



UNIVERSITÉ DES
MASCAREIGNES
SAVOIR, C'EST POUVOIR

Journées de Recherche des ISTs et leurs partenaires internationaux - 2 et 3 décembre 2020, Antsiranana
« *L'innovation et le développement durable : perspectives, enjeux et défis sociétaux* »

Article 5 : Etude technico-scientifique de fabrication de matériau composite à partir des déchets textiles

**L. A. Harimbola¹, M. H. Ratsimba¹, D. Rabibisoa¹, P. Rakotomamamonjy¹,
N. R. F. Randriana¹, P. Elisoamiadana¹**

¹ Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ESPA, Mention Génie des Procédés Chimiques et Industriels, Université d'Antananarivo
Correspondant : ratsimbamariéh@gmail.com

Résumé

Les déchets textiles ne cessent pas d'augmenter à Madagascar alors qu'il n'existe pas encore une filière de valorisation industrielle. La prise de conscience sur la pollution textile, les problèmes environnementaux y afférents et le coût croissant des matériaux de construction ont conduit à la présente étude. Notre objectif est l'élaboration de matériau composite, pour construction, à partir des fibres cellulosiques des déchets textiles. Des éprouvettes ont été élaborées par moulage avec presse, en variant les quantités de matières premières telles que les déchets textiles, le ciment, le sable et l'eau. Les éprouvettes sont ensuite testées pour voir leurs caractéristiques physico-chimiques et mécaniques telles que : la masse volumique apparente, la porosité, la capacité d'absorption, les retraits dimensionnel et massique, la résistance à la compression. D'après ces tests, la composition optimale pour ce matériau de construction est de 20% de fibres textiles, 20% de ciment, 40% de sable et 20% d'eau. Avec cette composition, la résistance à la compression à 28 jours de notre matériau est de 17,93MPa. Comparé aux autres matériaux de construction, notre nouveau matériau a une résistance similaire aux briques de terre cuite ou au béton préfabriqué. Avec cette résistance à la compression, il peut être utilisé comme mur de séparation intérieure. Les fibres cellulosiques textiles lui conféreront aussi des propriétés isolantes.

Mots-clés : Déchets textiles, Fibres, Matériau composite, Mur intérieur.

1. INTRODUCTION

Madagascar exporte et importe des matières textiles. La branche textile tenait une place importante dans le secteur industriel malagasy. En 2008, 64% des industries étaient des industries textiles [1]. En outre, la quantité de friperies importées à Madagascar ne cesse pas d'augmenter. D'après les données statistiques de l'Institut National de la Statistique (INSTAT) en juin 2009, 2.017.197,77kg de friperies textiles entrain à Madagascar en 2005 et ceci atteignait 63.959.311,71kg en 2017. Parallèlement à ceci, les déchets textiles augmentent aussi à grande vitesse. Aujourd'hui, dans le monde, leurs filières de valorisation sont : le réemploi, l'essuyage, la valorisation en tant que tissu, la valorisation en tant que fils, le recyclage chimique et le recyclage mécanique [2] [3] [4], chaque seconde, c'est l'équivalent d'un camion à ordures rempli de déchets textiles qui prend le chemin de l'enfouissement ou de l'incinération [3]. A Madagascar, l'incinération et la décharge sont les modes de traitement des déchets textiles après les réemplois. L'élimination des déchets textiles reste une problématique car il n'existe pas encore une filière de valorisation industrielle pour ce type de déchets. Pour contribuer à la résolution de ce problème, la présente étude a pour objectif la valorisation des déchets textiles en matériaux de construction. Cela permettrait le développement durable de notre pays en créant un nouveau matériau de construction tout en se souciant de l'environnement. Nous essaierons de produire des matériaux composites légers à partir de ce type de déchets.

2. CONTENU

2.1. Matériels et méthodes

2.1.1. Matières premières

Les matières premières entrant dans l'élaboration de notre nouveau matériau de construction sont : les déchets textiles, le ciment, le sable et l'eau.

Les déchets textiles : les déchets de tissu denim, utilisé notamment pour la confection des jeans, ont été choisis. Elles ont des formes et dimensions variables comme des bandes de 1 à 4mm de largeur et de 20 à 100mm de longueur, des fibres et fils, des carreaux ou en forme de triangle, rond, ... Ces déchets seront les renforts ou ossatures du matériau à élaborer.

Le ciment : le ciment utilisé est le CEM I - 42.5 N c'est-à-dire un ciment portland pour usage général ayant une résistance à la compression égale à 42,5MPa à 28 jours. Il sert

de liant ou matrice. Il contribue à la formation même du matériau. Il assure le maintien de la structure.

Le sable : le sable choisi est de granulométrie inférieure à 2,5mm, propre et sans déchets végétaux. Il constitue le squelette du matériau. Il a pour rôle d'éviter les fissurations lors de la prise et du durcissement par suite au phénomène de retrait. Il sert aussi de charge pour augmenter à la fois le poids et la résistance à la compression. De plus, il diminue le prix de revient du matériau.

L'eau : elle doit être propre et potable car un excès en ions chlorures et sulfates déstabilisera la prise du liant minéral. Elle est nécessaire dans les réactions chimiques de prise et durcissement du ciment.

2.1.2. Matériels et méthodes

2.1.2.1. Procédé d'élaboration des éprouvettes

Au cours de l'étude expérimentale, des éprouvettes élaborées subissent des tests de compression afin de déterminer une composition optimale. Les essais de compression étaient faits à 7 jours afin d'économiser du temps car à ce moment, les 70% des propriétés de résistance à 28 jours du liant sont atteintes. Quand une bonne résistance à la compression est obtenue pour une composition donnée, cette dernière est retenue et les tests sont faits au 7ème, 21ème et 28ème jours. Deux séries d'expérimentations ont été faites.

L'élaboration de l'éprouvette du matériau composite comprend les étapes suivantes : réduction de taille des déchets textiles (après le tri), dosage des matières premières, mélange de la composition, moulage démoulage et presse, et enfin séchage.

Réduction de taille : comme les petites dimensions donneront une isotropie au matériau, les déchets textiles sont découpés et broyés jusqu'à l'obtention de fibres aux environs de 1mm.



Photo 1 : Fibres textiles broyées

Dosage des matières premières : pour éviter le flambement ou la déformation en barillet, le rapport hauteur/diamètre des éprouvettes doit être inférieur à 3. Les tableaux suivants (tableaux 1 et 2) montrent les deux séries d'expérimentation effectuées.

Tableau 1 : Proportion en masse des composants (première expérimentation)

Désignation	Déchet neuf ou vieux	Composition en fibres	Proportion en masse (%)			
			Fibres	Ciment	Sable	Eau
Essai 1	Vieux	100% coton	16,67	16,67	50	16,67
Essai 2	Vieux	100% coton	15,15	24,24	45,45	15,15
Essai 3	Neuf	50% coton	16,10	16,10	51,70	16,10
Essai 4	Neuf	50% coton	12,50	25	46,87	15,63

Tableau 2 : Proportion en masse des composants (deuxième expérimentation) avec une diminution de la quantité de sable

Désignation	Déchet neuf ou vieux	Composition de fibre	Proportion en masse (%)			
			Fibres	Ciment	Sable	Eau
Essai 5	Neuf	100% coton	17,85	28,57	35,71	17,85
Essai 6	Vieux	100% coton	17,85	28,57	35,71	17,85
Essai 7	Neuf	100% coton	20	20	40	20
Essai 8	Vieux	100% coton	20	20	40	20

Mélange de la composition : les fibres, le ciment et le sable sont versés dans un récipient et mélangés à sec. Quand la composition est jugée homogène, l'eau y est versée et le tout est mélangé jusqu'à l'obtention d'un boudin.

Moulage-démoulage et presse : ce procédé est apparenté au moulage par injection de compound : le mélange est versé dans un moule cylindrique de 50mm de diamètre et de 100mm de hauteur. Ces dimensions sont celles requises par la machine d'essai universel de compression, appareil Testwell, qui sera décrit dans le paragraphe suivant. La quantité du mélange à verser doit remplir à ras bord le moule afin d'avoir des éprouvettes d'assez grandes dimensions. La force de pression est de 3000daN pendant 3 minutes. Quand la pression est relâchée, immédiatement le matériau pousse le piston vers le haut : les textiles sont flexibles. Le matériau qui sera obtenu contiendra une quantité importante d'air dans sa structure. Le démoulage se fait même avec la presse. La base du moule est retirée et le piston pousse le matériau vers le bas. L'éprouvette encore humide présente des fissures à cause de la répulsion et la prise du ciment qui n'a pas encore commencé.



Photo 2 : Eprouvettes

Séchage : cela se fait à l'air libre dans un endroit sec. Comme le liant utilisé est un liant hydraulique, le temps de séchage est le temps de prise du liant c'est-à-dire 28 jours.

2.1.2.2. Caractérisation du matériau

Le matériau composite élaboré est soumis à des caractérisations physico-chimiques et mécanique telles que : la masse volumique apparente, la porosité, la capacité d'absorption, le retrait dimensionnel et massique, la résistance à la compression.

Masse volumique apparente : elle est déterminée en appliquant la formule :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

La détermination du volume est faite de deux manières :

- calcul direct :

$$V = \pi h \frac{d^2}{4} \quad (2)$$

- volume d'eau déplacée : l'éprouvette est plongée dans une éprouvette contenant un volume d'eau connu. Le volume de l'éprouvette est la différence entre le volume final de l'eau dans l'éprouvette et son volume initial. Le résultat est cohérent avec celui trouvé par calcul direct.

Porosité : c'est le rapport du volume vide au volume total ou encore le volume de vide par unité de volume apparent. Plus la porosité du matériau est importante, plus l'absorption d'eau est grande. La porosité est mesurée après une immersion dans l'eau, pendant 48 heures, d'une éprouvette qui est ensuite mise à l'étuve à 100 ± 5 °C pendant 24 heures.

Elle est donnée par les formules suivantes :

$$\varphi = \frac{\text{volume de vide}}{\text{volume total}} \quad (3)$$

Où

$$\varphi = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (4)$$

Où :

φ : porosité,

P_h : poids humide de l'éprouvette après immersion,

P_s : poids sec de l'éprouvette après passage à l'étuve.

Capacité d'absorption : c'est un paramètre caractérisant la structure du matériau solide poreux et son comportement dans un milieu humide. L'éprouvette est immergée dans l'eau à température ambiante et pression atmosphérique pendant 24 heures. A ces conditions, l'eau pénètre dans la plupart des vides interstitiels du matériau.

Le degré d'absorption peut être déterminé par la formule :

$$H_p = \frac{G_{abs} - G_s}{G_s} \times 100 \quad (5)$$

Où :

G_{abs} : Masse après immersion pendant 24 heures,

G_s : Masse sèche avant immersion.

Retraits dimensionnel et massique : le retrait dimensionnel est évalué en mesurant la hauteur et le diamètre de l'éprouvette après 7, 21 et 28 jours. De même, le retrait massique est obtenu après pesage de l'éprouvette après 7, 21 et 28 jours.

Résistance à la compression : c'est une valeur clé pour la conception de structure. Elle détermine la charge que peut supporter l'éprouvette avant de se fissurer.

elle est mesurée par essai de compression sur machine d'essai universel : l'appareil TESTWELL (photo 3)

- But : Cet essai consiste à déterminer la résistance à la compression des éprouvettes.
- Principe : L'essai de compression consiste en l'écrasement sous charge axiale d'une éprouvette cylindrique de dimensions moyennes : hauteur $h=5\text{cm}$, de diamètre $d = 5 \text{ cm}$. L'éprouvette, placée entre les plateaux d'une presse, est chargée progressivement jusqu'à rupture par compression à charge.
- Expression des résultats : On note F la force appliquée à la rupture (lecture sur le cadran en daN). La résistance à la compression simple R_C (en bar) s'exprime par le rapport de la force appliquée à la section de l'éprouvette (en cm^2).

Par convention la résistance à la compression simple est :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (6)$$



Photo 3 : Machine TESTWELL multifonctionnelle

L'essai de compression a permis d'avoir deux valeurs :

- Une valeur pour un début de fissuration,
- Une valeur à la fin de la compression.

Ce test de compression est fait à 7, 21 et 28 jours.

2.2. Résultats

2.2.1. Composition optimale des éprouvettes

Le tableau 3 donne les résultats des tests à la compression des éprouvettes de la deuxième expérimentation.

Tableau 3 : Résistance à la compression à 7jours des éprouvettes

Désignation	Résistance à la compression à 7jours en MPa
Essai 5	28,21
Essai 6	28,32
Essai 7	47,31

Essai 8	47,26
---------	-------

Ayant les meilleures résistances à la compression, la composition des essais 7 et 8 est retenue. Comme l'état des déchets (neuf ou vieux) n'a pas une grande influence sur la résistance, les fibres utilisées pour la suite sont des mélanges. Ainsi, les éprouvettes à confectionner auront la composition optimale résumée dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Proportion en masse des éprouvettes à confectionner

Matières premières	Pourcentage
Fibres	20%
Ciment	20%
Sable	40%
Eau	20%

2.2.2. Caractérisations physico-chimiques et mécaniques du matériau composite
L'éprouvette est caractérisée par les dimensions données par le tableau 5.

Tableau 5 : Dimensions et masse de l'éprouvette

Diamètre [cm]	Hauteur [cm]	Masse [g]
5	4,5	78,65

Le tableau 6 résume les caractéristiques du matériau élaboré.

Tableau 6 : Principales caractéristiques physico-chimiques du matériau composite

Caractéristiques physico-chimiques	Valeurs
Masse volumique [g/cm ³]	0,89
Porosité [%]	67,83
Capacité d'absorption [%]	57,67

La masse volumique n'est pas élevée, ceci peut s'expliquer par la présence de vides due à l'élimination de l'eau lors de l'évaporation, des réactions chimiques des fibres cellulosiques des déchets textiles pendant la prise du ciment.

Concernant l'absorption, l'eau dans laquelle est plongée l'éprouvette reste limpide : les constituants du matériau ne sont pas relargués par lixiviation donc notre matériau est stable.

La figure 1 reporte les mesures des retraits dimensionnel et massique des éprouvettes.

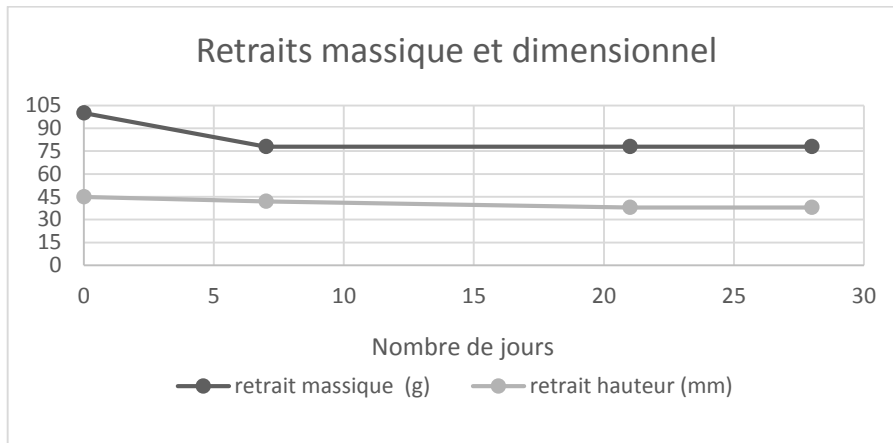


Figure 1 : Retraits massique et dimensionnel des éprouvettes

La dimension de l'éprouvette est stable après 21 jours de confection tandis que la masse ne varie plus après 7 jours. Ces dimensions ont été choisies parce que ce sont les dimensions demandées par la machine d'essai universel avec laquelle les tests de compression ont été effectués.

Le tableau 7 et la figure 2 montrent les valeurs de la résistance à la compression des éprouvettes.

Tableau 7 : Résistances à la compression des éprouvettes

Age [jours]	7	21	28	28 humide
R_c [MPa]	8,25	6,42	5,70	3,46
Début de fissuration				
R_c [MPa]	28,01	25,87	17,93	8,96
Fin de la compression				

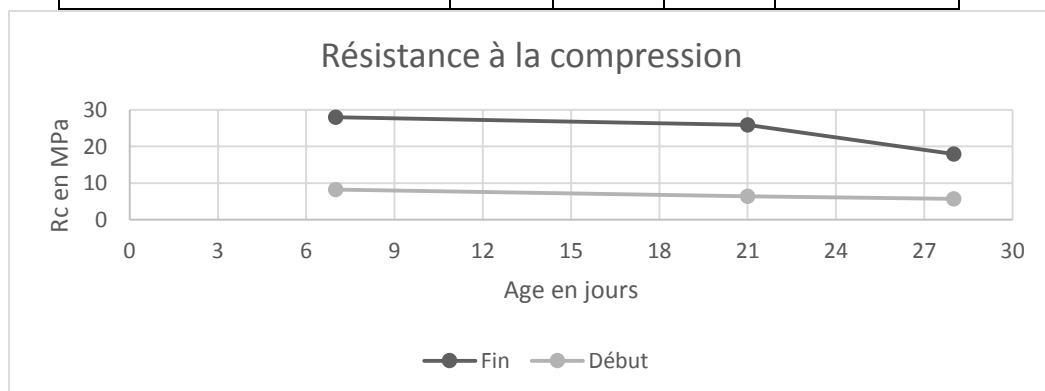


Figure 2 : Résistance à la compression des éprouvettes

La résistance à la compression diminue avec le temps, probablement à cause du caractère basique du ciment qui transforme les fibres textiles pendant la prise.

2.3. Discussions

Pour voir l'efficacité de notre matériau composite, ses caractéristiques sont comparées à celles des autres matériaux.

Un matériau formé de déchets de papier et de ciment, noté « Référence 1 », issu de l'étude antérieure [5], et un autre matériau formé de déchets de papier, ciment et sable, noté « Référence 2 », élaboré lors de l'étude [6] vont servir de référence pour notre discussion.

Masse volumique : notre matériau est très léger comme le montre le tableau ci-dessous (tableau 8).

Tableau 8 : Comparaison des masses volumiques de quelques matériaux

Matériau	Masse volumique [kg/m ³]
Référence 1	762
Référence 2	980
Caoutchouc	980
Craie	1250
Grès	2200 à 2650
Ce matériau	890

Sources : [5] et [6]

L'élimination de l'eau par différentes raisons : évaporation, réactions chimiques... pendant la prise du ciment crée des vides, ce qui confère cette légèreté à notre matériau à base de déchets textiles.

Capacité d'absorption : notre matériau a une capacité d'absorption supérieure aux matériaux élaborés avec les déchets de papiers (tableau 9)

Tableau 9 : Comparaison des capacités d'absorptions de quelques matériaux

Matériau	Capacité d'absorption [%]
Référence 1	43
Référence 2	54
Ce matériau	57,67

Cette capacité d'absorption plus ou moins élevée confirme l'importance des vides dans notre matériau composite. De l'air sera emprisonné dans les vides et donnera une propriété isolante intéressante à notre matériau.

Résistance à la compression :

Le tableau suivant (tableau 10) montre des valeurs de résistance à la compression de quelques matériaux et aussi celle de notre matériau

Tableau 10 : Comparaison des résistances à la compression de quelques matériaux

Matériau	Résistance à la compression à 28 jours [Mpa]
----------	--

Brique creuse terre cuite	4 à 8
Brique béton préfabriqué ou brique terre cuite	12 à 20
Béton courant	20 à 50
Béton à haute performance	+ de 100
Référence 1	22,05
Référence 2	4,59
Ce matériau	17,93

Source : [5], [6] et [7]

Comparé à ces autres matériaux, la résistance à la compression de notre matériau se rapproche des briques de terre cuite ou de béton préfabriqué. Elle est égale à 17,93MPa à 28 jours. Il est évident que plus la quantité de ciment introduite est importante, plus la résistance mécanique sera élevée mais le coût du procédé se voit également augmenté.

Le tableau suivant montre aussi la comparaison de notre matériau avec des matériaux similaires contenant de déchets de papier (Références 1 et 2)

Tableau 11 : Comparaison des matériaux contenant des déchets de papiers et textiles

	Référence 1 (déchets papiers)	Référence 2 (déchets papiers)	Notre matériau (déchets textiles)
Masse volumique kg/m ³	762	980	890
Resistance à la compression à sec Mpa	22.05	4.59	17.93
Resistance à la compression humide Mpa	11.23	1.63	8.96

Source : [5], [6]

La comparaison des masses volumiques montra que les matériaux composites contenant des fibres cellulosesques comme des déchets de papiers ou textiles sont très légers, et leurs résistances à la compression sont équivalentes à celles des briques de terre cuite ou de béton préfabriqué

3. CONCLUSION

L'intérêt de la présente recherche réside dans le fait qu'elle permet à la fois la valorisation des déchets textiles et l'élaboration d'un nouveau matériau de construction composite. Les déchets textiles cellulosesques, plus précisément les déchets des tissus denim, ajoutés dans une matrice cimentaire ont permis d'obtenir un matériau

composite. Cette étude a montré que la matrice cimentaire pouvait très bien recevoir les fibres, c'est à dire qu'elle enrobait bien les fibres et l'interface obtenue est bonne comme elle l'est dans d'autres matériaux à fibres celluliques. Les analyses physico-chimiques et les tests mécaniques ont prouvé que ce nouveau matériau est léger et stable, de résistance mécanique semblable à celle des briques en terres cuites et des bétons préfabriqués. Compte tenu de sa résistance à la compression élevée et sa masse volumique, ce matériau pourrait ainsi être utilisé pour les murs de séparation intérieure. En outre, les fibres intégrées dans les structures assureraient les fonctions d'isolations thermique et acoustique de ce nouveau matériau. Toutefois, les moyens disponibles n'ont pas permis d'affiner les caractéristiques thermiques et acoustiques. Cette recherche résoudrait en partie la préoccupation actuelle en matière de développement durable car notre nouveau matériau pourrait conduire à l'épanouissement des entreprises qui se soucient de l'environnement et qui mettent à notre disposition des produits sains, conformément au neuvième objectif du développement durable (ODD) « innovation et infrastructures » et au douzième ODD « Consommation responsable » en valorisant les déchets textiles.

Références

- [1] F. M. Solofonomenjanahary, Le rôle du secteur textile dans l'économie à Madagascar, Mémoire de fin d'études, Université d'Antananarivo, Département Economie, 2014
- [2] American apparel and Footwear Association, International Trade Commission and the Secondary Materials and Recycled Textile Association, United States Environmental Protection Agency, 7 Mai 2017. [En ligne]. Available : <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data>. [Accès le 16 Août 2019]
- [3] Fiche informative, Produit textile et d'habillement, Québec : Recyc'Québec, Septembre 2018
- [4] J.-P. I. Dupuis, Etat de l'art du tri et de la valorisation des Textiles d'habillement, du Linge de maison et des Chaussures (TLC) consommés par les ménages, Département Organisation des Filières et Recyclage, Direction Déchets et Sites et Sols, ADEME Angers, Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par RDC-environnement, juin 2009.
- [5] M. Randriamahefa Andrianalison, Contribution à l'étude de valorisation des déchets papiers-cartons en briques de liant-papiers, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Chimique, Université d'Antananarivo, ESPA, 2011

- [6] T. A. Andriamanampisoa, Contribution à la valorisation des déchets papier-carton : le liant-papier, Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'études approfondies en Science des matériaux, Université d'Antananarivo, ESPA, 2011
- [7] Fiche Chantier Guadeloupe, Les matériaux de construction parasismique, France d'outre-mer
- [8] P. P. Pichardo, M.-B. Gonzalo, Waste and Recycled Textiles as Reinforcements of building Materials, chez "*Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources*", Mexique, pp. 89-107, 2018.
- [9] C. Fantozzi-Merle, Etude de liant à base de liant hydraulique contenant des polluants organiques modèles : propriétés structurales et de transfert, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Ecole Doctorale de Chimie de Lyon, septembre 2003
- [10] N. AlShaya, R. Alhomidan, S. Alromizan, W. Labib, The Use of Plant-based Natural Fibers in Reinforced Cement Composite, Word Academy of Sciences, Engineering and Technology : International Journal of Civil & Environmental Engineering, 2018
- [11] A. J. Rabi, S. Santos F., G. H. D. Tonoli et S. Jr Holmer, Agricultural wastes as building materials : Proprieties, Performances and Applications, N. S. Publisher, Éd., University of São Paulo, 2009
- [12] R. Selvaraj et R. Priyanka, Study on recycled waste cloth in concrete, Inde : International Journal of Engineering Research and Technologie (IJERT), 2015
- [13] B. Voncina, Recycling of textile materials, University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Slovénie, 2018
- [14] A. Lepetit, Elaboration de matériaux composites à base de filaments de cellulose et de polyéthylène, Québec, 2017