

Conception et caractérisation mécanique de matériaux composites : Cas des cabosses de cacao et d'acide polylactique

TCHAMEN NGOULE Mureille Audrey^{1,2}, NGUEDJIO Loïc Chrislin^{1,2},
MTOPI FOTSO Blaise¹, DELATTRE Cédric², AUDONNET Fabrice²,
BUISSIERE Pierre-Olivier², SAUVAT Nicolas², MOUTOU PITTI Rostand^{2,3}

¹Unité de recherche d'ingénierie des systèmes industrielle et de l'environnement (UR-ISIE),
Département de Physiques, Faculté des Sciences, BP 67, Dschang, Cameroun

²Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000,
Clermont-Ferrand, France

³CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
audreytchamen2019@gmail.com

Mots clefs : Co-produits ; composites ; biosourcés.

Contexte et objectifs

L'industrie agroalimentaire produit d'importantes quantités de déchets organiques, notamment les coques de cacao, qui posent des problèmes environnementaux lorsqu'elles ne sont pas valorisées. Parallèlement, la dépendance aux plastiques fossiles soulève des enjeux de durabilité, notamment dans le secteur du bâtiment. Cette étude propose de développer des composites biosourcés associant de l'acide polylactique (PLA) et des poudres de coques de cacao (PCC) pour concevoir des matériaux performants et écologiques. Différentes formulations sont préparées, puis caractérisées mécaniquement par des essais de traction et de flexion. La fabrication de films compressés permet également d'évaluer le potentiel industriel de ces matériaux.

Matériaux et méthodes

Pour cette étude, les coques de cacao ont été collectées dans la localité de Mbanga au Cameroun, séchées à 100°C, puis broyées et tamisées pour obtenir une granulométrie fine inférieure à 200 microns, facilitant une dispersion homogène dans la matrice de PLA de type 4043D Ingeo Natureworks . Plusieurs formulations de composites ont été préparées en variant la proportion massique de poudre de coques de cacao entre 10 % et 30 %.

Eprouvettes de flexion

Pour les essais de flexion, environ 6 grammes de composite ont été utilisés dans un moule en aluminium de 9mm de largeur, 5mm de hauteur et 10cm de longueur, avec une compaction assurée par un poids de 4 kg appliqué durant le refroidissement, garantissant ainsi l'élimination des vides et une bonne homogénéité (Fig. 1).

Fabrication des films

Les films ont été fabriqués par compression thermique sous presse à 180 °C et 200 bars, avec des masses de dépôt de 0,5 et 1 gramme, afin d'étudier l'effet de la masse sur l'épaisseur et la qualité du film obtenu (Fig. 2). Les dimensions et épaisseurs des films ont été mesurées avec précision à l'aide d'une machine dimensionnelle, assurant la conformité des échantillons aux exigences des essais et nous avons obtenus des films d'épaisseur variant entre 135 et 150 microns.



Fig. 1 : Fabrication des éprouvettes de flexion : (a) matériaux PLA 4043D et cabosses de cacao ;
 (b) composite PLA+PCC après démoulage

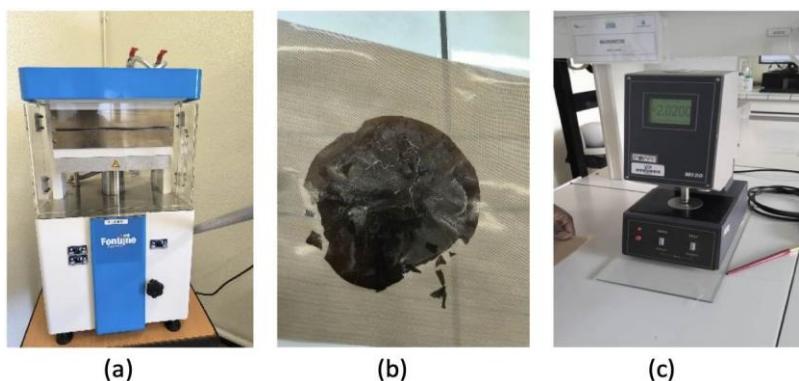


Fig. 2 : Fabrication des films : (a) presse ; (b) film obtenu; (c) machine de mesure de diamètre

Essais mécaniques

Les propriétés mécaniques des composites ont été évaluées par des essais de flexion trois points réalisés selon la norme EN ISO 14125, sur une machine universelle de 20 KN. Les dimensions des éprouvettes ont été minutieusement mesurées avant test, puis soumises à une charge appliquée au centre d'une portée de 64 mm à une vitesse contrôlée de 1,7 mm/min. Par ailleurs, les films ont été découpés à l'aide d'une presse (Fig. 3a) et testés sur une machine universelle équipée d'un capteur sensible aux faibles forces (Fig. 3c). Cinq répétitions ont été effectuées pour chaque formulation afin d'assurer la fiabilité des résultats.

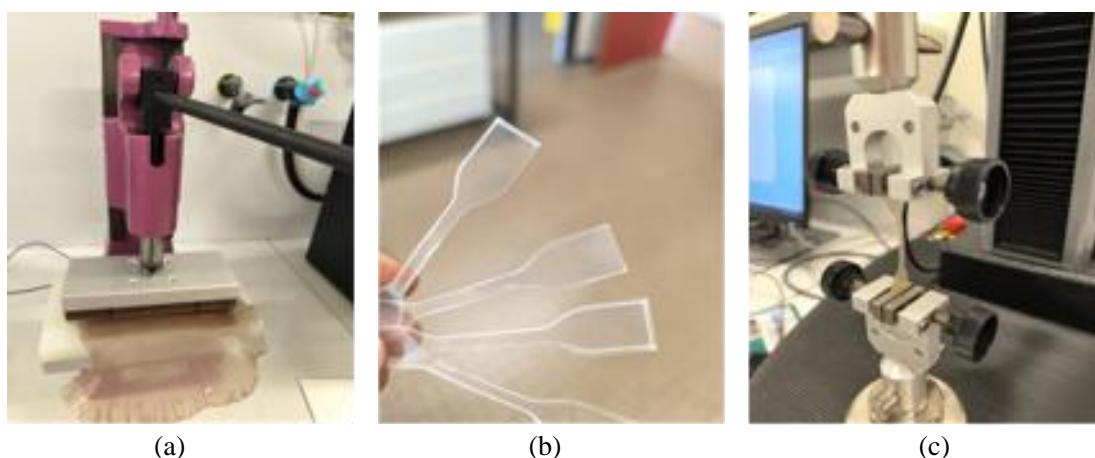


Fig. 3 : Procédé de préparation et d'essai de traction des films : (a) Découpage des éprouvettes sur une machine HK800 ; (b) Eprouvettes de traction du PLA pur ; (c) Machine d'essai en traction compression-LS1-AMETEK

Résultats et discussion

Essais de flexion

Les résultats de l'essai de flexion sont représentés sur la Fig. 4. Les essais révèlent que la contrainte maximale diminue avec l'augmentation du taux de coques de cacao, passant de 61,06 MPa pour le PLA pur à 42,58 MPa pour la formulation contenant 30 % de charge. En revanche, le module d'élasticité en flexion augmente, atteignant 3005 MPa à 20 % de charge contre 1603 MPa pour le PLA seul, indiquant une rigidification du matériau. La déformation maximale diminue également, traduisant une perte de ductilité.

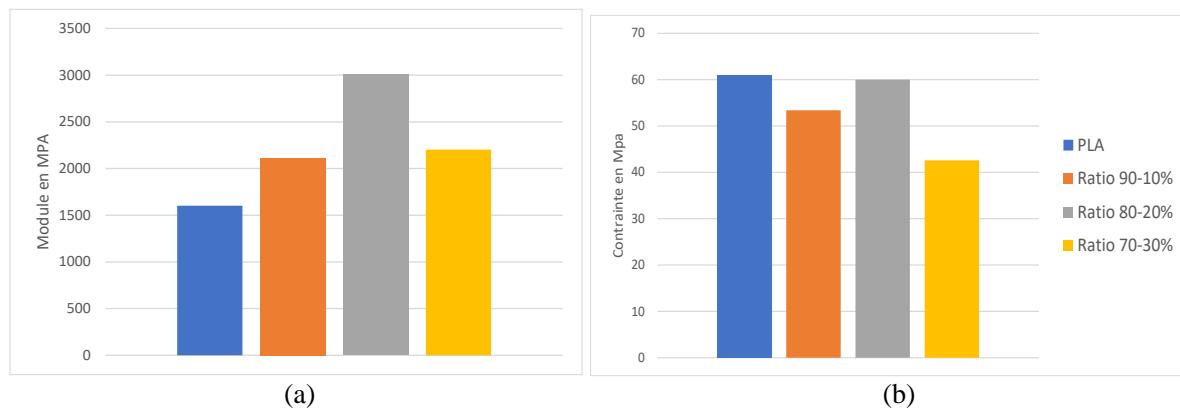


Fig. 4 : Résultats de tests de flexion : (a) Module d'élasticité en flexion ;
(b) Contrainte maximale de rupture en flexion.

Essai de traction des films

Les résultats (Tab. 1) montrent une nette dégradation des propriétés mécaniques après incorporation de coques de cacao (PCC) dans le PLA. La contrainte maximale chute de 22,99 MPa pour le PLA pur à seulement 2,5 MPa pour le composite PLA+PCC. De même, le module d'élasticité diminue fortement, passant de 66,98 MPa à 2,74 MPa, ce qui indique une perte significative de rigidité. En revanche, l'allongement à la rupture augmente légèrement, de 5,88 % à 6,14 %, suggérant une très faible amélioration de la capacité de déformation du matériau. Ces résultats confirment que l'ajout de PCC, dans ce cas précis, affaiblit fortement le film en traction, probablement en raison d'une mauvaise cohésion entre la matrice PLA et les particules végétales.

Tab. 1 : Résultats des tests de traction sur les films

	Force (N)	Contrainte (MPa)	Déformation (%)
PLA Pur	22,99	66,98	5,88
PLA commercial	9,00	29,30	3,32
PLA+PCC	2,50	2,74	3,00

Conclusion

Cette étude a démontré le potentiel des coques de cacao comme charge biosourcée dans des composites à base de PLA. L'incorporation de PCC augmente significativement la rigidité du matériau tout en diminuant sa résistance mécanique, notamment en traction. La formulation avec 20 % de PCC apparaît comme un compromis intéressant entre rigidité et résistance. Cependant, la faible adhésion entre la matrice et les particules limite les performances mécaniques. Pour la suite, il serait pertinent de réaliser d'autres essais mécaniques afin d'approfondir la compréhension du comportement global du composite. L'exploration de son

potentiel pour l'impression 3D ouvrira des perspectives intéressantes pour des applications sur mesure.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Polytech Clermont pour le soutien financier apporté à ce travail via les bourses d'excellence de la Direction de Polytech.

Références

Agustin, MB, Ahmmad B, Alonzo SMM, Patriana FM (2014) Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw. *J. Reinf. Plast. Compos.* 33, 2205– 2213. <https://doi.org/10.1177/0731684414558325>

D'amico DA, Montes MI, Manfredi LB, Cyrus VP (2016) Fully bio-based and biodegradable polylactic acid/poly (3-hydroxybutyrate) blends: Use of a common plasticizer as performance improvement strategy. *Polymer Testing*, 49, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.11.004>

Fornari A, Rossi M, Rocco D, Mattiello L (2022) A review of applications of nanocellulose to preserve and protect cultural heritage wood, paintings, and historical papers. *Applied Sciences*, 12(24), 12846. <https://doi.org/10.3390/app122412846>

Hamed SAM, Hassan ML (2019) A new mixture of hydroxypropyl cellulose and nanocellulose for wood consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, 35, 140-144. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.07.001>