



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

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Dahoui Sara

Le : 17/06 /2025

Bio char pour amélioration des propriétés physique et chimique de Bio polymère

Jury :

| | | | |
|----|----------------------|-----|-----------|
| Dr | Hamdi Ines | Pr | Président |
| Dr | Rehali Hanane | MCA | Encadreur |
| Dr | Smail Dalila | MCA | Encadreur |
| Dr | Digheche Kalthoum | MCA | examineur |

Année universitaire : 2024- 2025

Remerciement

*Je tiens tout d'abord à remercier **Allah** pour m'avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.*

*Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à **Dr.Rehali Hanane et Dr .Smail Dalila**, mon encadrant, pour sa précieuse aide, ses conseils avisés, sa disponibilité et leur encadrement tout au long de ce travail. leur accompagnement a été déterminant dans l'aboutissement de ce mémoire.*

*Je remercie **professeur Hamdi Ines** de l'Université Mohamed Khider Biskra pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance et pour l'attention qu'elle a portée à ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à **Dr Digheche Kelthoum** de l'Université Mohamed Khider Biskra, pour avoir accepté de discuter ce travail.*

Je remercie tous nos enseignants du Département de chimie industrielle, pour leur soutien et formation ainsi qu'à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Mes remerciements vont également à **madame Beker fadia** pour son soutien, son bienveillance et les connaissances qu'elle a bien voulu partager avec moi.*

*Je remercie chaleureusement **mes collègues et amis** pour leur aide, leurs encouragements et les bons moments partagés tout au long de cette aventure.*

*Enfin, j'adresse ma reconnaissance et mon amour à **ma famille**, et tout particulièrement à **mes parents**, pour leur soutien moral, leur patience et leurs sacrifices, sans lesquels rien de tout cela n'aurait été possible*

SARA



، إهداء

من قال أنا لها وإن أبت رغباً عنها أتيت
بها لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون لم يكن الحلم قريباً ولا الطريق كان محفوفاً
بالتسهيلات لكنني فعلتها ونلتها
إلي الذي زين إسمي بأجمل الألقاب ، من دعمني بلا حدود وأعطانني بلا مقابل إلي من علمني أن
الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة إلي من غرس في روحي مكارم الأخلاق داعمي الأول في
مسيرتي وسندي وقوتي وملاذي بعد الله ... إلي فخري وإعتزازي (والدي) ..
عبد القادر حفظه الله
إلي من جعل الله الجنة تحت أقدامها واحتضني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد بدعائها إلي
القلب الحنون والشمعة التي كانت في الليالي الظالمة سر قوتي ونجاحي ومصباح دربي ... وهج
حياتي (والدي)
إلي أمان أيامي إلي خيرة أيامي وصفوتها إلي الذين كانوا النور حين تعتم إلي قرة عيني (إخواتي) ...
ليلي .. سمية .. سليمان .. يسرى .. عبدالمالك
وأولاد إخواتي يزن ومؤيد ... حفظهم الله
إلي رفيق دربي زوجي العزيز حفظك الله ورعاك طالما كنت لي سنداً في كل خطوة
شكراً لكل من كل كان عوناً لي ولو بكلمة طيبة

SARA Dahoui



sommaire

| titre | page |
|---|------|
| Remerciements..... | I |
| Dédicace..... | II |
| Sommaire..... | III |
| Liste des figures..... | III |
| Liste des tableaux..... | III |
| Introduction générale..... | 01 |
| CHAPITRE I : étude bibliographique | |
| Partie 1 : Bio polymères..... | 04 |
| I .1.1 Généralités..... | 04 |
| I .1.2 Propriétés des biopolymères..... | 06 |
| La biodégradabilité..... | 06 |
| Propriété de perméabilité à la vapeur d'eau | 08 |
| Propriétés chimiques..... | 08 |
| Autres propriétés..... | 11 |
| I .1.3 Applications | 11 |
| En médecine pharmacie | 11 |
| En agriculture..... | 13 |
| En emballage | 13 |
| Autres applications | 14 |
| I .1.3 Amidon..... | 15 |
| Amidon natif..... | 15 |
| Structure du grain d'amidon..... | 18 |

| | |
|---|-----|
| Taille et distribution des grains..... | 18 |
| Structures cristallines..... | 19 |
| Elaboration des matériaux à base d'amidon..... | 20 |
| Gélatinisation..... | 20 |
| Plastification..... | 21 |
| Propriétés de l'amidon plastifié..... | 24 |
| Propriétés physiques et thermiques..... | .24 |
| Propriétés rhéologiques de l'amidon plastifié à l'état fondu..... | 24 |
| Préparation des films à base de bio polymères..... | 25 |
| .1.4Glycérole..... | 27 |
| Propriétés physique et chimique..... | 27 |
| Partie 2 : le biocharbon..... | 29 |
| I.2. 1.Définition de bio charbon..... | 29 |
| Diversité des origines agricole..... | 29 |
| Pyrolyse (carbonisation) | 29 |
| Traitements supplémentaires..... | 30 |
| I.2.2 Le cyprès | 32 |
| Définition..... | 31 |
| Classification :..... | 33 |
| Description :..... | 33 |
| Caractéristiques | 36 |
| Caractéristiques botaniques | 36 |
| caractéristique écologique..... | 37 |

| | |
|--|----|
| composition chimique..... | 38 |
| Référence bibliographique..... | 39 |
| ChapitreII: Partie Expérimentale | |
| II. 1 Matériaux utilisés..... | 42 |
| II. 1 .1 Bio charbon (le cypès)..... | 42 |
| II.1.2 Amidon..... | 42 |
| II.1.3 Plastifiants | 43 |
| II.2. Procédure expérimentale | 43 |
| II.2.1 Préparation du biocharbon..... | 43 |
| II.2.2 Activation de biocharbon..... | 44 |
| II.2.3 Plastification de l'amidon..... | 44 |
| II.2.4Préparation des mélanges composites à base d'amidon plastifié et biocharbon (cypès) | 45 |
| II.3 Méthodes d'Analyses | 46 |
| II.3.1 Diffraction des rayons X (DRX)..... | 46 |
| II.3.2Spectroscopie Infra-rouge à Transformée de Fourier (FTIR)..... | 48 |
| II.3.3 Microscopie électroniqueà balayage (MEB)..... | 49 |
| Référence | 50 |

ChapitreIII: Résultats et Discussion

| | |
|---|----|
| III.1 Propriétés Structurale..... | 54 |
| III.1.1 Caractérisation par spectroscopie à transformer de Fourier (FTIR).... | 54 |
| Amidon et Amidon plastifié | 55 |
| Biochar et biochar activé | 55 |
| Composite Amidon plastifié-Biochar..... | 59 |

| | |
|--|----|
| III.1.2 Caractérisation par Diffraction des rayons -X (DRX)..... | 60 |
| Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié. | 64 |
| Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de charbon actif..... | 67 |
| Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié / 3%biomasse... | 68 |
| Référence | 72 |
| CONCLUSION GENERALE | 73 |

Liste des figures

| N°des figures | Titre | page |
|---------------------|---|------|
| FigureI.1 | Classification des polymères biodégradables | 06 |
| FigureI .2 | Structures chimiques de quelques biopolymères | 09 |
| FigureI .3 | Micrographies (MEB) d’amidon natif de blé (gauche), de pois (milieu) de pommes de terre (droite) | 16 |
| FigureI .4 | Structure chimique de l’amylose (A) et de l’amylopectine | 17 |
| FigureI .5 | Coupe d'un grain d'amidon de pomme de terre et structure de l'alternance des régions amorphes et cristallines | 20 |
| FigureI .6 | Diffractogrammes obtenus par DRX des structures cristallines A, B de l’amidon (Sarko, 1978) | 20 |
| FigureI .7 | Modélisation de la structure cristalline l'amidon natif : Type A et type B | 20 |
| FigureI .8 | Gélatinisation et rétrogradation de l'amidon | 21 |
| FigureI .9 | Schéma de la transformation d’amidon natif en amidon thermoplastique | 22 |
| FigureI .10 | Voie de production du glycérol | 24 |
| FigureI .11 | Représentation schématique du traitement de l'amidon par extrusion | 26 |
| Figure I.11 | Exemples des différents types et formes du bio charbon | 29 |
| Figure I .12 | Forme horizontale | 34 |
| Figure I.13 | Forme verticale | 34 |
| Figure I.14 | Les aiguilles | 35 |
| FigureI.15 | les fleurs du cyprès vert (Madene et Ssafi ,2023) | 35 |
| FigureI.16 | fruit du cyprès vert | 36 |
| Figure I.17 | la caractéristique botanique | 37 |
| FigureI.18 | composition chimique Structure chimique de quelques | 37 |

| | | |
|----------------------|---|----|
| | polyphénols, flavones, flavonoïdes et glycosides de flavones biflavones de <i>Cupressus sempervirens</i> | |
| Figure II.1 | Structure de L'Amidon | 42 |
| Figure II.2 | Structure de Glycérol | 43 |
| Figure II.3 | Les étapes de préparation de charbon actif du cyprès | 44 |
| Figure II.4 | Préparation d'un film à base d'amidon plastifié(PLS) | 45 |
| Figure II.5 | Préparation des mélanges à base d'amidon plastifié/ biochar et amidon plastifié/ biochar activé | 46 |
| Figure II.6 | Principe de la loi de Bragg | 47 |
| Figure II.7 | Principe du diffractomètre dans la géométrie de Bragg | 48 |
| Figure II.8 | Spectroscopie Infrarouge | 49 |
| Figure II.9 | Spectroscopie électronique à balayage (MEB) | 51 |
| Figure III.1 | Spectre FTIR de l'amidon pure et plastifié | 54 |
| | Balayage(MEB)deséchantillons(T0-T3) | |
| Figure III.2 | Spectre FTIR de la charge biomasse et activée | 56 |
| Figure III.3 | Spectre FTIR de l'amidon plastifié avec 3%, 5%, 7% et 10% de biochar | 58 |
| Figure III.4 | Spectre FTIR de l'amidon plastifié avec 3%, 5% et 7% de biochar Activé | 59 |
| Figure III.5 | Diffractogramme DRX de l'amidon | 61 |
| Figure III.6 | Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié (PLS) | 62 |
| Figure III.7 | Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié (PLS) | 62 |
| Figure III.8 | Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié – Biochar | 63 |
| Figure III.9 | Micrographe MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié | 65 |
| Figure III.10 | Micrographe MEB et analyse EDX de Biomasse de cyprès | 67 |
| Figure III.11 | Micrographe MEB et analyse EDX de charbon actif | 68 |
| Figure III.12 | Micrographe MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié / | 69 |

3%biomasse

Figure III.13

Micrographe de MEB et analyse EDX de l'amidon plastifie / 70
3%charbon actif)



Liste des tableaux

| | | |
|----------------------|--|----|
| Tableau I .1 | Critères d'utilisation des polymères biodégradables | 07 |
| Tableau I .2 | Concentration maximum en métaux lourds selon la norme EN13432 | 07 |
| Tableau I .3 | Perméabilité à la vapeur d'eau de quelques biopolymères. | 08 |
| Tableau I .4 | Matières premières issues des plantes et leurs applications potentielles | 09 |
| en polymères | | |
| Tableau I .5 | Propriétés spécifiques des biopolymères et les applications attendues | 11 |
| Tableau I.6. | Propriétés de quelques polyesters typiques pour usage médical | 12 |
| Tableau I .7 | Principales applications des biopolymères dans le domaine médical | 12 |
| Tableau I .8 | Applications des biopolymères en emballage | 14 |
| Tableau I .9 | Caractéristiques de l'amidon provenant de différentes origines | 16 |
| botaniques | | |
| Tableau I .10 | Composition et caractéristiques pour différents amidons | 17 |
| Tableau I .11 | Propriétés physico-chimique du glycérol | 28 |
| Tableau. II.1 | Caractéristiques de l'Amidon | 42 |
| Tableau II .2 | Propriétés de glycérol | 43 |

الملخص

يؤدي دمج الفحم الحيوي أو كربون السرو المنشط في النشا المُلدّن إلى تطوير مواد مركبة تتميز ببنية غير متبلورة، وسطح مسامي، وتشتيت فعال للشحنات. تتيح هذه الخصائص فرصًا لاستخدامات مبتكرة في القطاعين البيئي والصناعي، مع تسليط الضوء على مورد متجدد ومحلي. تتميز المواد المُنتجة بإمكانيات عالية لتطبيقات متنوعة، بما في ذلك تصميم مواد التغليف القابلة للتحلل الحيوي، ومرشحات معالجة المياه والهواء، بالإضافة إلى مصفوفات للتحكم في إطلاق المواد الفعالة.

الكلمات المفتاحية: تطبيق، فحم حيوي، فحم حيوي مُنشط، نشا مُلدّن ومركب

Résumé

L'ajout de biochar ou de charbon actif de cyprès dans l'amidon plastifié conduit à la formation de matériaux composites présentant une structure amorphe, une surface poreuse et une dispersion efficace des particules de la charge ajoutée. Ces caractéristiques offrent des perspectives pour des applications novatrices dans les domaines environnementaux et industriels, tout en mettant en avant une ressource renouvelable et locale. Les matériaux produits présentent un fort potentiel pour diverses applications, notamment dans la conception d'emballages biodégradables, de filtres pour le traitement des eaux et de l'air, ainsi que de supports pour la libération contrôlée d'agents actifs.

Mots clés : amidon plastifié, biochar, biochar activé, application et composite.

Abstract :

The incorporation of biochar or cypress activated carbon into plasticized starch results in the development of composite materials exhibiting an amorphous structure, a porous surface, and effective charge dispersion. These characteristics provide opportunities for innovative uses in environmental and industrial sectors, while highlighting a renewable and local resource. The materials generated have high potential for various applications, including the design of biodegradable packaging, filters for water and air treatment, as well as matrices for the controlled release of active agents.

Key words: application, biochar, activated biochar, starch plasticized and composite

Introduction générale

Lors de la dernière décennie, la sensibilisation environnementale a incité la communauté scientifique à explorer de nouveaux types de plastiques pour réduire la consommation de ressources fossiles de plus en plus rares. Car la majorité des polymères synthétiques conventionnels (polyéthylène, polypropylène, polystyrène, polyéthylène téréphtalate, polychlorure de vinyle) ne sont pas biodégradables, ils représentent une source de pollution pour l'environnement, affectant tant la flore que la faune et le climat [1].

Pour pallier l'utilisation des polymères conventionnels, les plastiques de substitution qualifiés de « biosourcés » doivent être issus de ressources renouvelables, avoir un coût modique et posséder des caractéristiques de recyclabilité ou de biodégradabilité (tels que l'amidon, l'acide polylactique (PLA), le polyester-amide (PEA), les polyhydroxyalcanoates (PHA), etc.). Ces matériaux sont déjà utilisés, en particulier dans les domaines de l'emballage et de l'agriculture. Pour réduire considérablement l'utilisation des polymères synthétiques, il est essentiel d'améliorer substantiellement les propriétés de ces nouveaux polymères afin de les rendre compétitifs sur le marché. Plusieurs stratégies ont été développées pour améliorer les propriétés des biopolymères, notamment la modification chimique ou l'association avec des nanoparticules ou d'autres polymères. Dans le cadre de ce projet de fin d'études, il a été décidé d'examiner un biopolymère dérivé de ressources renouvelables, biodégradable et économique, à savoir l'amidon. Ce matériau, plastifié (fréquemment avec du glycérol), peut être manipulé et façonné comme un polymère conventionnel. Les biopolymères constituent une catégorie de matériaux dérivés de ressources renouvelables ou produits par des organismes vivants, intégrant des caractéristiques biodégradables et biocompatibles[1].

Leur développement répond aux défis environnementaux en substituant les polymères dérivés du pétrole. L'amidon, un biopolymère largement étudié, est converti en matériaux thermoplastiques pour diverses applications, tandis que l'incorporation de biochar dans sa matrice amplifie ses fonctionnalités. Cependant, l'amidon plastifié (PLS) présente encore des lacunes qu'il convient de rectifier, telles que sa grande sensibilité à l'eau, ses propriétés mécaniques restreintes par rapport aux thermoplastiques conventionnels et son vieillissement prolongé après la mise en forme. Il est néanmoins possible de modifier chimiquement l'amidon ou de l'associer à d'autres composés pour améliorer ses propriétés. Nous avons décidé d'intégrer un biochar actif et inactif afin d'optimiser les propriétés physiques et

Introduction générale

chimiques du biopolymère. Le bio charbon, produit à partir du cyprès, est une espèce d'arbre à feuilles persistantes de la famille des Cupressacées. Il est réputé pour sa beauté et son parfum aromatique, et est employé à diverses fins, tellesque l'amélioration des propriétés mécaniques des biopolymères (comme la dureté et la stabilité thermique) par l'ajout de ses feuilles ou de ses fibres, etc.

Lemanuscrit est structuré en introduction générale et de trois chapitres :

Le premier chapitre est une revue de la littérature qui traite d'abord des généralités sur les biomatériaux et spécialement l'amidon (structure, composition, propriétés et applications) et en deuxième lieu une étude sur la charge de cyprès et de biochar(structure, composition, caractéristique et traitement).

Le deuxième chapitre présente les différentes techniques de préparation et de traitement de la charge de cyprès ainsi que la plastification de l'amidon et la préparation des films composites, les techniques de mise en œuvre des composites ainsi que les techniques de caractérisation utilisées structurale et morphologique. Le troisième chapitre expose l'ensemble des résultats obtenus et leur discussion. Enfin, nous terminons par une conclusion générale qui synthétise l'ensemble des résultats obtenus.

Référence

[1] Fontanille, M., & Gnanou, Y. (2002). Chimie et Physico-chimie des Polymères. Paris:Dunod .

I.1 Bio polymères

I.1.1 Généralités

Les polymères dérivés de matières premières renouvelables ont suscité un vif intérêt lors des vingt dernières années, principalement pour deux raisons majeures :

- La prise de conscience de l'épuisement de nos réserves de pétrole ;
- Les préoccupations environnementales liées à la pérennité des polymères synthétiques dérivés de la pétrochimie .

Au niveau européen, le Comité européen de normalisation CEN/CENELEC n'a pas encore établi de norme pour définir la biodégradabilité d'un polymère. La quantité de matériau renouvelable présente dans un biopolymère peut être déterminée à partir de ses sources de carbone. Dans un polymère biosourcé, une part significative du carbone est issue de matières premières renouvelables. D'après ces réglementations européennes, les biopolymères sont caractérisés par leur origine biosourcée, leur caractère biodégradable, ou les deux en même temps. Il est fréquent de confondre la biodégradabilité avec la compostabilité, bien qu'il s'agisse de deux concepts distincts. Un produit est qualifié de biodégradable lorsqu'il peut naturellement être décomposé par des organismes vivants après utilisation. La biodégradabilité représente l'un des paramètres essentiels pour évaluer l'empreinte environnementale d'une substance. La biodégradabilité d'un produit est conditionnée en même temps par sa capacité à se dégrader et par sa vitesse de décomposition dans un environnement biologique. Par exemple, une feuille morte se décompose entièrement de manière biodégradable en quelques semaines, tandis qu'une bouteille en plastique requiert environ 4000 ans pour subir le processus de dégradation. [1]

La composition du matériau est déterminée pour respecter un seuil maximal en métaux lourds et en fluor tolérable dans le matériau de départ. Le taux de biodégradabilité acceptable peut osciller de 60 à 90 % en fonction de la composition du matériau, sur une durée s'étalant de 60 à 90 jours. 3) Nous devons établir la décomposition du matériau lors du processus de compostage. En outre, nous devons préserver la qualité du compost. Afin de vérifier cela, on procède à la mesure des paramètres physico-chimiques du compost obtenu, tels que la masse volumique, la teneur en solides et en sels, le pH et la présence de métaux lourds[1].

Chapitre I : étude bibliographique

Une liste de différents types des biopolymères et leurs mélanges connus est détaillée ci-dessous :[1]

- Biodégradable / compostable :
 - Poly (ϵ -caprolactone (PCL) produit par BASF et Mitsubishi
 - Poly (alcool vinylique)(PVA)
- Biodégradable / compostable et biosourcé :
 - Poly(acide lactique) (PLA) (NatureWorks, Purac/ Synbra, Futerro)
 - Matériaux à base d'amidon (Novamont, Sphere-Biotec, Plantic, Roquette)
 - Matériaux à base de cellulose (Innovia)
 - Mélange ou composites du PLA (BASF, FKUR)
 - Polyhydroxyalkanoate (PHA) (Telles, Kaneka)
- Biosourcé :
 - Polymères à base de Bio-PDO (1,3 propanediol) (DuPont)
 - Polyéthylène (PE) dérivé de Bioéthanol (Braskem, DOW)
 - Polyéthylène téréphtalate (PET) dérivé de Bioéthanol (Coca-Cola)
 - Poly (chlorure de vinyle) (PVC) dérivé de bioethanol (SolVin)
 - Polypropylène (PP) dérivé de Bioethanol (Braskem)
 - Polyamides (PA) 6.6.9/6.10/11 (Arkema, BASF).

En générale, les polymères dérivés de la biomasse sont constitués d'abord de polysaccharides tels que l'amidon et ses dérivés, la cellulose, la chitine, le chitosane, la lignine, ainsi que de protéines d'origine animale ou végétale. D'autre part, on retrouve les polymères produits par des micro-organismes et obtenus par extraction, tels que les polyhydroxyalcanoates. De plus, il existe des polymères issus de la biotechnologie, qui sont synthétisés de manière conventionnelle à partir de monomères provenant de ressources renouvelables, comme l'acide polylactique (PLA). Enfin, on distingue les polymères dont les monomères sont issus de ressources fossiles et qui sont obtenus par synthèse classique, comprenant par exemple des polyesters tels que la polycaprolactone, les polyesteramides, les polyesters ou copolyesters aliphatiques (PBS, PBSA) ou aromatiques (PBAT).

Avérous[16] a proposé une classification avec quatre grandes catégories de polymères biodégradables selon leur mode de synthèse et l'origine et la nature de la matière première (**Figure I.1**) :

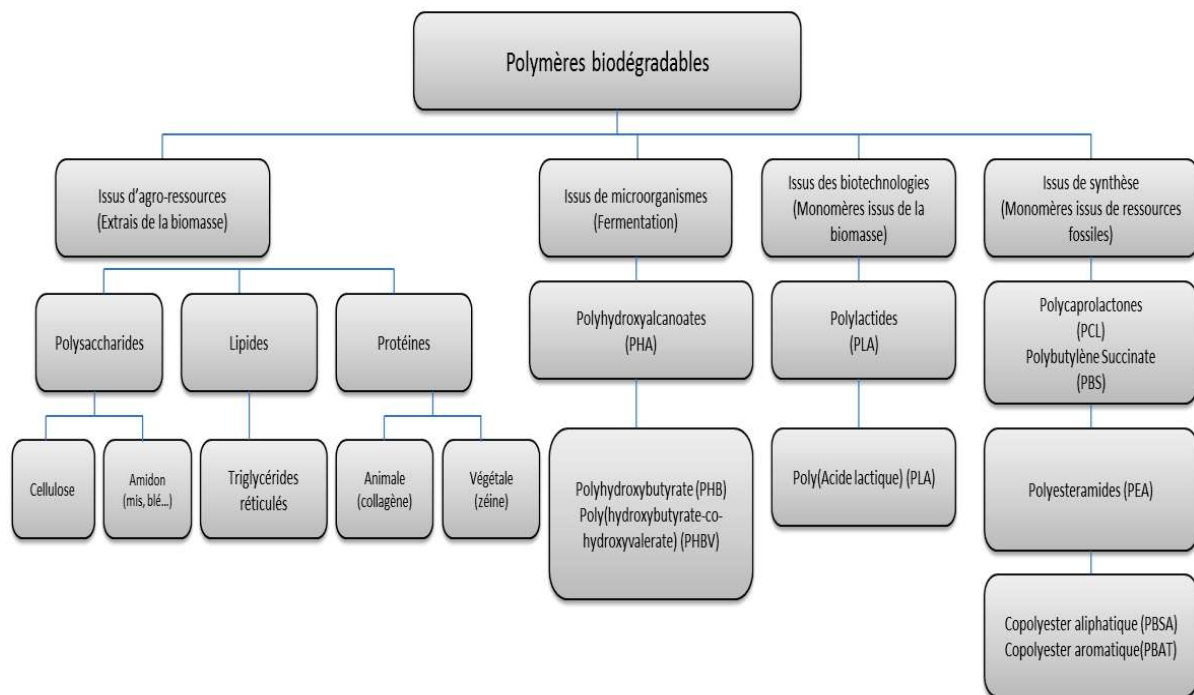


Figure I.1 : Classification des polymères biodégradables [16].

I .1.2 Propriétés des biopolymères

Les biopolymères présentent des propriétés particulières et intéressantes pour des applications bien spécifiques en industrie plastique. La biodégradabilité est la plus importante.

▪ La biodégradabilité

La dégradation des biopolymères est principalement attribuable à la présence de liaisons chimiques telles que les liaisons esters ou amides, qui sont facilement rompues. Ce processus conduit à la formation de molécules élémentaires et de fragments de taille réduite. Ces derniers sont métabolisés par les microorganismes pour leur biosynthèse, ce qui entraîne la libération de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (H_2O). En revanche, les polymères pétrochimiques classiques tels que le polyéthylène ou le polypropylène, qui sont caractérisés par un squelette carboné composé de liaisons covalentes C-C, nécessitent un temps plus prolongé et/ou la présence d'un catalyseur (thermique, par radiation électromagnétique ou chimique) pour se dégrader. La caractéristique de biodégradabilité des biopolymères suscite un intérêt particulier pour des domaines d'application spécifiques. Bien sûr, dans certaines applications, en particulier dans le secteur de la construction, on privilégiera les matériaux stables et non biodégradables.

Les critères d'utilisation des biopolymères biodégradables sont :

- Utilisation à courte durée de vie et jetable.
- Risque de contamination des matériaux rendant difficile le triage et le recyclage des déchets.

Chapitre I : étude bibliographique

-Applications qui nécessitent des précautions d'hygiène et de stérilisation dans le domaine médical.

- Les sacs de traitements des déchets pour compostage.

- D'une manière générale pour les applications, où il est difficile de contrôler les déchets

La biodégradabilité des matériaux à elle seule ne constitue pas un critère suffisant ; il est également nécessaire que les matériaux soient compostables. La comptabilité implique l'introduction de paramètres temporels ainsi que des conditions de température et d'humidité précises pour favoriser la biodégradation. Quatre critères de comptabilité sont considérés. Le premier critère concerne les propriétés des matériaux et établit la composition en matière organique (au moins 50 %) ainsi que la concentration maximale pour 11 métaux lourds (**Tableau I .1**). Le deuxième critère porte sur la dégradation biologique des matériaux dans un laps de temps spécifique. Le seuil acceptable de biodégradabilité est de 90 % sur une période maximum de 6 mois. Le troisième critère considère les produits finaux et la désintégration, qui se réfère à la capacité du matériau à se fragmenter. Il est impératif que la masse des fragments retenus sur un tamis de 2 mm ne dépasse pas 10 % de la masse initiale du matériau après une période de 12 semaines. Le critère final se concentre sur la qualité du compost. Son évaluation repose sur la mesure de divers paramètres physico-chimiques tels que la masse volumique, la teneur en solides, ainsi que sur la réalisation de tests d'écotoxicité.

.TableauI .1: Concentration maximum en métaux lourds selon la norme EN13432

| Métal | Ppm | Métal | ppm |
|-------|-------|-------|------|
| Zn | <150 | Pb | <50 |
| Cu | <50 | Hg | <0.5 |
| Ni | <25 | Cr | <50 |
| Cd | <0.5 | Mo | <1 |
| Se | <0.75 | As | <5 |
| F | <100 | | |

➤ Propriété de perméabilité à la vapeur d'eau

La majorité des biopolymères tels que l'amidon, la cellulose et les protéines sont hydrophiles, ce qui leur confère des caractéristiques de perméabilité à la vapeur d'eau. Ces propriétés sont dues notamment à la présence de fonctions polaires hydroxyle et/ou amine qui ont une forte réactivité avec l'eau par formation de ponts hydrogènes, ce qui leur confère aussi une propriété antistatique .

La perméabilité à la vapeur d'eau pourrait être un inconvénient dans certaines applications, notamment pour les emballages alimentaires. Par exemple, les viennoiseries doivent être

Chapitre I : étude bibliographique

conservées dans un environnement sec afin de préserver leur fraîcheur. En revanche, pour certains types d'emballage, cette méthode s'avère bénéfique. Le **tableau I.2** récapitule quelques exemples de propriétés de perméabilité à la vapeur d'eau des biopolymères.

Le **tableau I.2** présente la perméabilité à la vapeur d'eau de certains biopolymères.

Tableau I.2: Perméabilité à la vapeur d'eau de quelques biopolymères.

| Polymère | Exemple | Perméabilité à la vapeur d'eau ($\text{gm}^{-2}\text{j}^{-1}\text{atm}^{-1}$) |
|---------------------|-------------|---|
| A base d'amidon | MATER-BI | 250 -1000 |
| Acide lactique | NATUREWORKS | 325 |
| A base de cellulose | NATUREFLEX | 30 –600 |

➤ Propriétés chimiques

La présence de groupes fonctionnels sur les molécules confère des propriétés spécifiques à ces dernières et les rend plus réactives vis-à-vis d'autres molécules. La réactivité de ces composés est attribuable à la présence des groupes fonctionnels tels que les alcools, les acides, les amines ou les aldéhydes, qui réagissent aisément en raison de leur caractère nucléophile et électrophile. La présence d'insaturations et de groupements hydroxyles sur les chaînes alkyles des triglycérides offre la possibilité de les fonctionnaliser, ce qui peut mener à la synthèse de polyuréthanes, de polyamides ou de polyesters. Il est possible de classer les matières premières d'origine végétale en quatre catégories : les glucides, les lipides, les protéines et les composés phénoliques. La **figure I-2** présente les structures chimiques de certains polymères dérivés de matières végétales.

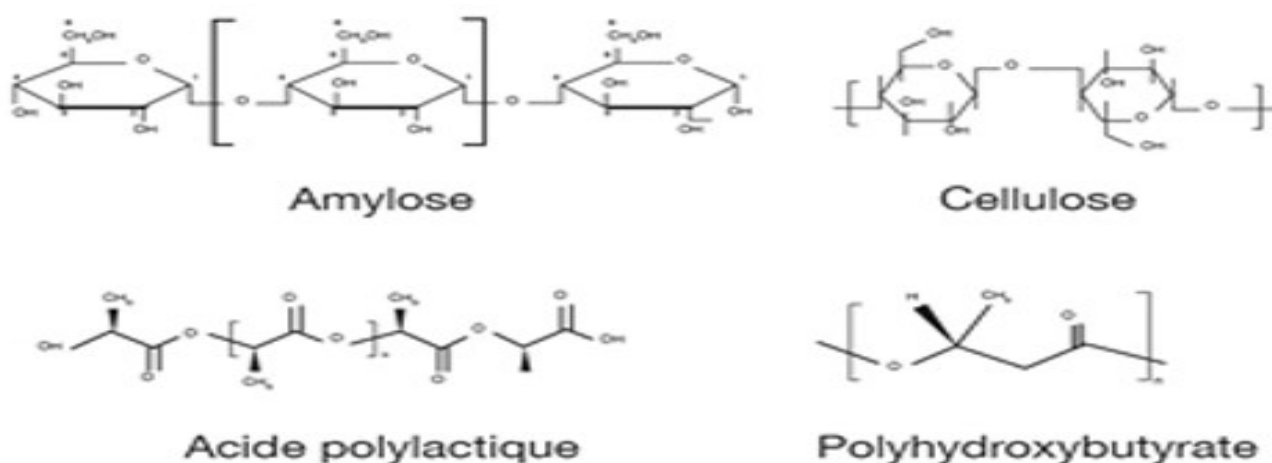


Figure I.2. Structures chimiques de quelques biopolymères

Chapitre I : étude bibliographique

Les principales matières premières végétales et les applications potentielles dans le domaine des polymères sont reprises dans le **tableau I .3**.

Tableau I .3: Matières premières issues des plantes et leurs applications

| Matières premières | Transformations chimique/ enzymatique/physique | Intermédiaires chimiques | Applications |
|--|---|---|--------------------------------------|
| GLUCIDES | | | |
| Saccharose | Fermentation par <i>Lactobacillus</i> | Acide lactique | Polymères d'acide |
| Amidon | Traitement thermique en présence de plastifiant | | Film d'amidon th |
| | Hydrolyse/Fermentation | Acide lactique | Polymères d'acide |
| | Hydrolyse/Fermentation | Acide glycolique | Polymères d'acide |
| | Hydrolyse/Fermentation | Acide succinique | Polyesters |
| | Hydrolyse/Fermentation | Acide hydroxybutyrate | Polyhydroxybuty |
| | Hydrolyse/Fermentation | 1, 3 Propanediol | Polyesters |
| | Hydrolyse + hydrogénation | Sorbitol | Polyuréthanes, re |
| Cellulose | | | Fibre de renfort |
| | Estérification | Acétate de cellulose, nitrate de cellulose | Cellophane, Acé |
| Hémicellulose | Hydrolyse + cyclisation | Furfural | Polymères furan |
| | Fermentation | Acide itaconique | Polymères d'acide |
| Pectines | | | Polymères films |
| Gommes végétales (alginates, arabinogalactanes) | | | Polymères alime |
| LIPIDES | | | |
| Acides gras insaturés | Fonctionnalisation (époxydation, hydroformylation, etc.) | | Polyuréthanes, p polyesters, poly |
| Colophanes | Estérification avec glycérol | | Gomme-esters |
| Terpènes | | | Résines terpéniqu |
| PROTÉINES | | | |
| | Hydrolyse | Acide aminé | Polyaspartates |
| Zéine | | | Polymères à base |
| Gluten | | | Polymères à base |
| POLYPHENOL | | | |
| Lignine | | | Polymères comp à base de lignin |
| | Réaction avec l'oxyde de propylène | | Polyuréthanes |
| Tannins | | | Polymères pour a |
| Subérine (liège) | Réaction avec l'oxyde de propylène (oxypropylation) | | Polyuréthanes |
| POLYISOPRÈNE | | | Caoutchouc |

➤ Autres propriétés

Certains biopolymères possèdent des fonctionnalités qui leur apportent des propriétés physico-chimiques ou mécaniques particulières. On peut relever dans **le tableau I .4** quelques propriétés physico-chimiques intéressantes des biopolymères et les applications potentielles.

Tableau I .4: Propriétés spécifiques des biopolymères et les applications attendues

| Bio polymère | Propriétés particulières | Applications ciblées |
|--|---|--|
| Polymères à base d'amidon | Antistatique, anti condensation, toucher naturel | Emballages et sacs |
| Polymères à base de cellulose | Transparence, antistatique | Emballages |
| Polymères à base de protéines | Comestible grande diversité chimique, des acides aminés, perméabilité sélective aux gaz | Galénique, emballage alimentaires |
| Polymères à base d'huile | Siccativité | Peinture, vernis |
| Polymères de synthèse à base de l'acide lactique | Anti-condensation, brillance antibactérien | Emballage, textile |
| Polyesters bactériens (polyhydroxyalcanoates) | Piézoélectrique, anti oxydant, insolubilité dans l'eau | Médical, matériaux ostéosynthétiques, emballage rigide |
| Caoutchouc | Elastomère | Vulcanisation |

Trois grands créneaux d'applications sont identifiés par rapport aux propriétés des biopolymères : la médecine, l'agriculture et les emballages.

I .1.3 Applications

➤ En médecine et pharmacie

Chapitre I : étude bibliographique

Les premières applications des biopolymères sont médicales d'autant plus que leurs coûts élevés de départ se justifient dans ces applications à haute valeur ajoutée. Leurs propriétés de biocompatibilité et de biorésorbabilité associées à leur résistance mécanique sont très importantes pour assurer les fonctions attendues dans ce domaine. Les propriétés de quelques biopolymères typiques utilisés dans des applications médicales sont données dans le **tableau I .5**.

Tableau I .5. Propriétés de quelques polyesters typiques pour usage médical

| Polymère | Température de fusion T_f (°C) | Température de transition vitreuse T_g (°C) | Module de traction (MPa) | Temps de dégradation (mois) |
|---------------------------|----------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|
| PGA | 225 – 230 | 35 – 40 | 7,0 | 6 -12 |
| LPLA | 173 – 178 | 60 – 65 | 2,7 | >24 |
| DL- PLA | Amorphe | 55 – 60 | 1,9 | 12 – 16 |
| P(DL-L-coglycolide) 85/15 | Amorphe | 50 – 55 | 2,0 | 5 – 6 |

Diverses catégories de biopolymères sont actuellement utilisées dans le domaine médical. Les polymères synthétiques tels que les polyesters comme le polylactide (PLA) et le polyglycolide (PGA), ainsi que leurs copolymères polylactide-co-glycolide (PLGA), sont largement reconnus et employés dans la fabrication de fils de suture et d'implants médicaux. Ces biopolymères sont parfaitement tolérés et ne montrent aucune toxicité pour le corps. D'autres types de biopolymères tels que les polyhydroxyalcanoates (PHA), la cellulose ou les polyacides aminés sont également appropriés pour être utilisés dans des applications médicales (voir **tableau I .6**).

Tableau I .6: Principales applications des biopolymères dans le domaine médical

| Biopolymère | Applications médicales |
|-----------------------------|---|
| Polyhydroxyalcanoates (PHA) | Fil de suture, galénique, implant vasculaire, vêtement et accessoire médicaux, ostéosynthèse |
| Polyglycolides (PGA) | Fil de suture, clip, agrafe et adhésif |
| Polyactides (PLA) PLLA | Fixation orthopédique, attache, vis et broche, ligament et tendon artificiel, matrice de régénération de tissu, galénique |
| Polyglactine (PLA-PGA) | Fil de suture, fixation orthopédique, ligament et tendon et vaisseau artificiel |
| Cellulose | Encapsulation des médicaments, membrane d'hémodialyse |
| Alginate | Encapsulation des médicaments, implantation cellulaire |

Chapitre I : étude bibliographique

| | |
|---------------|---|
| Polyaspartate | Encapsulation des médicaments, fil de suture, peau artificielle |
| Poly-lysine | Encapsulation des médicaments, biosenseur, bactéricides |

➤ En agriculture

Dans ce secteur, les films de paillage fabriqués à partir de biopolymères gagnent du terrain en tant qu'alternative aux paillis en polymères classiques. Ils ont pour rôle principal de limiter la perte d'eau par évaporation et d'augmenter la température du sol afin de promouvoir le développement des jeunes plantes au début du printemps. Par conséquent, il est essentiel d'effectuer des opérations d'élimination, de nettoyage et de traitement des déchets plastiques. Les paillis en polymères biodégradables permettent d'éviter la collecte et le traitement des déchets en se dégradant sur place. De plus, la biodégradation rapide de ces films permet d'éviter le recours à l'incinération classique des films de paillage traditionnels, qui génère des substances toxiques dans l'environnement et entraîne des coûts de main-d'œuvre. Une autre application pertinente concerne la fabrication de bandes d'ensemencement. Il s'agit de bandes contenant des semences réparties de manière régulière, accompagnées de nutriments. Elles se décomposent naturellement dans le sol pendant que les graines germent et développent leurs racines. Les géotextiles, qui sont employés dans le but de maîtriser l'érosion et d'optimiser les propriétés mécaniques et hydrauliques des sols, constituent également un exemple d'application des biopolymères. En horticulture, les biopolymères sont utilisés dans diverses applications telles que les pots de transplantation, les ficelles, les clips, les agrafes, les enrobages à libération contrôlée de semences, d'engrais, de phéromones pour repousser les insectes. On les retrouve également dans les pesticides, les sacs d'engrais, les enveloppes d'ensilage et les plateaux à semences. Dans le domaine de l'aquaculture, les biopolymères sont utilisés dans la fabrication des cordes et des filets de pêche. Ils servent également de substrats pour l'aquaculture. Les polymères dérivés de l'amidon sont largement préférés dans le secteur de l'agriculture. Le matériau doit satisfaire aux exigences de biodégradabilité tout en présentant une durée de vie adéquate pour assurer son bon fonctionnement. En réalité, une dégradation excessive et rapide d'un film de paillage pourrait provoquer une augmentation de la présence des mauvaises herbes et des dommages aux cultures .

➤ En emballage

Dans le domaine de la vie courante, le secteur de l'emballage est un autre créneau crucial pour le marché des polymères biodégradables.

Ces derniers apportent une solution aux problèmes de déchets. Cependant, ils nécessitent toutefois la mise en place d'une filière de gestion de déchets adéquate à ce type de produits. Ainsi, l'organisation d'une filière de compostage est indispensable pour assurer une valorisation optimale de ces emballages biodégradables .

Chapitre I : étude bibliographique

Outre leur biodégradabilité, les biopolymères présentent d'autres propriétés intéressantes pour les applications dans le domaine de l'emballage. Les biopolymères offrent aux emballages d'autres fonctions grâce à leurs propriétés intrinsèques (**Tableau I .7**). On peut citer, par exemple, leur perméabilité à la vapeur d'eau intéressante pour emballer les produits frais comme les fruits et les légumes .

Tableau I .7 : Applications des biopolymères en emballage .

| Biopolymère | Applications |
|-----------------------|--|
| Amidon | Emballages films alimentaires et produits d'hygiène, sac de pomme de terre, couverts jetables, emballage de calage, plateaux de légumes et filets. |
| Cellulose | Emballages films alimentaires et emballages films divers. |
| Poly lactide (PLA) | Raviers et pots, bouteilles d'eau et de lait, gobelets jetables, divers emballage alimentaires, blisters. |
| Polyhydroxyalcanoates | Emballages cosmétiques, emballages films, raviers et couverts jetables. |

➤ Autres applications

Les biopolymères sont également exploités dans des domaines plus spécialisés et pointus tels que l'industrie automobile, l'électronique et la construction. Dans le secteur de l'industrie automobile, on observe une évolution vers l'utilisation de matériaux biocomposites offrant des propriétés améliorées. À titre d'exemple, il est possible de mentionner l'utilisation d'un matériau composite constitué de PLA mélangé à des fibres de kéf. Celui-ci permet de substituer les panneaux de portières et les tableaux de bord en acrylonitrile butadiène styrène (ABS) dans l'industrie automobile. Ce matériau offre un avantage par rapport aux polymères classiques en raison de sa légèreté, de sa résistance accrue et de ses propriétés d'insonorisation supérieures. Les polymères dérivés de l'amidon sont employés en tant qu'additif lors du processus de fabrication des pneumatiques. L'intégration de charges de polymères à base d'amidon dans les composants des pneumatiques entraîne une diminution de la résistance au roulement, de la consommation de carburant et, par conséquent, des émissions de gaz à effet de serre

Dans le domaine de l'électronique, la société NEC envisage d'employer le même composite de PLA et de kénaf pour substituer les pièces électroniques généralement fabriquées en ABS/PC. Par ailleurs, FUJITSU a introduit le premier prototype d'un boîtier de PC portable en PLA afin de réduire les coûts de traitement des déchets électroniques et les impacts environnementaux. En réalité, les retardateurs de flamme ajoutés aux polymères courants sont principalement des composés halogénés ou phosphorés, qui produisent des gaz dangereux lorsqu'ils sont brûlés et dégagent des substances toxiques pour l'écosystème lorsqu'ils sont enfouis en décharge. Des disques compacts fabriqués à partir de PLA sont également commercialisés. L'entreprise FUJITSU envisage de commercialiser des bobines de films en PLA pour remplacer le polystyrène. La solidité et la capacité à maintenir des dimensions précises sont des avantages du matériau. De plus, il offre une protection contre les charges électrostatique

Dans le secteur de la construction, la fibre de PLA est couramment employée dans la fabrication de capitonnages et de dalles de moquette. Sa moindre inflammabilité par rapport aux fibres synthétiques classiques représente un avantage en termes de sécurité pour les individus et les structures en cas d'incendie. Les propriétés antibactériennes et antifongiques de ce produit contribuent à prévenir les réactions allergiques. De plus, la fibre présente une résistance aux rayonnements UV, ce qui permet de prévenir le vieillissement et le jaunissement des tissus d'ameublement tels que les stores. Les biocomposites sont également utilisés comme isolants dans le domaine de la construction. En raison de ses caractéristiques telles que sa brillance et sa respirabilité, la fibre de PLA est hautement valorisée par les créateurs de mode renommés et les fabricants de vêtements de sport. Elle met en avant le confort offert par les fibres naturelles ainsi que les caractéristiques des fibres synthétiques. De surcroît, elle présente une résistance aux odeurs. En dernier lieu, il convient de mentionner les applications à durée de vie courte et jetable des biopolymères, telles que les couches pour bébés, les bâtonnets ouatés et les articles d'hygiène féminine[2].

I.1.3 Amidon

➤ Amidon natif

L'amidon est un polymère naturel, issu de ressources botaniques renouvelables et diverses (Blé, pomme de terre, riz, maïs, pois, tapioca, etc.) Il est peu cher et biodégradable. Il peut être utilisé dans diverses applications industrielles comme l'agro-alimentaire, le

Chapitre I : étude bibliographique

papier, le textile, l'emballage, etc. Le **tableau I.8** donne quelques caractéristiques de quelques amidons provenant de différentes origines botaniques [3].

Tableau I .8: Caractéristiques de l'amidon provenant de différentes origines botaniques [3].

| | Teneur en amidon (%) | Forme des grains d'amidon | Diamètre (µm) |
|----------------|----------------------|---------------------------|---------------|
| Blé | 59-75 | Lenticulaire | 2-38 |
| Maïs cireux | | Polyédrique | |
| Maïs normal | 71-74 | Polyédrique | 5-25 |
| Amylomaïs | | Filamenteux | |
| Riz | 74-88 | Polyédrique | 3-8 |
| Pomme de terre | 65-85 | Ellipsoïdale | 15-100 |
| Pois lisse | 43-48 | Réniforme | 17-31 |
| Pois ridé | 32-37 | Rosette | 30-40 |

En fonction de son origine, le grain d'amidon peut mesurer entre 0,5 et 175 µm et avoir différentes formes [4].

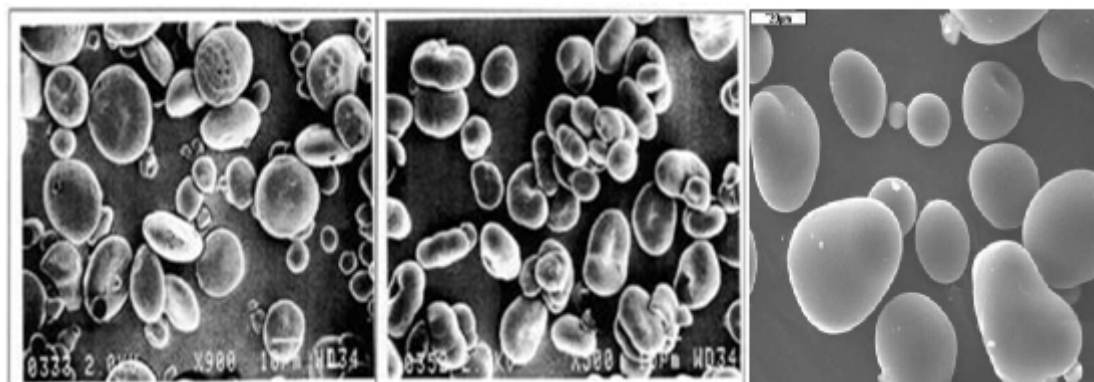


Figure I .3 : Micrographies (MEB) d'amidon natif de blé (gauche), de pois (milieu) de pommes de terre (droite) [5].

L'amidon est un polysaccharide de formule chimique $(C_6H_{10}O_5)_n$. Il est composé de molécules de glucose liées par des liaisons α (1,4) et parfois α (1,6). Le grain d'amidon se présente sous la forme de granules semi-cristallins et est composé de deux macromolécules, l'amylose et l'amylopectine. L'amylopectine est une macromolécule hautement ramifiée (environ tous les 22 à 70 unités glucose), a un poids moléculaire d'environ 107-109 et est

Chapitre I : étude bibliographique

organisée en feuillets. L'amylose, quant à elle, est une molécule linéaire ou peu ramifiée avec un poids moléculaire d'environ 105-106. L'amylose forme une zone amorphe, moins bien organisée entre les feuillets d'amylopectine et s'organise en une hélice droite à six glucoses par tour[4]. La Figure I-6 représente les molécules d'amylose et d'amylopectine[6]

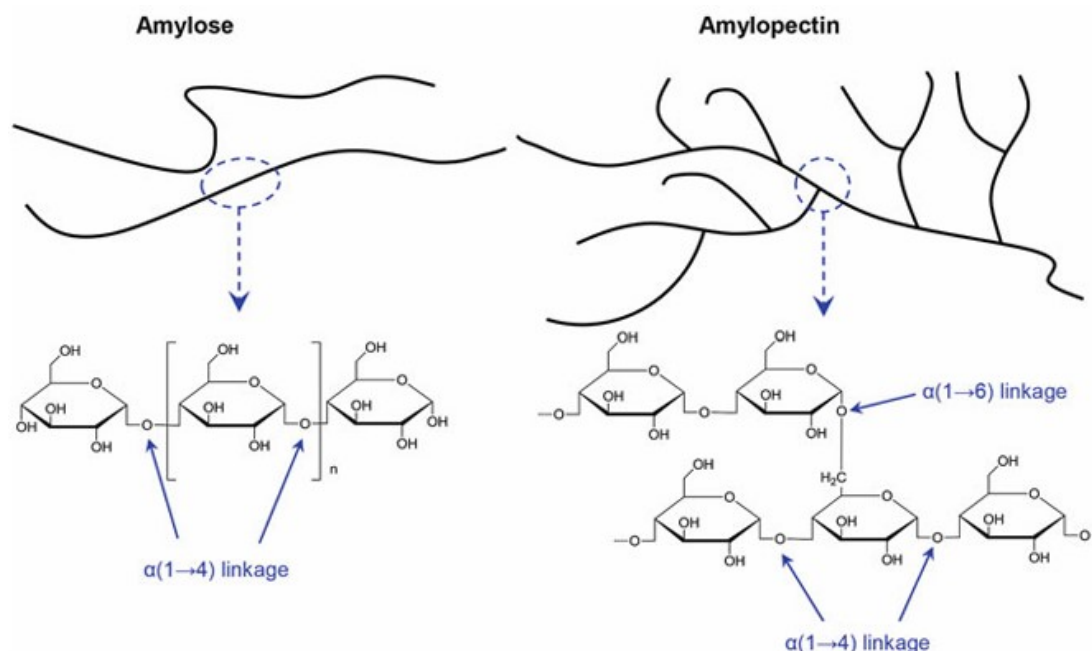


Figure I.4: Structure chimique de l'amylose (A) et de l'amylopectine (B)[7]

La proportion entre amylose et amylopectine est variable en fonction de l'origine de l'amidon natif. Le **Tableau I.9** montre les différentes compositions de l'amidon en fonction de la ressource dont il est issu.

Tableau I.9: Composition et caractéristiques pour différents amidons.[8]

| Amidon | Amylose (%) | Amylopectine (%) | Lipides (%) | Protéines (%) | Minéraux (%) | Teneur en eau (%) |
|----------------|-------------|------------------|-------------|---------------|--------------|-------------------|
| Blé | 26-27 | 67-68 | 0,63 | 0,3 | 0,1 | 13 |
| Maïs | 26-28 | 71-74 | 0,63 | 0,3 | 0,1 | 12-13 |
| Maïs cireux | | 99 | 0,23 | 0,1 | 0,1 | - |
| Amylomaïs | 52-80 | 18-46 | 1,11 | 0,5 | 0,2 | - |
| Pomme de terre | 20-24 | 65-85 | 0,03 | 0,05 | 0,3 | 18-19 |

Depuis une trentaine d'années, la communauté scientifique s'intéresse de plus en plus à la production de polymères biodégradables issus de ressources renouvelables et peu chers afin de remplacer ou de limiter l'utilisation des polymères synthétiques, issus de ressources non renouvelables. C'est pour cette raison que la recherche s'est penchée vers l'utilisation de biopolymères tels que l'amidon, la cellulose, la lignine ou la chitine qui sont complètement biodégradables. Malheureusement, ces produits, et particulièrement l'amidon qui est utilisé pour cette étude, ne sont pas utilisables avec les outils conventionnels de la plasturgie. De plus, ils présentent souvent des propriétés physico-chimiques moins bonnes que les polymères classiques. Plusieurs approches ont été étudiées afin de remédier à ces problèmes, notamment par la modification chimique afin de rendre le biopolymère hydrophobe au lieu d'hydrophile. L'estérification de l'amidon ou de la cellulose a été particulièrement étudiée[9].

Cependant les propriétés obtenues dans la plupart des cas sont toujours inférieures à celles des polymères classiques, sans compter que leurs synthèses sont coûteuses. Une autre façon d'améliorer les propriétés de ces biopolymères est donc de les associer avec d'autres polymères.

L'amidon est donc un matériau biodégradable, de faible coût, issu de ressources renouvelables. Il possède également un taux de dégradation élevé. Griffin[10] a utilisé l'amidon granulé comme renfort dans du polyéthylène afin d'augmenter la dégradation du matériau obtenu. De nombreuses études ont montrées que les propriétés de ce mélange étaient très comparables à celles obtenues avec des renforts classiques[4].

. Structure du grain d'amidon

A /Taille et distribution des grains

A l'état natif, l'amylose et l'amylopectine sont organisés sous forme de granule (ou grain d'amidon). Les grains ont une morphologie variée : sphérique, lenticulaire, polyédrique,... et leur taille peut varier de 1 à 100µm. Les grains présentent une cohésion radiale et tangentielle suite à l'établissement des liaisons hydrogènes intramoléculaires. L'examen des grains d'amidon par microscopie optique révèle une alternance de zones cristallines et semi-cristallines[11].

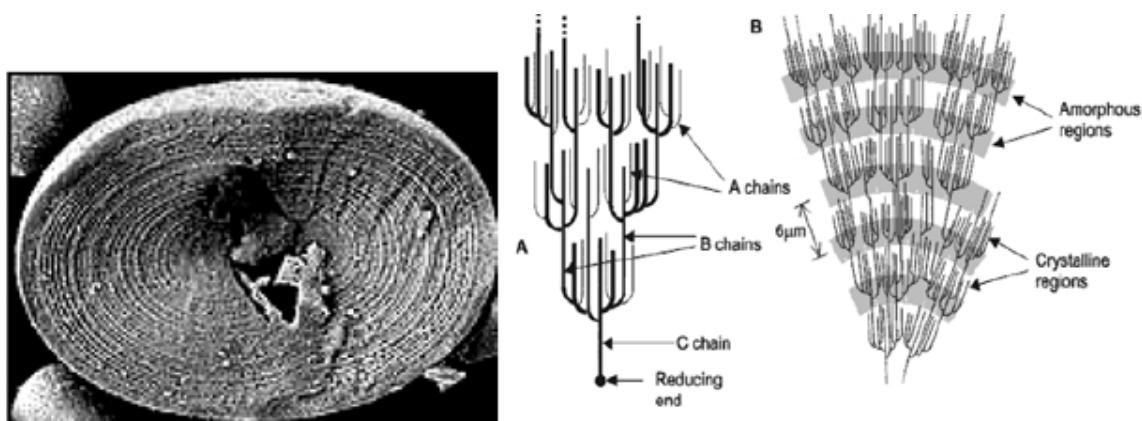


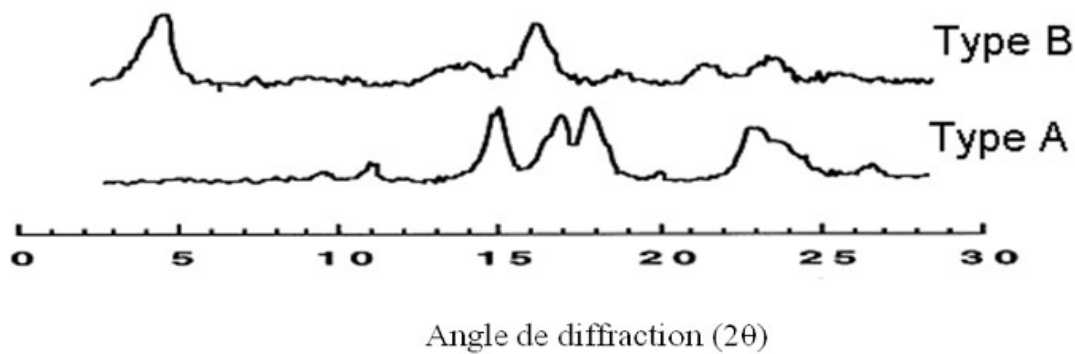
Figure I .5: Coupe d'un grain d'amidon de pomme de terre et structure de l'alternance des régions amorphes et cristallines[11].

Les zones cristallines ont une taille comprise entre 100 et 400nm et une alternance de périodicité 90-100nm. La dégradation enzymatique de l'amidon natif permet d'isoler des granules résiduels résistants dont l'analyse par MEB (Microscope Electronique à Balayage) dévoile une organisation structurale constituée de petites entités plus ou moins sphériques : les blocklets ou clusters (**Figure I .2**). [11]

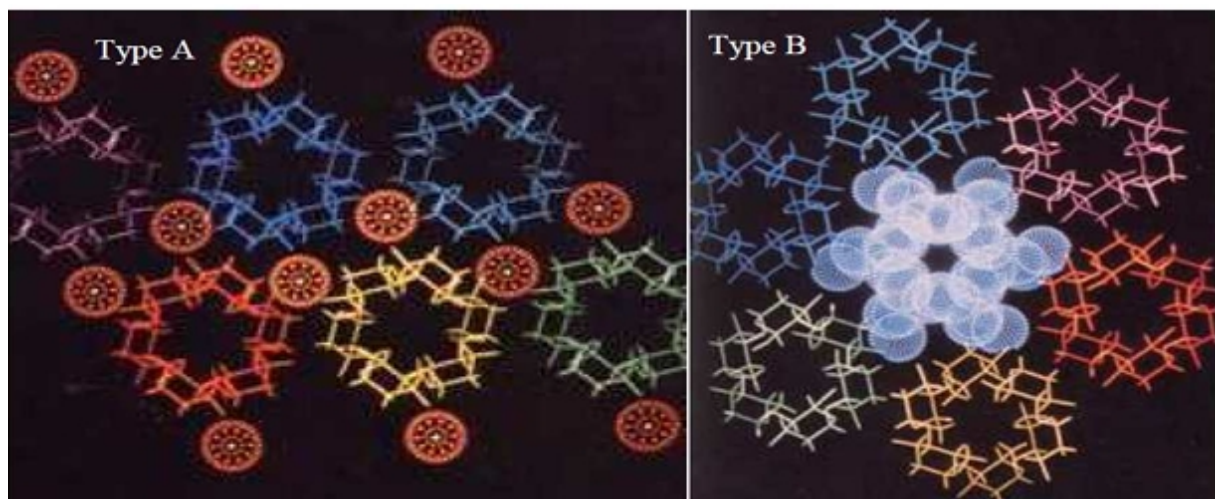
b/Structures cristallines

Les cristaux du grain d'amidon diffractent sous rayons X en donnant des diagrammes de diffraction typiques à deux structures allomorphes. Le type A est caractéristique des amidons de céréales et le type B des amidons de tubercules, d'amidons rétrogradés ou de céréales riches en amylose[12].

Les modèles structuraux proposés pour les zones cristallines des deux allomorphes correspondent à une structure en double hélice, à brins parallèles, de chiralité gauche. La différenciation entre les deux types de cristallinité réside dans l'empilement des doubles hélices et dans la teneur en eau liée à la structure. Pour le type A, quatre molécules d'eau sont présentes entre les doubles hélices. Le type B est de symétrie hexagonale et possède un canal central où se placent trente-six molécules d'eau (Figure I .1.6 ;I .1.7). L'allomorphe B serait préférentiellement obtenu dans des conditions de fortes humidités et à basse température, alors que le type A à plus haute température[12].



FigureI .6: Diffractogrammes obtenus par DRX des structures cristallines A, B de l'amidon (Sarko, 1978)[13].



FigureI .7: Modélisation de la structure cristalline l'amidon natif : Type A et type B[12].

- **Elaboration des matériaux à base d'amidon**
- **Gélatinisation**

La première étape de mise en œuvre d'un matériau à base d'amidon est la gélatinisation ou déstructuration de la partie semi-cristalline des grains d'amidon. Elle s'obtient sous excès d'eau (>50%) et pour des températures supérieures à 60°C. La gélatinisation peut également être obtenue en jouant sur la variable pression. La gélatinisation est définie en trois étapes (FigureI .8) : la sorption (gonflement du grain), l'empesage (gélatinisation du grain) et la dispersion (solubilisation).

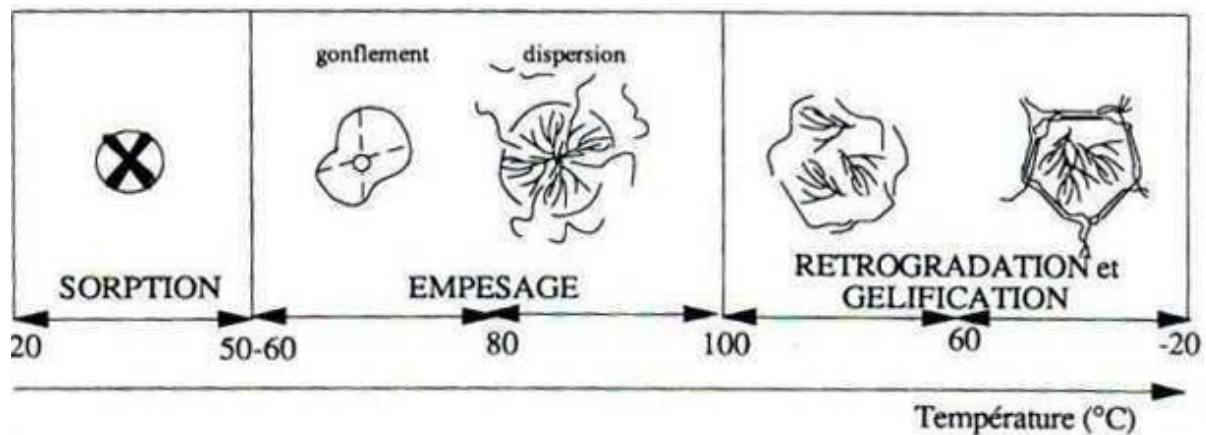


Figure I .8: Gélatinisation et rétrogradation de l'amidon[14].

La gélatinisation peut également être observée à des teneurs en eau plus faibles et à température plus élevée ($>100^{\circ}\text{C}$) mais on parle alors plus communément de fusion de la structure cristalline comme dans le domaine des thermoplastiques. Elle a lieu lors de l'extrusion des matériaux amylacés sous conditions de température, pression, cisaillement mécanique et à l'aide de l'introduction de plastifiants ou d'eau[14].

➤ **Plastification**

▪ **Principe**

La plastification consiste à améliorer la ductilité du matériau (allongement à la rupture) et plus généralement son comportement face à une sollicitation mécanique. D'un point de vue thermodynamique, la plastification diminue la température de transition vitreuse du matériau. D'un point de vue moléculaire, elle augmente la mobilité des chaînes macromoléculaires par augmentation du volume libre à travers l'incorporation d'une petite molécule organique : « le plastifiant ». Il est parfois intéressant de ramener la température de transition vitreuse d'un matériau en dessous de la température ambiante ou de son utilisation pour qu'un matériau amorphe ou semi-cristallin se présente dans son domaine caoutchoutique (exemple de l'utilisation du PVC non-plastifié, à l'état vitreux pour le support des fenêtres et du PVC plastifié amené dans son domaine caoutchoutique pour les tuyaux d'arrosages). La température de transition vitreuse (T_g) des polymères plastifiés peut être prédite par différentes équations modèles qui est basée sur des théories thermodynamiques et impliquant une bonne compatibilité des différents constituants[15].

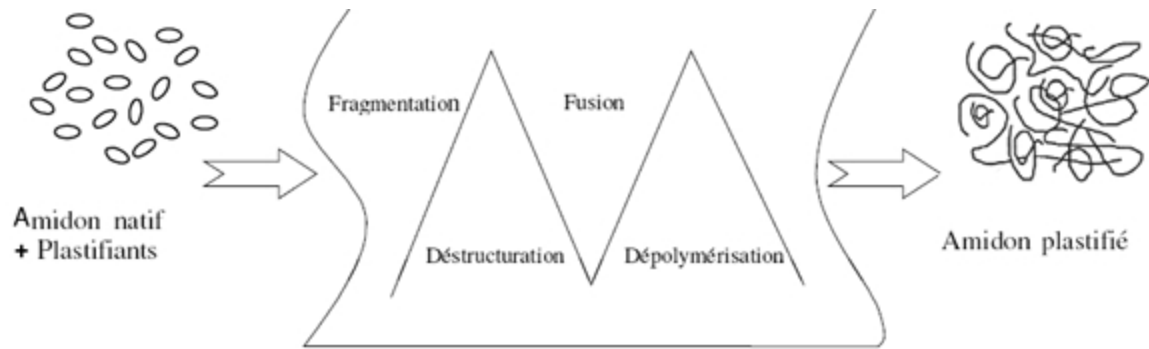


Figure I .9: Schéma de la transformation d'amidon natif en amidon thermoplastique.[15].

▪ Type de plastifiants

Les plastifiants doivent avoir une bonne solubilité et une bonne mobilité avec le polymère à plastifier. L'amidon étant un matériau polaire à travers ses groupements hydroxyles, l'eau est ainsi son meilleur plastifiant. L'eau est indispensable pour le traitement thermique de l'amidon. Une réduction de la teneur en humidité entraîne **une** augmentation progressive de la température de fusion de l'amidon. [15].

Le rôle clé de l'eau :

1. Plastification des polymères d'amidon

Abaisse la température de fusion.

Agit comme un plastifiant volatil pendant le traitement.

2. Problèmes pratiques

Une évaporation excessive de l'eau peut causer :

Instabilité du procédé (moussage indésirable).

Mauvaise qualité mécanique des produits finis (fragilité accrue).

La température finale reste souvent inférieure à la température de transition vitreuse (Tg).

Pour pallier à cette problématique les matériaux à base d'amidon sont plastifiés à l'aide de composés non-volatils(stable) qui permettent de fixer un degré minimum de plastification.

Les principaux plastifiants étudiés sont les suivants :

1. Polyols

- Les polyols : glycérol, glycol, sorbitol, maltitol, etc...
- Améliorent la flexibilité et réduisent la rétrogradation (recristallisation).

2. Composés azotés

- Urée, dérivés d'ammonium, amines
- Favorisent la plasticité sans évaporation.

3. Acide citrique (efficacité remarquable)

- Fragmente les granules d'amidon (effet acide).
- Interagit avec les groupes C=O de l'amidon, limitant les liaisons hydrogène.
- Réduit la rétrogradation (recristallisation) en maintenant une structure amorphe.

L'amidon gélatiné plastifié est appelé dans ce cas **Amidon Thermoplastique (TPS)**, ou thermoplasticStarch.

Le glycérol est un plastifiant couramment utilisé pour l'amidon, abaissant sa Tg de 120°C à 60°C. C'est un tri-alcool qui se trouve sous la forme d'un liquide, visqueux, inodore, transparent et très hygroscopique car il comporte trois fonctions hydroxyle (-OH). Le glycérol (propane-1,2,3-triol) ou glycérine est un composé organique naturel de formule : $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ qui n'est ni toxique ni irritant, biodégradable et recyclable et qui possède une série de propriétés physiques et chimiques [16].

Le glycérol a été découvert en 1779 par le pharmacien suédois/allemand K.W. Scheele [17], lorsqu'il a fait chauffer un mélange de litharge (oxyde de plomb, PbO) et d'huile d'olive. C'est jusqu'à 1811 que le glycérol a été nommé ainsi par le chimiste français M.E.Chevreul[18] qui publia en 1823, le premier brevet sur la procédure pour obtenir des acides gras en utilisant une base.

La production du glycérol par fermentation de sucre a été réalisée par Louis Pasteur en 1857. Notant aussi que le glycérol a été utilisé à la première guerre mondiale pour la fabrication d'explosifs, qui consiste à stabiliser la nitroglycérine, liquide volatile explosif issu du glycérol, avec de la silice pour donner une pâte malléable et transportable. Cette application est l'une des applications historiques du glycérol.

Le classement des sources du glycérol a changé au fil du temps, d'où on remarque à présent la production de biodiesel est devenue le leader du marché du glycérol avec un pourcentage de 62% en 2018 cela fait presque sept fois son pourcentage en 1999 où elle ne représentait que 9% seulement. Mais la production de glycérol de synthèse à partir du propylène (figure I .10).

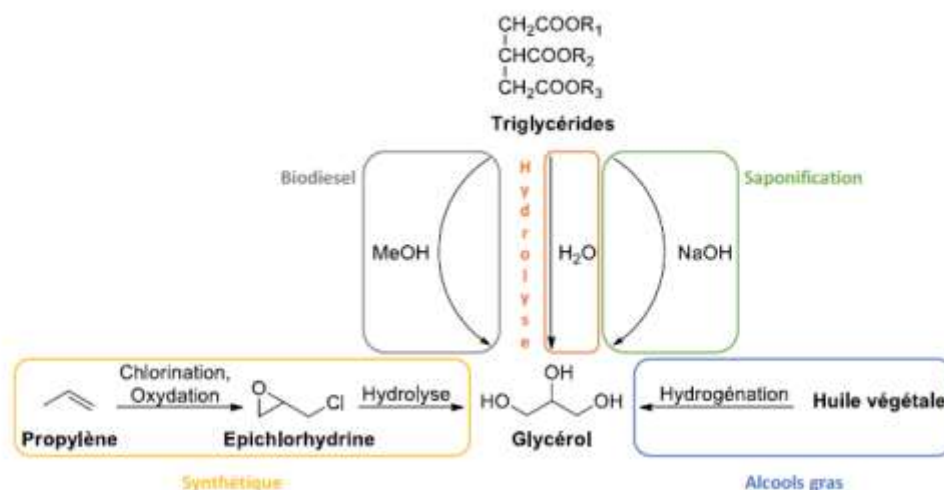


Figure I .10: Voie de production du glycérol [17].

- **Propriétés de l'amidon plastifié physiques et thermiques**

Comme dans le cas des polymères traditionnels, l'effet de plastifiants sur des films issus d'agro ressources se traduit généralement par une diminution du module d'élasticité et de la contrainte à la rupture et par une augmentation de la déformation.[19].

La contrainte et l'allongement à la rupture dans les films d'amidon sont affectés par la teneur en glycérol. La contrainte diminue et la déformation augmente de manière significative avec l'augmentation du glycérol dans tous les films d'amidon[20].. Quand un plastifiant, tel que le glycérol, est incorporé dans un réseau d'amidon, les interactions directes et la proximité entre les chaînes d'amidon vont être réduites. Par conséquent, en vertu des forces de traction, les mouvements des chaînes d'amidon sont facilités sur les films plastifiés, ce qui diminue la température de transition vitreuse de ces matériaux et améliore leur flexibilité. Il est donc possible de moduler les propriétés mécaniques de l'amidon plastifié en fonction de la teneur en plastifiant[21].

- **Propriétés rhéologiques de l'amidon plastifié à l'état fondu**

Lors de la mise en forme, l'intensité de la transformation subie par l'amidon plastifié est directement dépendante de la température, de la teneur en plastifiant, ainsi que de du traitement mécanique. Ces paramètres influençant la structure moléculaire du matériau, ils modifient également les propriétés d'écoulement du produit. Compte tenu de l'importance du traitement mécanique[22], les techniques classiques d'analyse rhéologique des thermoplastiques ne sont pas adaptées pour les matériaux amylacés, ceux-ci se comportant

principalement comme des matériaux solides dans ces conditions D'autres méthodes permettant de contrôler ce traitement mécanique ont donc été développées :

Le rhéomètre à pré-cisaillement (Rhéoplast)

La filière rhéomètre, permettant des mesures en ligne au cours du procédé[23]

➤ **Préparation des films à base de biopolymères et propriétés des films**

Deux voies de préparation sont couramment utilisées pour les films de biopolymères: une voie sèche et une voie humide. La formation du matériau suit deux étapes, l'obtention d'un état déstructuré et la mise en forme.

• **Obtention d'un état déstructuré**

L'état déstructuré est obtenu soit par solubilisation, soit par plastification par ajout d'un plastifiant. La plastification est utilisée pour la préparation par voie sèche et pour un polymère cristallin ou semi-cristallin. Elle consiste à insérer un plastifiant entre les chaînes d'un polymère pour induire une diminution de la cristallinité et conférer au matériau un comportement thermoplastique. La solubilisation est utilisée pour une mise en forme par voie humide, lorsque le polymère est soluble dans un solvant pouvant dissoudre et/ou disperser convenablement les adjuvants.

L'état déstructuré d'un polymère peut être obtenu par deux méthodes principales :

1. Plastification (voie sèche)

Appliquée aux polymères cristallins ou semi-cristallins.

Principe : Insertion d'un plastifiant entre les chaînes polymères pour :

Réduire la cristallinité.

Conférer un comportement thermoplastique (facilitant la mise en forme).

2. Solubilisation (voie humide)

Utilisée pour les polymères solubles dans un solvant adapté.

Permet une dispersion homogène des adjuvants (charges, additifs).

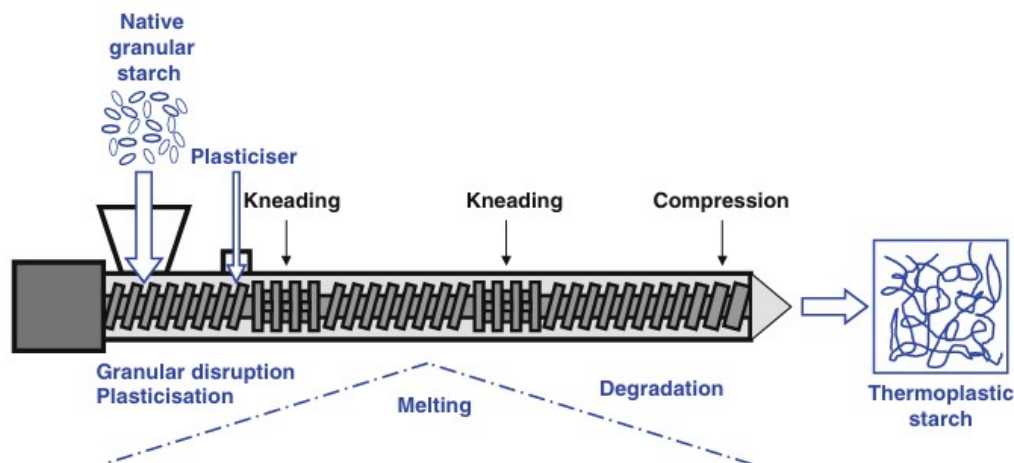
Nécessite un solvant volatile ou extractible en phase finale.

La déstructuration d'un polymère s'obtient par plastification (voie sèche, réduisant la cristallinité) ou solubilisation (voie humide, nécessitant un solvant adapté). Chaque méthode influence les propriétés finales (thermoplastie, homogénéité).

• **Mise en forme par voie sèche**

Les procédés de transformation utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour les polymères synthétiques (Chandra et Rustgi, 1998). Parmi ces procédés on trouve :

- L'extrusion : C'est un procédé de transformation en continu. Le matériau granulé est introduit dans un tube chauffé muni d'une vis sans fin. Le matériau ramolli et homogénéisé est poussé, comprimé puis passe à travers une filière à la sortie de laquelle la mise en forme est faite (**figure I .11**).



FigureI .11. Représentation schématique du traitement de l'amidon par extrusion

- L'extrusion-soufflage : Il s'agit d'une extrusion dans laquelle une gaine de polymère formée est dilatée avec de l'air comprimé. Le calandrage : C'est une technique de fabrication de films plastiques par laminage d'une matière thermoplastique entre plusieurs rouleaux chauffants parallèles. Le procédé par voie sèche requiert plus d'équipements que le procédé par voie humide et est l'approche utilisée dans les procédés industriels. Il conduit généralement à des films moins solubles car il permet la formation d'un réseau à fort enchevêtrement des chaînes polymériques[24]. Parmi les polysaccharides, l'amidon est très largement envisagé pour ce type d'utilisation. Les paramètres à prendre en compte sont ceux classiquement considérés des différentes techniques de transformation des matières thermoplastiques : viscosité, température de transition vitreuse, température de fusion, température de dégradation.

- **Mise en forme par voie humide**

Les macromolécules et autres constituants sont solubilisés dans un même solvant (eau, éthanol ou autre solvant organique) qui est ensuite évaporé pour obtenir un film solide. La solution filmogène est parfois chauffée et son pH peut être ajusté pour améliorer les propriétés du film[25] Pour former un réseau filmogène tridimensionnel effectif, les interactions entre chaînes de biopolymères sont critiques. Ces interactions dépendent du polymère utilisé et des composants associés, de la température de séchage et de la vitesse de séchage, de l'humidité, du pH et de la concentration en plastifiant. Pour former des films minces, le « casting » ou

coulage est l'une des méthodes les plus utilisées. Elle consiste à étaler sur un support une solution ou un gel de polymère. L'épaisseur du film est déterminée par la concentration en polymère et par l'épaisseur initiale de la solution ou du gel qui est généralement ajusté par une barre d'étalement. Elle permet de produire de manière simple et peu coûteuse, à l'échelle du laboratoire, des films dont la mise en œuvre et les propriétés sont assimilables à ceux produits par d'autres méthodes de voie humide, telles que le moulage par trempage ou le « spraying ». Dans le spraying, une solution de polymères est pulvérisée sous forme de fines gouttelettes sur une surface et permet d'obtenir des films très fins. Dans le moulage par trempage, le moule est trempé dans la solution de la matière gélifiée à mettre en forme et se recouvre d'une couche homogène de gel de polymère. La durée du trempage détermine l'épaisseur du film. C'est la méthode du casting qui a été retenue dans le présent travail en raison de sa simplicité de mise en œuvre.

- **Facteurs influençant les propriétés des films à base d'amidon**

En raison de leur coût faible, de leur caractère biodégradable et renouvelable, les amidons sont des matériaux de choix pour la fabrication des films issus des ressources renouvelables. Plusieurs travaux réalisés à ce jour mettent en évidence les propriétés des films à base d'amidon obtenus par casting. Malgré des contraintes à la rupture tout à fait acceptables (30-60 MPa), comparable au polyéthylène basse densité (30 MPa), les matériaux à base d'amidon sont fragiles (allongement à la rupture 6 %). La structure ramifiée de l'amylopectine qui gêne la formation des enchevêtrements explique les valeurs médiocres de contraintes à la rupture ; l'amylose, de structure linéaire et souple, compense cette rigidité et sa teneur devient un paramètre important. Les propriétés des films ainsi que les conditions de stockage et d'utilisations sont déterminées par la valeur de la température de transition vitreuse (T_g). Celle-ci peut être modifiée par l'adjonction de plastifiants. La teneur en eau qui détermine la structure semi-cristalline dans l'amidon natif, devient un paramètre d'influence des propriétés dans l'amidon amorphe car dans cet état, l'eau joue un rôle de plastifiant. La cristallinité de la matrice de polymère constitue également un paramètre et sera influencée par la masse molaire et la structure linéaire ou non des chaînes du polymère.

I.1.4 Glycérole

- **Propriétés physique et chimique**

La glycérine est soluble dans l'eau et dans les alcools mais pas dans l'huile. Sa propriété hautement hygroscopique (qui retient et absorbe l'humidité) fait d'elle un excellent absorbant

Chapitre I : étude bibliographique

d'eau[26]. Le glycérol est chimiquement stable dans des conditions normales de stockage et de manipulation, mais il peut devenir explosif lorsqu'il est en contact avec des agents oxydants puissants tels que le chlorate de potassium, ses principales propriétés sont résumées dans le tableau I-13[27].

Tableau I .10: Propriétés physico-chimique du glycérol [27].

| Propriétés physiques | | Propriétés chimiques | |
|---|------------------------|--|--|
| Le point d'ébullition : | 290°C | Formule brute : | C ₃ H ₈ O ₃ |
| le point de fusion : | 18°C | Synonyme: propane-1, 2,3-triol, 1, 2,3-propanetriol, 1, 2,3-trihydroxypropane, glycérine | |
| le point d'éclair : | 160°C | Composition molaire : C 39.13 % ; H 8.76% ; O 52.12% | |
| Densité (20°C) : | 1.261g/cm ³ | Masse molaire : | 92.09g.mol ⁻¹ |
| Viscosité (20°C) : | 1.5 Pa.s | pKa : | 14.4 |
| Energie calorifique : | 4.32 Kcal/g | Diamètre moléculaire : | 0,547 nm |
| Tension de surface : | 64 mN/ m | Moment dipolaire : | 4,21 D |
| Solubilité : Insoluble dans le benzène, chloroforme, huile, CCl ₄ , CS ₂ , éther de pétrole | | | |
| Miscibilité : | Eau, éthanol | | |

I.2. bio charbon

I.2. 1.Définition de bio charbon

Le biochar, également connu sous le nom de bio char, est un produit riche en carbone résultant du chauffage de biomasse, telle que le bois, le fumier ou les feuilles, dans un récipient où l'air est limité, voire inexistant. D'un point de vue technique, le carbone biochar (BC) est généré par le processus de pyrolyse des matières organiques en l'absence d'oxygène

Chapitre I : étude bibliographique

(O₂) et à des températures modérées (<700 °C). L'expression "BC" est relativement récente, évoluant parallèlement aux pratiques de gestion des sols, de séquestration du carbone et d'immobilisation des polluants.

➤ Diversité des origines agricoles :

la paille, le fumier, la balle de riz... -Les déchets forestiers comprennent des rémanents, des écorces, des plaquettes, etc. Déchet industriel : résidus de production de l'industrie papetière...

-Les déchets verts en milieu urbain...



Figure I.12 : Exemples des différents types et formes du bio charbon

➤ Pyrolyse (carbonisation) :

La pyrolyse, aussi appelée carbonisation, est un processus de décomposition thermique se déroulant dans un environnement pauvre en oxygène. Elle mène à la production d'un mélange gazeux appelé syngas, qui est un gaz combustible.

La pyrolyse d'un composé organique en conditions de vide ou d'atmosphère inerte, généralement de l'azote, à des températures comprises de 400 à 1000 °C, entraîne l'élimination des hétéroatomes tels que l'oxygène et l'hydrogène sous l'effet de la chaleur, ce qui conduit à un enrichissement en carbone du matériau. Les atomes de carbone sont présents dans les feuillets aromatiques qui présentent une structure planaire spécifique. Ces feuilles se disposent ensuite de façon irrégulière, créant ainsi des interstices entre elles. Ces espaces

créent une porosité initiale dans le produit carbonisé. L'objectif de la pyrolyse est de produire un matériau fortement carboné, présentant une microporosité primaire qui pourra ultérieurement être développée lors du processus d'activation. L'efficacité de cette procédure est influencée par divers paramètres externes tels que la vitesse de montée en température (en °C/min), la température finale (en °C), la durée de séjour (en minutes ou en heures) et la composition du matériau initial.

➤ Traitements supplémentaires

Il s'agit de modifier la surface du charbon à travers des réactions acido-basiques. L'objectif de ces traitements est de générer des sites acides ou basiques supplémentaires afin de promouvoir des interactions électrostatiques ou des liaisons hydrogène avec les substances adsorbées.

- **Les caractéristiques du biochar**

Le biochar présente des variations dans ses propriétés physiques et chimiques selon les matières premières utilisées et les conditions de production (comme la température, l'oxygène, la pression, le temps...), ce qui permet de produire des biochars dotés de fonctions spécifiques (telles que la capacité d'échange cationique (CEC), la surface spécifique, le carbone organique, le taux d'humidité, le pH, la distribution granulométrique)[28] ; Le biochar peut affecter les émissions de gaz à effet de serre tels l'oxyde nitreux et le méthane.

- **Les caractéristiques physiques**

La température est le facteur le plus important pour les changements physiques du biochar, suivi du taux de chauffage et de pressions[29]

- **La structure de biochar**

La structure de biochar est amorphe, contenant des structures cristallines locales de joints aromatiques composés[30]

Le squelette de carbone formé pendant la pyrolyse de matières organiques. La matière se traduit par une porosité élevée de biochar, en raison de sa structure semblable à une éponge [31]

Chapitre I : étude bibliographique

La distribution granulométrique du biochar dépend fortement de la matière première utilisée. Dans Les biochars généraux basés sur le bois sont plus grossiers et de structure du xylème, alors le biochar obtenu Des résidus de récolte plus fins et de structure récalcitrante.

- **Surface spécifique**

Le biochar présente une grande surface spécifique, selon le matériau de base et le traitement. Obtenu à partir de la pyrolyse, les surfaces atteignent $20 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ jusqu'à $3000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$

La quantité d'eau adsorbée dépend directement de la surface, donc le biochar peut adsorber de grandes quantités d'eau. Le processus d'adsorption d'eau sur la surface du biochar est régi par les groupes fonctionnel[32]

La masse volumique du biochar est très faible et ce dernier possède une structure poreuse principalement constituée de macro et micropores[33]

- **La densité**

Il existe un lien direct entre la porosité et la densité apparente. En réalité, la densité apparente d'un biochar sera plus faible à mesure que le nombre de vides à l'intérieur de celui-ci augmente. Les valeurs maximales de densité réelle observées pour les biochars se situent dans une fourchette comprise de 2 à $2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, tandis que la densité du graphite est de $2,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Il est observé que la densité réelle augmente proportionnellement à la température de pyrolyse. Cependant, les valeurs moyennes de la densité réelle se situeraient dans une fourchette comprise de 1,5 à $1,7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. En revanche, les densités apparentes moyennes se situent de 0,30 à $0,43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [33] Cela implique que le biochar est un matériau hautement poreux, avec une porosité comprise de 79 à 85 %.

- **Les caractéristiques chimiques**

- **Le pH**

Le biochar présente généralement un pH alcalin, c'est-à-dire supérieur à 7.[34] ,on observe une faible variabilité du pH parmi les biochars, généralement avec des valeurs dépassant 7. Le pH du biochar varie en fonction du type de matière première utilisé. Par exemple, le pH du biochar de paille, issu de diverses matières premières, présente des valeurs de 9,4 pour le maïs, 8 pour l'arachide, 6 pour le canola et 7,7 pour le soja, selon les données de la

comptabilité des cultures. À la même température de pyrolyse de 300 °C, les valeurs de pH des biochars issus des différentes matières premières sont respectivement de 9,4, 8, 6 et 7,7. Il a été conclu que des températures de pyrolyse plus élevées pourraient entraîner un pH plus élevé en raison de l'accumulation d'oxydes de métaux alcalins. Lorsqu'il est intégré dans le sol, le biochar avec un pH élevé pourra jouer un rôle de tampon (Chintala et al., 2014).

Conductivité électrique

Le pH et la CE sont plus élevés dans les biochars produits à haute température (700 ° C) Par rapport aux biochars produits à basse température (550 ° C).

- La CEC

-La grande surface du biochar augmentera la capacité d'échange d'ions et la sorption des nutriments

-La CEC des biochars est dépendante à la fois de précurseur et de la taille de ces derniers. Les auteurs donnent des valeurs comprises entre 29,2 et 51,1 cmole.kg⁻¹ (mesures faibles à l'acétate d'ammonium). --Les valeurs de CEC tendent à diminuer en fonction des températures de pyrolyse [35]Ces valeurs de CEC sont variables de par le matériau d'origine et de la méthode de mesure utilisée.

1.2.2 Le cyprès

• Définition

Cupressus sempervirens L, connu sous le nom de cyprès méditerranéen, est une plante médicinale et aromatique à usage décoratif [34]*Cupressus sempervirens* L. est un arbre d'ornement appartenant à la famille des Cupressacées. L'aire de répartition de l'espèce s'étend sur l'Amérique du Nord, l'Afrique, le Sud-Est de l'Europe et l'Asie occidentale. Il est recommandé d'employer ces végétaux afin de préserver les cultures des dégâts occasionnés par les vents. De nombreux chercheurs ont observé que cette espèce semble avoir une croissance rapide et horizontale, ce qui explique son classement comme sous-espèce sur le plan taxonomique. Malgré la diversité des sous-espèces et des variétés de cette espèce, les types de ramification largement reconnus sont le cyprès à ramification horizontale (*Cupressus*

Chapitre I : étude bibliographique

sempervirens L. var. horizontalis) et le cyprès pyramidal (Ehrami) (*Cupressus sempervirens* L. var. *pyramidalis*). Diverses caractéristiques botaniques particulières sont observées, telles que la résistance à la sécheresse, aux courants d'air, à la poussière, à la grêle et aux polluants atmosphériques transportés par le vent

- **Classification :**

le Cyprès, *Cupressus Sempervirens* L. est classé [30] comme suit :

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| Embranchement | Spermaphytes ou phanérogames |
| Sous- embranchemen | Gymnospermes (graine nue) |
| Classe | Pinopsida |
| Ordre | Pinales |
| Famille | Cupressacées |
| Genre | <i>Cupressus</i> |
| Espèce | <i>Cupressus sempervirens</i> . L |

- **Description :**

Jusqu'à une hauteur de 30 mètres, on connaît 2 formes très différentes : la forme horizontale, aux branches étalées (Figure I.13) ; la forme fatiguât, aux branches dressées qui la font ressembler à un pinceau. Elle a une longue vie. [35]



Figure I.14 : Forme horizontale



Figure I.15: Forme verticale

- **Les feuilles :**

Les arbres de *Cupressus sempervirens* sont des arbres à feuilles persistantes, de taille moyenne (atteignant une hauteur de 35-40 m [34] diamètre du tronc 1 m, feuilles persistantes [35], l'écorce est dense et les écailles serrées. Les feuilles de cet arbre sont persistantes, parfumées et vert foncé, Ils s'installent sur de courtes branches. Ce sont des glandes foliacées (glandes à résine), écailleuses, nichées sur au moins quatre rangées [32] noires à pointes émoussées, de 2 à 5 mm de long, elles ont une durée de vie exceptionnelle de 2 000 ans [35]



Figure I.16 : Les aiguilles

- **Les fleurs**

Les fleurs de *Cupressus sempervirens*, apparaissent au début du printemps et peuvent apparaître sur des plantes âgées de 3 à 6 ans. Les fleurs mâles sont cylindriques, de 3 à 5 mm de long, jaunes à brun clair à maturité, disposées en chatons polliniques ovales, terminaux et déhiscentes. Les fleurs femelles sont regroupées en grappes vertes et brunes au bout de jeunes pousses de chatons bulbeux, qui sont portées par des rameaux très courts mûrissent encornés ligneux brun-gris après un an[35]



Figure I.17 : les fleurs du cyprès vert (Madene et Ssafi ,2023)

- **Fruits**

Le fruit du Cyprès est un cône ovoïde [35], de 3 à 4 cm de diamètre, plus ou moins allongées, virant du vert au brun à maturité). Elles sont sphériques et légèrement mucronées sur ces membres. Ces cônes sont constitués de 6 à 14 écailles [34] opposées (Caudullo et de Rigo, 2016) polygones ligneux, brun clair à brun foncé à maturité, et tous les deux ans à maturité. Les cônes s'ouvrent à maturité, laissant s'échapper les graines



FigureI.18 fruit du cyprès vert (Madene et Ssafi ,2023)

- **Caractéristiques :**

- **Caractéristiques botaniques :**

Cupressus sempervirens L. est un arbre pouvant atteindre 25 mètres de haut. Il a un tronc élancé à partir duquel poussent de nombreuses branches disposées en cymes étroites et pointues en forme de cône. L'écorce est gris rougeâtre avec des fissures. Les feuilles persistantes vert foncé en forme d'écailles triangulaires, imbriquées sur quatre rangées, recouvrent complètement les branches. C'est une plante monoïque à cônes à inflorescences, sphériques, verts (3 à 4 cm), luisants, légèrement mucronés, à 6 à 14 cônes brun clair à brun foncé à maturité (tous les deux ans) Écailles ligneuses polygonales contenant de nombreuses graines ailées ;brun brillant, de 2 à 3 cm de diamètre, constitué de 8 à 12 écailles ligneuses qui se séparent à maturité pour permettre aux graines de s'échapper), les graines sont petit, 4 à 7 mm de long. Ils ont deux ailes, de chaque côté de la graine



Figure I.19: la caractéristique botanique (nichan ,2015)

➤ **Caractéristique écologique :**

Le cyprès est une plante de climat doux. Il a besoin de chaleur, il doit être protégé des vents froids. Il peut supporter des températures négatives jusqu'à -20°C

Chapitre I : étude bibliographique

- **Température** : D'un point de vue thermique, le cyprès peut supporter des températures jusqu'à -20°C. Comme pour beaucoup de plantes méditerranéennes, les hivers humides et froids peuvent être préjudiciables à leur longévité (Alifrique, 1995)
- **Précipitations** : Le cyprès est un arbre xérophYTE car c'est un arbre rustique qui peut s'adapter aux conditions difficiles. Conditions physiques très dures Mais il peut être plastique, c'est-à-dire pousser dans des climats humides. En effet, le cyprès est un arbre qui ne demande pas de pluie, et 250 à 350 mm/an peuvent être satisfaits
- **Altitude** : Le cyprès vert pousse spontanément dans toutes les zones basses au tour de la mer Méditerranée en dessous de 500 mètres d'altitude. On les trouve souvent en bordure de zones agricoles ou en bordure de parcs ou de propriétés, leur forme fusiforme caractéristique marquant le paysage.
- **Sol** : La nature chimique du substrat n'a pas d'importance. Il aime les sols profonds et bien drainés, sinon plats, voire les sols calcaires secs. Il ne tolère pas les sols argileux ou trop arrosés. Cependant, le cyprès vert tolère la terre végétale (moins de 50 cm, voire 30 cm) et les sols caillouteux. Un sol trophumide peut favoriser la croissance de champignons parasites (Benjamaa, 2004). C'est une excellente espèce d'arbre pour la résistance au vent et à la sécheresse (Nichane, 2015)

➤ Composition chimique

Cupressus sempervirens est riche en composant flavonoïdes tels que les cupresflavones, les aménoflavones, la rutine, la quercitrine, la quercétine et la myricitrine. Certains composés phénoliques (anthocyanidines, catéchines, flavones, flavonols, isoflavones) Tanins (acide ellagique, acide gallique, phénylisopropanoïdes, acidecaféique, acidecoumarique, acideférulique) Lignans, fourre-tout Les branches contiennent des bi flavonoïdes riches en monoterpènes et huiles essentielles (0,3-0,8%). Les cônes contiennent 0,5% d'huile essentielle. Il est riche en apine, en acides diterpéniques de tanin et en dérivés oligomères de proanthocyanidol. Des études antérieures ont identifié l' α -pinène et le Δ -3-carène comme les principaux composants des espèces de Cupressus. Les feuilles et les fruits de cette plante ont très riches en tanins et en flavonoïdes, mais ne contiennent pas d'alcaloïdes et sont pauvres en saponines (. Les phénols sont donc présents dans la composition biochimique de Cupressus sempervirens

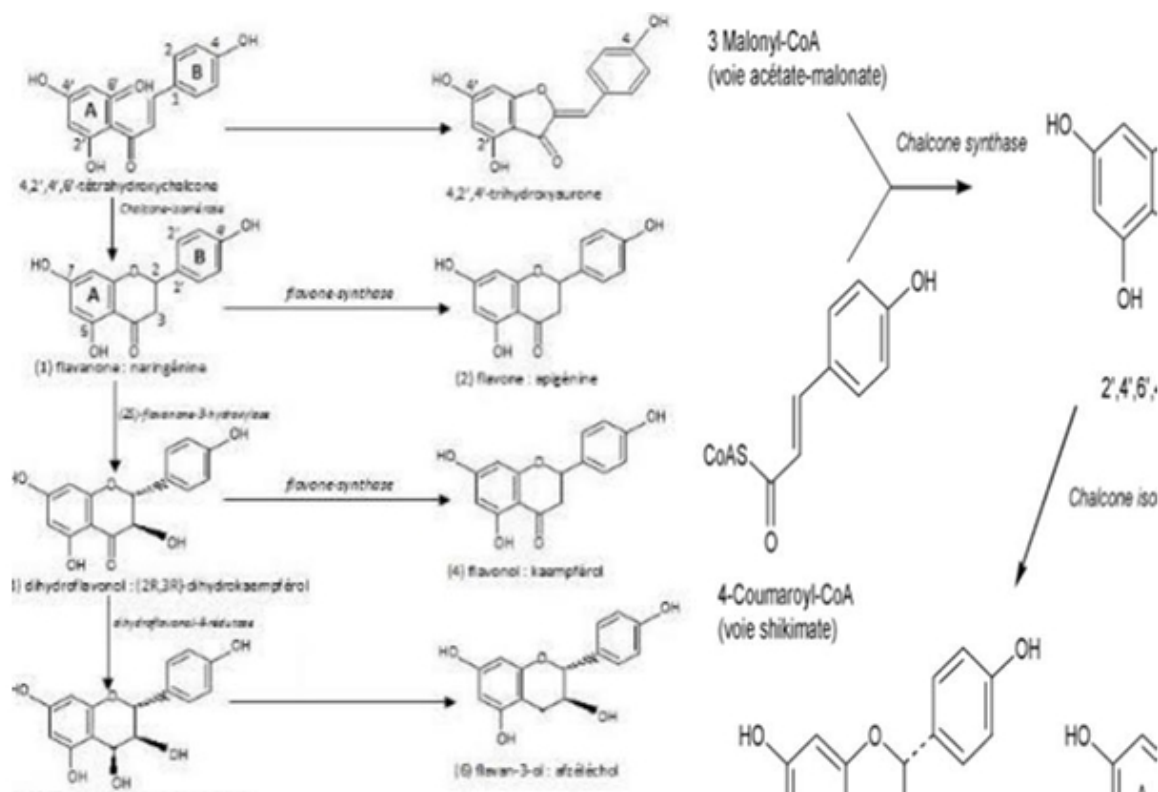


Figure I.20 : composition chimique Structure chimique de quelques polyphénols, flavones, flavonoïdes et glycosides de flavones biflavones de *Cupressus sempervirens* [46]

Référence bibliographique

1. Sara ronasi. Etude d'élaboration des mélanges de matériaux bio-sourcés à base d'amidon plastifié et de poly (acide lactique) et de leur compatibilisation . Doctorat de l'Université de Lorraine. 2012
2. Radja Megherbi. polycopie de cours sur les biopolymères. Année universitaire 2020-2021
3. V. Planchot, De nouveaux amidons à l'horizon, Vol. 192, pp. 40-43, (1999).
4. C. Claire, « optimisation du phénomène d'émulsion dans les mélanges amidon thermoplastique/polyéthylène », Mémoire Présenté En Vue de L'obtention du Diplôme de Maîtrise Ès Sciences Appliquées, Université de Montréal, P. 8-12, (2009).
5. D. French, R. L. Whistler, J. N. Bemiller, & E. F. Paschall, Starch: Chemistry and Technology. London: Academic Press, (1984).
6. L. Belard., « Nouvelles stratégie d'hydrophobation de matériaux à base d'amidon plastifié [Rapport]. [s.l.] : Université de Reims Champagne-Ardenne, (2007).
7. A. Guilbot., C. Mercier., The Polysaccharides New York: Academic, Press, Vol. 3, P. 254, (1985).
8. J. M., Mayer, G. R., Eljon, C. M., Buchanan, B. K., Sullivan, S. D., Pratt, & D. L. Kaplan, Biodegradable blends of cellulose acetate and starch. Production and properties. Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry, vol. A32(4), P. 775, (1995).
9. G. J. L. Griffin, Biodegradable polymer compsn. | contg. major portion of hydrophobic starch granules Brevet américain US 4125495. USA: Coloroll Ltd. Consulté le 14 novembre 1978, tiré de WOS, (1978).
10. S. Ronasi, « Etude d'élaboration des mélanges de matériaux bio-sourcés à base d'amidon plastifié et de poly (acide lactique) et de leur compatibilisation », Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, p. 35, (2012).
11. A. Imberty, H. Chanzy, et al, The double-helical nature of the crystalline part of A starch, Journal of Molecular Biology, vol. 201(2), p. 365-378, (1988).
12. P. Y. Mikuš, « Etude des relations structure-propriétés de matériaux à base d'amidon : effets d'orientation et d'irradiation sous faisceau d'électrons », Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne – Ardenne, p. 14-16, (2011).
13. Lourdin, D., H. Bizot, et al., Antiplasticization in starch-glycerol films, Journal of Applied Polymer Science, vol. 63(8), p. 1047-1053, (1997).
14. Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J. L., Journal of Food Science, 58, 206-211, (1993).

15. Mali, S ., Karam, L.B ., Ramos, L.P ., Grossmann M.V.R.E ., Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 7720-7725. (2004).
16. Averous, L ., Moro, L ., Dole, P ., Fringant, C ., Polymer, 41, 4157-4167, (2000).
17. Parker, R ., Ollett, A.L ., Smith, A.C ., Starch melt rheology: measurements, modeling and application to extrusion processing, Processing and quality of foods, Ed. Elsevier, London (UK), (1990).
18. Valle, G ., Buléon, A ., Carreau, P.J ., Lavoie, P.A ., Vergnes Relationship Between Structure and Viscoelastic behavior of plasticized starch. Journal of Rheology, 42(3), 507 525, (1998).
19. Rhim et NG, 2007
20. SAMBOU ,m chimie de glycérol pour de dérivés du glycérol applicables comme solvants ou diluants réactifs ; thèse de doctorat ;Institut national polytechnique de TOULOUSE.2005
21. TAN,h ;W ;Aziz,a,r ,Aroua,m,k Glycérol production and its application as a raw material A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews,vol27 ,2013 , p,118_127
22. Mackenzie J.Michèle A. Allison Rutter, and Barbara A. 2013; Physical, Chemical and Biological Characterization of Six Biochars Produced for the Remediation of Contaminated Sites(93): 52183
23. . Lehmann J and Joseph S, eds, Biochar for environmental management, Earthscan publishing, London, 2009.
24. (Graber et al., 2011).
25. Boulaine. J , (1954) : la sebkha de benziene et sa lunette de bourelet , exemple de complexemorphologique formé par l'érosion éolienne des sols salés .ed RGD. Vol n° 3. 102-123.
26. Antal, M. J. & Grønli, M. 2003. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. Industrial & Engineering Chemistry Research, 42, 1619-1640. 2. Abdelhafid youcef ,(2010) : cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique, these magister , ENSA.el harrach. Alger .
27. . Downie, A., Crosky, A., and Munrore, P., 2009 : Physical Properties of Biochar. In Lehmann, J., DUTHIL J., 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome 2. Ed. Bailliére. 392p
28. Lehmann J and Joseph S, eds, Biochar for environmental management, Earthscan publishing, London, 2009.
29. Song, W., & Guo, M., 2012 : Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 94, 138 145.
30. Akhtar.S.S , Andersen M. N et Liu.F.2015, Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato in journal of agronomie and crop science.p11
31. Nichane, 2015 ; Al-Snafi, 2016 ; Hireche et Ferhat, 2019
32. Becker et al .,1983)
33. Caudullo et de Rigo, 2016 ; Sebbane et Khaldi, 2019 ;Afif et al., 2006

34. Cheraief et al., 2006 ; Caudullo et al., 2016 ; Hireche et Ferhat, 201

Partie expérimentale

Chapitre II : Partie Expérimentale

Ce chapitre présente l'ensemble des techniques et méthodes mises en œuvre pour l'élaboration des films à base d'un biopolymère ' amidon de maïs' et une charge végétale 'le cyprès'. Une description détaillée des matériaux utilisés, le processus de préparation de films par l'introduction de biochar et de biochar activé et modifié. Ainsi qu'une présentation des techniques de caractérisation utilisés pour visualiser les propriétés principales des films produits.

II. 1 Matériaux utilisés

II. 1 .1 Bio charbon (le cyprès)

Le biocharbon(le cyprès)est un charbon végétal obtenu par pyrolyse des résidus ligneux de l'arbre de cyprès, en absence d'oxygène. Il se caractérise par une structure hautement poreuse et une grande capacité d'adsorption, ce qui en fait un matériau efficace pour diverses applications environnementales et industrielles.

II.1.2 Amidon

L'amidon utilisé dans ce travail est l'amidon non modifié de maïs commercialisé chez Sigma-Aldrich. Le taux d'amylose et d'amylopectine sont 23 et 77% respectivement. Ces principales caractéristiques physicochimiques sont rassemblées dans le tableau II.1.

Tableau. II.1 : Caractéristiques de l'Amidon

| Propriétés | Valeurs |
|-----------------|---------------------------|
| Grade | ACS réactif |
| résidu, ign | ≤0.5% |
| pH | 5-7(25°C, 2% en solution) |
| Point de Fusion | 256-258°C |
| Solubilité | H ₂ O |

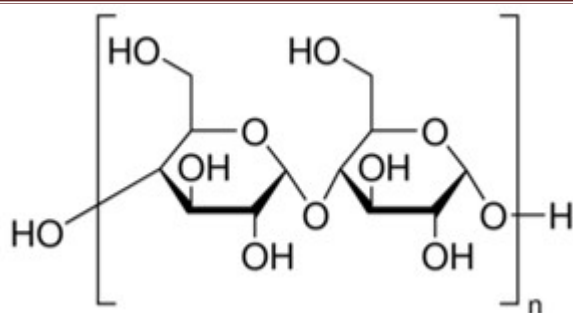


Figure II.1 : Structure de L'Amidon

II.1.3 Plastifiants

Dans cette étude, les plastifiants utilisés sont l'eau distillée et le glycérol, ce dernier est commercialisé chez Sigma-Aldrich et qui possède une densité de 1.25g/ml.

Le glycérol permet d'augmenter le volume libre entre deux chaînes de polymères et ainsi rendre les corps souples et flexibles. De plus, le glycérol rend le film plastique transparent.

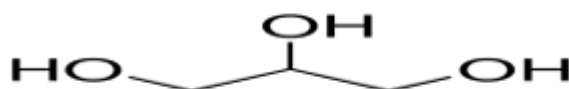


Figure II .2 : Structure de Glycérol.

Tableau II .2 : Propriétés de glycérol

| Produits | Propriétés |
|----------|---|
| Glycérol | Formule chimique C ₃ H ₈ O ₃ M _n : 92.09 g/mol Densité: 1.25 g/mL (at 25°C) Point d'ébullition : 182°C Point de fusion : 20°C Point d'éclair : 160°C |

II.2. Procédure expérimentale

II.2.1 Préparation du biocharbon

Les déchets de cyprès sont d'abord nettoyés et lavés plusieurs fois, puis séchés à l'air libre, après cela, nous effectuons le deuxième nettoyage à l'eau distillée, pour éliminer les impuretés (poussière et matières solubles dans l'eau), jusqu'à ce que l'odeur disparaisse et l'eau de rinçage soit claire, le résultat de nettoyage est séché au four à 110°C pendant 24 heures. Les déchets propres et séchés sont broyés en deux étapes, manuelle et électrique, afin d'obtenir des

Chapitre II: Partie Expérimentale

matériaux homogènes, qui sont tamisés par une tamiseuse électrique pour ne retenir que les matériaux dont le diamètre est compris entre $355\mu\text{m}$ et $180\mu\text{m}$. Les granules de tamisât choisie sont ensuite placés dans un four à moufle à 600°C pendant 3 heures à une vitesse de chauffe de $5^\circ\text{C}/\text{min}$ puis refroidi à l'air libre (Figure II.3).

II.2.2 Activation de biocharbon

Dans la littérature, il existe deux méthodes de préparation des charbons actifs ; physique et chimique. On active chimiquement le résultat de la carbonisation de déchets de cyprès(charbon brut) par une solution de l'acide citrique. Pour éliminer les traces d'acide, il est lavé à l'eau distillée, puis séché à l'étuve à une température ($T = 110^\circ\text{C}$) pendant 24 heures afin de pouvoir être conservées et analysées dans les étapes suivantes.

Le schéma expérimental des étapes de la synthèse de charbon actif à partir de déchets de cyprès est présenté dans la figure II.3 suivante:

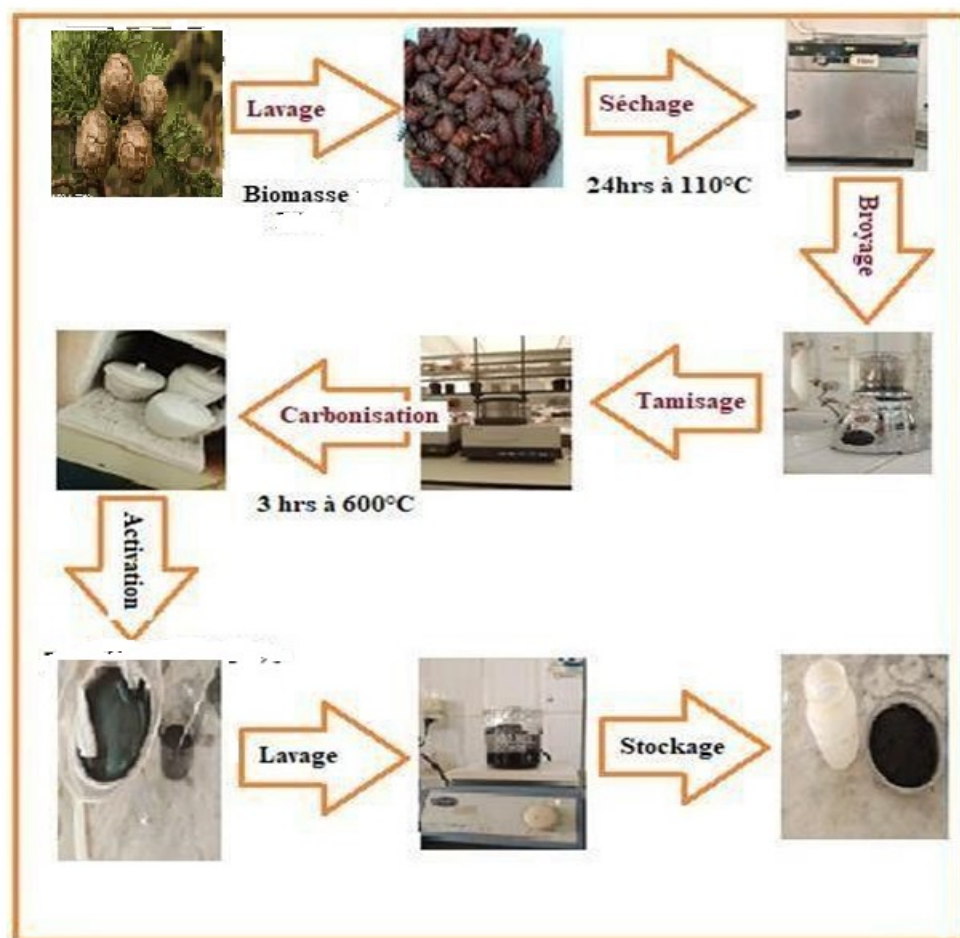


Figure II.3: Les étapes de préparation de charbon actif du cyprès.

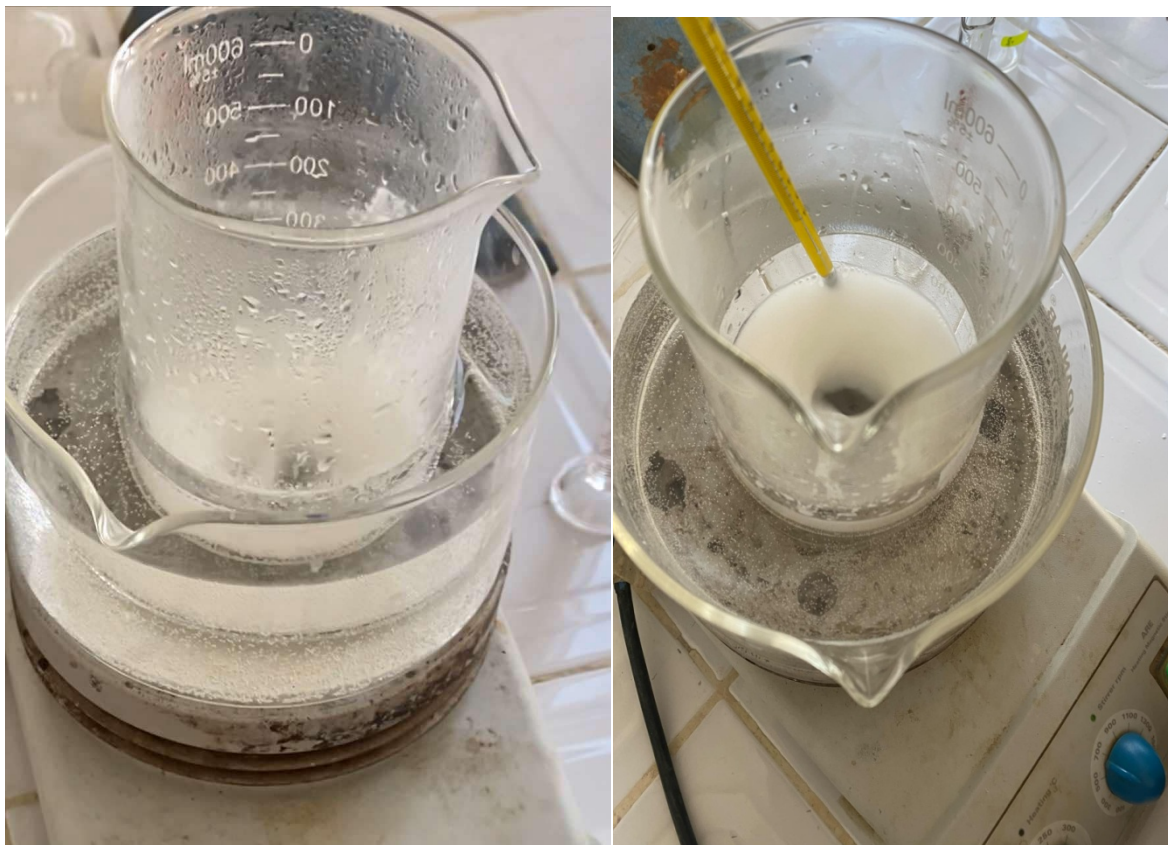
II.2.3 Plastification de l'amidon

Pour la plastification de l'amidon plastifié on a suivi les étapes suivantes :

- Mettre 100ml d'eau dans un flacon ;
- Ajouter 2ml de glycérol et agiter (agitateur mécanique);
- Ajouter progressivement sous agitation 5g d'amidon ;
- Mettre le flacon au bain marie et sous agitation directement sur l'agitateur chauffant (80°C) ;
- Lorsque le mélange devient translucide, continuer à agiter et chauffer pendant 10min ;
- Couler à chaud quelques ml du mélange dans des boites de pétri(ou boites plastiques à fond plat) en le répartissant sur toute la surface ;
- Laisser sécher à température ambiante pendant une semaine ;
- Une fois le film sec, il peut être décollé.

L'Amidon ainsi préparer est un amidon plastifié, plastifiedstarch (PLS).

En parallèle un film témoin sans glycérol est réalisé. Pour ce faire, on suit les mêmes étapes mais sans ajouté le glycérol.



FigureII.4: Préparation d'un film à base d'amidon plastifié(PLS).

II.2.4 Préparation des mélanges composites à base d'amidon plastifié et biocharbon (cypres)

On suit les mêmes étapes que dans la section précédente de préparation de l'amidon plastifié. Dès l'addition de l'amidon et après les 10min de chauffage on ajoute le biochar. Le mélange est ensuite chauffé sous une température de 80°C et pendant une durée de 45min et sous agitation. En fin de procédure, on fait couler à chaud quelques ml du mélange dans des boîtes de pétri (ou boîtes plastiques à fond plat) en le répartissant sur toute la surface, laisser sécher à température ambiante pendant une semaine et une fois le film sec, il peut être décollé (figure II.5). Le mélange de biopolymère (Amidon) avec les charge traitées et non traitées ; a été préparé à différents pourcentages (en poids) : 0%, 3%, 5%, 7% et 10% de biochar.



Figure II.5: Préparation des mélanges à base d'amidon plastifié/ biochar et amidon plastifié/ biochar activé.

II.3 Méthodes d'Analyses

II.3.1 Diffraction des rayons X (DRX)

Cette méthode de caractérisation permet de mettre en évidence des informations sur la structure cristalline des matériaux (par exemple leur texture et leur degré de cristallinité ainsi

Chapitre II: Partie Expérimentale

qu'une estimation sur la taille des cristallites) [1]. Le phénomène de diffraction résulte de l'interaction d'une onde électromagnétique, telle que les Rayons X, avec le milieu périodique de la matière cristallisée. La diffraction des Rayons X d'échantillons pulvérulents (dite "diffraction X sur poudre") est utilisée couramment pour la caractérisation des solides. Le terme poudre signifie simplement que le faisceau X incident est envoyé sur un ensemble de cristallites, orientés aléatoirement, suffisamment nombreux pour que toutes les orientations soient réalisées .

Lorsqu'un faisceau parallèle de rayon X monochromatique de longueur d'onde λ (comprise entre 0.1 \AA (rayons X durs) et 50 \AA (rayons X mous)) est rayonné sur un matériau cristallin avec un angle d'incidence, les plans atomiques réticulaires (hkl) du cristal, équidistants de d_{hkl} (distances inter-réticulaire), vont se comporter comme des miroirs parallèles et réfléchir l'onde électromagnétique, induisant un phénomène de diffraction. L'intensité diffractée sera non nulle seulement si les contributions des plans successifs sont en phase (interférences constructives), c'est-à-dire si la loi de Bragg est respectée (II.1)

$$2d_{hkl} \cdot \sin\theta = n \lambda \dots \dots \dots \text{II.1}$$

Avec :

λ : La longueur d'onde du faisceau de rayons X ;

d_{hkl} : La distance inter-réticulaire ;

θ : L'angle d'incidence des rayons X ;

n : L'ordre de diffraction.

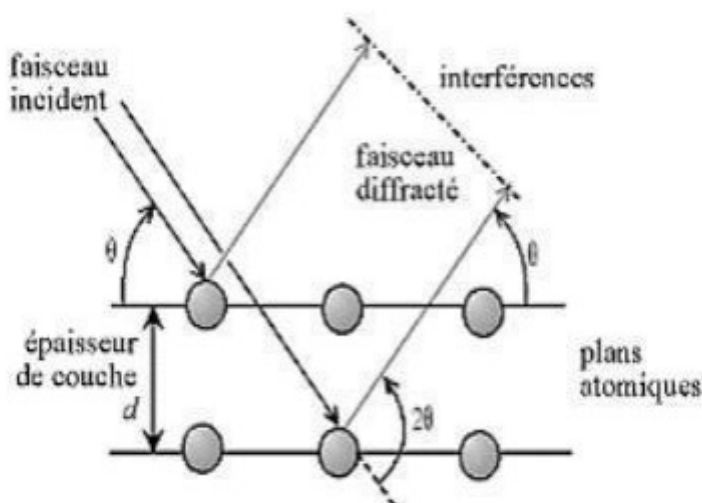


Figure II.6 : Principe de la loi de Bragg. [2]

Chapitre II: Partie Expérimentale

La Figure II.6 présente le schéma du principe le plus courant, qui est un montage en réflexion dit de Bragg-Brentano. Le rayonnement incident est monochromatique. La source S est linéaire et perpendiculaire au plan d'incidence. Elle est placée sur le cercle (C) du diffractomètre. L'échantillon (E) est tel que son plan de référence passe par l'axe du diffractomètre C et tourne autour de cet axe avec une vitesse ω réglable. La fenêtre F du compteur se déplace également sur le cercle (C), à une vitesse angulaire double 2ω . Pour un angle d'incidences nulles, S, F et C sont alignés. On réalise ainsi un balayage (θ , 2θ).

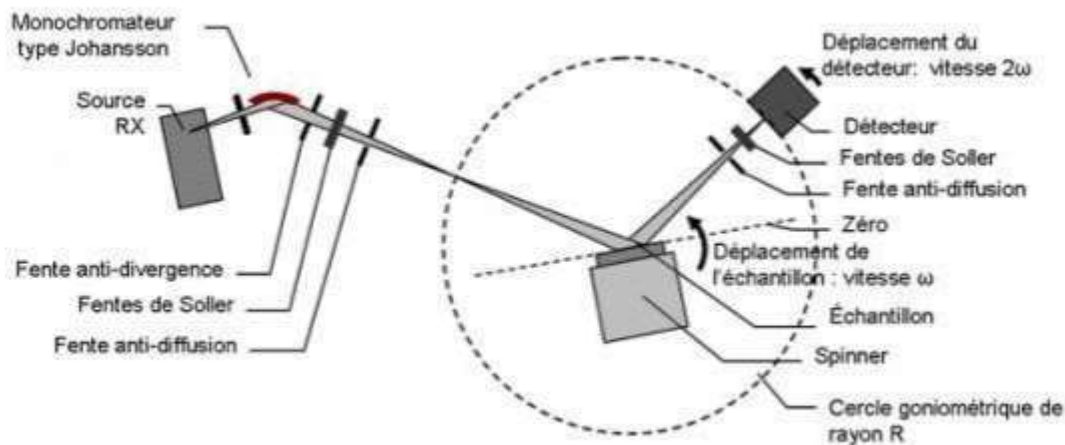


Figure.II.7 : Principe du diffractomètre dans la géométrie de Bragg-Brentano [3].

Le diffractogramme de rayons X (diagramme de diffraction) est obtenu à partir des données collectées par un détecteur. Pour chaque échantillon cristallin, les interférences constructives sont observées sous forme de « pics de diffraction ». Une phase cristalline donnée génère des pics de diffraction toujours dans les mêmes directions, constituant une véritable signature qui permet son identification. Les pics de diffraction peuvent ensuite être identifiés en comparant avec les fiches des composés référencés dans la base de données, sous forme de PDF - Powder Diffraction File (anciennement JCPDS (JoinCommittee for Powder Diffraction Standards)). Ces fiches listent, pour chaque phase, la distance inter-réticulaire (calculée à partir de la position 2θ par la loi de Bragg) et l'intensité relative de chaque pic par rapport au pic le plus intense.

Les essais de diffraction des Rayons X des films composites sont réalisés à l'aide d'un diffractomètre de type XPERT PRO, en utilisant la raie $K\alpha_1$ du cuivre ($\lambda = 1.54056$ nm). Les diffractogrammes ont été enregistrés en fonction de l'angle de diffraction 2θ compris entre 2° et 80° .

II.3.2 Spectroscopie Infra-rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est une analyse qualitative utilisée pour identifier les bandes d'absorption caractéristiques, qui correspondent aux modes de vibrations (élongation, déformation) spécifiques des liaisons chimiques [4]. Avec la spectroscopie infrarouge on peut également étudier les modifications de la structure des matériaux résultant de différents phénomènes à savoir le traitement chimique, la dégradation et les différents vieillissements [5]

La Spectroscopie Infra-rouge à Transformée de Fourier (FTIR) est appliquée dans l'industrie de la teinture et du tissage, les sciences de l'environnement, la biologie, la science des matériaux, la chimie des polymères, la catalyse, la recherche sur la structure du charbon, l'industrie pétrolière, la biomédecine, la biochimie, la pharmacie, la recherche fondamentale sur la chimie inorganique et de coordination, les matériaux semi-conducteurs, l'industrie chimique quotidienne et d'autres recherches des champs.

Les spectres infrarouges des échantillons de l'amidon brute, plastifié, du biochar brute et activé et des films composites ont été enregistrés sur un spectrophotomètre de modèle IRAffinity-1S, SHIMDAZU en mode transmission dans un intervalle de longueur d'onde compris entre $4000\text{-}400\text{cm}^{-1}$.



Figure II.8 : Spectroscopie Infrarouge.

II.3.3 Microscopie électronique à balayage (MEB)

La Microscopie électronique à balayage (MEB), figure II.9, est une technique d'imagerie basée sur l'interaction entre un faisceau d'électrons focalisé et la surface d'un échantillon. Ce

Chapitre II: Partie Expérimentale

faisceau balaye la surface, provoquant l'émission de différents signaux : électrons secondaires, électrons rétrodiffusés et rayons X. Les électrons secondaires permettent d'obtenir des images topographiques de la surface avec un fort contraste et une grande profondeur de champ, souvent avec une résolution inférieure à 5 nm. Les électrons rétrodiffusés fournissent un contraste chimique lié au numéro atomique des éléments présents. Le microscope est constitué d'un canon à électrons, d'une colonne électronique avec lentilles magnétiques pour focaliser et balayer le faisceau et de détecteurs adaptés pour capter ces signaux.

L'EDX est une technique analytique couplée à la MEB qui permet d'identifier qualitativement et quantitativement les éléments chimiques présents dans un échantillon. Lorsque le faisceau d'électrons primaire frappe l'échantillon, il provoque l'émission de photons X caractéristiques des éléments présents. En mesurant l'énergie de ces photons X, l'EDX détermine la composition élémentaire dans un volume micrométrique de l'échantillon. Cette analyse est réalisée simultanément à l'imagerie MEB, offrant une cartographie chimique locale précise.

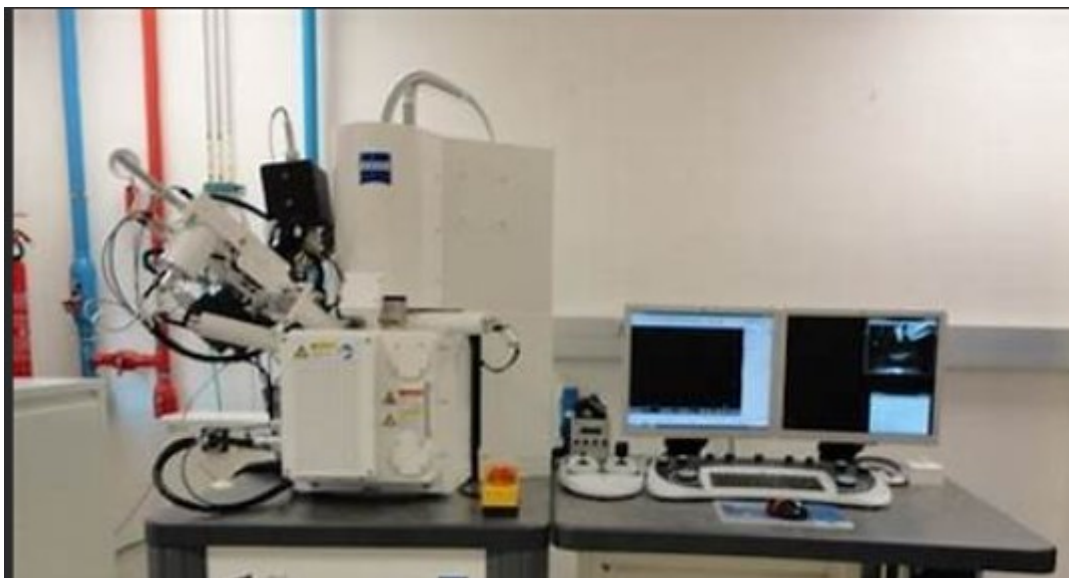


Figure II.9 : Spectroscopie électronique à balayage (MEB).

Référence

- [1] K. J. Murata, M. B. Norman, American Journal of Science, vol. 276, pp. 112-1130, 1976.
- [2] [En ligne]. Available: <http://urlz.fr/1UPj>. [Accès le 06 05 2015].
- [3] N. Gascoin, P. Gillard, G. Baudry, Characterisation of Oxidised Aluminium Powder: Validation of a new Anodic Oxidation Bench, J. Hazard. Mater, vol. 171, pp. 348- 357, 2009.
- [4] Sedan D. Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques des composites. Thèse doctorat, Université de limoges, France, 2007
- [5] Gardette J. L. Caractérisation des polymères par spectrométrie optique. Techniques de l'Ingénieur, Paris, 1996, AM 3 271,1-17

CHAPITRE III

Résultats et Discussion

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1 Propriétés Structurale

III.1.1 Caractérisation par spectroscopie à transformée de Fourier (FTIR)

Amidon et Amidon plastifié : graphique III.1 montre les spectres infrarouges (FTIR) de l'amidon natif et de l'amidon plastifié. L'axe des abscisses représente la longueur d'onde (nombre d'onde en cm^{-1}), et l'axe des ordonnées la transmittance. L'analyse FTIR permet d'identifier les groupes fonctionnels présents et de suivre les modifications structurales dues à la plastification.

a. Amidon

Bande large 3200–3600 cm^{-1} : Correspond aux vibrations de valence O–H, caractéristiques des groupes hydroxyles abondants dans l'amidon. Cette bande est large à cause des nombreuses liaisons hydrogène inter- et intra-moléculaires.

Vers 2920–2930 cm^{-1} : Bande d'élongation C–H du méthylène ($-\text{CH}_2-$), typique des chaînes glucidique.

Vers 1640–1650 cm^{-1} : Pic attribué à l'eau absorbée (H_2O), souvent présente dans l'amidon natif.

Région 1000–1200 cm^{-1} : Bandes caractéristiques des vibrations C–O, C–O–C et C–O–H, signatures du squelette glucidique (liaisons α -1,4 et α -1,6).

b. Amidon plastifié

Baisse générale de la transmittance : Indique une modification de la structure, généralement due à la rupture partielle des liaisons hydrogène et à l'introduction du plastifiant (souvent le glycérol)³.

Bande O–H (3200–3600 cm^{-1}) : Cette bande devient plus fine et moins intense, signe d'une diminution des liaisons hydrogène entre chaînes d'amidon, remplacées par des liaisons amidon/plastifiant.

Nouvelles bandes ou déplacements : L'apparition ou le déplacement de pics dans la zone $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ et $1500\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ peut indiquer la formation de nouvelles liaisons ou l'interaction du plastifiant avec l'amidon.

Diminution de la cristallinité : La plastification détruit partiellement la structure semi-cristalline de l'amidon, ce qui se traduit par des modifications dans la région des basses fréquences ($800\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$).

3. Interprétation structurale

Amidon natif : Structure semi-cristalline, forte cohésion inter-chaînes via liaisons hydrogène, bandes O–H larges et intenses.

Amidon plastifié : Structure plus amorphe, mobilité accrue des chaînes polymériques, liaisons hydrogène affaiblies ou remplacées par des interactions avec le plastifiant (glycérol, sorbitol, etc.).

Conséquences : Diminution de la température de transition vitreuse (T_g), meilleure flexibilité, mais aussi une transmittance globale plus faible sur le spectre FTIR du matériau plastifié

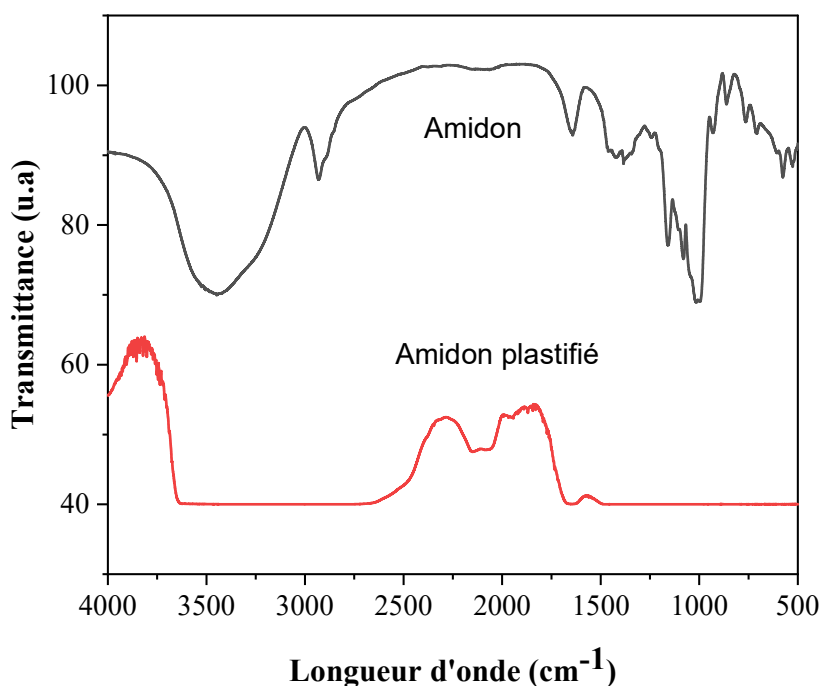


Figure III.1 : Spectre FTIR de l'amidon pure et plastifié

- **Biochar et biochar activé**

La figure III.2 montre le spectre FTIR du biocharbon et celui activé

Ce graphique présente deux spectres infrarouges (FTIR) comparant le Biocharbonet le BiocharbonActivé et dont L'analyse FTIR permet d'identifier les groupes fonctionnels présents dans les deux échantillons à savoir :

1. Zone 3700–3000 cm^{-1} (liaisons O–H) :

- Large bande dans les deux cas, plus marquée pour le Bioactive correspondant à des groupes hydroxyle (–OH), liés à l'humidité ou à des groupes fonctionnels de surface.
- Cela indique une présence plus élevée de groupes hydrophiles après activation.

2. Zone 3000–2800 cm^{-1} (liaisons C–H, alkyles) :

- Présence de pics faibles indiquant la présence de liaisons C–H de groupes méthyle ou méthylène.

- Moins prononcé dans le BioActivé, peut-être dû à la modification ou élimination de chaînes alkyles pendant l'activation.

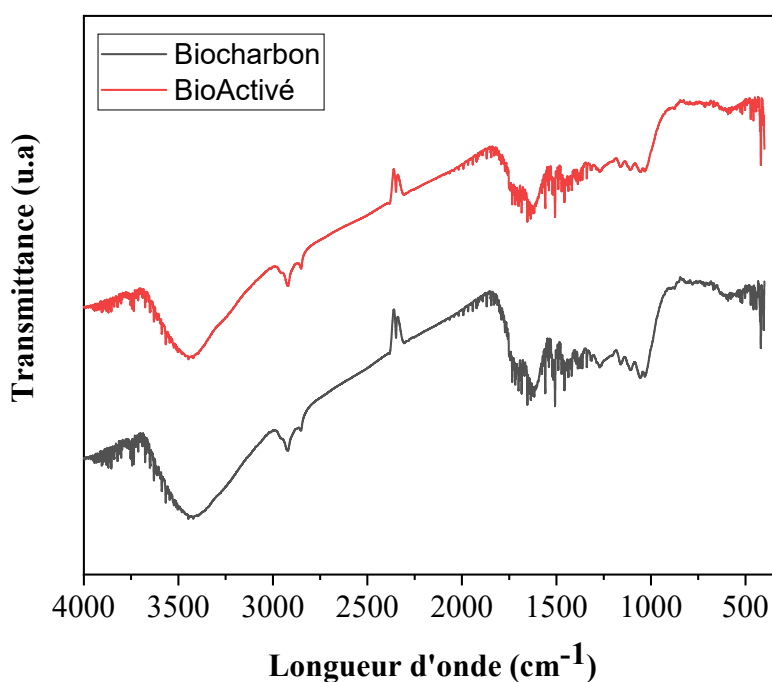


Figure III.2 : Spectre FTIR de la charge biomasse et activée

3. Zone 1700–1600 cm^{-1} (liaisons C=O ou C=C aromatiques) :

- Pic visible pour les deux échantillons, plus marqué pour le BioActivé indiquant une présence accrue de groupes carbonyles (C=O) ou liaisons aromatiques C=C,

4. Zone 1400–1000 cm^{-1} (liaisons C–O, C–N, ou déformations O–H) :

- Multiples pics (plus nets pour BioActivé), correspondant à :
 - C–O (alcools, acides carboxyliques)
 - C–N (amines)

- Déformations du groupement O–H
- Cela traduit une augmentation de la fonctionnalisation de surface après activation chimique.

5. Zone $< 800\text{ cm}^{-1}$ (liaisons aromatiques ou squelette carboné) :

- Ces bandes faibles sont souvent associées aux mouvements hors-plan des cycles aromatiques.
- La modification de l'intensité peut indiquer une restructuration du squelette carboné. Dans le cas du Biocharbon, cette structure relativement moins fonctionnalisée, plus "brute". Par contre pour le BioActivé, des groupes fonctionnels plus nombreux et diversifiés, indiquant probablement une surface plus active chimiquement qui sont peut-être idéale pour des applications comme l'adsorption ou la catalyse.
- La transformation du biocharbon en biochar activé a introduit ou intensifié certains groupes fonctionnels (OH, COOH, C=O...), ce qui est souhaitable pour améliorer ses propriétés physico-chimiques[1]

- **Composite Amidon plastifié-Biochar**

La figure suivante montre le spectre FTIR de l'amidon plastifié en présence des différents taux de biochar :

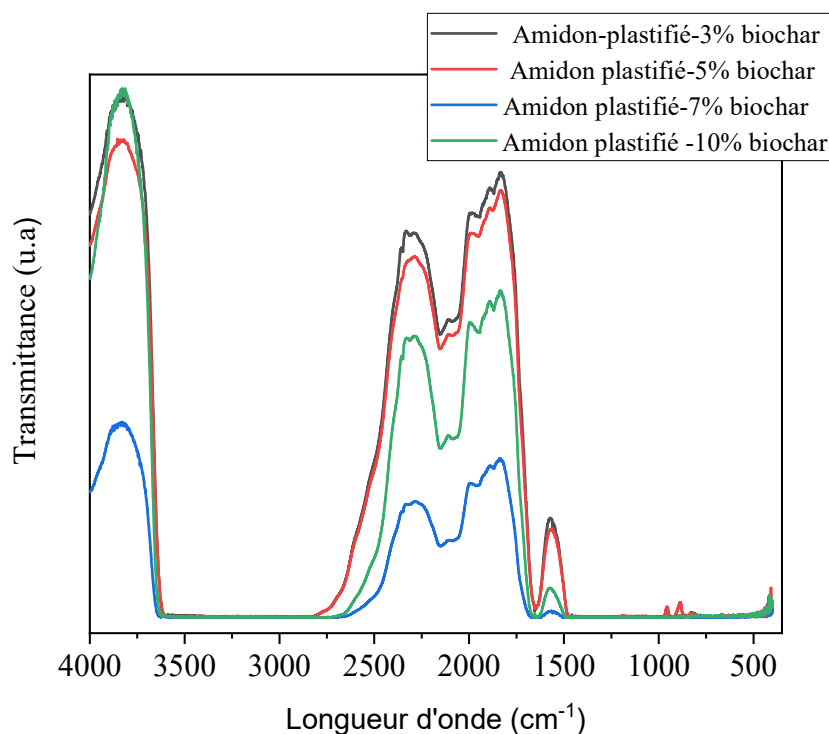


Figure III.3 : Spectre FTIR de l'amidon plastifié avec 3%, 5%, 7% et 10% de biochar

Les bandes caractéristiques de l'amidon plastifié en présence de 3%, 5%, 7% et 10% de biochar est comme suit:

- La bande large entre 3200–3500 cm^{-1} est attribuée aux liaisons O–H (hydroxyles, ou interaction hydrogène). Cette bande diminue en intensité avec l'augmentation du biochar. Cela indique une réduction des liaisons hydrogène libres, probablement à cause de nouvelles interactions entre l'amidon et les groupes fonctionnels du biochar.
- Vibrations d'élongation C–H (groupes méthyle ou méthylène) dans l'intervalle entre 2800–3000 cm^{-1} . L'intensité reste relativement constante, ce qui suggère peu de modification de la structure hydrocarbonée.
- Entre 1700–1500 cm^{-1} , une bande attribuée aux liaisons C=O (carboxyliques, cétones) et C=C aromatiques (du biochar). Augmentation de l'intensité de cette bande avec le taux de biochar, surtout pour le taux de 10 %, qui probablement prouve d'une intégration croissante du biochar dans la matrice polymérique.

- Entre $1200\text{--}900\text{ cm}^{-1}$:Ponts glycosidiques (C–O–C), caractéristiques de l'amidon.L'intensité varie, montrant une altération progressive de la structure de l'amidon à mesure que le biochar est incorporé.

- **Composite Amidon plastifié-Biochar Activé**

La figure III.4 montre le spectre FTIR des composites Amidon-plastifié -biocharbon :

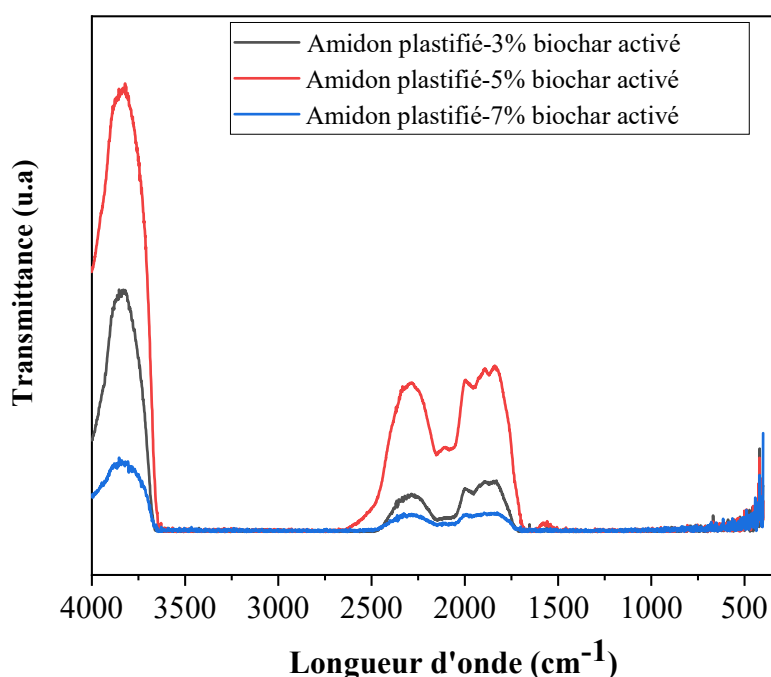


Figure III.4 : Spectre FTIR de l'amidon plastifié avec 3%, 5% et 7% de biochar Activé

- Bande large et intense vers $3200\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ attribuée aux vibrations des O–H. Cette bande est surtout visible pour l'échantillon à 5 % biochar. Cette bande est liée aux liaisons hydrogène provenant des groupes –OH de l'amidon, du plastifiant (probablement glycérol/eau) et du biochar. Par contre à 7 %, la bande est moins intense, ce qui pourrait signifier d'une saturation des sites d'interaction ou réduction de mobilité des chaînes (réseau plus structuré).
- Une bande vers 2900 cm^{-1} associée aux liaisons C–H des chaînes carbonées. Peu de variation marquée entre les courbes : le biochar semble peu influencer cette zone.

- Une bande vers $1650\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ souvent liée à l'eau adsorbée (--OH) ou aux groupes carbonyles (C=O) du biochar. L'intensité de cette bande augmente avec la teneur en biochar, surtout visible à 5 % et 7 %, cela indique une présence accrue de groupes oxydés.
- Entre $1200\text{--}900\text{ cm}^{-1}$. Cette région est caractéristique de réseau polysaccharidique C--O , C--C (Structure de l'amidon). L'augmentation de la teneur en biochar modifie légèrement cette région : Moins de netteté ou de pics définis à 7 %, ce qui pourrait indiquer une réorganisation du réseau ou des interactions entre l'amidon et le biochar.

L'analyse FTIR montre que l'ajout de biochar activé dans l'amidon plastifié entraîne :

- Une augmentation des interactions (surtout via les groupes --OH et C=O).
- Une modification des bandes caractéristiques de l'amidon (réseau modifié).
- Une différence marquée à 5 %, potentiellement la teneur optimale pour un bon équilibre entre interaction et structure.

L'ajout de biochar activé dans l'amidon plastifié induit des interactions physico-chimiques visibles sur le spectre FTIR :

- Réduction des bandes --OH : moins de liaisons hydrogène libres.
- Nouveaux pics C=O ou COOH du biochar.
- Modification de la bande C--O/C--C : possible interaction ou compatibilisation.

III.1.2 Caractérisation par Diffraction des rayons -X (DRX)

- **Amidon**

La figure III.5 montre le diffractogramme DRX de l'amidon. Le diffractogramme montre des angles de diffraction à $2(\theta) = 15.25, 18.29, 19.93$ et 23.26° et qui sont caractéristiques des amidons de type A[2]

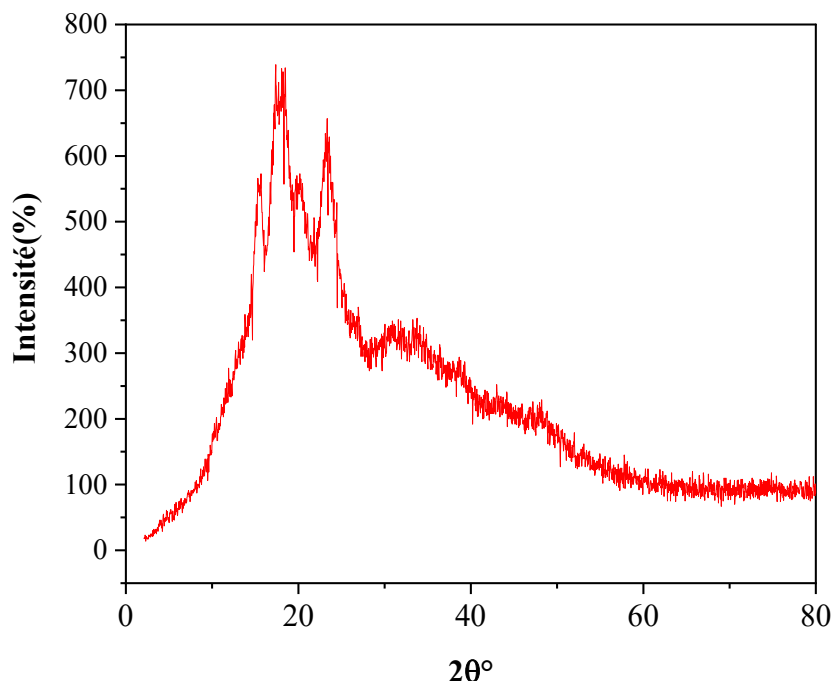


Figure III.5 : Diffractogramme DRX de l'amidon

• Amidon plastifié

La figure III.6 montre le diffractogramme DRX de l'amidon plastifié. Pour l'amidon plastifié, de nouveaux angles de diffraction (2θ) ont été observés à $2(\theta) = 9,47, 16,26, 19,19,21,33$ et $28,72^\circ$. Les réflexions observées à $2(\theta) = 9,47, 21,33^\circ$ sont attribuées à la cristallinité de type V_A , résultante de la formation de complexes d'amylose et différentes molécules telles que les lipides, l'iode ou les alcools et qui peuvent être induite par le traitement proposé (pics de type V caractéristiques de la cristallinité induite par le traitement thermomécanique). Cette cristallinité provient de la formation des complexes d'amylose et de lipide. La réflexion observée à $2(\theta) = 28,72^\circ$ est attribuée à la cristallinité de type A de grains d'amidon résiduel et qui révèle qu'une faible fraction de granule d'amidon n'est pas complètement détruit durant le traitement thermomécanique[3]

Cette étude nous a permis de démontrer l'efficacité du traitement thermomécanique et on note que l'absence des pics caractéristiques de l'amidon correspond à une perte de cristallinité et que l'amidon est devenu amorphe après plastification.

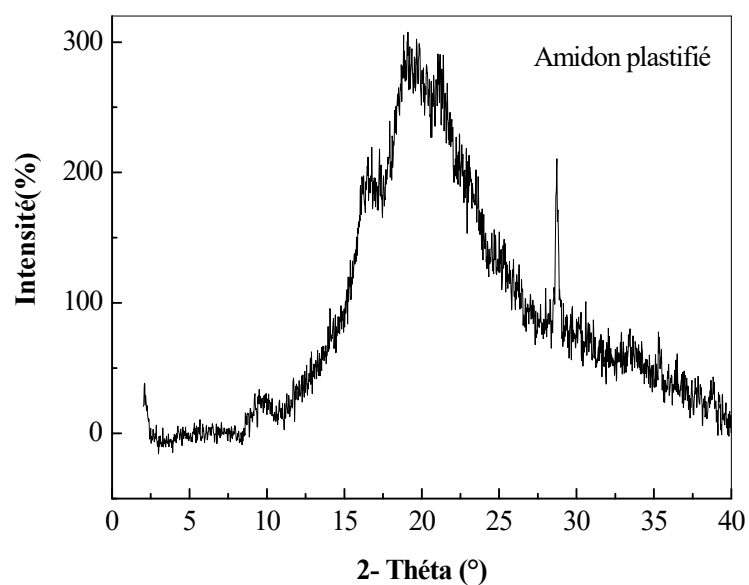


Figure III.6 : Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié (PLS)

- **Biocharbon** La figure III.7 montre le diffractogramme DRX de la charge biocharbon :

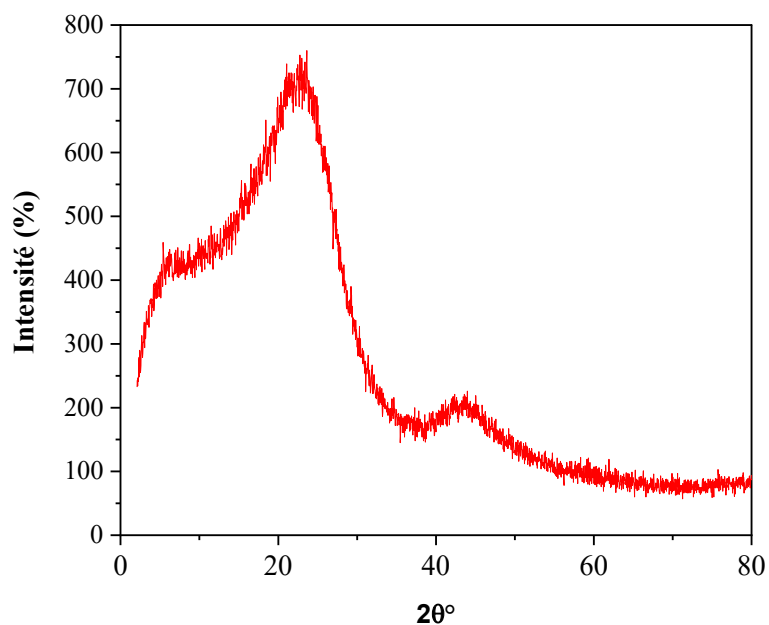


Figure III.7 : Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié (PLS)

La figure III.7 montre le diffractogramme DRX du biocharbon. Le diffractogramme montre une large bande diffuse centrée autour de $20-25^\circ$, caractéristique des plans (002) du carbone amorphe. L'absence de pics cristallins nets confirme la nature désordonnée du matériau, typique des carbones issus de pyrolyse. Une légère épaulement vers 43° est également observée, attribuable aux plans (100) ou (101) du carbone amorphe. Ces résultats confirment que le biochar étudié est majoritairement amorphe, avec une faible organisation graphitique.

- **Composite Amidon plastifié-biocharbon**

La figure III.8 montre le diffractogramme DRX des composites Amidon-biocharbon :

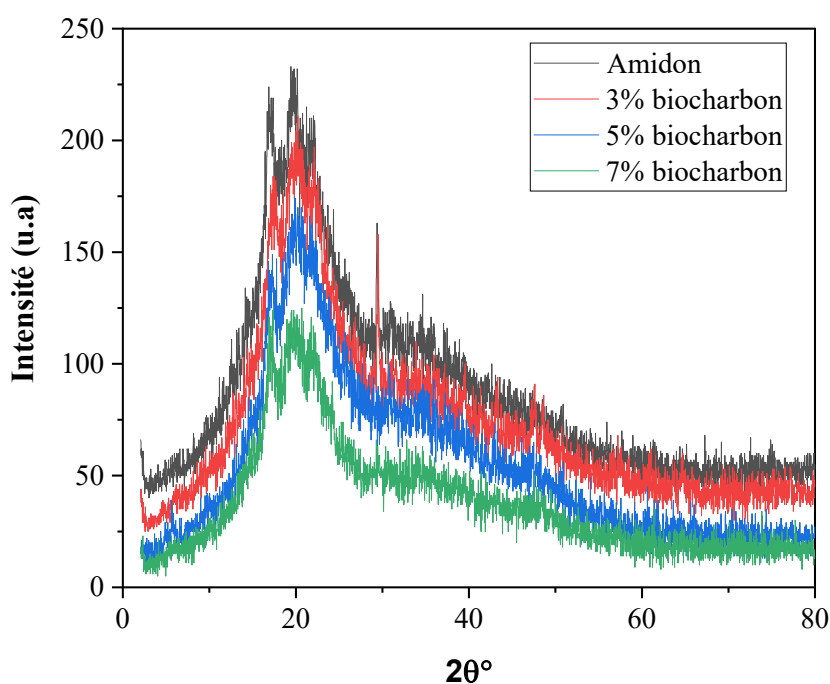


Figure III.8 : Diffractogrammes des rayons-X de l'amidon plastifié -Biochar

Le diffractogramme X montre que l'amidon natif présente une structure semi-cristalline. L'incorporation progressive de biocharbon activé (3 %, 5 %, 7 %) entraîne une diminution significative de l'intensité et de la netteté de ces pics, traduisant une perte de cristallinité. À 7 %, la structure devient largement amorphe. Cela peut s'expliquer par une interaction entre les chaînes d'amidon et les surfaces fonctionnalisées du biochar, perturbant l'arrangement

ordonné du polymère. Ce phénomène est généralement associé à une meilleure dispersion des charges et à des modifications des propriétés mécaniques ou barrières du matériau composite.

III.1.3 Caractérisation par microscopie électronique à balayage (MEB) et analyse EDX

- **Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié**

Le micrographe MEB (figure III.9) présente une surface où l'on distingue des structures faiblement contrastées et de formes irrégulières et perte de la structure granulaire nette sont des signes typiques de la transformation de l'amidon en matériau plastique, dispersées sur le champ d'observation. L'échelle indique que les objets visibles mesurent de l'ordre de 10 à 50 μm , ce qui correspond à la taille typique des grains d'amidon. Contrairement à l'amidon natif, qui montre des grains bien définis et séparés, l'amidon plastifié présente souvent des grains dont les contours sont moins nets, avec des formes irrégulières et parfois une tendance à l'agglomération ou à la coalescence. La zone encadrée (1) attire l'attention sur une structure particulièrement déformée ou fusionnée, illustrant la modification de la morphologie granulaire sous l'effet du traitement [4]. Ce résultat traduit une désorganisation de la structure cristalline de l'amidon, avec une possible augmentation de l'amorphisation, ce qui est recherché lors de la fabrication de matériaux plastiques à base d'amidon. L'analyse EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) de l'amidon plastifié montrant environ 52 % de carbone atomique et 48 % d'oxygène atomique est cohérente avec la composition chimique attendue d'un polysaccharide comme l'amidon. En effet, l'amidon est constitué d'unités répétées de D-glucose, dont la formule empirique est $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, ce qui correspond à une forte proportion de carbone et d'oxygène dans sa structure moléculaire. Le fait que l'amidon soit plastifié (traité avec un plastifiant comme la glycérine ou l'eau) ne modifie pas fondamentalement sa composition élémentaire, mais peut influencer la distribution et la dispersion des éléments à la surface observée par EDX. L'absence d'autres éléments majeurs dans le spectre confirme que l'échantillon est essentiellement composé d'amidon pur ou modifié physiquement sans additifs minéraux significatifs [5].

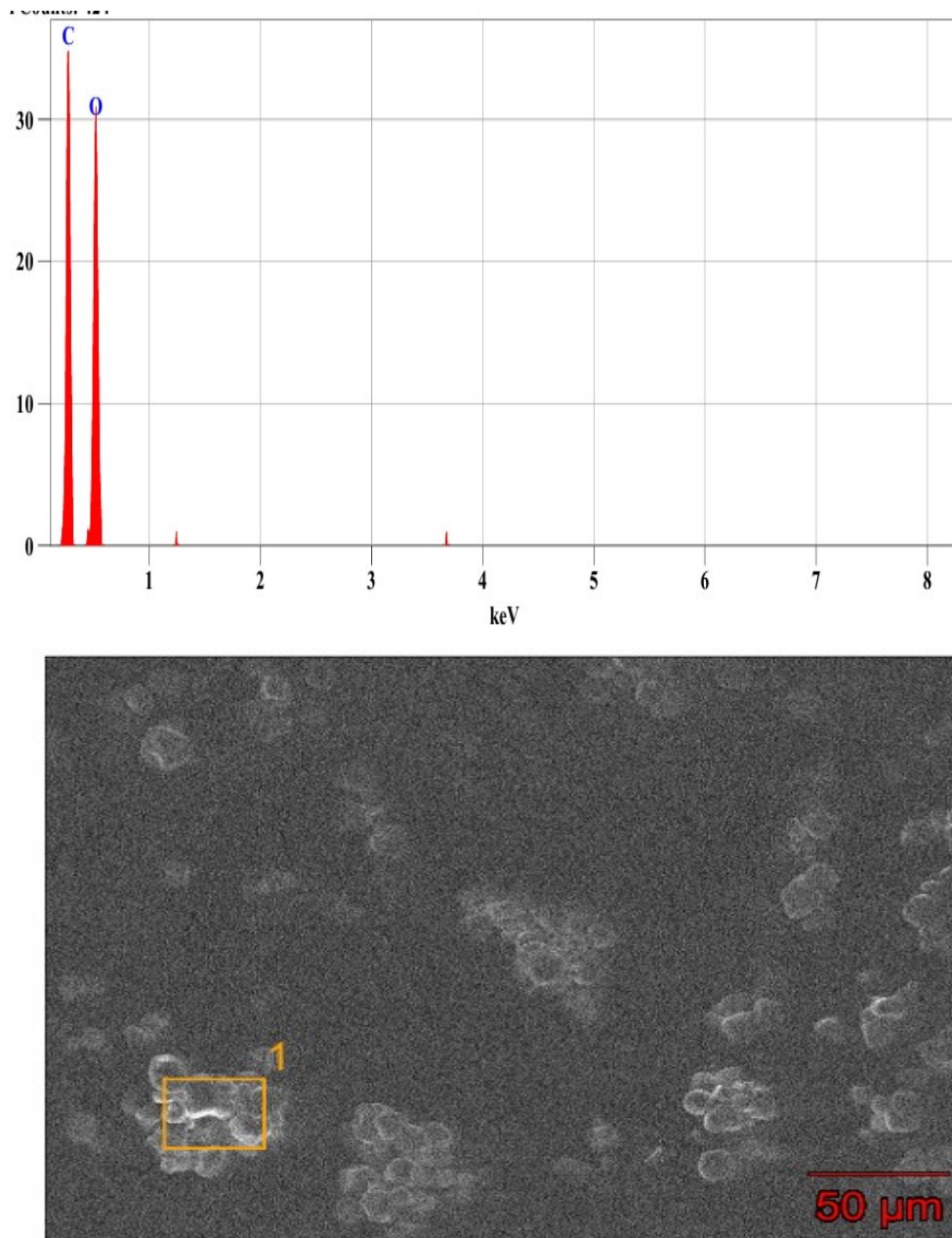
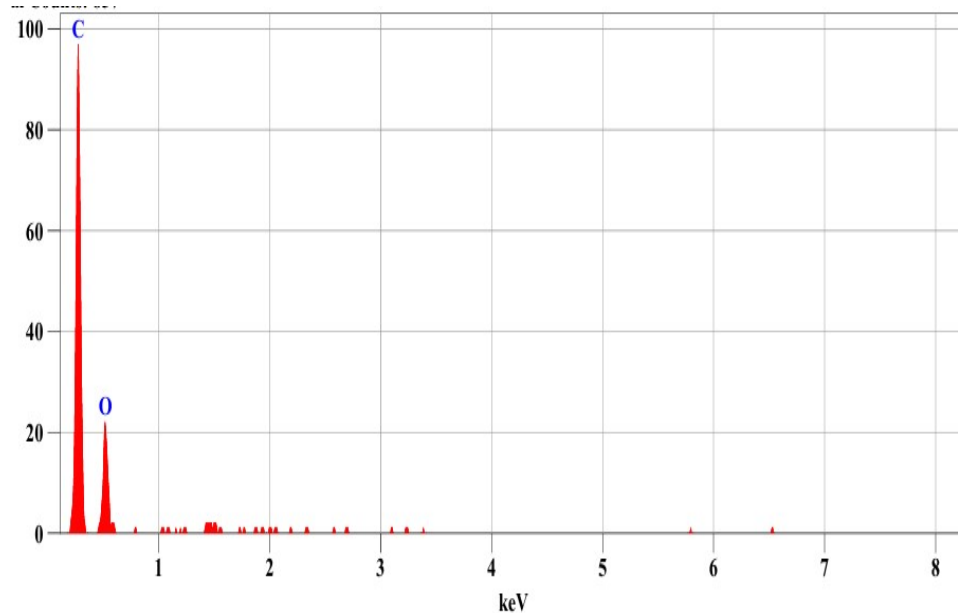


Figure III.9 : Microraphe MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié.

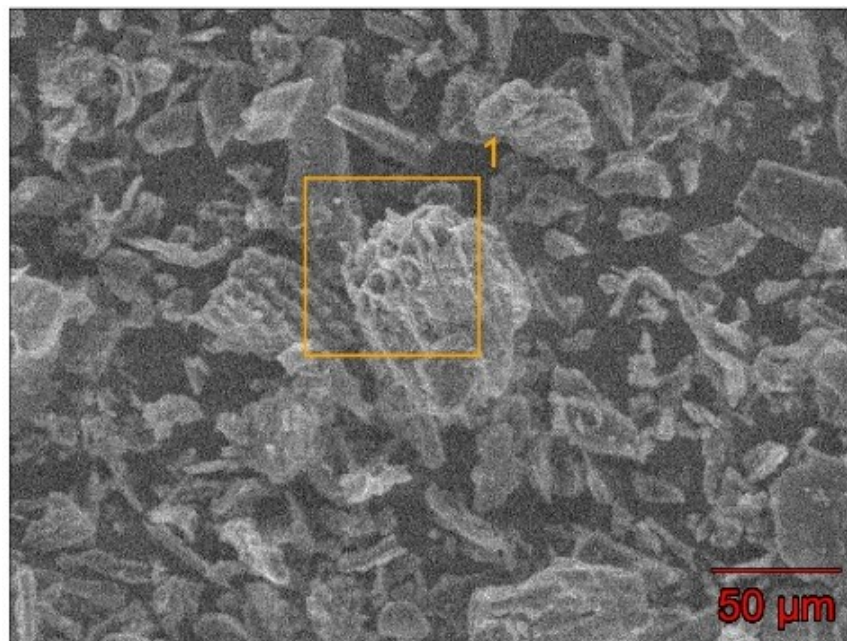
- **Interprétation du microraphe MEB et l'analyse EDX de biomasse de base cypres.**

Chapitre III: Résultats et Discussion

Le micrographeMEB (Microscopie Électronique à Balayage) permettent d'analyser la morphologie de la structure du Surface lisse avec peu de pores visibles. La figure III.10



montre une structure compacte et homogène, typique des matériaux non activés. L'analyseEDX montre que la biomasse de base cyprès contient 81 % de carbone et 19 % d'oxygène pour la biomasse de cyprès correspond à une biomasse lignocellulosique typique, riche en composés carbonés et adaptée à des valorisations énergétiques ou chimiques spécifiques[6]



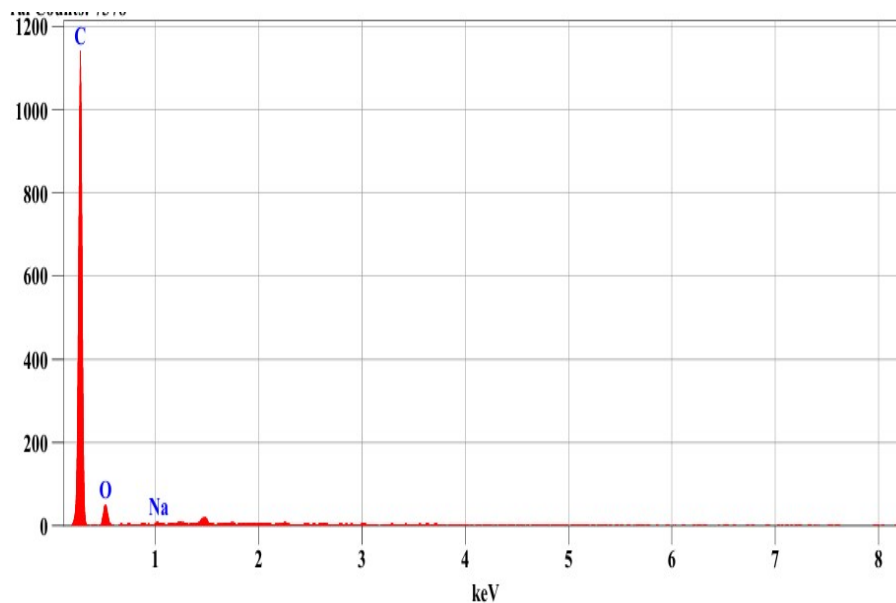


Figure III.10 : Micrographe MEB et analyse EDX de Biomasse de cyprès.

- **Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de charbon actif**

La figure III.11 présente un réseau poreux développé avec des cavités irrégulières. L'activation chimique ou thermique crée des micropores (<2 nm) et mésopores (2-50 nm) qui augmentent la surface spécifique. L'analyse élémentaire de EDX de ce charbon actif à base de cyprès, tel que mentionné, peut présenter une composition atomique autour de 76 % de carbone et 24 % d'oxygène. Cette composition est cohérente avec la nature du charbon actif, qui est essentiellement constitué de carbone amorphe avec des groupements fonctionnels oxygénés à sa surface. Ces groupements oxygénés (carboxyliques, hydroxyles etc.) apparaissent notamment lors des traitements d'activation chimique ou physique et influencent les propriétés d'adsorption du charbon actif. SEGHER ABDELKARIM Synthèse d'un charbon actif à base de grignons d'abricot pour la dépollution des eaux usées[7],

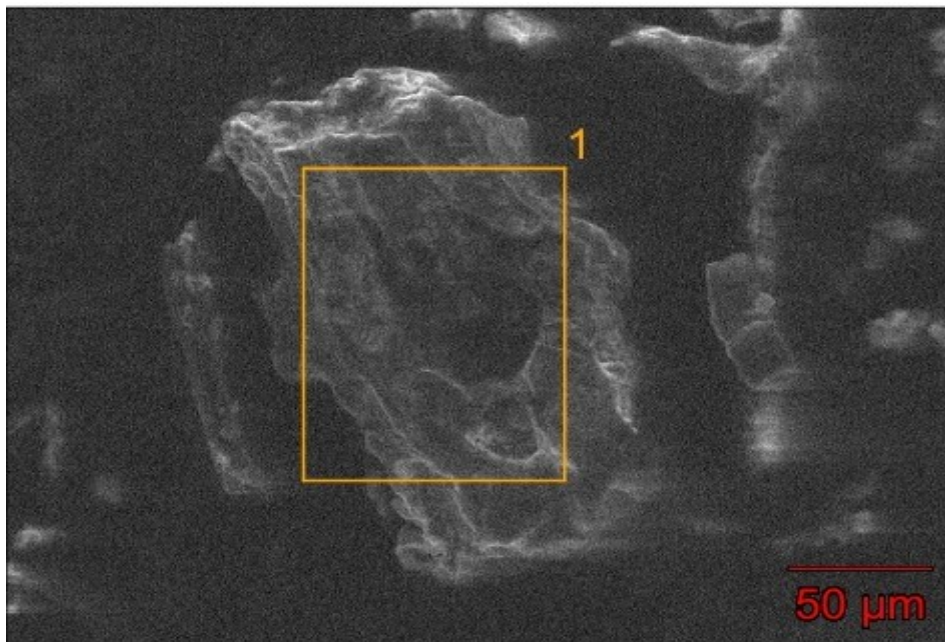


Figure III.11 : Micrographe MEB et analyse EDX de charbon actif

- **Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié / 3% biomasse**

Le micrographe MEB de l'amidon plastifié avec 3% de biomasse (figure III.12) montre l'intégration de la biomasse de cyprès dans une matrice d'amidon plastifié (amidon plastifié/3% biomasse cyprès) en donnant un matériau hybride où les particules de biomasse sont bien dispersées dans la matrice, apportant une rugosité et une hétérogénéité à la surface, ce qui peut améliorer les propriétés mécaniques et d'adsorption du composite, les analyses EDX montrant un pourcentage atomique de carbone (C) de 57,8%, d'oxygène (O) de 40,62%, d'aluminium (Al) de 0,27%, de silicium (Si) de 0,42% et de calcium (Ca) de 0,89%, interprété comme suit :

- La forte proportion atomique de carbone (57,8%) et d'oxygène (40,62%) est cohérente avec la composition chimique attendue d'un matériau à base de biomasse et d'amidon, qui sont principalement constitués de composés organiques riches en C et O.
- La présence de calcium (0,89%) peut être liée à des résidus minéraux naturels dans la biomasse ou à des additifs liés à l'acide citrique utilisé pour l'activation. Le calcium est souvent détecté dans des biomasses traitées, comme observé dans des analyses similaires où il est localisé dans des zones cristallisées[8]. La présence de silicium (0,42%) et d'aluminium (0,27%) en faibles quantités peut provenir de contaminants

minéraux provenant du sol ou des impuretés dans la biomasse ou les agents de traitement.

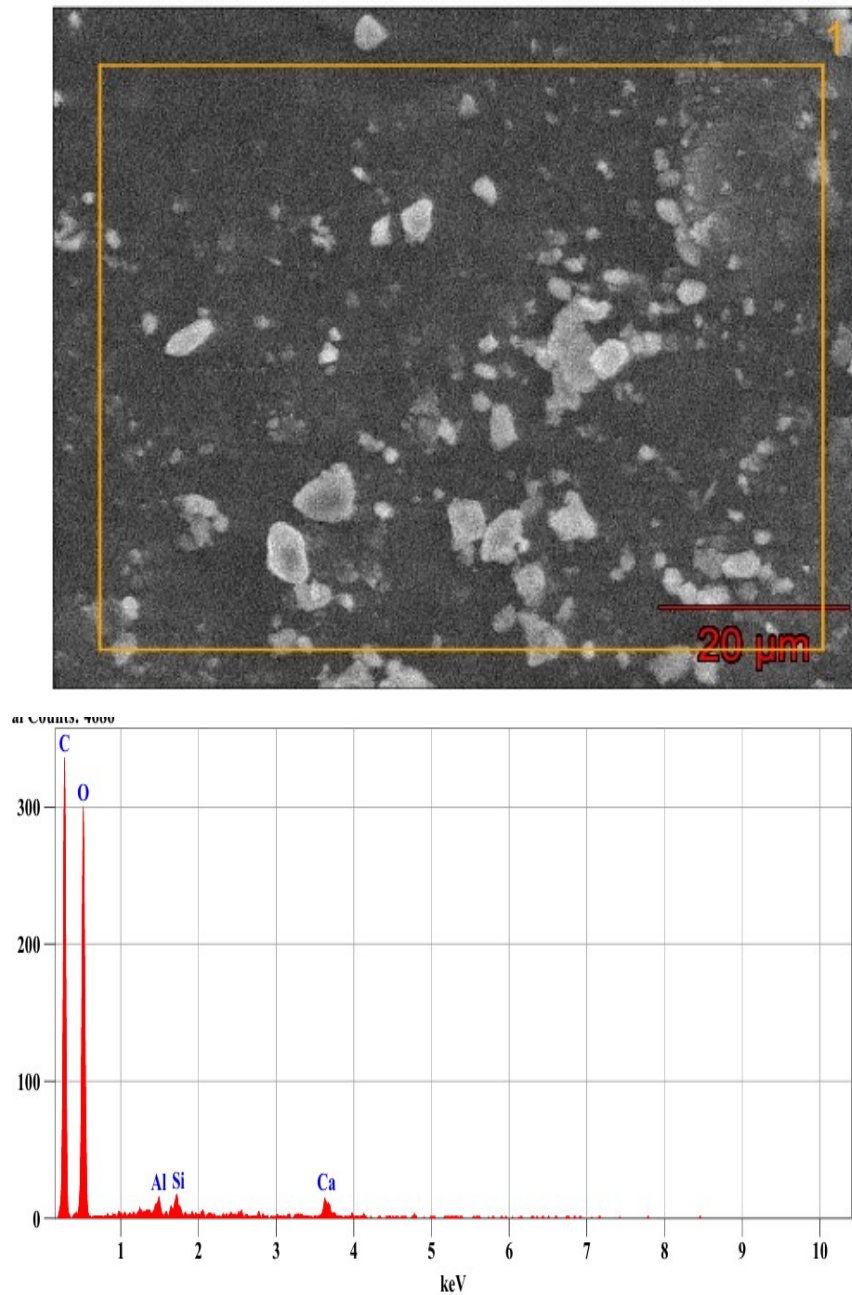


Figure III.12 : Micrographe MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié / 3%biomasse

- **Interprétation de l'image MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié/ 3% charbon actif**

La figure correspondante (figure III.13) une surface rugueuse avec des agrégats carbonés dispersés, améliorant les sites d'adsorption. L'analyse EDX (Energy Dispersive X-

Chapitre III: Résultats et Discussion

ray Spectroscopy) d'un échantillon d'amidon plastifié avec 3 % de charbon actif, présentant une composition atomique d'environ 60 % de carbone (C) et 40 % d'oxygène (O), peut être interprétée comme suit :

- La forte proportion de carbone (60 %) est cohérente avec la présence significative de charbon actif, matériau essentiellement carboné, ainsi qu'avec la nature organique de l'amidon plastifié, qui contient aussi du carbone dans sa structure moléculaire.
- La présence notable d'oxygène (40 %) reflète la composition chimique de l'amidon, polysaccharide riche en groupes hydroxyles (-OH) et autres fonctions oxygénées, ainsi que la surface oxygénée du charbon actif qui peut contenir des groupes fonctionnels oxygénés (carboxyles, hydroxyles, etc.) liés à son activation[9]

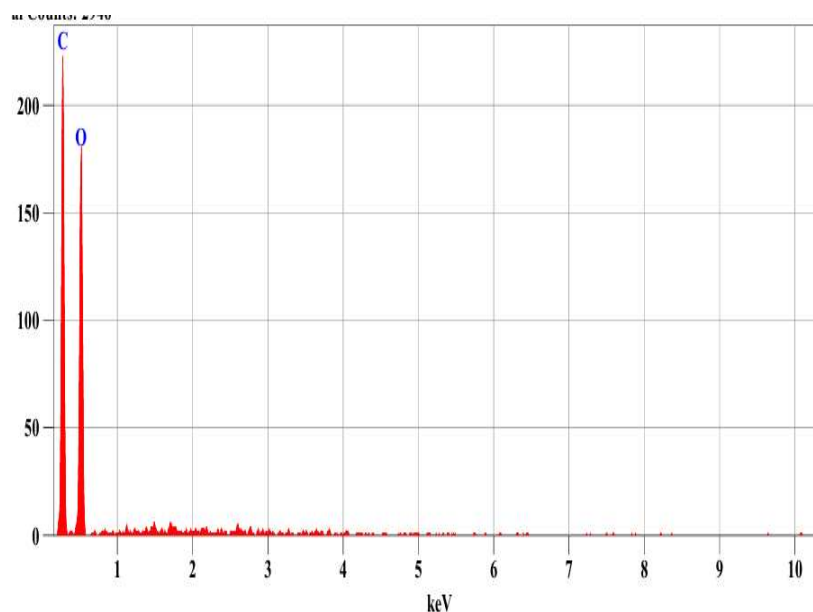
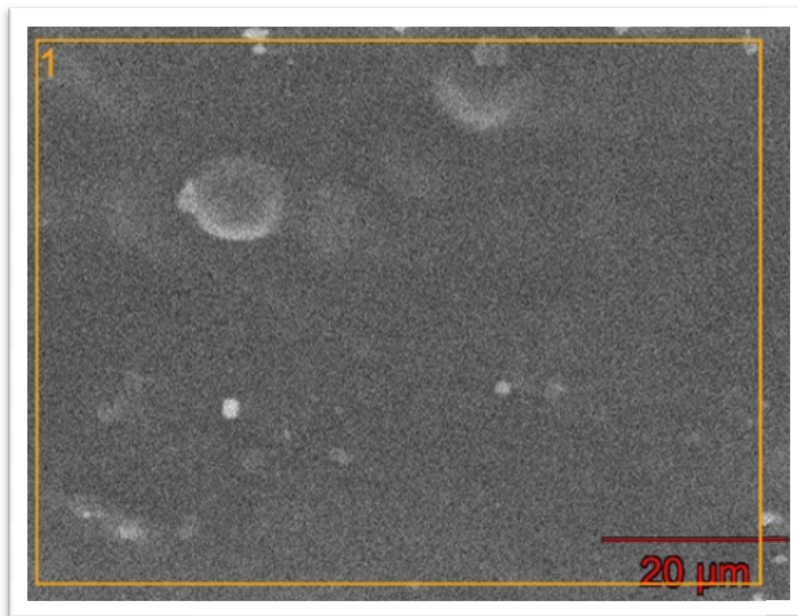


Figure III.13 : Micrographe de MEB et analyse EDX de l'amidon plastifié / 3%charbon actif.

Chapitre III: Résultats et Discussion

Référence

- [1]Guo, Z., Jia, X., Miao, S., Chen, B., Lu, X. & Zheng, B. (2018). Structural and thermal properties of amylose-fattyacid complexes prepared via high hydrostatic pressure. Food Chemistry, 264, 172-179
- [2]Angellier, H., Nanocristaux de maïs cireux pour applications composites, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, 2005.].
- [3]Guo, Z., Jia, X., Miao, S., Chen, B., Lu, X. & Zheng, B. (2018). Structural and thermal properties of amylose-fattyacid complexes prepared via high hydrostatic pressure. Food Chemistry, 264, 172-179
- [4]FarhouhNabila ,plastification d'un biopolymère a base d'amidon de pomme de terre ,mémoire de master ,Université Ibn Khaldountiaret,2012
- [5].SaraRonasi,Etude d'élaboration des mélanges de matériaux bio-sourcés à base d'amidon plastifié et de poly (acide lactique) et de leur compatibilisation,thèse Doctorat de l'Université de Lorraine,2012
- [6]. YannROGAUME, La combustion du bois et de la biomasse, POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE - NUMÉRO SPÉCIAL - MARS 2009
- [7], MEMOIRE DEMASTER . UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN *MOHAMED BOUDIAF2010
- [8].AncuțaGoriuc , Alexandra JităreanuExperimental EDX analysis of differentperiodontalsplintingsystems ,ExperimentalandTherapeuticMedicine 2021
<https://doi.org/10.3892/etm.2021.10820>
- [9]Li, Chang-Jiu JiuChapter,MaterialsModelling and CharacterizationEnergy-Dispersive Spectroscopy 2021

Conclusion Generale

Conclusion Générale

Ce travail port sur l'élaboration des films composites à base d'amidon de maïs et de biomasse de base cyprès à l'état brut et activé dont l'application industrielle principale de ces films est la conception des pots jetables alimentaires.

Cette étude a révélé comment la biomasse de cyprès peut être utilisée pour produire du biochar ou du charbon actif, valorisant ainsi un résidu lignocellulosique largement disponible et peu onéreux tout en favorisant la durabilité écologique. L'incorporation de biochar ou de charbon actif provenant de la biomasse de cyprès dans une matrice d'amidon plastifié induit des changements morphologiques et structuraux importants.

Les changements morphologiques obtenus par microscopie électronique à balayage (MEB se résument comme suit :

- Accroissement de la porosité et de la surface spécifique. Lorsqu'il est purifié, l'amidon plastifié se caractérise par une structure uniforme et lisse, ainsi qu'une porosité réduite. L'incorporation de 3% de biochar ou de charbon actif de cyprès entraîne la formation d'une surface nettement plus irrégulière et poreuse. Les observations effectuées à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB) mettent en évidence l'émergence de cavités, de fissures et de pores de manière uniforme. Cette augmentation de la porosité contribue à accroître la surface spécifique du matériau composite, offrant ainsi des avantages significatifs pour des applications telles que l'adsorption ou la rétention de polluants.
- Uniformité de la dispersion des particules de biochar.
- une dispersion efficace des particules de biochar et de charbon actif au sein de la matrice d'amidon plastifié. Cette répartition uniforme joue un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés structurales et fonctionnelles du matériau et l'optimisation des caractéristiques fonctionnelles du matériau. L'incorporation de biochar ou de charbon actif augmente le nombre de sites actifs disponibles à la surface du composite, ce qui favorise les interactions avec d'autres molécules.

Conclusion Generale

Du point de vue structurale et concernant les résultats obtenus par Diffraction de Rayons-X(DRX), l'allure des Diffractogrammes nous a permis de mettre en évidence d'une part la transformation de l'amidon en un amidon plastifié par la destruction du réseau cristallin de l'amidon natif (perte des pics caractéristiques de l'amidon) et d'autre part révélation d'une structure amorphe pour les mélanges d'amidon plastifié/biochar et d'amidon plastifié/charbon.

Concernant les résultats obtenus par Spectroscopie Infra Rouge à transformée de Fourier (FTIR) on peut conclure les points suivants :

- Une modification des interactions intermoléculaires (liaisons hydrogène remplacées ou réduites).
- Un renforcement potentiel de la structure grâce à l'introduction de groupes aromatiques/carboxyliques.
- L'ajout de biochar affecte la structure chimique et les propriétés fonctionnelles du matériau.
- Une concentration plus élevée montre des modifications spectroscopiques plus marquées, suggérant une saturation ou perturbation de la matrice.

Les possibilités offertes par cette étude sont nombreuses. D'un point de vue scientifique, ces actions comprennent la recherche de l'optimisation des taux d'incorporation de biochar et de charbon actif afin de maximiser les propriétés mécaniques, la porosité et la capacité d'adsorption des matériaux composites à base d'amidon plastifié.

الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية

والبحث العلمي التعليم العالي وزارة

محمد خيضر -بسكرة جامعة

عنوان المشروع :

اكواب بيئية من مصادر نباتية:بدائل مستدامة للبلاستيك



الاسم التجاري:

Bio Gobelet

السنة الجامعية 2024/2025

بطاقة معلومات

حول فريق الإشراف وفريق العمل

1. فريق الاشراف

| الاسم | المستوى | التخصص |
|---------------|---------------|----------------|
| رحالي حنان | أستاذ محاض أ | هندسة كيميائية |
| اسماعيل دليلة | أستاذ محاضر أ | هندسة كيميائية |

2. فريق العمل

| الاسم | المستوى | التخصص |
|-----------|-------------------|--------------------|
| ضحوي سارة | طالبة ثانية ماستر | هندسة طرائق البيئة |

فهرس المحتويات

المحور الاول: تقديم المشروع.....

| | |
|---------|----------------------------------|
| 01..... | المقدمة |
| 02..... | فكرة المشروع (الحل المقترح)..... |
| 02..... | القيم المقترح..... |
| 03..... | فريق العمل..... |
| 03..... | أهداف المشروع..... |
| 05..... | جدول زمني لتحقيق المشروع..... |

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية.....

| | |
|---------|------------------------|
| 07..... | طبيعة الابتكارات..... |
| 08..... | مجالات الابتكارات..... |

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للتسويق.....

| | |
|---------|---------------------------|
| 10..... | القطاع السوقي..... |
| 11..... | قياس شدة المنافسة..... |
| 11..... | استراتيجيات التسويقة..... |

المحور الرابع: خطة الانتاج والتنظيم.....

| | |
|---------|------------------------|
| 13..... | عملية الانتاج..... |
| 13..... | اليد العاملة..... |
| 14..... | الشراكات الرئيسية..... |

المحور الخامس: الخطة المالية.....

| | |
|---------|--------------------------|
| 16..... | تكاليف المشروع..... |
| 18..... | نموذج العمل التجاري..... |

المحور السادس: النموذج الاول التجريبي.....

المحور الاول

تقديم المشروع

المقدمة

في ظل التحديات البيئية المتزايدة الناتجة عن التلوث البلاستيكي والاستهلاك المفرط للمواد غير القابلة للتحلل، برزت الحاجة الملحة لتطوير بدائل مستدامة تحافظ على البيئة وتحد من الأضرار الناتجة عن المنتجات البلاستيكية التقليدية. يُعد تصنيع أدوات الاستعمال اليومي، مثل الأكواب، من بين التطبيقات الأساسية التي يمكن إعادة تصميمها باستخدام مواد طبيعية وصديقة للبيئة.

تعتمد فكرة المشروع على استخدام النشاء كمصدر أساسي للبوليمرات الطبيعية، إلى جانب مركب الجليسيرول (glycérol) كملدن لتحسين مرونة المادة. ومن أجل تعزيز الخصائص الميكانيكية والوظيفية للكأس، تمت إضافة مركب Bio charbon المستخلص من شجرة السرو (cypres)، لما له من خصائص مضادة للميكروبات ودور في تحسين الاستقرار البنيوي للمادة الحيوية.

يمثل هذا المشروع خطوة نحو إنتاج مواد بلاستيكية حيوية تلبي متطلبات الاستخدام اليومي، مع الحفاظ على القيم البيئية والصحية، مما يجعله مساهمة واعدة في مجالات التعبئة والتغليف المستدام، وتقليل الاعتماد على البلاستيك البترولي التقليدي.

1. فكرة المشروع (الحل المقترح)

فكرة المشروع تتمثل في تصميم وتصنيع كأس بديل للبلاستيك التقليدي باستخدام مواد طبيعية قابلة للتحلل، بهدف الحد من التلوث البيئي الناتج عن النفايات البلاستيكية. يعتمد هذا الكأس على استخدام بوليمرات حيوية مثل نشا الذرة بالإضافة جليسيرول، بدلاً من المشتقات النفطية. كما تم تدعيم هذه المواد بألياف بفحم حيوي مستخلص من شجرة السرو لتحسين المتانة ومقاومة الحرارة. يتم تشكيل الكؤوس بطرق صديقة للبيئة مثل القولبة الحرارية أو التشكيل بالضغط. يتميز هذا المنتج بكونه آمناً صحياً، قابلاً للتحلل الحيوي خلال أشهر، ولا يترك آثاراً ضارة على البيئة عند التخلص منه، مما يجعله خياراً مثالياً للاستخدام في المقاهي، الفعاليات، والمؤسسات المهتمة بالاستدامة. المشروع يجمع بين الابتكار البيئي والتوجه نحو الاقتصاد الأخضر، ويمكن تطويره مستقبلاً ليشمل منتجات تغليف أخرى صديقة للبيئة.

2. القيم المقترحة

تلعب القيم الأساسية دوراً محورياً في توجيه أي مشروع نحو النجاح والاستدامة. فهي تعكس المبادئ والمعتقدات التي يلتزم بها الفريق القائم على المشروع، وتحدد كيفية تفاعلهم مع العملاء والمجتمع والبيئة. وفي هذا السياق يقترح المشروع مجموعة من القيم التي تضمن تقديم منتج طبيعي يساهم في حماية البيئة والحد من التلوث. هذه القيم لا تعكس فقط الالتزام بتحقيق أهداف المشروع، ولكنها أيضاً تمثل الأساس الذي يقوم عليه العمل الجماعي والابتكار المستمر.

الاستدامة البيئية: نضع حماية البيئة في صميم المشروع من خلال استخدام مواد طبيعية متجددة (مثل نشا الذرة أو أوراق الشجر)، والابتعاد عن المشتقات النفطية التي تُستخدم عادة في صناعة البلاستيك التقليدي. المنتج يتحلل حيوياً في غضون أشهر دون ترك أي أثر بيئي ضار، مما يساهم في تقليل تلوث التربة والمياه، ويحد من تراكم النفايات البلاستيكية.

الابتكار البيئي: المشروع لا يقتصر على مجرد استبدال البلاستيك، بل يقدم حلاً مبتكراً باستخدام تقنيات جديدة ومواد طبيعية لتصنيع منتج عملي. يتم التركيز على إيجاد توازن بين الكفاءة البيئية والأداء الوظيفي للكوب، من حيث المتانة، مقاومة الحرارة، والشكل الجذاب، مما يجعل البديل مستساغاً للمستهلك وسهل الاستخدام في الحياة اليومية.

الصحة والسلامة: بما أن المنتج مخصص للمشروبات، فإن أمانه الصحي أولوية. لذلك يتم اختيار المواد الطبيعية غير السامة والخالية من أي مواد كيميائية ضارة قد تتسرب إلى المشروبات الساخنة أو الباردة. بالإضافة إلى ذلك، يتم اختبار المواد لضمان توافقها مع المعايير الصحية العالمية، ما يجعل المنتج آمناً تماماً للاستخدام في قطاعات مثل التعليم والمقاهي والمستشفيات.

الاقتصاد الأخضر: يعتمد المشروع على نموذج اقتصادي مستدام، حيث تُستخدم موارد محلية متوفرة بسهولة (مثل مخلفات زراعية أو نشا متوفر محلياً) لتقليل التكاليف وتحفيز الاقتصاد المحلي. كما يمكن تطوير خطوط إنتاج صغيرة لخلق فرص عمل ودعم المجتمعات الريفية. المنتج يدعم التحول إلى "اقتصاد دائري" حيث يمكن إعادة تدويره أو تحويله إلى سماد عضوي.

المسؤولية الاجتماعية: مشروع لا يهدف فقط إلى تصنيع منتج، بل إلى إحداث تأثير إيجابي على المجتمع من خلال نشر الوعي البيئي. يتضمن ذلك حملات توعية بأضرار البلاستيك، والتشجيع على استخدام البدائل المستدامة، وإشراك المدارس والجامعات في تبني هذا النوع من المنتجات. وبهذا يكون للمشروع بُعد تعليمي وثقافي، يرسخ ثقافة الاستهلاك الواعي.

الجودة والموثوقية: رغم الاعتماد على مواد طبيعية، يتم الحرص على أن يكون الكوب الناتج قوياً، مقاوماً للسوائل، ويمكن استخدامه بشكل عملي في الحياة اليومية. تُجرى اختبارات لتحمل الحرارة والميكانيكي لضمان أن المنتج يقدم تجربة مماثلة أو أفضل من الكوب البلاستيكي التقليدي. الجودة العالية تعزز ثقة المستهلك وتزيد من انتشار المنتج في السوق.

3. فريق العمل:

فريق العمل في مشروع "bio gobelet" يتكون حاليا من مؤسس واحد، وهي ضحوي سارة ، سأعمل كمديرة للشركة ، مع تمتعي بمهارة تنظيمية وإدارية عالية، وبما إنني في ميدان هندسة طرائق البيئة واكتسابي خبرة في مجال بوليمرات الحيوية، حيث أصبحت أتمتع بكفاءة عالية في إدارة المشاريع وتطوير الحلول المبتكرة ، مما سيمكنني من قيادة المشروع بفعالية وتحقيق أهدافه من خلال توظيف مهاراتي التي اكتسبتها من الدورات.

عندما يتوسّع المشروع ويتحوّل إلى شركة تعمل بشكل منظم، من الضروري تحديد العناصر الأساسية لفريق العمل، بحيث يكون لكل عضو دور واضح يساهم في نجاح المشروع. فيما يلي عرض لأهم الأقسام والوظائف الأساسية:

- **مدير المشروع :** ويعمل على وضع أهداف المشروع وخطط العمل والتنسيق بين جميع الأقسام ومتابعة الجداول الزمنية والميزانية.
- **مدير الإنتاج:** للإشراف على تجهيز المواد وتصنيع الكؤوس مع التأكد من إن عملية الإنتاج تتماشى معايير الجودة والسلامة ومطابقة للمواصفات.
- **مسؤول البحث والتطوير:** لدراسة المواد الطبيعية وتجربتها وتقديم اقتراحات لتحسين الأداء البيئي أو الوظيفي للكوب
- **المسؤول المالي :** لإدارة الميزانية ، متابعة التكاليف، وتخطيط المواد المالية ، وتخطيط الموارد المالية لضمان استدامة المشروع بالتوسع في فريق العمل بهذه المجالات ، سيصبح المشروع قادرا على تلبية الطلب المتزايد وضمان جودة وكفاءة العمليات من التصنيع إلى التسويق والتوزيع.
- **موظف دعم العملاء:** لتقديم الدعم الفني والإجابة على الاستفسارات العملاء وحل المشكلات المتعلقة بالمنتج

4. اهداف المشروع

يهدف مشروع تصنيع الأكواب الطبيعية إلى تقديم بديل مستدام وصديق للبيئة عن الأكواب البلاستيكية التقليدية، وذلك من خلال إنتاج أكواب قابلة للتحلل مصنوعة من مواد طبيعية. يسعى المشروع إلى الحد من التلوث البلاستيكي، تشجيع الاقتصاد الدائري من خلال استغلال مخلفات طبيعية يسعى المشروع إلى إثبات جدوى المنتج تجارياً خلال السنة الأولى من خلال بيع دفعات أولية وتكوين شبكة عملاء محلية من المقاهي والمطاعم والمبادرات البيئية. وعلى المدى المتوسط (1-3 سنوات)، يهدف المشروع إلى توسيع الإنتاج والتوزيع تدريجياً، والوصول إلى نقطة التعادل المالي، مع تطوير خط إنتاج إضافي لمنتجات قابلة للتحلل مثل الصحون أو أدوات المائدة. أما على المدى البعيد (3-5 سنوات)، فإن الهدف هو التوسع إلى السوق الوطني وربما الإقليمي، وتحقيق أرباح مستدامة، واكتساب حصة ملموسة من سوق المنتجات البديلة للبلاستيك، مع تعزيز العلامة التجارية كشركة رائدة في الحلول البيئية.

على المدى القريب (0-12 شهرا):

- ✓ إطلاق أول دفعة إنتاجية من الأكواب واختبار جودة المادة الحيوية.
- ✓ بناء علامة تجارية واضحة تبرز الجانب البيئي للمنتج
- ✓ دراسة استجابة السوق المحلي من خلال البيع في المقاهي، المطاعم، والمدارس
- ✓ تأمين أول شريحة عملاء دائمين (10-5) جهات متعاملة
- ✓ تحقيق مبيعات مبدئية تغطي جزءاً من التكاليف التشغيلية.
- ✓ إجراء تحسينات تقنية على الخلطة أو طريقة التشكيل حسب ملاحظات العملاء.

على المدى المتوسط (1 – 3 سنوات)

- ✓ زيادة الطاقة الإنتاجية بنسبة 50-100 % حسب الطلب
- ✓ توسيع التوزيع التجاري ليشمل متاجر أدوات مائدة، منصات إلكترونية، وفعاليات بيئية
- ✓ إطلاق منتجات مكمل (مثل: صحون، ملاعق قابلة للتحلل)
- ✓ تحقيق نقطة التعادل المالي (Break-even) قبل نهاية السنة الثانية.

- ✓ بناء شراكات مع موزعين كبار أو مؤسسات بيئية داعمة
- ✓ تقديم ملف للحصول على دعم حكومي أو منحة بيئية.

على المدى البعيد (3 - 5 سنوات)

- ✓ التوسع على المستوى الوطني وربما الإقليمي عبر التصدير
- ✓ الوصول إلى حصة سوقية مستهدفة تتراوح بين 8-12% من سوق الأكواب البديلة.
- ✓ تحقيق أرباح صافية مستقرة بهوامش ربح $\leq 20\%$
- ✓ الحصول على شهادات اعتماد بيئية دولية (مثل EcoCert أو ISO 14001).
- ✓ إنشاء وحدة بحث وتطوير (R&D) لتحسين المنتجات وابتكار حلول تعبئة أخرى
- ✓ تحويل المصنع إلى وحدة إنتاج خضراء بالكامل (طاقات متجددة، إدارة نفايات ذكية).

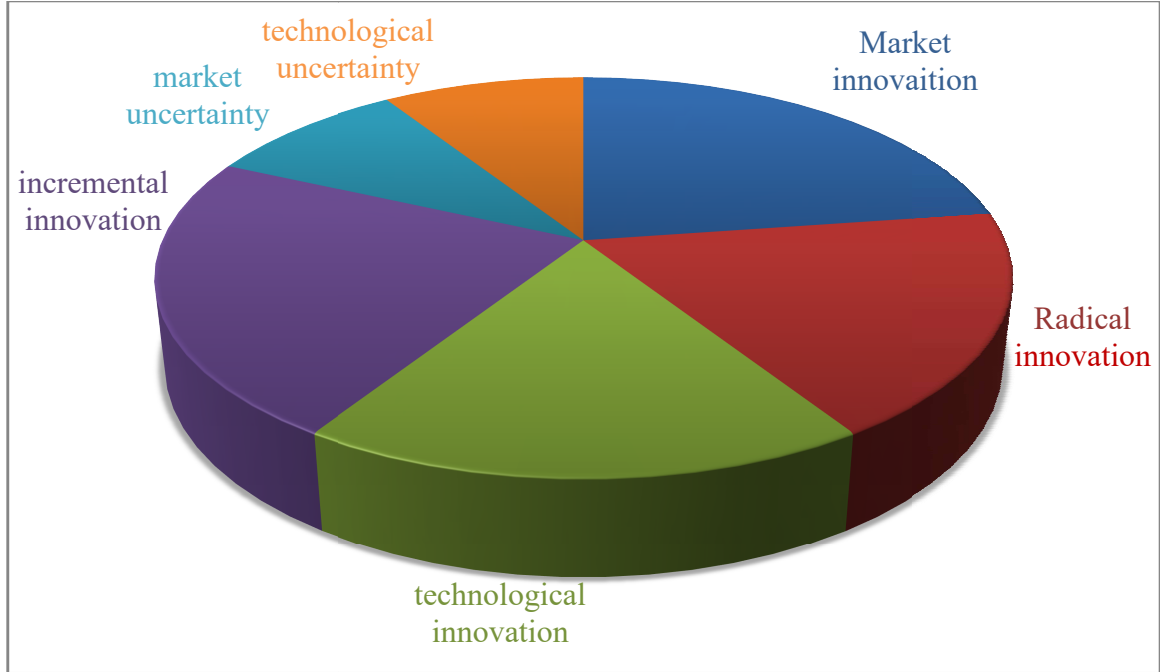
5. جدول زمني لتحقيق المشروع

الاسبوع

| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
| 1 | | | | | | ✓ | ✓ | الدراسات الأولية: اختيار مقر الوحدة الانتاجية، تجهيز الوثائق الأولية | |
| 2 | | | | | | ✓ | ✓ | طلب التجهيزات من الخارج | |
| 3 | | | | ✓ | ✓ | | | بناء مقر للانتاج (المصنع) | |
| 4 | | | ✓ | ✓ | | | | تركيب المعدات | |
| 5 | | | | | | ✓ | ✓ | اقتناء المواد الأولية | |
| 6 | | ✓ | | | | | | بداية انتاج اول منتج | |

المحور الثاني

الجوانب الابتكارية

1. طبيعة الابتكارات

مشروع الأكواب الطبيعية يركز على تقديم حل طبيعي وفعال لمشاكل التلوث البيئي، معتمداً على ابتكارات متنوعة لتحسين فعالية المنتج وملائمته للبيئة.

❖ **الابتكارات في تركيبة الاكواب الطبيعية:**

- استخدام مواد طبيعية: تعتمد تركيبة الاكواب الطبيعية النشاء والجليسرين كملدن طبيعي ومستخلصات النباتات، حيث يشكّل بديلاً آمناً وصديقاً للبيئة مقارنة بالبلاستيك التقليدي، كما يوفّر قاعدة صلبة لتشكيل الكوب دون التأثير على البيئة عند التخلص منه.

❖ **الأثر البيئي والابتكاري:**

- تقليل الاعتماد على البلاستيك هو من أبرز أهداف الابتكار، إذ يقَدِّم هذا النوع من الأكواب حلاً بديلاً يعتمد بالكامل على مكونات طبيعية قابلة للتحلل الحيوي.
- توافق مع مبادئ **الخضراء** يمنح المشروع طابعاً بيئياً متقدماً، حيث يتم تصميم المنتج بحيث يُنتج بأقل ضرر بيئي ممكن ويُحلل بسهولة بعد الاستخدام دون تلويث التربة أو المياه.
- الاستدامة كقيمة أساسية في هذا الابتكار تضمن أن المنتج لا يخدم فقط الأداء، بل يحترم البيئة ويستجيب لتوجهات السوق نحو المنتجات المستدامة.

2. مجالات الابتكارات**1. عمليات جديدة:**

- تصميم تركيبة جديدة باستخدام مكونات طبيعية بالكامل: يمثل عملية تصنيع جديدة تختلف عن العمليات التقليدية المعتمدة على البلاستيك أو الورق المعالج، مما يتطلب إعدادًا جديدًا من حيث الخلط، التشكيل، والتجفيف.
- استخدام تقنيات خلط دقيقة للتحكم في التماسك والخواص الفيزيائية يُعد ابتكارًا في العملية، حيث يتطلب دمج هذه المواد الطبيعية نسبيًا وتوقيتًا محددًا لضمان ثبات التركيبة وعدم تفككها أثناء أو بعد الاستخدام.
- استخدام تقنيات خلط دقيقة للتحكم في التماسك والخواص الفيزيائية يُعد ابتكارًا في العملية، حيث يتطلب دمج هذه المواد الطبيعية نسبيًا وتوقيتًا محددًا لضمان ثبات التركيبة وعدم تفككها أثناء أو بعد الاستخدام.

2. ميزات المنتج:

- قابل للتحلل الحيوي 100%: الكوب مصنوع من مكونات عضوية بالكامل، مثل النشا والجلسيرول والفحم الحيوي، لذلك يتحلل طبيعيًا في التربة خلال أسابيع إلى أشهر دون أن يترك أي أثر سام، بعكس البلاستيك الذي قد يستمر مئات السنين.
- مصنوع من مواد طبيعية وآمنة: كل المكونات المستخدمة غير سامة، وغير بترولية، وقابلة للتحلل

3. العملاء الجدد:

- الكافيهات والمطاعم البيئية: تهتم بتقليل استخدام البلاستيك وتبحث عن طرق لتسويق نفسها كمنشأة صديقة للبيئة.
- الأسواق البيئية والبازارات المحلية: بيع مباشر للزبائن المهتمين بالبيئة كفرصة لعرض المنتج وتجربة تفاعل الزبون معه..

4. التأثير البيئي:

- خفض التلوث البلاستيكي: الكوب يتحلل طبيعيًا خلال أسابيع ولا يترك بقايا بلاستيكية وبدل فعال للأكواب البلاستيكية التي تستغرق مئات السنين في التحلل.



المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق

1. القطاع السوقى:

- ✓ **السوق المحتمل:** سوق المحتمل يشمل جميع العملاء أو الجهات التي يمكن أن تهتم يومًا ما باستخدام أكواب طبيعية قابلة للتحلل، حتى لو لم تستخدمها حاليًا.
- ✓ **المشترون المحتملون** يُمكن تحديد مجموعة واسعة من المشتريين المحتملين لهذا النوع من الأكواب البيئية، وعلى رأسهم المقاهي والمطاعم التي تسعى لتقديم خدمات صديقة للبيئة، خصوصًا تلك التي تعتمد مبدأ "take away" كما تُعد الشركات والمؤسسات التي تنظم فعاليات بيئية أو مؤتمرات خضراء من الفئات المهمة بهذا المنتج المستدام. إلى جانب ذلك، يمكن توجيه التسويق نحو المدارس والجامعات التي تشجع على السلوك البيئي الواعي، بالإضافة إلى الأسواق البيولوجية ومحلات المنتجات العضوية التي تستهدف عملاء ذوي وعي بيئي مرتفع. كما يُتوقع أن تُبدي البلديات والجهات الحكومية المهمة بالحد من النفايات البلاستيكية اهتمامًا بشراء هذا النوع من الأكواب لتوزيعه في المناسبات العامة والمهرجانات المحلية.
- ✓ **السوق المستهدف:** يستهدف مشروع تصنيع أكواب طبيعية من عدة فئات نوعية، تشمل:
 - المقاهي والمطاعم، خاصة تلك التي تعتمد توجهات بيئية وتبحث عن بدائل مستدامة للأكواب البلاستيكية.
 - الشركات الكبرى التي تدمج المسؤولية الاجتماعية والبيئية ضمن سياساتها المؤسسية.
 - أسواق التصدير الدولية، لا سيما في دول الاتحاد الأوروبي، وكندا، ودول الخليج، حيث يشهد الطلب على المنتجات البيولوجية.
- ✓ **مميزات اختيار السوق:** م اختيار هذا السوق نظرًا لزيادة الطلب على المنتجات الصديقة للبيئة، خاصة في ظل التحولات العالمية نحو الاستدامة وتقليل النفايات البلاستيكية. القطاعات المستهدفة مثل المقاهي، المطاعم، والمحلات البيولوجية تُواجه ضغطًا متزايدًا من الزبائن لاستخدام مواد قابلة للتحلل. إضافة إلى ذلك، فإن الوعي البيئي المتنامي لدى المستهلكين يجعلهم أكثر استعدادًا لدفع سعر أعلى مقابل منتج طبيعي وآمن. كما أن الجهات الحكومية والمؤسسات التعليمية تعتمد بشكل متزايد سياسات بيئية داخلية تدعم هذا النوع من المنتجات. هذا التوجه يوفر فرصة حقيقية لتمييز المنتج في سوق يعاني من تشبع في المنتجات البلاستيكية التقليدية ويبحث عن بدائل مبتكرة. يُضاف إلى ذلك أن هذا السوق قابل للنمو محليًا ودوليًا، مما يجعله خيارًا استراتيجيًا مناسبًا لإطلاق منتج طبيعي مستدام.
- ✓ **إبرام عقود شراء مع زبائن مهمين:** نظرًا للطلب المتزايد على المنتجات البيئية القابلة للتحلل، يتمتع المشروع بإمكانية قوية لإبرام عقود شراء مع زبائن استراتيجيين في السوق المحلي. تشمل هذه الفئة المقاهي، المطاعم، محلات البيع بالتجزئة للمنتجات العضوية، والمؤسسات التعليمية والبلديات التي تطبق سياسات بيئية. تتمثل الإستراتيجية في تقديم نماذج مجانية أو عروض تجريبية قصيرة الأجل لتحفيز الزبائن على تبني المنتج واختباره في بيئة عملهم اليومية. كما سيتم التركيز على تقديم عقود توريد مرنة تشمل كميات متفاوتة وأسعار تنافسية، مما يُسهّل على الزبائن اتخاذ قرار الشراء. هذا التوجه سيُساهم في ضمان دخل مستقر ومبكر، ويؤسس لعلاقات تجارية طويلة المدى تُساعد في استدامة المشروع وتوسيع نطاق انتشاره مستقبلاً.

2. قياس شدة المنافسة:

بالاعتماد على طبيعة مشروع في تصنيع أكواب طبيعية (Bio gobelets) ، يمكن تحديد المنافسين في السوق إلى نوعين رئيسيين: منافسون مباشرون ومنافسون غير مباشرون. يتمثل المنافسون المباشرون في الشركات والمصانع التي تنتج أكوابًا بيولوجية قابلة للتحلل تعتمد على مكونات طبيعية مماثلة مثل نشاء الذرة أو الكاسافا، وتستخدم الجليسرين أو مواد عضوية أخرى كمُلدّنات. في السوق المحلي والإقليمي، يقدّر عدد هؤلاء بحوالي 3 إلى 5 جهات، وتتركز حصصهم السوقية ما بين 5% إلى 20% لكل منها، تبعًا لقوة علامتها التجارية وانتشارها. من نقاط قوتهم: امتلاكهم لتجربة سابقة في التصنيع، شبكة توزيع جاهزة، وقدرتهم على توفير منتج معتمد بيئيًا. أما نقاط ضعفهم فتشمل ارتفاع تكاليف الإنتاج، محدودية الابتكار في المواد، واعتمادهم غالبًا على تركيبات تقليدية. أما المنافسون غير المباشرين فيشملون شركات الأكواب الورقية المعالجة، والأكواب البلاستيكية القابلة للتحلل، وأكواب الاستعمال المتعدد مثل الزجاج والمعدن. هؤلاء يشكلون العدد الأكبر في السوق، يتجاوز عددهم 15 جهة محلية ودولية، ويسيطرون على النسبة الأكبر من السوق بما يفوق 70%، نظرًا لانخفاض تكلفتهم وسهولة الحصول على منتجاتهم. رغم ذلك، فإن ضعفهم يكمن في الأثر البيئي السلبي لمنتجاتهم أو عدم قابليتها للتحلل الكامل، وهو ما يمنح مشروعهم ميزة تنافسية قائمة على الابتكار والاستدامة الحقيقية باستخدام مواد طبيعية ومحلية.

3. الاستراتيجيات التسويقية

لضمان نجاح مشروع تصنيع أكواب طبيعية، يجب أن تبنى استراتيجيات تسويقية تركز على التميّز البيئي والقيمة المضافة للعميل. تبدأ الإستراتيجية بتحديد السوق المستهدف بوضوح، مثل المقاهي البيئية، المطاعم الصحية، الفعاليات البيئية، والمؤسسات التي تتبنى سياسات الاستدامة. يمكن استخدام التسويق الرقمي عبر منصات التواصل الاجتماعي للترويج لفكرة المنتج الطبيعي والقابل للتحلل، مع التركيز على القصة البيئية للمنتج. كما تُعدّ تغليف الجذاب والمعلوماتي وسيلة فعالة لتعزيز ثقة العملاء، من خلال توضيح مكونات المنتج ومزاياه البيئية. يُنصح أيضًا بعقد شراكات مع جمعيات بيئية أو منظمات غير ربحية لتعزيز المصداقية. ويمكن تحفيز التجربة الأولى من خلال عينات مجانية أو خصومات للطلبات الأولى. أما على المستوى المؤسسي، فيمكن استهداف العقود طويلة الأجل مع الفنادق أو منظمي الفعاليات لتأمين طلبات منتظمة. أخيرًا، يعتبر الحصول على شهادات بيئية (مثل "قابل للتحلل" أو "compostable") أداة قوية في كسب ثقة العملاء وزيادة القدرة التنافسية في السوق.

المحور الرابع

خطة الانتاج والتنظيم

1. عملية الانتاج

في مشروع إنتاج الأكواب الطبيعية ، تشمل عملية الانتاج عدة مراحل رئيسية لضمان جودة المنتج النهائي وفعاليته . تتضمن هذه المراحل

**2. اليد العاملة:**

- عمال الإنتاج (5 أشخاص):

إدارة عمليات الإنتاج والتصنيع والتجميع للأكواب، مع التركيز على الجودة والدقة. يتطلب العمل مهارات في التعامل مع الآلات والتقنيات الخاصة بالتصنيع .

- مهندسون وتقنيون (3 أشخاص):

يعملون على الأجهزة من حيث تشغيلها وصيانتها

- عمال التعبئة والتغليف (3 أشخاص):

تغليف الأكواب، وضع الملصقات، ترتيبها للشحن

- مشرف إنتاج (تقني):

الإشراف على سلامة العمليات، ضبط الجودة، تنظيم المهام

- مسؤول تسويق ومبيعات:

لتسويق المنتج محليًا ودوليًا

- محاسب/مسير إداري (2 أشخاص):

لمتابعة التكاليف والفواتير

- سائق أو موزع:

لتوزيع الطلبات على الزبائن

- ✓ في حال توسعت الطاقة الإنتاجية، يُنصح بتوظيف عمال إضافيين خاصة في التشكيل والتغليف.
- ✓ التدريب الفني البسيط ضروري لتقليل الأخطاء وتحقيق جودة ثابتة.

3. الشراكات الرئيسية:

- موردو المواد الأولية الطبيعية
- شركاء في الشهادات والاعتماد
- شركات أو ورشات تصنيع قوالب وتجهيزات
- منظمات دعم وتمويل المشاريع الناشئة
- شركات التعبئة والتغليف
- البنوك والمستثمرون
- الشركات التسويقية والأعمال
- شركات التوزيع واللوجستيات

المحور الخامس الخطة المالية

المخطط المالي يترجم التكاليف اللازمة للمشروع

أولاً: تكاليف المشروع

✓ التكاليف الاستثمارية

| البند | التكلفة |
|-------------------|---------------|
| المباني | |
| الآلات والمعدات | 1,620,000 دج |
| الأثاث | 270,000 دج |
| تركيب ونقل وتجريب | 135,000 دج |
| المجموع | 2.025.0000 دج |

✓ التكاليف التشغيلية الشهرية

| البند | التكلفة |
|--------------------|------------|
| المواد الخام | 175,500 دج |
| أجور العمال | 182,250 دج |
| كهرباء، ماء، صيانة | 54,000 دج |
| تغليف وتعبئة | 27,000 دج |
| تسويق وتوزيع | 40,500 دج |
| المجموع | |

ثمن الكوب الواحد : 5,47 دج

| Produit A destiné Client | N+1 | N+2 | N+3 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Quantité produit A | 5,000 | 10,000 | 15,000 |
| Prix HT produit A (DZD) | 450000 | 450000 | 450000 |
| Ventes produit A (DZD) | 2,250,000 | 4,500,000 | 6,750,000 |
| CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL | 2,250,000 | 4,500,000 | 6,750,000 |

| المعدات | عدد هم | التكلفة |
|-----------------------------|--------|---------------------|
| ماكينة خلط صناعية | 03 | 540,000 – 675,000 د |
| ماكينة تشكيل حراري | 02 | 945,000 – 1,080,000 |
| فرن تجفيف | 01 | 270,000 – 405,000 |
| آلة تشذيب | 01 | 135,000 – 200,000 |
| قوالب تشكيل | 03 | 135,000 – 200,000 |
| ميزان إلكتروني دقيق | 03 | 20,000 – 30,000 |
| معدات مختبرية (تحكم الجودة) | 01 | 60,000 – 80,000 |
| كمبيوتر وطابعة + مكتب إداري | 01 | 100,000 – 150,000 |

النموذج العمل التجاري

| شرائح العملاء | العلاقات مع الزبائن | القيمة المقدمة | الأنشطة الرئيسية | الشراكات الرئيسية |
|--|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> -المقاهي والمطاعم المهتمة بالبيئة -متاجر بيع المواد العضوية -شركات التمويل والمناسبات -منظمات بيئية/بلديات تبحث عن بدائل للبلاستيك -تجار الجملة للمواد الغذائية | <ul style="list-style-type: none"> -توفير عينات مجانية لجذب عملاء جدد -عقد تزويد طويلة الأجل للمقاهي -حملات توعية بيئية وربطها بالمنتج -دعم ما بعد البيع (تبديل المنتج في حال التلف) -برامج تخفيض خاصة للعملاء الدائمين | <ul style="list-style-type: none"> -كوب طبيعي 100% -مصنوع من مواد طبيعية -منتج خالٍ من البلاستيك وقابل للتحلل خلال أشهر -آمن للاستعمال الغذائي والحرارة -صناعة محلية بسعر منافس وجودة عالية -يحترم المعايير البيئية الجديدة (قانون منع البلاستيك) | <ul style="list-style-type: none"> -تحضير المواد الأولية واستخلاص الفحم الحيوي من شجرة السرو -خلط المواد وتحضير العجينة -التشكيل الحراري للأكواب وتجفيفها -التشطيب والتغليف -مراقبة الجودة الدورية -تخزين وتوزيع المنتج -التسويق والترويج عبر المنصات | <ul style="list-style-type: none"> موردو المواد الخام ورش تصنيع القوالب -هيئات التمويل (ANSEJ, CNAC...) -جمعيات بيئية -شركات التوزيع |
| <ul style="list-style-type: none"> -موزعين بالجملة (في المدن الكبرى) -تواصل مباشر مع المقاهي والمطاعم -عرض المنتج في معارض البيئة والصناعة المحلية -منصات رقمية (فايسبوك، إنستغرام، جوميا، الموقع الخاص) -عقد بيع مباشرة مع بلديات أو شركات مناسبات | <p>القنوات</p> | <p>الموارد الرئيسية</p> <ul style="list-style-type: none"> ماكينات الإنتاج (الخط، التشكيل، التجفيف) -المواد الخام (نشأ، جلسيرول، فحم حيوي) -قوالب تشكيل مخصصة -فريق عمل صغير: عاملين إنتاج + مسوق إداري -منشأة إنتاجية | | |

| | | | | |
|---|--|--|---|--|
| | <p>بمساحة صغيرة (100-150 م²) -اعتماد او شهادة بيئية</p> | | | |
| <p>هيكل التكاليف</p> <p>شراء المعدات -إعداد المصنع -القوالب -أجور + الكهرباء + تسويق</p> <p>- المواد الخام - صيانة دورية وخدمات نقل</p> | | | <p>مصادر الإيرادات</p> <p>بيع الأكواب بالجملة -بيع أحجام مختلفة بأسعار متنوعة -شراكات مع منظمات بيئية أو بلديات -بيع منتجات ثانوية مستقبلاً (أطباق، علب).</p> | |

المحور السادس

النموذج الأولي التجريبي



bio gobelet

*Un gobelet naturel pour un
monde durable*