

Mise au point et caractérisation physique et mécanique d'un nouveau matériau à base de granulats et de déchets plastiques fondus

ELABORATION AND PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A NEW MATERIAL MADE FROM AGGREGATES AND MELTED PLASTICS WASTE

TCHEHOUALI D. A. *, KOWANOU H., SANYA E. A.

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

*Corresponding author, E-mail: tchehoua@yahoo.fr

Tel: + 229 21 36 06 67 or +229 95 81 77 20

RESUME

L'inexistence de moyens et techniques appropriés de recyclage des déchets plastiques produits en quantité de plus en plus croissante au Bénin pose un problème environnemental majeur en raison du caractère non biodégradable de ce matériau. 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 élaboré à partir du mélange de « sachets plastiques fondus et de granulats ». On y a analysé deux variétés du matériau produit indexées 1 et 2. L'influence de la granulométrie des granulats sur le temps de refroidissement et les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau a été étudiée. Les résultats expérimentaux ont montré que le matériau 2, contenant du gravillon, se refroidit plus lentement, affiche une densité plus élevée et surtout offre des résistances mécaniques plus faibles que le matériau 1. L'étude a essentiellement révélé que le matériau à base de granulats et de sachets plastiques fondus possède de faibles résistances mécaniques (5 à 8 MPa). Mais il présente d'énormes potentialités d'étanchéité qu'il reste à explorer minutieusement.

Mots clés: déchets plastiques, granulats, fusion, résistances.

INTRODUCTION

On constate, de nos jours, que nos sociétés s'urbanisent de plus en plus vite. Cette urbanisation effrénée s'accompagne de 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 au Bénin pose un problème environnemental majeur. En effet, au Bénin, on se débarrasse de ces déchets en les jetant dans la nature, dans les espaces encore inoccupés, en les incinérant ou en les enfouissant tout simplement dans le sol. Heureusement, la littérature mentionne qu'il existe beaucoup de possibilités de recyclage à travers des procédés de construction. Précisément, Vasudevan (2006) a rapporté dans ces travaux l'utilisation des déchets plastiques pour confectionner des pavés flexibles dans la réalisation des routes et notamment pour la construction d'autoroutes en Inde. Plusieurs investigations ont été menées et ont conclu au bon comportement du béton bitumineux contenant des granulats

ABSTRACT

The lack of appropriate technical means for recycling of plastic waste produced in high quantity increasingly growing in Benin is a major environmental problem because of non-biodegradability of this kind of waste. One of the ways to recycle such a waste is their use through various construction processes. This study aims to determine the physical and mechanical properties of a developed material from mixing "melted plastic bags and aggregates". Two varieties of produced composite material were studied and indexed 1 and 2. The experimental results showed that material 2 containing gravel, cools more slowly, has a higher density, and especially provides mechanical strength lower than the material 1. The study essentially revealed that material made of aggregates and melted plastic bags had low mechanical strengths (5 to 8MPa) but had enormous sealing potential, it remains to be explored thoroughly.

Keywords: plastic waste, aggregates, melting, strengths.

de déchets plastiques partiellement substitués aux granulats naturels (Zoorob et al., 2000). De nombreux autres travaux ont 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).

La présente étude est consacrée à la mise au point et à la caractérisation de matériaux nouveaux élaborés à partir de mélanges de sable et de sachets plastiques fondus d'une part et de sable, de gravillon et de sachets plastiques fondus d'autre part dans le but d'identifier des utilisations avantageuses qui pourraient être faites de ce type de déchets dans les procédés de construction.

MATERIEL ET METHODES

Matériel et matériaux

Le matériel comprend :

- les accessoires destinés à la fusion des sachets plastiques notamment un réchaud à gaz et une marmite en aluminium ;
- une balance électronique de portée 2500 g et pesant au gramme près;

- trois moules prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm,
- trois moules cubiques de dimensions 50x50x50 mm,
- trois moules cylindriques ayant pour diamètre 50 mm et pour hauteur 100 mm,
- une bouteille transparente, munie de bouchon étanche pour la mesure de densité absolue (à l'instar du pycnomètre, dédié à la mesure de la densité absolue du sable).
- un enregistreur de température de marque TESTO à 4 sorties, pouvant enregistrer des valeurs de 0° à 1000°C;
- des thermocouples de type K;
- une série normalisée de tamis AFNOR d'ouvertures respectives 0,08 - 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25- 2,5 - 5, 6,3 et 8 (mm).

Les matériaux utilisés comprennent :

- des sachets plastiques: les sachets plastiques utilisés proviennent de la récupération. D'autres, par contre, sont des sachets neufs acquis dans le commerce et servant de référence. Il s'agit des sachets plastiques de marques suivantes :
 - sachet plastique type 1 : Marque « Induplast », provenant du Togo;
 - sachet plastique type 2 : Marque « Africa 24 », provenant également du Togo;
 - Sachet plastique type 3 : Marque « Eagle », provenant toujours du Togo;
 - Sachet plastique type 4 : Marque « Le nouveau » en provenance de la Côte d'Ivoire.
- des granulats : les granulats utilisés sont constitués de trois (03) qualités de sables différents notés S1, S2 et S3:
 - un sable S₁, lagunaire propre (Equivalent de sable 84%), de masse volumique en vrac (1605 kg/m³), de poids spécifique (2,15) et de granulométrie fine (cf. fig.1) avec un module de finesse M_f= 1,62.
 - un sable S₂, lagunaire propre (Equivalent de sable 87%), de masse volumique en vrac (1615 kg/m³), de poids spécifique (2,26) et de granulométrie moyenne (cf. fig.1) avec un module finesse M_f= 2,33.
 - un sable S₃, lagunaire propre (Equivalent de sable 89%), de masse volumique en vrac (1618 kg/m³), de poids spécifique (2,29) et de granulométrie grossière (cf. fig.1) avec un module de finesse M= 2,91.
 - du gravillon roulé propre, de masse volumique en vrac (1632 kg/m³), de poids spécifique (2,32) et dont la granulométrie est traduite en courbe (cf. fig.1).

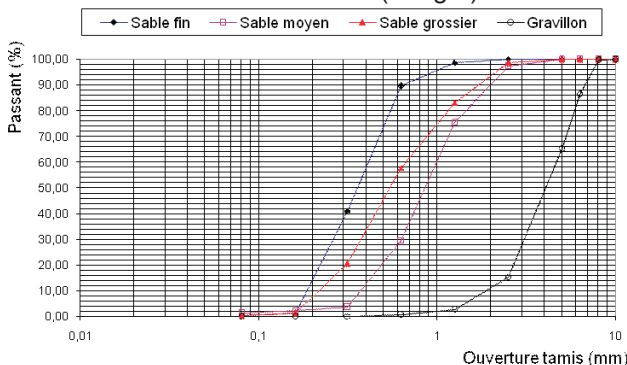


Figure 1 : Graphique indiquant les courbes granulométriques des granulats utilisés

Méthodes

Pour mettre au point les matériaux composites et déterminer leurs caractéristiques, la procédure suivante a été observée :

- les sachets plastiques (couleur noire dominante),

tirés des décharges, sont prétraités par lavage à l'eau savonneuse, rinçage et séchage au soleil. Des sachets neufs bien identifiés et dont on connaît l'origine sont aussi utilisés pour servir de référence ;

- les sachets sont portés à la fusion dans un récipient consacré à cette opération effectuée sur un réchaud à gaz ;
- les mélanges « sachets fondus ou liant + granulats » et leur moulage sont réalisés hors du feu mais à chaud ;
- deux matériaux indexés matériau 1 et matériau 2 ont été réalisés. Le matériau 1 est constitué du mélange de sachets plastiques fondus et de sable alors que le matériau 2 est fait de mélange de sachets plastiques fondus, de sable et de gravillon, ce dernier élément faisant la différence.

le processus d'élaboration comporte une première phase au cours de laquelle les sachets plastiques sont portés à la fusion à 300 °C environ et d'une seconde où s'effectue le mélange granulats plus sachets plastiques fondus. Il s'en suit un refroidissement - durcissement à l'air libre. Il est observé qu'un tel composite se refroidit très rapidement empêchant parfois le moulage correct des matériaux. Pour cela, les temps de refroidissement des deux matériaux ont été enregistrés et comparés.

Pour optimiser les dosages, des essais préliminaires ont été effectués en variant les paramètres opératoires que sont le type de sachets plastiques, la granulométrie des granulats, la teneur en liant qui est le rapport pondéral « sachets plastiques fondus / (sachets plastiques fondus + granulats) ».

les caractéristiques physiques et mécaniques (masse volumique absolue et résistances mécaniques) des matériaux 1 et 2 ont été déterminées et leurs valeurs comparées.

la température relevée lors des essais en ambiance naturelle était de l'ordre de 33±1 °C et l'humidité relative était de 92±2%.

le matériau optimum dans chaque cas a été mis au point en procédant comme suit :

- ✓ détermination du dosage optimum en sachets plastiques fondus en essayant des rapports pondéraux [liant / (liant + sable)] de valeurs respectives 20%, 25% et 33% dans le cas du matériau 1 et 20% et 33% dans le cas du matériau 2 ;

détermination de la granulométrie la plus appropriée en utilisant trois granulats ayant des granulométries différentes (fine, moyenne ou grossière);

détermination du type de sachets plastiques le plus approprié en testant les quatre (04) types de sachets plastiques indiqués plus haut.

la masse volumique absolue a été déterminée en suivant les trois différentes phases de la procédure décrite ci-après et consistant en une :

prise de la masse de l'échantillon à l'état sec au moyen d'une balance de précision;

immersion de l'échantillon pendant 72 heures au moins dans l'eau, puis retrait et nettoyage en surface à l'aide de chiffon sec. Cet état du matériau est qualifié d'état saturé sec en surface (SSS).

prise de la masse de l'échantillon (SSS) à l'air libre, puis sa masse dans l'eau.

les résistances en traction et en compression ont été déterminées sur des éprouvettes prismatiques 40x40x160 (mm) conformément à la norme EN 196-1 d'une part et sur des éprouvettes cylindriques de 100 mm de hauteur et 10 mm de diamètre concernant la mesure de la traction par fendage (essai brésilien) d'autre part.

RESULTATS ET DISCUSSION

Dosage optimum en sachets plastiques

Cas du matériau 1 : les mauvais aspects du matériau

illustrés dans les figures 2a et 2b sont dus à un excès ou à une insuffisance du liant, ayant engendré un retrait brusque et des déformations très visibles de l'éprouvette ou une certaine incohérence entre les éléments granuleux. Par contre, la figure 2c, relative au matériau élaboré à base d'un dosage pondéral liant / (liant +sable) égal à 25%, présente un aspect acceptable. Ces différents constats montrent que le dosage optimum ou le rapport pondéral (liant / (liant+sable) le plus approprié est d'environ 25% représentant une (01) part de sachets plastiques pour quatre (04) parts de sable lorsque les sachets proviennent des décharges publiques.



Figure 2a : Photographies des échantillons de matériaux réalisés au dosage pondéral liant / (liant+ sable) supérieur à 33%

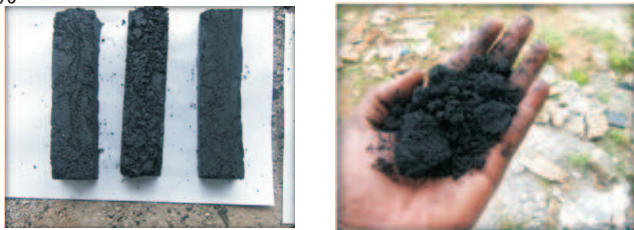


Figure 2b : Photographies des échantillons de matériaux réalisés au dosage pondéral liant / (liant+ sable) inférieur à 20%

Cas du matériau 2 : les résultats des manipulations ont permis d'observer qu'en ajoutant du gravillon au sable, le mélange devient plus fluide ce qui permet de réduire la teneur en liant de 33% à 16% et le rapport pondéral optimal [liant/gravillon/sable fin] le plus convenable devient alors [15,9% / 31,75% / 52,38%].

Temps de refroidissement des mélanges

Les températures enregistrées lors du refroidissement des matériaux 1 et 2, une fois mis hors du feu, ont indiqué que le temps total de refroidissement des mélanges s'agissant du matériau 1 est d'environ 100 minutes alors qu'il est d'environ 150 minutes dans le cas du matériau 2. En d'autres termes, on note que le matériau 2 contenant du gravier se refroidit moins vite que le matériau 1 élaboré avec des granulats fins sans gravier. Une série d'expériences a confirmé le fait qu'avec les granulats de granulométrie grossière, le refroidissement se réalise plus lentement qu'avec les granulats de granulométrie fine. Ceci constitue un indicateur précieux pour une bonne mise œuvre du matériau composite défini.

Influence de la granulométrie des granulats

Les résultats exprimés sur la figure 3 montrent une nette variation des résistances en flexion et en compression en fonction de la granulométrie des granulats. En effet, ces résultats indiquent que, des trois types de granulats testés, celui à granulométrie fine a procuré les meilleures résistances mécaniques au matériau composite obtenu.

Influence du type de sachet plastique

L'influence du type de sachet plastique sur les résistances mécaniques des matériaux composites élaborés avec les mêmes dosages et avec différents types de sachets

plastiques est assez remarquable sur les résultats présentés sur la figure 4. Par exemple, avec une même teneur en liant de 20% et avec les sachets plastiques

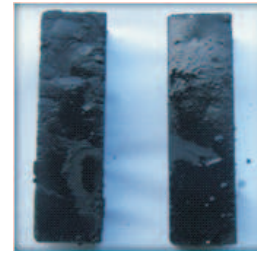


Figure 2c: Photographies des échantillons de matériaux réalisés au dosage pondéral liant / (liant+ sable) égal à 25%

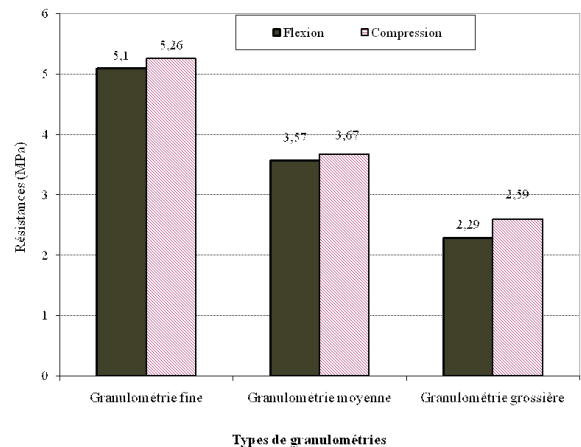


Figure 3: Evolution des résistances mécaniques en flexion et en compression du matériau composite en fonction de la granulométrie du sable utilisé dans son élaboration

du type 1, on a enregistré les meilleures résistances. Par contre, l'utilisation des sachets plastiques du type 4 a plutôt donné lieu à des matériaux inexploitable, les matériaux composites obtenus se présentant sous forme de poudre comme l'indique la figure 2b.

De même, à la teneur en liant de 33%, les sachets plastiques de types 1, 2 et 3 ont produit des matériaux de résistances mécaniques très faibles alors que les sachets plastiques du type 4 ont permis d'obtenir un matériau composite de résistances relativement élevées. Etant donné que, dans les déchets solides, c'est tous les types de sachets plastiques qu'on retrouve mélangés, la teneur moyenne optimale en liant estimée avoisine 25%. Cette estimation concorde avec les résultats des essais menés sur les sachets plastiques prélevés dans les décharges publiques.

Propriétés physiques et mécaniques des matériaux découlant des dosages optima

Le matériau 1 élaboré à partir des sachets plastiques du type 4, avec le dosage en sachets plastiques de 33% s'est avéré le plus résistant (cf. figure 4). Il a été retenu comme matériau optimum pour cette catégorie.

Dans le cas du matériau 2, c'est celui qui a été élaboré à partir des sachets plastiques du type 4, du sable fin et du gravillon au dosage [liant/gravillon/sable fin] le plus convenable à savoir 15,9% / 31,75% / 52,38% qui a été retenu comme matériau optimum. Les propriétés de ces matériaux sont les suivantes :

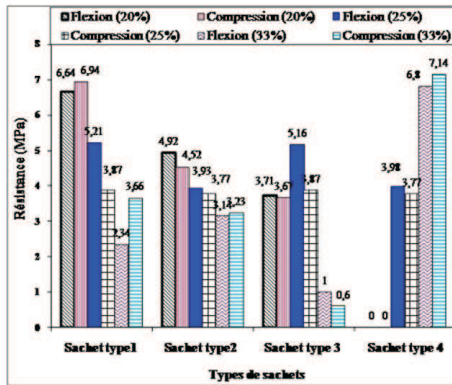


Figure 4 : Evolution des résistances mécaniques des matériaux composites en fonction des types de sachets et du rapport liant/sable fin

Masse volumique absolue

La masse volumique absolue du **matériau 1** a été évaluée à **1916 Kg/m³±100** alors que celle du **matériau 2**, contenant du gravillon a été évaluée à **2122 Kg/m³±100**. Ces valeurs indiquent que, de façon générale, le matériau constitué de mélange «granulat – sachets plastiques fondus » a une densité de l'ordre de celle d'un mortier qui est d'environ 2000 kg /m³. Le matériau 2 contenant du gravillon est légèrement plus lourd que le matériau 1 ce qui est bien logique compte tenu du fait que la densité du gravillon est plus élevée que celle du sable.

Résistances mécaniques du matériau optimum

Les essais de compression centrée, de flexion trois points et de traction par fendage ont permis d'enregistrer les valeurs des résistances mécaniques suivantes:

Matériau 1

- Résistance en compression : **7,44 MPa ±0,5**
- Résistance en flexion : **6,85 MPa ±0,9**
- Résistance par fendage : **1,59 MPa ±0,75**

Matériau 2

- Résistance en compression : **6,77 MPa ±0,5**
- Résistance en flexion : **4,15 MPa ±0,9**
- Résistance par fendage : **1,41 MPa ±0,75**

Les valeurs enregistrées montrent que les différents les matériaux constitués de mélanges « sachets plastiques fondus – granulats » élaborés et testés ont, de façon générale, de faibles résistances en compression (**5 MPa à 8 MPa**). Ces valeurs sont largement en - dessous des valeurs courantes enregistrées dans le cas du bois, du béton ou du mortier dont les résistances courantes en compression sont respectivement de l'ordre de 60 MPa, 25 MPa et 15 Mpa.

Ces valeurs mettent aussi en exergue le fait que le matériau composite 2 contenant du gravillon, présente des résistances plus faibles en comparaison au matériau 1 élaboré avec du sable fin sans gravillon. Cette tendance est en opposition avec celle notée au niveau du mortier comparé au béton. Nos tentatives d'explication du comportement observé nous ont conduits à indexer une mauvaise adhésion des particules de sachets plastiques fondus avec les gravillons dont les tailles sont plus grosses que celles des sables utilisés. Au regard des faibles résistances mécaniques qu'offre un tel matériau et de son comportement peu absorbant après plusieurs jours d'immersion dans l'eau, son utilisation dans la réalisation des éléments porteurs est peu recommandable mais par contre, il bien pourrait bien être proposé pour servir de matériau d'étanchéité après des investigations ultérieures approfondies dans cette direction.

Enfin, en examinant les relations entre les

résistances en compression et celles en flexion, on note que le rapport [résistance en traction / résistance en compression] est beaucoup plus élevé que celui obtenu avec le couple béton / mortier. Une meilleure caractérisation des différents sachets plastiques exploités, à travers l'analyse de leurs compositions, pourrait nous procurer des éléments pour une explication plausible du comportement observé. Ainsi, les investigations futures pourront permettre de préciser, de façon plus fine, la loi gouvernant les résistances en compression et celles en traction par flexion.

CONCLUSION

Les investigations menées dans cette étude ont montré la possibilité de réaliser un matériau de construction à partir des sachets plastiques et des granulats. La technologie a consisté à fondre à 350°C environ ces sachets dans un récipient approprié et à mélanger le liant obtenu avec du sable ou du sable et du gravillon. L'optimisation des dosages des intrants a montré que, parmi les paramètres clés qui influencent les performances du matériau, il faut compter le type de sachet plastique, la granulométrie des granulats et le dosage en sachets plastiques dans le mélange. L'exploitation des résultats obtenus en variant le type de sachets plastiques présente des limites évidentes puisque les sachets plastiques triés des déchets solides sont des mélanges de tous les types de sachets plastiques. C'est pour ces raisons que la détermination de la composition chimique des sachets plastiques qui pourrait permettre d'élucider un certain nombre de questionnements n'a pas été abordée dans ce travail à cause de l'intérêt mineur qu'elle porte à l'étape actuelle de la recherche. Les résistances mécaniques maximales enregistrées, avec un taux de 25% de sachets plastiques tout venant dans le mélange, se trouvent autour de 7 MPa. Le mélange contenant du sable et du gravillon présente des résistances légèrement plus faibles que celui contenant du sable fin sans gravillon. Les faibles caractéristiques mécaniques enregistrées sur le matériau n'autorisent pas d'envisager son utilisation dans les éléments porteurs mais le matériau présente de grandes potentialités en termes de matériau d'étanchéité, potentialités qui restent à évaluer avec précision. Les investigations futures permettront aussi de mesurer toxicité éventuelle des gaz émis lors de la fusion du plastique.

REFERENCES

- 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.
- Gbedo V. 2009. Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou. Université d'Abomey-Calavi, Thèse de Doctorat en Lettres Arts et Sciences Humaines, 237.
- 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.
- Vasudevan R. 2006. Utilization of waste plastic for flexible pavement Indian High Ways. Indian Congress, **34**: 105-111.
- Zoorob S E, Suparna 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.