



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de chimie industrielle

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. :

Présenté par :

- **HADEF Reguia**
- **REKIS Bochra**

FABRICATION ET EVALUATION D'UN BIO-COMPOSITE A BASE DE RENFORTS NATURELS

Jury

Dr. ADAIKA Kalthoum

MCA

Président de jury

Dr. MENASRA Hayet

Pr

Examineur

Dr. HADJEB Rihana

MCA

Encadrant

Dr. YAGOUB Mohamed

MCA

Encadrant

Année universitaire : 2024 - 2025



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de chimie industrielle

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. :

Présenté par :

- **HADEF Reguia**
- **REKIS Bochra**

FABRICATION ET EVALUATION D'UN BIO-COMPOSITE A BASE DE RENFORTS NATURELS

Jury

Dr. ADAIKA Kalthoum

MCA

Président de jury

Dr. MENASRA Hayet

Pr

Examineur

Dr. HADJEB Rihana

MCA

Encadrant

Dr. YAGOUB Mohamed

MCA

Encadrant

Année universitaire : 2024 - 2025

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos gratitude envers Dieu pour le succès et l'achèvement de nos travaux de fin d'études.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères
Reconnaissances envers toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ma mémoire.

Nous tenons tout particulièrement à remercier chaleureusement notre encadrante :

Dr. Rihana HADJEB

Pour son encadrement attentif, ses conseils éclairés tout au long de ce projet. On a énormément apprécié ses encouragements constants, sa disponibilité et sa confiance de nos capacités.

Nous exprimons toute notre gratitude à **Dr. Mohamed YAGOUB** pour ses précieuses orientations et ses conseils qui ont enrichi notre réflexion et nous ont aidés à mieux structurer notre travail

Nous tenons à témoigner toute nos reconnaissances au **directeur de l'ENICAB** de nous avoir accueillis dans leur service, ainsi qu'à tout l'ensemble du personnel du laboratoire pour leurs aide, leurs conseils ainsi que leurs complicités.

Le responsable du hall technologique pour sa collaboration et sa disponibilité,

Le personnel du laboratoire pédagogique, pour leur appui technique et leur accompagnement tout au long de notre expérimentation.

Nous tenons également à remercier **M. DJRIDI**, responsable des analyses morphologiques au sein du **CRAPC**, pour sa précieuse contribution à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier tout particulièrement **Dr. Lina BAGHDADI** pour ses efforts constants, sa bienveillance et son implication qui ont grandement facilité le bon déroulement de notre projet

Nous exprimons nos sincères remerciements à **Dr. MENASRA Hayet** et **Dr. ADAIKA Kalthoum** pour avoir accepté d'évaluer ce travail en tant que membres du jury de mémoire

Nous tenons également à exprimer notre profonde reconnaissance à l'ensemble du corps enseignant et administratif du département de Chimie industrielle de l'Université Mohamed Khider de Biskra, ainsi qu'à nos professeurs et collègues, pour leur accompagnement et leur rôle déterminant dans notre parcours académique

Un grand merci à nos proches, nos amis, pour leurs soutiens indéfectibles et leurs
Encouragements tout au long de ce parcours académique exigeant. Leur amour, leur
Compréhension et leur patience ont été d'une importance capitale pour nous

اهداء

من قال أنا لها "نالها".

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون،

لم يكن الحلم قريباً ولا الطريق كان محفوفاً بالتسهيلات،

لكني فعلتها ونلتها.

الحمد لله حمداً شكرياً وامتناناً، الذي بفضلها ها أنا اليوم أنظر

إلى حلمٍ طال انتظاره، وقد أصبح واقعاً افتخر به.

إلى ملاكي الطاهر، وقوتي بعد الله، داعمتي الأولى والأبدية "أمي"

أهديكِ هذا الإنجاز الذي لولا تضحياتكِ لما كان له وجود، ممتنة لأن

الله قد اصطفاكِ لي من البشر،

أما يا خير سند وعوض إلى من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل

"أبي".

إلى من قيل فيهم (سَنَشُدُّ عَضُدَكَ بِأَخِيكَ)

إلى من يمد يده دون كلل ولا ملل وقت ضعفي

"أخي" أدامك الله ظللاً ثابتاً لي.

لكل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق ... الي جميع افراد عائلتي واصدقائي.

"ما سلكنا البدايات الا بتيسيره وما بلغنا النهايات الا بتوفيقه وما حققنا الغايات الا بفضلها فالحمد لله "

فجزاكم الله خيراً واثابكم خير الجزاء.

رقية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

﴿ وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ﴾

[هود: 88]

إلى من لا تطيب البدايات ولا تُختتم النهايات إلا باسمه،
إلى الله عز وجل، مصدر العون، وسر النجاح، وملهم الطريق.
له الحمد أولاً وآخراً، ظاهراً وباطناً، على ما من به من توفيق وتيسير.

Je dédie cette réussite à celui qui aurait été le plus fier de moi en ce jour,
à celui qui m'a appris la patience et la persévérance,
et qui, même après son départ, continue de m'inspirer à affronter les défis de la vie,
à mon cher père Rekis Bachir
qu'Allah lui fasse miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.
Et à cette grande femme,
dont les prières ont toujours été la lumière qui éclaire mon chemin,
à ma chère maman Achouri Kheira
qu'Allah te protège pour moi et fasse de toi une fierté et un pilier dans ma vie.

Et à mes piliers dans cette vie,
à ceux qui ont été comme un père en son absence, et des compagnons dans les
moments de fatigue,
à mes chers frères : Hafedh et Mohamed Nadjib,
à mes chers petits Celia Bouchra et Mohamed Bachir

Et à mes compagnes de cœur et d'âme,
à celles que le destin m'a si joliment offertes,
Reguia ,Nour El Imane , Salsabile

Et pour conclure, je remercie Allah en premier et en dernier, ainsi que tous ceux qui
m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail. Qu'Allah vous
récompense pour votre bien.

Résumé :

Ce travail a exploré la valorisation de la poudre de noyaux de dattes (PND) comme renfort naturel dans des composites à base de PVC et de résine polyester. Une caractérisation approfondie de la charge végétale a été réalisée pour en comprendre les propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Des composites ont ensuite été fabriqués avec différentes proportions de PND (10% , 20% ,30%), sous forme séchée ou non séchée, et des tests ont été effectués pour analyser l'impact de l'ajout de PND sur les propriétés des matériaux. Les résultats ont montré que l'incorporation de PND, particulièrement dans sa forme séchée, améliore significativement les propriétés mécaniques des composites, telles que leur résistance à la traction et à la flexion, tout en augmentant leur stabilité thermique. De plus, l'ajout de PND modifie leur comportement hydrique, avec une réduction notable de l'absorption d'humidité pour la forme séchée. Les analyses morphologiques ont également révélé que la dispersion de la PND dans la matrice polymère est meilleure lorsque la poudre est séchée, favorisant ainsi une meilleure interaction entre la charge et la matrice. Ces résultats démontrent le potentiel des noyaux de dattes comme alternative durable pour la fabrication de biocomposites, notamment pour des applications dans l'industrie automobile, contribuant à la valorisation d'un sous-produit de l'industrie alimentaire.

Mots-clés : biocomposites, polychlorure de vinyle, résine polyester insaturée, poudre de noyaux de dattes, renfort naturel, valorisation des déchets agroalimentaires.

Abstract:

This study explored the valorization of date seed powder (DSP) as a natural reinforcement in composites made from PVC and unsaturated polyester resin. A thorough characterization of the plant-based filler was carried out to understand its physical, chemical, and mechanical properties. Composites were then fabricated with different proportions of DSP (10%, 20%, 30%), either dried or non-dried, and tests were conducted to analyze the impact of adding DSP on the properties of the materials. The results showed that the incorporation of DSP, particularly in its dried form, significantly improves the mechanical properties of the composites, such as their tensile and flexural strength, while also increasing their thermal stability. Moreover, the addition of DSP alters their water absorption behavior, with a notable reduction in moisture uptake for the dried form. Morphological analyses also revealed that the dispersion of DSP in the polymer matrix is better when the powder is dried, thus promoting better interaction between the filler and the matrix. These findings demonstrate the potential of date seeds as a sustainable alternative for the production of biocomposites, particularly for applications in the automotive industry, contributing to the valorization of a byproduct from the food industry.

Keywords: biocomposites, polyvinyl chloride, unsaturated polyester resin, date seed powder, natural reinforcement, valorization of agro-food waste.

الملخص :

درس هذا العمل تقييم استخدام مسحوق نوى التمر (PND) كتعزيز طبيعي في المركبات المصنوعة من مادة الـ PVC وRPI غير المشبع. تم إجراء تصنيف دقيق للملء النباتي لفهم خصائصه الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية. تم بعد ذلك تصنيع المركبات بنسب مختلفة من مسحوق نوى التمر (10%، 20%، 30%)، سواء كانت جافة أو غير جافة، وتم إجراء اختبارات لتحليل تأثير إضافة مسحوق نوى التمر على خصائص المواد. أظهرت النتائج أن دمج مسحوق نوى التمر، لا سيما في شكله الجاف، يحسن بشكل كبير الخصائص الميكانيكية للمركبات، مثل مقاومتها للشد والانحناء، كما يزيد من استقرارهما الحراري. علاوة على ذلك، يغير إضافة مسحوق نوى التمر سلوكه في امتصاص الماء، حيث لوحظ انخفاض ملحوظ في امتصاص الرطوبة في الشكل الجاف. كما كشفت التحليلات المورفولوجية أن توزيع مسحوق نوى التمر في المصفوفة البوليمرية يكون أفضل عندما تكون البودرة جافة، مما يعزز التفاعل الأفضل بين الحشوة والمصفوفة. هذه النتائج تظهر الإمكانات الكبيرة لنوى التمر كبديل مستدام لإنتاج المركبات البيولوجية، خصوصاً في التطبيقات في صناعة السيارات، مما يسهم في استغلال منتج ثانوي من صناعة المواد الغذائية.

الكلمات المفتاحية: المركبات البيولوجية، بولي كلوريد الفينيل، راتنج بوليستر غير مشبع، مسحوق نوى التمر، تعزيز طبيعي، استغلال النفايات الزراعية الغذائية.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE 01

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LES MATERIAUX COMPOSITES

1.1.Introduction 04

1.2. Définition d'un Matériau Composite 04

1.3. Historique Des Matériaux Composites 05

1.4. Éléments Constituants D'un Matériau Composite 06

1.4.1. La Matrice 06

1.4.1.1. Les Matrices Métalliques

1.4.1.2. Les Matrices Céramiques 07

1.4.1.3. Les Matrices Organiques Ou Résineuses 07

1.4.2. Les Renforts 08

1.4.3. Charges D'un Matériau Composite 09

1.4.4. Les Additifs 10

1.5. Classification Des Matériaux Composites 10

1.5.1. Composites A Particules 11

1.5.2. Composites A Phase Dispersée 11

1.5.3. Les Composites A Fibres 12

1.6. Architecture Des Matériaux Composites 12

1.6.1. Les Composites Monocouches 12

1.6.2. Les Composites Stratifiés 12

1.6.3. Les Composites Sandwichs 13

1.7. Domaines D'application Des Matériaux Composites 14

1.8. Avantages Et Inconvénients Des Matériaux Composites 14

1.9. Les Critères De Choix De Matériaux Composite 15

1.10. Application Des Composites Dans L'industrie Automobile. 17

1.10.1. Matériaux Utilisés Dans La Fabrication Automobile 18

1.10.2. Le Marché Des Composites Automobiles 18

1.10.3. Exemples D'application Et Enjeux Industriels 19

1.11. Conclusion 20

CHAPITRE 2

POTENTIEL ET VALORISATION DES NOYAUX DE DATTES

2.1. Introduction	25
2.2. Valorisation Des Déchets Agricoles	25
2.2.1. Définitions D'un Déchet	25
2.2.2. Classification Des Déchets	26
2.2.3. Les Types De Valorisation Des Déchets	27
2.3. Aperçu General Sur Le Palmier Dattier : Plante, Fruits Et Noyaux	27
2.3.1. Historique Et Origine Du Palmier Dattier	29
2.3.2. Production De Palmiers Dattiers	29
2.3.3. Généralité Sur Les Dattes	31
2.3.4. Caractéristiques Générales Des Noyaux De Dattes	32
2. 3.4.1. Description Morphologique	32
2.3.4.2. Composition Chimique Du Noyau De Datte	33
2.4. Valorisation Des Noyaux De Dattes	34
2.4.1. Valorisation En Alimentation Humaine	34
2.4.2. Valorisation En Alimentation Animale	35
2.4.3. Valorisation En Cosmétologie	35
2.4.4. Valorisation Industrielle	35
2.4.5. Valorisation Des Noyaux De Dattes Dans Les Matériaux Composites	36
2.5. Conclusion	37

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

3.1. Introduction	44
3.2. Preparation Et Caractérisation De La Poudre De Noyaux De Dattes	44
3.2.1. Préparation De La Charge Végétale : Poudre De Noyaux De Dattes (PND)	44
3.2.2. Caractérisation De La Poudre De Noyaux Des Dattes (PND)	47
3.2.2.1. Caractérisation Physique	48
A. La Mesure De La Densité Apparente	48
B. Caractérisation Physique Analyse Cristallographique Par Diffraction Des Rayons X (DRX)	48
3.2.2.2. Caractérisations Chimiques	49
A. Teneur en Cendres	49

B. Extraction Au Chlorite De Sodium	50
C. Analyse Spectrale Par FTIR	50
3.3. Élaboration Des Composites Biosourcés	51
3.3.1. Composite A Base De Résine Polyester Insaturée (RPI	52
3.3.2. Composite A Base De PVC Et PND	53
3.4. Caractérisation Des Composites	56
3.4.1. Caractérisation Mécanique	57
3.4.1.1. Test De La Dureté Shore A	58
3.4.1.2. Essai De La Traction	58
3.4.2. Caractérisation Thermique	59
3.4.2.1. La Stabilité Thermique	59
3.4.2.2. Analyse Thermique Différentielle DSC	60
3.4.3. Caractérisation Physique Par La Mesure De L'absorption	60
D'eau	
3.4.4. Caractérisation Morphologique Par La Microscopie	61
Electronique A Balayage	
3.5. Conclusion	62
CHAPITRE 4	
RESULTATS ET DISCUSSIONS	
4.1. Introduction	66
4.2. Caractérisation De La Poudre De Noyaux De Dattes (Pnd)	66
4.2.1. Résultats Physiques	66
4.2.1.1. Densité Apparente	66
4.2.1.2. Analyse Par Diffraction Des Rayons X (DRX)	67
4.2.2. Résultats De La Caractérisation Chimique	68
4.2.2.1. Teneur En Cendres Et Teneur En Cellulose	68
4.2.2.2. Analyse FTIR : Groupements Fonctionnels Identifiés	69
4.3. Caractérisation Des Composites Elabores	70
4.3.1. Composite A Base De Résine Polyester Insaturée (RPI) Et PND	70
4.3.1.1. Propriétés Mécaniques (L'essai De Traction)	70
4.3.1.2. Propriétés Physiques (Taux D'absorption D'eau	73
4.3.1.3. Propriétés Morphologiques	74
4.3.2. Composite A Base De PVC Et PND	76
4.3.2.1. Propriétés Mécaniques	76
A. Résultats De La Dureté Shore A	76

B. Résultats De L'essai De Traction	77
4.3.2.2. Propriétés Thermiques	80
A. Résultats De La Stabilité Thermique	80
B. Résultats DSC	81
4.3.2.3. Propriétés Physiques (Taux D'absorption D'eau	83
4.3.2.4. Propriétés Morphologiques	84
4.4. Conclusion	85
CONCLUSION GENERALE	89

Liste des figures

Figure 1.1. Schéma typique d'un matériau composite	5
Figure 1.2. Principaux composants des matériaux composites	6
Figure 1.3. Représentation schématique d'un matériau composite de type particule matrice fibres courtes-matrice et fibres continues matrice	11
Figure 1.4. Exemple du plan du drapage d'un composite stratifié	13
Figure 1.5. Composite stratifié	13
Figure 1.6. Composite sandwich	14
Figure 1.7. Utilisations des bio-composites dans les différents domaines de l'industrie	18
Figure 1.8. Les matières plastiques dans l'automobile	19
Figure 2.1. Schéma du palmier dattier	28
Figure 2.2. Répartition géographique du palmier dattier	30
Figure 2.3. Localisation principale des oasis algériennes	30
Figure 2.4. Morphologie et anatomie du fruit du palmier du dattier (Mech- degla)	32
Figure 2.5. Noyau de datte	33
Figure 3.1. Noyaux de dattes de type Mech-Deglet	45
Figure 3.2. Processus de traitement des nayaux de dattes	45
Figure 3.3. L'étuve de séchage.	46
Figure 3.4. Broyeur mécanique.	47
Figure 3.5. Tamiseuse	47
Figure 3.6. Les principales méthodes de caractérisation du PND	47
Figure 3.7. Principe de fonctionnement d'un diffractomètre de rayons X	48
Figure 3.8. Procédé de carbonisation dans un four de laboratoire	49
Figure 3.9. Dosage des polysaccharides	50
Figure 3.10. Granules blanc de PVC.	54
Figure 3.11. Calandre de type schwabenthanpolymix 200P	54
Figure 3.12. Préparation des films de composite	54
Figure 3.13. Le découpage manuel des films	55
Figure 3.14. Presse hydraulique de type Schwaben han poly stat 300 S.	55
Figure 3.15. Préparation des plaques	56
Figure 3.16. Découpage des éprouvettes	56

Figure 3.17. Caractérisation des matériaux composites	57
Figure 3.18. Appareil de mesure de dureté de type HPE – Zwick/Roell.	58
Figure 3.19. Machine de l'essai de Traction	59
Figure 3.20. Test de la stabilité thermique	60
Figure 3.21. Les Echantillons Immergés dans L'eau Distillée	61
Figure 4.1. Diffractogrammes RX des poudres de noyaux de dattes : comparaison entre échantillons séchés (S) et non séchés (N).	67
Figure 4.2. Superposition des spectres IR des noyaux de dattes séchés (ligne rouge) et non séchés (ligne verte).	69
Figure 4.3. Évolution de la résistance à la rupture des composites RPI/PND en fonction du pourcentage de charge et de l'état d'humidité (séchés et non séchés).	71
Figure 4.4. Variation de la contrainte de traction des composites RPI/PND en fonction du pourcentage de PND et de l'état de séchage	72
Figure 4.5. Variation de l'allongement à la rupture des composites RPI/PND selon le taux de PND et l'état de séchage	73
Figure 4.6. Variation du poids (mg) des composites RPI/PND en fonction du temps d'immersion dans l'eau, pour différents taux de charge (0 à 30 %) et états (séchés et non séchés).	74
Figure 4.7. Images MEB des composites RPI/PND à différents pourcentages, comparant l'état séché (S) et non séché (N).	75
Figure 4.8. Dureté Shore D des composites PVC/PND à différents taux d'incorporation, selon l'état (séché ou non) et la forme (plaque ou film), avec la valeur de référence du PVC pur	77
Figure 4.9. Évolution de la résistance à la rupture des composites PVC/PND en fonction du pourcentage de charge et de l'état d'humidité (séchés et non séchés).	78
Figure 4.10. Variation de la contrainte de traction des composites PVC/PND en fonction du pourcentage de PND et de l'état de séchage	79
Figure 4.11. Variation de l'allongement à la rupture des composites PVC/PND selon le taux de PND et l'état de séchage	80

Figure 4.12. Temps moyen de dégradation thermique des composites PVC/PND en fonction du taux d'incorporation et de l'état d'humidité (séchés et non séchés). **81**

Figure 4.13. Profils de flux de chaleur en fonction de la température pour les biocomposites PVC/ PND. **83**

Figure 4.14. Variation du poids (mg) des composites RPI/PND en fonction du temps **83**

Figure 4.15. Images MEB des composites PVC/PND à différents pourcentages, comparant l'état séché (S) et non séché (N). **84**

Liste des tableaux

Tableau1.1. Les critères de choix des composites par rapport aux métaux	15
Tableau1.2. Les critères de choix des types de résine	16
Tableau 2.1. La composition chimique de noyau de la datte	34
Tableau 3.1. Pourcentages massiques utilisés dans la formulation des composites	51
Tableau 3.2. Quelques propriétés de la résine polyester insaturé	52
Tableau 4.1. Densité apparente des poudres de noyaux de dattes séchées (S) et non séchées (N)	66
Tableau 4.2. Teneurs en cendres (%) et en cellulose (%) des noyaux de dattes avant et après séchage.	68
Tableau 4.3. Valeurs de dureté des composites à base de PVC avec différentes proportions de poudre de noyaux de dattes (PND) dans deux états (séchés/non séchés) et sous deux formes (plaque/film).	76

Liste des abréviations

Abréviation	Signification complète
PND	Poudre de Noyaux de Dattes
PVC	Polychlorure de Vinyle
RPI	Résine Polyester Insaturée
DRX	Diffraction des Rayons X
FTIR	Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier
DSC	Calorimétrie Différentielle à Balayage (Differential Scanning Calorimetry)
Tg	Température de transition vitreuse
TD	Thermodurcissable
TP	Thermoplastique
COV	Composés Organiques Volatils
DEEE	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
NaClO ₂	Chlorite de sodium
HCl	Acide chlorhydrique
O-H, C=O, C-O	Groupes fonctionnels organiques (hydroxyle, carbonyle, ester)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les matériaux composites occupent une position stratégique dans l'industrie moderne, particulièrement dans le secteur automobile où ils représentent environ 50% des matériaux utilisés dans les véhicules haut de gamme [1]. Leur succès s'explique par un excellent rapport résistance/poids avec des modules d'élasticité pouvant atteindre 200 GPa pour les composites à fibres de carbone [2]. Cependant, ces matériaux traditionnels, composés à 95% de ressources pétrosourées (Statista, 2023) [3], posent des défis environnementaux majeurs : leur production génère en moyenne 12-15 kg de CO₂ par kg de matériau, contre seulement 2-5 kg pour les biocomposites (European Composites Industry Association, 2022) [4].

Face à ces enjeux, la communauté scientifique internationale s'oriente vers le développement de biocomposites durables. Comme le démontrent les travaux récents de Mohammed et al. [5], ces matériaux innovants combinent des matrices polymères avec des renforts naturels, permettant une réduction de 30 à 40% de l'impact environnemental tout en offrant des propriétés mécaniques compétitives. Une méta-analyse de 127 études confirme leur potentiel pour des applications structurelles secondaires dans l'automobile, avec des performances atteignant 80% de celles des composites traditionnels [6].

Dans ce contexte, notre recherche se concentre sur la valorisation des noyaux de dattes, un déchet agricole abondant dont la production mondiale dépasse 1,5 million de tonnes annuellement (FAO, 2023) [7]. Comme l'ont montré Al-Oqla [8] dans leur revue exhaustive, ces noyaux présentent une composition chimique remarquable avec des propriétés mécaniques intrinsèques comparables à celles des fibres de verre.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres fondamentaux :

- **Chapitre 1 : Généralités sur les matériaux composites**, ce chapitre établit le cadre théorique, couvrant les principes de conception des composites
- **Chapitre 2 : Potentiel et valorisation des noyaux de dattes**, cette partie approfondit la caractérisation physico-chimique des noyaux.
- **Chapitre 3 : Méthodologie expérimentale**, nous détaillons les protocoles de fabrication et les techniques de caractérisation.
- **Chapitre 4 : Résultats et discussion**, cette section analyse l'ensemble des résultats obtenus.

Et enfin, le mémoire s'achève par une synthèse approfondie des résultats expérimentaux, accompagnée de perspectives de recherche visant la valorisation durable des matériaux biosourcés.

Références bibliographiques :

- [1] **Holmberg, K., Ziegler, S. P., Zetterström, E., & Pöllänen, M.** (2022). Environmental sustainability of fiber-reinforced composites: A review of challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131456>
- [2] **Mallick, P. K.** (2021). *Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design* (3rd ed.). CRC Press.
- [3] **Statista Research Department.** (2023). Global composite materials market value from 2020 to 2030. In Statista [Database]. <https://www.statista.com/statistics/1171525/global-composite-materials-market-size/>
- [4] **EuCIA.** (2022). *Position Paper: Circularity of Composite Materials*. European Composites Industry Association.
- [5] **Mohammed, L., Smith, R., Ali, M., & Zhang, X.** (2023). Advanced biocomposites for automotive applications: A review of recent trends and future perspectives. *Nature Materials*, 22(1), 18-25. <https://doi.org/10.1038/s41563-023-01547-5>
- [6] **Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M., Iqbal, M. J., Billah, M., Chowdhury, M. A.** (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*, 27(2), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>.
- [7] **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** (2023). *Date palm production and processing: Global statistics 2023*. Rome: FAO Statistical Yearbook. from <http://www.fao.org/statistical-yearbook>
- [8] **Al-Oqla, F. M., & Sapuan, S. M.** (2022). *Natural fiber composites*. Elsevier.

CHAPITRE 1

***GENERALITE SUR LES MATERIAUX
COMPOSITES***

1.1. INTRODUCTION

Les matériaux composites connaissent une croissance significative dans le secteur industriel en raison de leurs propriétés supérieures par rapport aux matériaux conventionnels. Combinant deux ou plusieurs composants aux propriétés distinctes, ces matériaux permettent d'atteindre des niveaux de performance difficilement réalisables avec des matériaux homogènes classiques.

Parmi les principaux avantages des matériaux composites figurent leur légèreté, leur résistance mécanique et chimique, leur durabilité ainsi que leur aptitude à être façonnés en une grande variété de formes. Ces caractéristiques favorisent une conception plus flexible, tout en contribuant à la réduction du poids des structures, à l'optimisation des performances et à l'amélioration de la sécurité, notamment grâce à leur résistance accrue aux chocs et au feu. De plus, certains composites offrent une excellente isolation thermique, acoustique ou électrique, répondant ainsi aux exigences spécifiques de diverses applications [1].

Grâce à cette polyvalence, les matériaux composites sont largement utilisés dans plusieurs secteurs, notamment les transports, la construction, les équipements sportifs, le domaine médical, et bien entendu l'industrie automobile. Dans ce dernier domaine, leur intégration dans la fabrication d'accessoires permet non seulement d'alléger les véhicules et d'améliorer leur efficacité énergétique, mais aussi de répondre aux normes croissantes en matière de sécurité, de confort et de design.

Ce chapitre propose d'explorer les généralités sur les matériaux composites, en mettant en lumière leurs propriétés, leurs avantages techniques, ainsi que leur rôle croissant dans le secteur automobile, en particulier dans la conception d'accessoires innovants et performants.

Les matériaux composites sont des assemblages de plusieurs constituants aux propriétés complémentaires, conçus pour offrir des performances mécaniques et fonctionnelles supérieures. Cette section présente les notions de base nécessaires à la compréhension de leur structure, de leur classification et de leurs principales caractéristiques.

1.2.DEFINITION D'UN MATERIAU COMPOSITE

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de plusieurs matériaux non miscibles de natures différentes, et dont les qualités complémentaires permettent des performances supérieures à celles de chacun de ses composants. Un matériau composite est alors un matériau généralement formé de deux composés principaux (figure 1.1) :

- **La matrice**, qui assure la liaison de l'ensemble, répartit les efforts.

- **Le renfort**, qui constitue l'ossature de la pièce, et supporte l'essentiel des contraintes [2].

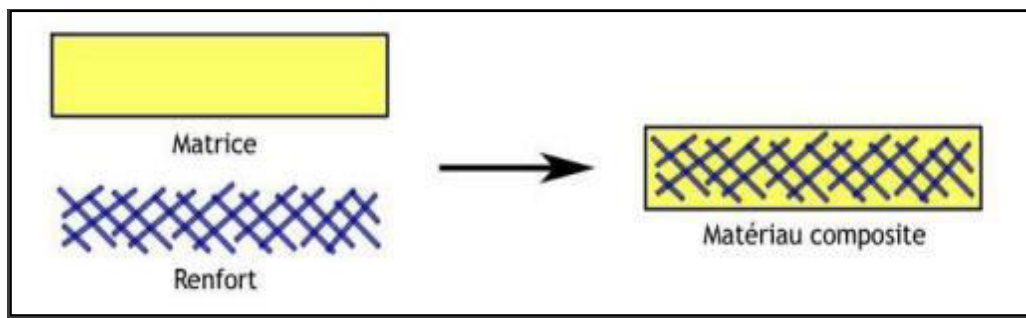


Figure 1.1. Schéma typique d'un matériau composite [3].

1.3.HISTORIQUE DES MATERIAUX COMPOSITES

Les premiers habitants de l'Égypte et les colons de Mésopotamie sont reconnus comme les pionniers de l'utilisation des matériaux composites au XVI^e siècle avant J.-C., afin de construire des structures robustes et durables en combinant de la boue et de la paille. L'usage de la paille a perduré pour renforcer les anciens matériaux composites, en particulier dans les domaines de la poterie et de la construction navale [4].

Au XII^e siècle, les Mongols ont développé le premier arc composite en combinant du bois, de l'os et de la "colle animale", se démarquant ainsi par sa puissance et sa précision. Gengis Khan a réussi à établir sa suprématie militaire en utilisant ses arcs en matériau composite, qui étaient alors considérés comme l'arme la plus redoutable au monde jusqu'à l'avènement de la poudre à canon. Les résines naturelles d'origine animale et végétale constituaient l'unique moyen de liants et de colles jusqu'au commencement de l'ère moderne des composites, période durant laquelle les chercheurs ont mis au point les plastiques [5].

Au commencement du XX^e siècle, des polymères synthétiques innovants tels que la résine phénolique, le chlorure de vinyle, le polyéthylène téréphtalate et le polystyrène ont été développés, dépassant ainsi les résines d'origine naturelle. Toutefois, les matières plastiques ne sont pas intrinsèquement capables de fournir une résistance adéquate dans les applications structurelles, ce qui nécessite donc un renforcement pour améliorer leur rigidité [6].

En 1935, Owens Corning a introduit les premières fibres de verre associées à un polymère plastique. Cette combinaison a permis de créer une structure à la fois légère et robuste. Cet événement a symbolisé le commencement de l'industrie contemporaine des polymères renforcés de fibres (PRF) telle qu'elle est connue actuellement [4].

1.4.ÉLEMENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU COMPOSITE

Un matériau composite se compose d'une matrice et d'un renfort, constitué de fibres telles que des résines ou des liants (polyester, époxyde, etc.). Les charges de renfort sont utilisées dans le but d'améliorer les propriétés de la résine tout en réduisant les coûts. D'un point de vue mécanique, l'association de la résine et des charges présente un comportement homogène, ce qui permet de considérer le composite comme étant constitué d'une matrice et d'un renfort. Le renfort confère au matériau composite ses propriétés mécaniques supérieures, alors que la matrice est chargée de transmettre les contraintes mécaniques externes aux fibres et de les préserver des influences extérieures [7]. La figure suivante présente les principaux composants des matériaux composites.

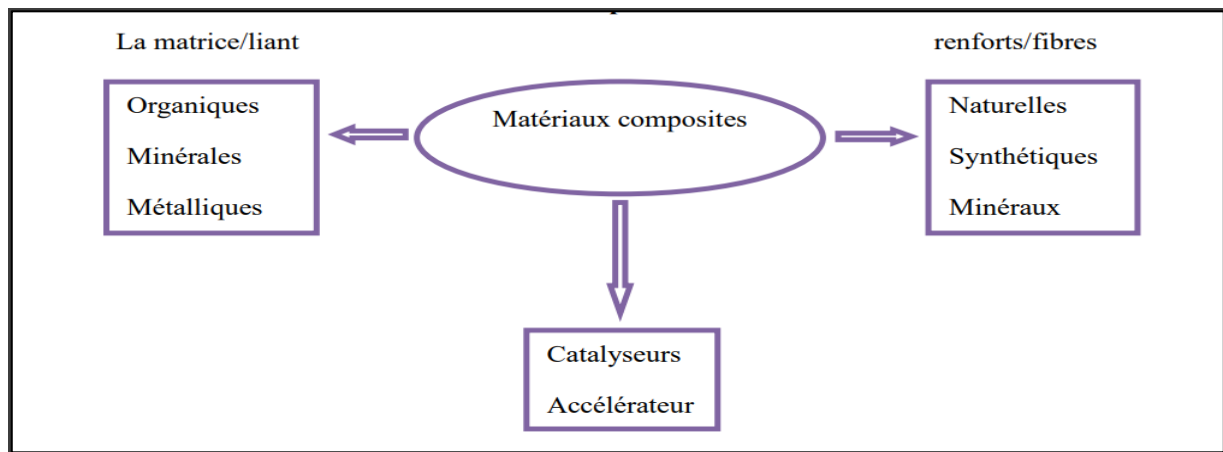


Figure 1.2. Principaux composants des matériaux composites [23].

En plus de la matrice et du renfort, le matériau composite peut avoir des charges et des additifs.

1.4.1. La matrice

La matrice, souvent appelée **résine**, joue un rôle fondamental dans les composites. Elle permet de maintenir les renforts dans leur orientation souhaitée, assure la **cohésion de l'ensemble**, transmet les efforts mécaniques aux renforts et les protège contre les agressions extérieures (humidité, produits chimiques, UV...).

Selon leur nature chimique, on distingue trois grandes familles de matrices [3] :

1.4.1.1. Les matrices métalliques

La matrice métallique de fibre et de particule filament qui s'appelle trichite. Il y a deux fibres : fibres courtes et fibres continues multi filaments et mono filaments. La composition CMM est plus

employée par les particules de l'aluminium, le titane et le nickel. Le développement d'une matrice métallique de matériau composite a été en deux vagues successives. La température supérieure utilisée dans le matériau composite qui dépend à 300°C interdit pratiquement que l'élément renforcé soit noyé au sien d'une matrice métallique [3].

1.4.1.2. Les matrices céramiques

Ils sont employés dans les applications à très haute température comme le spatial, le nucléaire et le militaire, ainsi que le freinage. Ils présentent une très haute résistance à la température supérieure à 1000°C et bonne stabilité chimique mais ils sont moins répandus par rapport aux autres composites en raison du coût élevé [8].

1.4.1.3. Les matrices organiques ou résineuses

Les composites à matrice organique (CMO) sont largement utilisés dans des secteurs industriels variés tels que le transport, l'aéronautique, le génie civil, la construction navale et le bâtiment. Leur succès s'explique par plusieurs avantages : réduction de la masse, intégration de fonctions, réduction des coûts de fabrication, et adaptabilité à des formes complexes. On distingue principalement deux types de matrices organiques dans les CMO [9] :

a. Les résines thermodurcissables (TD)

Les thermodurcissables représentent environ 75 % des matrices organiques utilisées aujourd'hui (époxy, polyester, vinylester). Leur polymérisation est irréversible, formant un réseau tridimensionnel rigide qui durcit de manière définitive selon la forme du moule. Parmi les plus courantes :

- **Résines époxy** : très utilisées dans les composites hautes performances (HP) pour leur excellente résistance mécanique et chimique.
- **Résines phénoliques** : obtenues par polycondensation du phénol et du formol, elles sont fragiles, sensibles à l'humidité, mais utilisées dans des applications spécifiques comme le secteur ferroviaire.
- **Polyuréthanes** : leur faible viscosité facilite un bon remplissage des moules, ce qui améliore la qualité de l'imprégnation [9].

b. Les résines thermoplastiques (TP)

Les matrices thermoplastiques sont recyclables : elles peuvent être réutilisées après broyage et refonte. Elles se caractérisent par leur résistance aux chocs, leur bonne stabilité dimensionnelle, et

une mise en œuvre rapide, renforcées par des fibres (constituant jusqu'à 90 % de la masse totale dans certains composites), elles trouvent des applications dans l'automobile, l'électronique et les biens de consommation.

Parmi les principales résines thermoplastiques utilisées [9] :

- Polyamides (PA)
- Polybutylène téréphtalate (PBT)
- Polyéthylène téréphtalate (PET)
- Polycarbonates (PC)
- Polyphénylène oxydes (PPO/PPE)
- Polyoxyméthylènes (POM).

1.4.2. Les renforts

Le renfort constitue l'élément structurel principal d'un matériau composite, jouant le rôle de squelette mécanique du système [10]. Il est en grande partie responsable de la résistance mécanique globale du composite, ce qui en fait un composant essentiel [11]. Les fibres représentent la forme de renforcement la plus performante, car elles permettent de transmettre efficacement les efforts à travers la matrice, généralement plus souple, vers des éléments plus rigides et résistants. Cela permet d'obtenir un matériau aux propriétés mécaniques supérieures à celles de la matrice seule [12].

L'utilisation de fibres comme renforts remonte à l'Antiquité. Les Égyptiens utilisaient déjà des fibres naturelles, notamment de l'amiante, pour renforcer des objets en argile, il y a environ 5 000 ans [13].

Les fibres utilisées comme renforts peuvent être classées selon leur **origine** en trois grandes catégories [14] :

- **Fibres minérales** : par exemple, les fibres de verre, de basalte ou de céramique.
- **Fibres polymériques (ou fibres organiques synthétiques)** : telles que les fibres d'aramide (ex. Kevlar), de polyester ou de polyéthylène.
- **Fibres naturelles** : subdivisées en deux groupes :
 - **Fibres végétales** : jute, lin, sisal, coir, bambou, etc.
 - **Fibres animales** : laine, soie, poils, plumes.

Il est également possible de regrouper les fibres de renfort selon leur **nature chimique** en deux grandes catégories fonctionnelles [14] :

a. **Fibres inorganiques :**

- Fibres minérales : fibre de verre, de carbone, de céramique, de basalte.
- Fibres métalliques : acier, aluminium, etc.

b. **Fibres organiques :**

- Fibres naturelles (végétales ou animales).
- Fibres polymériques synthétiques : aramide, polyester, nylon, etc.

1.4.3. Charges d'un matériau composite

Dans le domaine des matériaux composites, le terme charge désigne toute substance inerte, généralement d'origine **minérale** ou **végétale**, incorporée à une matrice polymère. L'introduction de charges a pour principal objectif d'adapter ou d'améliorer certaines propriétés du matériau, notamment ses caractéristiques mécaniques, thermiques, électriques ou encore son aspect de surface. Par ailleurs, les charges permettent également de réduire le coût de revient du matériau final.

Les résines thermodurcissables sont, par nature, plus propices à la formulation avec des charges que les polymères thermoplastiques. Elles peuvent contenir des charges sous des formes et natures variées, parfois en proportions élevées, pouvant atteindre jusqu'à 60 % en masse. Au-delà de ce taux, on considère que le matériau atteint un seuil de saturation, au-delà duquel les propriétés mécaniques et la mise en œuvre peuvent être altérées [15].

Le choix d'une charge appropriée dépend étroitement des performances ciblées pour l'application visée. Néanmoins, pour qu'une charge soit considérée comme adaptée à une matrice polymère, elle doit satisfaire à un ensemble de critères techniques essentiels, à savoir :

- **Une compatibilité chimique** avec la résine,
- **Une bonne mouillabilité**, garantissant une dispersion homogène,
- **Une granulométrie contrôlée** et une qualité constante,
- **Une faible abrasivité**, limitant l'usure des équipements de transformation,
- **Un coût économique raisonnable**, pour maintenir la viabilité industrielle du composite.

Ainsi, les charges jouent un rôle essentiel non seulement dans l'optimisation des performances du matériau, mais également dans l'équilibre économique des formulations composites [15].

1.4.4. Les additifs

Les additifs sont des composants introduits en faibles quantités dans les matériaux composites, dans le but d'en améliorer certaines propriétés spécifiques ou de faciliter leur mise en œuvre. Bien que leur proportion soit généralement limitée, leur rôle peut être déterminant dans les performances finales du matériau.

Parmi les additifs les plus importants figure l'agent d'interface, dont la fonction principale est d'assurer la cohésion et l'adhérence entre les différents constituants du composite, en particulier entre la matrice polymère et les renforts ou les charges. Ce type d'additif est souvent appliqué directement sur la surface des fibres de renfort, comme c'est le cas pour l'ensimage des fibres de verre, ou sur les charges minérales, comme les carbonates de calcium enrobés, afin d'améliorer leur compatibilité avec la matrice [16].

Les additifs remplissent des fonctions diverses selon leur nature. Parmi les plus couramment utilisés, on peut citer :

- **Les lubrifiants et agents de démoulage**, facilitant l'extraction des pièces du moule,
- **Les pigments et colorants**, destinés à conférer une teinte ou à améliorer l'esthétique du matériau,
- **Les agents anti-retraits**, permettant de limiter la déformation dimensionnelle au cours de la polymérisation ou du refroidissement,
- **Les agents anti-UV**, destinés à améliorer la résistance au vieillissement sous l'effet des rayonnements ultraviolets.

Ainsi, les additifs, bien que secondaires en termes de quantité, jouent un rôle essentiel dans l'optimisation des performances, la durabilité, et la qualité d'aspect des matériaux composites.

1.5. CLASSIFICATION DES MATERIAUX COMPOSITES

Les matériaux composites se définissent comme des assemblages de deux phases principales : une **matrice** (polymère, métal ou céramique) et un **renfort** (particules, fibres courtes ou longues). Le rôle de la matrice est de transmettre les contraintes au renfort tout en maintenant l'intégrité géométrique de l'ensemble [17].

Selon la **forme du renfort** (voir la figure 1.3), on distingue principalement :

- les composites **particulaires**,
- les composites à **phase dispersée**,
- les composites à **fibres**, eux-mêmes subdivisés en fibres **courtes** (0,1 à 1 mm), **longues** (1 à 50 mm) et **continues** (> 50 mm).

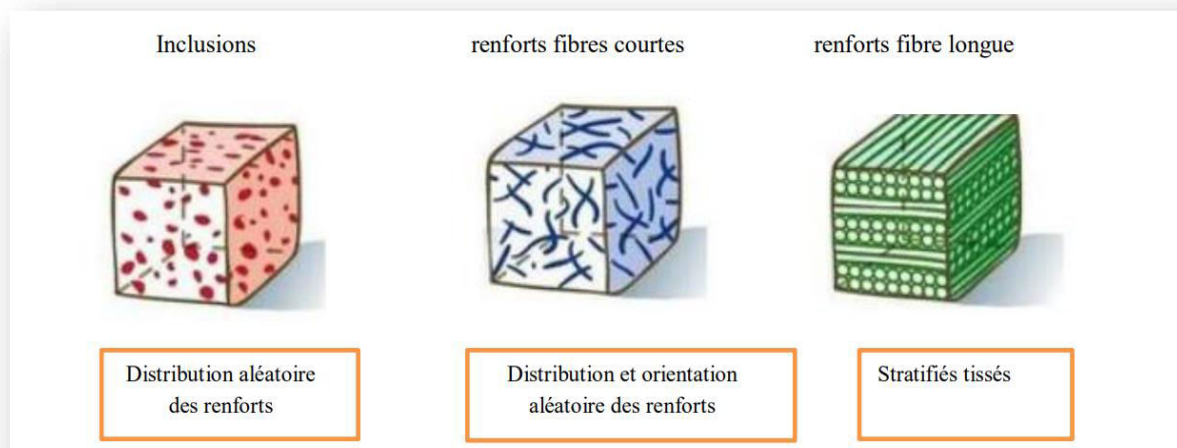


Figure 1.3. Représentation schématisée d'un matériau composite de type particule matrice fibres courtes-matrice et fibres continues matrice [18].

1.5.1. Composites à particules

Ces composites intègrent des particules (souvent $> 1 \mu\text{m}$) dans une matrice, généralement métallique ou polymérique. Contrairement aux composites à phase dispersée, la matrice participe ici activement au port de la charge. Parmi les exemples notables figurent les cermet (mélanges de particules céramiques et matrice métallique), les métaux composites et certains polymères renforcés. Ils sont obtenus principalement par métallurgie des poudres. Leurs applications incluent les écrans de rayonnement, contacts électriques, outils de coupe, et buses de propulsion.

1.5.2. Composites à phase dispersée

Caractérisés par la présence de particules très fines (souvent $< 0,1 \mu\text{m}$) comme des oxydes, carbures ou borures, ces composites présentent une structure dispersée homogène. La matrice, typiquement métallique, assure la cohésion tandis que les particules dures limitent sa déformation. Ce type de composite est particulièrement adapté aux environnements à haute température, grâce à sa résistance thermique et mécanique élevée.

1.5.3. Les composites à fibres

Dans ces dernières années, l'attention est portée sur les composites à fibres longues avec matrice polymère, en raison de leur résistance mécanique élevée, leur ténacité et leur aptitude au transfert de contraintes. Ces matériaux sont largement utilisés dans l'industrie pour leurs excellentes propriétés face aux entailles et leur bonne performance en service. Leur fabrication repose souvent sur des procédés tels que le préimprégné des fibres dans une résine polymère, suivi d'un cycle de polymérisation, avec ou sans pression [17].

1.6. ARCHITECTURE DES MATERIAUX COMPOSITES

Les matériaux composites présentent différentes architectures, généralement classées en trois types principaux [19] : monocouches, stratifiés et sandwichs

1.6.1. Les composites monocouches

La monocouche, ou strate élémentaire, constitue l'unité de base d'un composite stratifié. Elle est formée d'un ou plusieurs plis de renfort (unis, tissés, mats) associés à la matrice. Ces plis, de faible épaisseur ($\approx 0,125$ mm), peuvent être orientés de manière aléatoire ou contrôlée :

- **Plis UD (unidirectionnels)** : fibres orientées dans une seule direction,
- **Plis tissés** : fibres entrecroisées,
- **Plis mats** : fibres disposées de manière aléatoire.

L'assemblage successif de ces monocouches forme un stratifié.

1.6.2. Les composites stratifiés

Les composites stratifiés sont constitués de plusieurs couches de plis orientés selon un plan de drapage précis, conférant au matériau des propriétés mécaniques anisotropes. On distingue trois types de stratifiés :

- **Équilibrés** : nombre égal de plis à $+\theta$ et $-\theta$,
- **Symétriques** : couches disposées symétriquement par rapport au plan médian,
- **Orthogonaux** : même nombre de plis à 0° et 90° .

La symétrie de drapage permet de réduire les déformations résiduelles telles que le gauchissement. Ces structures sont optimisées en fonction des sollicitations pour une meilleure performance mécanique (voir figure 1.4 et figure 1.5) [19, 20].

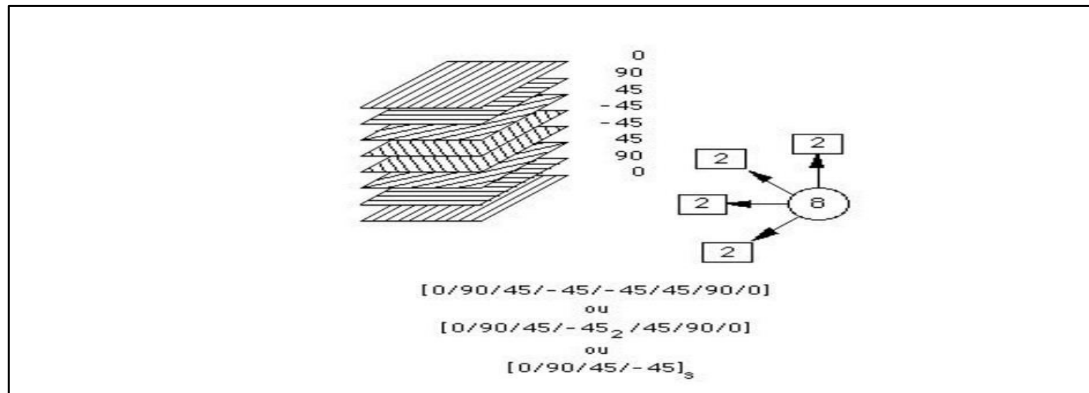


Figure 1.4. Exemple du plan du drapage d'un composite stratifié [20].

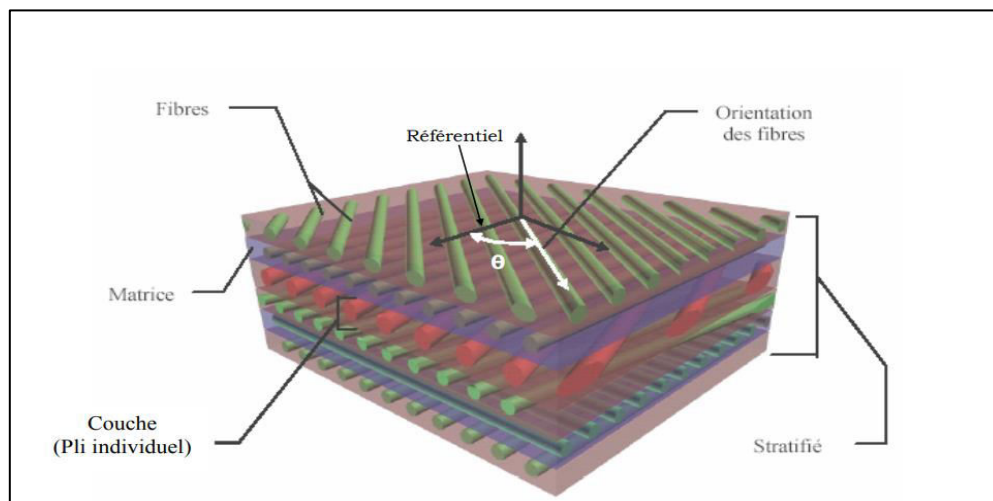


Figure 1.5. Composite stratifié [20].

1.6.3. Les composites sandwichs

Les composites sandwichs sont composés de deux peaux minces et rigides (figure 1.6), séparées par une âme légère mais épaisse (cœur). Cette configuration permet d'obtenir une structure rigide, légère, dotée d'une excellente résistance à la flexion et d'un bon pouvoir isolant (thermique et acoustique) [20].

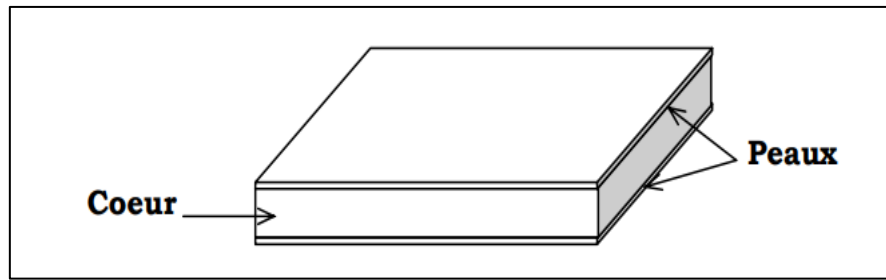


Figure 1.6. Composite sandwich [20]

1.7. DOMAINES D'APPLICATION DES MATERIAUX COMPOSITES

Grâce à leur légèreté, résistance mécanique et durabilité, les matériaux composites trouvent des applications variées dans plusieurs secteurs industriels [21] :

- **Aéronautique et spatial** : pour alléger les structures (fuselages, ailes, réservoirs) et améliorer l'efficacité énergétique.
- **Automobile** : fabrication de pièces de carrosserie (capots, pare-chocs, portes) pour réduire la masse et améliorer la performance.
- **Génie civil** : poutres, dalles, ponts et panneaux grâce à leur résistance mécanique et leur facilité de mise en œuvre.
- **Énergie** : pales d'éoliennes, panneaux solaires, réservoirs de stockage pour leur résistance environnementale.
- **Sport** : équipements performants (raquettes, skis, vélos) alliant légèreté et robustesse.
- **Médical** : prothèses, implants, équipements diagnostiques pour leur biocompatibilité et leur légèreté.
- **Maritime** : coques de bateaux, mâts et ponts résistants à la corrosion marine.

Les composites contribuent ainsi à la **transition écologique** en remplaçant des matériaux plus lourds ou polluants.

1.8. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES MATERIAUX COMPOSITES

a. les avantages

- Réduction de la masse, essentielle pour les transports et l'énergie.
- Formabilité de pièces complexes, réduisant l'assemblage mécanique.
- Bonne résistance à la fatigue et à la corrosion.
- Durabilité face à l'humidité, aux produits chimiques et à la chaleur (dans certaines limites).
- Propriétés mécaniques ajustables selon l'architecture choisie [22].

b. les inconvénients

- Coûts élevés des matériaux et procédés de fabrication.
- Sensibilité aux agents climatiques (UV, humidité, températures extrêmes).
- Répétabilité limitée, en particulier pour les stratifiés.
- Problèmes de recyclable, générant des déchets complexes à valoriser [23,24].

1.9. LES CRITERES DE CHOIX DE MATERIAUX COMPOSITE

Les constructeurs automobiles utilisent de plus en plus les matériaux composites pour faire évoluer leurs offres en prenant en compte les contraintes économiques, concurrentielles mais aussi réglementaires : telles que les réglementations internationales relatives aux émissions sonores émises par le véhicule, à la sécurité lors de chocs ou encore à l'environnement (pollution, véhicules en fin de vie...). Ils doivent aussi limiter la consommation en carburant et la pollution par les gaz d'échappement, la solution passe donc par l'allègement du véhicule [29].

Tableau 1.1. Les critères de choix des composites par rapport aux métaux [29]

Contraintes	Avantages
Caractéristiques mécaniques plus faibles. Tenue au feu et résistance en température (plus faible que les métaux). Peinture type automobile plus difficile. Coût plus élevé : • Fluctuation des prix des matières premières. • Nécessité de nouveaux investissements en production. Complexité et difficulté de recyclage des thermodurcissables	Résistant à la corrosion. Gain de poids. Bilan énergétique, réduction des émissions. Optimisation des coûts de production. Complexité et diversité des formes possibles : • Souplesse d'utilisation, • Facilité de mise en forme favorisant l'amélioration de l'aérodynamisme. Isolation électrique. Faible coefficient de friction

Bien que les composites présentent des caractéristiques mécaniques globalement inférieures à celles des métaux (tableaux 1.1), notamment en flexion, en résistance à la rupture et en tenue à haute température, ces limitations peuvent, paradoxalement, représenter un atout en matière de

sécurité. En effet, leur capacité à absorber l'énergie par déformation progressive lors d'un impact contribue à amortir les chocs et à protéger les occupants en cas d'accident.

Par ailleurs, les composites offrent une bonne résistance à l'indentation, ce qui les rend adaptés aux chocs de faible intensité fréquents en milieu urbain. Ces matériaux nécessitent également moins d'opérations de finition (telles que l'ébavurage ou la découpe), ce qui permet de réduire les coûts de fabrication à d'autres étapes du processus industriel.

Même si leur coût au kilogramme est généralement plus élevé que celui de l'acier, cette différence est partiellement compensée par la possibilité d'optimiser la mise en forme grâce à des procédés tels que l'injection, la compression ou le moulage, qui permettent de n'utiliser que la quantité strictement nécessaire de matière.

Cependant, le recyclage des composites reste un enjeu majeur, en particulier pour ceux à base de résines thermodurcissables (tableau 1.2). Une fois polymérisées, les fibres et la matrice sont difficiles à séparer, en raison de leur incompatibilité chimique et de la présence d'additifs complexes. Malgré cela, ce défi n'est pas un obstacle pour les constructeurs, qui intègrent ces contraintes dès la phase de conception, conformément aux exigences réglementaires.

En effet, la réglementation européenne impose aux industriels de réduire la masse des déchets à la source, de réutiliser ou recycler les matériaux lorsque cela est possible, et d'incinérer les résidus restants avec ou sans valorisation énergétique [28].

Tableau1.2. Les critères de choix des types de résine [28].

Résines Thermodurcissables	
Avantages	• Coût • Durabilité
Inconvénients	• Emission de COV au cours de la mise en œuvre • Assemblages par collage délicats • Faible cadence • Difficultés de recyclage des déchets industriels
Résines Thermoplastiques	
Avantages	• Absence d'émission de COV au cours de la mise en œuvre • Facilité d'assemblage • Temps de cycle court (en fonction des procédés) • Potentialités de recyclage • Possibilité de formage à chaud
Inconvénients	• Choix limité de résines disponibles à l'échelle industrielle • Vigilance sur la qualité de l'interface fibre matrice

1.10. APPLICATION DES COMPOSITES DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

Face aux exigences croissantes en matière de performance, d'environnement et de compétitivité, les fabricants automobiles explorent en permanence de nouveaux matériaux et procédés pour allier légèreté, résistance et durabilité. Les bio-composites, à base de fibres naturelles et de polymères, sont aujourd'hui intégrés dans de nombreux secteurs industriels : automobile, bâtiment, électronique, aéronautique et naval (figure 1.7) [25,26].

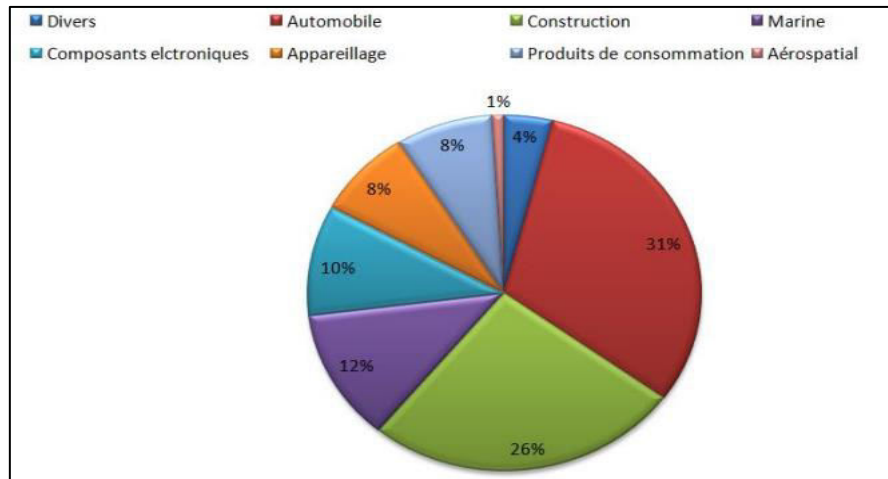


Figure 1.7. Utilisations des bio-composites dans les différents domaines de l'industrie [27].

1.10.1. Matériaux utilisés dans la fabrication automobile

Les matériaux utilisés pour les carrosseries de véhicules incluent :

- **Les alliages métalliques** (acier, aluminium, magnésium),
- **Les polymères**, thermoplastiques ou thermodurcissables,
- **Les composites renforcés** (verre, carbone),
- **Le verre** architectural.

Parmi eux, l'acier reste prédominant, mais les polymères renforcés et les composites se développent pour certaines pièces structurales ou de finition, en particulier sur les véhicules haut de gamme [28].

1.10.2. Le marché des composites automobiles

Selon JEC Group, le marché mondial des composites représentait en 2009 près de 62 milliards d'euros, avec 8,6 millions de tonnes produites et 550 000 emplois [28]. Aujourd'hui, les bio-composites, destinés à remplacer la fibre de verre ou certains aciers, sont largement utilisés dans les composants automobiles :

- Garnitures d'habitacle (panneaux de porte, planches de bord),
- Tablettes, dossiers de sièges, garnitures de toit,
- Matériaux d'isolation thermo acoustique,
- Composants de freinage (ex. remplacement de l'amiante par le lin).

Les fibres végétales comme le lin, le chanvre ou le kenaf sont de plus en plus exploitées dans cette optique [25,26].

1.10.3. Exemples d'application et enjeux industriels

Les **composites plastiques** sont utilisés dans de nombreux composants (Figure 1.8) :

- **Intérieur** : tableaux de bord, panneaux de porte, sièges,
- **Extérieur** : pare-chocs, ailes, hayons, rétroviseurs,
- **Structure** : capots, ressorts à lame, arbres de transmission.

Des constructeurs comme **Audi, BMW, Mercedes-Benz, Renault, VW** ou **Fiat** utilisent activement des fibres végétales dans leurs modèles. Les quantités varient selon les applications, allant de 0,4 à 2,5 kg de fibres naturelles par véhicule [30].

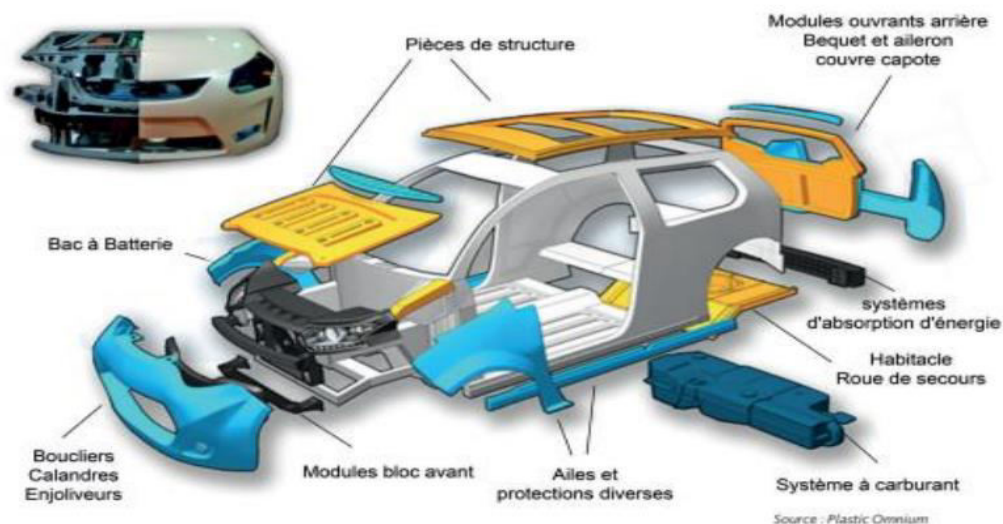


Figure 1.8. Les matières plastiques dans l'automobile [28]

L'industrie automobile regroupe de nombreuses activités, de la conception à la fin de vie des véhicules : production de carrosseries, équipements, recyclage, services techniques, etc. L'innovation y joue un rôle central, notamment dans les matériaux, en réponse aux enjeux de performance, sécurité, coût et durabilité [30].

1.11. CONCLUSION

L'intégration des composites biosourcés dans le secteur automobile représente une opportunité stratégique en matière d'allègement, d'économie circulaire et de respect des normes environnementales. Malgré certains défis techniques (recyclabilité, tenue thermique), les performances obtenues et les bénéfices environnementaux justifient leur développement croissant dans l'industrie. L'optimisation des procédés de fabrication, la compatibilité des matériaux et l'innovation autour des matrices biosourcées restent des axes majeurs pour l'avenir des composites dans l'automobile.

Références bibliographiques

- [1] **Laarej, M.** (2010). Étude par spectroscopie Raman et modélisation d'une résine composite RTM [Thèse de doctorat, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen].
- [2] **Almi, K.** (2018). Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khaider - Biskra].
- [3] **Ben Abdallah, C. K., & Hadj Cheikh, M.** (2022). Analyse des contraintes dans les coques cylindriques en matériau composite [Mémoire de master, Université de Ain Temouchent].
- [4] **Nagavally, R. R.** (2017). Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages, and applications. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5, 82–87.
- [5] **Belabed, Y.** (2019). Étude et analyse du délaminage des structures renforcées par composites FRP multicouches : effet shearlag et impact thermique [Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen].
<https://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/15348/1/Doct.GM.%20Belabed.pdf>
- [6] **Moudjeb, L., & Mebrouki, S.** (2023). Aspect théorique de modification chimique de PVC 4000 M avec des amines, synthèses, caractérisation et application [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].
<https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/29388/1/mémoire%20PVC.pdf>
- [7] **Gouthi, D., & Adissa, A. T.** (2024). Caractérisation mécanique d'un matériau composite à base des déchets industriels [Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra].
- [8] **Molinaro, H. H.** (2015). Matériaux composites et structures composites. ENS Paris-Saclay.
- [9] **Draiche, K.** (2015). Contribution à l'analyse de la vibration des plaques composites comportant des patches [Thèse de doctorat, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès].
- [10] **Asma, S.** (2015). Élaboration des composites cimentaires à base de fibres végétales locales (le diss): Caractérisation, durabilité et application au cas de la maçonnerie [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar].
- [11] **Feng, C., & Chu, Z.** (2018). Fiber reinforcement. In *Composite Materials Engineering*, Volume 1 (pp. 63–150). Springer.
- [12] **Bunsell, A. R.** (2021). Fibers for composite reinforcements: Properties and microstructures. In *Composite Reinforcements for Optimum Performance* (pp. 3–34). Elsevier.
- [13] **Hassanpour, M., Shafigh, P., & Mahmud, H. B.** (2012). Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement – A review. *Construction and Building Materials*, 37, 452–461.
- [14] **Gornet, L.** (2011). Généralité sur les matériaux composites. ECN, Centre Nantes.

- [15] **Bailon, J. P., & Dorlot, J. M.** (2000). Des matériaux (3e éd.). École de Montréal.
- [16] **Zaidi, A. (n.d.).** Étude du comportement de matériaux composites à matrice polymère en fatigue (effet du vieillissement) [Mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].
- [17] **Mokhtar, D.** (2024). Synthèse et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre de verre [Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem].
- [18] **Jaquinet, P.** (1991). Utilisation des matériaux composites. Technologies de pointe, édition Hermès.
- [19] **Gay, D.** (1997). Matériaux composites (4e éd.). Édition Hermès.
- [20] **Bensaid, S.** (2006). Contribution à la caractérisation et à la modélisation électromagnétique et thermique des matériaux composites anisotropes [Thèse de doctorat, Université de Nantes].
- [21] **Mishra, S., et al.** (2001). Graftcopolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, 286(2), 107–113.
- [22] **Soudani, A., & Hadjoudj, Y.** (2021). Résistance aux chocs de matériaux composite renforcé par des déchets plastique [Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].
- [23] **Mrazova, M.** (2013). Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *Incas Bulletin*, 5.
- [24] **Thori, P., Sharma, P., & Bhargava, M.** (2013). An approach of composite materials in industrial machinery: Advantages, disadvantage and application. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2.
- [25] **John, M. J., & Thomas, S.** (2008). Biofibres and Biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71, 343–364.
- [26] **Bismarck, K., Baltazar-Y-Jimenez, A., & Sarlkakis, A.** (2006). Green composites as panacea Socio-economic aspects of green materials. *Environment, Development and Sustainability*, 8(3), 445–463.
- [27] **Hammani, O.** (2019). Élaboration d'un nouveau matériau composite à matrice PEH et charge bois et étude de son comportement mécanique et morphologique [Thèse de doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah].
- [28] **Marzano, M., & Celle, P.** (2014). Action Composite – Exemple industrie automobile. GNFA.
- [29] **Bessad, K.** (2021). Élaboration et caractérisation d'un matériau composite à matrice polyuréthane chargé en particules polyamide 6 recyclé [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

[30] **Ellison, E., McNaught, G. C., & McNaught, R.** (2000). The use of natural fibres in nonwoven structures for applications as automotive component substrates. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.

[31] **Qanqom, A., & Gousaid, N.** (2023). Innovation et attractivité au produit : Étude qualitative auprès des consommateurs automobiles Marocains. *Revue africaine de management*, 9(1), 80–94. <https://doi.org/10.48424/IMIST.PRSM/ram-v19.39926>

CHAPITRE 2

**POTENTIEL ET VALORISATION DES
NOYAUX DE DATTES**

2.1. INTRODUCTION

L'exploitation des déchets agricoles et naturels pour la fabrication de matériaux composites représente une alternative durable, en raison de leur caractère renouvelable, leur biodégradabilité et leur faible coût. Ces dernières décennies, l'intérêt pour les fibres naturelles dans la production de composites écologiques s'est accru, notamment celles issues du lin, du jute, du chanvre, de l'ananas, du sisal ou encore du palmier dattier [1–4]. Parallèlement, la gestion durable des déchets agricoles est devenue une priorité mondiale, tant pour des raisons environnementales qu'économiques, les sous-produits de récoltes représentant une charge significative pour les filières agricoles.

Parmi ces sous-produits, les noyaux de dattes, longtemps considérés comme des résidus sans valeur, s'avèrent aujourd'hui être une ressource prometteuse. La production de dattes, concentrée dans les zones arides, génère entre 100 et 150 kg de noyaux par tonne de fruits récoltés. Ces noyaux, souvent jetés ou brûlés, peuvent être valorisés dans la fabrication de **composites biosourcés**, contribuant ainsi à l'économie circulaire [5].

Le marché mondial des composites polymères renforcés de déchets naturels est passé de 2,1 milliards USD en 2010 à 4,46 milliards USD en 2016, et pourrait atteindre 14 milliards USD d'ici 2030, avec un taux de croissance moyen de 10,1 % par an. Ces chiffres soulignent le potentiel économique considérable de la valorisation des noyaux de dattes, à condition d'en explorer les propriétés physico-chimiques et les procédés de transformation adaptés [6].

2.2. VALORISATION DES DECHETS AGRICOLES

2.2.1. Définitions d'un déchet

Les déchets peuvent être classés selon leur origine (ménagers, industriels, agricoles...), leur nature physique (organiques, plastiques, métalliques...) ou leur degré de dangerosité (dangereux ou non dangereux). L'un des défis majeurs aujourd'hui réside dans la transformation de ces déchets en ressources, ce qui s'inscrit dans le cadre d'une économie circulaire visant à minimiser le gaspillage et à valoriser la matière.

Dans ce contexte, certains déchets, dits valorisables, comme les déchets agricoles (ex : noyaux de dattes), peuvent être transformés en produits à forte valeur ajoutée, tels que des biomatériaux, des bioplastiques, ou encore des composants de matériaux composites [7].

2.2.2. Classification des déchets

Plusieurs critères permettent de classer les déchets, selon leur origine, leur état physique, leur nature chimique ou leur dangerosité [8,9].

a. Selon l'origine

- **Déchets urbains (ou municipaux)** : produits par les ménages et les petites entreprises. Ils comprennent les ordures ménagères, les déchets alimentaires, les déchets verts (issus des jardins), les encombrants, etc.
- **Déchets industriels** : générés par les activités de production, de transformation ou de maintenance dans les secteurs industriels, artisanaux, agricoles ou commerciaux. Leur composition est très variable, allant des résidus organiques aux produits chimiques.

b. Selon l'état physique (forme)

- **Déchets solides** : ce sont les plus courants (déchets ménagers, plastiques, métaux, cartons, textiles, déchets verts, etc.).
- **Déchets liquides** : englobent les eaux usées domestiques, les effluents industriels, les huiles usagées, les lixiviats, etc.
- **Déchets gazeux** : issus des procédés de combustion ou d'évaporation. Ils comprennent par exemple les fumées industrielles, les gaz d'échappement, les émissions de méthane ou de COV (composés organiques volatils).

c. Selon la nature ou la dangerosité

- **Déchets inertes** : ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique notable dans le temps (ex : gravats, bétons, terres excavées propres).
- **Déchets banals (ou non dangereux)** : déchets courants qui ne présentent pas de danger particulier pour la santé ou l'environnement (ex : papier, carton, verre, plastique non souillé).
- **Déchets spéciaux** : nécessitent un traitement spécifique en raison de leurs caractéristiques (ex : pneus usagés, déchets d'équipements électriques et électroniques DEEE).

- **Déchets dangereux** : contiennent des substances toxiques, inflammables, corrosives ou réactives. Ils présentent un risque pour la santé humaine ou l'environnement (ex : solvants, piles, huiles usagées, produits phytosanitaires).

2.2.3. Les types de Valorisation des déchets

La valorisation des déchets consiste à leur donner une seconde vie en les réintégrant dans le cycle économique, plutôt que de les éliminer. Cette approche permet de préserver les ressources naturelles et de réduire l'impact environnemental [10]. Elle repose sur l'idée que les déchets doivent être perçus comme des ressources exploitables, pouvant être réutilisées dans de nombreuses applications après leur premier cycle de vie.

Selon leur nature, différents types de valorisation sont possibles :

- **Valorisation matérielle** : transformation des déchets en matières premières secondaires utilisées dans la fabrication de nouveaux produits. Par exemple, certains résidus agricoles peuvent être transformés en excipients naturels, comme la cellulose issue de coques ou de graines, utilisée dans la formulation pharmaceutique.
- **Valorisation organique** : consiste à traiter les déchets biodégradables par **compostage** ou **méthanisation**, produisant respectivement du compost pour les sols, ou du méthane utilisable comme gaz naturel [11].
- **Valorisation énergétique** : des déchets agricoles (pailles, résidus de culture, bois) peuvent servir de **biomasse**, brûlée pour générer de la chaleur ou convertie en électricité dans des installations adaptées [12].
- **Valorisation chimique** : certains déchets, notamment plastiques, peuvent être transformés chimiquement (ex. **pyrolyse**) pour produire des carburants liquides ou gazeux [13].
- **Biodigestion (ou digestion anaérobie)** : processus biologique en absence d'oxygène, produisant du **biogaz** (principalement du méthane) et du **digestat**, valorisable comme engrais.

2.3. APERÇU GENERAL SUR LE PALMIER DATTIER : PLANTE, FRUITS ET NOYAUX

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une monocotylédone dioïque, avec des individus mâles, désignés sous le terme de dokkars, et des individus femelles, appelés nakhil [14-16]. Bien

qu'il soit couramment perçu comme un arbre, il s'agit en réalité d'une herbe géante, pour il ne possède pas de bois véritable au sens botanique. L'épaississement de son stipe (faux tronc) résulte de l'accumulation de faisceaux vasculaires, un processus désigné par le terme "croissance secondaire". Le palmier peut atteindre une hauteur de 15 à 25 mètres, voire 30 mètres dans certains situations, et peut vivre plus de 100 ans.

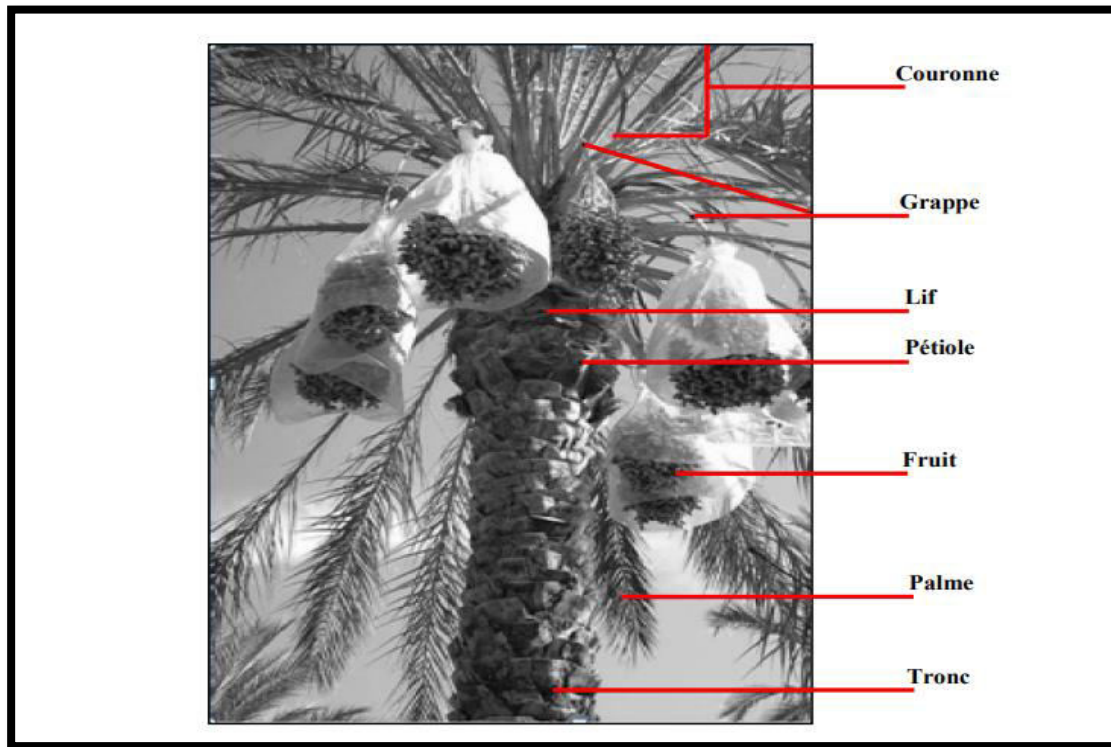


Figure 2.1. Schéma du palmier dattier [16].

Phoenix dactylifera est l'un des arbres fruitiers les plus anciennement cultivés. Rustique, il s'adapte particulièrement aux climats arides et constitue une ressource essentielle pour les populations sahariennes. On le retrouve principalement dans les régions afro-asiatiques. En Algérie, on recensait environ 18 millions de palmiers en 2012, répartis en plusieurs variétés [17].

Ce palmier joue un rôle écologique et économique crucial dans les oasis, grâce à sa tolérance aux conditions climatiques extrêmes, à la richesse nutritionnelle de ses fruits et à la diversité de ses produits dérivés [18].

2.3.1. Historique et origine du palmier dattier

Les plus anciens fossiles de palmiers ont été trouvés dans des formations rocheuses du Miocène inférieur. Le palmier est désigné sous le nom de *Phoenicites pallavicinii*. De nombreux fossiles du genre *Phoenicites* ont été découverts en France, en Suisse et dans le nord de l'Italie, désignés sous le nom de *Phoenix dactylifera fossilis* [19]. Étonnamment, aucun fossile n'a été découvert dans les régions agricoles contemporaines, ce qui renforce l'hypothèse de Drude selon laquelle l'Europe constituerait le berceau du type *Phoenix* [20].

Le palmier dattier a été introduit dans Afrique de l'Est par les Arabes, antérieurement aux grandes découvertes maritimes du XVe siècle. Depuis son aire d'origine, sa culture s'est répandue vers l'Est, atteignant l'Iran et la vallée de l'Indus dès 2500 av. J.-C., et vers l'Ouest, depuis l'Égypte jusqu'à la Mauritanie, en passant par la Libye, la Tunisie (Djerid), l'Algérie (Souf, Oued Righ, Tidikelt, Saoura, Zibans) et le Maroc (Tafilalet, vallée du Drâa). Le palmier dattier fut introduit en Afrique de l'Est par les Arabes, bien avant les grandes explorations maritimes du XVe siècle [21]. À partir de son aire d'origine, sa culture s'est diffusée vers l'Est, atteignant l'Iran et la vallée de l'Indus dès 2500 av. J.-C., et vers l'Ouest, depuis l'Égypte jusqu'à la Mauritanie, via la Libye, la Tunisie (Djerid), l'Algérie (Souf, Oued Righ, Tidikelt, Saoura, Zibans), et le Maroc (Tafilalet, vallée du Drâa) [20,21].

Aujourd'hui, la culture du dattier est concentrée dans l'hémisphère Nord, dans les zones arides et semi-arides chaudes [22]. Le nom *Phoenix dactylifera* a été attribué par Linné en 1734. *Phoenix* vient du mot grec *Phoinix*, nom donné au palmier par les Grecs anciens, en référence aux Phéniciens, tandis que *dactylifera* dérive de *dactylus* (doigt), en raison de la forme du fruit [21].

2.3.2. Production de palmiers dattiers

a. À l'échelle mondiale

Le palmier dattier, symbole des zones désertiques, est principalement cultivé entre les latitudes 10° et 35° Nord. Il est notamment présent autour du Golfe Persique, en Afrique du Nord, en Asie et en Amérique, particulièrement en Californie dans la vallée de Coachella, où il a été introduit au XVIIIe siècle. En Europe, l'Espagne est le site de la renommée palmeraie d'Elche. Il est également présent au Mexique, en Argentine, aux Antilles et en Australie, mais à une échelle réduite (voir figure 2.2). Le total des palmiers dattiers dans le monde est évalué à plus de 120 millions.

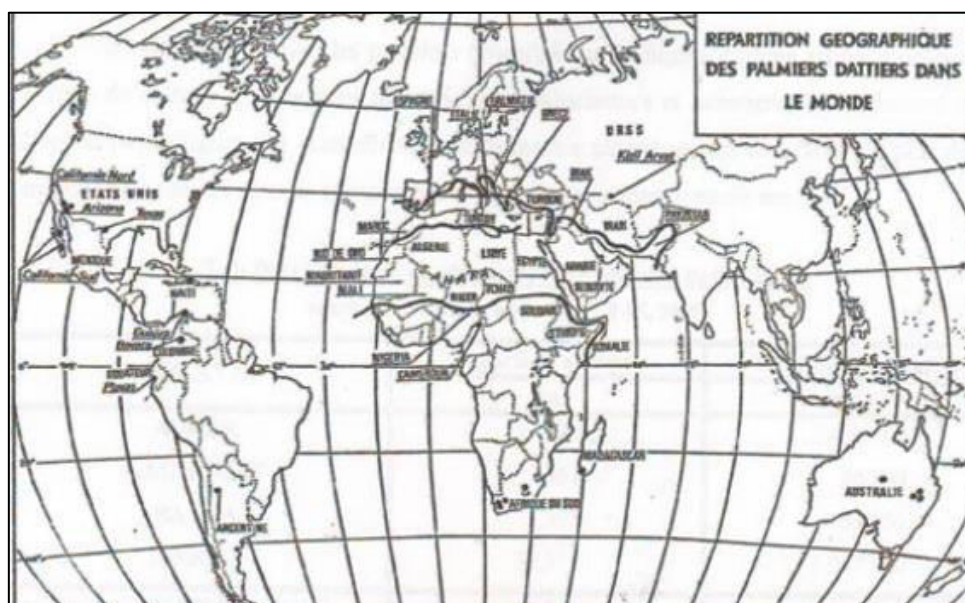


Figure 2.2. Répartition géographique du palmier dattier [21].

b. Ressources en graines de palmier dattier en Algérie

En Algérie, la production de dattes est concentrée dans le sud-est du pays, qui représente environ 76 % de la production nationale (voir Figure 2.3). La wilaya de Biskra est la première région phoenicicole du pays, avec près de 31 % de la production nationale.

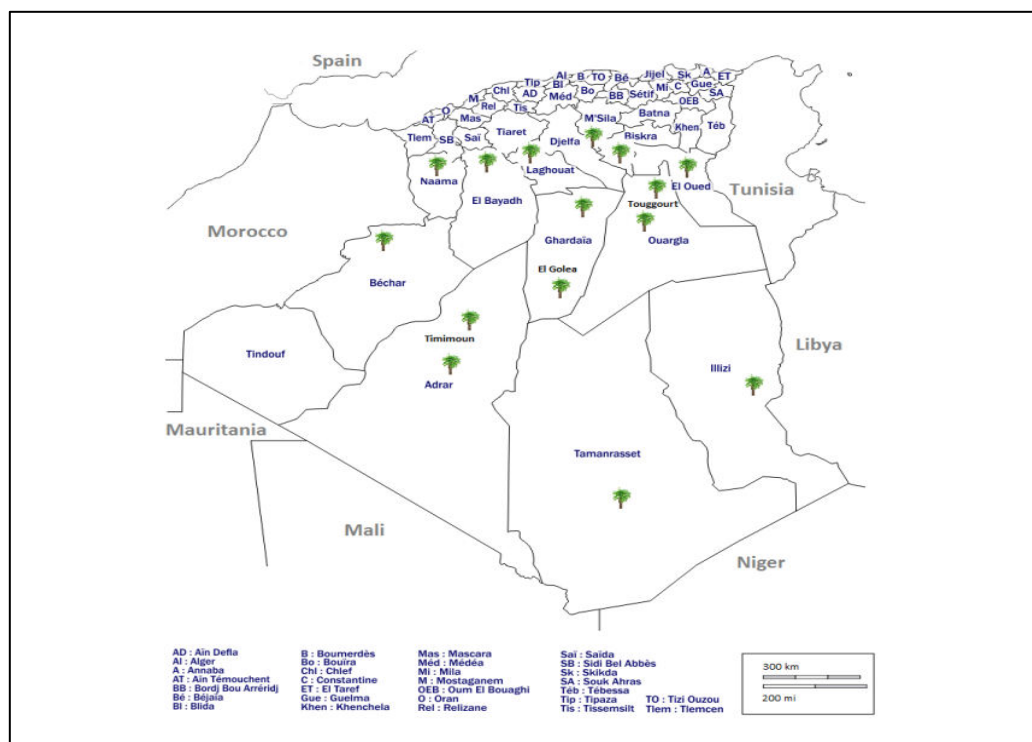


Figure 2.3. Localisation principale des oasis algériennes [22].

c. Dans la wilaya de Biskra

Biskra constitue la principale région de culture du palmier dattier en Algérie, couvrant 27,4 % de la superficie phoenicicole nationale avec un patrimoine de 4,31 millions de palmiers, soit 23,19 % du total national. En 2015, la production y atteignait plus de 4 millions de quintaux de dattes.

Les palmeraies y sont majoritairement localisées dans les Zibans occidentales (Tolga, Foughala, Leghrous, Bordj Benazouz, Ourlal, Ouled Djellal, Sidi Khaled), tandis que les Zibans orientales en comptent moins (Djemora, Baranis, M'chounech, Loutaya, El-Kantara). La variété dominante est *Deglet Nour*, réputée pour la qualité supérieure de ses fruits, représentant environ 60 % des palmiers dattiers de la wilaya [23].

2.3.3. Généralité sur les dattes

La datte, fruit provenant du palmier dattier, se présente le plus souvent sous la forme d'une baie allongée, oblongue ou arrondie. Elle se compose d'un noyau dur, entouré de chair. La composante alimentaire de la datte, connue sous le nom de chair ou de pulpe, se compose (voir figure 2.4) :

- D'un péricarpe ou d'une enveloppe cellulosique fine appelée peau.
- Le mésocarpe est habituellement charnu, sa consistance varie en fonction de sa teneur en sucre et il présente une couleur soutenue.
- L'endocarpe se distingue par sa couleur plus claire et sa texture fibreuse, pouvant parfois être réduite à une membrane parcheminée entourant le noyau [24].

Les dimensions des dattes varient considérablement, allant de 2 à 8 cm de longueur et pesant entre 2 et 8 grammes en fonction des différentes variétés. Leur teinte varie du blanc jaunâtre au noir, en incluant des nuances d'ambre, de rouge et de brun plus ou moins foncé [25].

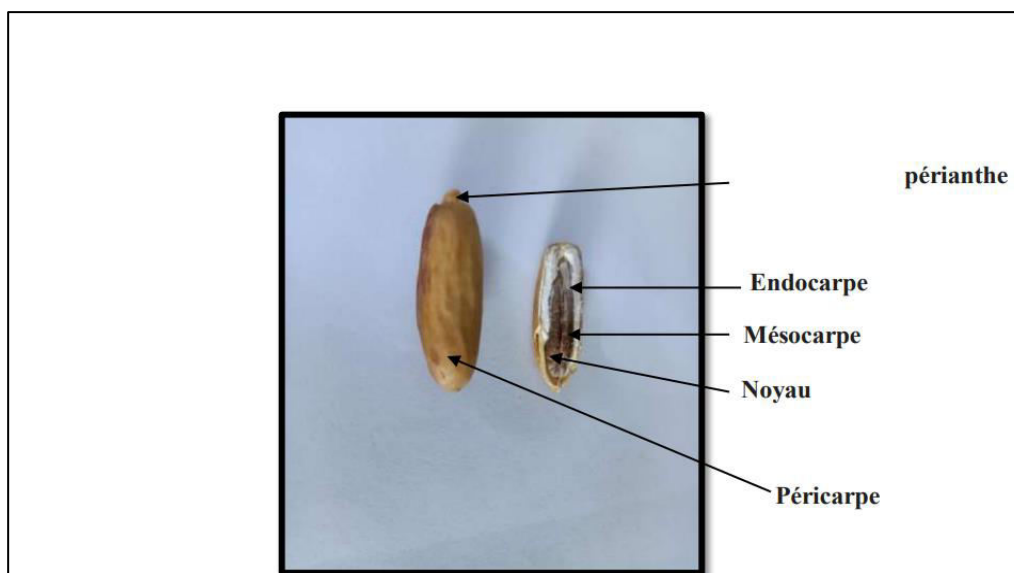


Figure 2.4. Morphologie et anatomie du fruit du palmier du dattier (Mech-degla) [26].

2.3.4. Caractéristiques générales des noyaux de dattes

Les noyaux de dattes, également appelés graines, pierres ou fosses, constituent la partie interne du fruit. Ils se présentent sous forme solide, avec une consistance très dure et cornée, et sont composés principalement d'un endosperme (ou albumen) blanc, dense et résistant, enveloppé d'une couche externe cellulosique protectrice [27,28].

Dans de nombreux pays producteurs et consommateurs de dattes, ces noyaux sont souvent considérés comme des déchets agricoles. Ils sont généralement jetés ou, plus rarement, valorisés de manière limitée dans l'industrie agroalimentaire [29,30]. Toutefois, des recherches récentes ont démontré le potentiel de valorisation de ces résidus organiques après transformation industrielle. En raison de leur composition biochimique, les noyaux de dattes constituent une ressource à haute valeur ajoutée. Ils sont notamment riches en protéines, fibres alimentaires, composés phénoliques et antioxydants, ce qui permet leur utilisation comme ingrédient fonctionnel dans des formulations alimentaires destinées à améliorer la valeur nutritionnelle des produits [30].

2.3.4.1. Description morphologique

La graine de datte, également appelée noyau, se caractérise généralement par une forme allongée et une taille variable en fonction des différentes variétés. En moyenne, il pèse environ 1 gramme et constitue entre 7 % et 30 % du poids total du fruit, en fonction du cultivar. Il est revêtu

d'un endocarpe parcheminé, généralement lisse ou parfois décoré de protubérances latérales en forme d'arêtes ou d'ailettes. En général, une rainure ventrale (sillon) est observable à la surface, alors que l'embryon se trouve en position dorsale (Figure 2.5) [31].

La partie interne du noyau est dominée par un albumen dur et corné, qui constitue l'essentiel du volume. L'embryon, bien que présent, est extrêmement réduit, mesurant généralement entre 2 et 3 mm, et reste peu développé par rapport à l'ensemble du noyau [32].

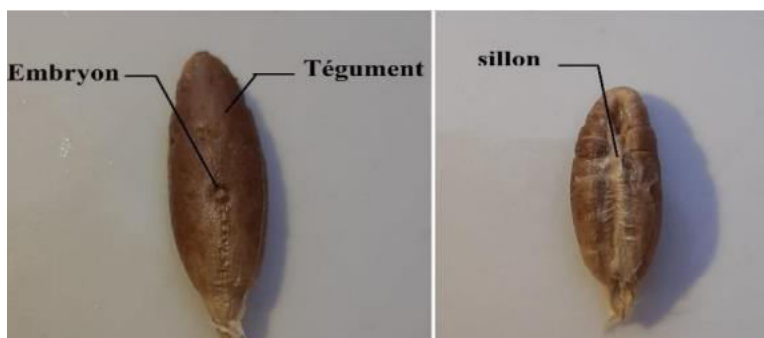


Figure 2.5. Noyau de datte [33].

Les noyaux de dattes présentent une variabilité morphologique notable, même entre des palmiers cultivés dans une même exploitation. Selon [34], des différences significatives ont été observées concernant le diamètre, la longueur et le poids des noyaux. Ces variations peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment le type de pollen utilisé lors de la pollinisation, comme l'a démontré [35], soulignant l'impact génétique du pollen sur les caractères morphologiques des fruits et de leurs noyaux.

Les recherches menées sur des variétés algériennes, notamment celles issues des Ziban, ont mis en évidence des variations notables entre cultivars. Ainsi, les noyaux peuvent présenter :

- un **poids** compris entre 0,60 et 1,69 g,
- un **diamètre** allant de 0,58 à 1 cm,
- Une **longueur** variante entre 2,9 et 3,15 cm [34].

2.3.4.2. Composition chimique du noyau de datte

Le noyau de datte est une matrice complexe et riche, dont la composition chimique varie selon la variété, les conditions de culture et les méthodes d'analyse. Le tableau ci-dessous présente les principales composantes chimiques identifiées par différents auteurs :

Tableau 2.1. La composition chimique de noyau de la datté [36]

Composant	Teneur moyenne
Teneur en eau (%)	7 à 19
Protéines (% MS, variété Shahal)	2,29
Matières grasses (%)	13,2
Sucres totaux (%)	4,4
Fibres alimentaires (%)	70
Polyphénols totaux (% MS)	0,0215 à 0,0526
Minéraux (% MS) :	
- Potassium (K)	25,4 – 28,9
- Calcium (Ca)	1,35 – 1,87
- Phosphore (P)	6,74 – 9,36
- Sodium (Na)	0,38 – 1,48
- Fer (Fe)	0,22 – 1,68
- Cuivre (Cu)	0,07 – 0,2
- Manganèse (Mn)	0,06 – 0,09

Cette composition confère aux noyaux de dattes un intérêt nutritionnel, fonctionnel et industriel, justifiant leur valorisation dans divers secteurs, notamment l'alimentation, la cosmétologie et la production de biomatériaux.

2.4. VALORISATION DES NOYAUX DE DATTES

Les noyaux de dattes, souvent considérés comme des résidus agricoles, représentent pourtant une ressource précieuse dotée d'un potentiel de valorisation considérable dans divers domaines, notamment l'industrie agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique et environnementale. Leur composition chimique riche en fibres, lipides, polysaccharides, antioxydants et composés phénoliques, leur confère des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles prometteuses. Cette richesse en bioactifs en fait une matière première à haute valeur ajoutée pour le développement de produits innovants et durables [37].

2.4.1. Valorisation en alimentation humaine

Les noyaux de dattes peuvent être transformés en poudre fine après séchage et broyage, et incorporés dans des formulations alimentaires pour enrichir leur profil nutritionnel :

- **Substitut partiel de farine de blé** : Selon Khali et al. [37], l'incorporation de poudre de noyaux de dattes dans la farine de blé tendre à des taux de 5 %, 10 %, 15 % et 20 % permet d'augmenter la teneur en fibres alimentaires et en antioxydants. Cette approche vise à produire des pains, biscuits ou gâteaux plus sains, tout en valorisant un sous-produit agricole.
- **Substitut de café** : Dans plusieurs pays arabes, les noyaux de dattes torréfiés sont moulus et utilisés pour préparer une boisson chaude, souvent mélangée à du café, réduisant ainsi l'apport en caféine. Cette boisson au goût caramélisé offre une alternative naturelle au café décaféiné [38].

2.4.2. Valorisation en alimentation animale

Les noyaux de dattes sont aussi utilisés comme compléments alimentaires pour le bétail, notamment pour les ruminants. Riches en fibres et en énergie, ils sont intégrés dans les rations animales, parfois sous forme de farine ou après fermentation, et permettent de réduire le coût global de l'alimentation tout en valorisant les résidus agro-industriels [39–43].

2.4.3. Valorisation en cosmétologie

Dans le domaine cosmétique, les extraits de noyaux de dattes sont de plus en plus exploités pour leurs propriétés antioxydantes, hydratantes et anti-âges :

- **Soins capillaires** : La poudre de noyaux de dattes est utilisée en masque capillaire pour renforcer les cheveux et stimuler leur croissance.
- **Cosmétiques pour les yeux** : Elle entre également dans la fabrication de produits cosmétiques destinés aux soins oculaires, notamment pour soulager les inflammations ou améliorer l'apparence du contour des yeux [44].
- **Anti-âge naturel** : Les extraits lipidiques du noyau sont riches en acides gras essentiels et en composés bioactifs qui contribuent à atténuer visiblement les rides et à améliorer l'élasticité de la peau [45].

2.4.4. Valorisation industrielle

Les noyaux de dattes recèlent également un fort potentiel dans l'industrie, notamment dans les domaines des **biomatériaux, de la chimie verte et du traitement des eaux** :

- **Polysaccharides fonctionnels** : Les noyaux renferment des polysaccharides végétaux capables de former des gels et des solutions colloïdales. Ces propriétés sont exploitées pour produire des agents épaississants et gélifiants, utilisés notamment dans les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique. Bouanani et al. [46], à travers l'étude de la variété algérienne *Degla Baïda*, ont montré que ces polymères naturels sont exploitables industriellement.
- **Production de charbon actif** : Les noyaux de dattes, riches en carbone, peuvent être carbonisés pour obtenir du charbon actif. Ce matériau est particulièrement efficace dans l'**adsorption de polluants** tels que les phénols, les métaux lourds, ou les gaz toxiques. Des recherches menées par Addoun et al. [49], ainsi que par Banat et al. [47], ont confirmé la performance du charbon actif issu de noyaux de dattes dans des applications telles que la purification d'eaux usées, le traitement de l'air ou encore en pharmacologie pour l'adsorption de substances indésirables [48–51]

2.4.5. Valorisation des noyaux de dattes dans les matériaux composites

a. Composites à matrice polymère thermodurcissable (époxy)

Des études ont exploré l'incorporation de poudre de noyaux de dattes dans des matrices époxy pour améliorer les propriétés mécaniques des composites. Par exemple, l'ajout de 15 à 25 % en poids de poudre de noyaux de dattes a permis d'augmenter la résistance à la traction, la flexion et la dureté des composites, tout en réduisant leur coût et leur empreinte carbone [52].

b. Composites à matrice thermoplastique (PVC)

Une recherche menée à l'École Nationale Polytechnique d'Alger a étudié l'effet de l'incorporation de farine de noyaux de dattes traitée chimiquement dans une matrice de polychlorure de vinyle (PVC). Les résultats ont montré une amélioration de la dureté et de la rigidité des composites, avec une réduction de la densité, suggérant leur potentiel pour des applications dans les domaines de l'emballage et de l'automobile [53].

c. Composites renforcés par fibres de verre

L'intégration de poudre de noyaux de dattes dans des composites à base de fibres de verre et de résine époxy a été étudiée pour évaluer son impact sur les propriétés mécaniques. Les résultats ont indiqué que l'ajout de 15 à 35 % en poids de poudre de noyaux de dattes améliorait la résistance à

la flexion et l'absorption d'énergie des composites, offrant une alternative plus écologique aux composites traditionnels [54].

d. Applications biomédicales

Des recherches ont également exploré l'utilisation de poudre de noyaux de dattes dans des composites époxy pour des applications biomédicales. Les études ont montré que l'incorporation de microparticules de noyaux de dattes améliorerait la résistance à l'usure des composites, les rendant adaptés pour des applications telles que les prothèses orthopédiques [55].

2.5. CONCLUSION

Face aux enjeux croissants liés à la gestion durable des ressources et à la réduction de l'impact environnemental, la valorisation des déchets agricoles s'impose comme une démarche stratégique. Parmi ces déchets, les noyaux de dattes, longtemps perçus comme de simples résidus, révèlent aujourd'hui un potentiel considérable. Issus massivement de l'industrie phoenicicole, notamment dans les régions productrices comme l'Algérie, ces noyaux constituent une ressource organique abondante, renouvelable et sous-exploitée.

Grâce à leur composition riche en fibres lignocellulosiques, les noyaux de dattes sont désormais reconnus comme renforts naturels prometteurs dans la fabrication de matériaux composites. Leur intégration dans des matrices polymériques, thermoplastiques ou thermodurcissables permet non seulement d'alléger les matériaux tout en améliorant certaines propriétés mécaniques, mais aussi de réduire la dépendance aux fibres synthétiques ou minérales coûteuses et polluantes.

La valorisation de ces noyaux s'inscrit donc pleinement dans une logique d'économie circulaire, transformant un déchet en produit à haute valeur ajoutée, tout en contribuant à la réduction des émissions de carbone, à la préservation des ressources naturelles et à la création de filières industrielles locales innovantes et durables.

Encourager la recherche, l'innovation technologique et l'investissement dans ce domaine ouvre la voie à une nouvelle génération de matériaux biosourcés, plus respectueux de l'environnement et adaptés aux besoins des secteurs de la construction, de l'automobile, de l'emballage ou encore du biomédical. Il est donc essentiel de considérer les noyaux de dattes non plus comme un résidu encombrant, mais comme un levier stratégique pour une transition vers une industrie plus verte et résiliente.

Références bibliographiques

- [1] **Almi, K., Benchabane, A., Lakel, S., & Kriker, A.** (2015). Potential utilization of date palm wood as composite reinforcement. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(15), 1231–1240.
- [2] **Elkhouly, H. I., Abdel-Magied, R. K., & Aly, M. F.** (2020). An investigation of date palm seed as effective filler material of glass–epoxy composites using optimization techniques. *Polymers and Polymer Composites*, 28(6), 541–553.
- [3] **Masri, T., Ounis, H., Benchabane, A., & Sedira, L.** (2019). Effect of lignin on the mechanical properties of a composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. *Tecnica Italiana-Italian Journal of Engineering Science*, 63, 393–396.
- [4] **Yagoub, M., Masri, T., Benchabane, A., Djeridi, B., Merah, A., & Benchabane, G.** (2024). Hybrid matrix using polyester resin to improve the physical and mechanical properties of recycled expanded polystyrene matrix. *Journal of Composite & Advanced Materials/Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 34(3), 339–348.
- [5] **Vazquez-Nunez, E., Avecilla-Ramirez, A. M., Vergara-Porras, B., & López-Cuellar, M. D. R.** (2021). Green composites and their contribution toward sustainability: A review. *Polymers and Polymer Composites*, 29(9_suppl), S1588–S1608.
- [6] **Research AndMarkets.com.** (2024, September 16). Natural Fiber Composites Business Research Report 2023–2030: While developed regions remain primary revenue contributors, developing regions exhibit fast-paced growth. <https://www.researchandmarkets.com>
- [7] **Union Européenne.** (2008). Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets. *Journal officiel de l’Union européenne*, L 312/3.
- [8] **Bouزيد Lahlal, & Boucetta, N.** (2018). Analyse filières de la gestion des déchets Cas : la ville de Béjaïa [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia].
- [9] **Soudani, A., & Hadjoudj, Y.** (2021). Résistance aux chocs de matériaux composites renforcés par des déchets plastiques [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla].
- [10] **Ademe.** (1996). La collecte et le traitement des déchets. Agence de l’environnement et de la Maîtrise de l’Énergie.
- [11] **Gouilliard, S., & Legendre, A.** (2003). Déchets ménagers. In *Écologie, environnement industriel et développement soutenable* (pp. 43–71). Economica.

- [12] **Cheng, H., Zhang, Y., Meng, A., & Li, Q.** (2007). Municipal solid waste fueled power generation in China: A case study of waste-to-energy in Changchun City. *Environmental Science & Technology*, 41(23), 7509–7515.
- [13] **Pichat, P.** (2013, mars). Les déchets : valorisation-traitement. *Chimie Paris*, (340),2
- [14] **Jones, D. L.** (1995). *Palms throughout the world*. Reed Books.
- [15] **Delenze, J.** (1994). *Palmier pour le climat méditerranéen*. Champ Flour.
- [16] **Azier, M. W.** (2007). Étude comparative de trois pieds mâles de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et l'impact de leurs pollens sur quelques caractéristiques physicochimiques des dattes dans la région d'El Maleh (Biskra) [Mémoire d'ingénieur d'état, Université de Biskra].
- [17] **Benmaamar, A.** (2011). Valorisation de la biomasse lignocellulosique de palmier dattier par production de bioéthanol [Thèse de doctorat, Université de Tlemcen].
- [18] **Baidouri, N., Lounis, M., Benchabane, A., & Bouguermouh, A.** (2021). Physical and mechanical behavior of expanded polystyrene waste–reinforced plaster composite. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 15(56), 285–296.
- [19] **Touat, H., Masri, T., Djemai, M., Benchabane, A., Boukerrou, A., & Maazouz, A.** (2022). Characterization of bio-composites based on date palm fibers: Mechanical and thermal properties. *Journal of Natural Fibers*, 19(7), 2743–2755.
- [20] **Masri, T., Ounis, H., & Benchabane, A.** (2020). Valorization of date palm leaflets and waste expanded polystyrene in lightweight composite materials: Physical and mechanical properties. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 14(54), 90–98.
- [21] **Mekki, A., Mellas, M., & Hadjadj, M.** (2016). Physical and mechanical characterization of composite material based on palm tree fiber and thermoplastic matrix. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(5), 34–39.
- [22] **Douaioui, K., Benmoussa, S., & Benmoussa, H.** (2016). Recycling of expanded polystyrene waste in construction materials: A review. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 328–337.
- [23] **Mounir, H., Benchabane, A., Masri, T., & Maazouz, A.** (2021). Comparative study of mechanical properties of natural fiber composites: Date palm fibers versus other vegetable fibers. *Polymers and Polymer Composites*, 29(6), 403–411.
- [24] **Belkacem, L., & Kriker, A.** (2016). Effect of alkaline treatment on the mechanical behavior of date palm fibers used in composite materials. *Courrier du Savoir*, 21, 115–122.

- [25] **Sautereau, H., & Pascault, J. P.** (2001). Matériaux composites à matrice polymère. *Techniques de l'ingénieur*, 1(AM3 910), 1–20.
- [26] **Boukerrou, A., Masri, T., Benchabane, A., & Maazouz, A.** (2020). Influence of fiber content and chemical treatment on properties of bio-composites based on date palm fibers and recycled polystyrene. *Polymers from Renewable Resources*, 11(2), 85–101.
- [27] **Chabira, S. F., & Abderrahim, K.** (2018). Étude des propriétés mécaniques de composites à matrice thermoplastique chargée par des fibres végétales: Application aux fibres de palmier dattier. *Revue des Énergies Renouvelables*, 21(2), 281–290.
- [28] **Hajjaj, S., & Bensalah, M. O.** (2017). Utilisation des déchets plastiques dans les bétons: Une alternative écologique. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 36, 44–50.
- [29] **Belabed, Z., & Younes, B.** (2020). Étude expérimentale sur l'incorporation du polystyrène expansé recyclé dans les mortiers légers. *Courrier du Savoir*, 29, 93–99.
- [30] **Benguediab, M., & Haddad, M.** (2015). Recyclage des déchets plastiques dans les matériaux composites à base de fibres végétales. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 33, 51–57.
- [31] **Benchabane, A., Boukerrou, A., & Masri, T.** (2022). Impact of chemical treatment on the interfacial bonding and mechanical behavior of natural fiber composites. *Materials Today: Proceedings*, 49, 1856–1863.
- [32] **Toumi, H., & Touati, M.** (2019). Contribution à la valorisation des déchets de polystyrène dans les matériaux de construction. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 42, 16–22.
- [33] **El Wafa, M. A., & Ashour, A. F.** (2019). Mechanical behavior of lightweight concrete using recycled polystyrene aggregate. *Construction and Building Materials*, 202, 425–431.
- [34] **Atbir, A., & Boukhatem, B.** (2016). Étude expérimentale du comportement du béton léger à base de polystyrène expansé recyclé. *Courrier du Savoir*, 21, 135–140.
- [35] **Messaoudene, M., Benchabane, A., Masri, T., Boukerrou, A., & Maazouz, A.** (2023). Experimental investigation on thermal and mechanical properties of hybrid biocomposites reinforced with date palm fibers and polystyrene. *Journal of Composite Materials*, 57(3), 405–418.
- [36] **Benyahia, A., & Tcharkhtchi, A.** (2020). Recyclage des déchets plastiques pour la fabrication des matériaux composites. *Techniques de l'Ingénieur*, 1(AM3 920), 1–15.

- [37] **Chikhi, N., & Benachour, K.** (2016). Influence du traitement alcalin sur les propriétés des fibres végétales: Application aux fibres de palmier dattier. *Revue des Énergies Renouvelables*, 19(2), 319–325.
- [38] **Khenfer, M. M., & Gherabli, A.** (2021). Étude comparative des propriétés mécaniques des composites renforcés par des fibres naturelles. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 47, 15–21.
- [39] **Djeghlal, M., & Boukerrou, A.** (2022). Influence de la taille des fibres de palmier sur les propriétés des composites thermoplastiques recyclés. *Polymers from Renewable Resources*, 13(1), 55–63.
- [40] **Djerir, H., & Belkacem, B.** (2018). Recyclage du polystyrène dans les matériaux de construction: Propriétés physiques et mécaniques. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 38, 34–41.
- [41] **Bensalem, S., & Toumi, H.** (2020). Composites à base de fibres de palmier et de polystyrène: Étude des performances mécaniques. *Revue des Énergies Renouvelables*, 23(3), 421–428.
- [42] **Benrabah, S., & Hadj, M. S.** (2021). Évaluation de la résistance thermique des bétons légers à base de polystyrène recyclé. *Courrier du Savoir*, 30, 99–106.
- [43] **Benchabane, A., Boukerrou, A., & Masri, T.** (2021). Effet de la teneur en fibres sur les propriétés des biocomposites thermoplastiques. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1421–1427.
- [44] **Belkacem, B., & Djerir, H.** (2022). Étude de la conductivité thermique des mortiers allégés au polystyrène recyclé. *Revue des Énergies Renouvelables*, 25(1), 103–110.
- [45] **Touati, A., & Bensalem, S.** (2020). Effet des fibres de palmier dattier sur le comportement thermique des composites polymères. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 43, 17–24.
- [46] **Boukerrou, A., & Benchabane, A.** (2018). Étude des propriétés physiques et mécaniques des composites renforcés par des fibres naturelles. *Revue des Énergies Renouvelables*, 21(1), 123–130.
- [47] **Mezghiche, B., & Khenfer, M. M.** (2019). Recyclage du polystyrène expansé dans les mortiers légers: Application et performances. *Courrier du Savoir*, 26, 66–72.

- [48] **Djeghlal, M., & Gherabli, A.** (2020). Étude expérimentale des composites à matrice polymère renforcés par des fibres végétales. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 42, 45–51.
- [49] **Bensalem, S., & Toumi, H.** (2019). Propriétés hygrothermiques des composites biosourcés à base de fibres de palmier. *Revue des Énergies Renouvelables*, 22(2), 309–316.
- [50] **Achour, A., & Boukhatem, B.** (2020). Étude de l'impact du polystyrène recyclé sur les propriétés thermiques des matériaux composites. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 45, 11–18.
- [51] **Merabtene, T., & Mezghiche, B.** (2021). Analyse du comportement des composites thermoplastiques à fibres naturelles sous sollicitation thermique. *Polymers from Renewable Resources*, 13(4), 245–252.
- [52] **Chikhi, N., & Belkacem, B.** (2020). Effets du traitement alcalin des fibres de palmier sur l'adhésion interfaciale dans les composites polymères. *Materials Today: Proceedings*, 39, 2016–2022.
- [53] **Khenfer, M. M., & Benrabah, S.** (2018). Recyclage des déchets plastiques dans les matériaux de construction: Cas du polystyrène. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 37, 60–66.
- [54] **Djerir, H., & Gherabli, A.** (2021). Étude de la durabilité des composites polymères à base de fibres naturelles. *Revue des Énergies Renouvelables*, 24(2), 378–385.
- [55] **Belarbi, R., & Djeghlal, M.** (2022). Performance thermique et mécanique des biocomposites intégrant des fibres de palmier et du polystyrène recyclé. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 49, 31–38.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

3.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de cette étude, deux matériaux composites ont été développés en vue d'une application potentielle dans la fabrication d'accessoires automobiles. Ces composites intègrent comme charge naturelle la poudre de noyaux de dattes, une ressource agroalimentaire renouvelable et disponible en grande quantité dans les régions productrices de dattes. L'utilisation de ce déchet végétal s'inscrit dans une approche de valorisation durable, visant à réduire l'impact environnemental des matériaux synthétiques classiques.

Les deux formulations élaborées diffèrent par la nature de leur matrice polymère : la première est un composite à base de résine polyester insaturée, et la seconde repose sur le chlorure de polyvinyle (PVC), toutes deux renforcées par des teneurs spécifiques de poudre de noyaux de dattes. Le choix de ces matrices repose sur leurs bonnes propriétés mécaniques, leur facilité de transformation et leur large usage dans les secteurs industriels, notamment automobile.

L'objectif de cette phase expérimentale est d'étudier l'influence de l'incorporation des noyaux de dattes sur les propriétés finales des composites, en ciblant les exigences des applications automobiles telles que les éléments de garniture intérieure, les supports non structurels ou les panneaux décoratifs. Pour cela, les noyaux ont été préalablement traités (séchage, broyage, tamisage), avant incorporation dans les matrices par des procédés adaptés (moulage par compression ou coulée).

Une série de caractérisations ont ensuite été menées pour évaluer les performances des matériaux en termes de propriétés mécaniques (résistance à la traction, flexion, dureté), propriétés thermiques (stabilité thermique, comportement au feu) et analyse morphologique (structure, dispersion de la charge). Ces analyses permettent de déterminer la faisabilité et les limites de ces matériaux pour des applications réelles dans le secteur automobile.

3.2. PREPARATION ET CARACTÉRISATION DE LA POUDRE DE NOYAUX DE DATTES

3.2.1. Préparation de la charge végétale : poudre de noyaux de dattes (PND)

Les noyaux de dattes utilisés dans cette étude ont été récupérés à partir de déchets agroalimentaires locaux, dans une démarche de valorisation de sous-produits agricoles. Ils proviennent principalement de la variété Mech-Deglet (figure 3.1), largement répandue dans la région étudiée. Leur préparation en tant que charge végétale pour l'élaboration des composites a

suivi une série d'étapes précises, décrites ci-dessous et résumées dans l'organigramme de la figure 3.2. Ce schéma illustre l'ensemble du processus de traitement, depuis la collecte jusqu'à l'obtention de la poudre de noyaux prête à être incorporée aux matrices polymériques.



Figure 3.1. Nayaux de dattes de type Mech-Deglet.

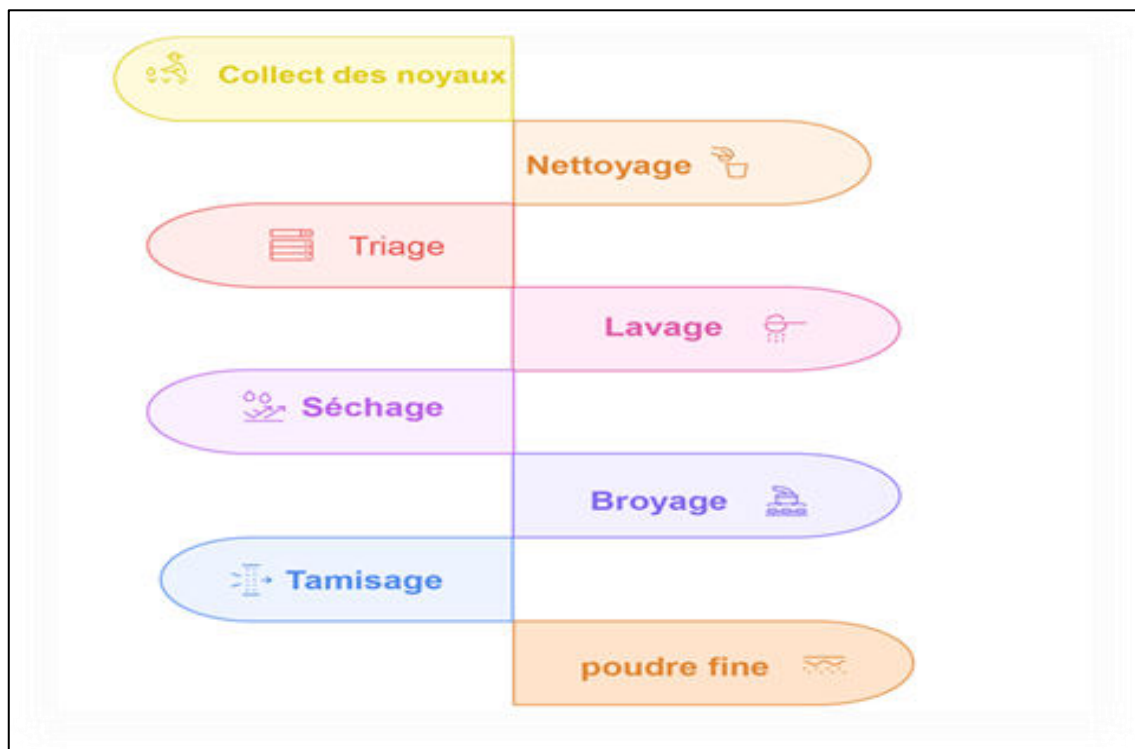


Figure 3.2. Processus de traitement des nayaux de dattes.

a. Collecte des noyaux

- Récupérer les noyaux de dattes à partir de fruits bien mûrs.
- Éliminer toute pulpe restante

b. Nettoyage

- Élimination de la pulpe résiduelle par lavage à l'eau.

c. Séchage

Afin d'étudier l'effet du mode de séchage sur les propriétés des composites, deux types de poudre de noyaux de dattes ont été préparés à partir de noyaux préalablement lavés et broyés.

- **Le premier lot** a été séché à l'air libre pendant plusieurs jours à température ambiante, dans un endroit bien ventilé, à l'abri de l'humidité.
- **Le second lot** a été séché en étuve (figure 3.3) à 110 °C pendant 48 heures, afin d'assurer un séchage plus rapide et plus complet, en réduisant au maximum l'humidité résiduelle dans la charge végétale.

Ces deux types de poudres ont ensuite été utilisés séparément dans l'élaboration des composites, dans le but de comparer l'influence du traitement thermique de la charge sur les propriétés mécaniques, thermiques et morphologiques des matériaux obtenus.



Figure 3.3. L'étuve de séchage.

d. Broyage

Réduction des noyaux secs en poudre à l'aide d'un broyeur mécanique présenté dans la figure 3.4.



Figure 3.4. Broyeur mécanique.

e. Tamisage

Séparation de la poudre obtenue à l'aide d'un tamis de maille différente (figure 3.5) pour garantir une granulométrie homogène et dans l'objectif d'avoir une poudre de diamètre $< 0.125\mu\text{m}$.



Figure 3.5. Tamiseuse.

3.2.2. Caractérisation de la poudre de noyaux des dattes (PND)

Afin de mieux visualiser les différentes étapes expérimentales réalisées sur les PND (produits naturels dérivés), un organigramme récapitulatif a été établi. Celui-ci illustre de manière synthétique et ordonnée les principales méthodes de caractérisation physico-chimiques et cristallographiques appliquées au cours de ce travail.

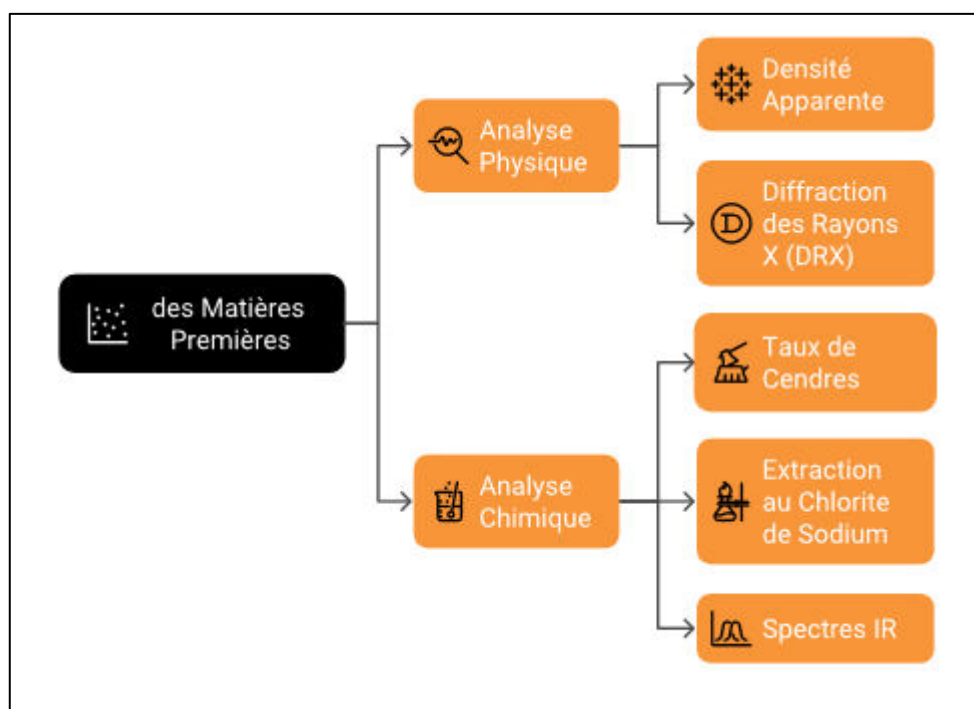


Figure 3.6. Les principales méthodes de caractérisation du PND.

3.2.2.1. Caractérisation physique

a. La mesure de la densité apparente

La densité apparente (ou masse volumique apparente) pour matière première est une propriété physique utilisée pour caractériser les matériaux granulaires ou pulvérulents (comme les poudres, les céréales, le sable, etc.). Elle diffère de la densité réelle (masse volumique intrinsèque du matériau) car elle tient compte des vides (porosité) entre les particules.

La densité apparente (ρ_{app}) est le rapport entre la masse (m) d'un matériau et le volume total (V_{total}) qu'il occupe, y compris les vides et les interstices entre les particules

$$\rho_{app} = \frac{m}{V_{total}} \quad (\text{eqt 3.1})$$

Elle permet d'évaluer le comportement à l'écoulement, la compacité et la facilité de traitement de la poudre en tant que charge dans un composite.

b. Caractérisation physique Analyse cristallographique par diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (XRD) permet d'étudier la structure cristalline des matériaux (figure 3.7). Les noyaux de dattes, comme tout matériau cellulosique, présentent un agencement de cristallites identifiable par leurs plans réticulaires (hkl). Selon la loi de Bragg, la position des pics de diffraction (angle 2θ) permet de déterminer la distance inter-réticulaire (d_{hkl}) [1].

Cette technique aide à :

- Identifier la phase cellulosique cristalline.
- Estimer le taux de cristallinité (utile pour comparer avant/après traitement)

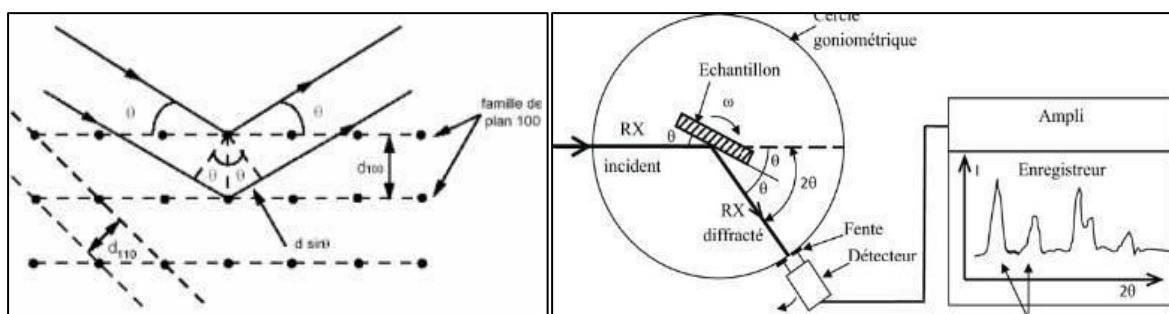


Figure 3.7. Principe de fonctionnement d'un diffractomètre de rayons X [2].

3.2.2.2. Caractérisations chimiques

a. Teneur en Cendres

Le taux de cendres permet d'évaluer la fraction inorganique (minérale) d'un matériau après sa calcination. Il s'agit d'un indicateur de la pureté organique de la matière première.

Procédure expérimentale :

- 1 g de sciure de noyaux de dattes est placé dans un creuset en porcelaine préalablement pesé.
- Le creuset est introduit dans un four à moufle à 550 °C pendant 6 heures.
- Après refroidissement dans un dessiccateur, le creuset est de nouveau pesé.

La teneur en cendres est calculée selon la formule suivante :

$$A = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100\% \quad (\text{eqt 3.2})$$

Où :

M1 : est la masse du creuset en grammes.

M2 : est la masse du creuset et de l'échantillon en grammes.

M3 : est la masse du creuset et des cendres en grammes [3].



Figure 3.8. Procédé de carbonisation dans un four de laboratoire

b. Extraction au chlorite de sodium

Après extraction alcaline, le résidu fibreux présente une teinte brune liée aux groupes chromophores (liaisons insaturées ou conjuguées). Un traitement de blanchiment est donc nécessaire afin d'éliminer les protéines et composés phénoliques, et d'obtenir l'holocellulose.

Protocole de blanchiment :

- Traitement à 70 °C pendant 2 h dans un bain-marie contenant :
 - Solution de chlorite de sodium (NaClO_2) à 1.7 % (w/v)
 - Tampon acétique (27 g de NaOH dans 500 ml d'eau distillée + 75 ml d'acide acétique, complété à 1 L)
 - Rapport volumique : NaClO_2 : tampon acétique : H_2O = 1:1:3
- Après traitement : filtration sur toile (100 μm) et rinçage à l'eau jusqu'à neutralité.
- Séchage : à l'air libre pendant 24 h ou par filtration sous vide.
- L'opération est répétée une seconde fois dans les mêmes conditions pour améliorer la blancheur [4].



Figure 3.9. Dosage des polysaccharides.

c. Analyse Spectrale Par FTIR

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) permet d'identifier les groupes fonctionnels présents dans un matériau, par détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques [5].

- **Principe**

Lorsque l'énergie d'un rayonnement infrarouge est proche de celle de vibration d'une liaison, le matériau absorbe cette énergie. L'analyse est réalisée dans le domaine 4000–400 cm^{-1} , correspondant aux vibrations moléculaires [6].

- **Appareil utilisé**

Spectrophotomètre **SHIMADZU FTIR-8400S**, laboratoire de chimie, Université de Biskra.

- **Préparation des échantillons**

Mélange de 0.001 g de poudre (séché ou non) avec 0.3 g de bromure de potassium (KBr) pour former une pastille.

3.3. ÉLABORATION DES COMPOSITES BIOSOURCÉS

Dans notre étude, deux types de matrices polymériques ont été sélectionnés pour la formulation des matériaux composites : Le choix de ces deux matrices permet de comparer le comportement de composites à matrice thermodurcissable (résine polyester) et thermoplastique (PVC), en vue d'applications dans la fabrication d'accessoires automobiles, où les exigences de résistance, de durabilité et de légèreté sont primordiales.

Dans les deux systèmes, la charge utilisée est constituée de poudre de noyaux de dattes (PND), matériau agroalimentaire valorisé ici en tant que renfort végétal. Deux types de poudre ont été préparés à partir des mêmes noyaux :

- l'une obtenue par **séchage à l'air libre**,
- l'autre par **séchage en étuve à 110 °C pendant 48 h**.

Ces deux variantes permettent d'étudier l'effet du taux d'humidité résiduel et du traitement thermique sur l'interaction matrice-renfort.

Les formulations adoptées pour l'ensemble des échantillons sont identiques pour les deux types de matrices et sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3.1. Pourcentages massiques utilisés dans la formulation des composites.

Mélange	Pourcentage de La matrice %	Pourcentage PND séché %	Pourcentage PND non séché %
1	100%	-	-
2	90%	10%	-
3	80%	20%	-
4	70%	30%	-
5	90%	-	10%
6	80%	-	20%
7	70%	-	30%

3.3.1. Composite à base de résine polyester insaturée (RPI) et PND

a. Nature et caractéristiques de la matrice polymérique

Dans cette étude, la matrice polymérique utilisée pour l'élaboration des composites est constituée de résine polyester insaturée (RPI), largement utilisée dans les applications industrielles en raison de son faible coût, de sa bonne résistance mécanique, de sa facilité de mise en œuvre et de ses bonnes propriétés chimiques [7]. Cette résine se présente sous forme liquide, nécessitant l'ajout d'un durcisseur pour initier la réaction de polymérisation à température ambiante.

La résine polyester offre également une bonne adhérence aux charges végétales, ce qui en fait un choix pertinent pour l'incorporation de particules naturelles telles que la poudre de noyaux de dattes. Ses principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.2. Quelques propriétés de la résine polyester insaturé [8-9].

Propriétés	
Densité (g/cm ³)	1.4
T° d'utilisation (°C)	70 - 80
Elongation à la rupture (25°C)	1,5 – 2 %
T° de stabilité (°C)	220
Taux de Poisson (ν)	2 - 4,5
Module de Young (GPa)	19,1-22,6
Température max (°C)	60-200
Module d'élasticité en flexion (GPa)	3, 670 ± 80
Module de rupture en flexion (MPa)	113 ± 11
Déformation à la rupture en flexion(%)	3,8 ± 0,6

a. Mode opératoire

Les échantillons composites ont été élaborés selon la méthode de stratification manuelle (« *hand lay-up* ») [10], une technique simple, flexible et économique, adaptée aux travaux en laboratoire. Cette méthode permet un bon contrôle de la formulation et de la répartition des charges.

Le procédé s'est déroulé comme suit :

- **Préparation de la charge :** Les noyaux de dattes, nettoyés, séchés (à l'air libre ou en étuve) puis broyés, ont été transformés en une poudre fine utilisée comme renfort.
- **Formulation des mélanges :** La poudre de noyaux a été incorporée à la matrice polymérique (résine polyester) selon des proportions massiques déjà mentionnés dans le tableau 3.1, afin d'évaluer l'effet du taux de charge.

- **Homogénéisation** : Le mélange (résine + durcisseur + PND) est agité manuellement jusqu'à obtention d'une pâte homogène, assurant une bonne dispersion des particules.
- **Coulée et moulage** : Le mélange est ensuite versé dans des moules propres et lubrifiés, adaptés à la forme des éprouvettes.
- **Durcissement** : Enfin, les échantillons sont laissés à température ambiante pendant 24 à 48 h pour assurer la polymérisation ou la solidification. Une fois durcis, ils sont démoulés et préparés pour les tests de caractérisation.

3.3.2. Composite à base de PVC et PND

a. Nature et caractéristiques de la matrice polymérique

Le Polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère thermoplastique synthétique composé de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le carbone et l'hydrogène sont issus du pétrole (environ 43 %), tandis que le chlore provient majoritairement du sel (57 %). Ce matériau est largement utilisé dans la vie quotidienne en raison de ses bonnes propriétés mécaniques, chimiques et thermiques, ainsi que de sa grande polyvalence. Sa capacité à être modifié et adapté à différentes formulations en fait un matériau de choix pour de nombreuses applications industrielles et domestiques [11].



Figure 3.10. Granules blanc de PVC.

b. Mode opératoire

Dans cette partie de notre étude, nous avons élaboré des matériaux composites à base de polychlorure de vinyle (PVC), renforcés par de la poudre de noyaux de dattes (PND) selon les étapes suivantes :

- **Malaxage thermocinétique** : Le mélange initial des constituants est réalisé à l'aide d'un malaxeur thermocinétique, appareil permettant d'assurer un mélange homogène tout en maintenant une température contrôlée. Cet équipement est particulièrement adapté aux

formulations thermoplastiques et permet d'obtenir une pâte uniforme prête pour le processus de calandrage [12].

- **Calandrage** : Les mélanges issus du malaxage sont introduits dans une calandre de type Schwabenthan Polymix 200P (figure 3.11), équipée de deux cylindres chauffés à 160 °C, température optimale pour le PVC. Les matériaux sont malaxés pendant 10 minutes à l'aide d'une spatule, jusqu'à la fusion complète du polymère et l'incorporation uniforme des fibres végétales. Le produit obtenu est ensuite refroidi à l'air libre (figure 3.12).



Figure 3.11. Calandre de type schwabenthanpolymix 200P.



Figure 3.12. Préparation des films de composite.

- **Découpage** : Après refroidissement, les films composites sont découpés manuellement à l'aide d'une découpeuse de laboratoire (ENICAB, Biskra) pour faciliter leur manipulation et leur broyage ultérieur si nécessaire.



Figure 3.13. Le découpage manuel des films.

- **Moulage sous presse :** Le moulage est réalisé avec une presse hydraulique Schwabenthan Polystat 300S (figure 3.14), composée de deux plateaux chauffants. Le composite broyé est placé entre deux feuilles d'aluminium puis introduit dans le moule. Les conditions de moulage sont les suivantes : température : 160 °C, pression : 300 bars et temps de maintien : 15 minutes.

Un préchauffage est effectué pour initier la fusion du mélange, suivi d'un dégazage afin d'éliminer les bulles d'air. Après compression, on obtient des plaques composites d'environ 2 mm d'épaisseur (figure 3.15).



Figure 3.14. Presse hydraulique de type Schwaben han poly stat 300 S.



Figure 3.15. Préparation des plaques.

- **Préparation des éprouvettes :** Les plaques obtenues sont découpées en formes normalisées (type haltère) à l'aide d'un emporte-pièce ou d'un outil adapté (figure 3.16), en vue de réaliser les essais de caractérisation mécanique, thermique et morphologique.



Figure 3.16. Découpage des éprouvettes.

3.4. CARACTERISATION DES COMPOSITES

Afin d'évaluer les performances des matériaux composites élaborés à base de polychlorure de vinyle (PVC) ou résine polyester insaturée (RPI) et de poudre de noyaux de dattes (PND), plusieurs essais de caractérisation ont été réalisés. Ces tests visent à analyser les propriétés mécaniques, thermiques, et morphologiques des composites. Les essais de traction et de dureté permettent d'apprécier le comportement mécanique, tandis que l'absorption d'eau renseigne sur leur stabilité hydrique. L'analyse thermique par DSC (Differential Scanning Calorimetry) et la stabilité thermique apportent des informations sur la résistance à la chaleur. Enfin, l'observation

au microscope électronique à balayage (MEB) permet d'examiner la morphologie et l'interface fibre-matrice. la figure suivante présente l'organigramme qui résume les analyses effectués.

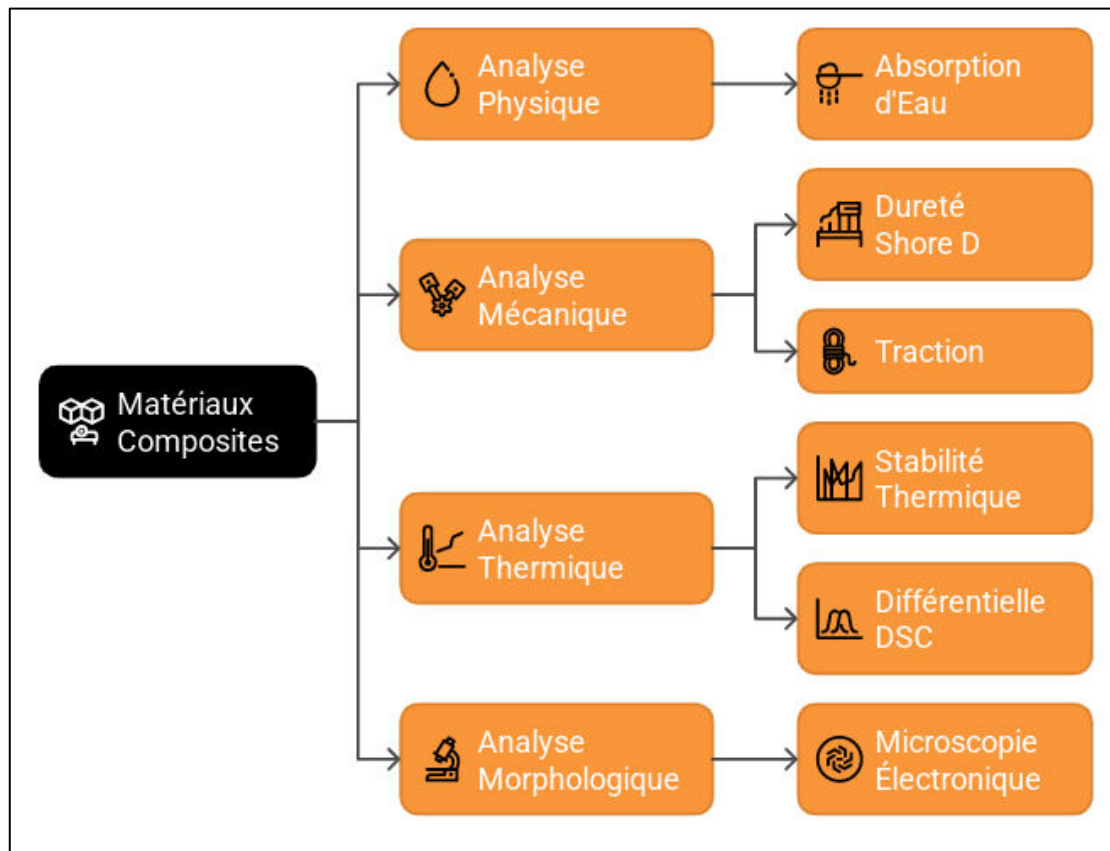


Figure 3.17. Caractérisation des matériaux composites.

3.4.1. Caractérisation Mécanique

Les essais mécaniques visent à évaluer la résistance et la rigidité du composite. L'essai de traction et la mesure de la dureté permettent de déterminer respectivement la ténacité et la surface de résistance du matériau

3.4.1.1. Test de la dureté Shore A

La dureté Shore A est une mesure normalisée qui évalue la résistance d'un matériau souple, tel que les élastomères ou les plastomères, à la pénétration d'un pénétrateur standardisé. Elle est réalisée à l'aide d'un duromètre Shore de type HPE – Zwick/Roell (figure 3.18), appareil défini selon les normes ASTM D2240 et ISO 868 [13- 15].

Le principe repose sur la force nécessaire pour enfoncer une pointe tronconique dans la surface du matériau, sur une échelle allant de 0 (matériau très mou) à 100 (matériau très dur). Ce test

permet d'estimer les propriétés mécaniques en surface des polymères, utiles notamment dans le contrôle qualité ou la formulation de matériaux [16].

Procédure de mesure :

- Tenir fermement le duromètre à la main, de manière perpendiculaire à la surface du matériau.
- Appliquer le pénétrateur sur l'échantillon de manière lente, régulière et sans à-coups, afin d'éviter toute surpression.
- Lire la valeur indiquée après une durée standardisée de 1 seconde (ou jusqu'à stabilisation selon la norme utilisée).
- Répéter la mesure à cinq emplacements différents répartis sur la surface de l'échantillon.
- Calculer la moyenne des cinq lectures afin d'obtenir une valeur représentative de la dureté Shore A du matériau testé.

Ce protocole assure une meilleure reproductibilité et une précision accrue du résultat final. Il est recommandé d'effectuer les essais dans des conditions normalisées de température et d'humidité, car les matériaux polymères peuvent être sensibles à ces paramètres [17].



Figure 3.18. Appareil de mesure de dureté de type HPE – Zwick/Roell.

3.4.1.2. Essai de la traction

L'essai de traction constitue une méthode fondamentale de caractérisation mécanique utilisée pour déterminer les propriétés mécaniques des polymères, telles que la contrainte (σ), l'allongement à la rupture (ϵ), et le module d'élasticité ou module de Young (E). Cette méthode est particulièrement pertinente pour évaluer l'influence de l'incorporation de renforts ou charges dans la matrice polymère.

Le principe de l'essai repose sur l'application d'une force uniaxiale contrôlée afin d'étirer un échantillon, généralement sous forme d'éprouvette standardisée ou, comme dans notre cas, d'un film mince. L'étirement s'effectue le long de l'axe principal de l'échantillon à une vitesse constante, ici fixée à 1 mm/min, et à température ambiante. La déformation est poursuivie jusqu'à la rupture de l'échantillon, permettant ainsi de recueillir les données mécaniques essentielles à l'analyse du comportement du matériau sous sollicitation.

L'optimisation des paramètres d'essai (vitesse, température, type d'éprouvette) est cruciale pour garantir la reproductibilité des résultats et leur pertinence vis-à-vis des conditions d'utilisation finale du matériau [18,19]. De plus, l'essai permet d'identifier le comportement viscoélastique propre aux polymères, ce qui aide à comprendre leur performance en service [20].



Figure 3.19. Machine de l'essai de Traction

3.4.2. Caractérisation Thermique

Afin d'assurer la caractérisation thermique de nos composites deux tests ont été effectués à savoir la stabilité thermique et Analyse thermique différentielle DSC.

3.4.2.1. La stabilité thermique

L'objectif de ce test est de déterminer le temps de dégradation thermique de chaque mélange étudié. Pour cela, des tubes en verre, fermés à une extrémité, sont placés dans un thermostat à température contrôlée, équipé d'un thermomètre pour un suivi précis. La température est maintenue constante à 200 °C.

Le thermostat est conçu avec des orifices remplis d'une huile thermique (type IRM 902 selon la norme ASTM D2440) dans laquelle les tubes contenant les mélanges sont immergés afin d'assurer une homogénéité thermique optimale.

Pour détecter la dégradation des mélanges, un papier indicateur de pH est utilisé. Celui-ci change de couleur (passant au rouge) en présence de gaz HCl dégagé lors de la décomposition thermique du matériau, permettant ainsi une indication visuelle du début de la dégradation.

La figure 3.20. illustre clairement le dispositif et le déroulement de cet essai [21].

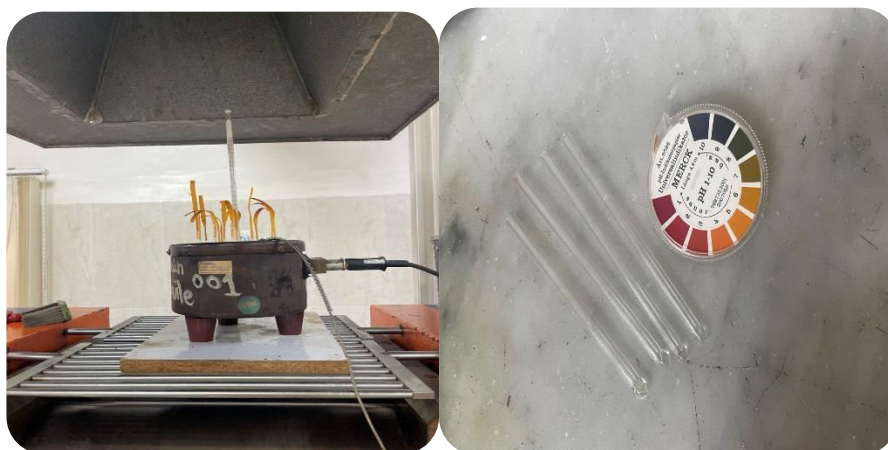


Figure 3.20. Test de la stabilité thermique.

3.4.2.2. Analyse thermique différentielle DSC

L'Analyse Thermique Différentielle (DSC) est une technique analytique largement utilisée pour étudier les propriétés thermiques des matériaux, notamment les polymères. Elle permet de mesurer la quantité d'énergie absorbée ou dégagée par un échantillon lorsqu'il est soumis à un programme de température contrôlé, mettant en évidence des transitions physiques ou chimiques telles que la fusion, la cristallisation ou la transition vitreuse [22]. Le DSC fournit des informations précieuses sur les températures de transition, la capacité calorifique et la stabilité thermique des matériaux, ce qui est essentiel pour comprendre leur comportement en service et optimiser leur formulation [23].

3.4.3. Caractérisation physique par la mesure de l'absorption d'eau

Cet essai vise à déterminer le taux d'absorption d'eau du produit final, défini comme le rapport entre l'augmentation de masse de l'échantillon après immersion et sa masse initiale à l'état sec.

Cette méthode permet d'évaluer la perméabilité à l'eau et l'affinité hydrique des matériaux, paramètres essentiels pour prédire leur comportement en environnement humide [24].

L'expérimentation a été réalisée au sein du laboratoire du Département de Génie Mécanique de l'Université Mohamed Khider de Biskra, conformément aux normes de contrôle qualité applicables aux produits finis. Les échantillons ont été immergés dans de l'eau distillée pendant une durée de 15 jours. Pendant cette période, chaque échantillon a été périodiquement retiré, séché superficiellement, puis pesé afin de suivre l'évolution de sa masse et calculer avec précision la cinétique d'absorption d'eau [25].



Figure 3.21. Les Echantillons Immergés dans L'eau Distillée.

3.4.4. Caractérisation morphologique par la microscopie électronique à balayage

Au laboratoire du Centre de Recherche Plateau Technique d'Analyse Physico-Chimique, Pôle Universitaire El-Hadjeb – Biskra (**CRAPC-PTAPC**), la morphologie des échantillons a été analysée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB). Cette technique permet d'obtenir une visualisation détaillée de la surface des matériaux, révélant leur topographie, la taille des particules, la distribution des phases ainsi que d'éventuelles défauts ou hétérogénéités. L'analyse a été réalisée avec un appareil MEB de marque Thermo Fisher (modèle EX FEI Prisma EX), qui offre des images à haute résolution en mode environnemental, permettant d'observer les échantillons dans des conditions proches de leur état naturel sans nécessiter de métallisation préalable. Ce procédé est particulièrement adapté pour l'étude des matériaux polymères composites et leurs interfaces [26].

3.5. COCNCCLUSION

Au terme de cette phase expérimentale, deux types de matériaux composites ont été élaborés en intégrant une charge naturelle issue des noyaux de dattes dans deux matrices polymères distinctes : le chlorure de polyvinyle (PVC) et la résine polyester insaturée (RPI). Le processus a débuté par la préparation rigoureuse de la poudre de noyaux de dattes afin d'assurer une granulométrie homogène et une bonne compatibilité avec les matrices sélectionnées.

Les conditions d'élaboration, notamment les proportions de charge, les paramètres de moulage et les ajouts éventuels d'additifs, ont été soigneusement contrôlés pour garantir des échantillons représentatifs et reproductibles. L'utilisation de techniques telles que le moulage par compression pour le composite à base de PVC, et la coulée suivie de durcissement pour le composite polyester, a permis d'obtenir des pièces adaptées aux essais de caractérisation.

Une série d'analyses physiques, chimiques, mécaniques, thermiques et morphologiques ont été programmées pour évaluer l'influence de l'incorporation de la poudre de noyaux de dattes sur les propriétés finales des matériaux. Ces caractérisations sont essentielles pour juger de la pertinence de ces composites dans le cadre d'applications automobiles, notamment pour des accessoires intérieurs ou non structurels, où le compromis entre performance, légèreté et durabilité est déterminant.

Les résultats obtenus seront présentés et analysés dans la section suivante, afin de mettre en évidence les avantages potentiels, les limitations rencontrées et les perspectives d'optimisation pour un usage industriel réaliste.

Références bibliographiques

- [1] **Issam RAHIL**. “Elaboration et caractérisation de revêtements à base de nitrure de chrome, carbonitrure et carbure de titane élaborés par pulvérisation magnétron”. Thèse de doctorat. Paris, EN (2013).
- [2] **Boussuge, M., Delsarte, D., & Verna, A. (1995)**. *Diffraction des rayons X et identification des matériaux cristallins*. Éditions Techniques de l'Ingénieur, traité Mécanique-Matériaux.
- [3] **Tappi T 203 om-83 Alpha**, beta and gamma cellulose in pulp and wood. TAPPI Test Methods, Atlanta, 1983.
- [4] **ALMI Kenza** ; Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider , Biskra, (2018).
- [5] **Van Krevelen, D. W., & Te Nijenhuis, K. (2009)**. Properties of polymers: their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions. Elsevier.
- [6] **B. Wojtkowiak, & M. Chabanel.**, Spectrochimie moléculaire. Technique & Documentation, Imprimerie Bayeusaine. France. (1977).
- [7] **M. F. Pays**. Composite piping: Basic Materials, Manufacturing Methods, Hydrolysis Resistance. Bibliographical Data and State of the Art, EDF page 3, 1996.
- [8] **Y. Lamy**. Nano structuration de résines polyester insaturé par des copolymères à blocs : Application aux composites SMC et BMC. Thèse de doctorat, 2012, École doctorale Matériaux de Lyon.
- [9] **D. Gay**. Matériaux composites. Édition Hermes. 1997.
- [10] **Elkington, M. et al.** “*Hand layup: Understanding the manual process.*” Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science, vol. 1, no. 3, 2015, pp. 138–151.
- [11] **D.Ausseur** ; «Poly (chlorure de vinyle)» ; Technique de l'ingénieur ; AM 3325 ; France.
- [12] **BARCHAoui Rahma- KLAI Yousra**- Elaboration et caractérisation d'un Bio –composite à base de PEHD et de la Fibre de washingtonia- Mémoire de projet de Fin d'Etudes -2ème Année Master- Université 8 mai 1945 Guelma, Génie des Procédés, 2024.

- [13] **Atmani.A**, Comportement mécanique en traction monotone d'un polymère associé au carbonate de calcium. Mémoire master. Université d'Annaba. 2016.
- [14] **ASTM D2240** – Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
- [15] **ISO 868** – Plastics and rubber — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).
- [16] **B. R. Lawn**, Mechanical Properties of Polymers and Composites, 2nd ed., CRC Press, 2012.
- [17] **J. Brandrup et al.**, Polymer Handbook, 4th ed., Wiley-Interscience, 2005.
- [18] **ASTM D638** – Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [19] **M. P. M. Ribeiro et al.**, Mechanical Behavior of Polymer Composites, Springer, 2018.
- [20] **L. E. Nielsen and R. F. Landel**, Mechanical Properties of Polymers and Composites, 2nd ed., Marcel Dekker, 1994.
- [21] **ASTM D2440** – Standard Test Method for Thermal Stability of Hydrocarbons by Determination of Oxidation Induction Time (OIT).
- [22] **M. E. Brown**, Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications, Springer, 2001.
- [23] **Rajabinejad, H. S. M., et al.** “Thermal characterization of polymers using DSC.” *Polymer Testing*, vol. 45, 2015, pp. 178–185. *Elsevier*.
- [24] **ASTM D570** – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.
- [25] **M. A. Peña et al.**, “Water absorption behavior of polymer composites,” *Composites Science and Technology*, vol. 66, no. 3-4, pp. 373-381, 2006.
- [26] **J. C. Russ**, The Image Processing Handbook, 7th ed., CRC Press, 2016.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans un contexte de développement durable et de valorisation des déchets agroalimentaires, ce travail s'est intéressé à l'élaboration de biocomposites à base de polymères (PVC et résine polyester insaturée – RPI) renforcés par de la poudre de noyaux de dattes (PND). L'objectif principal était d'étudier l'influence de la charge végétale et de son traitement (séchage) sur les propriétés physico-chimiques, mécaniques, thermiques et morphologiques des matériaux obtenus, en vue d'applications potentielles dans le domaine des accessoires automobiles.

La poudre de noyaux de dattes a été soumise à plusieurs tests afin d'évaluer sa composition et ses propriétés intrinsèques. Les analyses FTIR et DRX ont confirmé la présence de groupements fonctionnels caractéristiques de la lignocellulose et une structure semi-cristalline. Le taux de cendres, la densité apparente et l'extraction des polysaccharides ont mis en évidence la richesse de la PND en composés structuraux utiles pour le renforcement des polymères.

Les composites ont été préparés selon des méthodes adaptées à chaque matrice (hand lay-up pour la RPI, malaxage et calandrage pour le PVC), en incorporant des proportions variables de PND (10 %, 20 %, 30 %), séchée ou non. Les essais mécaniques ont révélé une amélioration de la dureté et de la résistance à la traction avec l'augmentation du taux de charge, particulièrement pour les poudres séchées. En revanche, les échantillons non séchés ont présenté une meilleure ductilité. Les analyses thermiques (DSC) ont montré une bonne stabilité thermique des composites, et le MEB a permis d'observer une interface matrice/renfort globalement homogène, avec une meilleure cohésion dans les composites à base de PND séchée.

Les résultats ont montré que le séchage préalable de la charge végétale joue un rôle déterminant dans la performance finale du composite. L'élimination de l'humidité améliore l'adhésion interfaciale et limite la formation de défauts structuraux. Cette étude confirme donc l'intérêt du prétraitement des charges végétales dans la fabrication de matériaux composites performants, notamment pour des usages semi-structuraux ou décoratifs dans le secteur automobile.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives. D'abord, l'utilisation de résines biosourcées ou biodégradables pourrait rendre ces matériaux encore plus écologiques. Ensuite, des études complémentaires pourraient intégrer d'autres types de prétraitements (chimiques ou physiques), des agents de couplage ou des traitements de surface des fibres. Enfin, une optimisation des formulations à l'aide de méthodes de plan d'expérience ou de modélisation constituerait un atout pour industrialiser ces biocomposites.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر بسكرة ...

عنوان المشروع:

مادة مركبة حيوية لأكسسوارات السيارات

مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

صورة العلامة التجارية

DATECORE

الاسم التجاري

DATECORE

السنة الجامعية

2024/2025

بطاقة معلومات:

حول فريق الاشراف وفريق العمل

1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي (01): حاجب ربحانة	التخصص: هندسة طرائق.
المشرف الرئيسي (01): محمد يعقوب	التخصص: هندسة مدنية
المشرف المساعد:	التخصص:

2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالب: هادف رقية	هندسة طرائق	علوم وتكنولوجيا
الطالب: ركيس بشرى	هندسة طرائق	علوم وتكنولوجيا
الطالب:		
الطالب:		

.....عنوان المشروع:

المحور الأول: تقديم المشروع

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

المحور الخامس: الخطة المالية

المحور السادس: النموذج الأولي التجريبي

المحور الأول: تقديم المشروع

في ظل التوجه العالمي نحو الاقتصاد الدائري والتنمية المستدامة، أصبح من الضروري إيجاد حلول مبتكرة لإعادة استخدام المخلفات الزراعية. يهدف هذا المشروع إلى تجميع نوى التمر، وهي من المخلفات النباتية الوفيرة في الجزائر، من خلال تحويلها إلى مواد أولية تُستخدم في تصنيع إكسسوارات السيارات الصديقة للبيئة.

1. فكرة المشروع (الحل المقترح).

جاءت فكرة هذا المشروع استجابةً للتحديات البيئية التي تواجه المناطق الزراعية، لاسيما ما يتعلق بتراكم كميات كبيرة من المخلفات النباتية مثل نوى التمر، والتي غالبًا ما تُهمل أو تُحرق بطرق عشوائية، مما يؤدي إلى أضرار بيئية وصحية متعددة. كما استُلهمت الفكرة من اهتمامي الكبير بمجال رسكلة النفايات وتحويلها إلى مواد ومنتجات ذات قيمة مضافة، إضافة إلى ملاحظتي الميدانية للبيئة المحلية التي أنتمي إليها، والتي تُعدّ الأولى وطنيًا في إنتاج التمور، بما يزيد عن أربعة ملايين نخلة موزعة عبر مختلف مناطق الولاية.

هذا العدد الهائل من النخيل يخلف سنويًا أطنانًا من المخلفات النباتية المتجددة، والتي لا يُستغلّ معظمها إلا في ثلاث مسارات تقليدية: كعلف للماشية، أو سماد عضوي للتربة، أو عبر الحرق العشوائي للتخلص منها، ما ينعكس سلبيًا على النظام البيئي المحلي. ومن هنا انطلقت رغبتني في استغلال هذه "الثروة المهملة" وتجميعها محليًا بتحويلها إلى مورد مستدام وذو قيمة اقتصادية.

وفي ظل التحول العالمي في قطاع صناعة السيارات نحو تبني مواد بديلة وصديقة للبيئة عوضًا عن البلاستيك التقليدي، يهدف هذا المشروع إلى تطوير مادة مركبة بيئية تعتمد على نوى التمر ونوى الزيتون، تُستخدم في تصنيع إكسسوارات السيارات. وبهذا يسعى المشروع إلى المساهمة في دعم الاقتصاد الدائري وتقليل البصمة البيئية للقطاع الصناعي.

وبما أننا نعيش في منطقة صحراوية تتسم بدرجات حرارة مرتفعة، فإن تعرض السيارات لأشعة الشمس يؤدي غالبًا إلى انبعاث روائح غير مرغوبة من داخلها. ومن هذا التحدي وُلدت فكرة مبتكرة في إطار المشروع، وهي تصميم منتج داخلي للسيارة مصنوع من نوى التمر المعالج، يطلق عند تعرضه للشمس رائحة طبيعية وعطرة مستوحاة من رائحة القهوة، مما يعزز من راحة المستخدم ويمنح السيارة طابعًا مميزًا وفريدًا.

2. القيم المقترحة

تقليل التلوث الناتج عن حرق مخلفات النخيل والزيتون.

رسكلة نفايات متوفرة محليًا وتحويلها إلى منتج ذي قيمة.

إنتاج مادة طبيعية مركبة بديلة للبلاستيك تُستخدم في صناعة السيارات.

.....عنوان المشروع :

تقليل التبعية للمواد المستوردة في قطاع التصنيع.

خلق مناصب شغل محلية وتحفيز الاقتصاد الدائري في المناطق الزراعية

الافاق الواسعة التي تحملها فكرة المشروع في التوسع خارج الوطن _ التصدير

3. فريق العمل

الطلبة	التخصص	المهارات التكوينية
ركيس بشرى	هندسة كيميائية	تقنيات البحث عن الوظيفة. المسار المقاولاتي أحسن فكرة مشروع مبتكر . التفكير التصميمي والابتكاري الذكاء الاصطناعي تطبيقات المالية والمحاسبة إعداد نموذج أعمال-BMC أساسيات وتطبيقات على مشاريع 1275 ورشات حول تطبيقات واستخدامات التسويق الرقمي في المشاريع. كيفية إعداد الدراسة التقنية والاقتصادية للمشاريع المبتكرة
هادف رقية	هندسة كيميائية	تقنيات البحث عن الوظيفة. المسار المقاولاتي أحسن فكرة مشروع مبتكر . التفكير التصميمي والابتكاري الذكاء الاصطناعي تطبيقات المالية والمحاسبة إعداد نموذج أعمال-BMC أساسيات وتطبيقات على مشاريع 1275 ورشات حول تطبيقات واستخدامات التسويق الرقمي في المشاريع. كيفية إعداد الدراسة التقنية والاقتصادية للمشاريع المبتكرة

4. أهداف المشروع

- تطوير المنتج المحلي وتغيير مفهوم ونظرة أن الانتاج المحلي إنتاج رديء الجودة
- كسب ولاء وثقة الزبائن بتقديم منتج ذو جودة وبسعر مغري
- استغلال مخلفات النخيل في إنتاج منتج أكثر جاذبية وأهمية
- حماية البيئة والمحافظة عليها من المخلفات التي تشوه منظرها وخاصة الواحات التي تعتبر ثروة متجددة للجزائر
- توفير منتج محلي نصف مصنع للمؤسسات الصناعية بجودة جيدة
- خلق قيمة مضافة للولاية بتقديم مشروع مبتكر وجديد
- تشجيع فكرة المنتجات الصديقة للبيئة
- تغطية الطلب المحلي والمساهمة في الإنتاج الوطني
- تثمين المخلفات النباتية وتحويلها إلى مواد أولية فعالة
- تقليل الاعتماد على البلاستيك التقليدي وتعويضه بمواد مستدامة.
- المساهمة في خلق فرص عمل في المناطق الزراعية.
- الآفاق الواسعة التي تحملها فكرة المشروع في التوسع خارج الوطن (التصدير).

.....: عنوان المشروع:

5. جدول زمني لتحقيق المشروع:

الأشهر												الأشهر الاعمال
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
												اختيار مقر الوحدة الإنتاجية وتجهيز الوثائق المطلوبة
												طلب التجهيزات
												إيجار وتهينة مقر الإنتاج
												تركيب المعدات
												اقتناء المواد الأولية
												توزيع عينات من المنتج واستقطاب الزبائن
												بداية انتاج اول منتج

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

- استخدام نوى التمر كمادة أولية لصنع مواد مركبة تدخل في صناعة إكسسوارات السيارات، وهو أمر غير مستغل حتى الآن.
- الدمج بين معالجة النفايات الزراعية وصناعة موجهة نحو السوق الصناعية العالمية (قطاع السيارات).
- إدخال مفاهيم الاقتصاد الدائري والمواد الحيوية في الصناعة التقليدية.
- تصنيع منتج موجه لسوق صناعية غير تقليدية
- إمكانية تخصيص الخواص حسب الحاجة
- الاعتماد على تقنية بسيطة منخفضة التكلفة

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

أولا تحليل التغيرات الكلية (PESTEL)

1. العوامل البيئية: المشروع يساهم في الحد من التلوث الناتج عن حرق نوى التمر.
 - i . الاستفادة من توفر نوى التمر كنفائات زراعية.
 - ii . تصنيع منتج صديق للبيئة في منطقة تشتهر بإنتاج التمر.
2. العوامل السياسية: قرارات رئيس الجمهورية الرامية لوقف الاستيراد.
 - i .وجود قوانين وتشريعات تشجع على إنشاء مؤسسات ناشئة (مثل القرار 1275).
 - ii .استقرار سياسي يساعد على إطلاق المشروع بثقة
3. العوامل الاقتصادية: الاعفاء الكلي من الضريبة الجزافية الوحيدة(IFU) 10 سنوات
 - i . التخفيضات الجبائية لصالح .م.ص.م .عن طريق وكالات الدعم
 - ii . إمكانية الحصول على القروض عن طريق وكالات الدعم وصناديق ضمان القروض
4. العوامل الاجتماعية: مواقف الزبائن اتجاه السلع المستوردة ومدى ارتفاع أسعارها
 - i . المستوى المعيشي للمستهلك النهائي
 - ii . انتشار الوعي حول المنتجات الصديقة للبيئة وأهميتها
5. العوامل التكنولوجية: توفر الآلات والمعدات في السوق
 - i . توفر الانترنت والشبكات الأخرى
6. العوامل القانونية: القوانين والتشريعات المشجعة على حماية البيئة
 - i . قوانين تشجع إنشاء المؤسسات الصغيرة والمتوسطة ومرافقتها
 - ii . قانون حماية حقوق الملكية الفكرية

ثانيا: تحليل القوى التنافسية (PORTER)

1. حدة المنافسين:

منافسين مباشرين: لا توجد منافسة في السوق نظرا لعدم وجود شركات متخصصة في هذا الإنتاج
منافسين غير مباشرين: استخدام نوى التمر في صناعات أخرى (صناعات غذائية كقهوة)

2. قوة التفاوضية مع العملاء

انواع العملاء: أصحاب السيارات، محلات بيع قطع الغيار والإكسسوارات، ورشات التعديل.
توفر منتجات طبيعية صديقة للبيئة في سيارتك محليا يعطي فرصة للدخول في الاسواق واحتكارها ذلك لعدم وجود منافسين وفي حالة العملاء الافراد المهتمين بالبيئة والمحبين للقهوة والذين يعانون من مشاكل تنفسية يلجؤون يتخلون عن المواد البلاستيكية الأخرى.
الا ان العملاء الهائيون يهتمون بالسعر والشكل أولاً، واغلبهم لا يقدّر القيم البيئية إلا إذا تم التوعية بها.

3. قوة الموردين

الفلاحون أو معامل التمر (لتوفير نوى التمر).
بما اننا في المنطقة الأولى لانتاج التمور في الجزائر فان نوى التمر متوفر بكثرة كمخلف زراعي، ويمكن الحصول عليه بتكلفة منخفضة
وبالتالي الموردون ليس لديهم قوة كبيرة.

4. تهديدات المنتجات البديلة:

ما يتم طرحه الان من منتجات في الاسواق هو المنتجات الصينية الرخيصة أغلبها مصنوعة من بلاستيك منخفض التكلفة.
ولان اغلب العملاء يحبون التميز، وخاصة في الإكسسوارات الداخلية التي تعكس شخصيتهم وعلى راحة التي تنطلق عند تعرضهم للشمس جاءت فكرة إيجاد بديل طبيعي غير ضار من مخلفات نباتية.

ثالثا: تحليل (SWOT)

1. نقاط الضعف: المنافسين

استخدام المواد الأولية في صناعات أخرى

عدم وجود رأس مال للمشروع

انخفاض ميزانية الترويج

2. نقاط القوة: أول منتج في الوطن .

انخفاض تكاليف مواد الاولية.

تمكن أصحاب المشاريع للقيام به (أعضاء الفريق)

3. الفرص: منتج محلي ومناصب عمل وتقليص الوقت وتكاليف للشركات

نمو سريع في السوق نظرا لسلامة المنتج

غلق الاستيراد

دعم الدولة للمؤسسات الناشئة .

4. التهديدات: تقليد المنتج ودخول منافسين هذا إذا لم تكن هناك حماية لمدة 4 سنوات

المنافسة القوية من المنتجات البلاستيكية الأخرى

نقص الكميات المنتظمة من نوى التمر

رابعا: تحليل المزيج التسويقي

1. المنتج (Product)

الاسم xxxx

الوزن xxxx

تاريخ الإصدار xxxx

طريقة الحفظ

2. السعر

..... عنوان المشروع :

3. الترويج

الترويج الرقمي التسويق عبر وسائل التواصل الاجتماعي، إنشاء موقع بسيط أو إعلانات ممولة

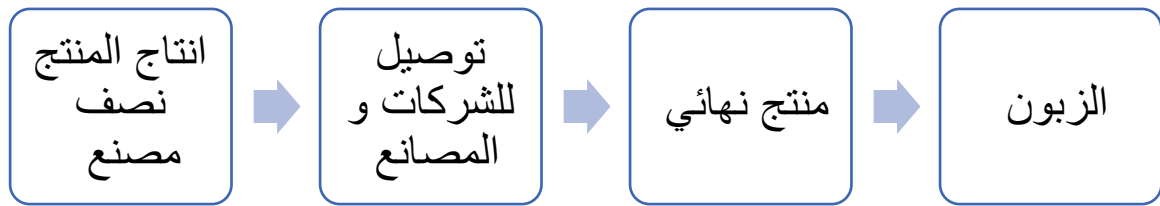
تسويق عبر القصة

بطاقة تعريفية بالمنتج

المشاركة في المعارض والاحتكاك بمدراء الشركات الاقتصادية

4. التوزيع

تعتمد الوسطاء للتوزيع وإيصال المنتج للمصانع الأخرى للحصول على الشكل النهائي للمنتج القابل للاستعمال



5. المشاركون:

فريق العمل (أنت وزميلتك، والمشرفون).

العمال المسؤولون عن التحضير والتغليف.

موظفو الاستقبال والمبيعات.

الموردون (مثل الفلاحين ومعامل التمور).

الشركاء مثل (SARL ELMILA PLAST و ENICAB BISKRA).

6. العملية

جمع النوى ⇨ غسله وتجفيفه ⇨ طحنه ⇨ مزجه مع البوليمر ⇨ قولبته ⇨ تغليفه ⇨ توزيعه.

عنوان المشروع :

ضمان الجودة في كل خطوة من العملية.

تنظيم جيد للمخزون والطلبات لضمان التسليم في الوقت

7. الدليل المادي

شكل وتصميم الإكسسوارات (جمالية، طبيعية، أنيقة).

تغليف المنتج (بسيطاً وصديقاً للبيئة).

بطاقة تعريف بالمنتج: "مصنوع يدوياً – صديق للبيئة – برائحة طبيعية."

المطبوعات التي تُظهر العلامة التجارية "DATECOR"

خامساً: الاستراتيجية التسويقية

استراتيجية: التخصص والتركيز – (Niche Marketing) التركيز على جمهور يهتم بالمنتجات البيئية والمصنوعة يدوياً

سكان المدن الكبرى (أكثر إنفاقاً على الإكسسوارات).

أصحاب الورش ومحلات الإكسسوارات.

إستراتيجية التمييز: منتج جديد وبالتالي عدم وجود منافسين حالياً وهذا ما يجعل تسعيرة المنتج متميزة

مصنوع يدوياً من نوى التمر، صديق للبيئة، تصميم جزائري أصيل أو عصري او منتج فني فريد وليس مجرد قطعة بلاستيك

سادساً تقدير المبيعات: نظرا لعدم وجود منافسين مباشرين فانه تطمح المؤسسة لبيع نسبة كبيرة من حجم الانتاج السنوي.

..... عنوان المشروع :

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

موقع المشروع (مساحة 3 هكتار)



طبيعة الإنتاج

تحويل مخلفات النباتات للحصول

مخطط الإنتاج



احتياجات المشروع :

المواد الأولية: لتجهيز الكمية الأولى في اليوم الواحد فقط، هذا الجدول

النوع	الكمية المطلوبة	سعر الوحدة (DA)	المصدر
نوى التمر	35 كيلوغرام	1 كيلوغرام 150 دج	المورد
Pvc حبيبي	300 كيلوغرام	1 كيلوغرام 200 دج	المورد

.....عنوان المشروع:

الآلات والمعدات

اسم الآلة ودورها	الاهتلاك	سعرها (DA)
حوض غسيل.	/	380000,00
فرن تجفيف	25 سنة	200000,00
آلة طحن	10 سنوات	240000,00
خلاط	15 سنة	3000000,00
آلة التغليف	10 سنوات	800000,00

الموارد البشرية اللازمة للمشروع:

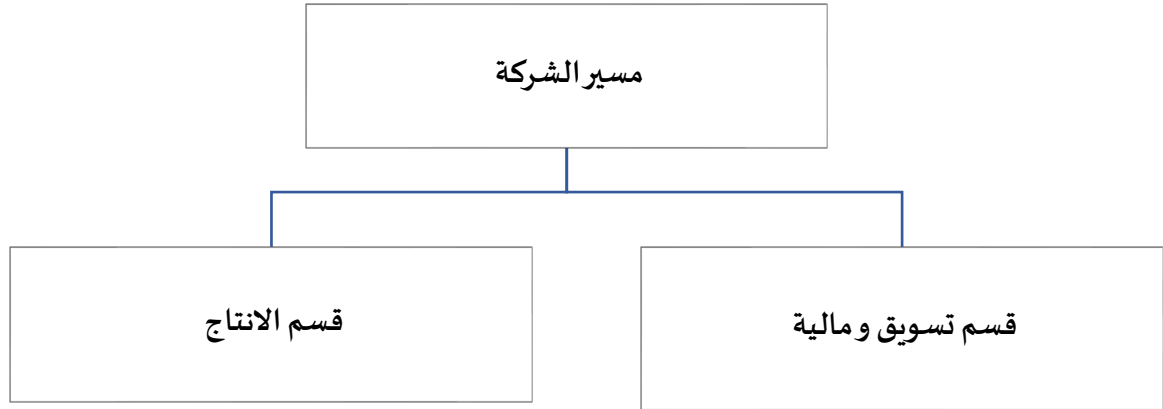
عدد المناصب	دور المنصب	الأجور
4 عامل بسيط	غسل وتجفيف الطحن التغليف التخزين	20000,00
مهندسين	لدمج والتحضير	50000 ,00
2 حارس		15000,00
عامل نظافة		15000 ,00
موظف استقبال		15000,00

الأثاث والتجهيزات

الاسم	الكمية	الاهتلاك	السعر
مكتب	4	5 سنوات	50000,00
كرسي	5	7 سنوات	6000,00
حاسوب	4	5 سنوات	65000,00
طابعة	2	5 سنوات	48000,00
مستلزمات مكتبية	/	/	10000,00
خزانة	10	5 سنوات	9000 ,00
مكيفات W2400	3	15 سنة	150000,00
مكيفات W1800	2	15 سنة	110000,00

.....عنوان المشروع:

المخطط التنظيمي



.....عنوان المشروع :

المحور الخامس: الخطة المالية PLAN FINANCIER

أولا تكاليف المشروع واهتلاك الاستثمار :

تكاليف المشروع تتمثل التكاليف الاجمالية للمشروع في التكاليف الاستثمارية والتكاليف التشغيلية

التكاليف الاستثمارية

الأصول	التكلفة
الآلات والتجهيزات	4620000,00
تجهيزات مكتبية	1356000,00
المجموع	5976000

التكاليف التشغيلية :الميزانية التقديرية لسنة واحدة

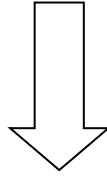
الأصول	التكلفة
مشتريات المواد الأولية	65250,00
أجور العمال	4320000,00
ايجار المحل	600000,00
مصاريف أخرى	100000,00
الاهتلاك	610000,00
الاشهار	20000,00
المجموع	5715250,00

الهيكل التمويلي

سنعتمد في مشروعنا على القروض بنسبة 100 % في التمويل

..... عنوان المشروع :

المحور السادس: النموذج الاولي التجريبي



..... عنوان المشروع :

➤ الجداول والأشكال

	<u>REALISATION</u>	<u>PREVISION</u>				
Produit A destiné Client	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	1000	1200	1400	1600	2000	2500
Prix HT produit A	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<u>Ventes produit A</u>	1000000	1200000	1400000	1600000	2000000	2500000
CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL	1000000	1200000	1400000	1600000	2000000	2500000

الملحق رقم 04: نموذج العمل التجاري

الشركات الرئيسية الفلاحون معامل التمور SARL ELMILA PLAST ENICAB	الأنشطة الرئيسية تجميع النوى غسل وتجفيف النوى الطحن والتحضير المزج والدمج التغليف والتخزين	القيمة المقترحة منتج طبيعي وامن. غير مكلف منتج محلي صديق للبيئة اكسسوارات فريدة وجذابة مميزة	العلاقة مع الزبائن علاقة تعاقدية	شرائح العملاء مصانع قطع غيار السيارات ورش تعديل السيارات شركات تصنيع اكسسوارات السيارات موجه لأصحاب السيارات الذين: يعانون من حساسية او مشاكل تنفسية
	الموارد الرئيسية المواد الأولية العمال معدات الإنتاج والتغليف راس المال والسيولة	رائحة قهوة طبيعية دون إضافة معطر يعزز الهوية المحلية والصناعة الوطنية منتج اول من نوعه في الجزائر	القنوات طريقة مباشرة عن طريق وسيط	الذين يحبون التميز (رائحة القهوة) معامل صناعة البلاستيك البيئي
هيكل التكاليف تكلفة المواد الاولية . تكلفة أجور العمال. تكلفة بناء المصنع. تكلفة المعدات تكلفة الاشهار تكاليف أخرى (ماء والكهرباء)		مصادر الإيرادات بيع المادة المركبة كنصف منتج		

.....: عنوان المشروع

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

بسكره في:

جامعة محمد خيضر - بسكره

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذ: حاجب ريجانه

الرتبة: أستاذ محاضر قسم أ

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطالب (ة):

هادخا رقية وكيس بشري

الشعبة: كيمياء صناعية

التخصص: هندسة كيميائية

بعنوان:

Fabrication et évaluation d'un bio-composite à base de
renforts naturels.

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ المشرف



نموذج التصريح الشرفي

أنا الممضي أدناه،

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2025 / 06 / 26

إمضاء المعنى

Lokaya.