



Matériaux Biosourcés pour l'Emballage Alimentaire: Une Réponse Circulaire et Durable aux Enjeux du Nexus WEFE (Projet APRD 2022-2026)

PRE. ARRAKHIZ FATIMA EZZAHRA

ATELIER DE CLÔTURE DU PROJET BONEX « BOOSTING WATER-FOOD ENERGY
NEXUS FRAMEWORK IMPLEMENTATION IN THE MEDITERRANEAN »

LE 03 JUILLET 2025 À AGADIR-ZEPHYR



- L'emballage alimentaire est un secteur en pleine mutation.
- Besoin de solutions plus durables : biosourcées, recyclables, compostables.
- La cellulose apparaît comme une alternative intéressante aux plastiques classiques.



Projet multithématique (APRD) 2022-2026

Ce projet R&D multithématique marque un tournant stratégique pour le Maroc en plaçant la recherche scientifique et l'innovation au cœur de son développement durable. Lancé officiellement le 5 avril 2022, ce programme résulte d'un partenariat ambitieux entre le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MESRSI), la Fondation OCP ainsi que le CNRST et l'UM6P.

Lors du lancement du projet 778 pré-projets de recherche ont été soumis et seulement 67 ont été accepté pour financement dont le projet:

**MATÉRIAUX COMPOSITES INNOVANT À STRUCTURES
MULTIECHELLES ET À BASE DE RENFORTS BIOSOURCÉS
RELATION-STRUCTURE/PROCEED/PROPRIÉTÉS.**



Les collaborateurs:

- Membres nationaux
- Membres internationaux
- Doctorants
- Stagiaires
- Industriels





Rappel synthétique du contenu du projet et ses objectifs

Volet I:

Films multicouches multi échelles

Volet II:

Isolation thermique



CONTEXTE ET OBJECTIF

- La valorisation et l'exploitation des résidus issue de la biomasse ainsi que la substitution des fibres synthétique.
- Développer des biocomposites sous forme de films innovants à structures multi échelles.
- Mise en œuvre des éco matériaux avec de bonne propriétés mécaniques, thermiques, rhéologiques ainsi que des propriétés barrières améliorés.



PROBLÉMATIQUE

L'utilisation des charges naturelles comme renforts dans les matrices polymérique représentent trois grandes défis :

1. Incompatibilité interfaciale
2. Dispersion et distribution de ces charges
3. La décomposition thermique des bio charges durant le processus de mise en œuvre

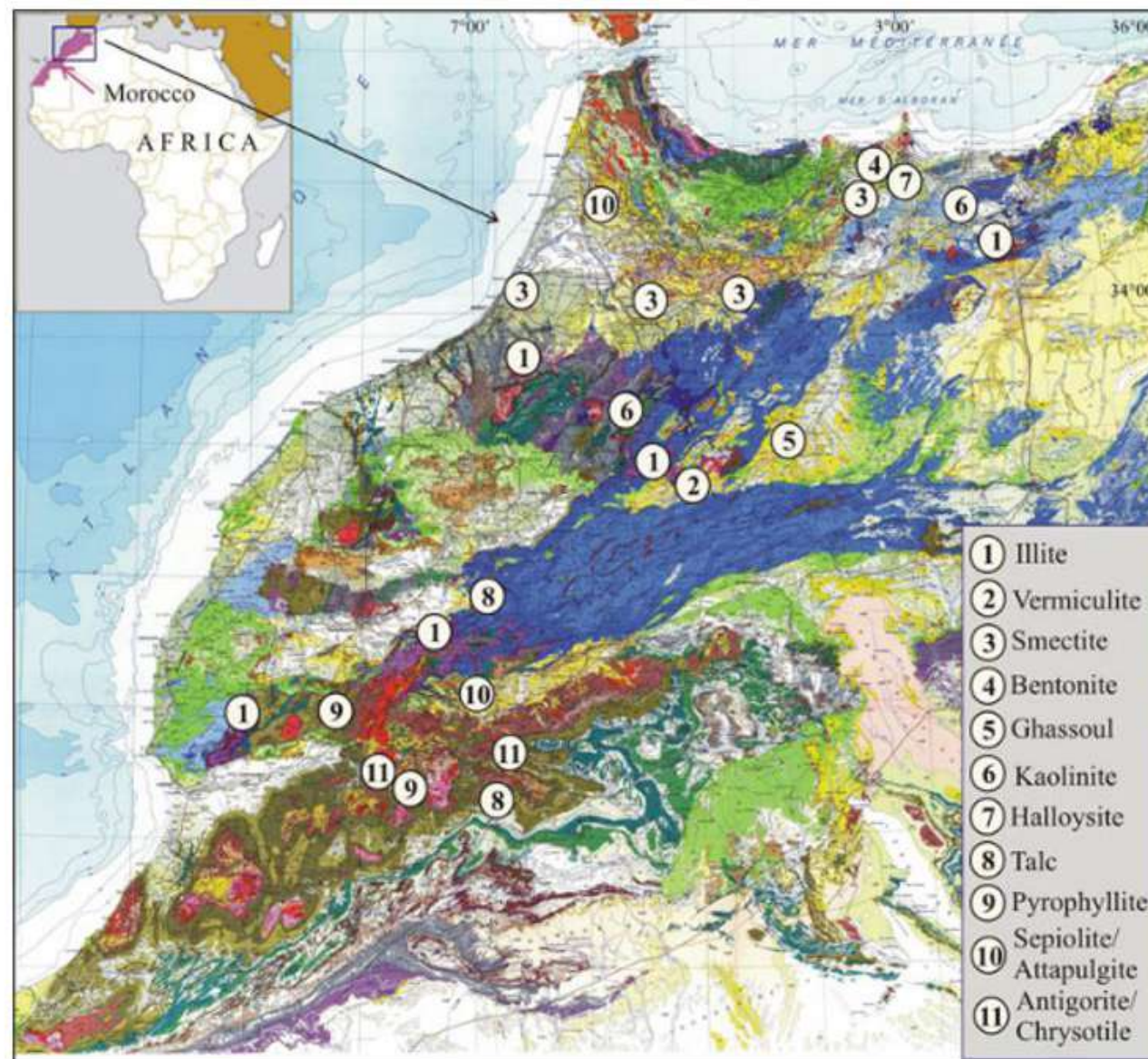
Recensement de Quelques Fibres Naturelles et de Quelques Argiles Marocaines.

Fibres naturelle	Propriétés chimiques						Propriétés physiques					Propriétés mécaniques				Références
	Cellulose (%)	Hémicelluloses (%)	Lignine (%)	Wax (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Cr (%)	CrI	Cs (nm)	Diameter (µm)	Density (g/cm3)	Tensile Strength (MPa)	Strain At Failure (%)	Young's Modulus (GPa)	Micro-Fibrillar Angle (°)	
Bambou (Phyllostachys bambusoides)	60.8	--	32.2	--	--	10.3	--	--	--	500 ± 150	0.6—1.1	140-800	1.3	11-30	2--10	[1-3]
Fibre de Palmier (Areca Catechu L.)	57.35 - 58.21	18	23.17 - 24.16	0.12	5.08	7.32	-	55.5	7.9	100--1000	0.9 – 1.2	322.829 ± 67	10.23 ± 2.75	7.15 ± 2	7.15 ± 0.7	[4-8]
Plante d'Aloès vera	64.9	4.1- 14.2	25.1	1.5	3.4	0.42	-	52.6	5.6	91.15	1.32	621.8	2.47	40.03	11.1	[4], [9], [10]
fibre extraite d'Albizia amara	65.54	14.32	15.61	0.56	4.1	8.21-12.02	-	63.78	15	--	0.54-1.385	640 ± 13.4	1.57 ± 0.04	-	9.46 - 12.18	[4], [11-13]
Snake grass Plant (Sansevieria ehrenbergii)	80	11.25	7.8	0.45	0.6	10.55	-	52.27	-	20 - 250	0.887	50-585	5.25 ± 2.42	6.37 ± 2.15	19	[4], [14,15]

Fibres naturelle	Propriétés chimiques						Propriétés physiques					Propriétés mécaniques				Références
	Cellulose (%)	Hémicelluloses (%)	Lignine (%)	Wax (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Cr (%)	CrI	Cs (nm)	Diameter (µm)	Density (g/cm3)	Tensile Strength (MPa)	Strain At Failure (%)	Young's Modulus (GPa)	Micro-Fibrillar Angle (°)	
Pine cône (Pinus pinea L)	63	27.2 ± 0.1	37.4	--	0.4 ± 0.1	--	--	29.01	--	486± 26	1.45	--	--	--	--	[16-19]
Doum (Chamaerops humilis)	42.3	21.85	18	--	--	17.61 ± 3.84	--	--	--	128-198	1.15	127.93 ± 77.70	5.88 ± 1.16	6.29 - 7.71	90	[20-24]
Bois	68.5	--	28.1	--	--	60	--	--	--	150-500	0.36-0.68	--	--	30	--	[25-29]
Roseau (Reeds) <u>Arundo donax</u> L.	21-56.95	21-35.10	15.52-24.12	--	4	--	--	--	--	--	--	--	--	9.49 ± 1.21	--	[30-32]

Fibres naturelle	Propriétés chimiques						Propriétés physiques					Propriétés mécaniques				Références
	Cellulose (%)	Hémicelluloses (%)	Lignine (%)	Wax (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Cr (%)	CrI	Cs (nm)	Diameter (µm)	Density (g/cm3)	Tensile Strength (MPa)	Strain At Failure (%)	Young's Modulus (GPa)	Micro-Fibrillar Angle (°)	
Chanvre (Cannabis)	68-81	10.66-22.4	3.7-13	0.8	--	12	--	--	--	210.4	1.4-1.5	530-920	1.6-4	15-70	6.2	[5], [14], [33-35]
Alfa (Stipatenacissima)	45-48	22-25	18-25	7-12	--	7.7 ± 0.23	45.97	--	--	135	1.2	134-220	--	13-17.8	--	[36-40]
Sisal	65	12	9.9	2	--	13.6	--	--	--	239±80.18	1.45	340.02±70.4	--	12.5-7.8	20	[5], [34],[41-43]
Banane	60-82.1	6-19	5-10	--	1-3	60	--	1.25	--	80-250	0.95-0.75	529-914	1-3	27-32	11	[14], [44-46]

Fibres naturelle	Propriétés chimiques						Propriétés physiques					Propriétés mécaniques				Références
	Cellulose (%)	Hémicelluloses (%)	Lignine (%)	Wax (%)	Ash (%)	Moisture (%)	Cr (%)	CrI	Cs (nm)	Diameter (µm)	Density (g/cm3)	Tensile Strength (MPa)	Strain At Failure (%)	Young's Modulus (GPa)	Micro-Fibrillar Angle (°)	
Bagasse de canne à sucre (BCS)	36.62	28.42	15.51	6.87	1.10	11.23	72.71	62.48	2.46	310±25	0.92	63±22	3.03±1.31	57±22.71	14.03	our work
Traitement NaOH 2% Des fibres (BCS)	—	—	--	--	--	--	--	--	--	--	--	118±69	3.16±1.08	131±38.09	14.33	our work
Traitement NaOH 6 % Des fibres (BCS)	61.62	12.27	8.43	5.53	1.03	10.13	78.20	72.13	2.78	214±34	1.25	120±67	3.27±2.34	73±24.08	14.57	our work
Traitement NaOH 12 % Des fibres (BCS)	69.57	8.14	6.21	4.24	0.94	09.42	78.55	72.70	2.81	185±5	1.29	142±44	3.57±1.56	60±24.69	15.22	our work
Traitement NaOH 18 % Des fibres (BCS)	67.24	9.52	7.59	3.91	0.88	10.08	72.44	61.96	2.59	160±15	1.31	132±89	4.66±1.68	55±16.14	17.35	our work



Province du nord du Maroc indiquant la répartition spatiale des principaux types et gisement d'argile dans cette zone

Groupe d'argile	Type d'argile	Localisation	Description	Références
Illite et groupe des vermiculites	1 : Illite	Au nord du Maroc	Couleur rouge brique, granulométrie fine ou grossière	[47-55]
	2 : Vermiculites	Région occidentale du Rif et dans le Haut Moulouya	Dimension métrique associé à des roches basiques et alcalines	
Groupe des smectites	3 : Smectite (Marls)	Différentes régions du Maroc (Rif et Meseta)	Couleur claire (jaune à gris), riches en carbonates	
	4 : Bentonite	L'Est du Rif (région de Nador)	Présentent différents modes de dépôts (couches, amas, lentilles)	
	5 : Ghassoul	Région de Missour	Mottes de terre brunes, fines et grasses, d'épaisseur de 20-60 cm	

Groupe d'argile	Type d'argile	Localisation	Description	Référence
Groupe Kaolinite	6 : Kaolinite	Région de Oulmès et Beni Snassen	Matériau friable, riche en argile de Kaolin (10 à 20 %) et le quartz	[47-55]
	7 : Halloysite	Région volcanique de Nador-Melilla (Rif nord-Est)	Contient de (10-20 %) du montmorillonite et l'alunite	
Groupes de talc et de pyrophyllite	8 : Talc	Région de Haut Atlas et de l'Anti Atlas	Couches de couleurs blanche et verdâtre, associés à des calcaires	
	9 : Pyrophyllite	Région d'Anti Atlas, Aït Baha, Aït Azegroug, N'Kob, El Grara	Coloration claire, très fine et parois compacte, en couche.	
Groupe des argiles fibreuse	10 : Sépiolite et attapulgite	Région de Souk El Arbaa Gharb, et de Ouarzazate	Série plus épaisse (>100-200 m), présente des minéraux élevés	
	11 : Antigorite et chrysotile	Région d'Anti-Atlas, Bou-Azzer et N'kob	Contient des roches ultrabasiques, coupés par des veines riches en fibres	

Quelques composites polymères à renforts
naturelles à savoir des fibres naturelles marocaines,
et /ou des argiles

Composites Hybrides	Propriétés améliorés	Références
Bambou/NanoClay/HDPE	L'ajout de nanoargiles a significativement amélioré les propriétés mécaniques des hybrides HDPE-argile	[56]
Bois/NanoClay/Polypropylène	L'ajout de nanoargiles améliore à la fois les propriétés mécaniques et physiques. Il réduit également les propriétés d'absorption d'eau par rapport au composite pur.	[57]
Sisal/NanoClay/Epoxy	Les propriétés de traction, les propriétés dynamiques et les propriétés d'usure s'améliorent avec l'incorporation de nanoargiles	[58]
Pine cône/NanoClay/Polypropylène	Amélioration des propriétés mécaniques et thermiques par l'ajout de nanoargiles.	[59]
Bois/NanoClay/Polypropylène	Améliorations de la stabilité thermique et de la résistivité à l'absorption d'eau par l'ajout de nanoargiles	[60]
Roseau(Reed)-MAPP/Nanoclay/Polypropylène	Le module d'élasticité et la résistance à la traction des composites hybrides ont considérablement augmenté. La propriété d'absorption d'eau diminue avec l'ajout de nanoargile.	[61]
Bambou/Nanoclay/Epoxy/Polyster	L'ajout de nanoargiles améliore le module de Young, la stabilité thermique, la résistance à l'absorption d'eau et la résistance à l'usure des composites hybrides	[62]
Bagasse/Nanoclay/PP	Les nanoargiles améliorent les propriétés physiques et mécaniques, réduisent la tendance à l'absorption d'eau par rapport aux composites conventionnels	[63]

- [1] : Chakkour et al, Effects of humidity conditions on the physical, morphological and mechanical properties of bamboo fibers composites, 2023.
- [2] : Dagang liu et al, Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties, 2012.
- [3] : Garat et al, Swelling of natural fibre bundles under hygro- and hydrothermal conditions: Determination of hydric expansion coefficients by automated laser scanning, 2020.
- [4] : Siva et al, Study on a Novel natural cellulosic fiber from Kigelia Africana fruit: Characterization and analysis, 2020.
- [5] : Faris et al, Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry, 2014.
- [6] : Al-Khanbachi et al, Date Palm Fibers as Polymeric Matrix Reinforcement: Fiber Characterization, 2005.
- [7] : Al-Oqla et al, Processing and Properties of Date Palm Fibers and Its Composites, 2014.
- [8] : Abdal-hay et al, Effect of Diameters and Alkali Treatment on the Tensile Properties of Date Palm Fiber Reinforced Epoxy Composites, 2012.
- [9] : Dehouche et al, Effects of various surface treatments on Aloe Vera fibers used as reinforcement in poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBHHx) biocomposites, 2020.
- [10] : Chandramohan et al, Mechanical and thermal properties of jute/ aloevera hybrid natural fiber reinforced composites, 2020.
- [11] : Senthamaraikannan et al, Characterization of natural cellulosic fiber from bark of Albizia amara, 2018.
- [12] : Senthamaraikannan et al, Physicochemical Properties of New Cellulosic Fibers From Bark of Acacia Planifrons, 2015.
- [13] : Manimaran et al, Physicochemical, tensile, and thermal characterization of new natural cellulosic fibers from the stems of Sida cordifolia, 2017.
- [14] : Sathishkumar et al, Characterization of new cellulose sansevieria ehrenbergii fibers for polymer composites, 2014.
- [15] : : Sathishkumar et al, Investigation of chemically treated randomly oriented sansevieria ehrenbergii fiber reinforced isophthallic polyester composites, 2014.
- [16] : Arrakhiz et al, Evaluation of mechanical and thermal properties of Pine cone fibers reinforced compatibilized polypropylene, 2012.
- [17] : Ofomaja et al, Biosorption of copper from aqueous solution by chemically activated pine cone: A kinetic study, 2011.
- [18] : Gokdai et al, Effect of Marble: Pine Cone Waste Ratios on Mechanical Properties of Polyester Matrix Composites, 2017.
- [19] : Messaoudi et al, Contribution of surface treatments by esterification and silanization in reinforcing the composites based on Pine cone and Spartium junceum flours and polypropylene, 2019.
- [20] : Arrakhiz et al, Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene, 2013.
- [21] : Malha et al, Mechanical and Thermal Properties of Compatibilized Polypropylene Reinforced by Woven Doum, 2013.
- [22] : Sghaier et al, Characterization of Doum Palm Fibers After Chemical Treatment, 2009.
- [23] : Fatma et al, The effect of doum palm fibers on the mechanical and thermal properties of gypsum mortar, 2019.
- [24] : Naiiri et al, Performance of lightweight mortar reinforced with doum palm fiber, 2020.
- [25] : Yuan et al, Preparation of an environment-friendly fiberboard with high mechanical strength using delignified wood fiber, 2022.
- [26] : McHenry et al, Composite materials based on wood and nylon fibre, 2003.
- [27] : Cherradi et al, Acoustic properties for composite materials based on alfa and wood fibers, 2021.
- [28] : Bledzki et al, Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites: Effect of Fibre Geometry and Coupling Agent on Physico-Mechanical Properties, 2003.
- [29] : Gwon et al, Effect of chemical treatments of wood fibers on the physical strength of polypropylene based composites, 2010.

- [30] : Najafi et al, The impact of the nature of nanoclay on physical and mechanical properties of polypropylene/reed flour nanocomposites, 2011.
- [31] : Faridul Hassan et al, Rice straw and energy reed fibers reinforced phenol formaldehyde resin polymeric biocomposites, 2021.
- [32] : Bourmaud et al, Investigations on mechanical properties of poly(propylene) and poly(lactic acid) reinforced by miscanthus fibers, 2008.
- [33] : Elkhaoulani et al, Mechanical and thermal properties of polymer composite based on natural fibers: Moroccan hemp fibers/polypropylene, 2013.
- [34] : Gholampour and al, A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications, 2019.
- [35] : Asim Shahzad, Hemp fiber and its composites – a review, 2011.
- [36] : Arrakhiz et al, Mechanical and thermal properties of polypropylene reinforced with Alfa fiber under different chemical treatment, 2012.
- [37] : Arrakhiz et al, Tensile, flexural and torsional properties of chemically treated alfa, coir and bagasse reinforced polypropylene , 2013.
- [38] : Arrakhiz et al, Mechanical properties of high density polyethylene reinforced with chemically modified coir fibers: Impact of chemical treatments, 2012.
- [39] : Mouna Werchefani¹ et al, Effect of chemical and enzymatic treatments of alfa fibers on polylactic acid bio-composites properties, 2020.
- [40] : Benyahia et al, Effect of Chemical Surface Modifications on the Properties of Alfa Fiber-Polyester Composites, 2014.
- [41] : Jawaïd et al, A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications, 2015.
- [42] : Samouh et al, Identification of the Physical and Mechanical Properties of Moroccan Sisal Yarns Used as Reinforcements for Composite Materials, 2021.
- [43] : Kim et al, Mercerization of sisal fibers: Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites, 2010.
- [44] : Bhatnagar et al, A Review on Composition and Properties of Banana Fibers, 2015.
- [45] : Ibrahim et al, Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcements in polymer composites, 2010.
- [46] : Ramesh et al, Processing and Mechanical Property Evaluation of Banana Fiber Reinforced Polymer Composites, 2014.
- [47] : M. Jawaïd, Nanoclay Reinforced Polymer Composites, 2016.
- [48] : J. Reitner, N. V. Quéric, and G. Arp, Lecture Notes in Earth Sciences : Preface, vol. 131. 2011
- [49] : D. E. S. Argiles and D. U. Maroc, Valorisation industrielle et artisanale des argiles du maroc, 2013.
- [50] : C. Sadik et al, Composition and Ceramic Characteristics of Cretaceous Clays from Morocco, 13th Int. Ceram. Congr. - Part F, vol. 92, pp. 209214, 2014.
- [51] : I. El Amrani El Hassani and C. Sadik, Geology and Mineralogy of Clays for Nanocomposites : State of Knowledge and Methodology, Eng. Mater., pp. 85113, 2016.
- [52] : L. U. Claude and B. Lyon, ALTERATION DES GRANITES D OULMES (Maroc Central), 1994.
- [53] : C. Sadik, A. Albizane, and I. E. El Amrani, Production of porous firebrick from mixtures of clay and recycled refractory waste with expanded perlite addition, J. Mater. Environ. Sci., vol. 4, no. 6, pp. 981986, 2013.
- [54] : B. D. U. Gharb and A. El Ouazzani, Evaluation De La Qualité Industrielle Des Argiles Fibreuses De Bled Rmel , vol. 10, no. 20, pp. 217231, 2014.
- [55] : L. Daoudi, Les Argiles Fibreuses Des Formations Phosphatees Du Bassin De Ouarzazate (Maroc) : Caracterisation Et Signification Genetique, no. January, 2016.

- [56] : Han et al, Bamboo–Fiber Filled High Density Polyethylene Composites: Effect of Coupling Treatment and Nanoclay, 2008.
- [57] : Nafchi et al, Effects of nano-clay particles and oxidized polypropylene polymers on improvement of the practical properties of wood-polypropylene composite, 2015.
- [58] : Mohan et al, Water barrier properties of nanoclay filled sisal fibre reinforced epoxy composites, 2011.
- [59] : Arrakhiz et al, Pine cone fiber/clay hybrid composite: mechanical and thermal properties, 2013.
- [60] : Tabari et al, : Effects of nanoclay and coupling agent on the physico-mechanical, morphological, and thermal properties of wood flour/polypropylene composites, 2011.
- [61] : Najafi et al, The impact of the nature of nanoclay on physical and mechanical properties of polypropylene/reed flour nanocomposites, 2011.
- [62] : Kushwaha et al, Reinforcing effect of nanoclay in bamboo-reinforced thermosetting resin composites ,2011.
- [63] : Nourbakhsh et al, Influence of nanoclay and coupling agent on the physical and mechanical properties of polypropylene/bagasse nanocomposite, 2009.



Matériaux Biosourcés pour l'Emballage Alimentaire: Une Réponse Circulaire et Durable aux Enjeux du Nexus WEFE

Choix de la matrice polymère

- ✓ Biodegradable
- ✓ Biosourced
- ✓ High mechanical properties
- ✓ Transparent
- Low cristallisation
- Brittle

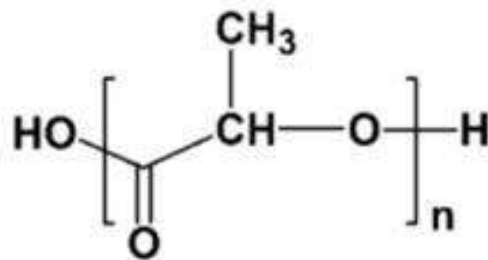
100 %



Application



Food packaging



Chemical structure of PLA

Table : Informations about PLA (2003D)

Polymère	fournisseur	Tg (°C)	Tm (°C)	MFI (g/10 min (190°C/2.16 Kg))	Densité (g/cm³)
PLA (2003D)	Natureworks, USA	60	155	5	1.25



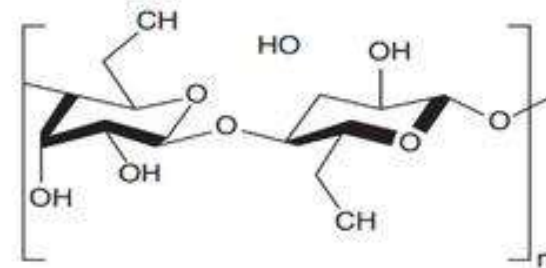
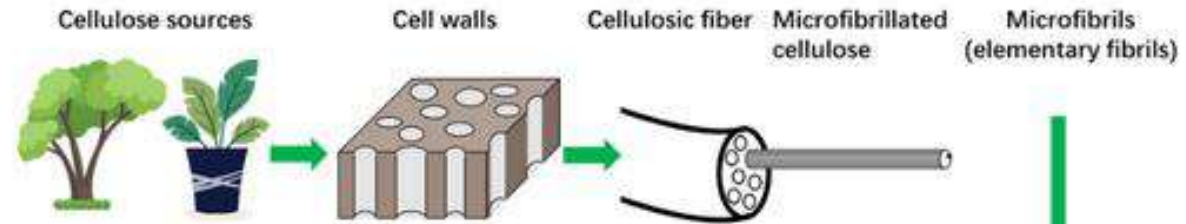
Renforts naturels

la cellulose

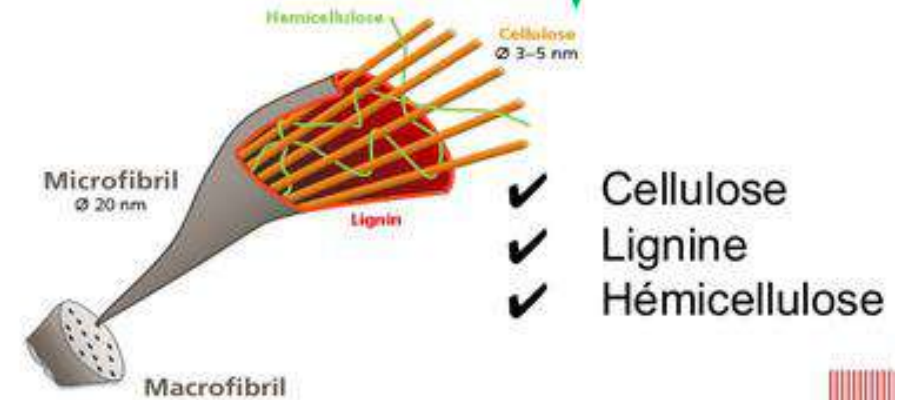
- Polymère naturel extrait des plantes (bois, coton, paille...).
- Abondante, renouvelable, biodégradable.
- Utilisée dans diverses formes : microcristalline, nanocellulose, esters (acétate de cellulose...).

Renforts naturels

- Ecological
- Abundant
- Lightweight
- Renewable
- Low cost
- Adaptability to processing methods
- Rich in cellulose and lignin (lignocellulosic fibers)



Chemical structure of cellulose





Renforts naturels

Critère	CNCs (Cellulose nanocrystals)	CNFs (Cellulose nanofirils)
Structures et dimensions	Particules rigides en forme de bâtonnet ; 5–20 nm (largeur), 20–500 nm (longueur)	Fibrilles longues (jusqu'à 10 µm) ; largeur moyenne $\sim 45.7 \pm 18$ nm
Cristallinité	Cristallinité élevée (54–88%)	Cristallinité plus faible ; teneur plus élevée en amorphe
Méthode de production	Hydrolyse acide sulfurique	Fibrillation mécanique
Compatibilité avec le PLA	Meilleure compatibilité avec le PLA que les CNFs natifs	Compatibilité native faible avec le PLA ; améliorée par l'ajout de PEG
Potentiel de renforcement mécanique	Moins d'effet d'enchevêtrement ; bon renforcement dû à la rigidité	Excellent potentiel grâce à un réseau d'enchevêtrement dense
Interaction avec la matrice polymère	Surface spécifique élevée mais moins de points d'ancrage mécaniques	Leur grande longueur permet un meilleur enchevêtrement physique avec la matrice, ce qui favorise la transmission des contraintes et améliore l'intégrité mécanique du composite. Cet effet est amplifié lorsqu'un agent compatibilisant (comme le PEG) est utilisé. Les CNFs ont également la capacité de former un réseau continu dans la matrice, ce qui peut limiter la propagation des fissures.
Capacité de nucléation	Agents nucléants efficaces, en particulier à basse température	Agents nucléants efficaces, similaire aux CNCs à faibles concentrations



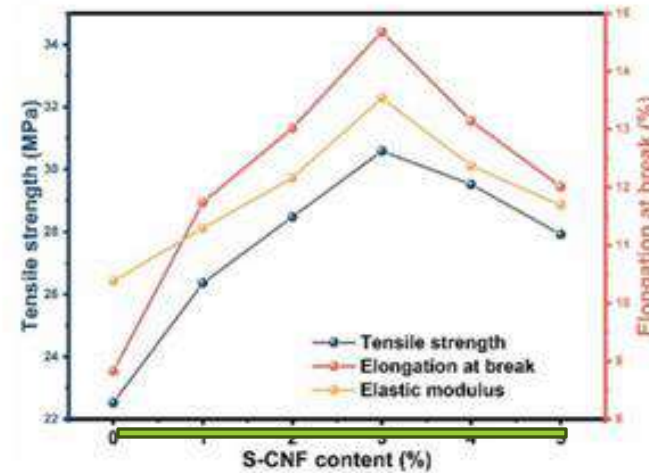
Avantages de l'utilisation de la cellulose

- Diminuer la part de plastique fossile.
- Renforcer mécaniquement certains polymères biosourcés.
- Créer des films barrières transparents.
- Rendre les matériaux compostables ou plus facilement recyclables.

Renforts naturels

Production conditions and mechanical properties achieved in this study and other literature works for producing nanocellulose reinforced PLA films.

Literature	Production conditions			NC type	NC loading (wt%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
	Stirring	Drying	Solution					
Li et al. (2012)	25°C, 3h	60°C, 24h	CH ₂ Cl ₂	CNF	58	32.0–71.1	1.4–5.2	1.8–2.6
Wang et al. (2014)	70°C, 2h	40°C, 24h	DMAc	LCNF	1, 3, 5	18.5–22.5	Not tested	1.7–3.8
Yin et al. (2016)	25°C, 5h	50°C, 24h	CH ₂ Cl ₂	CNF	0.5–2.5	34.5–45.7	Not tested	8.5–10.5
Wang et al. (2018)	70°C, 2h	40°C, 24h	DMAc	CNF/LCNF	3	31.6–48.9	1.5–2.9	2.1–5.8
This study	25°C, 2h	40°C, 24h	CH ₂ Cl ₂	CNF/LCNF	3	27.3–99.3	1.7–10.3	2.2–14.5



Mechanical properties of biocomposites based on CNF [1]

THE INTERACTION MECHANISM BETWEEN PLA AND LCNF IN COMPOSITES

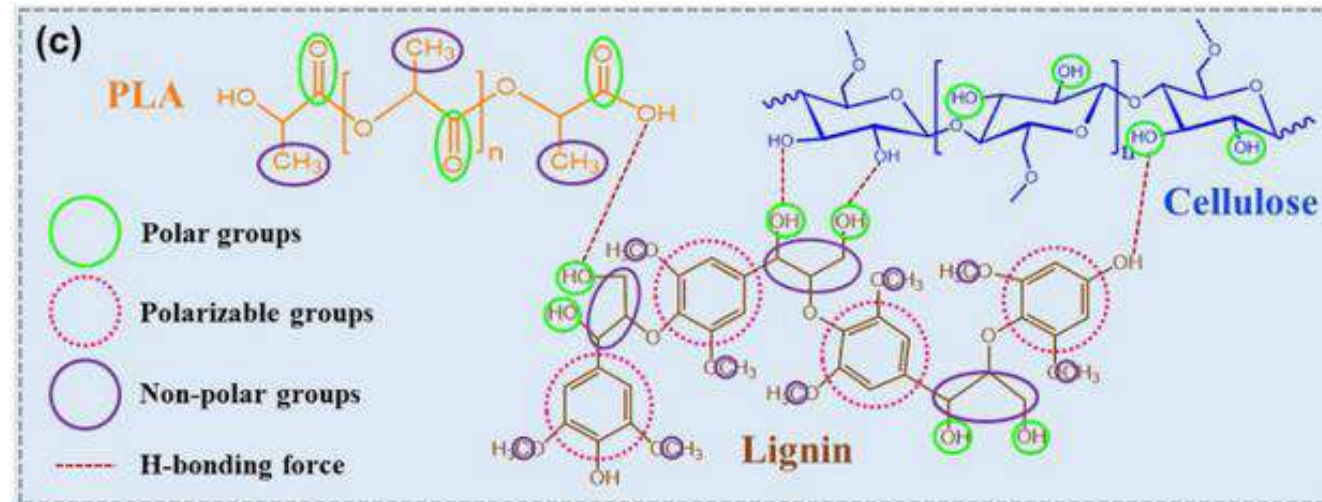


Figure : The interaction mechanism between PLA and LCNF in composites [2]



La stabilité thermique de la lignine vient principalement de sa **structure chimique riche en cycles aromatiques** et de la **nature des liaisons présentes**.

La lignine est constituée majoritairement de **unités aromatiques** (des noyaux benzéniques).
Les cycles aromatiques sont **très stables thermiquement** car ils sont **résistants à la rupture thermique**.
La lignine forme un **réseau complexe et ramifié**, avec des **liaisons C–C et C–O–C** entre les unités aromatiques.

Contrairement à d'autres biopolymères (comme l'amidon ou la cellulose), la lignine contient **peu de groupes hydroxyles libres**



Plusieurs formulations sont testées afin de trouver la bonne en terme de propriétés :

- Thermiques
- Mécaniques
- Rhéologiques
- etc.

Optimisation du procédé de mise en œuvre des films en terme de:

- vitesse d'extrusion
- Température de mélange
- Temps de séjours

PRÉPARATION DES MÉLANGES PAR EXTRUSION-GONFLAGE



Figure : Procédé d'extrusion/Gonflage

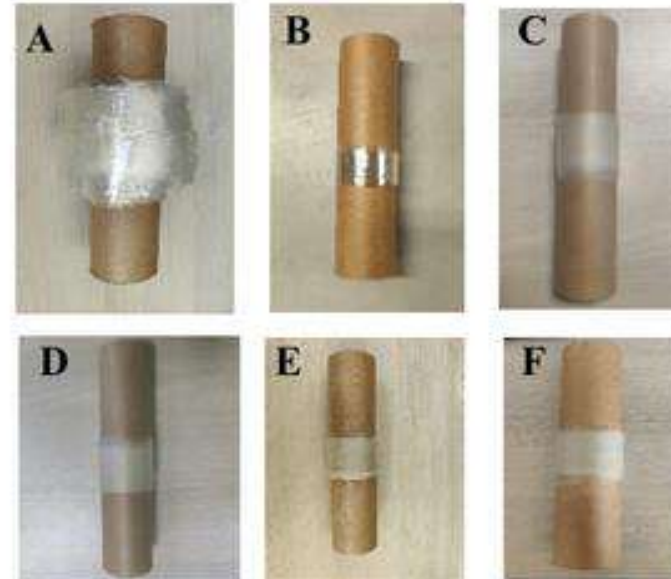


Figure : Films monocouches préparés par extrusion-gonflage



Caractérisation des films:

Mécaniques et Rhéologique

- Amélioration de la rigidité des mélanges préparé comparés à la matrice seule
- Les formulations proposés à base de nanocharges présentent les meilleurs résistances à la traction ce qui montre une bonne compatibilité des éléments du composite
- Reduction de l'allongement à la rupture qui est généralement attribuée à la nature rigide des nanocharges incorporées.

Thermiques

Parmi les formulation proposés et étudiés on a trouvé une bonne stabilité thermique



Bien que l'indice de cristallinité ait légèrement évolué après l'ajout des nanocharges, cette variation modérée permet tout de même de bénéficier des avantages suivants :

1. Stabilité thermique : cristallinité stable = bonne tenue à la transformation.
2. Transparence : faible cristallinité = film plus transparent.
3. Souplesse : cristallinité modérée = film moins cassant.



Perspectives

- Innovation en cours pour surmonter les limites techniques.
- Fort potentiel dans les emballages durables et intelligents.
- Complément idéal au recyclage plastique et aux bioplastiques



Conclusion

- La cellulose est un **matériau biosourcé prometteur** dans les emballages plastiques alimentaires.
- Peu avoir une utilisation croissante grâce à ses **propriétés techniques et environnementales**.
- La cellulose sous ses différentes forme jouera un rôle clé dans l'**éco-conception** des emballages de demain.

Merci pour votre
attention
