

# Propriétés mécaniques du bio-composite produit à partir de la coque de noix d'argan

Fekkar Soukaina, Babty Fouad, Mordane Soumia, Derouiche Abdelali, Saadani Rachid

Faculté des Sciences Ben M'Sik, Laboratoire de Physique des Polymères Science Mécaniques et Matériaux

## Résumé

L'arganier (*Argania spinosa*) est un arbre qui pousse principalement au Maroc. Cette espèce forestière, appelé aussi arbre de fer, couvre environ 830,000 ha du territoire marocain. Les vertus de cette huile d'argan sont de multiples : usages pour la cuisine, les médicaments ou la cosmétique.

Dans ce travail, nous nous intéressons à la valorisation de l'arganier, et particulièrement à sa coque qui reste mal exploitée et qui est vendue par les locaux à prix bas pour utilisation comme combustible des bains maures et des boulangeries.

Nous proposons d'utiliser cette coque pour réaliser un bio-composite. Pour cela, la coque est broyée, tamisée et séparée en cinq différents diamètres  $D$ . Ensuite, nous préparons trois gammes, dans lesquelles chacune est composée par les proportions (20%, 60%, 20%) de diamètre  $D$  croissant des particules.

Chaque gamme de particules est utilisée comme renfort dans une matrice de l'urée-formaldéhyde et l'eau comme solvant non polluant.

Nous avons effectué des mesures expérimentales de traction par Zwick-Roell sur les trois gammes du biomatériau. Nous déterminons le module de Young et la contrainte à la rupture des trois gammes du biomatériau. Nos résultats montrent que le module de Young de la première gamme 1 reste supérieur à celui des deux autres gammes et possède aussi une grande contrainte à la rupture.

## Mots clés

Coque de noix d'argan, gammes, Urée-formaldéhyde, module d'Young, traction.

## 1. Introduction

La journée du 10 mai a été proclamée journée internationale de l'arganier par l'Assemblée Générale des Nations-Unies en février 2021 à l'initiative du Royaume du Maroc, et parrainée par 114 Etats membres. Auparavant, la vaste arganeraie de la région de Souss-Massa bénéficie depuis 1988 du statut de Réserve de biosphère de l'arganier dans le but de la protéger.

Actuellement, face aux problématiques énergétiques et environnementales, un objectif ambitieux des chercheurs du monde entier [1–4] est la fabrication de nouveaux matériaux performants à partir de ressources naturelles renouvelables.

Au Maroc, une ressource renouvelable largement inexploitée est l'arganier, *Argania spinosa* (L.) Skeels, également connu sous le nom de l'arbre de fer, arbre vivace, endémique et emblématique qui pousse au centre et au sud-ouest du Maroc avec une superficie de plus de 830.000 ha de domaine forestier et environ 20 millions d'arbres

Le principal produit de l'arganier est l'huile d'argan, qui est extraite du fruit d'argan. L'huile d'argan est connue par ces vertus cosmétiques et thérapeutiques. La production mondiale de l'huile d'argan est 100% marocaine. L'un des coproduits de la fabrication de l'huile d'argan est la coque. Cette coque qui représente 80 % du poids du fruit de l'arganier, reste une ressource naturelle inexploitée. Dans le cadre d'une recherche d'usages technologiquement innovants de produits de l'arganier, nous nous intéressons à la valorisation de la coque de noix d'argan, en abrégé ici comme (CNA) [5].

Les résines urée formaldéhyde (UF), que nous allons utiliser dans ce travail, sont des adhésifs largement employés dans différents domaines notamment appliqués en contreplaqué, panneaux de particules, densité moyenne panneaux de fibres optiques, panneaux à brins orientés et autres panneaux artificiels planches [6-9] en raison de leur faible coût, la température de séchage modérée et solubilité dans l'eau (solvant non polluant)

Plusieurs travaux sur les propriétés physico-chimiques de la coque de noix d'argan ont été élaborés dans le but de valoriser et préserver la biodiversité de l'arganier.

Dans des travaux antérieurs [10], Essabir et al. ont étudié les propriétés thermiques et mécaniques des composites de polypropylène renforcé avec des particules (CNA). Ils ont utilisé trois gammes de tailles de particules en présence d'une matrice en polypropylène, greffé avec un copolymère séquencé linéaire à base de styrène et d'agent de couplage butadiène, pour améliorer l'adhérence entre les particules et la matrice. Leur évaluation des propriétés thermiques montre que les composites particuliers à base de polypropylène (CNA) sont moins stables thermiquement que la matrice polypropylène seule, et que la température de décomposition diminue avec l'augmentation de la taille des particules.

Dans un autre travail [11] sur l'utilisation des particules de la CNA en agriculture. Les coquilles sont brûlées et appliquées sur les champs où la combinaison de l'irrigation et des taux élevés d'évaporation a épuisé les ressources en eau et dégradé la qualité des sols. En tant que biomasse pyrolysée, le biochar améliore la rétention d'eau et la densité des éléments nutritifs dans les sols.

Récemment, Babty et al [12] ont mené une étude de caractérisation de gonflement d'un biomatériau à base de la coque de noix d'argan en présence d'eau. Les trois gammes de biomatériaux obtenus ainsi que deux échantillons de bois rouge et de hêtre ont été immergés dans l'eau pendant 15 jours et ont procédé à la mesure de masse effectuée quotidiennement. Les auteurs ont conclu que le coefficient de gonflement de la grande distribution de biomatériau est plus petit que la petite distribution de biomatériau. Cependant, le bois rouge et le bois de hêtre ont le coefficient le plus élevé.

Une autre étude menée par les mêmes auteurs (babty et al) [13] et sur le même biomatériau pour déterminer la conductivité thermique des trois gammes du biomatériau. L'expérience est réalisée à l'aide d'un conductimètre thermique analyseur ( $\lambda$  -Meter EP500e). Les auteurs ont mesuré la conductivité thermique des noix d'arganier sans colle. Les résultats montrent une plus grande amélioration de la conductivité thermique  $\lambda$  des matériaux renforcés pour les petites particules que pour les grosses particules. Ils ont montré aussi que les composites sont thermiquement stables par rapport à la coque des noix d'arganier sans colle.

Boujibar et al [14] ont élaboré, à partir de la coque de noix d'argan, un supercondensateur de stockage à haute énergie basé sur une électrode de charbon actif nanoporeux. Cette électrode est capable d'avoir un contrôle précis sur la distribution de la taille des pores du charbon actif dérivé d'une ressource naturelle. Deux distributions de tailles de pores nettement différentes ont été obtenues à partir d'une source unique et des mêmes voies de synthèse, uniquement en exploitant les différences de taille des agents activateurs, qui sont respectivement les ions potassium (KOH) et sodium (NaOH). Cette activation contrôlée en taille a permis aux auteurs d'obtenir une distribution de taille de pores appropriée, qui est une combinaison d'un grand nombre de micropores et d'un nombre suffisant de méso-pores. Cela a fourni une surface spécifique très élevée de 2251 m<sup>2</sup>/g avec un volume total de pores de 1,04 cm<sup>3</sup>/g et un excellent transport d'ions dans les électrolytes aqueux et non aqueux

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude expérimentale des propriétés de (CNA) qui sont homogénéisés en fonction des tailles de grain, liés avec une résine adhésive au formaldéhyde et utiliser l'eau comme solvant non toxique.

## **2- Matériels et méthodes**

### **2.1 Elaboration du matériau**

Cette expérience a été menée à partir de la coque de noix d'arganier (CNA). Les amandes d'argan sont triées pour en extraire l'huile par différents procédés (torréfaction, broyage des amandes puis malaxage et pressage). Les coques sont broyées par un broyeur à marteaux ; pour obtenir des grains d'arganier de différentes tailles (d), ensuite, à partir de ces grains, on prépare trois gammes avec différents pourcentages des grains comme c'est illustré dans le tableau 1.

*Tableau 1. Les trois gammes en fonction des diamètres et pourcentages.*

	Tailles des particules (mm)				
	0<d<0.5	0.5<d<1.0	1.0<d<1.7	1.7<d<2.5	2.5<d<3.7
Gamme 1 (G1)	20 %	60 %	20 %	-	-
Gamme 2 (G2)	-	20 %	60 %	20 %	-
Gamme 3 (G3)	-	-	20 %	60 %	20 %

Le pourcentage des différents constituants du biomatériau est le suivant :

- 50 % Poudre de la coque de noix d'argan
- 25 % Urée Formaldéhyde
- 25 % Eau

Nous utilisons un adhésif sous forme de poudre à base d'une résine d'urée et de formaldéhyde pré-catalysée, et l'eau comme solvant non toxique.

Notre matériau bio-composite est constitué d'un renfort (CNA) qui assure la tenue mécanique, et d'une matrice (Urée Formaldéhyde) qui garantit la cohésion de la structure et la transmission des efforts vers le renfort.

Chaque gamme de (CNA) est d'abord homogénéisée avec la colle en poudre, puis en additionnant progressivement le pourcentage de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène. Le moule est de dimension (200x80x4) mm<sup>3</sup> pour l'étude de la traction La préparation se fait à température ambiante et à pression normale.

Les trois gammes sont déposées dans la salle pendant 72h pour le séchage et pour la cohésion parfaite des différentes composantes.

## **2.2 Essai de traction**

Les éprouvettes de traction sont confectionnées à partir d'un moule de dimension (200x80x4) mm<sup>3</sup>. Le découpage des éprouvettes, pour l'étude de la traction, selon les normes [ASTM D638-03] est réalisé par une machine à découpage laser.



Figure 1. Epreuve du biomatériau selon la norme ASTM D638-0 pour les essais de traction.

Les essais mécaniques de traction de notre biomatériau sont réalisés sur la machine de traction universelle "Zwick-Roell" du Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE). Les éprouvettes haltères du biomatériau à base de la coque de noix d'argan (Figure 1) sont confectionnés selon la norme ASTM D638-03. La machine "Zwick-Roell" est pilotée par le logiciel "Test Expert", qui permet d'enregistrer les résultats dans un fichier.

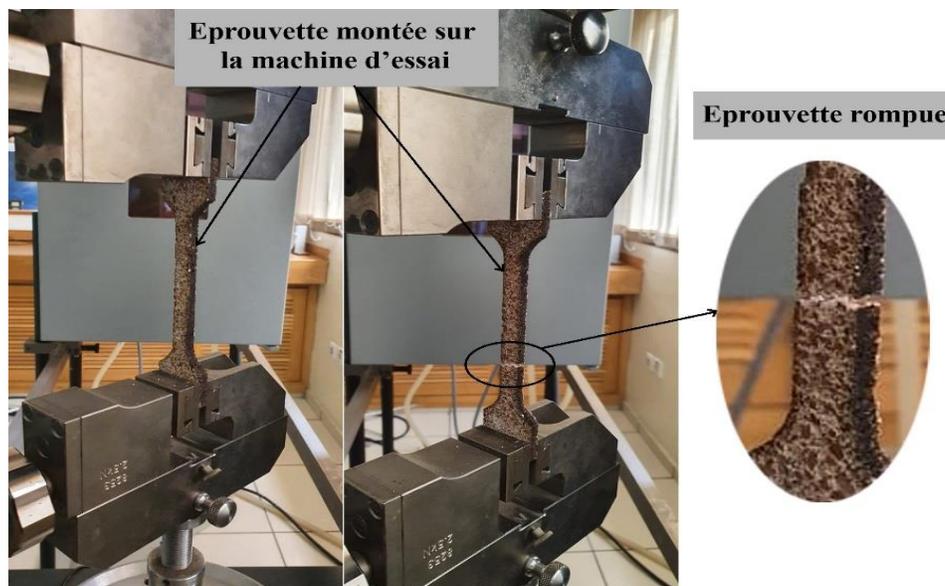


Figure 2. Montage des essais de traction sur des éprouvettes haltères.

L'expérience est effectuée en imposant, soit un effort constant, soit un déplacement constant de la traverse. L'acquisition numérique des données sont enregistrées, en cours d'essai de la contrainte et de la déformation, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

### 3. Résultats

Après des séries d'essais de traction sur les éprouvettes des trois gammes, Les résultats de l'expérience sont relatés dans le paragraphe qui suit.

#### 3.1 Contrainte-déformation de la Gamme 1

La figure 3 illustre l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation du biomatériau de la première gamme.

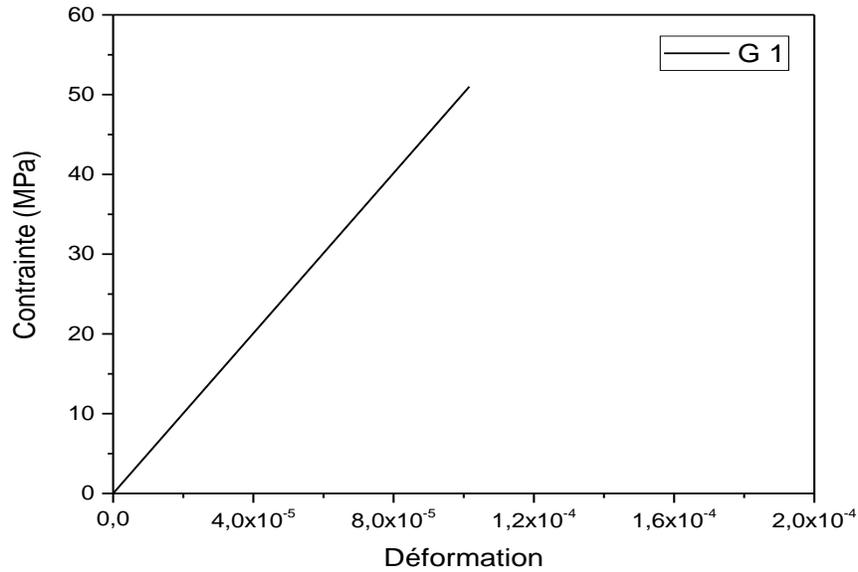


Figure 3. Contrainte-déformation (Gamme 1).

On remarque que la déformation est proportionnelle à la contrainte appliquée selon la loi de Hooke. Cette loi qui n'est rigoureusement vraie que pour les céramiques, le verre, la plupart des minéraux et les métaux les plus durs s'applique aussi bien à notre biomatériau.

### 3.2 Contrainte-déformation de la Gamme 2

Concernant la gamme 2, l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation est illustrée dans la figure 4.

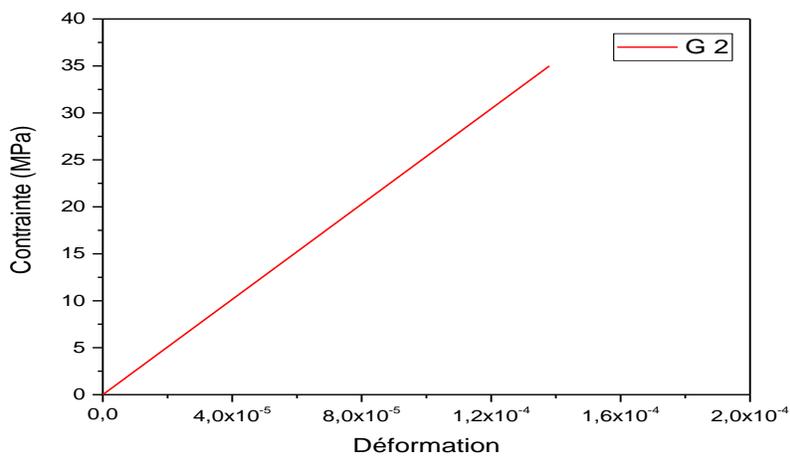


Figure 4. Contrainte-déformation (Gamme 2).

La déformation est proportionnelle à la contrainte appliquée.

### 3.3 Contrainte-déformation de la Gamme 3

La figure 5 illustre l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation.

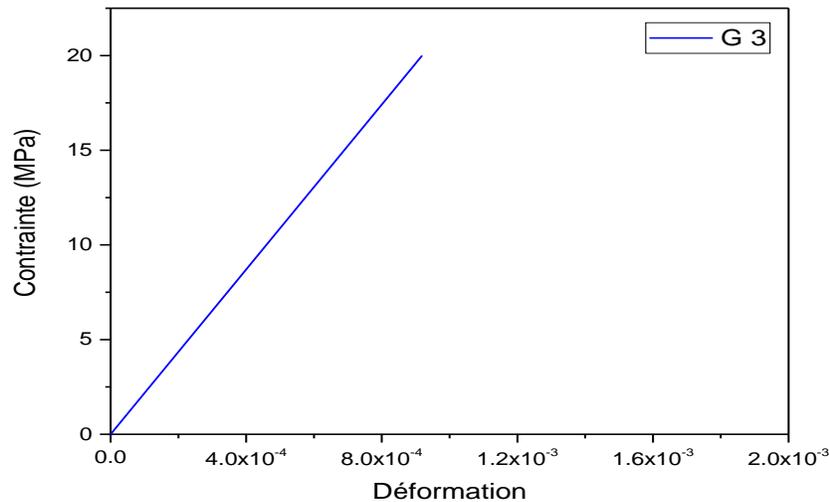


Figure 5 Contrainte-déformation (Gamme 3).

On a aussi pour la gamme 3 le même comportement de linéarité contrainte-déformation du biomatériau.

#### 4. Discussion

Nos résultats montrent que la contrainte à la rupture de la troisième gamme est nettement inférieure à celles de la deuxième et de la première gamme. On a constaté aussi que la pente de la gamme 3 est plus petite que celle de la gamme 2 et de la première gamme.

Dans le tableau 2, nous avons rassemblé les valeurs du module de Young, de la déformation et de la contrainte à la rupture des trois gammes.

Tableau 2. Propriétés Mécaniques des trois gammes.

	Module de Young E (GPa)	Déformation $\epsilon_r$	Contrainte $\sigma_r$ (MPa)
Gamme 1	50	$1,016 \times 10^{-4}$	51
Gamme 2	25	$1,38 \times 10^{-4}$	35
Gamme 3	21	$9,19 \times 10^{-4}$	20

On conclut que la première gamme présente un module de Young et une contrainte à la rupture supérieure à ceux des gammes 2 et 3, alors que la déformation de la première gamme est très faible devant celles des gammes deux et trois. Ceci est dû en fait à la compacité des gammes du biomatériau.

#### 5. Conclusion

Dans ce travail, nous avons effectué des expériences sur un nouveau biomatériau à base de la coque de noix d'argan pour déterminer ces propriétés mécaniques.

Les éprouvettes sont préparées et découpés selon les normes [ASTM D638-03] pour l'étude de la traction. Nous avons réalisé des mesures expérimentales de traction par Zwick-Roell sur les trois gammes du biomatériau. L'application de contrainte-déformation du biomatériau, nous a permis de

calculer le module de Young et la contrainte à la rupture des trois gammes de notre biomatériau. Il se trouve que le module de Young de la première gamme est supérieur aux autres gammes mais la déformation  $\epsilon_r$  de la première gamme reste très faible devant celles des gammes deux et trois. Ceci est dû essentiellement à la compacité des gammes du biomatériau et à la présence de la colle dans notre biomatériau.

## 6. REFERENCES

- [1] Z. Charrouf and D. Guillaume, 2007. Phenols and Polyphenols from *Argania spinosa*. *American Journal of Food Technology*, 2: 679-683.
- [2] Ruas MP, Ros J, Terral JF, Ivorra S, Andrianarinosy H, Ettahiri AS, Fili A, Van Staëvel JP. History and archaeology of the emblematic argan tree in the medieval Anti-Atlas Mountains (Morocco). *Quaternary international*. 2016 Jun 6 ; 404 :114-36
- [3] Laurence, Mademoiselle COIFFARD. "DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE PAR Mademoiselle Nada RADI." (2003).
- [4] Lalla Fatima Zohra Ainhout, Moulay Cherif Harrouni. Biochar from argan shells: production and characterization. *Int J Recycl Org Waste Agricult* (2016) 5:361–365.
- [5] M'HIRIT, Omar, BENZYANE, Mohamed, et BENCHEKROUNE, Fouad. *L'Arganier: Une espece fruitiere-forestiere a usages multiples*. Mardaga, 1998.
- [6] Hematabadi H, Behrooz R, Shakibi A, Arabi M. The reduction of indoor air formaldehyde from wood based composites using urea treatment for building materials. *Construction and Building Materials*. 2012 Mar 1;28(1):743-6.
- [7] Chen S, Lu X, Wang T, Zhang Z. Preparation and characterization of urea-formaldehyde resin/reactive kaolinite composites. *Particuology*. 2016 Feb 1; 24:203-9.
- [8] Liu Y, Ye L, Shu Y, Zhao X. In situ preparation of intrinsic flame retardant urea formaldehyde/aramid fiber composite foam: Structure, property and reinforcing mechanism. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018 Dec 1; 115:274-82.
- [9] Neuser S, Manfredi E, Michaud V. Characterization of solvent-filled polyurethane/urea-formaldehyde core-shell composites. *Materials Chemistry and Physics*. 2014 Feb 14;143(3):1018-25.
- [10] Essabir H, Hilali E, Elgharad A, El Minor H, Imad A, Elamraoui A, Al Gaoudi O. Mechanical and thermal properties of bio-composites based on polypropylene reinforced with Nut-shells of Argan particles. *Materials & Design*. 2013 Aug 1; 49:442-8.
- [11] Bouqbis L, Daoud S, Koyro HW, Kammann CI, Ainhout LF, Harrouni MC. Biochar from argan shells: production and characterization. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2016 Dec 1;5(4):361-5.
- [12] Babty, F., Hachim, A., Mordane, S., Bettachy, A., El Assyry, A., & Derouiche, A. (2021). Study of the Swelling of a Composite Based on Argan Nut, Urea-Formaldehyde and Water as a Non-Polluting Solvent.
- [13] Babty, F., Derouiche, A., Bettachy, A., Mordane, S., Fassi, S. E., Elbouari, A., & Sair, S. (2019, June). Biomaterial from argan shells: Size effect on thermal conductivity. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2109, No. 1, p. 070002). AIP Publishing.
- [14] Boujibar, O., Ghosh, A., Achak, O., Chafik, T., & Ghamouss, F. (2019). A high energy storage supercapacitor based on nanoporous activated carbon electrode made from Argan shells with excellent ion transport in aqueous and non-aqueous electrolytes. *Journal of Energy Storage*, 26, 100958.