

Caractéristiques mécaniques des tuiles élaborées avec des déchets plastiques

**Obré Sery Paul JOLISSAINT*, Mamery Adama SERIFOU, Messorma Souleymane FOFANA
et Edjikémé EMERUWA**

*Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la
Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 02 Février 2023 ; Accepté le 24 Mars 2023)

* Correspondance, courriel : jopolfr@live.fr

Résumé

Ce travail a pour but d'élaborer des tuiles à partir de déchets plastiques et d'évaluer leurs propriétés mécaniques. Pour mener à bien cette étude, le sable est mélangé à chaud avec les sachets plastiques broyés dans des proportions comprises entre 20 et 40 % dans une extrudeuse afin d'obtenir des tuiles. Pour évaluer les caractéristiques mécaniques de ces tuiles, des essais de caractérisation (flexion et usure) ont été effectués sur celles-ci. Les résultats montrent que la résistance maximale à la flexion est de 7,8 MPa avec une teneur en plastique de 35 % ; au-delà de cette valeur la résistance à la flexion baisse à 7,4 MPa. Les essais d'usure ont montré que les tuiles ont des entailles comprises entre 0,14 et 0,46 mm qui diminuent lorsque la teneur en plastique augmente. Elles résistent bien à l'usure. Les tuiles en plastique élaborées ont une charge à la rupture qui est conforme aux exigences de la norme ivoirienne. Elles peuvent donc être utilisées dans la construction comme couverture de bâtiments. Cette étude permet de proposer une méthode de confection de tuile en plastique et encourage le recyclage des sachets plastiques qui sont aujourd'hui une source de pollution de l'environnement.

Mots-clés : *tuiles, déchets plastiques, caractéristiques mécaniques.*

Abstract

Mechanical characteristics of roof tiles made with plastic waste

This work aims to produce roof tiles made from plastic waste and evaluate the mechanical properties. To carry out this study, the sand is hot mixed with the crushed plastic bags in proportions of between 20 and 40% in an extruder in order to obtain roof tiles. In order to evaluate the mechanical characteristics of these roof tiles, characterization tests (bending and wear) were carried out on them. The results show that the maximum flexural strength is 7.8 MPa with a plastic content of 35 %; beyond this value the resistance to bending decreases at 7.4 MPa. Wear tests have shown that the roof tiles have notches between 0.14 and 0.46 mm which decrease as the plastic content increases. They resist wear well. The elaborate plastic roof tiles have a breaking load that complies with the requirements of the Ivorian standard. They can therefore be used in construction as a cover for buildings. This study makes it possible to propose a method of making plastic roof tiles and encourages the recycling of plastic bags which are today a source of environmental pollution.

Keywords : *roof tiles, plastic waste, mechanical characteristics.*

1. Introduction

Le plastique est l'un des matériaux le plus utilisé dans de nombreux domaines d'applications depuis son invention [1]. Les sachets plastiques sont les plus utilisés pour le conditionnement de petites unités (arachides, huiles). Après utilisation de leur contenance, ils deviennent des déchets volumineux pour la ville. On constate que le volume des déchets plastiques produit par la population ne cesse d'augmenter sur les points de collecte et les décharges [2]. Si les tendances actuelles en matière de production et de gestion des déchets se maintiennent, environ 12 000 millions de tonnes de déchets plastiques seront dans les décharges ou dans l'environnement naturel d'ici 2050 [3]. Leur dissémination dans la nature est durable car ils ne sont ni altérables, ni biodégradables, par le fait que leur durée de vie peut atteindre jusqu'à 500 ans environ [4, 5]. Les déchets plastiques sont à l'origine de la transmission de plusieurs maladies comme le paludisme car ils sont à l'origine des eaux stagnantes, gîtes larvaires des moustiques). Ils bouchent les canaux d'évacuation des eaux usées et provoquent des inondations. Les déchets plastiques constituent une pollution visuelle lorsqu'ils sont emportés par le vent, en s'éparpillant dans la nature et parfois, en s'accrochant aux arbres. Aussi ils sont à l'origine d'une certaine imperméabilité des sols contribuant ainsi, à la dégradation du milieu naturel [6]. En somme ces déchets plastiques dégradent l'environnement. On estime la quantité de sachets plastiques rejetés à 2 kg au minimum par an et par habitant [7]. Ce qui est énorme vue qu'ils sont non biodégradables. Les déchets plastiques constituent environ 11 % des ordures ménagères [8]. En Côte d'Ivoire, 80 % de ces déchets plastiques sont des thermoplastiques [9]. Selon cette même source seules 8 % de ces plastiques font l'objet de valorisation. Il est alors important de songer au recyclage de ces déchets pour assainir l'environnement. Aussi, le recyclage des plastiques, issus principalement de la transformation de pétrole, permet de préserver la ressource non renouvelable qu'est le pétrole, car chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 à 800 kilos de pétrole brut [10]. Dans la recherche de solutions aux problèmes générés par ces déchets, de nombreuses réflexions sont axées sur la conception de nouveaux matériaux. De nos jours le recyclage des déchets plastiques fait l'objet de nombreuses études. Dans la plupart des travaux les déchets plastiques sont incorporés dans des matrices cimentaires. D'autres méthodes d'utilisation de ces déchets plastiques pour la conception de nouveaux matériaux font également l'objet de nombreuses études [11 - 13]. L'objectif visé est de résoudre un problème environnemental en valorisant les déchets plastiques par la conception de tuiles qui respectant les normes de qualité.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matières premières

2-1-1. Sable

Le sable utilisé provient d'une carrière située dans la commune de Port-Bouët (Côte d'Ivoire). Il est prélevé dans la lagune Ebrié à l'aide d'une drague. Il s'agit de sables qui servent pour la plupart à des travaux de construction (travaux publics et bâtiment). Le sable est présenté dans la (*Figure 1*).



Figure 1 : Sable

Le sable brut prélevé a subi un traitement préalable avant toute utilisation. Il est d'abord passé au tamis de 2 mm pour en éliminer les éléments grossiers (coquilles de mollusques, déchets de feuilles, morceau de bois, fossiles, etc.), ensuite lavé à l'eau de robinet et séché au soleil. Le sable obtenu est donc utilisé pour confectionner les échantillons de tuile en plastique.

2-1-2. Sachets plastiques

Les sachets plastiques utilisés proviennent de la commune d'Adjamé (Côte d'Ivoire). Ils sont prélevés dans les marchés, les décharges, les collectes d'ordures. Le sachet plastique est présenté dans la **(Figure 2)**.



Figure 2 : Sachet plastique

2-2. Confection des tuiles en plastiques

La confection des tuiles en plastique s'est faite en plusieurs étapes qui sont le découpage des sachets plastiques, le malaxage, le moulage, le compactage et le démoulage. Les sachets plastiques sont découpés et mélangés avec le sable dans une bassine pendant 2 minutes puis l'ensemble est chauffé et mélangé dans une extrudeuse **(Figure 3)** à une température de 170°C pendant trente minutes (30 min) pour avoir une pâte homogène. Le plastique représente 20 % à 40 % en masse du mélange. Lorsque la pâte est bien homogène, le mélange est coulé dans un moule escamotable de dimension 16,5x8,5x3,5 cm³. Cette opération doit se faire le plus rapidement possible pour ne pas que la pâte se solidifie. Après le moulage, la pâte est mise sous une presse à manche **(Figure 4)** pour être compactée afin d'éliminer les vides et les pores qui pourraient emmagasiner de l'air. Après le compactage, la tuile en plastique de dimension 16,5x8,5x1,3 cm³ est démoulée.



Figure 3 : Extrudeuse

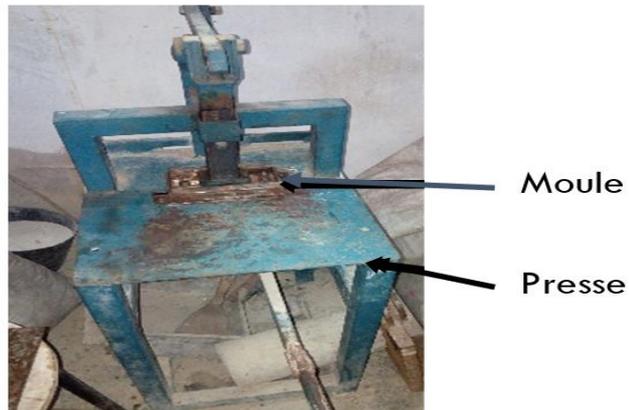


Figure 4 : Presse à manche

2-3. Essais mécaniques

Les tests de caractérisation des tuiles en plastique se composent des essais de résistance à la flexion 3 points et de l'usure de surface.

2-3-1. Essai de résistance à la flexion 3 points

La résistance à la flexion d'un matériau traduit son comportement lorsqu'il subit des forces mécaniques extérieures. Cet essai consiste à déterminer la charge à la rupture des tuiles. La résistance à la flexion trois points consiste à déposer les tuiles sur trois appuis. Dans le cadre de cette étude, un dispositif de mesure de cette résistance (*Figure 5*) a été mis au point par l'équipe de Géomatériaux.

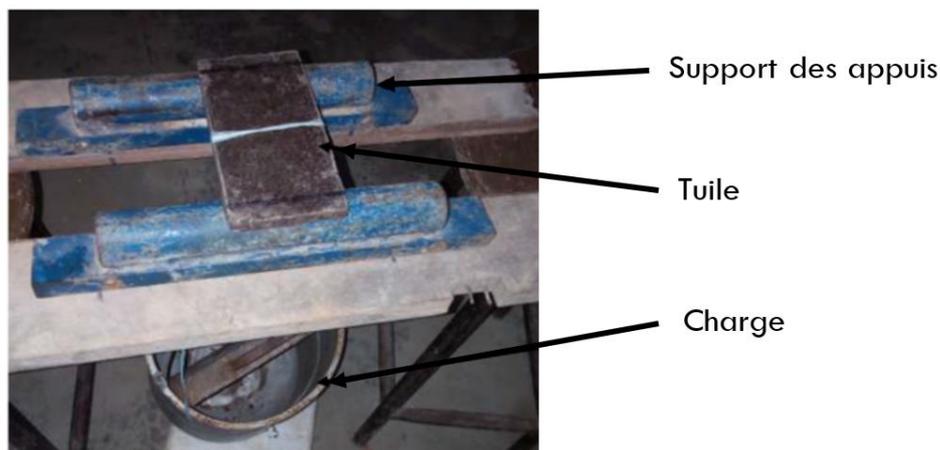


Figure 5 : Dispositif de mesure de la résistance à la flexion 3 points

Les tuiles sont posées sur deux appuis : soit 16,5 cm la longueur des tuiles ; chaque appui inférieur est placé à 1,3 cm de l'extrémité de la tuile. Le troisième appui qui est une corde est attaché sur la partie supérieure des tuiles et placé à 8,25 cm de l'extrémité de la tuile. Le récipient est situé sous la tuile à l'autre extrémité de la tige d'appui. Le chargement est effectué en le remplissant de sable à vitesse constante. Lorsque la tuile atteint sa rupture, elle se casse et la charge est ensuite retirée puis pesée. Soit M la charge à la rupture. La force appliquée a été calculé à l'aide de la **Formule** mathématique suivante :

$$F = P = M \times g \tag{1}$$

F étant la force appliquée en N ; *M* la charge à la rupture en kg et *g* la constante gravitationnelle en N/kg.

Elle permet de calculer la résistance à la flexion.

$$Rf = \frac{3FL}{2e^2l} \tag{2}$$

Rf étant la résistance à la flexion en MPa ; *F* la force appliquée en N ; *L* la longueur entre les deux appuis en mm ; *e* l'épaisseur de l'échantillon en mm et *l* la largeur de l'échantillon mm.

Pour une bonne utilisation de ce dispositif, la tuile doit être bien centrée sur les appuis afin qu'elle ne se glisse pas lors de l'essai.

2-3-2. Essai de résistance à l'usure

Cet essai permet d'évaluer l'ampleur de certains types de dégradation et d'apprécier la capacité des matériaux à résister à l'érosion de surface. Le dispositif d'usure est constitué d'un petit chariot reposant sur quatre roues, en dessous duquel se trouve fixée une pointe en acier. Le chariot est monté sur deux rails, chargé avec une masse de 3 kg. Le dispositif de mesure est présenté dans la **(Figure 6)**.

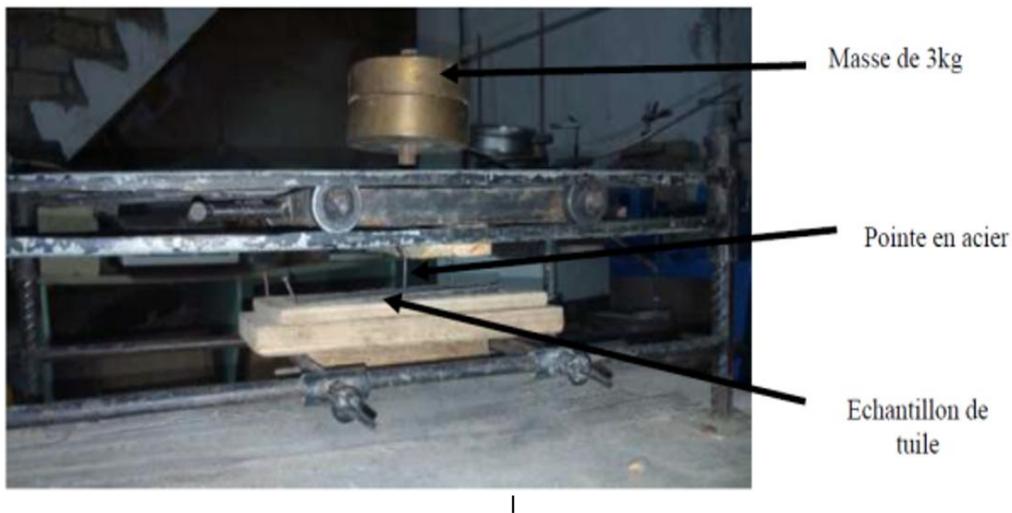


Figure 6 : Dispositif de mesure de la résistance à l'usure

Avant l'essai, les tuiles sont d'abord pesées et immergées dans de l'eau pendant 24 heures. Après 24 h, les tuiles sont séchées au soleil pendant 72h (3jours) jusqu'à masse constante. Ensuite, la résistance à l'usure est déterminée en fonction de la profondeur de l'entaille laissée par l'enfoncement de la pointe en acier au bout de 25 cycles d'usure sur la face de la tuile. La profondeur est mesurée et donnée en mm.

3. Résultats et discussion

3-1. Résistance à la flexion 3 points

La **Figure 7** présente la résistance à la flexion des tuiles en fonction de la teneur en plastique.

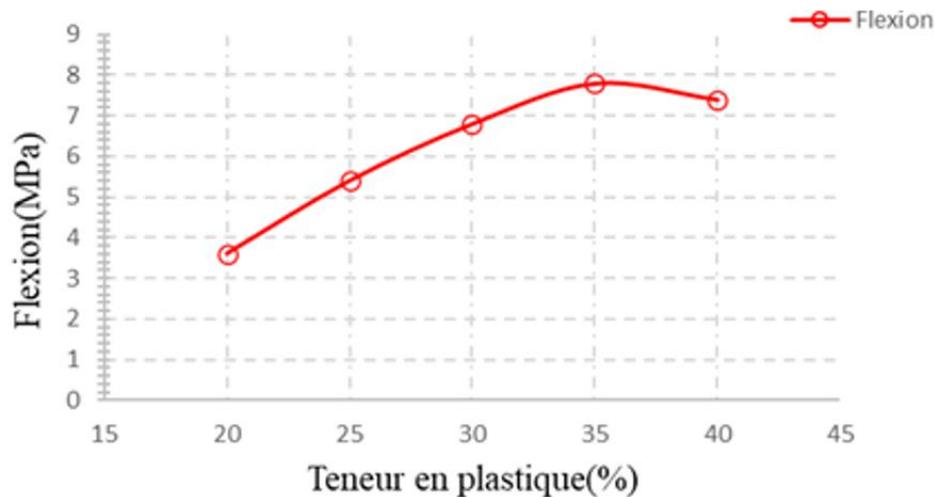


Figure 7 : Courbe de résistance à la flexion en fonction de la teneur en plastique

Cette figure présente la variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en plastique. Elle montre que la résistance à la flexion augmente quand la teneur en plastique est comprise entre 20 et 35 %. Ainsi, pour les teneurs de 20 à 35 % de plastique, la résistance à la flexion augmente de 3,6 à 7,8 MPa. L'augmentation de la résistance pour les teneurs en plastique de 20 à 35 %, pourrait s'expliquer par le fait que le mélange contient une quantité suffisante de plastique pour lier ou enrober les grains de sable. La résistance à la flexion baisse quand la teneur en plastique est comprise entre 35 et 40 %. Pour ces teneurs, la résistance chute de 7,8 à 7,4 MPa. Au-delà de 35 % de plastique, la résistance chute parce que dans le mélange la quantité de plastique est élevée. En effet, plus il y a du plastique dans le mélange, plus la résistance du matériau va tendre vers la résistance du plastique qui est faible. Ces résultats vont en droite ligne avec les études de [14 - 17]. Cela est dû au fait que l'augmentation du plastique dans le mélange réduit l'adhérence du plastique avec la pâte cimentaire induisant ainsi la baisse de la résistance. Les tuiles en plastique élaborés ont une épaisseur de 13 mm, une charge à la rupture de 56 kg et une résistance à la flexion de 7,8 MPa. La valeur de la charge à la rupture est plus élevée que celle obtenue sur des tuiles en micro-béton stabilisés à froid et contenant du liant (ciment), du sable et renforcées aux agrégats avec apport de dégraissant [4, 5]. En effet, leurs résultats ont montré que les tuiles en micro-béton d'épaisseur 8 mm et 10 mm ont respectivement des charges à la rupture de 50 Kg et 53,34 kg et une résistance à la flexion de 17,5 MPa. Toutefois, leur résistance à la flexion est plus élevée que celles des tuiles en plastiques élaborées. La norme Ivoirienne (NI-05-10-001) sur les tuiles exige qu'elles aient une charge à la rupture d'au moins 50 kg. Les tuiles en plastique élaborées ont une charge à la rupture qui est conforme aux exigences de la norme ivoirienne. Elles peuvent donc être utilisées dans la construction comme couverture de bâtiments.

3-2. Résistance à l'usure

La **Figure 8** présente la variation de l'usure des tuiles en fonction de la teneur en plastique.

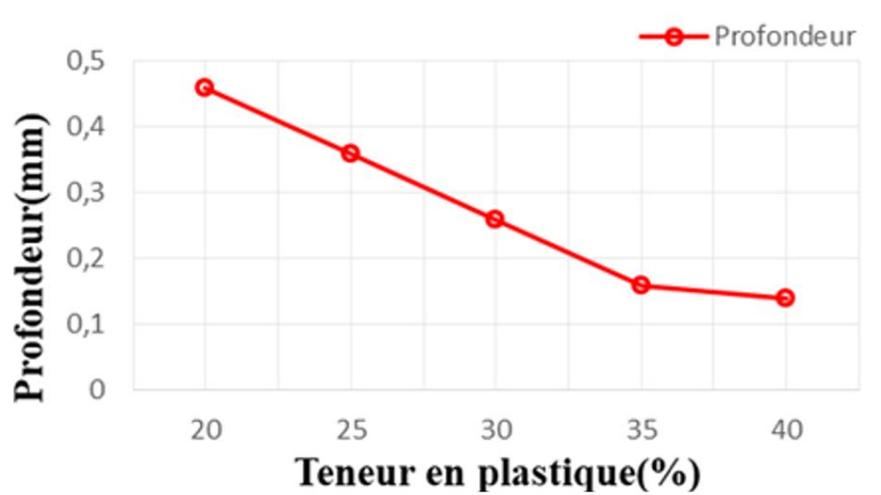


Figure 8 : Variation de l'usure en fonction de la teneur en plastique

Cette figure présente la variation de l'usure en fonction de la teneur en plastique. Elle montre que l'usure baisse lorsque la teneur en plastique augmente. En effet pour les teneurs en plastique variant de 20 à 35 %, l'usure chute très rapidement et passe de 0,46 à 0,16 mm. Pour les teneurs en plastique de 35 à 40 %, la variation de l'usure est faible (0,16 ; 0,14) et tend à se stabiliser à 40 %. La forte baisse de l'usure entre 20 et 35 % pourrait s'expliquer par le fait que la quantité de plastique devient suffisante pour enrober les particules de sable. La profondeur baisse, elle est due à la consolidation des grains par l'apport croissant de plastique. Ces résultats corroborent ceux de [9]. Au-delà de 30 %, Lorsque la teneur en plastique augmente (de 35 à 40 %), le matériau résiste mieux à l'usure car la quantité de plastique est suffisante voire en excès et enrobe totalement les particules de sable. Lorsque l'enrobage des grains de sable devient de plus en plus fort par une augmentation du plastique (liant), la pointe va s'enfoncer difficilement. Ce qui se traduit par une diminution de la profondeur lorsque la quantité de plastique augmente (**Figure 9**), ces résultats corroborent ceux de [4, 5].

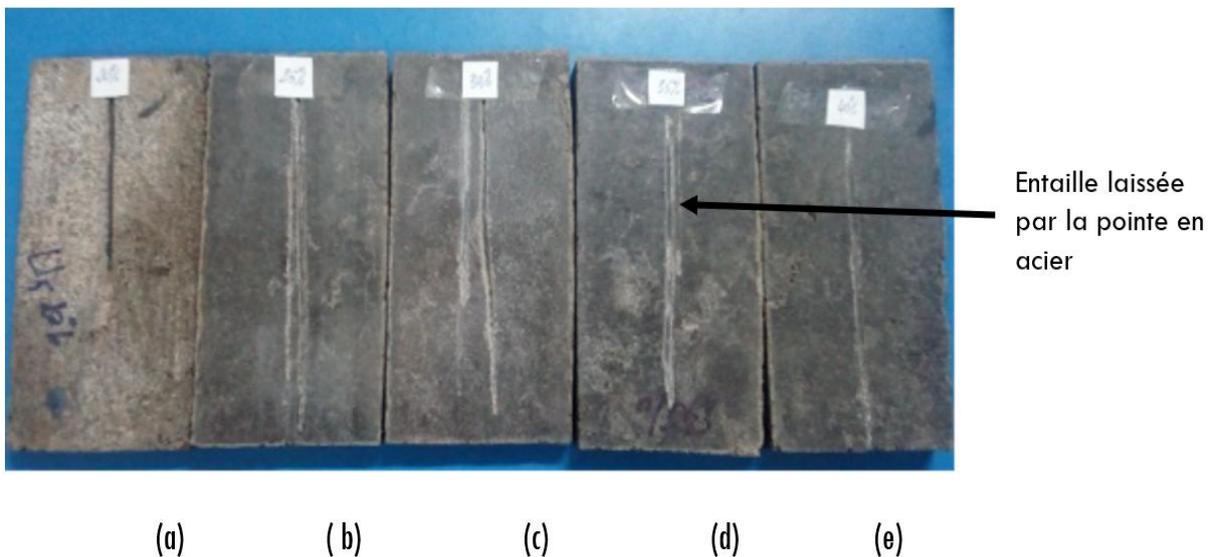


Figure 9 : Profondeur de la pointe en acier à l'essai d'usure
 a : 20 % b : 25 % c : 30 % d : 35 % e : 40 %

4. Conclusion

Les sachets plastiques mélangés avec du sable ont été utilisés pour la confection de tuiles et soumis à différents essais mécaniques. Il ressort de cette étude que le plastique assure la cohésion entre les grains de sable. Cependant au-delà de 35 % de plastique, la résistance à la flexion diminue de 7,8 à 7,4 MPA. Quant à l'usure des tuiles, elle baisse lorsque la teneur en plastique augmente et la variation de l'usure et tend à se stabiliser à 40 % de plastique. Les différents essais effectués sur les tuiles ont permis de déterminer la teneur optimale du plastique qui est de 35 % de plastique permettant d'avoir des tuiles en plastique ayant de bonnes caractéristiques mécaniques. Cette étude nous a permis de proposer une méthode de confection de tuile en plastique et encourager le recyclage des sachets plastiques qui sont aujourd'hui une source de pollution de l'environnement.

Références

- [1] - M. SEGHIRI, Etude d'un matériau composite à base polymère-sable en zone aride, Université Kasdi Merbah, Doctorat de troisième cycle, (2020) 153 p.
- [2] - M. BAUDRIN, La recyclabilité des polymères: une idée qui complique tout, Centre de Sociologie de l'Innovation Institut Carnot Mines, (2021) 33 p.
- [3] - R. GEYER, J. R. JAMBECK, K. L. LAW, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Sci. Adv.* 3, e1700782 (2017) 5 p.
- [4] - C. P. NDEPETE, R. ZAGUY-GUEREMBO, A. M. GBONGO, L. M-P. REGAKOUZOU, V. O. NGAISSONA et J. KPEOU-KOLENGUE, Valorisation des déchets plastiques en matériaux de construction, *European Scientific Journal, ESJ*, 18 (21) (2022) 317 p.
- [5] - R. RAKOTOSAONA, J. RAMAROSON et M. MANDIMBISOA, Valorisation à l'échelle pilote des déchets plastiques pour la fabrication de matériaux de construction. *Moda-Hary*, Vol. 2, (2014) 54 - 69
- [6] - C. ZOMBRE, Production domestique, récupération et recyclage des déchets plastiques: cas des sachets plastiques à Dakar, Thèse de l'Université Cheikh Anta Diop Dakar, (1997) 141 p.
- [7] - R. MAMHARIJAONA, P. A ZORAVAKA et B. R. HARIJOANA, Transformation des déchets de sachets plastiques en liant industriel par un nouveau procédé humide, *America, journal of innovative research and applied sciences*, (2017) 377 - 388
- [8] - J.-M. BALET, Aide-mémoire. Gestion des déchets, 2eme édition, Paris, France, Edition Dunod, (2007) 60 p.
- [9] - B. TRAORE, Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): amélioration de la résistance par des charges en argiles, Thèse en sciences de la terre, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2018) 140 p.
- [10] - L. COURARD, Matériaux du futur: ressources naturelles ou secondaires? 52ème congrès des professeurs de sciences, Université de Liège, Belgique, (2014) 53 p.
- [11] - B. SHANMUGAVALLI, K. GOWTHAM, J. NALWIN, B. MOORTHY, Reuse of plastic waste in paver blocks, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. ISSN: 2278-0181, Vol. 6, Issue 02 (2017) 313 - 315
- [12] - T. GANESH, P. SATISH, P. PRAMOD et H. KUMAVAT, Recycled plastic used in concrete paver block, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (09) (2014) 33 - 35
- [13] - A. TOGBE, G. J. AMADJI, C. ADJOVI, D. GUIBAL et K. V. DOKO, Valorisation de déchets plastiques et d'industrie du bois en composite moule à froid : effet des paramètres de fabrication sur les propriétés mécaniques, *Environnement, Ingénierie & Développement*, 1 (2021) 33 - 43
- [14] - M. GUENDOUZ, F. DEBIEB, O. BOUKENDAKDJI, E. H. KADRI, M. BENTCHIKOU et H. SOUALHI, Use of plastic waste in sand concrete, *J. Mater. Environ. Sci.*, 7 (2016) 382 - 389

- [15] - T. U. GANIRON, Effect of Thermoplastic as Fine Aggregate to Concrete Mixture, *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 62, (2014) 31 - 42
- [16] - M. PRAVEEN, V. SHIBI et V. ELDHO, Recycled Plastics as Coarse Aggregate for Structural Concrete, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2, Issue 3 (2013) 684 - 690
- [17] - Y. GHERNOUTI et B. RABEHI, Béton à base des granulats de déchets des sacs en plastique renforcé de fibres métalliques. NVACO2 : Séminaire international, innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction, (2011) 7 p.