



**HAL**  
open science

## Formulation et caractérisations thermique, hydrique de composites fibres de bagasse/liant minéral

Cristel Onésippe Potiron, Ketty Bilba, Marie-Ange Arsene

### ► To cite this version:

Cristel Onésippe Potiron, Ketty Bilba, Marie-Ange Arsene. Formulation et caractérisations thermique, hydrique de composites fibres de bagasse/liant minéral. Symposium Caribéen et Amazonien sur les matériaux durables, Conseil Régional de l'Ordre des Architectes de la Guadeloupe, Jun 2023, Deshaies, Guadeloupe. hal-04151372

**HAL Id: hal-04151372**

**<https://hal.univ-antilles.fr/hal-04151372>**

Submitted on 13 Jul 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Présentation détaillée en français

### Formulation et caractérisations thermique, hydrique de composites fibres de bagasse/liant minéral

#### 1. Introduction

La Guadeloupe (Antilles françaises) est une île des Caraïbes avec un climat tropical [1,2], où diverses fibres végétales, notamment des déchets agro-industriels, sont peu coûteux et/ou disponibles en abondance [3,4]. L'archipel a une forte sismicité et est sujet à de violents ouragans [5]. Par conséquent, le principal matériau de construction utilisé dans le secteur du bâtiment est le ciment conventionnel et ses dérivés (blocs de béton, briques, ...) [6, 7].

La réglementation thermique et acoustique française préconise que 50% des énergies consommées soient issues d'énergies renouvelables, d'ici 2020 [7]. Une façon de réduire la consommation d'énergie, par conséquent d'augmenter la part des énergies renouvelables, est de moins utiliser la climatisation dans les infrastructures [7]. Pour atteindre cet objectif, le remplacement partiel du ciment par des fibres végétales comme renfort de la matrice cimentaire sont considérées [1, 3, 6, 7]. En effet, les fibres végétales sont connues pour leurs propriétés isolantes, c'est-à-dire une faible conductivité thermique et apparaissent comme une bonne alternative aux fibres synthétiques, telles que les fibres de verre ou les fibres d'amiante, couramment utilisées pour l'isolation des bâtiments [8–10]. Comme observé par Onésippe et al., en 2010 [3] et encore aujourd'hui, peu de travaux ont démontré la faible conductivité thermique des composites fibres végétales/ciment ainsi que l'influence de la teneur en humidité sur les propriétés de ces matériaux. La présence de fibres de bois réduit la masse volumique du matériau [11] ainsi que sa conductivité thermique [3, 6, 10].

Les fibres végétales sont vulnérables à l'alcalinité de la matrice, provoquant ainsi le décollement de l'interface fibre/matrice et donc une diminution de la résistance mécanique des composites [3, 9]. Pour limiter la vulnérabilité des fibres végétales vis-à-vis de la matrice, divers traitements des fibres ont été considérés : hydrolyses chimiques (acides ou alcalins), physico-chimiques, thermiques et mécaniques [9, 11]. Ces différents traitements conduisent à un renforcement de l'interface fibre/matrice [12] car ils induisent, d'une part, la modification de la morphologie des fibres et, d'autre part, la réduction de la teneur en hémicelluloses et des matières extractibles qui sont des inhibiteurs de l'hydratation du liant [12].

De plus, les fibres végétales sont hydrophiles et leur grande affinité pour l'eau peut contrecarrer l'hydratation de la matrice [13]. Pour surmonter cette compétition, certains auteurs proposent la pyrolyse [12, 14] ou le pré-mouillage [15–18] des particules végétales pour conserver leur volume initial (porosité) et ainsi jouer le rôle de réservoir d'eau pendant la phase de prise du liant. Collet [13] préconise un pré-mouillage du liant avec l'eau avant son mélange aux particules végétales afin d'assurer une bonne hydratation du liant et d'éviter la compétition entre les hydratations du ciment et des fibres [19].

Les objectifs de cette étude sont de (1) déterminer la conductivité thermique des fibres végétales lorsqu'elles renforcent le liant cimentaire et (2) de mesurer l'effet de la teneur en humidité sur les propriétés thermiques des composites fibres végétales/liant cimentaire. Pour atteindre ces objectifs, des composites obtenus à partir de ciment renforcé par différentes teneurs en fibres de bagasse de canne à sucre (2 à 8 % en poids) ont été élaborés. Les fibres de bagasse de la canne à sucre sont largement disponibles en Guadeloupe : selon la Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt de Guadeloupe, l'île produit 680000 tonnes/an de canne à sucre principalement utilisées pour les industries du sucre et du rhum [20]. La bagasse est le résidu lignocellulosique solide après extraction de jus de la tige de canne à sucre et est bon marché par rapport au synthétique fibres [21].

## 2. Matériaux

### 2.1. Fibres de bagasse de canne à sucre

Les fibres de bagasse de canne à sucre sont nommées NBF et ont été collectées à la Distillerie Montebello (Petit-Bourg, Guadeloupe, Antilles Françaises). Les fibres étaient broyées au broyeur à couteaux (Restch, France) et tamisées en laboratoire pour obtenir une longueur finale variant de 1 à 10 mm et une largeur comprise entre 0,4 et 1 millimètre. La composition chimique des fibres de bagasse de canne à sucre a déjà été déterminée [32] et est présentée dans le Tableau 1.

Cellulose wt %	Hemicellulose wt %	Lignin wt %	Extractives wt %	Humidity wt %	Sum (except humidity) wt %
48.68	25.46	21.94	3.92	7.50	100

**Tableau 1 : Composition botanique des fibres de bagasses NBF [29]**

### 2.2. Liant

Le liant était un ciment Portland blanc CEM I 52,5 N fabriqué par la société Axton. Ce ciment Portland CEM I 52.5 N est conforme à la Norme Européenne EN 197-1 [33]. Sa composition chimique et certaines de ses caractéristiques physiques sont présentées dans le Tableau 2.

Content wt %						
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO
21.45	0.22	4.08	65.05	0.06	0.20	0.49
<b>Loss on ignition (wt %)</b>						
1.45						
<b>Bulk density (g/cm<sup>3</sup>)</b>						
3.08						
<b>Median particle size (µm)</b>						
15.70						
<b>Specific area (cm<sup>2</sup>/g)</b>						
4200						

**Tableau 2 : Composition chimique et quelques caractéristiques physiques du ciment CEM I 52,5N**

### 2.3. Formulation et préparation des composites

Un échantillon de référence (c'est-à-dire sans aucune fibre) a été préparé ; il est nommé L. Les composites ont été préparés en mélangeant le liant avec diverses quantités de fibres de bagasse de canne à sucre. Les formulations de composites, nommés LFN, sont présentées dans le Tableau 3.

Composites	Binder	NBF/binder ratio (by mass)	Water/binder ratio (by mass)	Mass (g) relative to 1000 g of cement paste		
				NBF	CEM I	Water
L (without fibers)	1	0	0.4	0	704	296
LFN1	1	0.02	0.60	12.3	617.3	370.4
LFN2	1	0.03	0.60	18.4	613.5	368.1
LFN3	1	0.04	0.60	24.4	609.8	365.8
LFN4	1	0.05	0.60	30.3	606.1	363.6
LFN5	1	0.08	0.60	47.6	595.2	357.2

**Tableau 3 : Formulations des composites LFN**

Tous les composites ont été préparés selon la séquence de mélange indiquée dans le Tableau 4 et de l'eau du robinet a été utilisée. Les pâtes obtenues ont été coulées dans des moules normalisés de dimensions 40x40x160 mm<sup>3</sup>. Selon la norme EN 196-1 [34], un compactage avec une table vibrante

(20 coups) a été appliqué à chaque échantillon. Puis les composites, à répartition aléatoire des fibres dans le liant, ont été démoulés et pendant 28 jours en chambre climatique pour finaliser leur prise (25 °C, Humidité relative ou HR = 70%).

Mixing sequence	Time
Adding the pre-wetted binder in the mixing container	0
Mixing the binder at slow speed (140 rpm)	30 s
Adding the rest of the water	30 s
Mixing at high speed (285 rpm)	2 min
Progressive addition of vegetable fibers	2 min
Mixing at high speed (285 rpm)	5 min

**Tableau 4 : Séquence de mélange lors de l'élaboration des composites**

### 3. Méthodes

#### 3.1. Mesures des masse volumique sèche apparente, volume apparent et porosité des composites

La masse volumique sèche apparente  $\rho_A$  a été déduite des masses sèche et apparente des échantillons. Pour déterminer la masse sèche, des échantillons ont été placés dans un four à 105 °C ( $\pm 1$  °C). L'état sec est atteint une fois que la masse de chaque échantillon a été stabilisée.

Le volume apparent de chaque échantillon a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse (précision de  $\pm 0,01$  mm). Chaque dimension moyenne est calculée à partir de trois mesures.

La masse volumique réelle des composites  $\rho_V$  a été mesurée à l'aide d'un pycnomètre à hélium Thermo Electron « Pycnomatic » (France). Cinq mesures ont été menées pour chaque composite (25°C, HR 70-80 %).

La porosité ouverte  $\eta$  est déduite des masses volumiques sèches et réelles en utilisant l'équation (1) :

$$\eta = 1 - \frac{\rho_A}{\rho_V} \quad \text{Equation 1}$$

où  $\rho_A$  est la masse volumique sèche apparente,  $\rho_V$  est la masse volumique réelle des échantillons et  $\eta$  est la porosité ouverte.

#### 3.2. Détermination de la conductivité thermique

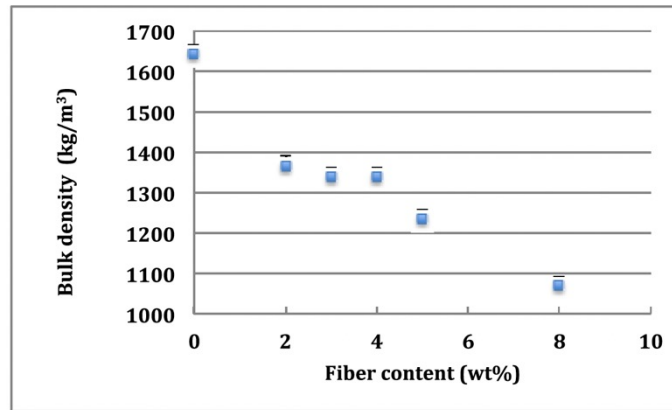
Les essais ont été réalisés avec un équipement C-therm TCi (Setaram, France) qui permet de mesurer directement la conductivité thermique de l'échantillon plan [35]. Pour une mesure précise de la conductivité thermique, les échantillons sont d'abord polis à l'aide d'une polisseuse rotative avec du papier de verre (Dremel, ETATS-UNIS). Trois niveaux d'humidité sont évalués : 0%, 56% et saturé, c'est-à-dire à 100% d'humidité relative. 56% HR a été retenue comme valeur intermédiaire de l'humidité relative car, en conditions réelles d'utilisation, les composites cimentaires n'atteignent pas les conditions d'un four sec ou d'un environnement saturé en eau. L'état sec (0% HR) est obtenu en séchant le matériau dans une étuve à 105 °C ( $\pm 1$  °C) et puis en le plaçant dans un dessiccateur jusqu'au moment du test. Pour mesurer la conductivité thermique à 56% HR, les échantillons sont placés dans un dessiccateur dont l'humidité est contrôlée à l'aide de solutions salines saturées de bicarbonate de sodium. Des mesures sont effectuées sur les côtés latéraux et transversaux des échantillons puis une valeur moyenne est calculée. Pour s'assurer que la teneur en humidité n'a pas évolué, les échantillons sont pesés avant et après la mesure.

### 4. Résultats et discussions

#### 4.1. Masse volumique apparente et porosité ouverte des composites à 0 % HR

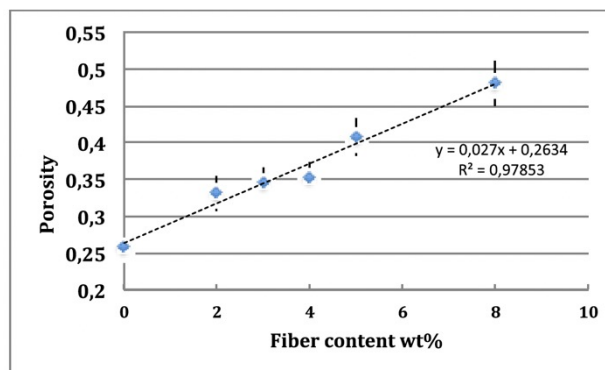
La Figure 1 présente la variation de la masse volumique apparente en fonction de la teneur en fibres pour les composites LFN à l'état sec. Comme prévu, plus la teneur en fibres est élevée, plus la masse

volumique apparente est faible [36]. La première diminution significative est évidente : elle correspond à l'ajout de 2 % en poids de fibres de bagasse, qui sont un matériau léger. Entre 2 et 4% en poids de fibres, il y a une légère diminution. A 4 % en poids, la masse volumique apparente diminue régulièrement lorsque la teneur en fibres augmente comme observé par Réf. [37].



**Figure 1 : Masse volumique des composites en fonction de leur teneur en fibres (à l'état sec 0% HR)**

La Figure 2 présente l'évolution de la porosité des composites LFN avec la teneur en fibres à l'état sec. La porosité du matériau augmente progressivement avec la quantité de fibres de bagasse. Cette augmentation avec l'ajout de fibres s'explique par la formation de vides d'air dans la microstructure de la pâte (due à la présence des fibres qui sont poreuses) et la proportion en vides devient davantage élevée à mesure que la fraction volumique de fibres augmente [36]. De plus, les fibres courtes, telles qu'elles sont utilisées dans cette étude, sont considérées comme plus difficiles à aligner et ont tendance à former des paquets. Cette formation de paquets de fibres courtes dans la pâte de ciment conduit à augmenter la quantité de vides [10] et donc la porosité.



**Figure 2 : Evolution de la porosité des composites avec la teneur en fibres**

## 4.2. Conductivité thermique expérimentale des composites

### 4.2.1. Etat sec

La Figure 3 illustre l'évolution de la conductivité thermique des composites LFN avec la teneur en fibres à 0 % d'humidité relative. Selon Demirboga [38], la conductivité thermique du ciment Portland de type I est de  $(1,230 \pm 0,050)$  W/m.K.

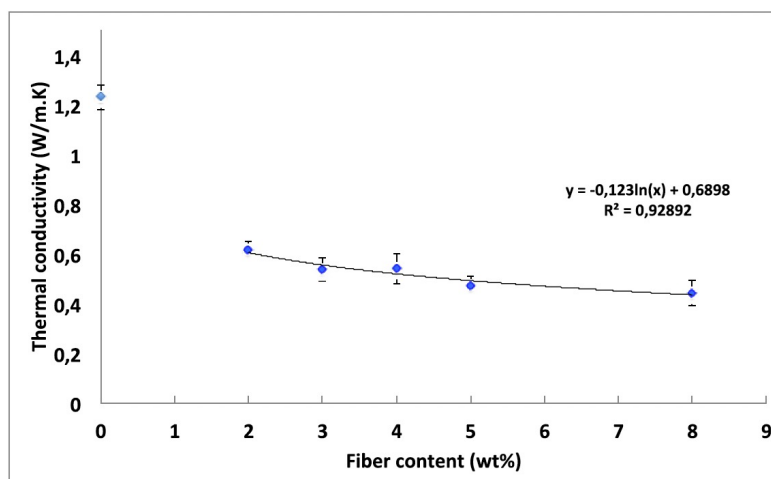
L'inclusion de fibres végétales dans le ciment a pour objectif de développer un matériau plus isolant que le ciment afin de l'utiliser comme cloison intérieure ou revêtement intérieur isolant dans le logement, par exemple. Il aiderait à interdire les fuites de chaleur de part et d'autre des cloisons [36]. Tout d'abord, comme prévu, la conductivité thermique du ciment Portland est fortement diminuée

(d'un facteur 2 environ) en introduisant 2 % en poids de fibres végétales. Ensuite, la conductivité thermique des échantillons de ciment diminue légèrement lorsque la teneur en fibres augmente [10, 27, 36] ; cette diminution suit une évolution logarithmique. Selon les Réfs. [3], la conductivité thermique des fibres de bagasse traitées est inférieure à celle de la pâte de ciment, nous supposons donc qu'il en est de même pour les fibres de bagasse brutes : leur conductivité est inférieure à celle du ciment. Par conséquent, la diminution observée est attendue si une loi des mélanges simple est considérée. De plus, la conductivité thermique est inversement proportionnelle aux vides dans les composites [10, 39] et comme indiqué d'après la Figure 2, la porosité des échantillons augmente avec la teneur en fibres. En se basant sur ces résultats, la relation linéaire entre la conductivité thermique  $k$  des composites incorporant des fibres de bagasse et la masse volumique apparente  $\rho$  est :

$$k = 0,0005\rho - 0,0924 \quad (R^2 = 0,78267) \quad \text{Equation 2}$$

où  $k$  est la conductivité thermique et  $\rho$  la masse volumique apparente

L'équation 2 est cohérente avec les équations classiques appliquées pour évaluer la conductivité thermique des matériaux isolants utilisés dans le domaine du bâtiment [39].



**Figure 3 : Evolution de la conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibres (état sec 0% RH)**

#### 4.2.2. Sensibilité de la conductivité thermique à la teneur en humidité.

La conductivité thermique a également été étudiée pour les mêmes composites à 56% et 100% (état saturé) d'humidité relative. Les milieux fibreux sont connus pour avoir souvent une anisotropie géométrique liée (1) à l'anisotropie des fibres elles-mêmes et (2) à leur orientation dans le matériau. Dans le cas des fibres végétales, l'anisotropie des propriétés thermiques apparaît localement, dans la mesure où le tenseur de la conductivité des fibres est généralement orthotrope [40]. Nous supposons que la conductivité thermique des composites étudiés est isotrope car les fibres sont orientées au hasard et les propriétés des fibres courtes (dans cette étude, longueur variant de 1 à 10 mm et largeur entre 0,4 et 1 mm) les composites sont isotropes [41].

La Figure 4 présente la conductivité thermique des échantillons en fonction de leur masse volumique apparente pour différentes teneurs en humidité. Plus le pourcentage de pores est élevé, plus l'échantillon est léger et plus sa conductivité thermique est faible comme observé par d'autres [10]. C'est-à-dire que plus un matériau est léger et meilleur est son pouvoir isolant. La conductivité thermique des composites en conditions saturées est plus élevée qu'à l'état sec [27]. Ce fait s'explique par la conductivité thermique de l'eau, qui est 25 fois supérieure à celle de l'air [42] ; la présence d'air modifiera la conductivité thermique globale du matériau en la diminuant. Le composite soumis à une humidité relative de 56 % présente un gain de masse de 4 à 8 % (par rapport à l'état sec), ce qui

implique l'augmentation de 15 à 50% de la conductivité thermique des matériaux. Pour des teneurs en humidité proches de la saturation, la conductivité du composite augmente d'environ 100 % par rapport à sa valeur à l'état sec. Ces résultats sont en accord avec ceux présentés par Asadi et al. [39].

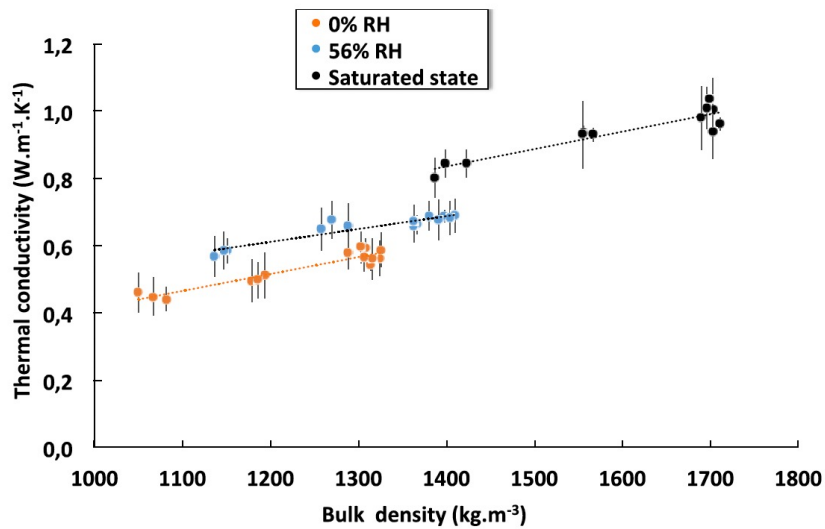


Figure 4 : Evolution de la conductivité thermique des composites en fonction de leurs masses volumiques pour différentes teneurs en humidité relative

## 5. Conclusion

Les matériaux composites fibres de bagasse/ciment présentent de faibles conductivités thermiques. L'étude montre que la conductivité thermique de tels composites dépend à la fois du ratio massique fibres/liant et de la teneur en humidité relative. Les meilleures propriétés d'isolation sont obtenues pour un composite contenant 8% en poids de fibres de bagasse non traitées.

Une simulation du coefficient surfacique du matériau composite optimal, incluant 8% en poids de fibres de bagasse non traitées, a été réalisée par le bureau d'étude MASEO avec le logiciel Design Builder (Figure 5). Elle montre que pour ce matériau (NMC ISO CFV), dès une épaisseur de 14 cm, les exigences les plus strictes et défavorables en termes de réglementations thermiques dans les départements Outre-mer sont satisfaites, aussi bien si ce matériau est utilisé comme parpaings ou comme enduit. Ainsi, un gain de matière d'environ 30% sera possible en utilisant ce matériau (NMC ISO CFV), ce qui potentiellement permettra de réaliser un gain financier.

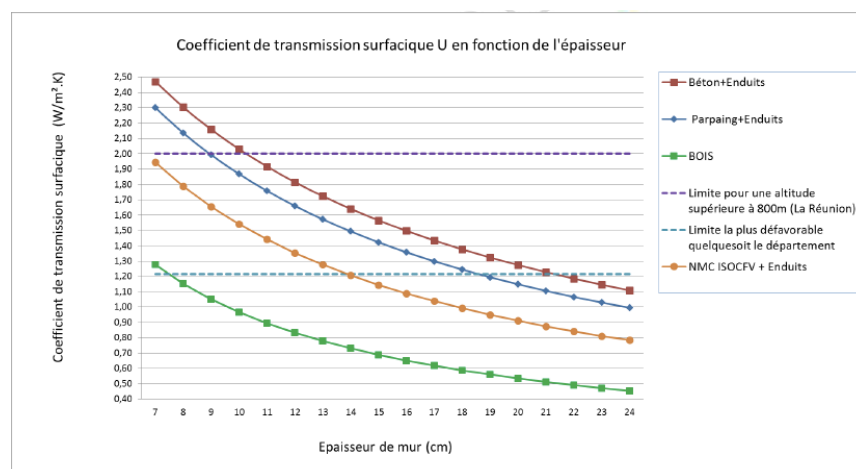


Figure 5 : Simulation de l'évolution du coefficient de transmission surfacique du matériau composite fibres de bagasse (8% en poids)/liant minéral avec l'épaisseur de la paroi



## 6. Références bibliographiques

- [1] M.A. Arsène, K. Bilba, C. Onésippe, L. Rodier, Thermal and flexural properties of bagasse/cement composites, *J. Green Mater.* (2016), <https://doi.org/10.1680/jgrma.1500012>.
- [2] R.C. Dromard, Y. Bouchon-Navaro, S. Cordonnier, C. Bouchon, The invasive lionfish, *Pterois volitans*, used as a sentinel species to assess the organochlorine pollution by chlordecone in Guadeloupe (Lesser Antilles), *J. Mar. Pol. Bul.* 107 (2016) 102–106, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.012>.
- [3] C. Onésippe, N. Passé-Coutrin, F. Toro, S. Delvasto, K. Bilba, M.A. Arsène, Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites : thermal considerations, *J. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 41 (2010) 549–556, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.01.002>.
- [4] J. Faverial, J. Sierra, Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles), *J. Clean. Prod.* 83 (2014) 238–244, <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2014.07.068>.
- [5] N. Zahibo, E. Pelinovsky, T. Talipova, A. Rabinovich, A. Kurkin, I. Nikolkina, Statistical analysis of cyclone hazard for Guadeloupe, Lesser Antilles, *Atmos. Res.* 84 (2007) 13–29, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.03.008>.
- [6] L. Rodier, Matériaux de construction en zone tropicale humide - Potentialités de sous produits ou de matériaux naturels locaux en substitution ou en addition à la matrice cimentaire, Doctoral thesis, 2014. Université des Antilles et de la Guyane (France).
- [7] L. Rodier, K. Bilba, C. Onésippe, M.A. Arsène, Utilization of bio-chars from sugarcane bagasse pyrolysis in cement-based composites, *J. Ind. Crop* 41 (2019) 111731, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111731>.
- [8] J.C. Damfeu, P. Meukam, Y. Jannot, Modeling and measuring of the thermal properties of insulating vegetable fibers by the asymmetrical hot plate method and the radial flux method : Kapok, coconut, groundnut shell fiber and rattan, *J. Thermochim. Acta* 630 (2016) 64–77, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.02.007>.
- [9] V. Agopyan, H. Savastano Jr., V.M. John, M.A. Cincotto, Developments on vegetable fibre-cement based materials in Sao Paulo, Brazil : an overview, *J. Cem. Concr. Compos.* 27 (2005) 527–536, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.004>.
- [10] J. Khedari, B. Suttisonk, N. Prathinthong, J. Hirunlabh, New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity, *J. Cem. Concr. Comp.* 23 (2001) 65–70, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00072-X](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00072-X).
- [11] V. Da Costa Correia, S.F. Santos, H. Savastano Junior, Vegetable fiber as reinforcing elements for cement based composite in housing applications – a Brazilian experience, *MATEC Web Conf.* 149 (2018), 01007, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814001007>.
- [12] M.-A. Arsène, K. Bilba, C. Onésippe, 4- Treatments to viable utilization of vegetable fibers in inorganic-based composites, in: H. Savastano Junior, J. Fiorelli, S.F. dos Santos (Eds.), *Sustainable and Nonconventional Construction Materials Using Inorganic Bonded Fiber Composites*, Woodhead publishing Inc., Sao Paulo, 2017, pp. 69–123.
- [13] F. Collet, Caractérisations hydrique et thermique de matériaux de génie civil à faibles impacts environnementaux, Doctoral thesis, INSA de Rennes (France), 2004.
- [14] S.F. Santos, G.H.D. Tonoli, J.E.B. Mejia, J. Fiorelli, H. Savastano Junior, Non-conventional cement-based composites, reinforced with vegetable fibers: a review of strategies to improve durability, *Mater. Construcción* 65 (2015) e041, <https://doi.org/10.3989/mc.2015.05514>.
- [15] V. Cerezo, Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales, Doctoral thesis, INSA de Rennes (France), 2005.
- [16] P. Coatanlem, R. Jauberthie, F. Rendell, Lightweight wood chipping concrete durability, *J. Constr. Build. Mater.* 20 (2006) 776–781, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.057>.
- [17] T.T. Nguyen, V. Picandet, S. Amziane, C. Baley, Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete, *Eur. J. Environ. Civil Eng.* 13 (2009) 1039–1050, <https://doi.org/10.3166/regc.13.1039-1050>.
- [18] P. Monreal, L.B. Mboumba-Mamboundou, R.M. Dheilly, M. Queneudec, Effects of aggregate coating on the hygral properties of lignocellulosic composites, *J. Cem. Concr. Compos.* 33 (2011) 301–308, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.10.017>.
- [19] J. Page, F. Khadraoui, M. Gomina, M. Boutouil, Influence of different surface treatments on the water absorption of flax fibres : rheology of fresh reinforced-mortars and mechanical properties in the hardened state, *Construct. Build. Mater.* 199 (2019) 424–434, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.042>.
- [20] Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Guadeloupe. <http://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/Canne-a-sucre>, 2019 (accessed 09 april 2019).
- [21] S.G. Karp, A. Lorenci Woiciechowski, V.T. Soccol, C.R. Soccol, Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a Review, *Braz. Arch. Biol. Technol.* 56 (2013) 679–689.
- [22] M.I. Khan, Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models, *J. Build. Environ.* 37 (6) (2002) 607–614, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00061-0). [23] J. Wang, J.K. Carson, M.F. North, D.J. Cleland, A new structural model of effective thermal conductivity for heterogeneous material d with co-continuous phases, *Int. J. Heat Mass Tran.* 21 (9–10) (2008) 2389–2397, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.08.028>.
- [24] P.K. Samantray, P. Karthikeyan, K.S. Reddy, Estimating effective thermal conductivity of two-phase materials, *J. Heat Mass Transfer* 49 (21–22) (2006) 4209–4219, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.03.015>.
- [25] M. Bederina, L. Marmoret, K. Mezreb, M.M. Khenfer, A. Bali, M. Queneudec, Effect of addition of wood shavings on the thermal conductivity of sand concretes : experimental study and modelling, *J. Constr. Build. Mater.* 21 (2007) 662–668, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.008>.



- [26] A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, B. Laidoudi, M. Qu'eneudec, Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles : experimental study and modelling, *J. Constr. Build. Mater.* 22 (2008) 573–579, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.11.011>.
- [27] L. Boukhattem, M. Boumhaout, H. Hamdi, B. Benhamou, F. Ait Nouh, Moisture content influence on the thermal conductivity of insulating building materials made from date palm fibers mesh, *J. Constr. Build. Mater.* 148 (2017) 811–823, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.020>.
- [28] F. Collet, S. Pretot, Thermal conductivity of hemp concretes: variation with formulation, density and water content, *J. Constr. Build. Mater.* 65 (2014) 612–619, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039>.
- [29] C. Boutin, Thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: modeling by the self-consistent method, *J. Mater. Struct.* 29 (1996) 609–615, <https://doi.org/10.1007/BF02485968>.
- [30] J.D. Felske, Effective thermal conductivity of composite spheres in a continuous medium with contact resistance, *Int. J. Heat Mass Tran.* 47 (2004) 3453–3461, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.01.013>.
- [31] G. Ruano, F. Bellomo, G. Lopez, A. Bertuzzi, L. Nalim, S. Oller, Mechanical behavior of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers, *J. Construct. Build. Mater.* 240 (2020) 117856, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117856>.
- [32] K. Bilba, M.-A. Arsène, A. Ouensanga, Sugar cane bagasse reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite, *J. Cem. Concr. Compos.* 25 (2003) 91–96, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00003-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00003-3).
- [33] EN 197-1, Ciment – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, NF European Standards, 2001.
- [34] EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques, NF European Standards, 2006.
- [35] SETARAM. <https://www.setaram.fr/wp-content/uploads/2016/01/C-Therm-TCi-Thermal-Conductivity-2016.pdf>, 2019 accessed 11 april 2019.
- [36] A. Al-Ghaban, H.A. Jaber, A.A. Shaher, Investigation of addition different fibers on the performance of cement mortar, *J. Eng. Technol. Part A* 36 (2018) 957–965, <https://doi.org/10.30684/etj.36.9A.3>.
- [37] H. Savastano Jr., P.G. Warden, R.S.P. Coutts, Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites, *J. Cem. Concr. Compos.* 22 (2000) 379–384, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00034-2).
- [38] R. Demirboga, Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures, *J. Build. Env.* 42 (2007) 2467–2471.
- [39] I. Asadi, P. Shafiqh, Z. Fitri Abu Hassan, N. Bindi Mahyuddin, Thermal conductivity of concrete – a review, *J. Build. Eng.* 20 (2018) 81–93, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>.
- [40] R. El-Sawalhy, J. Lux, P. Salagnac, Caractérisation et prédiction des propriétés thermiques des laines de chanvre à l'aide d'images tomographiques, 2013. Conference paper.
- [41] Gaurav, H. Gohal, V. Kumar, H. Jena, Study of natural fibre composite and its hybridization techniques, *J. Mater. Today: Proc.* 26 (2020) 1368–1372, <https://doi.org/10.1016/j.matpro.2020.02.277>. In press.
- [42] Weather online, 2019 (accessed 11 april 2019) <https://www.wofrance.fr/weather/maps/city?WMO&equals;78897&CONT&equals;mamk&LAND&equals;AT&ART&equals;RLF&LEVEL&equals;150>.
- [43] K. Bilba, M.-A. Arsène, Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites, *J. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 39 (2008) 1488–1495, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.05.013>.
- [44] ISO-12571 Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination des propriétés de sorption hygroscopiques, International Organization for Standardization, 2013.
- [45] A. Bessadok, D. Langevin, F. Gouanvé, C. Chappéy S. Roudesli, S. Marais, Study of water sorption on modified agave fibres, *Carbohydr. Polym.* 76 (2009) 74–85, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.033>.