

INFLUENCE DE LA TENEUR EN RÉSINE DE POLYSTYRÈNE EXPANSÉ SUR LES PROPRIÉTÉS THERMOMÉCANIQUES D'UN COMPOSITE DE COPEAUX DE BOIS STABILISÉ

Koffi Clément KOUADIO*, **Serge Pacome KAHO**,
Souleymane OUATTARA et **Edjikémé EMERUWA**

*Université Felix Houphouët-Boigny, UFR Sciences de la Terre et des
Ressources Minières Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des
Géomatériaux, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(reçu le 6 Novembre 2020 ; accepté le 12 Décembre 2020)

* Correspondance, e-mail : kklements@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude vise à étudier l'influence de la teneur en résine de polystyrène expansé sur les propriétés thermomécaniques d'un composite de copeaux de bois stabilisé. Pour ce faire, des proportions de résine de polystyrène expansé variant de 15 à 30 % en volume et les copeaux de bois ont d'abord été mélangés manuellement et ensuite introduits dans une extrudeuse pour homogénéisation. Le mélange obtenu est mis en forme par compactage et pour certains échantillons, soumis à un thermoformage après séchage. L'ensemble des échantillons (thermoformés et non thermoformés) est soumis à des analyses de caractérisation mécaniques (résistances à la compression et à la flexion 3 points) et thermique (conductivité thermique par méthode fluxmétrique). Les résultats obtenus indiquent que la résistance à la flexion passe de 1,62 MPa à 6,50 MPa pour les échantillons non thermoformés ; et de 4,67 MPa à 12,57 MPa pour les échantillons thermoformés, quand la teneur en résine varie de 15 à 30 %. De même les résistances à la compression varient respectivement 2,96 MPa à 15,78 MPa et de 10,25 MPa à 19,5 MPa pour les échantillons non thermoformés et thermoformés. Quant à la conductivité thermique, les valeurs obtenues sur les échantillons sans thermoformage et après thermoformage vont respectivement de 0,04 W/m.K à 0,10 W/m.K et de 0,07 W/m.K à 0,13 W/m.K pour les teneurs en résine sus indiquées. Ces résistances mécaniques et thermiques se stabilisent à partir de 25 % de résine. La mise au point de matériaux composites à partir des copeaux de bois et les déchets de polystyrène expansé peut donc être une voie de recyclage de ces déchets.

Mots-clés : *polystyrène expansé, résine, copeaux de bois, thermoformage, propriétés mécaniques, conductivité thermique.*

ABSTRACT

Influence of expanded polystyrene resin content on thermomechanical properties of a stabilized wood chip composite material

This study aims to investigate the influence of the content of expanded polystyrene resin on the thermomechanical properties of a stabilized wood chip composite. Proportions of expanded polystyrene resin varying from 15 to 30 % by volume and the wood chips are first manually mixed and then introduced into an extruder for homogenization. The mixture obtained is shaped by compacting and for some of samples, subjected to thermoforming after drying. All the samples (thermoformed and non-thermoformed) are submitted to mechanical (compressive and 3-point flexural strengths) and thermal (thermal conductivity by fluxmetric method) characterization. The results obtained indicate that the flexural strength increases from 1.62 MPa to 6.50 MPa for the non-thermoformed samples; and from 4.67 MPa to 12.57 MPa for the thermoformed samples, when the resin content varies from 15 to 30 %. Similarly, the compressive strength vary from 2.96 MPa to 15.78 MPa and from 10.25 MPa to 19.5 MPa respectively for the non-thermoformed and thermoformed samples. As for thermal conductivity, the values obtained on the samples without thermoforming and after thermoforming range respectively from 0.04 W / m.K to 0.10 W / m.K and from 0.07 W / m.K to 0.13 W / m.K for resin contents indicated above. These mechanical and thermal resistances are stabilized from 25 % resin. The development of composite materials from wood chips and expanded polystyrene waste can therefore be a way of recycling this waste.

Keywords : *expanded polystyrene, resin, wood chips, thermoforming, mechanical properties, thermal conductivity.*

I - INTRODUCTION

Les polymères synthétiques ont commencé à remplacer les matériaux naturels dans presque tous les domaines depuis de nombreuses années [1]. De nos jours, les plastiques sont devenus indispensables dans la vie ; un grand nombre de matériaux traditionnels comme le bois, les métaux, la faïence, le verre et les fibres naturelles sont remplacés par les plastiques. En outre, une longue série de fonctions nouvelles ne peuvent être remplies que par ces derniers [2]. En 2000, la demande mondiale de plastique était estimée à 146 millions de tonnes. Environ 30 % de ces plastiques sont utilisés pour des applications d'emballage avec une croissance annuelle de 25 % de la demande dans ce domaine [3]. Le polystyrène, l'un des plastiques parmi plus de 700 types de plastiques connus

à ce jour [4], compte parmi les plus utilisés pour l'emballage des marchandises fragiles, des appareils électroménagers et des aliments périssables [1], etc. Après son utilisation, le polystyrène, est rejeté dans la nature, comme les autres déchets plastiques, ce qui génère d'importantes quantités de déchets à cause de son faible taux de recyclage et sa forte dissémination liée à sa faible densité [5]. Il est ainsi facilement emporté par le vent et les eaux de ruissellement. Compte tenu du fait qu'il est non biodégradable, ces déchets de polystyrène s'accumulent et impactent négativement l'environnement [6]. Aussi, le bois, l'un des premiers matériaux utilisés par l'homme [7], reste essentiel à son confort. Cependant, son usinage provoque d'importants sous-produits parmi lesquels les copeaux de bois. La part constituée par les copeaux de bois lors de la transformation de l'arbre est de 40 % [8]. En Côte d'Ivoire, depuis l'interdiction de l'exportation du bois sous forme de grume [9], les déchets de l'industrie du bois comme les copeaux abondent à cause des activités des scieries qui se chargent localement de la première transformation. Malheureusement ces déchets ne sont pas suffisamment valorisés [10] et sont de ce fait considérés comme des déchets ultimes. Ils sont généralement incinérés entraînant un dégagement important de dioxyde de carbone (CO_2), sinon, laissés sur place causant ainsi des problèmes de salubrité dans les villes. Dans le but de contribuer à valoriser les déchets de polystyrène et les copeaux de bois, et résorber le problème de pollution liés à ces déchets, une voie de recyclage a été initiée à travers la mise au point de composites à base de polystyrène expansé (PSE) et de copeaux de bois ont été élaborés [11]. Ce travail vise à déterminer l'influence de la teneur en résine de polystyrène expansé sur les propriétés thermomécaniques de ces composites.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Matières premières

Les matières premières utilisées dans le cadre de ce travail sont constituées de copeaux de bois et de polystyrène expansé. Les copeaux de bois utilisés sont les passants au tamis de maille 5 mm. Ils ont une forme lamellaire et sont constitués d'environ 90 % de particules de taille supérieure à 2 mm (*Figure 1a*). Ils ont été récupérés dans des unités de menuiserie à Abidjan (Côte d'Ivoire). Le polystyrène expansé (PSE) (*Figure 1b*) a été récupéré dans des poubelles de pré collecte aux abords des commerces à Treichville (Abidjan). Il s'agit de polystyrène utilisé comme anti choc pour l'emballage des appareils électroménagers. Une fois débarrassé d'éventuelles étiquettes, ce polystyrène est dissout dans l'acétone. Cette dissolution réduit son volume de 98 % [12] et rentabilise ainsi sa collecte. Il en résulte une résine qui va servir de liant pour la confection des composites. La dissolution du PSE se fait dans un rapport d'environ 0,7 kg de PSE pour un litre de solvant.

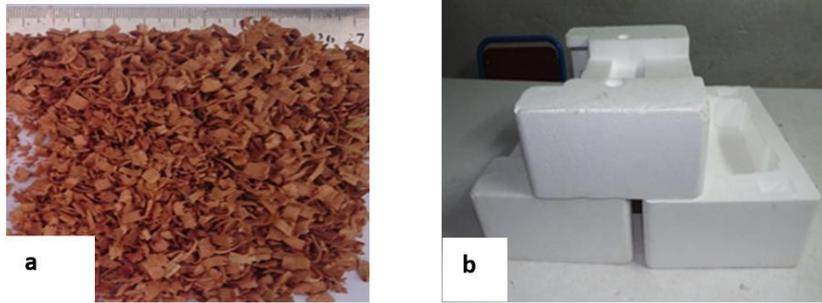


Figure 1 : *Matières premières : (a) polystyrène expansé et (b) copeaux de bois*

II-2. Méthode d'élaboration

L'élaboration des échantillons s'est faite en plusieurs étapes résumées sur la **Figure 2**. La résine est versée sur les copeaux et l'ensemble est mélangé manuellement. Ensuite, le mélange obtenu est introduit dans une extrudeuse en vue d'une homogénéisation. Enfin, une quantité de ce mélange est prélevée et compactée dans une presse manuelle pour sortir des plaques de dimension $20 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$. Différents échantillons ont été confectionnés en faisant varier la proportion (volumique) de résine de 15 ; 20 ; 25 et 30 %. Après le séchage, une partie de ces échantillons a été soumise à un thermoformage. Pour ce faire, l'échantillon est mis entre deux plaques métalliques ; l'ensemble est chauffé à 150°C pendant 50 minutes. Puis le tout est compacté à chaud à l'aide d'une presse statique manuelle. Au final deux catégories d'échantillons sont élaborées : des échantillons non thermoformés et des échantillons thermoformés.

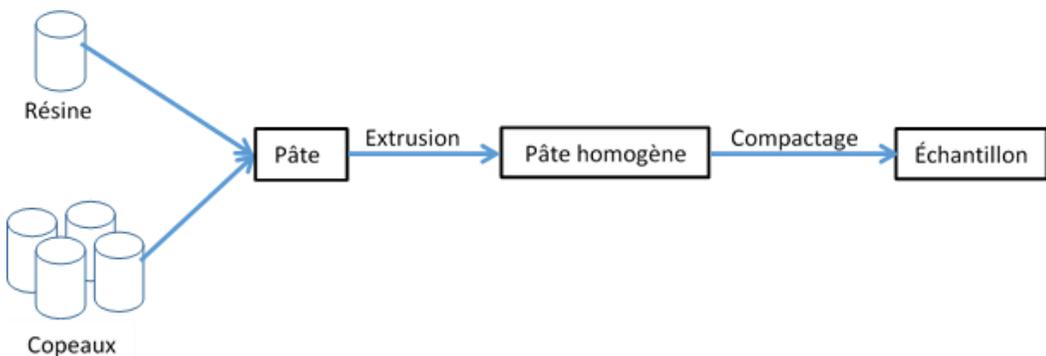


Figure 2 : *Méthode d'élaboration des composites*

II-3. Caractérisation des échantillons

II-3-1. Caractérisations mécaniques

II-3-1-1. Mesure de la résistance à la flexion trois points

L'essai de caractérisation à la flexion trois points a été réalisé sur des échantillons de dimensions 20x10x3 cm³ selon la norme ASTM D 790-81 [13]. Les échantillons à caractériser ont été posés sur deux (2) appuis simples distants de « L ». Un troisième appui est placé sur la face supérieure à mi-distance des appuis supports. Ensuite un chargement progressif est exercé sur l'échantillon à l'aide de la presse jusqu'à sa rupture. La charge à la rupture « F » est notée. La résistance à la flexion est donnée par l'**Équation (1)** :

$$R_f = \frac{3FL}{2lh^2} \quad (1)$$

avec, R_f : la résistance à la flexion (MPa), F : la charge à la rupture (N), L : la distance entre les appuis supports (mm), l : la largeur de l'échantillon (mm), h : l'épaisseur de l'échantillon (mm).

II-3-1-2. Mesure de la résistance à la compression

Pour cet essai des échantillons parallélépipédiques de dimensions 10 x 5 x 3 cm³ ont été découpés à partir de l'échantillon de base. L'échantillon testé est posé sur sa section (3 x 5 cm²) afin d'obtenir un élancement de 2 [14] ; nécessaire pour une estimation optimale de la résistance. Il est ensuite chargé progressivement jusqu'à sa rupture. La charge à la rupture « F » est relevée. La résistance à la compression (R_c) est donnée par la **Formule (2)**.

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (2)$$

avec, R_c : Résistance à la compression (MPa), F : la charge à la rupture (N), S : la Section chargée (mm²)

II-3-2. Caractérisation thermique

- **Détermination de la conductivité thermique**

La conductivité thermique des différents échantillons a été déterminée grâce à un fluxmètre de type « sciencethic ». Pour ce faire, des éprouvettes de dimension 6 x 5 x 1,4 cm³ (dimensions correspondant à la cellule de mesure du conductivimètre) ont été confectionnées par notre équipe de recherche. Après installation et fixation, à l'aide d'une molette, un gradient thermique est imposé

à l'échantillon placé entre deux plaques en aluminium de résistance thermique négligeable dont la surface est de $6 \times 5 \text{ cm}^2$. La plaque inférieure est en contact avec une source froide non réglable tandis que la plaque supérieure est en contact avec une source chaude dont la puissance thermique Φ , est réglable. Cette puissance est réglée de façon à ce que la température T_1 de cette plaque soit la plus proche possible de la température ambiante. Lorsque le régime permanent est atteint, la température de la plaque inférieure T_2 se stabilise à une température d'environ 10 à 15°C en dessous de la température T_1 maintenue à la température ambiante. L'appareil affiche alors successivement T_1 ; T_2 ; U ; I ; Φ ; R_{th} et λ/d . La conductivité thermique est calculée à partir de la **Formule (3)** suivante :

$$\lambda = \frac{\Phi \cdot e}{\Delta T \cdot S} = \frac{U \cdot I \cdot e}{\Delta T \cdot S} \quad (3)$$

avec, λ : conductivité thermique (W/m.K); Φ : puissance thermique (W); U : Tension (V); e : épaisseur de l'échantillon (m); S : surface de l'échantillon (m^2); I : Intensité (A); ΔT : différence de température (K).

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Influence de la teneur en liant sur les propriétés mécaniques des composites

Les résistances à la flexion (trois points) et à la compression des composites non thermoformés et thermoformés sont présentées sur la **Figure 3**.

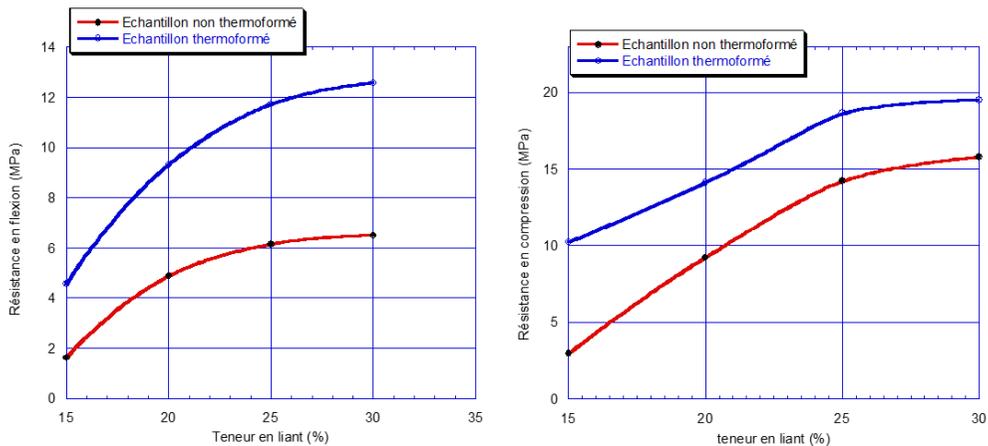


Figure 3 : Variation des propriétés mécaniques en fonction de la teneur en liant des composites
(a) résistance à la flexion trois points, (b) résistance à la compression)

La résistance à la flexion des composites augmente lorsque la teneur en liant (PSE) des échantillons augmente. Ainsi, pour des teneurs de 15 % à 30 % de résine, les résistances passent de 1,62 MPa à 6,50 MPa pour les échantillons non thermoformés ; et de 4,67 MPa à 12,57 MPa pour les échantillons thermoformés (*Figure 3a*). Les échantillons thermoformés ont des résistances plus élevées que les échantillons non thermoformés avec un taux d'augmentation qui varie d'environ 62 % (à 15 % de liant) à presque 100 % (à 30 % de liant). Cependant, cette augmentation de résistance tend à être moins perceptible à partir de 25 % de liant. Quant à la résistance à la compression, elle augmente lorsque la teneur en liant des échantillons augmente (*Figure 3b*). Ainsi, pour des teneurs en liant allant de 15 % à 30 %, les résistances vont de 2,96 MPa à 15,78 MPa pour les échantillons n'ayant pas subi de thermoformage; tandis qu'après thermoformage des échantillons, les résistances vont de 10,25 MPa à 19,5 MPa, soit une augmentation de 246 % pour les échantillons de 15 % de résine et 22 % pour les échantillons de 30 % de résine. Ici aussi, la résistance tend à se stabiliser à partir de 25 % de liant et les résistances des échantillons thermoformés sont plus élevées que celles des échantillons non thermoformés. L'accroissement de la résistance (en flexion et en compression) avec l'augmentation du liant dans les composites peut être liée à l'amélioration des liaisons entre les copeaux de bois et la résine de (PSE). En effet, l'augmentation de la teneur en liant entraîne une meilleure imprégnation et un enrobage plus important des copeaux de bois par le liant, ce qui a pour conséquence un renforcement des liaisons au séchage. Pendant le processus de thermoformage, il y a une réorganisation de la matrice par rapport aux copeaux sous les effets combinés de la chaleur et de la pression [12]. La matrice PSE se ramollit sous l'action de la chaleur puis se répartit entre les copeaux de bois sous l'effet de la pression, ce qui améliore et renforce les contacts entre la matrice et les copeaux de bois dans le mélange [11]. Cela explique le fait que la résistance mécanique des échantillons thermoformés est plus élevée que celle des échantillons non thermoformés. La stabilisation de la résistance à partir de 25 %, pourrait traduire une saturation du mélange en liant. En effet, on constate que les échantillons ont tendance à s'étaler au cours du séchage. Ce même constat a été fait sur des échantillons de pavés de sable stabilisés à l'aide de déchets de polyéthylène basse densité [6].

III-2. Influence de la teneur en liant sur la conductivité thermique des composites

La variation de la conductivité thermique des deux types d'échantillon, en fonction de la teneur en liant, est présentée sur la *Figure 4*. Cette figure montre que la conductivité thermique des composites augmente avec la teneur en liant ; quel que soit le mode de mise en forme. Ainsi pour les échantillons non thermoformés la conductivité passe de 0,04 W/m.K pour les échantillons à 15 %

de liant à 0,10 W/m.K pour ceux à 30 %. Pour les échantillons ayant subi le thermoformage, la conductivité passe de 0,07 W/m.K à 0,13 W/m.K. pour les teneurs sus indiquées. On observe que pour une même teneur en liant, les échantillons ayant subi le thermoformage ont une conductivité thermique plus élevée. Ainsi à 20 % de liant, la conductivité thermique des échantillons thermoformés est de 0,09 W/m.K alors qu'elle est de 0,06 W/m.K quand ils n'ont pas subi de thermoformage. Il est aussi à noter que l'augmentation de la conductivité thermique devient plus faible entre 25 et 30 % de liant.

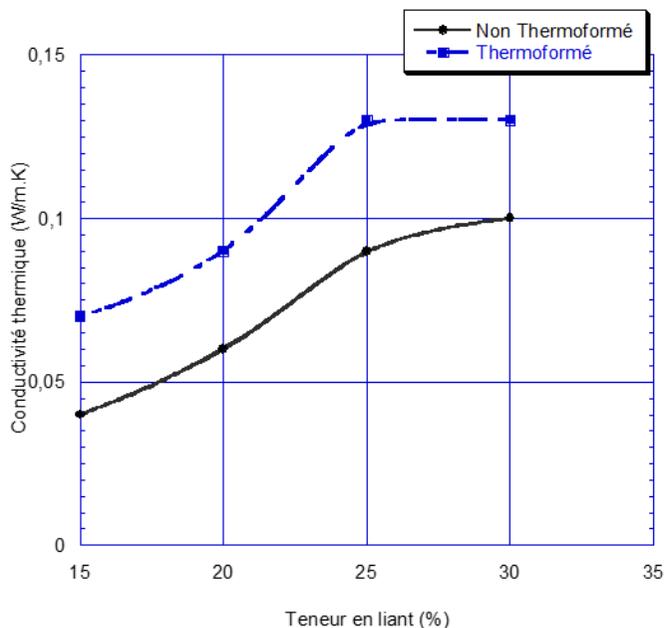


Figure 4 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en liant des composites

Le transfert du flux thermique dans un matériau peut être lié à de nombreux paramètres comme les éléments constitutifs du matériau [15, 16], sa structure interne [17, 18], ou sa teneur en eau [19]. L'augmentation de la conductivité thermique avec la teneur en liant pourrait être due à une amélioration de la structure interne des composites mais aussi à la diminution de leur porosité. En effet, lorsque la teneur en liant augmente, il se produit une meilleure imprégnation des copeaux de bois ; ce qui conduit à des liaisons plus fortes entre les particules d'une part, au remplissage des pores entre copeaux et donc la diminution de la porosité du matériau d'autre part. Cela engendre alors une cohésion plus importante entre les particules, induisant ainsi une structure interne plus compacte. Ce qui favorise un meilleur transfert du flux thermique, d'où l'augmentation de la conductivité thermique. De plus, le thermoformage

tout en favorisant une réorganisation des constituants sous l'effet de la température et de la pression, permet aussi d'améliorer la cohésion interne des composites en augmentant ainsi la conductivité thermique des composites. Des résultats similaires liés à la teneur en liant ont été obtenus respectivement sur les blocs d'argile stabilisés au ciment et les boues d'argile stabilisées au ciment [20, 21].

IV - CONCLUSION

Cette étude montre que l'utilisation de la résine de polystyrène comme liant permet de mettre au point des composites dont les propriétés mécaniques s'améliorent avec l'augmentation de la teneur en liant. Elle montre également que le thermoformage est la méthode de mise en forme la plus appropriée dans la mesure où les propriétés mécaniques obtenues sont plus élevées. Cependant, une augmentation de la teneur entraîne aussi une augmentation de la conductivité thermique même si les valeurs obtenues restent relativement faibles. Cette étude montre que les caractéristiques mécaniques et thermiques se stabilisent à partir de 25 % de liant ; cette teneur est donc la teneur optimale. La méthode proposée dans cette étude peut donc être une contribution significative pour la gestion de ces déchets.

RÉFÉRENCES

- [1] - A. S. AAMER, H. FARIHA, H.ABDUL, A. SAFIA, « Biological degradation of plastics: A comprehensive review », *Biotechnology Advances*, 26 (2008) 246 - 265
- [2] - MILIEU, ÉDUCATION, NATURE & SOCIÉTÉ (MENS), « Le recyclage des plastiques, Dossier sur l'environnement », (2001) 19
- [3] - R. JAYASEKARA, I. HARDING, I. BOWATER, G. LONERGAN, « Biodegradability of a selected range of polymers and polymer blends and standard methods for assessment of biodegradation », *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 13, N° 3, (2005) 231 - 251
- [4] - AFIPEB, « Le polystyrène expansé : poids plume aux performances poids lourds ! », Magazine Polystyrène expansion, (2014) 8
- [5] - S. MOTCH, C. CHARLIER, « Extension de l'étude d'un procédé de recyclage du polystyrène et caractérisation du produit obtenu », *Revue scientifique des ISILF*, (2005) 12
- [6] - B. TRAORÉ, « Élaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : amélioration de la résistance par des charges en argiles ». Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2018) 140
- [7] - M. C. TROUY, P. TRIBOULOT, « Matériau bois : structure et caractéristiques », *Technique de l'ingénieur Construction bois*, c925, TIB824, (2019) 11 - 18

- [8] - AQPER, « Association Québécoise de la Production d'Énergie Renouvelable ». Colloque 5 et 6 février 2020 Château Laurier Québec, (2019). www.aqper.com consulté le 19/10/2019
- [9] - P. O. CERUTTI, R. TSANGA et E. ESSIANE, « Le marché domestique du sciage artisanal en Côte d'Ivoire », Rapport final du projet FAO, (2015) 24
- [10] - S. OUATTARA, « Recherche de briques légères : conception et caractérisation de briques crues à base d'argile et sciure de bois, stabilisées au ciment Portland », Thèse de Doctorat, université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2013) 160
- [11] - S. P. KAHU, K. C. KOUADIO, C. H. KOUAKOU, E. EMÉRUWA, « Development of a Composite Material Based on Wood Waste Stabilized with Recycled Expanded Polystyrene ». *Journal of Composite Materials*, 10 (2020) 66 - 76
- [12] - A. M. ALMUSAWI, « Mise en œuvre et optimisation des propriétés d'une structure Sandwich en Matériaux Biosourcés (Fibre et Bois de chanvre) avec une Matrice en Polystyrène pour le Bâtiment », Thèse de Doctorat, Belfort-Montbéliard, (2017) 156
- [13] - D. ROUBY, « Introduction aux matériaux composites : propriétés mécaniques des composites dans la pratique des essais », Cours M6 de l'INSA de Lyon, (2005) 9
- [14] - G. BAVELARD, H. BEINISH, « Guide de bonnes pratiques des essais de compression sur éprouvettes ; Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton », (2006) 28
- [15] - I. ABOUBOU, L. DIABATÉ et G. MENGUY, « Détermination de la conductivité thermique de matériaux locaux de construction à Bamako », *Journal des sciences pour l'ingénieur*, N°4 (2004) 1 - 6
- [16] - F. Z. ARRAKHIZ, K. BENMOUSSA, R. BOUHFID, A. QAISS, « Pine cone fiber/clay hybrid composite : Mechanical and thermal properties », *Materials and Design*, (2013) 376 - 381
- [17] - C. LANGLAIS et S. KLARSFELD, « Isolation thermique à température ambiante : transfert de chaleur », *Techniques de l'Ingénieur*, BE 9859, (2004) 17
- [18] - H. OMRANI, L. HASSINI, A. BENAZZOUK, H. BEJI, A. ELCAFSI, « Elaboration and characterization of clay-sand composite based on *Juncus acutus* fibers », *Construction and Building Materials*, (2020) 1 - 10
- [19] - P. MEUKAM, A. NOUMOWE, Y. JANNOT et R. DUVAL, « Caractérisation thermophysique et mécanique de briques de terre stabilisée en vue de l'isolation thermique de bâtiment », *Materials and structures/matériaux et Construction*, Vol. 36, (2003) 453 - 460
- [20] - M. O. BOFFOUÉ, K. C. KOUADIO, C. H. KOUAKOU, A. A. ASSANDÉ, A. DAUSCHER, B. LENOIR, E. EMERUWA, « Influence de la teneur en ciment sur les propriétés thermomécaniques des blocs d'argile comprimée et stabilisée », *Afrique SCIENCE*, 11 (2) (2015) 35 - 43
- [21] - M. L. CAMARA, A. VIANOU et M. KEITA, « Mesure de la conductivité thermique de la boue rouge stabilisée au ciment et à l'argile », *Journal des sciences pour l'ingénieur*, N°5 (2005) 40 - 45