



## Caractérisation physique et mécanique de *Thalia geniculata* et de *Musa sapientum*, deux espèces de feuilles végétales utilisées comme emballages alimentaires en Afrique de l'Ouest

Caroline F. ONZO<sup>1,2</sup>, Chakirou TOUKOUROU<sup>3</sup>, Paulin AZOKPOTA<sup>1,2\*</sup>,  
Hermann J. YANDJOU<sup>1,2</sup> et Joseph D. HOUNHOUGAN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Biologie Moléculaire et Formulations Alimentaires ; Faculté des Sciences Agronomiques ; Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup>Laboratoire de Biochimie Microbienne et de Biotechnologie Alimentaire ; Département de Nutrition, Sciences et Technologie Alimentaires ; Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA) ; Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ; 01 BP 2009, Cotonou, Bénin.

\*Auteur correspondant, E-mail : [azokpotap@yahoo.fr](mailto:azokpotap@yahoo.fr)

### RESUME

Plusieurs feuilles végétales sont utilisées comme emballages en agroalimentaire au Bénin. Le présent travail vise à déterminer les propriétés physiques et mécaniques de *Thalia geniculata* et *Musa sapientum*, deux espèces de feuilles végétales les plus utilisées pour l'emballage de l'akassa, une pâte alimentaire d'origine béninoise obtenue par la fermentation traditionnelle de maïs. Des tests d'opacité, de perméabilité à l'eau, de traction et de migration ont été réalisés sur les feuilles indiquées avec des méthodes de référence. Il est apparu que toutes les feuilles fraîches ont une opacité plus élevée que les feuilles traitées par flambage, les plus fortes valeurs ayant été observées dans le domaine des ultraviolets (550 nm). Toutes les feuilles analysées sont imperméables à l'eau à 25 °C. En traction longitudinale, les feuilles de *Musa sapientum* et de *Thalia geniculata* ont des contraintes à la rupture respectives de 2,025 MPa et 0,573 MPa. En traction transversale, les mêmes contraintes, pour les deux espèces, sont respectivement de 0,908 MPa et de 0,573 MPa. Par ailleurs, au bout de 24 heures, aucun effet de migration de glucides ne s'est opéré entre l'akassa et les feuilles de *Musa sapientum* ; tandis qu'une légère migration de glucides de l'akassa vers les feuilles de *Thalia geniculata* a été observée. Au regard des résultats obtenus, *Musa sapientum* et *Thalia geniculata* présentent des caractéristiques potentielles qui peuvent être utilisées pour confectionner des emballages végétaux moulés de type pakistanais et respectueux des normes environnementales, contrairement aux emballages plastiques non biodégradables dont l'utilisation dans les villes africaines est source de grave pollution environnementale.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés** : Emballages végétaux, *Thalia geniculata* ; *Musa Sapientum*, Akassa ; emballages biodégradables.

### INTRODUCTION

Les emballages alimentaires jouent un rôle prépondérant dans la confection des aliments (Reyne, 1991). Ce rôle est très

diversifié en ce sens que l'emballage est perçu comme protecteur, culturel, sanitaire et publicitaire (Rocher, 1997).

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.17>

Les matériaux naturels tels que le bois, la soie, le lin, la laine sont utilisés traditionnellement par l'homme comme emballages de façon diversifiée (Leygue, 1992). Au cours de l'évolution de la vie et face aux grands progrès scientifiques et technologiques, ces emballages ont été progressivement remplacés par des emballages modernes tels que les emballages plastiques qui sont principalement des produits de synthèse des dérivés de l'industrie de pétrole (Gontard et Guilbert, 1994).

Actuellement, dans le domaine agroalimentaire, les emballages plastiques sont largement utilisés, le plus souvent, sous forme de sachets, dans de nombreux pays pour le conditionnement d'une diversité de produits alimentaires (Pothet, 2003 ; Pixa, 1998). Du fait de leur caractère pratique, de leur apparence esthétique mais surtout pour leur faible coût, ces emballages plastiques ont gagné la sympathie de nombreux consommateurs, surtout dans le domaine agroalimentaire qui absorbe environ 65 % des emballages plastiques produits pour diverses utilisations (Bureau and Tisso, 1987 ; Jenkins and Harrington, 1991).

Cependant, les emballages plastiques posent de nombreux problèmes de santé publique dans la société (Palling, 1980). En effet, l'accumulation de ces emballages dans l'environnement constitue une source de pollution, nuisible à la santé humaine (ADEME, 2012) et leur recyclage ou leur incinération qui sont des méthodes alternatives possibles à l'épandage classique posent encore de problèmes techniques et logistiques (Marquié, 1994).

Dans la recherche de solutions pour l'élimination des déchets liés aux sachets plastiques et avec le souci de protéger l'environnement, les pays industrialisés se mobilisent sous l'égide d'une volonté générale pour tenter de réduire la quantité d'emballages synthétiques à la source et de mieux valoriser les déchets domestiques et industriels (Marquié, 1994). Des actions similaires ont également été entreprises dans les pays en

développement qui sont les grands consommateurs d'emballages plastiques.

Etant donné que la plupart de ces pays en développement, à l'instar du Bénin, n'ont aucune législation pour réglementer l'utilisation desdits emballages, leur élimination méthodique devient alors une préoccupation dans ces pays qui disposent pourtant d'immenses potentialités en matière d'emballages biodégradables (Hounhouigan, 2000).

Au Bénin, depuis de vieilles dates, voire des dates séculaires, certaines espèces de feuilles végétales qui résistent fort bien aux emballages importés ou synthétisés, sont utilisées comme des emballages alimentaires (Hounhouigan, 2000). Plusieurs de ces espèces de feuilles végétales utilisées dans l'artisanat alimentaire ont été identifiées (Onzo et al., 2013). Le développement effréné de l'artisanat agroalimentaire au Bénin a entraîné leur utilisation même dans les grandes villes (Boko et al., 1997 ; Onzo et al., 2013). Les feuilles des espèces végétales telles que *Thalia geniculata*, *Musa sapientum*, *Manihot esculenta*, *Tectona grandis*, *Elaeis guineensis*, *Zea mays* (Boko et al., 1997 ; Hounhouigan, 2000 ; Onzo et al., 2013) sont les emballages végétaux les plus utilisés dans l'agroalimentaire artisanal au Bénin. Il existe donc un avantage comparatif lié à l'utilisation de ces feuilles végétales comme emballages alimentaires, aussi bien du point de vue économique, que du point de vue écologique, surtout du fait de leur caractère biodégradable (Onzo et al., 2013).

Cependant, le développement d'emballages de substitution issus de ressources biodégradables telles que les feuilles végétales ne pourrait véritablement constituer une alternative durable qu'à condition qu'elles aient les fonctions essentielles d'un emballage typique (CNE, 2009). Ainsi, peut-on affirmer que les feuilles végétales utilisées comme emballages alimentaires au Bénin présentent-elles des caractéristiques physiques et mécaniques similaires ou proches de celles des emballages

classiques ? Le présent travail vise à caractériser aux plans physique et mécanique *Thalia geniculata* et *Musa sapientum*, deux espèces de feuilles végétales les plus utilisées pour emballer l'akassa, une pâte alimentaire fermentée produite et largement consommée au Bénin (Nago, 1997 ; Hounhouigan, 1994).

Dans l'atteinte de ces objectifs, on se met dans l'hypothèse selon laquelle les propriétés physiques et mécaniques de *Thalia geniculata* et *Musa sapientum* utilisées comme emballages alimentaires sont proches de celles d'un emballage classique.

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel

Deux types de matériel ont été utilisés dans le cadre du présent travail. Il s'agit des feuilles de deux espèces végétales servant d'emballages végétaux et de l'akassa, la denrée alimentaire emballée dans lesdites feuilles (Figure 1a,b).

Les feuilles végétales testées sont constituées des espèces de *Musa sapientum* (Figure 1a) et de *Thalia geniculata* (Figure 1b). Les feuilles de *Musa sapientum* L. (Musaceae) sont larges, vertes et charnues, largement étalées en franges suivant les nervures latérales perpendiculaires à la nervure principale qui est épaisse avec une partie inférieure proéminente et une canalisation au niveau de la partie supérieure. Par contre, les feuilles de *Thalia geniculata* L. sont ovales et acuminées (Nacoulma, 1996). Ces deux espèces de feuilles ont été choisies pour l'étude, vu l'importance de leur utilisation comme emballages au Sud du Bénin, principalement pour l'emballage de l'akassa (Nago, 1997 ; Onzo et al., 2013).

L'akassa est la denrée alimentaire emballée dans les feuilles à tester. L'akassa est une pâte fermentée à base de maïs, obtenu par un procédé traditionnel (Hounhouigan, 1994 ; Nago, 1997 ; Hounhouigan et al., 1998). Il fait partie des aliments de base consommés par les populations béninoises, principalement au Sud du Bénin (Hounhouigan, 1994 ; Nago, 1997 ;

Hounhouigan et al., 1998). L'akassa utilisé pour la présente étude a été fourni par une productrice sélectionnée au hasard parmi les productrices détentrices du savoir-faire en matière de technologie de production d'akassa au Bénin.

### Méthodes

#### Critères de choix des échantillons pour les différentes analyses

Plusieurs espèces de feuilles végétales utilisées comme emballages végétaux pour différentes catégories de denrées alimentaires au Bénin ont été identifiées au cours des travaux antérieurs sur toute l'étendue du territoire national (Onzo et al., 2013). Parmi ces espèces de feuilles végétales, *Musa sapientum* et *Thalia geniculata* sont deux principales espèces qui sont traditionnellement utilisées au Sud-Bénin, particulièrement par les productrices de Porto-Novo pour l'emballage de denrées alimentaires telles que l'akassa (Onzo et al., 2013).

En général, les consommateurs préfèrent emballer l'akassa dans les feuilles de *Musa sapientum* ou de *Thalia geniculata* qui confèreraient une bonne présentation, une bonne texture et un bon arôme à l'akassa emballé (Onzo et al., 2013).

#### Prétraitement des feuilles

Avant le test, les feuilles ont subi des prétraitements selon les usages traditionnels des productrices. Ainsi, les feuilles fraîches de *Musa sapientum* sont d'abord nettoyées, avant d'être flambées au feu doux. Les feuilles de *Thalia geniculata* sont rincées, équeutées avant d'être soumises à un traitement thermique à la vapeur pendant 30 minutes environ (Figure 2a, b). Ces différents traitements appliqués aux feuilles ont pour but, principalement, l'élimination des microorganismes de surface en même qu'ils confèrent aux feuilles la souplesse requise pour l'emballage.

### Détermination des propriétés physiques et mécaniques des feuilles

Les paramètres tels que l'opacité, la perméabilité, la friabilité, l'absorption d'eau, la traction à la rupture, sont les principales caractéristiques recherchées pour un matériel à utiliser comme emballage (Marquié, 1994).

- L'opacité évalue la perméabilité relative d'un matériau à un certain type de rayonnements lumineux monochromatiques. Elle permet d'apprécier l'effet photoprotecteur d'un emballage vis-à-vis des aliments qui y sont emballés. Plus l'opacité est élevée pour un emballage, mieux ce dernier protège l'aliment de la dégradation photochimique. En effet, le contact prolongé des rayons ultraviolets solaires avec certains aliments induit une suite de réactions, notamment la photo oxydation qui est généralement à l'origine de leur altération (Hart et Conia, 2000 ; Jeantet et, 2007). L'opacité des deux types des espèces de feuilles ciblées a été déterminée par mesure spectrophotométrique de l'absorbance suivant les longueurs d'ondes, ci-après : 330 nm, 500 nm, et 820 nm, correspondant, respectivement aux spectres lumineux d'ultraviolet, d'infrarouge et de visible. On arrive ainsi à apprécier le domaine de spectre dans lequel l'emballage est le plus ou le moins opaque. Pour l'expérimentation, les feuilles d'emballage ont été découpées en lamelles avant d'être introduites dans le tube de réception du spectrophotomètre préalablement réglé à la longueur d'onde choisie. Le faisceau monochromatique est ensuite émis sur l'échantillon dès que la commande est lancée et l'opacité (OP) est déterminée à partir de la densité optique (D) telle que  $D = \log(OP)$  ( $OP = 10^D$ ).

- La mesure de la perméabilité à l'eau ( $P_e$ ) des feuilles a été effectuée en vue d'évaluer le degré de protection que les feuilles assurent à l'akassa contre l'humidité. Le test a consisté à mesurer à 25 °C la quantité d'eau écoulée à travers les feuilles testées après 4, 8, 16 et 24h d'écoulement. La perméabilité a été

déterminée par la formule suivante, à savoir :

$$P_e = \frac{m_e}{S.f.t_e}$$

avec  $P_e$  : débit d'eau d'écoulement ( $g.cm^{-2}.h^{-1}$ ),  $m_e$  : masse d'eau d'écoulement (g),  $S_f$  : section de la feuille considéré ( $cm^2$ ),  $t_e$  : temps d'écoulement de l'eau à travers la feuille (h).

- La friabilité caractérise la facilité des feuilles à s'effriter sous l'effet de la chaleur. Pour mesurer la friabilité, les feuilles fraîches de *Musa sapientum* et de *Thalia geniculata* ont été d'abord découpées et séchées au four Pasteur réglé à 60, 80, 100, et 120 °C. Le temps au bout duquel la friabilité a été obtenue à une température donnée ( $T^{\circ}C$ ) a été évalué. Les valeurs relevées ont permis de tracer une courbe corrélant la température et le temps nécessaires à l'obtention d'un degré donné de friabilité ( $f(t) = T$ ).

- La mesure d'absorption d'eau par les feuilles de *Musa sapientum* et de *Thalia geniculata* informe sur la capacité de ces dernières à conserver l'aliment au frais. Cette mesure de l'absorption a été réalisée sur une plage de températures allant de 35 à 105 °C. Cette gamme de température a été choisie de façon à rendre compte aussi fidèlement que possible des conditions réelles d'utilisation des feuilles emballant l'aliment. Pour réaliser les mesures, les feuilles de chaque espèce ont été découpées en carrés de  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  chacun. Les lots sont alors immergés dans un bain Marie pendant 20 minutes. Après retrait, tous les carrés ont été pesés de nouveau. La variation de masse ( $\Delta m$ ) de chaque feuille entre l'avant et l'après traitement a été mesurée. Cette variation qui traduit l'absorption est, soit un gain ( $+\Delta m$ ), soit une perte ( $-\Delta m$ ) et est mesurée comme suit :  $\Delta m = (m_f - m_i)$  (g), avec  $m_f$  : masse finale des feuilles immergées,  $m_i$  : masse initiale des feuilles (non immergées).

- Les essais de traction ont été réalisés pour connaître la charge à la rupture des feuilles, ce qui traduit donc leur résistance maximale à un étirement uni-axial. Pour ce faire, chacune des espèces de feuilles à

analyser a été découpée suivant le sens des nervures principales et dans le sens perpendiculaire à celles-ci. On a réalisé ainsi des éprouvettes de traction de 3 x 10 cm<sup>2</sup>, auxquelles sont collés des talons de 3 x 3 cm<sup>2</sup> (une paire de talons à chaque extrémité des éprouvettes). Ces talons ont maintenu des champs de contraintes uniformes durant les essais. Le découpage des feuilles dans les sens longitudinal et transversal a permis de prendre en compte leur anisotropie. Le dispositif de traction (Figure 3a, b) repose sur des socles qui assurent son équilibre lors des essais. Ce dispositif est constitué d'une charpente métallique ainsi qu'un axe perpendiculaire au plan de la charpente et terminé par un mors qui fixe les éprouvettes de traction par l'une de leurs extrémités. A l'autre extrémité des éprouvettes, sont accrochées des masselottes de masses variées par le biais d'un crochet. Les masselottes sont fixées les unes aux autres, jusqu'à la rupture de l'éprouvette de traction. La contrainte à la rupture  $\tau$  a été déterminée par la formule suivante :  $\tau = \frac{F}{S}$  (Pa), avec F = Force subie par les éprouvettes à la rupture (N), S = Surface supportant la charge (m<sup>2</sup>).

#### **Test de la migration des substances entre l'akassa et les feuilles utilisées comme emballage**

L'akassa est une denrée alimentaire essentiellement riche en glucides (Nago, 1997). Ainsi, les glucides constituent les principaux constituants qui peuvent migrer de l'akassa vers les feuilles. Le test de migration des glucides vers l'emballage a été réalisé à travers le dosage à 25 °C, à deux différentes occasions, des glucides contenus dans l'akassa préalablement mis en contact avec l'emballage. Toute variation de la quantité de glucides entre ces deux instants se traduirait comme une migration de l'aliment vers les feuilles testées. Une variation nulle pourrait être interprétée comme une absence de migration. A cet effet, la teneur en glucides a été déterminée dans l'akassa avant et après l'emballage suivant la méthode décrite par Nago (1997).

- Détermination du pH de l'akassa

Le pH de l'akassa a été mesuré pour s'assurer de la modification probable du taux d'acidité de l'akassa une fois que ce dernier est mis en contact avec les emballages feuilles. Le pH de l'akassa a été déterminé par la méthode de Nout (1989).



a : *Musa sapientum*

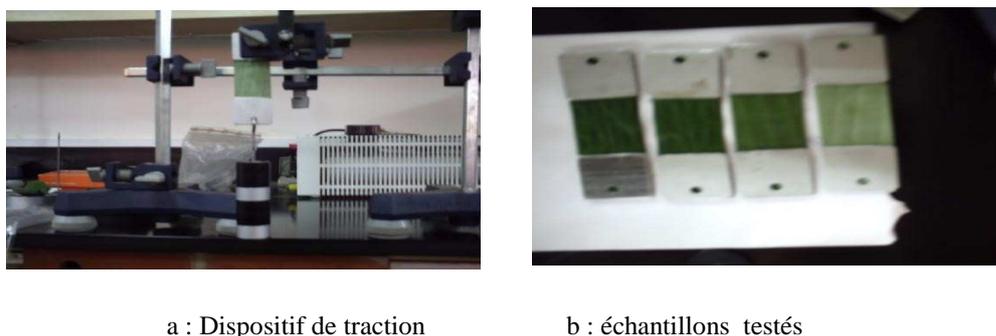


b : *Thalia geniculata*

**Figure 1** : Espèces de feuilles de *Musa sapientum* et *Thalia geniculata*.



**Figure 2 :** Aspect des feuilles des deux espèces végétales après le prétraitement.



**Figure 3 :** Dispositif de traction des feuilles.

## RESULTATS

### Caractéristiques physiques des feuilles analysées

#### Degré d'opacité (OP)

Dans tous les domaines de longueurs d'onde, les feuilles fraîches des deux espèces de feuilles analysées sont plus opaques que les feuilles soumises à un traitement, le flambage (Tableau 1). Par ailleurs, l'opacité des feuilles est en moyenne plus élevée surtout à la longueur d'onde d'infrarouge. De plus, on s'aperçoit que les feuilles flambées de *Thalia geniculata* sont moins opaques que les feuilles flambées de *Musa sapientum*.

#### Perméabilité à l'eau des feuilles

A l'issue des tests de perméabilité à l'eau, aucun passage d'eau n'a été observé, aussi bien au niveau de *Musa sapientum* (fraîche ou traitée) que chez *Thalia geniculata* (fraîche ou traitée), pendant toute la durée

d'écoulement. On en déduit qu'à 25 °C, les feuilles de *Thalia geniculata* et de *Musa sapientum*, traitées ou non, sont imperméables à l'eau. Cette imperméabilité a été observée jusqu'à 3 ml d'eau pour 0,785398 cm<sup>2</sup> de feuille, soit 3,82 ml d'eau / cm<sup>2</sup> de feuille.

#### Friabilité des feuilles analysées

La friabilité de l'espèce *Thalia geniculata* à une température donnée en fonction du temps est traduite par l'équation  $y = -0,0386x^3 + 1,3277x^2 - 14,81x + 133,52$  qui est une fonction polynôme de troisième degré. On obtient une friabilité maximale avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 1$  (Figure 4a). Par contre, la friabilité de l'espèce *Musa sapientum* à la même température est traduite par l'équation  $y = -17,54\ln(x) + 129,93$  qui est un modèle avec un coefficient de corrélation  $R^2$  inférieur à 1 (Figure 4b).

**Absorption d'eau des feuilles**

Les résultats de l'absorption d'eau, mesurée sur les deux espèces de feuilles sont illustrés à la Figure 5 (a, b). A l'analyse de cette figure, on s'aperçoit que pour l'espèce *Thalia geniculata*, la sorption nulle traduite par l'équation  $y = 0,1666 \ln(x) - 0,6333 = 0$  a été obtenue à 44,7 °C (Figure 5a). Par contre, pour l'espèce *Musa sapientum*, la sorption nulle traduite par l'équation  $y = 2.10^{-10}x^6 - 7.10^{-08}x^5 + 1.10^{-05}x^4 - 0,001x^3 + 0,0431x^2 - 0,9473x + 8,04 = 0$  a été obtenue à 37,5 °C (Figure 5b). On s'aperçoit, qu'à 44,7 °C, les feuilles de *Thalia geniculata* subissent une désorption ( $\Delta m_{moy} = - 0,04716$  g) mais que pour toutes les autres valeurs de température (comprises entre 45 et 105 °C), elles absorbent de l'eau ( $\Delta m_{moy} > 0$ ). Des résultats similaires sont observés pour les feuilles de *Musa sapientum*. En effet, pour cette espèce, à 37,5 °C, on observe une perte de masse des feuilles ( $\Delta m_{moy} = - 0,03355$ g), alors qu'entre 45 et 105 °C, seules des absorptions sont observées.

**Caractéristiques mécaniques des feuilles analysées**

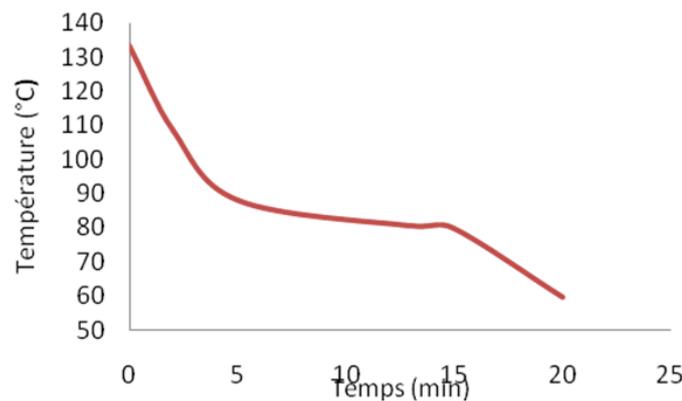
En traction longitudinale, les feuilles fraîches de *Musa Sapientum* subissent une

contrainte à la rupture de  $9,9.10^5 \text{ N.m}^{-2}$ , alors que les feuilles traitées de la même espèce ont une contrainte  $\tau$  de  $20,2.10^5 \text{ N. m}^{-2}$  (Tableau 2a). En effet, en traction longitudinale, les feuilles traitées de *Musa Sapientum* sont environ 2 fois plus résistantes que les feuilles fraîches. En traction transversale, les feuilles fraîches de *Musa Sapientum* subissent une contrainte à la rupture de  $10,2.10^5 \text{ N.m}^{-2}$ , alors que les feuilles traitées de la même espèce ont une contrainte  $\tau$  de  $9,9.10^5 \text{ N.m}^{-2}$ . les résultats contraires sont observées pour les feuilles de *Thalia geniculata* (Tableau 2b).

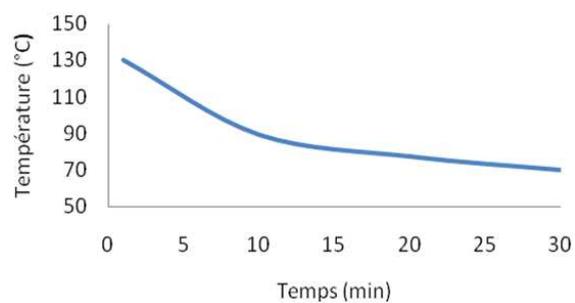
**Vitesse de migration des glucides de l'akassa vers les feuilles**

Pour l'akassa emballé dans *Thalia geniculata* on a enregistré une baisse de la teneur en glucides, de 0,01 g / 100g, au bout de 24 heures (Tableau 3). Pendant la même période, aucune variation de la teneur en glucides n'a été observée pour l'akassa témoin.

Par ailleurs, contrairement aux feuilles de l'espèce *Musa sapientum*, on note une légère augmentation du pH de l'akassa emballé dans *Thalia geniculata* au bout de 24 heures, alors que le pH de l'akassa témoin a connu une légère baisse (Tableau 4).



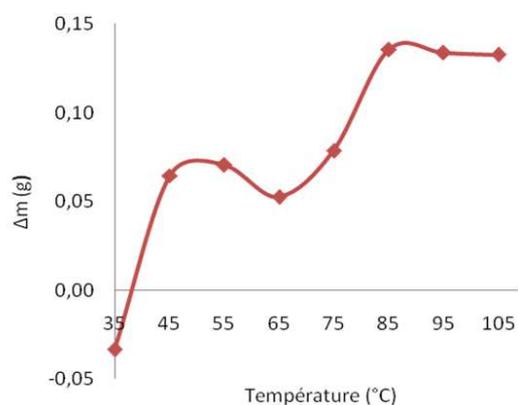
a) *Thalia geniculata*



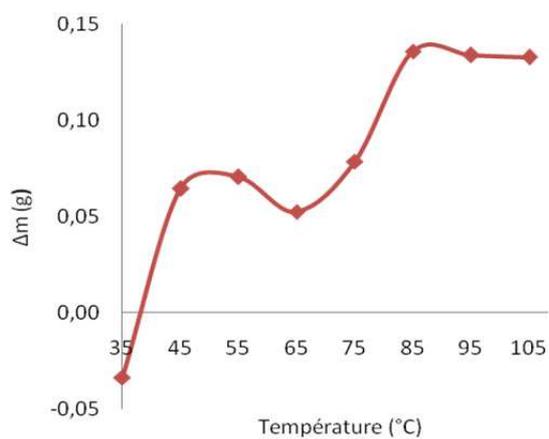
b) *Musa sapientum*

**Figure 4 :** Courbe de friabilité de *Thalia geniculata* et *Musa sapientum*.

a) *Thalia geniculata*



b) *Musa sapientum*



**Figure 5 :** Courbe de sorption de *Musa sapientum* et *Thalia geniculata*.

**Tableau 1:** Opacité des espèces de feuilles *Thalia geniculata* et *Musa sapientum*.

Feuilles analysées	Etat des feuilles	Domaine de longueurs d'onde (nm)		
		330	500	820
<i>Thalia geniculata</i>	Fraîches	1448,82a	4168,73a	135,23a
	Flambées	1422,30b	2290,93b	129,43b
<i>Musa sapientum</i>	Fraîches	1468,92c	5942,90c	238,85c
	Flambées	1452,10d	4187,92d	149,93d

Les valeurs portant les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

**Tableau 2a :** Contraintes à la rupture des feuilles de *Musa sapientum*.

Paramètres mesurés	Feuilles fraîches		Feuilles traitées	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
F (N)	9,14a	9,30a	12,83b	5,74c
S ( $10^{-6}m^2$ )	9,03a	9,05a	6,32b	6,34b
$\tau$ ( $N.m^{-2}$ )	$9,9110^5a$	$10,24. 10^5 b$	$20,21.10^5c$	$9,10.10^5a$

F : Force de traction; S : Surface supportant la charge;  $\tau$  : Contrainte à la rupture

**Tableau 2b :** Contraintes à la rupture des feuilles de *Thalia geniculata*.

Paramètres mesurés	Feuilles fraîches		Feuilles traitées	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
F (N)	8,31a	5,73b	6,70b	3,73c
S ( $10^{-6}m^2$ )	7,90a	7,91a	6,64b	6,63b
$\tau$ ( $N.m^{-2}$ )	$10,40. 10^5 a$	$7,20. 10^5 b$	$10,22. 10^5 a$	$5,75. 10^5 c$

F : Force de traction; S : Surface supportant la charge;  $\tau$  : Contrainte à la rupture

**Tableau 3 :** Vitesse de migration de l'akassa vers les espèces de feuilles étudiées.

Types d'akassa	Variation (g/100) de la teneur en glucides en fonction de la durée d'emballage	
	0 H	24H
	Akassa non emballé (Témoin)	54,51
Akassa emballé dans <i>Thalia geniculata</i>	54,53	54,55
Akassa emballé dans <i>Musa sapientum</i>	53,85	53,83

**Tableau 4** : Evolution du pH des échantillons d'akassa.

Echantillons	Valeurs du pH à 25 °C	
	0h	24h
Akassa témoin 1	3,82	3,73
Akassa emballé dans <i>Thalia geniculata</i>	3,61	3,74
Akassa témoin	3,80	3,72
Akassa emballé dans <i>Musa Sapientum</i>	3,75	3,62

## DISCUSSION

A l'analyse des résultats par rapport à l'opacité des feuilles des deux espèces végétales, on s'aperçoit que les feuilles fraîches de *Musa sapientum* traitées ou non protègent mieux contre les ultraviolets. On peut en déduire que le traitement des feuilles a un effet réducteur sur leur opacité. En effet, le traitement qui consiste à flamber les feuilles semble expliquer la diminution de leur absorbance dans les différents spectres. On pourrait supposer que lors des différents traitements, des molécules constitutives des feuilles capables d'absorber, aient été arrachées par le courant de vapeur par le phénomène de transfert de matière (solide/vapeur). En effet, il est fort probable que sous l'effet de l'agitation thermique, un nombre important de ces mêmes molécules ait migré des feuilles vers la phase vapeur réduisant ainsi leur concentration dans les feuilles. Les plus fortes valeurs d'opacité des deux espèces de feuilles observées à 500 nm pourraient se justifier par la modification des propriétés physiques des feuilles, nées de l'établissement de liaisons chimiques entre des molécules de feuilles et l'eau de traitement. Ces mesures pourraient aussi s'expliquer par le fait qu'un resserrement des mailles du réseau formé par les fibres de feuilles se soit produit sous l'effet de la chaleur à cette longueur d'onde, réseau dont la nouvelle configuration géométrique ne permettrait pas le passage des rayons. Par ailleurs, il a été rapporté que la composition chimique des films (destinés pour la confection d'un certain nombre d'emballages) a une influence sur l'opacité des emballages.

En effet, l'opacité de ces films semble être liée à la teneur en lipides du réseau (Marquié, 1994). Les mêmes auteurs ont conclu que la présence de lipides incorporés sous forme d'émulsion dans une solution filmogène renfermant des protéines a entraîné une augmentation de l'opacité des films obtenus à partir de substances pauvres en lipides. En outre, dans les conditions où le rapport substance/eau avoisine les 25% en poids volumique, il est possible d'obtenir des films pratiquement transparents pour les emballages. Dans le cas des feuilles végétales à faible teneur en lipides et en protéines où plusieurs couches sont utilisées dans la conception des emballages, ces conditions semblent être éloignées.

De l'analyse de ces résultats, on se rend compte que les traitements effectués par les productrices de denrées alimentaires sur les espèces des feuilles végétales avant de les utiliser comme emballage, et qui ont pour but de réduire la charge microbienne à la surface des feuilles, n'assureraient pas une bonne protection des aliments emballés notamment contre les rayons ultraviolets. Pour assurer une bonne protection des aliments, il faudra donc traiter les feuilles avec des désinfectants à caractère non nocif plutôt que de les soumettre à un traitement thermique.

## Perméabilité

Concernant la perméabilité des feuilles, en analysant les valeurs de pression d'eau obtenues par rapport à la perméabilité des feuilles, on est sûr que les feuilles ne sont pas endommagées (déchirées) du fait du faible poids de l'eau. Par ailleurs, la perméabilité est

une caractéristique déterminante de l'emballage qui conditionne le transfert de matière au travers du matériau le constituant. Il a été rapporté que ces transferts bidirectionnels (du milieu externe vers le milieu interne de l'emballage et réciproquement) peuvent se produire en phase liquide ou en phase vapeur (Jeantet et al., 2007). Plusieurs types d'interactions existent entre un emballage (contenant) et le produit emballé (contenu). L'inertie d'un emballage est rarement totale, ce qui peut engendrer, par exemple, une altération des propriétés organoleptiques de l'aliment ou éventuellement sa toxicité. Ce contact contenant/contenu peut également influencer les propriétés mécaniques de l'emballage (Lezervant, 2007).

En outre, il a été rapporté que la perméabilité à l'eau d'un film destiné à la confection d'un emballage est liée à la présence de groupements polaires des polymères dudit film (Higushi et Aguiar, 1959). Ces groupements polaires favorisent l'adsorption des molécules d'eau et facilitent ainsi leur migration dans le film. L'hydrolyse de certains constituants alcalins du film, notamment lorsque ce dernier est riche en protéines, peut convertir par exemple, l'asparagine et la glutamine en acides aspartiques et glutamiques qui peuvent conduire à la formation de films plus polaires et donc plus perméables à l'eau (Marquié, 1994). Cependant ces constituants n'existent que sous forme de traces dans les espèces de feuilles testées pour leur utilisation sous forme d'emballages végétaux.

Quant à la friabilité des feuilles, on peut constater qu'à températures égales, les feuilles de *Thalia geniculata* atteignent plus vite leur friabilité que celles de *Musa sapientum*. En effet, *Thalia geniculata* atteint sa friabilité environ 2 fois plus vite que *Musa sapientum*. Cette caractéristique montre qu'il est prudent d'emballer des denrées alimentaires trop chaudes dans les feuilles de *Thalia geniculata*.

S'agissant de l'absorption des feuilles, on s'aperçoit que les températures de sorption nulle des feuilles sont très relativement élevées. On ne peut donc utiliser convenablement ces espèces de feuilles végétales comme emballages alimentaires qu'en les combinant. C'est en effet à ces valeurs de température de sorption nulle qu'on serait alors certain qu'elles n'humidifieraient pas les aliments qu'elles contiennent. Rabetafika et al. (2006) ont rapporté que la forte teneur en eau des emballages biodégradables les rend sensibles à la prolifération des microorganismes, ce qui est à l'origine de la détérioration rapide des aliments qu'ils contiennent. En outre, les températures de sorption nulle des feuilles n'appartiennent pas aux plages de températures auxquelles les emballages sont souvent utilisés dans la pratique (généralement entre 25 et 28 °C). Dans ces conditions, l'idéal serait d'envisager la confection d'emballages constitués d'un mélange des deux espèces et dont la température de sorption nulle résultante, serait proche des valeurs rencontrées dans la pratique (Adejumo et Ola, 2008).

Concernant les caractéristiques mécaniques des feuilles, il ressort que les feuilles fraîches et les feuilles traitées de *Musa Sapientum* ont une résistance sensiblement équivalente. Les feuilles fraîches de *Musa Sapientum* sont plus résistantes à une traction transversale, qu'à une traction longitudinale, contrairement aux feuilles traitées qui sont beaucoup plus résistantes en traction longitudinale qu'en traction transversale (Tableau 2a).

S'agissant de la vitesse de migration, une légère migration de glucides de l'akassa vers la feuille de *Thalia geniculata* a été observée, au bout des 24 heures. Onzo (2011) a mis en évidence un phénomène de migration de lipides totaux, des feuilles de *Thalia geniculata* vers l'aliment emballé, ce qui laisse penser qu'un échange bidirectionnel de molécules ou de substances nutritives se serait produit entre les aliments et les

emballages végétaux suivant une loi qui reste à déterminer. D'après Felgenbaum (1996) et Lezervant (2007), cet échange évoluerait avec le temps. Pour l'akassa emballé dans *Musa Sapientum*, on note en 24 heures une baisse de la teneur en glucides, de 0,03 g/100 g d'akassa. Une diminution de la teneur en glucides de l'akassa témoin est aussi observée, et est de 0,03 g/100 g d'akassa. On conclut alors qu'aucune migration de glucides ne s'est produite entre l'akassa emballé dans *Musa Sapientum* et les feuilles végétales, en 24 heures (Tableau 3). Ceci pourrait confirmer l'hypothèse d'une perméabilité sélective ou unidirectionnelle des feuilles, émise par Hambleton (2010).

En définitive, au cours du contact entre *Thalia geniculata* et l'akassa, il y a peut-être eu une migration de substances à pH basique, des feuilles vers l'akassa. Il est également observé une légère acidification de l'akassa en contact avec *Musa Sapientum* durant 24 heures, de même que dans l'akassa témoin (Tableau 4). Ces deux variations de pH étant égales ( $\Delta\text{pH} = 0,1$ ), on pourrait conclure qu'aucun échange avec l'emballage de *Musa Sapientum* n'a eu lieu, la feuille de *Musa Sapientum* serait donc restée chimiquement inerte durant son contact avec l'akassa.

### Conclusion

Au regard des résultats obtenus, on s'aperçoit que les feuilles de *Musa Sapientum* peuvent être utilisées pour la conception d'emballages alimentaires résistants aux contraintes physiques et chimiquement inertes. Par contre, les feuilles de *Thalia geniculata* ont l'avantage de mieux protéger des rayons ultraviolets, d'où leur importance dans la conception d'emballages photoprotecteurs, utilisables notamment pour des denrées très périssables à la lumière. Par ailleurs, le temps de friabilité court des feuilles de *Thalia geniculata* peut faire d'elles des emballages pratiques, facilement biodégradables. L'analyse des caractéristiques mécaniques des feuilles doivent être poursuivies, notamment la détermination du

module d'Young et les essais de migration spécifique, portant sur les denrées alimentaires riches en matières grasses, en composés volatiles ou en acides aminés.

### REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements à l'UEMOA pour l'appui financier à travers le Projet de Valorisation des feuilles des Espèces Végétales utilisées comme emballages alimentaires en Afrique de l'Ouest (PROVEAO).

### REFERENCES

- Adejumo BA, Ola FA. 2008. The appraisal of local food packaging materials in Nigeria. *Continental Journal of Engineering Sciences*, **3**:13 - 20
- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). 2012. Plastiques biodégradables. Les fiches techniques de l'ADEME.
- Azokpota P, Hounhouigan DJ, Nago M C. 2006. Microbiological and chemical changes during the fermentation of African locust bean (*Parkia biglobosa*) to produce *afitin*, *iru* and *sonru*, three traditional condiments produced in Benin, *International Journal of Food Microbiology*, **107**: 304-309
- Boko M, Heideveld A, Elsen A. 1997. Introducing leaf packaging in the Netherlands, a survey. UNB / UvA / UNEP-WG-SPD collaborative project. 26p.
- Bureau GPB, Tissot L. 1987. Conditionnement et qualité : critères de choix. Propriétés. Principes généraux et neutralité alimentaire. *Viandes et Produits Carnés*, **8**(1) : 13-15.
- CNE (Conseil National de l'Emballage). 2009. Emballages compostables & matériaux plastiques dits « biodégradables » issus de ressources renouvelables, CNE, 29 p.
- Gontard N, Guilbert, S. 1994. Bio-packaging technology and properties of edible and/or biodegradable material of

- agricultural origin. In *Food Packaging and Preservation*, Mathlouti M (ed). Blackie Professional; 159-181.
- Hambleton A. 2010. Etude des transferts des petites molécules au travers des films comestibles encapsulant des substances actives (arôme). Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Bourgogne en Science des Aliments, 121 p.
- Hart H, Conia J-M. 2000. *Introduction à la Chimie Organique*. Dunod: Paris; 567.
- Higushi T, Aguiar, A. 1959. Water vapor permeability of hydrophobic films. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **48**: 578-583.
- Hounhouigan DJ, 1994. Fermentation of maize (*Zea mays* L.) meal for mawè production in Benin: Physical, Chemical and microbiological aspects. PhD Thesis, Wageningen, the Netherlands, 99p.
- Hounhouigan DJ, Nago MC, Monhouanou J. 1998. *La Transformation Alimentaire Traditionnelle des Céréales au Bénin*, Edition Les Publication du CERNA : Bénin; 120p.
- Hounhouigan DJ. 2000. *Matières végétales au Bénin : Un potentiel d'emballages biodégradables*. In Bulletin du réseau TPA. Dossier : Les emballages Alimentaires, **17**(2): 39-41.
- Jeantet R, Croguennec T, Schuck P, Brule G. 2007. *Science des Aliments, 2 : Biochimie, Microbiologie, Procédés, Produits*. Editions TEC&DOC; 2-449.
- Jenkins WA, Harrington JP. 1991. *Packaging Foods with Plastics*. Technomic Publishing Co.: Lancaster, United Kingdom 326p.
- Leygue JP. 1992. Les utilisations non alimentaires des céréales : quatre débouchés porteurs. *Perspectives Agricoles*, **167** : 40-50 ;
- Lezervant J. 2007. Activation des phénomènes de migration dans les emballages : application à la sécurité alimentaire des aliments emballés. Thèse doctorat pour obtenir le grade de Docteur de l'université de Reims Champagne-Ardenne, France, 278 p.
- Marquié C. 1994. Mise au point et étude de films biodégradables réalisés avec des farines de graines de cotonniers. Thèse de Doctorat ; Université de Montpellier II. Sciences et Techniques de Languedoc., Edition la Goutte d'Encre, 34000 Montpellier, France, 193 p.
- Nacoulma OG. 1996. Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Burkina Faso : Cas du plateau central ; TOME II. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles ; 259p.
- Nago CM. 1997. La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin : Détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage, Relations avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Doctorat d'Etat, 201p.
- Nout MJR, Rombouts FM, Havelaar A. 1989. Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant food ingredients on some pathogenic microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, **8**: 351-361.
- Onzo CF. 2011. Evaluation des éléments nutritifs, phytochimiques et toxiques des espèces végétales utilisées comme emballages alimentaires au Bénin. Mémoire pour l'obtention du Master recherche en Microbiologie et Technologies alimentaires, FAST / UAC, 63 p.
- Onzo CF, Azokpota P, Akissoe N, Agbani P. 2013. Biodiversité des feuilles végétales utilisées comme emballages dans l'artisanat agroalimentaire au Sud du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **72**: 21.
- Palling, SJ. 1980. *Developments in foods Packaging*. Applied Sciences Publishers, Barking: Royaume-Uni; 190.
- Pixa R. 1988. L'utilisation de matières plastiques pour l'assemblage des produits alimentaires. *Annales des Falsifications*,

- de *l'Expertise Chimique et Toxicologique*, **81**(872): 447-450.
- Pothen JP. 2003. Emballage et conditionnement - Marketing - Techniques - Mise en œuvre - Qualité - Réglementation. Collection Les Référentiels Dunod : Paris ; 420p.
- Rabetafika H, Paquot M, Dubois P. 2006. Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique. *Biotechnologie Agronomie. Sociologie. Environnement*, [http://babordplus.univ-bordeaux.fr/notice.php?q=issn:\(1370-6233\)&fq=typedoc:\(s\)](http://babordplus.univ-bordeaux.fr/notice.php?q=issn:(1370-6233)&fq=typedoc:(s))
- Reyne M. 1991. *Les Plastiques dans l'Emballage: Polymères, Technologie de Mise en Forme, Recyclage*. Edition Hermès Science Publications : Oxford ; 92p.
- Rocher E. 1997. *De Bons Emballages pour de Bons Produits*. Editions d'Organisation ; 55p.
- Wagner T. 2004. Le lio, un produit de terroir. Analyse des systèmes de production du lio à Abomey et Bohicon, Johannes Gutenberg Universitat, 51p.