifie par conséquent, qu'il y a une trop grande quantité de liant. Sur la base des différentes observations, le dosage de 29 % en liant est apparu comme le dosage le plus approprié pour la variété M₃₀. De la même manière, les meilleurs dosages en liant identifiés au niveau des variétés M₁₀ et M₂₀ sont respectivement 23 % et 27 %.

Caractéristique des variétés de matériaux

Le tableau II et les figures 2 à 5 donnent les caractéristiques déterminées des différentes variétés du matériau

Tableau II : Caractéristiques des variétés du matériau

Caractéristiques		M ₀	M ₁₀	M ₂₀	M ₃₀
Sable (%)		100	90	80	70
Argile (%)		0	10	20	30
Liant (%)		26	23	27	29
Densité absolue		1,6	1,38	1,26	1,13
échantillons non chauffés	Résistance en traction (fendage) (MPa)	1,9	1,7	1,3	1,1
	Résistance en compression (MPa)	6	8,6	8,7	9
échantillons chauffés	Résistance en traction (fendage) (MPa)	0,44	0,38	0,33	0,28
	Résistance en compression (MPa)	2,66	2,95	3,2	4,51

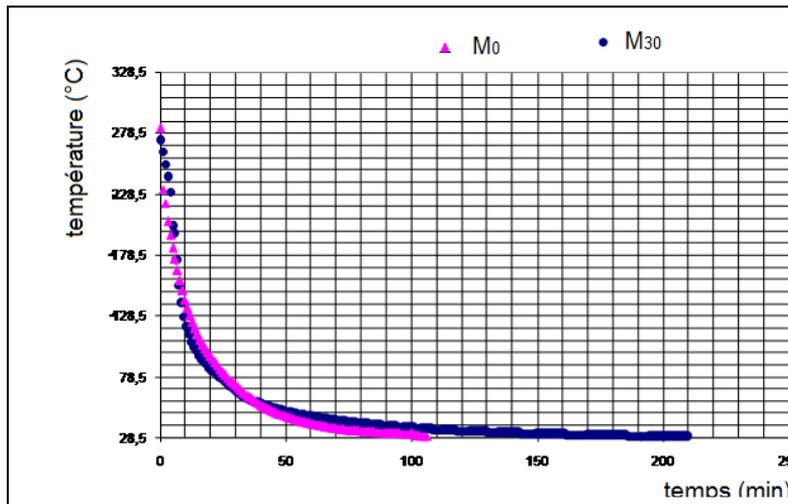


Figure 2: Courbes de refroidissement des variétés du matériau M_0 et M_{30}

De la figure 2, on note que le refroidissement du produit «sachets plastiques fondus - granulat » se fait rapidement en trois phases:

Pour la variété M_0

- Une première phase de 10 min pendant laquelle on a enregistré une baisse de température de 150°C pour un échantillon de 80g soit une très forte cinétique de refroidissement égale à $0,1875^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$.
- Une deuxième phase de 50 min pendant laquelle il a été enregistré une chute de température de 92°C soit une cinétique de refroidissement relativement très faible égale à $0,023^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$.
- Une troisième phase de 40 min pendant laquelle il a été enregistré une chute de température de 10°C soit une cinétique de refroidissement encore plus faible de $0,0031^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$.

Pour la variété M_{30}

Les trois phases se décrivent ainsi:

- une première phase de 10 min pendant laquelle on a enregistré une baisse de température de 160°C pour un échantillon de 80g soit une cinétique de refroidissement égale à $0,20^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$;
- une deuxième phase de 90 min pendant laquelle il a été enregistré une chute de température de 82°C soit une cinétique de refroidissement relativement très faible égale à $0,011^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$;
- une troisième phase de 50 min pendant laquelle il a été enregistré une chute de température de 10°C soit une cinétique de refroidissement de $0,0025^{\circ}\text{C}/\text{mn}/\text{g}$.

Ces résultats ont montré que globalement la variété M_0 , sans argile, se refroidit plus vite (au bout de 100 min au plus) que la variété M_{30} contenant de l'argile qui se refroidit au bout de 150 min.

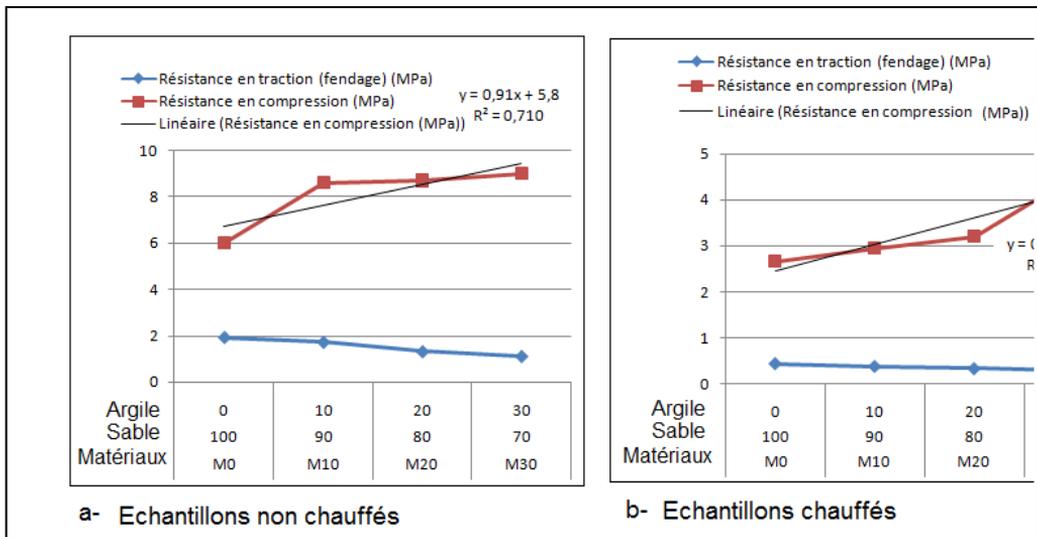


Figure 3: Résistances mécaniques des variétés du matériau en fonction de la teneur en argile

Les valeurs obtenues pour les résistances à la traction par fendage et à la compression démontrent que les résistances en compression évoluent de façon croissante avec l'augmentation du taux d'argile jusqu'à atteindre un accroissement maximum de 50% (voir figure 3) pour la variété M₃₀. La figure 3 montre aussi que, contrairement à l'observation faite dans le cas de la compression, les résistances en traction par fendage décroissent lorsque le taux d'argile augmente. On enregistre une chute de

résistance en traction de plus de 40% avec le matériau M₃₀. Globalement, les valeurs enregistrées montrent que les variétés du matériau «liant-sable-argileux» sont des matériaux de faibles résistances mécaniques (9 MPa en compression environ). Ces valeurs sont largement en-dessous des valeurs courantes enregistrées dans le cas du bois (BENOIT et al., 2009), du béton ou du mortier dont les résistances en compression sont respectivement de l'ordre de 24 MPa, 25 MPa, 15 MPa.

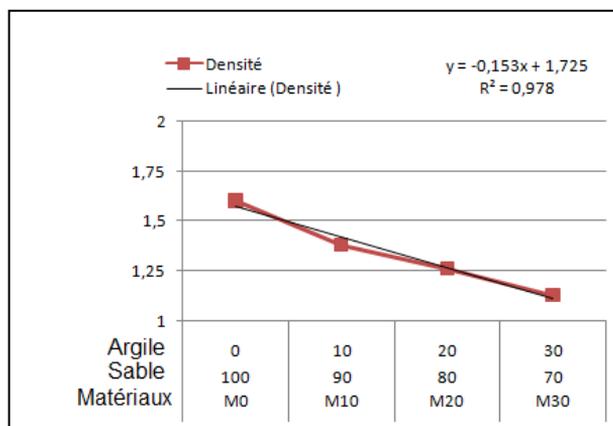


Figure 4: Evolution des densités des variétés du matériau en fonction de la teneur en argile

La figure 4 montre que les densités diminuent lorsque le taux d'argile augmente ; ce qui est

normal car la densité du sable (2,071) est plus forte que celle de l'argile (1,730). Cette

diminution peut atteindre 30% pour un taux d'argile de 30%. Les variétés du matériau à base de sable-argileux liés par des sachets plastiques fondus, ont une densité comparable à celles des bétons cellulaires dont les valeurs sont en dessous de 2.

L'évolution des résistances mécaniques des variétés du matériau en fonction de leurs densités des échantillons non chauffés est donnée par la figure 5.

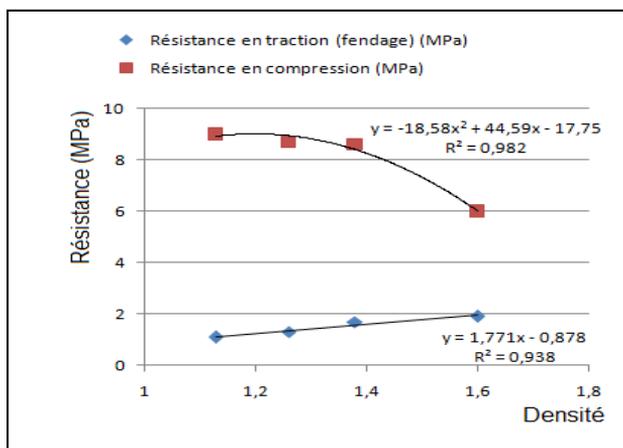


Figure 5 : Evolution des résistances mécaniques des variétés du matériau en fonction de leurs densités (Echantillons non chauffés)

La figure 5 montre une diminution des résistances à la compression des variétés du matériau quand la densité des granulats augmente; ceci contraste avec la tendance observée au niveau des résistances à la traction qui croît avec la densité. La résistance à la compression ne peut donc pas être attribuée à la densité des granulats mais à la compacité des matériaux car l'argile, plus fine, a probablement obstrué les vides entre les grains de sable rendant le matériau plus compact et donc moins poreux.

Lorsqu'on se réfère à nouveau à la figures 3, la diminution de la résistance à la traction serait due à la présence des particules d'argile qui constitue une sorte de membrane entraînant la diminution des liaisons entre les particules de grains de sable et le liant.

- Les deux précédents commentaires permettent d'affirmer que le matériau a un comportement contraire à celui du béton classique lorsqu'on met en relation la résistance en compression et celle en traction.

- Les résultats du tableau II et la figure 3 mettent en évidence l'influence négative du réchauffement ambiant sur les résistances mécaniques des variétés du matériau contenant ou non de l'argile. En effet, on a enregistré une baisse drastique de près de 56% au niveau des résistances en compression et 77% en traction lorsqu'on a placé les échantillons M_0 dans une étuve réglée à 80°C pendant 2h. De même, les résistances des échantillons M_{30} ont chuté de 50% et de 74% en compression et en traction respectivement lorsque ces échantillons ont été placés dans les conditions précédemment décrites. Mais il est très remarquable, à partir des valeurs indiquées dans le tableau II et la figure 3 que l'influence négative observée dans cette condition est beaucoup plus prononcée sur la variété sans argile que sur les variétés contenant de l'argile. On note ainsi que les variétés contenant de l'argile présentent des résistances en compression beaucoup plus élevées (69% d'accroissement de résistance) que la variété ne contenant pas d'argile. En traction, on a enregistré le

même niveau de baisse de résistance sur toutes les variétés comme l'indique la figure 3.

- En ambiance chauffée, les meilleures résistances observées au niveau du matériau contenant de l'argile peut s'expliquer par le fait que l'argile modelée ou pétrie puis portée à température relativement élevée acquière de la résistance une fois refroidie.

En considérant tous ces paramètres d'étude, le matériau contenant de l'argile serait donc préférable à celui qui ne contient pas d'argile.

CONCLUSION

L'étude a montré qu'il est possible de réaliser des matériaux à partir de sachets plastiques fondus et du sable et de l'argile. La technologie a consisté à fondre à 300°C environ ces sachets dans un récipient

approprié et à mélanger le liant obtenu avec du sable ou de l'argile issus de la terre de barre. A partir des dosages optimums, on parvient à mettre au point des variétés de matériau qui ont des densités absolues se situant dans la plage de 1,13 à 1,6 et présentant des résistances dans la fourchette de 6 à 9MPa en compression et de 1,1 à 1,9 MPa en traction par fendage. Les faibles caractéristiques mécaniques enregistrées sur le matériau constitué de sachets plastiques fondus, du sable et d'argile n'autorisent pas d'envisager son utilisation dans les éléments porteurs. La présence d'argile dans le mélange atténue l'effet négatif du réchauffement ambiant sur les résistances mécaniques du matériau. Le matériau présente beaucoup d'atouts pour être utilisé comme matériau d'étanchéité que les prochaines investigations vont permettre de confirmer.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BENOIT Y., LEGRAND B., TASTET V., 2009. Calcul des structures bois – guide d'application, 2^{ème} édition, Amendement A1+feu+vent, Edition Eyrolles.
2. CHOUDHARY A. K., JHA J. N., GILL K. S., 2010. A study on CBR behavior of waste plastic strip reinforced soil. *Emirates Journal for Engineering Research*. 15: 51-57.
3. GBEDO V., (2009). *Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou. Thèse de Doctorat ; Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines ; Université d'Abomey-Calavi.* 237 p.
4. SOBHAN K., MASHNAD M., 2002. Tensile strength and toughness of soil – cement-fly ash composite reinforced with recycled high density polyethylene strips. *Journal of materials in civil Engineering, ASCE*. 14: 177-184.
5. TCHEHOUALI D. A., KOWANOU H., SANYA E. A., 2012. Mise au point et caractérisation physique et mécanique d'un nouveau matériau à base de granulats et de déchets
6. plastiques fondus. *Rev. CAMES-Série A*, 13(Suppl 2):1-4.
7. VASUDEVAN R., NIGAM S.K., VELKENEDY R., SEKARI A. R., SUNDARAKANNAN B., (2007). Utilization of Waste Polymers for Flexible Pavement and Easy Disposal of Waste Polymers. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Chennai, India 5-7 September; pp: 105-111.*
8. ZOOROB S. E., SUPARMA L. B., 2000. Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregates replacement (plastiphalt). *Cement Concrete Composites*, 22: 233- 242.