

Influence de l'incorporation des mèches synthétiques usagées sur les propriétés thermophysiques et mécaniques d'un matériau composite à base de plâtre

**Koffi Clément KOUADIO*, Abo Marie Christelle ANOUAN, Brahiman TRAORE
et Edjikémé EMERUWA**

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

* Correspondance, courriel : kklements@yahoo.fr

Résumé

L'utilisation des mèches synthétiques engendrent des déchets importants car elles sont très peu recyclées ce qui entraîne une pollution de l'environnement. Il est donc urgent de trouver une solution à ce problème. Cette étude vise à mettre au point un matériau à base de plâtre et de mèches synthétiques usagées. Ce matériau a été confectionné avec des proportions de mèches variant de 0 % à 1,5 % en masse selon une méthode définie. Elle commence par la détermination du rapport Eau/Plâtre (E/P) optimale, ensuite le mélange plâtre-mèches est coulé dans des moules et soumis à un vibro-compactage. Les échantillons obtenus sont démoulés au bout de 36 heures et séchés jusqu'au 28^e jour. Après séchage, ils ont été soumis à différents essais de caractérisation tels que la détermination de la densité apparente, la mesure de la conductivité thermique en régime permanent par méthode fluxmétrique, la détermination de la résistance à la flexion trois points. Les résultats obtenus montrent que l'ajout des mèches dans le plâtre entraîne une diminution de la densité apparente passant de 0,97 pour un matériau sans mèche à 0,90 lorsque la teneur en mèche est de 1,5 % soit un allègement du matériau de 7,21 %. Aussi la conductivité thermique passe-t-elle de 0,31 W/m.K à 0,21 W/m.K pour des teneurs en mèches allant de 0 % à 1,5 %. Pour les mêmes proportions de mèches, la résistance à la flexion 3 points varie de 2,08 MPa à 3,76 MPa ; ce qui correspond à une augmentation de la résistance de 80,77 %. L'incorporation des mèches dans le plâtre constitue donc une voie de recyclage des mèches synthétiques usagées.

Mots-clés : *plâtre, mèches synthétiques usagées, pollution, recyclage, caractérisation.*

Abstract

Influence of incorporation of synthetic wicks waste on thermophysical and mechanical properties of a plaster based composite material

The use of synthetic wicks generates significant waste because they are not enough recycled and it causes environmental pollution. So, it is urgent to find a solution to this problem. This study aims to develop a composite material made of plaster and synthetic wicks waste. This material was made of wick proportions varying from 0 % to 1.5 % by weight according to a defined method. It begins with determination of optimum Water/Plaster ratio (W/P), then the plaster-wicks mixture is poured into moulds and submitted to vibro-compactation. Obtained samples are demoulded after 36 hours and dried until the 28th day. After drying, they

were submitted to various characterization tests such as bulk density determination, thermal conductivity measurement in steady state by fluxmetric method, three-point flexural strength determination. The results show that the addition of wicks to plaster reduces the bulk density, which varying from 0.97 for material without wick to 0.90 when the wick content is 1.5 %, i.e. a lightening of the material by 7.21 %. Moreover, the thermal conductivity goes from 0.31 W/m.K to 0.21 W/m.K for synthetic wicks contents ranging from 0 % to 1.5 %. For the same proportions of wicks, 3-point flexural strength varies from 2.08 MPa to 3.76 MPa; corresponding to an increase of strength about 80.77 %. The incorporation of wicks into plaster is a way of recycling synthetic wicks waste.

Keywords : *plaster, synthetics wicks waste, pollution, recycling, characterization.*

1. Introduction

Les mèches synthétiques sont les plus utilisées dans le monde pour leur faible coût et leur grande variété. Il s'agit de rajouts que les femmes peuvent changer régulièrement. Ces mèches sont appréciées et beaucoup utilisées par les femmes en Côte d'Ivoire. Après usage, de nombreuses mèches se retrouvent dans les rues et constituent des déchets qui polluent l'environnement, surtout que l'industrie de mèches en Côte d'Ivoire produit en moyenne 40 millions de paquets de mèches par an [1]. Le fait que ces plastiques soient des matières non biodégradables, leur recyclage semble être la solution la plus adéquate pour leur élimination. Le plâtre, matériau de construction très utilisé pour ses nombreux avantages, présente aussi quelques inconvénients qui limitent son utilisation. D'abord il est un matériau friable. En effet, on lui associe une dureté de 1,5 à 2 sur l'échelle de MOHS [2]. Il possède une bonne résistance à la compression, mais des résistances à la flexion et aux chocs très faibles [3]. Pour améliorer ces faiblesses, le plâtre est utilisé, associé à des fibres aussi bien naturelles que synthétiques telles que le sisal, le polypropylène, le chanvre [4]. Ces constituants présentent l'avantage d'avoir d'excellentes performances en traction et en flexion [5, 6]. C'est par exemple le cas du staff dans lequel les fibres de sisal sont associées au plâtre. Ce travail a été initié en vue trouver une voie de recyclage aux déchets que constituent les mèches synthétiques usagées en Côte d'Ivoire. Il vise à étudier l'impact de ces déchets sur les propriétés physiques, thermiques et mécaniques d'un matériau composite à base de plâtre.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matières premières

2-1-1. Plâtre

Le plâtre utilisé dans cette étude, est le plâtre alpha produit en Tunisie.

2-1-2. Mèches usagées

Les mèches, ont été recueillies dans un salon de coiffure à Yopougon (Abidjan). Il s'agit de produits à base d'acrylonitrile, de polychlorure de vinyle et modacrylique. Elles ont été lavées, puis séchées à l'air libre pendant 4 heures et enfin découpées en longueur de 1 cm (*Figure 1*).



Figure 1 : *Mèches synthétiques utilisées : (a) Mèches recueillies, (b) Touffe de mèches découpées*

2-2. Confection des échantillons

2-2-1. Détermination du rapport E/P optimal

La première étape de l'élaboration des échantillons est la détermination du rapport eau/plâtre (E/P) adéquat. Le choix du rapport E/P est primordial dans la mesure où il détermine, d'une part l'ouvrabilité du mélange et d'autre part le comportement mécanique du matériau. En effet pour permettre une bonne ouvrabilité il est nécessaire d'avoir une pâte qui présente une certaine fluidité donc une teneur en eau importante. D'un autre côté un matériau ayant une teneur en eau trop élevée présente généralement des performances mécaniques peu satisfaisantes. Pour pouvoir réunir ces deux conditions souvent contradictoires (bonne ouvrabilité et bonnes propriétés mécaniques), des essais de gâchage avec différents rapports E/P ont été réalisés afin de déterminer la consistance nécessaire pour une ouvrabilité optimale de la pâte.

2-2-2. Formulation et mise en forme des échantillons

Les échantillons ont été confectionnés avec des proportions de mèches synthétiques usagées variant de 0 à 1,5 % en masse. Après détermination du rapport E/P optimale, la quantité de plâtre nécessaire pour chaque échantillon est progressivement dissoute dans l'eau en veillant à éviter la formation de bulles d'air. Le mélange est laissé au repos pendant une minute. Ensuite, il est homogénéisé par malaxage en évitant la formation de grumeaux. La moitié du plâtre est coulée dans le moule et la proportion de mèche nécessaire est ajoutée et l'autre moitié du plâtre est versée ensuite sur la couche de mèche. Les mèches sont donc prises en sandwich dans la matrice de plâtre. Le matériau ainsi obtenu est soumis à un vibro-compactage pendant trois (3) minutes. Après vibration le matériau est laissé à l'air libre et démoulé au bout de 36 heures. Enfin il est séché jusqu'à 28 jours d'âge (**Figure 2**).

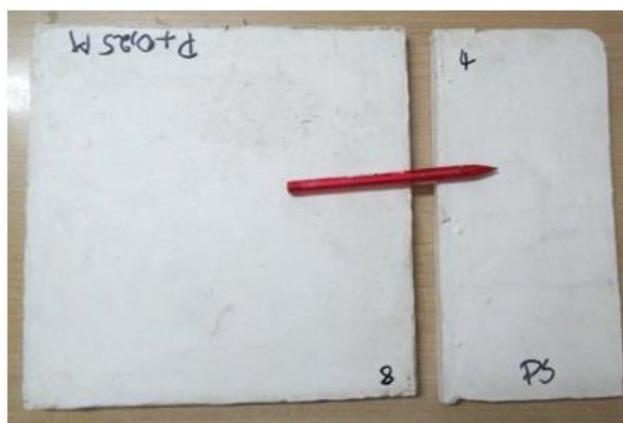


Figure 2 : *Échantillons élaborés*

2-3. Caractérisation des échantillons

2-3-1. Mesure de la densité apparente

Après séchage, les échantillons sont pesés avec une balance de précision 0,1 g. Ensuite, les dimensions sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse de précision 0,02 mm. A partir des dimensions (longueur, largeur et épaisseur), le volume des blocs est calculé. La densité apparente $d(\text{g}/\text{cm}^3)$ est alors calculée grâce à la **Formule** suivante :

$$d = \frac{M}{V} \quad (1)$$

avec, M : masse de l'échantillon (g), V : volume de l'échantillon (cm^3).

2-3-2. Détermination de la conductivité thermique

La conductivité thermique des différents échantillons a été déterminée grâce à fluxmètre de type « sciencethic ». Pour ce faire des éprouvettes de dimension $6 \times 5 \times 1,4 \text{ cm}^3$ ont été confectionnées. 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 $6 \times 5 \text{ cm}^2$. La plaque inférieure est en contact avec une source froide non réglable tandis que la supérieure est 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** suivante :

$$\lambda = \frac{\Phi \cdot e}{\Delta T \cdot S} = \frac{U \cdot I \cdot e}{\Delta T \cdot S} \quad (2)$$

avec, λ : conductivité thermique ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$); 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).

2-3-3. Mesure de la résistance à la flexion trois (3) points

L'essai de flexion 3 points est effectué sur des échantillons de dimension $16 \times 4 \times 1,4 \text{ cm}^3$ à l'aide d'une presse hydraulique selon la norme ASTM D 790-81 [7]. Les échantillons à caractériser ont été posés sur deux (2) appuis distants de « L ». Un troisième appui est placé sur la face supérieure à mi-distance des appuis-supports. Les échantillons sont ensuite soumis à un moment de flexion par application d'une charge exercée à l'aide de la presse à une vitesse de 200 N/s jusqu'à leur rupture. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée par la **Formule** suivante :

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2bh^2} \quad (3)$$

avec, σ : la résistance (MPa), F : la charge (N), L : la distance entre les appuis inférieurs (mm), b : la largeur de l'échantillon (mm), h : l'épaisseur de l'échantillon (mm).

3. Résultats et discussion

3-1. Détermination du rapport Eau/Plâtre (E/P) optimal

Les résultats obtenus lors de la détermination du rapport Eau/plâtre optimal sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Détermination de rapport E/P optimal

| Rapport E/P | Observations | Ouvrabilité |
|-------------|------------------|--|
| 0,6 | Pâte très ferme | Mise en forme par coulage et vibro-compaction impossible |
| 0,7 | Pâte ferme | Mise en forme difficile |
| 0,8 | Pâte fluide | Mise en forme aisée |
| 0,9 | Pâte très fluide | Mise en forme difficile ; perte de matière |

Au vu des résultats contenus dans le **Tableau 1**, le rapport E/P de 0,8 est le rapport adéquat pour la mise en forme optimale des échantillons.

3-2. Densité apparente du matériau

Les résultats obtenus sont présentés sur la **Figure 3**. Elle montre que la densité des composites diminue lorsque la teneur en mèches croît. En effet, le matériau sans mèche a une densité de 0,97 tandis que celui avec 1,5 % de mèches a une densité de 0,90. Le passage de 0 % de mèches à 1,5 % engendre alors une diminution de la densité de l'ordre de 7,21 %.

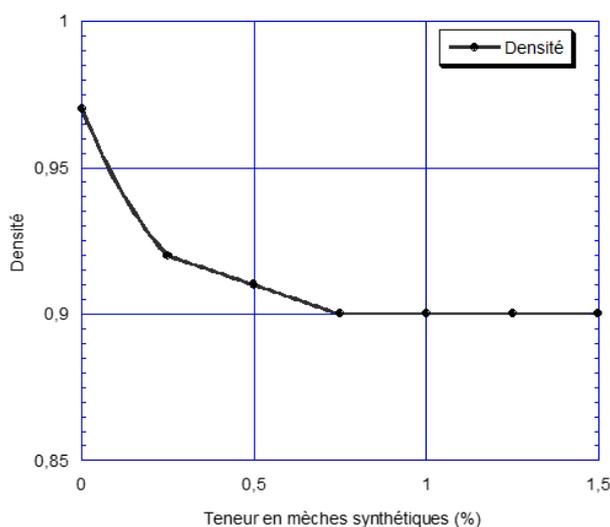


Figure 3 : Variation de la densité en fonction de la teneur en mèches

Cela peut être lié à la faible densité des mèches comparée au plâtre. En effet la densité du plâtre est estimée à 2,60 alors que celle des mèches synthétiques se situe autour 1,1. Ce résultat est en accord avec ceux de certains auteurs qui ont montré que l'incorporation des fibres de polystyrène dans les matrices cimentaires diminue la densité de celles-ci de 50 % [8]. Cette diminution étant liée au fait que la densité du polystyrène est égale à 1/100 de la densité du mortier. Cependant d'autres auteurs pensent que cette baisse pourrait s'expliquer par une augmentation du réseau poreux dans le matériau [4, 9, 10].

3-3. Conductivité thermique du matériau

La **Figure 4** présente les résultats de l'étude de la conductivité thermique pour les différentes formulations. Cette **Figure** montre que la conductivité thermique des différents matériaux passe de 0,31 W/m.K pour les échantillons sans mèche à 0,21 W/m.K pour ceux contenant 1,5 % de mèches, soit une chute de l'ordre de 32,25 %.

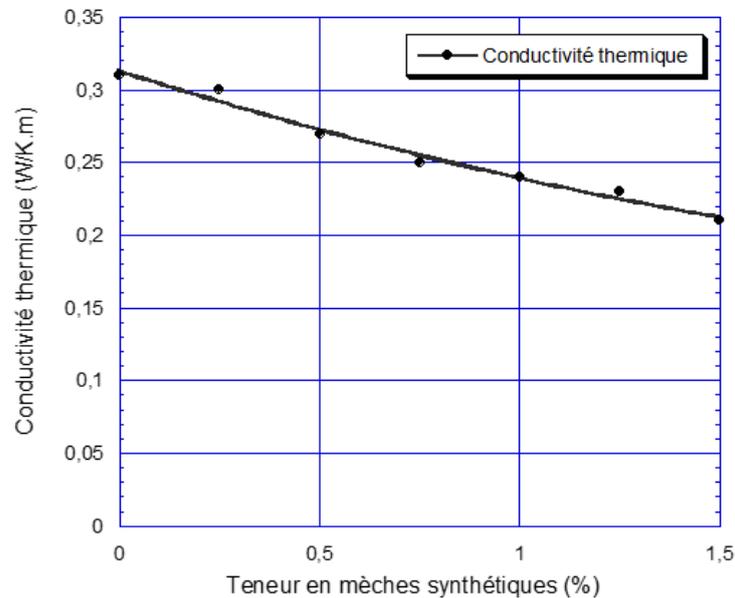


Figure 4 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en mèches

Cela est peut-être dû à différents paramètres tels que le caractère isolant des mèches, leur faible densité, leur géométrie et leur disposition dans le matériau mais aussi à l'augmentation des pores. En effet l'incorporation des mèches entraîne une variation de la structure interne du matériau qui passe d'une structure monophasique et homogène (plâtre sans mèche) à une structure triphasique (plâtre/mèche/plâtre) vu que le matériau est mis en forme comme un matériau sandwich. Cette structure peut entraîner des déperditions du flux thermique aux différentes interfaces contribuant ainsi à réduire la conductivité thermique du matériau. Ce résultat est conforme aux résultats qui montrent que la présence de fibres végétales dans le plâtre améliore le caractère isolant du matériau [11]. Des études ont aussi montré que l'ajout d'éléments de faible densité au plâtre permet de l'alléger, ce qui a pour effet d'abaisser sa conductivité thermique. Les fibres favorisent donc d'avantage la fonction d'isolant thermique du plâtre [12 - 15]. Pour d'autres auteurs, cette diminution de la conductivité thermique est due à l'accroissement de la porosité du matériau lié à la présence des fibres et à l'augmentation de leur teneur [16, 17].

3-4. Résistance à la flexion 3 points du matériau

Les résultats de la variation de la résistance à la flexion 3 points des échantillons sont illustrés sur la **Figure 5**.

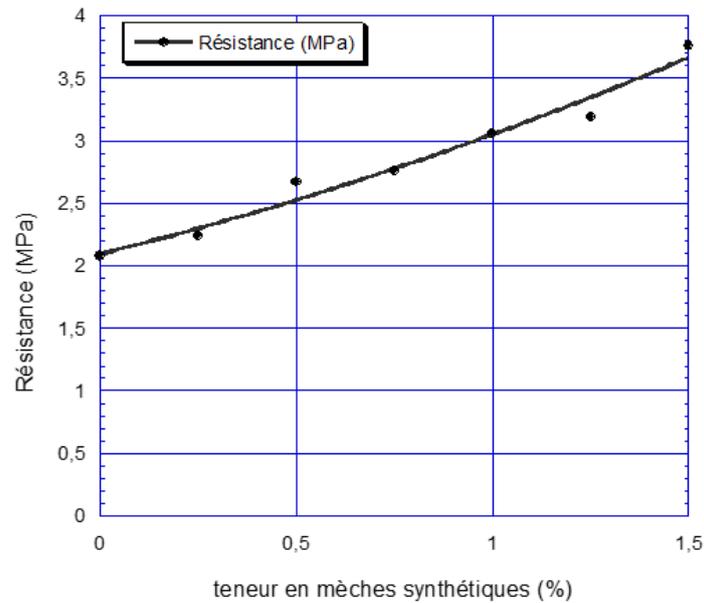


Figure 5 : *Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en mèches*

On observe une augmentation de la résistance en flexion lorsque la teneur en mèche augmente dans le plâtre. La résistance passe de 2,08 MPa pour le matériau sans mèche à 3,76 MPa pour le matériau avec 1,5 % de mèches. Ainsi la résistance à la flexion du matériau a augmenté d'environ 80,77 %. Ce comportement semble être lié à la présence des mèches qui limitent la propagation des fissures par un effet de couture. De plus, l'ajout de mèche au plâtre permet d'éviter sa rupture brutale, par un mécanisme de report de la charge appliquée sur le renfort après la fissuration de la matrice. Ce résultat est en accord avec les résultats observés lors de l'étude du plâtre renforcé par les fibres de polyester [18]. De même, certains auteurs ont montré que la résistance à la flexion du plâtre incorporé de fibres de verre augmente en fonction du pourcentage de fibres utilisées [19, 20]. Ces fibres jouent donc un rôle de renfort dans le composite. Des résultats similaires ont été observés lors de l'étude sur l'incorporation des fibres de bambou dans du BTC (Bloc de Terre Comprimée) [9]. D'autres études ont aussi montré que l'augmentation de cette résistance à la flexion varie en fonction du type de fibre utilisé [21, 22].

4. Conclusion

L'objectif de cette étude est de valoriser les déchets de mèches en les incorporant dans du plâtre afin d'améliorer les caractéristiques de ce dernier. Les résultats expérimentaux obtenus à travers cette étude permettent de tirer les conclusions suivantes :

- l'ajout des mèches allège le matériau ;
- l'ajout des mèches diminue la conductivité thermique du matériau ;
- l'ajout des mèches augmente la résistance à la flexion du matériau.

L'incorporation des mèches dans le plâtre comme renfort permet d'améliorer les caractéristiques de celui-ci et s'avère être donc une solution au recyclage des mèches synthétiques usagées.

Références

- [1] - RTI, RTI officiel. https://youtu.be/RHGO_W2eq1o/(2017). (Consulté le 3 février 2020)
- [2] - S. EVE, Comportement à la prise et caractérisation mécanique de matériaux composites à base de plâtre. Thèse, Université de Caen / Basse-Normandie, (2003) 268 p.
- [3] - F. IUCOLANO, B. LIGUORI, P. APREA, D. CAPUTO, Evaluation of bio-degummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster. *Composites Part B* 138, (2018) 149 - 156
- [4] - S. HAMZA, H. SAADA, B. CHARRIER, N. AYED, F. CHARRIER-EL BOUHTOURY, Physico-chemical characterization of Tunisian plant fibers and its utilization as reinforcement for plaster based composites *Industrial Crops and Products*, 49 (2013) 357 - 365
- [5] - G. RAMAKRISHNA, T. SUNDARARAJAN, Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortars labs : a comparative study *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005) 547 - 553
- [6] - M. C. PAIVA, I. AMMAR, A. R. CAMPOS, R. B. CHEIKH, A. M. CUNHA, Alfa fibres : Mechanical, morphological and interfacial characterization. *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 1132 - 1138
- [7] - D. ROUBY, Introduction aux matériaux composites. Cours Institut national des sciences appliquées de Lyon, (2005) 52 p.
- [8] - A. ZAMBON, Formulation et caractérisation physique d'un béton léger de mousse et à base d'argile : valorisation des sédiments. Thèse Université de Bordeaux, (2018) 243 p.
- [9] - D. ABESSOLO, A. B. BIWOLE, D. FOKWA, B. M. GANOU et B. NYOUMA YEBGA, Effets de la longueur et de la teneur en fibres de bambou sur les propriétés physiques et hygroscoPIques des blocs de Terre comprimée (BTC) utilisés dans la construction. *Afrique Science*, 16 (4) (2020) 13 - 22
- [10] - D. AZZOUZI, W. RABAHI, F. SEDDIRI, M. HEMIS, Experimental study of the fibres content effect on the heat insulation capacity of new vegetable composite plaster-pea pod fibres. *Sustainable Materials and Technologies*, 23 (2019) 7 p.
- [11] - T. ASHOUR, H. WIELAND, H. GEORG, F.-J. BOCKISCH, W. WU, The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings, *Materials and Design*, 31 (2010) 4676 - 4685
- [12] - B. F. EBANDA, Etude des propriétés mécaniques et Thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales. Thèse, Université Blaise Pascal - Clermont II et Université de Douala, (2012) 190 p.
- [13] - L. SENFF, G. ASCENSÃO, V. M. FERREIRA, M. P. SEABRA, J. A. LABRINCHA, Development of multifunctional plaster using nano-TiO₂ and distinct particle size cellulose fibers. *Energy and Buildings*, 158 (2018) 721 - 735
- [14] - P. WESTGATE, K. PAINE, R. J. BALL, Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylenemonofilament fibres. *Construction and Building Materials*, 158 (2018) 472 - 480
- [15] - V. V. BHASKAR, K. SRINIVAS, S. B. R. DEVIREDDY, A novel mathematical correlation for thermal conductivity of hybrid composites reinforced with natural fibers. *Materials Today : Proceedings*, j. matpr, (2020) 479 p.
- [16] - A. ACHOUR, Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles valorisation des plantes locales. Thèse, Université AboubakrBelkaïd - Tlemcen, (2017) 116 p.
- [17] - M. BENTCHIKOU, S. HANINI, K. SILHADI et A. GUIDOUM, Elaboration et étude d'un mortier composite à matrice minérale et fibre cellulosique: Application à l'isolation thermique en bâtiment. *Canadian journal of civil engineering*, 34 (2007) 37 - 45
- [18] - F. IUCOLANO, B. LIGUORI, P. APREA, D. CAPUTO, Thermo- mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 185 (2018) 256 - 263

- [19] - N. AMITOUCHE et Y. FOUGHALI, Contribution à l'étude des propriétés physico-mécaniques des plâtres α et β avec l'ajout des fibres et de super plastifiant. CETIM Boumdesse. Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, (2016) 142 p.
- [20] - F. PARRES, J. E. CRESPO-AMOROS, A. NADAL-GISBERT, Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) 3182 - 3188
- [21] - G. DI BELLA, V. FIORE, G. GALTIERI, C. BORSELLINO, A. VALENZA, Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). *Construction and Building Materials*, 58 (2014) 159 - 165
- [22] - F. IUCOLANO, D. CAPUTO, F. LEOFFE, B. LIGUORI, Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. *Construction and Building Materials*, 99 (2015) 184 - 191