



## Full Length Research Paper

# PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES PAILLES DE RIZ TRAITEES AVEC UNE SOLUTION DE POTASSIUM ISSU DE CENDRE DE BOIS

Conand Honoré KOUAKOU\*, Ange Christine DJOHORE, Aka Alexandre ASSANDE, Moro Olivier BOFFOUE, Edjikémé EMERUWA

Laboratoire de Géomatériaux et des Technologies de l'Habitat, UFR-STRM, Université Félix Houphouët Boigny – Abidjan, Côte d'Ivoire

Received July 2018 – Accepted November 2018



\*Corresponding author. E-mail: [honore\\_kouakou2@yahoo.fr](mailto:honore_kouakou2@yahoo.fr)

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

## Résumé:

L'utilisation des déchets agricoles comme matériau de construction alternatif a suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années. Cependant, ces déchets ont souvent de mauvaises propriétés physiques qui doivent être améliorées. Cette étude expérimentale vise à expliquer l'influence de l'hydroxyde de potassium (KOH) sur les propriétés de la paille de riz. L'hydroxyde de potassium a été obtenu en cristallisant une solution de cendres de bois. Cinq solutions contenant différents teneurs en KOH ont ainsi été fabriquées et utilisées pour traiter la paille de riz afin de déterminer les influences de ce traitement sur leurs propriétés physiques et mécaniques. Les modifications de leur structure ont aussi été observées à la loupe binoculaire et au microscope électronique à balayage (MEB). Toutes les solutions appliquées ont montré une réduction de la capacité d'absorption d'eau et une augmentation de la résistance à la traction. Ainsi pour améliorer les propriétés de la paille de riz, un traitement avec une solution à pH 9,5 (contenant 80 g/l) de KOH est recommandé.

**Mots clés:** Paille de riz ; absorption d'eau ; résistance à la traction ; hydroxyde de potassium ; déchets agricoles.

## Cite this article:

Conand Honoré KOUAKOU, Ange Christine DJOHORE, Aka Alexandre ASSANDE, Moro Olivier BOFFOUE, Edjikémé EMERUWA (2018). Propriétés physiques et mécaniques des pailles de riz traitées avec une solution de potassium issu de cendre de bois. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 3(1), pp. 14-20. ISSN 2312-8712.

## 1. Introduction

L'utilisation de fibres de nos jours pour élaborer des matériaux composites ou stratifiés prend de plus en plus d'importance. Ces composites sont employés dans différents domaines : l'industrie du transport (automobile, aérospatial, train), militaire, du bâtiment et de la construction. Les fibres présentent l'avantage de contribuer à l'élaboration de produits légers, de grande résistance mécaniquement, de faibles conductivités thermiques et acoustiques et de grande capacité d'absorption d'énergie [1-2].

Ces fibres sont classées en deux grandes familles : les fibres synthétiques (fibre de verre, fibre de carbone) et les fibres naturelles. Cette dernière famille est divisée en trois classes : (i) les fibres animales formées par certaines protéines spécifiques, la soie, la laine, les cheveux ; (ii) les fibres minérales comme, l'amiante, la

wollastonite et la palygorskite ; (iii) les fibres végétales composées de coton, chanvre, lin, fibre de coco, sisal, etc... Ces fibres végétales se rencontrent dans tous les pays, généralement en grande quantité [3] ou elles constituent bien souvent des déchets agricoles dont il faut s'en débarrasser. Paradoxalement, dans le contexte actuel où les enjeux climatiques et plus généralement environnementaux, conjugués à la finitude des ressources minérales et pétrolières, conduisent à explorer de nouveaux matériaux issus du vivant, une attention plus accrue doit être portée aux fibres végétales. Elles sont des ressources renouvelables, biodégradables [4] et qui permettent d'élaborer des produits à faible coût. Aussi pour accroître leur utilisation dans les matériaux composites, de nouvelles technologies sont-elles entrain d'être mises au point par les spécialistes de science des matériaux et de design.

Les fibres de lin par exemple sont associées à des résines ou des polymères dans certains composites. Elles sont considérées comme un des végétaux de qualité pour le renforcement de ces matériaux composites en remplacement des fibres synthétiques dans des applications spécifiques [5]. D'autres fibres végétales sont utilisées pour l'amélioration de la durabilité, de la résistance et de la ductilité des composites à base de matrice organique [6-8].

Les fibres végétales sont aussi incorporées dans les composites à base de ciment comme renfort [9]. Elles permettent d'améliorer la ténacité, la durabilité et la résistance aux chocs des composites à base de ciment. Cependant, l'amélioration des résistances mécaniques des composites dépend de l'augmentation du rapport longueur/diamètre, de la souplesse et de la surface spécifique des fibres, engendrée par leur production. De même, d'autres études ont montré une amélioration de la durabilité, de la résistance et de la ductilité des composites à base de ciment [6-8].

Les fibres végétales ou certains agrégats végétaux sont encore ajoutés aux matériaux de construction en terre [10]. Cette technique millénaire connaît aussi des améliorations à cause des études scientifiques débutées ces dernières années [11-13]. La technique par exemple des adobes a été améliorée en incorporant de la paille de foin dans une argile gonflante [14]. Pour une teneur en paille de 1 % (proportion massique) le gonflement a été réduit de 20 %, le retrait de séchage limité et la résistance à la flexion augmentée de 30 % alors que la résistance à la compression a chuté.

Les fibres végétales de différentes natures interviennent donc dans la conception des matériaux cependant, de nombreuses questions sont posées. Elles concernent l'adéquation des qualités des produits aux besoins des industries ; la concurrence avec d'autres produits et d'autres usages. Pour apporter une ébauche de solution à ces questions, cette étude a été menée. Elle vise à améliorer les performances des fibres végétales et ainsi de répondre aux exigences de qualité des industries du bâtiment.

Les performances des composites à base de fibres végétales sont tributaires de la connaissance des propriétés mécaniques et physiques de ces dernières. Or la qualité des fibres végétales est très variable en fonction de divers paramètres et parfois médiocres [15]. Aussi pour améliorer leurs performances, elles ont été soumises à différents traitements parmi lesquelles les traitements chimiques [16]. Le traitement avec les solutions de chlorure de calcium, chlorure d'aluminium, soude et de l'eau de chaux ont été envisagés pour réduire l'instabilité dimensionnelle des fibres végétales. Le traitement de la surface des fibres végétales avec une solution d'alcaline améliore l'adhérence fibre-matrice et réduit sa capacité d'absorption. D'autres auteurs montrent que le traitement des fibres végétales avec une solution alcaline, nettoie leur surface des impuretés et

décompose les faisceaux de fibres, augmente la ténacité des fibres végétales et renforce la résistance mécanique et l'adhérence fibre-matrice [17- 19].

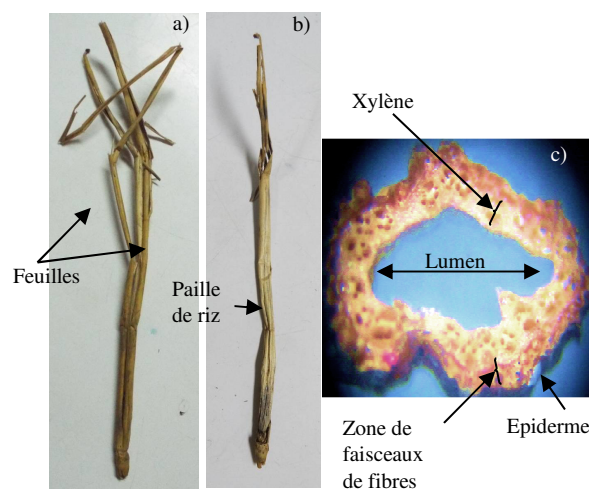
Dans tous ces travaux, des solutions chimiques bien connues et vendues dans le commerce ont été utilisées. Leur préparation nécessite des procédés parfois longs et complexes. Pour contourner cette alchimie, une solution extraite de la cendre de bois a été employée pour traiter la paille de riz. Cet article présente les conséquences de ce traitement sur les propriétés de la paille de riz. Il a pour but d'optimiser la solution naturelle et de mesurer les propriétés physiques et mécaniques de la paille de riz.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1- Matériel

#### 2-1-1. Paille de riz

La paille de riz utilisée dans cette étude est obtenue après la récolte du riz dans un champ proche de la localité de Dabou au sud de la Côte d'Ivoire. Les tiges de riz sèches (fig. 1) sont débarrassées de leurs feuilles. Les pailles de riz ainsi obtenues sont entreposées dans une salle à une température de 25 °C. Elles ont la forme d'un tube creux dont le diamètre extérieur varie entre 1 et 4 mm. La paille de riz vue en section est formée d'une zone de faisceaux de fibres dont l'épaisseur est comprise entre 0,1 et 0,3 mm. Cette zone est limitée vers l'extérieur par l'épiderme et à l'intérieur par le xylème (fig.1c)



**Figure 1 : Plante de riz sec**  
a) tige b) paille c) vue en section de la structure de la paille

#### 2-1-2. Potasse cristallisée

Les cristaux de potasse utilisés dans cette étude sont obtenus à partir de la cendre de bois de fromager. Les tiges de fromager sont séchées au soleil puis calcinées. La cendre obtenue est tamisée à l'aide d'un tamis de 500 µm. Le passant est ensuite dissout dans de l'eau et laissé au repos durant 24 heures. La solution obtenue est filtrée grâce à un tissu. Le filtrat recueilli dans un bol est enfin chauffé jusqu'à évaporation complète de l'eau et dépôts de cristaux de potasse (fig. 2).



Figure 2 : Potasse de fromager cristallisée (pastille de potassium)

## 2-2- Méthodes expérimentales

### 2-2-1 Traitement de la paille de riz

Les solutions de potasse utilisées pour traiter les pailles de riz sont obtenues par dissolution de différentes masses de pastille de potasse dans un volume d'un litre d'eau distillée. Les différentes solutions préparées et leur pH sont donnés dans le tableau 1

Tableau 1 : Résumé des caractéristiques de la solution de potasse utilisée

Indices de la solution	Concentration (g/l)	pH
S0	0	7
S1	60	9,1
S2	80	9,5
S3	100	10
S4	120	10,5
S5	140	11

Les pailles de riz sont complètement immergées dans les différentes solutions de potasse pendant 24 heures. Ensuite elles sont sorties, rincées et séchées au laboratoire jusqu'à masse constante. Les échantillons ainsi obtenus sont soumis à différents tests.

### 2-2-2. Absorption d'eau

Pour déterminer l'absorption d'eau, une essoreuse à saladier et un sac en filet plastique ont été utilisés. Le filet est d'abord immergé dans de l'eau distillée pendant quelques minutes ensuite essoré dans le saladier en tournant 100 fois à une vitesse constante de 2 tours par second. Enfin la masse ( $M_f$ ) du filet est pesée. 200 g de pailles sont préalablement séchées dans une étuve à 60 °C pendant 24 heures puis une prise d'essai de 25 g est placée à l'intérieur du filet humide et pesé ( $M_o$ ). Ensuite, l'ensemble est totalement immergé dans de l'eau distillée pendant 10 min puis essoré comme précédemment et pesé à nouveau ( $M_h$ ). La valeur de l'absorption d'eau ( $W$ ) est calculée à partir de la formule :

$$W = 100 \left( \frac{M_h - M_o}{M_o - M_f} \right) \quad (\text{Eq.1})$$

### 2-2-3. Résistance à la traction

Le test de traction a été réalisé grâce à un dispositif conçu par l'équipe du laboratoire des Géomatériaux (presse Géomatériaux). Il est constitué de deux parties : un socle et un support est associé à une cellule de charge qui permet de déterminer la force exercée. La paille de riz de 100 mm est d'abord collée par ces deux extrémités à une bande de papier de largeur 2 cm puis l'ensemble est placé entre les mâchoires du dispositif de mesure de sorte que la paille soit bien centrée par rapport à la largeur des mâchoires. Enfin le papier est coupé et la paille est chargée progressivement. Pour calculer la résistance à la traction, la section ( $s$ ) des pailles est déterminée par la mesure de ses dimensions avec un pied à coulisse de précision 0,002 mm. La résistance à la traction ( $T$ ) est donnée par la formule :

$$T = \frac{F}{s} \quad (\text{Eq.2})$$

Pour valider les résultats obtenus avec ce dispositif, les résistances à la traction ont été mesurées sur des pailles non traitées et sont comparés avec ceux obtenus sur les mêmes pailles avec une presse de traction INSTRON model 5500R.

### 2-2-4. Détermination de la composition chimique des pailles de riz (matière sèche, organique et minérale)

Pour la détermination de la matière sèche, une masse ( $M$ ) de paille est d'abord séchée à l'étuve à 103 °C pendant trois jours. Ensuite à la fin du troisième jour l'échantillon est sorti et posé dans un dessiccateur en vu de le refroidir. Enfin la masse sèche ( $M_s$ ) de l'échantillon froid est pesée. Le pourcentage de matière sèche ( $MS$ ) est donné par la formule :

$$MS = 100 \frac{M_s}{M} \quad (\text{Eq.3})$$

La matière minérale est la partie d'une matière végétale qui reste une fois que toute la matière organique est extraite. Elle est déterminée par calcination dans un four à moufle à 550 °C durant 6 heures de la masse ( $M_s$ ) de matière végétale précédemment séchée à l'étuve à 103 °C pendant trois jours. Après refroidissement dans un dessiccateur, la masse de matière minérale ( $M_m$ ) est pesée. Le pourcentage de matière minérale est donné par la formule

$$MM = 100 \frac{M_m}{M_s} \quad (\text{Eq 4})$$

Le taux de matière organique est donné par la formule :

$$MO = MS - MM \quad (\text{Eq 5})$$

### 2-2-5. Observation à la loupe binoculaire et Microscope Electronique à Balayage (MEB)

La microstructure des pailles de riz a été observée à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope électronique à balayage.

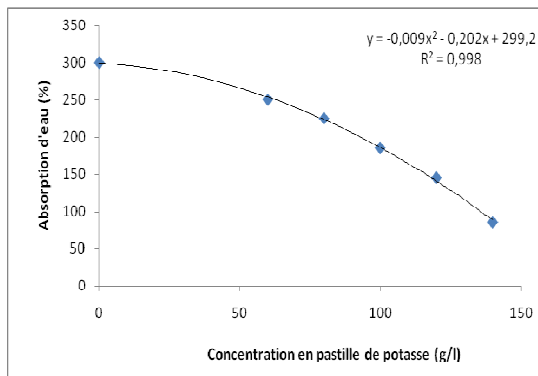
La loupe binoculaire utilisée est de marque LEICA. Elle est associée à une caméra qui permet de prendre des photos des échantillons. Le MEB utilisé fonction sous vide avec une tension d'accélération de 15 kV. Une distance de travail de 3 mm a été utilisée avec une inclinaison règle à 0°. Les images obtenues ont été

analysées pour identifier les transformations qui ont affecté la structure des pailles de riz. Tous les tests énumérés ci-dessus ont été réalisés sur la paille de riz naturelle et sur les pailles de riz traitées par les différentes solutions de potassium. Les valeurs présentées dans ce travail sont des moyennes calculées sur au moins 5 échantillons qui ont subi le même traitement.

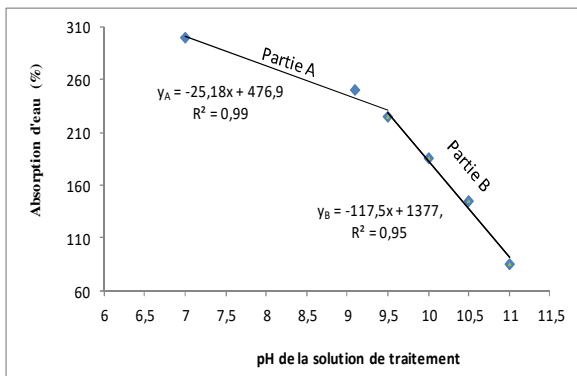
**3. Résultats et discussions**

**3-1. Influence de la potasse sur l’absorption des pailles**

La variation de l’absorption d’eau des pailles de riz en fonction de la concentration de pastille de potassium est présentée sur la figure 3. Sur cette figure, l’absorption baisse avec l’augmentation de la concentration en pastille de potassium. L’absorption la plus faible est obtenue avec une concentration de pastille de 140 g/l et la chute de l’absorption est d’environ 220 % de celle de la paille de riz non traitée. La paille de riz non traité peut absorber plus 200 % sa masse en eau. Le traitement avec la solution de potasse extraite de cendre de fromager permet de baisser l’absorption des pailles de riz. Cependant, cette absorption d’eau de la paille de riz traitée n’est pas proportionnelle à la concentration en pastille de potassium (fig.3).



**Figure 3 : Variation de l’absorption en fonction de la concentration en pastille de potassium**



**Figure 4 : Variation de l’absorption en fonction du pH de la solution de traitement des pailles de riz**

Par contre, la variation de l’absorption avec le pH de la solution de potasse peut se subdiviser en deux parties. Lorsque le pH de la solution de traitement varie entre 7 et 9,5, (partie A) l’absorption est proportionnelle au pH avec une pente modérée de -25,18 et une corrélation de

0,99. Au-delà du pH de 9,5 (partie B) l’absorption semble aussi proportionnelle au pH avec une pente forte de -117,5 et une corrélation de 0,95. La solution étant basique, le pH traduit la concentration en ion hydroxyde (OH<sup>-</sup>). Ce sont ces ions qui réagissent avec les fibres provoquant la variation de l’absorption. Ils ont un effet modéré quand le pH est inférieur à 9,5 et une action très forte quand le pH est supérieur à cette valeur pour les mêmes durées de traitement.

**3-2. Résistance à la traction**

**3-2-1. Validation du dispositif de mesure**

Le tableau 2 donne la valeur moyenne de la résistance à la traction mesurée sur 10 échantillons de paille de riz et leur écart type. Les valeurs moyennes sont proches. La différence entre les deux valeurs moyennes est 4 % la valeur obtenue avec le dispositif monté. Cette presse peut donc être utilisée pour les essais de traction sur les fibres.

Par ailleurs, les écarts types sont élevés car les diamètres des pailles ne sont pas rigoureusement identiques. Ils varient entre 1,5 et 2,3 mm. De plus les échantillons testés ont été pris en vrac, pas au même niveau des tiges.

**Tableau 2 : Résistance à la traction de pailles de riz brute**

DISPOSITIF	Résistance moyenne (MPa)	Ecart type
Presse INSTRON	115,1	16,06
Presse Géomatériaux	111,2	17,67

**3-2-2. Conséquences traitement des pailles de riz par les solutions de potasse**

Les fibres naturelles sont ajoutées aux matériaux composites et autres produits à base de terre pour limiter le rétrécissement et/ou améliorer la résistance à la flexion [12 ; 20]. Or elles présentent une forte variabilité de leurs propriétés pour une même espèce en fonction de plusieurs facteurs comme ; l’âge de la plante, des défauts (genoux, nœuds, bandes, dislocation), la structure (forme des sections, taille des lumens) [16]. Cette variabilité est responsable de la dispersion des valeurs de résistances. L’examen des résultats de la figure 5 indique que la dispersion des valeurs des résistances à la traction des fibres devient moins étendue lorsqu’elles sont traitées. La potasse dégrade en parti les éléments qui sont responsable des fluctuations des valeurs. Selon ces auteurs [16], le module de traction et la contrainte à la rupture des fibres végétales sollicitées en traction diminuent quand le diamètre des fibres augment. Ils attribuent cela à la présence du lumen. En effet, lorsque le diamètre du lumen est important, la section réelle de la paroi est plus faible ce qui conduit à une sous estimation des propriétés.

Cette figure montre par ailleurs que les résistances à la traction augmentent avec le pH de la solution entre 7 et 9,5 puis chute au-delà de la valeur 9,5. La basicité de la solution de traitement au-delà du pH de 9,5 détériore la qualité des pailles de riz. Par contre pour des valeurs de pH modérées (comprise entre 7 et 9,5), l’amélioration

de la résistance est d'environ 10 % de la résistance moyenne des pailles non traitées.

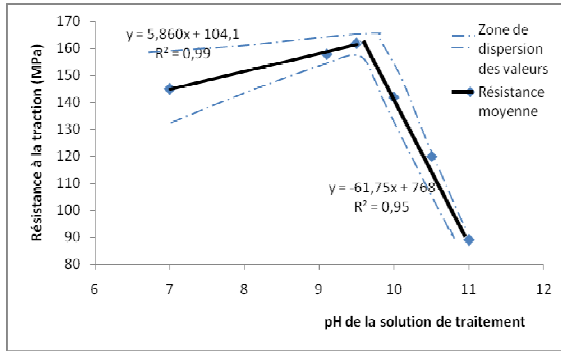


Figure 5 : Variation de la résistance à la traction en fonction du pH de la solution de traitement des pailles de riz

**3-3. Influence du traitement sur la variation de taux matière organique et minéral dans la paille**

La figure 6 montre la variation du pourcentage de matière (sèche, organique, minérale) en fonction du pH de la solution qui a servi au traitement. Les

pourcentages de matière sèche et organique baissent avec l'augmentation du pH de la solution de traitement tandis que la teneur en matière minérale augmente ; sauf au pH=11 où la teneur en matière sèche augmente

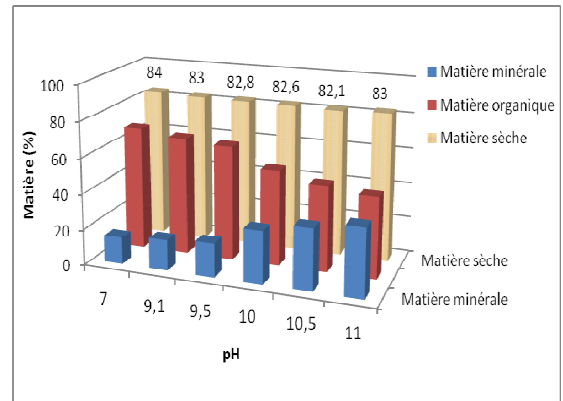


Figure 6 : Variation du pourcentage de matière en fonction du pH de la solution de traitement des pailles de riz

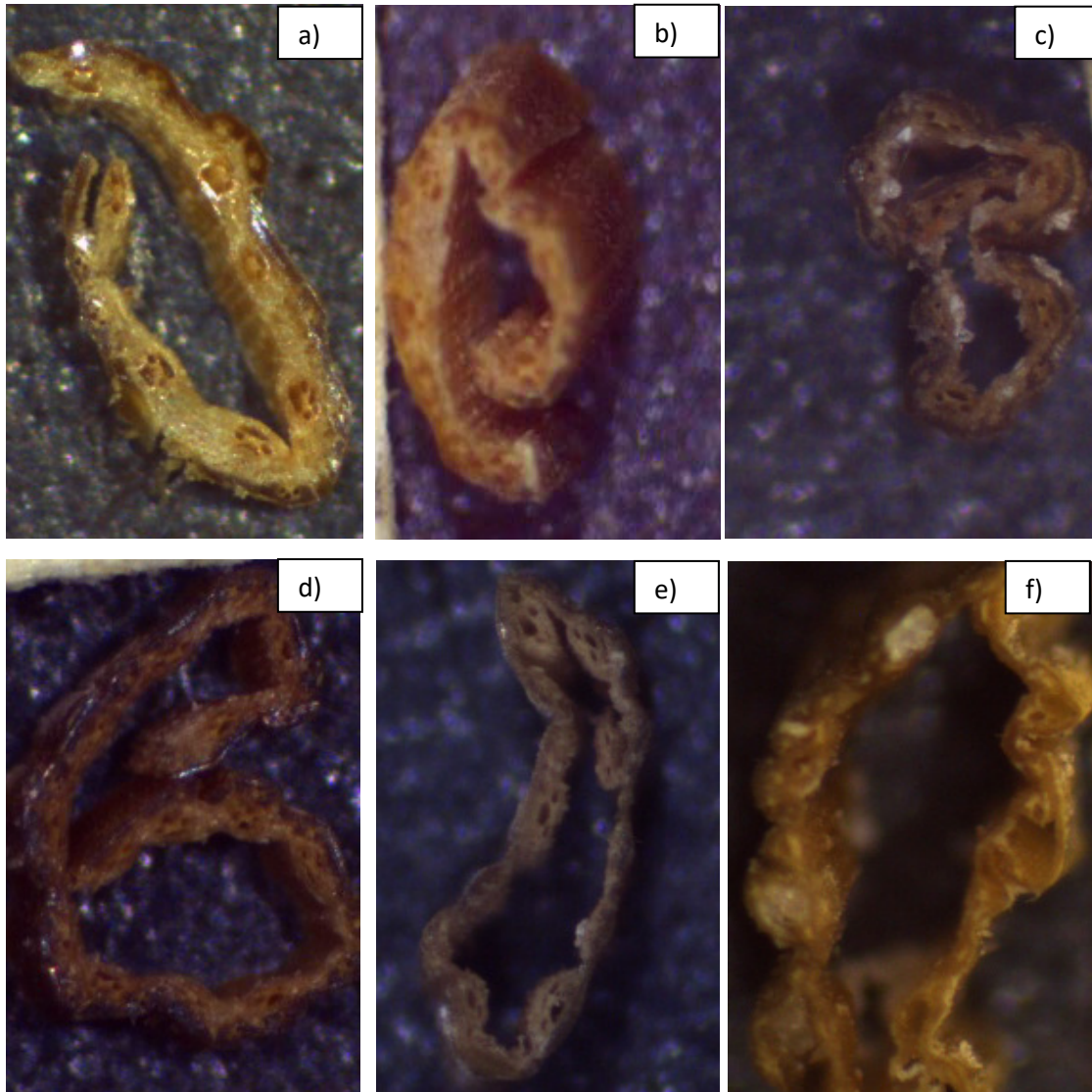


Figure 7 : Morphologie des pailles traitées avec une solution de potasse de pH variable  
a) pH=7 ; b) pH=9,1 ; c) pH=9,5 ; d) pH=10 ; e) pH=10,5 ; f) pH=11

Cette variation est due à la dégradation partielle de la matière organique par la solution. Selon [20] le traitement des fibres par une solution alcalin (soude) entraîne une réduction de la quantité de matériaux amorphe de la fibre (solubilisation des hémicellulose, graisse, cire) qui va occasionner une augmentation du taux de cristallinité. En outre, l'augmentation de la teneur en matière sèche alors que celle de la matière organique baisse à un PH=11 traduirait un enrichissement en éléments minéraux. Selon [18] qui ont travaillé sur le traitement des fibres végétales par la soude, les ions sodium se placent dans l'unité cellulaire de cellulose.

### 3-4. Conséquence du traitement sur la morphologie des fibres

La figure 7 présente la morphologie vue en section à la loupe binoculaire d'une paille de riz brute et des pailles de riz traitées respectivement avec de l'eau et des solutions de potasse de pH différents. La section de la paille brute a un éclat gras et luisant (fig.7a). Lorsque les pailles sont traitées par des solutions de potasse de pH de plus en plus élevés les sections montrent un éclat terne et l'épaisseur de la zone de fibre et du xylème diminue (fig.7b-f). Les pailles s'atrophient progressivement et se dégradent (fig.7e-f) quand le pH est plus élevé. La potasse nettoie les pailles traitées. La paille contient des éléments qui sont soluble dans la solution de potasse.

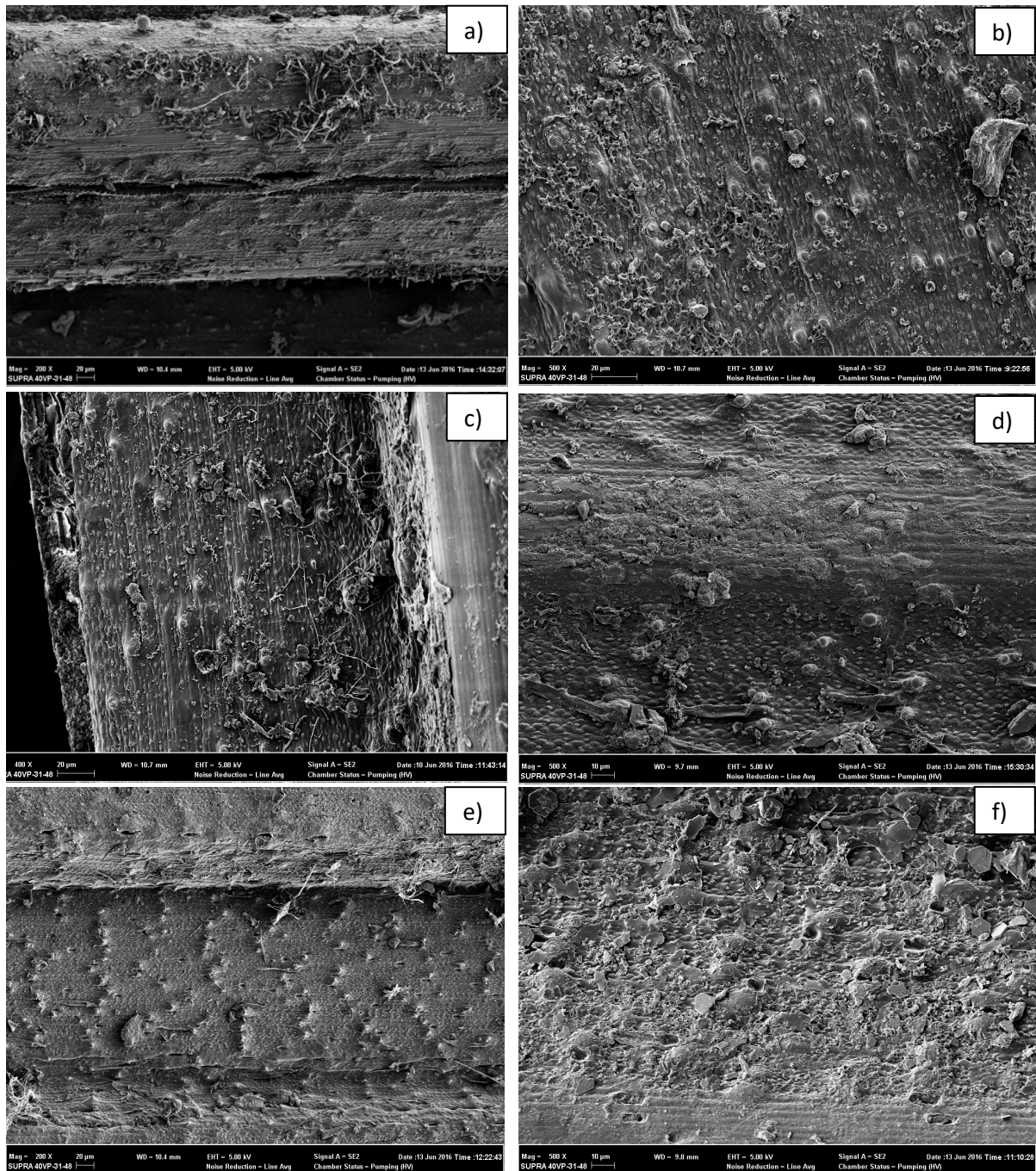


Figure 8 : Surface au MEB des pailles de riz traitées avec des solutions de pH différent  
a) pH=7 ; b) pH=9,1 ; c) pH=9,5 ; d) pH=10 ; e) pH=10,5 ; f) pH=11

La surface de la paille de riz brute est rugueuse avec de nombreuses aspérités (fig. 8a). Cette rugosité est progressivement nettoyée lorsque le pH devient supérieur à 7 (fig.8b-c). Au-delà du pH de 9,5, la rugosité disparaît pratiquement laissant apparaître à la surface des pailles des petits pores et par endroit des dépôts (fig. 8f). Les éléments contenus dans la paille sont donc capables de fixer les composants chimiques présents dans la solution. Quelques études dans la littérature sont conformes à nos résultats. Les travaux de [16 ; 18 ; 20]; portant sur l'influence du traitement alcalin en particulier du traitement à la soude des fibres naturelles, relate la modification de leurs caractéristiques physique et chimique. L'alcalinité du milieu nettoie les fibres en dégradant leur constituant amorphe : graisses, cires ou polysaccharides tels que les lignines, hémicelluloses ou pectines [8 ; 15 ; 19]. [17 ; 18]; montrent dans leurs travaux que les fibres traitées ont un diamètre inférieur et une rugosité de surface plus importante. En outre, selon [17 ; 20] la forte alcalinité provoque la convection de la cellulose I en cellulose II.

#### 4 Conclusion

Le traitement des pailles de riz par des solutions de potasse de pH supérieur à 7 a permis de faire les remarques suivantes:

- l'absorption d'eau des pailles de riz traitées avec des solutions de pH supérieur à 7 chute avec l'augmentation du pH des solutions de traitement. La chute est brutale à partir du pH supérieur à 9,5.
- la résistance à la traction des pailles traitées avec des solutions de pH compris entre 7 et 9,5 est supérieure à celle de la paille brute. La valeur maximale de la résistance est obtenue au pH de 9,5.
- la solution de potasse nettoie les impuretés ou substances amorphes (graisses, cires ou polysaccharides) contenues dans et à la surface des pailles et augmente sa cristallinité. Par ailleurs, les solutions de fort pH (>10) dégradent la rugosité à la surface des pailles.

Les solutions issues de la cendre de bois permettent de traiter chimiquement la paille de riz et d'améliorer ses performances. Le pH de la solution optimale pour le traitement des fibres végétales est d'environ 9,5.

#### Remerciements

Cette étude est une partie d'un projet de recherche soutenu par l'UEMOA. Les auteurs aimeraient remercier l'UEMOA pour sa contribution financière.

#### REFERENCES

- [1] Banthia N., Moncef A, Chokri K., Sheng J., "Micro-fibre reinforced cement composite. I. Uniaxial tensile response", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21 (6), 1994, 999-1011
- [2] Wang Y., Li V. C., Baker S., "Tensile properties of synthetic fiber reinforced mortar" ,*Cement and Concrete Composite*, 12 (1), 1990, 29-40.
- [3] Reux F, Verpoest I, "European Confederation of Flax Hemp. European Scientific Committee Flax and Hemp Fibres: A Natural Solution for the Composite Industry" éditeur JEC Composites, Paris, France, 2012, p. 215
- [4] Le Duigou A., Davies, P., Baley, C. "Environmental impact analysis of the production of flax fibres to be used as composite material reinforcement." *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 5, 2011, 1-13.
- [5] Vasumathi M., Vela Murali, "Fracture behavior of chemically treated reshira-epoxy composite and optimization of parameters for composite fabrication." *Advanced Materials Research*, 488-489, 2012, 182-187.
- [6] Melo Filho J. A., Silva F. A., Toledo Filho R. D., "Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems." *Cement and Concrete Composites*, 40, 2013, 30-39.
- [7] Silva F. A., Mobasher B., Soranakom C. Toledo Filho R. D. "Effect of fiber shape and morphology on interfacial bond and cracking behaviors of sisal fiber cement based composites." *Cement and Concrete Composites*, 33, (8), 2011, 814-823.
- [8] Sree Kumar P. A., Thomas Selvin P., Saiter J. M., Kuruvilla J., Sabu T. "Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabrication by resin transfer molding." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40, (11), 2009, 1777-1784.
- [9] Onuaguluchi O. and Banthia N. "Plant-based natural fiber reinforced cement composites: a review." *Cement and Concrete Composites*, 68, 2016, 96-108.
- [10] Laborel-Préneron A., Aubert J. E., Magniont C., Tribout C., Bertron A. "Plant aggregates and fibers in earth construction materials : A review" *Construction and Building Materials*, 111, 2016, 719-734
- [11] Mostafa M., Uddin N., "Experimental analysis of compressed earth blocks (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces." *Case Studies in Construction Materials*, 5, 2016, 53-63.
- [12] Taallah B. and Guettala A. "The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers." *Construction and Building Materials*, 104, 2016, 52-62.
- [13] Zak P., Ashour T., Korjenic A., Korjenic S., Wu W. "The influence of reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials." *Construction and Building Materials*, 106, 2016, 179-188.
- [14] Mohamed A. E. M. K., "Improvement of swelling clay properties using hay fibers." *Construction and Building Materials* 38, 2013, 242-247.
- [15] Gibaud M., Bournaud A., Baley C., "Understanding the lodging of green flax stems; the importance of morphology and fibre stiffness." *Biosystems Engineering*, 137, 2015, 9-21.
- [16] Baley C. and Bournaud A., "Average tensile properties of French elementary flax fibers." *Materials letters*, 122, 2014, 159-161.
- [17] Sedan D., Pagnoux C., Smith A., Chotard T., "Mechanical properties of hemp fiber reinforced cement: influence of the fiber/matrix interaction." *Journal of the European Ceramic Society*, 28, 2008, 183-192.
- [18] Van de Weyenberg I., Chi Truong T., Vangrimde B., Verpoest I. "Improving the properties of UD flax fiber reinforced composites by applying an alkaline fiber treatment", *Composites Part A*, 37, 2006, 1368-1376.
- [19] Wang W., Chouw N. "The behaviour of coconut fibre reinforced concrete (CFRC) under impact loading". *Construction and Building Materials*, Vol. 134, 2017, pp. 452- 461.
- [20] Ebrahimi M., Caparanga A.R., Ordone E.E., Villaflores O.B. "Evaluation of organosolv pretreatment on the enzymatic digestibility of coconut coir fibers and bioethanol production via simultaneous saccharification and fermentation". *Renewable Energy*, Vol. 109, 2017, pp. 41-48.