



## Etude des propriétés mécaniques et soniques de la brique légère à base de granulats de déchets de papier pour l'isolation thermique des bâtiments.

Bouchaib MANDILI<sup>a</sup>, Mohamed TAQI<sup>a</sup>, Hamid CHAKIR<sup>a</sup>, Mohamed ERROUAITI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire d'Ingénierie et Matériaux (LIMAT), Faculté des sciences Ben M'sik, Université Hassan II Casablanca, Maroc.

<sup>b</sup> Laboratoire public d'essais et d'études Casablanca, Maroc.

[Mandilibouchaib@gmail.com](mailto:Mandilibouchaib@gmail.com) [moha\\_taqi@yahoo.fr](mailto:moha_taqi@yahoo.fr)

### Résumé :

L'objectif de cette étude est la réutilisation de déchets de papier sous forme de granulats pour avoir des briques légères servant à réduire les déperditions thermiques de l'enveloppe des bâtiments.

Plusieurs travaux de recherche de valorisation des déchets de papier ont été réalisés soit en intégrant ces déchets dans les briques ou dans le béton. Notre travail porte sur l'élaboration de briques en ajoutant du papier sous forme de granulats. Une série de tests ont été effectués pour déterminer les propriétés mécaniques des échantillons de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  et la vitesse de propagation des ondes ultrasonores sur des échantillons réalisés de  $20 \times 20 \times 4,5 \text{ cm}^3$  conformément aux normes de la réglementation du bâtiment.

La masse volumique apparente des briques élaborées varie de 437 à 804  $\text{Kg/m}^3$  pour un dosage en ciment allant de 10 à 30%. Aussi la résistance à la flexion et la vitesse de propagation des ondes ultrasonores augmentent avec le dosage en ciment.

Les résultats obtenus indiquent que les briques réalisées et testées présentent un avantage de légèreté et de résistance par rapport aux briques conventionnelles.

### Mots clés :

Isolant thermique, briques, granulats de papier, ciment, propriétés mécaniques, vitesse d'ondes ultrasonores, masse volumique apparente.

## 1. Introduction

Les briques sont des matériaux de construction les plus anciens et dont la demande ne cesse d'augmenter dans le monde. Elles jouent un rôle très important dans la structure des bâtiments ; on les trouve dans l'enveloppe des bâtiments ainsi que dans les murs intérieurs de séparation entre les locaux. Généralement les briques doivent présenter des caractéristiques mécaniques, thermiques, hydriques et acoustiques pour assurer leur fonction. Elles peuvent être classées en deux parties [1] :

- Les briques de structure et d'isolation thermique, caractérisées par une résistance importante à la compression  $R_c \geq 3,5 \text{ MPa}$  et une faible conductivité thermique  $k \leq 0,75 \text{ w/m.k}$ .
- Les briques d'isolation thermique ont une résistance à la compression  $R_c \geq 0,5 \text{ MPa}$  et une faible conductivité thermique  $k \leq 0,3 \text{ w/m.k}$ .

Les briques conventionnels sont généralement de deux types, des briques en terre argileuse cuite à des hautes températures et des briques en béton à base de ciment Portland. La production de ces briques a une influence négative sur l'environnement par génération des gaz toxiques ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère, sur la consommation élevée de l'énergie de fabrication et sur l'épuisement des matériaux. Pour la protection de l'environnement et pour

un développement durable, plusieurs travaux de recherches ont étudiés l'utilisation de divers déchets pour la fabrication des briques.

Turgut et al. [2] ont étudié l'utilisation de la sciure de bois, le calcaire et le ciment pour avoir des briques légères qui ont une masse volumique entre 1510 et 1700 Kg/m<sup>3</sup> et les résultats obtenus sur les propriétés mécaniques, soniques et physiques sont satisfaisantes aux normes.

Algin et al. [3] ont étudié la valorisation des déchets du coton associés au ciment et le calcaire pour produire des briques légères ayant une masse volumique allant de 1340 à 1700 Kg/m<sup>3</sup>. Ces auteurs ont abouti à des résultats similaires de [2].

M. Chikhi et al. [4] a travaillé sur la valorisation du palmier dattier pour confectionner des briques légères avec une masse volumique allant de 923,44 à 743,13 Kg/m<sup>3</sup> destinées à l'isolation thermique, la conductivité thermique de ces briques varie entre 0,15 et 0,23 W/m.K et leur résistance à la compression est de l'ordre de 3,4 à 8MPa et celle de la résistance à la flexion est entre 3,65 et 5,6MPa.

Pour les travaux de valorisation des déchets de papier pour confection des briques légères on cite S.P. Raut et al. [5] ont étudié uniquement le comportement mécanique des briques confectionnées et ils ont trouvé que la résistance à la compression est de l'ordre de 9MPa.

D. Rajput et al. [6] ont confectionné des briques composite à base de déchets de papier et de coton. La résistance en compression de ces briques est de l'ordre de 23MPa.

E. P. Aigbomian et al. [7] ont réalisé des briques contenant de la sciure de bois en plus des déchets de papier. Ces briques ont des faibles performances mécaniques dont la résistance à la compression est de l'ordre de 0,8MPa.

Notre travail porte sur la valorisation des déchets de papier en les transformant à des granulats. L'objectif principal de la présente étude est la conception des briques légères à base de déchets de papier sous forme de granulats, suivie d'une étude des comportements mécaniques et soniques de celles-ci.

## **2. matériaux et tests**

### **2.1 Matériaux**

#### *2.1.1. Granulats de papier*

Les granulats de papier utilisés dans la présente étude sont issus de déchets de papier de bureau et de la papeterie. La caractérisation de ces granulats nous a permis de déterminer leur masse volumique apparente conformément à la norme NM 10.1.021 et les dimensions des granulats conformément à la norme NF EN 933-1. Leurs masse volumique apparente est de l'ordre de 195Kg/m<sup>3</sup> et les résultats de l'analyse granulométrique est présentée sur la figure 1.

#### *2.1.2. Ciment*

Le ciment utilisé pour la confection des briques de granulats de papier est type de ciment portland CPJ 45 (CEM II 42,5)

#### *2.1.3. Eau de gâchage*

L'eau utilisée est celle du réseau de la ville de Casablanca.

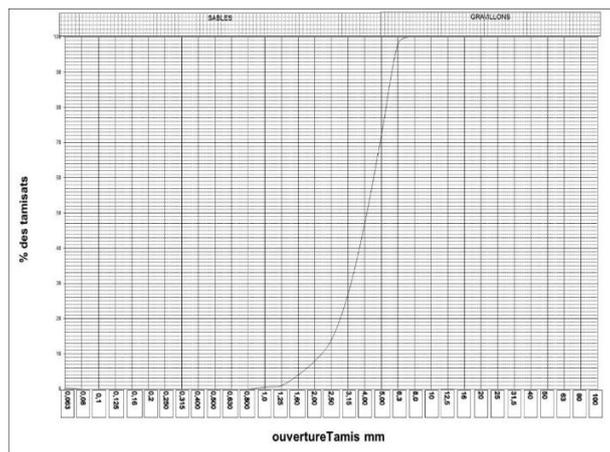


Figure 1 : Analyse granulométrique des granulats de papier.

## 2.2 Confection des briques

La confection des briques est réalisée en malaxant les granulats de papier, ciment et l'eau. La variation du dosage en ciment correspond à un type de briques. Ce dosage en ciment est pris en pourcentage de la masse des granulats de papier et qui varie comme suit 10%, 15%, 20%, 25%, et de 30%, ce qui correspond respectivement aux briques type A, type B, type C, type D et type E. Le tableau 1 montre les différents dosages en masse des cinq types de briques confectionnées.

Tableau 1 : Dosages en masse des différents types de briques de papier confectionnées.

Types de briques	Granulats de papier (g)	Ciment (g)	Eau	
			Pré-mouillage (g)	Gâchage (g)
Type A -10%-	600	60	1200	600
Type B -15%-	570	90	1140	660
Type C -20%-	550	110	1100	700
Type D -25%-	525	135	1050	750
Type E -30%-	500	160	1000	800

Les briques confectionnées sont de dimensions  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  pour la détermination de la résistance à la compression et à la flexion et de dimensions  $20 \times 20 \times 4,5 \text{ cm}^3$  pour la mesure de la vitesse de propagation du son (figure 2).



Figure 2 : Briques de papier confectionnées de dimension  $20 \times 20 \times 4,5 \text{ cm}^3$  et  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ .

### 2.3 Expérimental

Une série de tests est réalisée sur les briques de papier pour la détermination de la masse volumique apparente, résistance à la compression et à la flexion et la de vitesse de propagation des ondes ultrasoniques conformément aux normes NF EN.

#### 2.3.1. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente des briques de papier a été mesurée conformément aux normes NF EN 822 [8], NF EN 823 [9] et NF EN 1602 [10],

#### 2.3.2. Résistance à la flexion

La détermination de la résistance à la flexion des briques est effectuée selon la norme NF EN 12390 – 5 [11]. L'appareil d'essai est de type CONTROLS AUTOMAX5 (figure 3), la vitesse de chargement d'essai est de 50N/s.

#### 2.3.3. Résistance à la compression

La résistance à la compression est déterminée sur les deux parties résultant des éprouvettes de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  en prenant comme surface d'essai  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  et dont la vitesse de chargement est de 500N/s, l'essai est réalisé conformément à la norme NF EN 12390 – 3 [12].



Figure 3 : Appareil CONTROLS AUTOMAX5 pour essais mécaniques résistance à la flexion et à la compression.

### 2.3.4. vitesse de propagation des ondes ultrasoniques

La détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques a pour objet vérifier l'homogénéité, la qualité et la présence des pores dans les briques [13] ainsi que la durabilité des briques en fonction de la vitesse du son [14]. Cet essai (figure 4) est déterminé conformément à la norme NF EN 12504 – 4 [15].



Figure 4 : Mesure de la vitesse du son d'une brique de papier.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Masse volumique apparente

La figure 5 indique la variation de la masse volumique en fonction des types de briques. On constate que la masse volumique des briques varie en fonction de leur type (tableau 1), pour des dosages entre 10 et 15% et 25 et 30%, la masse volumique des briques augmente avec le dosage en ciment, ce qui est plausible ; entre 15 et 25%, la masse volumique semble être peu influencée par le dosage : elle augmente et diminue légèrement dans cette fourchette de dosage en ciment. Cette tendance a été trouvée par Raut. al [10] comme le montre la figure 5. Ceci peut s'expliquer par une meilleure cohésion entre les différents constituants des briques pour ces dosages en ciment.

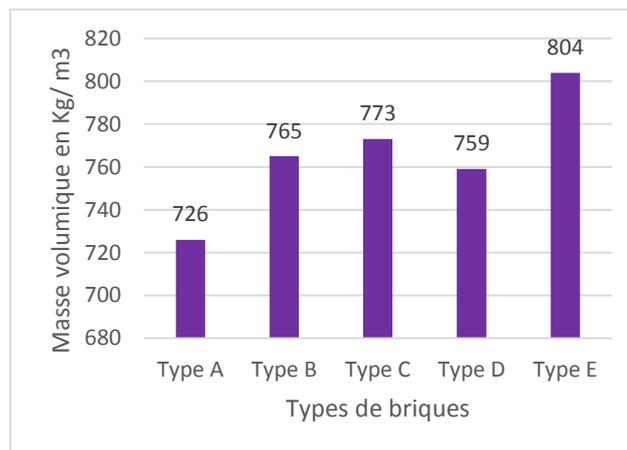


Figure 5 : la variation de la masse volumique en fonction des types de brique.

### 3.2. Résistance à la flexion

Après l'âge de 28 jours des briques de séchage naturel exposé aux rayons solaires, elles ont été mis dans un étuve ventilé à une température de 95°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Ce qui nous a permis aussi de déterminer la teneur en eau des briques après séchage naturel, le tableau 2 donne la variation de la teneur en eau des briques en fonction de leurs des types. On observe que la teneur en eau varie entre 4% et 6% pour des dosages en ciment respectivement de 10 et 30%. Après mesure de la teneur des briques elles ont été soumises à l'essai de flexion.

Tableau 2 : Teneur en eau pour différents types de briques de papier à l'âge de maturité.

Types de brique	Teneur en eau (%)
Type A	4
Type B	5
Type C	5
Type D	6
Type E	6

Les résultats des tests effectués montrent que la résistance à la flexion des briques varie entre 3,55MPa et 4,65MPa (figure 7), et dont la valeur maximale correspond aux briques de types C (20% de ciment). Le mode de rupture observé est identique pour l'ensemble des éprouvettes et dont la rupture s'effectue au point d'application de la charge (figure 6).



Figure 6 : mode de rupture des briques par essai de flexion.

La comparaison des briques à base de granulats de papier avec des briques à base de sciure de bois [2], de coton [3], et de palmier dattier [4] et de bagasse [16] montre que la résistance à la flexion de nos briques dépasse celle des autres comme l'indique le tableau 3.

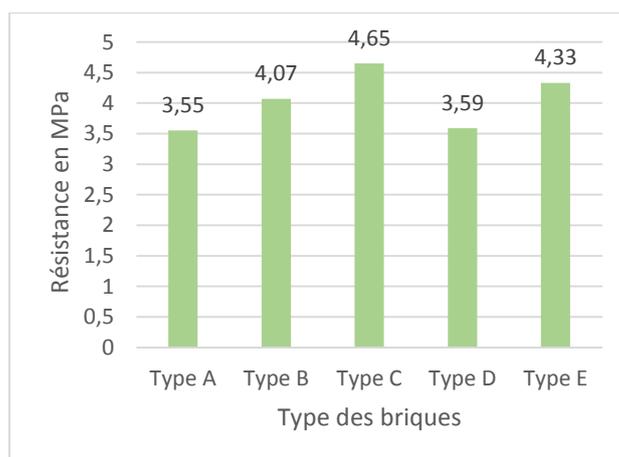


Figure 7 : Résultats des tests de la résistance à la flexion en fonction des types de brique.

Tableau 3 : Comparaison des propriétés mécaniques entre nos briques et celles de référence [2], [3], [4], [5], [6], [16]

Type de brique	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
Sciure de bois [2]	3,65	16,6
Coton [3]	3,75	16,8
Palmier dattier [4]	3,65	8,2
Papier [5]	-	9
Papier – coton [6]	-	23,64
Brique en terre et déchets de bagasse - riz [16]	1,49	6,62– 7,18
Papier (Notre travail)	4,65	31

### 3.3. Résistance à la compression

Les deux parties de l'éprouvette résultant de l'essai de flexion de chaque brique vont subir des essais de compression comme illustré sur la figure 8.



Figure 8 : Comportement des briques de papier soumises à l'essai de compression sur une surface de 4x4cm<sup>2</sup>.

Au cours de test de compression il a été observé que l'ensemble des types de brique se comprime et se déforme et que aucune rupture des briques n'a été observée, cet observation est identique à celle relevé par [5] et [6]. La valeur de la résistance à la compression correspond à celle de valeur maximale de déformation. Les types de briques de papier Type A', type A, type B, type C, type D et type E correspondent respectivement aux dosages en ciment 5, 10, 15, 20, 25 et 30%.

La figure 9 compare la résistance à la compression de nos briques avec celles des briques en papier de S.P. Raut [5] pour les différents types de dosage en ciment. On constate que la résistance à la compression de nos briques est supérieure à celle de [5]. En plus le tableau 3 montre que la résistance à la compression de nos briques dépasse celle des autres référencées [2], [3], [4], [6] et [16].

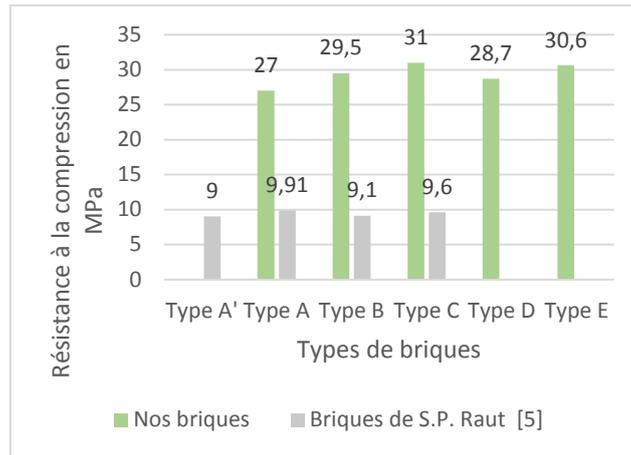


Figure 9 : Comparaison de la résistance à la compression de nos briques avec les briques de papier de S.P. Raut [5]

### 3.4. Vitesse de propagation du son

Les résultats des tests de détermination de la vitesse de propagation du son dans les différents type de brique sont reportés sur la figure 10. Les valeurs mesurées varient entre 529 et 593 m/s, et ce de manière proportionnelle à la masse volumique des briques (plus le matériaux est dense plus la vitesse est grande).

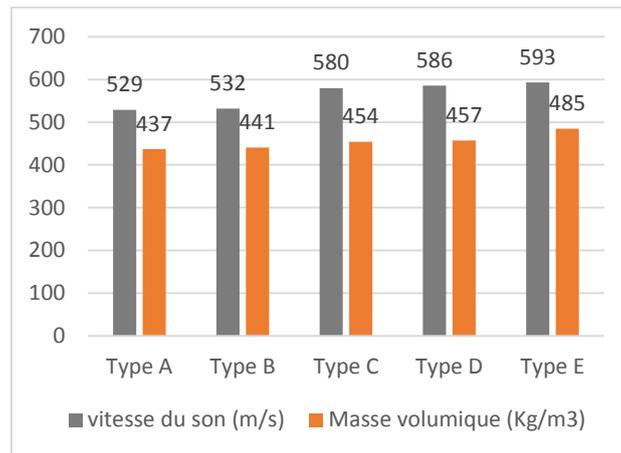


Figure 10 : la vitesse propagation du son en fonction de la masse volumique pour les différents types de briques.

## 4. Conclusion

Le présent travail porte sur les investigations expérimentales relatives aux comportements mécanique et sonique des briques à base de granulats de déchets de papier. Les principales conclusions des séries de tests réalisées sont les suivantes:

- La masse volumique des briques de papier varie entre 437 et 804 Kg/m<sup>3</sup>.
- Les valeurs maximales de la résistance à la flexion et la résistance à la compression sont respectivement 4,65MPa et 31MPa qui correspondent au dosage en ciment de 20%.
- La vitesse du son dans nos briques est de l'ordre de 564 m/s en moyenne.

Ainsi, les briques confectionnées sont caractérisées par leur légèreté et aussi leur résistance mécanique à la compression qui dépasse 3,5MPa, ce qui leur donne une fonction d'un matériau de structure légère [1].

### Nomenclature

k conductivité thermique, W/m.K

Rc résistance à la compression MPa

$f_{cf}$  résistance en compression MPa

t temps de propagation des ondes ultrasonores  $\mu s$

V vitesse de propagation des ondes ultrasonores m/s

$\rho$  masse volumique  $kg/m^3$

## Références

- [1] RILEM, Functional classification of lightweight concrete, Recommendation of RILEM LC2 281-283, 1978.
- [2] P. Turgut, H. M Algin, Limestone dust and wood sawdust as brick material, *Building and Environment Materials*, 42, 3399–3403, 2007.
- [3] Algin HM, Turgut P. Cotton and limestone powder wastes as brick material, *Construction and Building Materials*, 22,1074–1080, 2008.
- [4] M. Chikhi, B. Agoudjil, A. Boudenne, Gherabli. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation, *ENERGY AND BUILDINGS*, 66, 267 -273, 2013.
- [5] S.P. Raut , R. Sedmake, R.V. Ralegaonkar, S. A. Mandavgane, Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks, *Construction and Building Materials*, 27, 247-251, 2012.
- [6] D. Rajput, S.S. Bhagade, S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, S. A. Mandavgane, Reuse of cotton and recycle paper mill waste as building material, *Construction and Building Materials*, 34, 470-475, 2012.
- [7] E. P. Aigbomian, M. Fan, Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper, *Construction and Building Materials*, 40, 361-366, 2013.
- [8] NF EN 822, Septembre 2013, Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment – Détermination de la longueur et de largeur.
- [9] NF EN 823, Septembre 2013, Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment – Détermination de l'épaisseur.
- [10] NF EN 1602, Septembre 2013, Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment – Détermination de la masse volumique apparente.
- [11] NF EN 12390 – 5 Avril 2012 Essai pour béton dans les structures Partie 5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes.
- [12] NF EN 12390 – 3 février 2003 Essai pour béton durci Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes.
- [13] Tarun R.Naik, V. Mohan Malhotra, Jhon S. Popovics, *THE ULTRASONIC VELOCITY METHOD, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, Second Edition*, pages 8-1 – 8-19, 2004.
- [14] By Surej R. Korothe, Paul Fazio, EVALUATION OF CLAY BRICK DURABILITY USING ULTRASONIC PULSE VELOCITY, *JOURNAL OF ARCHITECTURAL ENGINEERING*, 142-147, 1998.
- [15] NF EN 12504 – 4 Mai 2005 Essai pour béton durci Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son.
- [16] S.M.S. Kazmi, S. abbas. M. A. Saleem, M. J. Munir, A. Khatib, Manufacturing of sustainable clay bricks: utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes, *Construction and Building Materials*, 120, 29-41, 2016.

25-27 Octobre 2017

Monastir - Tunisie