



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : **BENGUIT YACINE**

GHEZAL FARES MED AMINE

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Industrie Pétrochimique

OPTION : Génie Des Procédés

Thème

**Synthèse et Caractérisation d'un Composite à
Base d'Amidon / Charge Végétale**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
HADJADJ ASMA	MCB	Président
TAOUTI MED BENABDALLAH	PR	Examineur
BOUARAR FAHIMA	MCB	Rapporteur

Promotion : JUIN 2025

Remerciement

Nous adressons nos sincères remerciements à **ALLAH** Tout-Puissant, source de force, de patience et de persévérance tout au long de ce parcours académique.

Nous exprimons notre sincère gratitude à notre encadrante, **Dr Bouarar Fahima**, pour sa présence, ses conseils avisés, son encadrement attentif et sa bienveillance, essentiels à la réalisation de ce travail. Son expérience et ses qualités pédagogiques ont grandement enrichi cette étude.

Nous remercions **Mr Taouti Mohammed Ben Abdallah** et **Mme Hadjadj Asma** pour avoir accepté d'examiner notre mémoire de master.

Nous remercions également tous les professeurs du département **Génie Des Procédés** pour la qualité de leur enseignement et leur soutien tout au long de nos études.

Nous adressons nos sincères remerciements au personnel du **Laboratoire de Génie des Procédés** de l'Université Amar Telidji de Laghouat pour son assistance technique, ses conseils pratiques et son accueil chaleureux.

Un merci particulier à **nos collègues** et **camarades** de promotion pour les moments de partage, d'entraide et de motivation qui ont marqué ces années académiques.

Enfin, nous exprimons notre sincère gratitude à **nos familles**, et plus particulièrement à **nos parents**, pour leur confiance, leurs prières, leur soutien moral indéfectible et leurs sacrifices. Rien de tout cela n'aurait été possible sans vous. À tous, merci du fond du cœur.

Dédicace

Je dédie cet humble ouvrage :

À mon père, **Tidjani**, le pilier de ma vie, pour sa sagesse, ses conseils et ses sacrifices silencieux.

À ma chère mère, **Fatiha**, source inépuisable d'amour, de prière et de compassion, pour son soutien indéfectible à chaque étape de mon parcours.

À mes sœurs, **Nour El-Houda**, **Hafida** et **Hayat**, pour leur présence constante, leurs encouragements et leur affection, qui partagent mes rires, mes combats et mes rêves.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à la professeure **Bouarar Fahima**, notre encadrante, pour sa gentillesse, sa patience et son soutien inestimable tout au long de mes années universitaires.

À mes nièces **Yasmine** et **Loubna**, petites étoiles de ma vie, dont la joie et l'innocence illuminent mes journées et apaisent mes fatigues.

À mes fidèles amis, **Ghezal Fares**, **Khochni Abdelkader**, **Khouni Noureddine** et **Makhloufi Abderrahim**, pour leur confiance, leur sollicitude et leur soutien fidèle dans les moments difficiles comme dans les joies.

À tous **Mes Camarades de Classe**, pour leur amitié sincère et leur présence qui ont enrichi ces années universitaires, pour les souvenirs partagés, le soutien mutuel et les moments de solidarité.

Ce travail est le fruit de toutes ces liens, de tous ces encouragements et de toute cette chaleur humaine qui m'ont accompagné jusqu'ici.

Yacine

Dédicace

À ma chère mère, **Karima**, qui m'a comblé(e) de son amour inconditionnel et de ses prières sincères, et qui a toujours été mon premier soutien et ma source d'inspiration.

À mon père bien-aimé, **Harzallah**, pour sa patience, ses sacrifices et les valeurs de persévérance et de courage qu'il m'a transmises.

À ma sœur **Sirine** et à mon frère **Souhaib**, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence réconfortante tout au long de ce parcours.

À mes fidèles amis, **Benguit Yacine**, **Khochni Abdelkader**, **Khouni Nouredine** et **Makhloufi Abderrahim**, pour leur confiance, leur sollicitude et leur soutien fidèle dans les moments difficiles comme dans les joies.

Je dédie également ce travail à ma collègue **Imane**, qui m'a accompagnée dès le début de ce mémoire et qui a toujours su m'apporter son aide précieuse et son soutien constant.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à mon enseignante **Madame Bouarar Fahima**, pour sa disponibilité, ses conseils éclairés et son accompagnement précieux qui ont permis la réalisation de ce travail.

À vous tous, je dédie cette modeste réalisation en témoignage de ma sincère reconnaissance et de mon immense respect.

Fares

- Remerciement
- Dédicace
- Sommaire
- Liste des tableaux
- Liste des figures
- Liste des abréviations
- Introduction générale.....1
- Référence bibliographique

Chapitre I :Étude Bibliographique

I.1 Introduction.....	5
I.2 Classification des Polymères	5
I.2.1. Selon l'origine.....	5
I.2.2 Selon la structure moléculaire et l'architecture	6
I.2.3 Selon leur nature chimique (polymérisation).....	6
I.2.4 Selon le nombre et la nature des unités répétitives	6
I.2.5 Classification selon les propriétés thermomécaniques	6
I.3 Biopolymères	7
I.4 Avantages des biopolymères.....	7
I.5 Inconvénients des biopolymères.....	8
I.6 Principales applications des biopolymères.....	8
I.6.1 Applications agricoles.....	8
I.6.1.1 Engrais à libération contrôlée.....	8
I.6.1.2 Agents de rétention d'eau	8
I.6.2 Applications d'emballage	9
I.7 Bioplastiques	9
I.8 Biodégradabilité des biopolymères	10
I.9 Amidon ou polymère naturel	10
I.9.1 Structure et Composition chimique de l'amidon	11
I.9.2 Amylose	11
I.10 Propriétés physicochimiques	12
I.10.1 Absorption d'eau et gonflement.....	12
I.10.2 Gélatinisation	12

Sommaire

I.10.3 Propriétés rhéologiques.....	12
I.10.4 Propriétés thermiques.....	12
I.10.5 Solubilité et pouvoir gonflant	12
I.11 Conclusion.....	13
Référence bibliographique.....	14

Chapitre II : Étude Expérimentale

II.1 Introduction.....	16
II.2 Produits et Matériels	16
II.2.1 produits utilisés.....	16
II.2.1.1 Glycérol.....	16
II.2.1.2 Acide chlorhydrique.....	16
II.2.1.3 Hydroxyde de sodium	19
II.2.1.4 Amidon	19
II.2.1.5 Acide ascorbique.....	19
II.2.2 Matériels utilisés	19
II.3 Extraction de l'amidon à base de pomme de terre et de ses épluchures	20
II.3.1 Extraction de l'amidon à partir des épluchures de pomme de terre	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.1 Préparation des épluchures	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.2 Trempage	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.3 Broyage.....	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.4 Filtration	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.5 Décantation	20
<input type="checkbox"/> II.3.1.6 Centrifugation	21
II.3.2 Extraction de l'amidon à partir de la pomme de terre	22
II.3.2.1 Protocole de l'extraction	22
II.4 Production de bioplastique à partir d'amidon extrait	24
II.4.1. Protocole.....	24
II.6 Méthodes de caractérisation	26
II.6.1 Taux d'humidité	26
II.6.2 Rendement en produits obtenus.....	26
II.6.3. Biodégradation dans le sol.....	27
II.6.4 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	28
II.6.5 Microscope Optique	29

Sommaire

Référence bibliographique.....	30
Chapitre III: Résultats et discussions	
III.1.Introduction :	32
III.2.Caractérisation de l'amidon en poudre et des films à base d'amidon	32
III.2.1.Taux d'humidité	32
III.2.2. Rendement.....	33
III.2.3 Analyse par microscope optique (Etude de la morphologie)	34
□ III.2.3.1 Amidon extrait des déchets de pomme de terre et ses biofilms	34
□ III.2.3.2 Amidon extrait de pomme de terre et ses biofilms.....	35
III.2.4 Analyse Infra rouge de l'amidon en poudre et des films à base d'amidon	36
III.2.5.Test de biodégradabilité :	39
Référence bibliographique.....	42

Conclusion générale

Anexxe

Chapitre I : Étude Bibliographique

Figure I.1: Bioplastiques constitués de plastiques biodégradables et biosourcés.. Erreur ! Signet non défini.

Figure I.2: Formule chimique du glucose. Erreur ! Signet non défini.

Figure I.3: Structure chimique de l'amylose. Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II : Étude Expérimentale

Figure II.1: Regroupe les étapes réalisées au cours de l'extraction de l'amidon à partir des épiluchures de pomme de terre. Erreur ! Signet non défini.

Figure II.2: Regroupe les étapes réalisées au cours de l'extraction de l'amidon à partir des épiluchures de pomme de terre. Erreur ! Signet non défini.

Figure II.3: Montre les différentes étapes effectuées pour l'élaboration de biofilms à base de pomme de terre et de ses épiluchures. Erreur ! Signet non défini.

Figure II.4 : Les dimensions des biofilms préparés. Erreur ! Signet non défini.

Figure II.5: Biodégradation des biofilms dans le sol. Erreur ! Signet non défini.

Figure II.6 : spectromètre FTIR-4200, JASCO, JAPON. Erreur ! Signet non défini.

Figure.II.7: Microscope optique motic NAB B1series. Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III : Résultats et discussions

Figure III.1: (a) l'amidon en poudre, (b) l'amidon après gélatinisation ou TPS (EPT)... Erreur ! Signet non défini.

Figure III.2 : (a) l'amidon en poudre, (b) l'amidon après gélatinisation ou TPS (PDT). Erreur ! Signet non défini.

Figure(III.1.a) : Les spectres FTIR de l'amidon (PT) et le bioplastiques extrait de pomme de terre. Erreur ! Signet non défini.

Figure (III.1.b) : Les spectres FTIR de l'amidon (EPT) et le bioplastiques extrait des épiluchures de pomme de terre. Erreur ! Signet non défini.

Figure III.3 : dégradation de la masse du la bioplastique de P.T et E.P.T en fonction de temps. Erreur ! Signet non défini.

Tableau III.4 : Biodégradabilité du bioplastique élaboré. Erreur ! Signet non défini.

Figure III.4 : la perte de charge du la bioplastique de P.T et de E.P.T en fonction de temps. Erreur ! Signet non défini.

Figure III.5 : Image d'un échantillon de bioplastique partiellement dégradé.....**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des Figures

Chapitre II : Étude Expérimentale

Tableau II.1 : Matériels utilisés	19
---	----

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau III.1 : Taux d'humidité de l'amidon extrait	32
---	----

Tableau III.1 : Taux d'humidité de l'amidon extrait	32
---	----

Tableau III.2 : Rendement d'extraction de l'amidon selon le type de la matière première	33
---	----

Tableau III.3 : Attribution des différentes bandes d'absorption du plastique.....	36
---	----

Tableau III.4 : Biodégradabilité du bioplastique élaboré.....	39
---	----

Liste des Abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique.

ARN : Acide ribonucléique.

ASTM : Société américaine pour les tests et les matériaux.

EPT : Épluchures de Pomme de Terre.

FTIR : Fourier Transform Infrared (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier).

HCl : Acide chlorhydrique.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

PE : Polyéthylène.

PHA : Polyhydroxyalcanoates.

PET : Polyéthylène téréphtalate.

PLA : Acide polylactique.

PP : Polypropylène.

PT : Pomme de Terre.

PVC : Polychlorure de vinyle.

TPS : Thermoplastic Starch (Amidon thermoplastique).

UV : Ultraviolet.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Dans un contexte mondial marqué par une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux, l'utilisation massive des plastiques d'origine pétrochimique constitue un défi majeur en termes de pollution et de gestion des déchets [1]. La durabilité des matériaux employés dans les secteurs industriels, de l'emballage, de l'agriculture ainsi que de la biomédecine est aujourd'hui remise en question, ce qui incite à rechercher des alternatives plus respectueuses de l'environnement [2].

Dans cette perspective, les polymères biodégradables et biosourcés, tels que l'amidon, suscitent un intérêt croissant. En effet, l'amidon, en tant que matériau naturel, abondant, renouvelable et aisément transformable, représente une matrice prometteuse pour la production de bioplastiques [3]. Cependant, ses propriétés mécaniques et sa stabilité intrinsèques restent limitées, ce qui nécessite un renforcement par l'incorporation de charges naturelles afin d'améliorer ses performances [4].

Ainsi, ce travail s'inscrit dans une démarche de valorisation des ressources naturelles locales, telles que l'amidon extrait de la pomme de terre et la fibre d'alfa, en vue de la synthèse et de la caractérisation d'un composite biodégradable. L'étude porte sur la fabrication de films bioplastiques à base d'amidon obtenu à partir de pommes de terre et de leurs épluchures, plastifiés au glycérol et renforcés par des fibres d'alfa, traitées ou non.

L'objectif principal de ce travail est double : d'une part, développer un matériau composite entièrement biodégradable, et d'autre part, évaluer ses propriétés physicochimiques, à travers des analyses par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), des observations microscopiques, ainsi que des tests de biodégradabilité et de performance.

Introduction générale

Ce projet s'inscrit pleinement dans une logique de développement durable, de valorisation des déchets agroalimentaires et de substitution progressive des polymères synthétiques non biodégradables.

Ce mémoire se compose de deux parties, théorique et expérimentale, réparties en trois chapitres.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique qui traite des notions fondamentales liées aux biopolymères, en mettant l'accent sur l'amidon comme matrice principale. Il aborde également les charges végétales utilisées comme renforts naturels.

Le second chapitre consiste à fournir une description de toutes les méthodes expérimentales utilisées dans la synthèse et la caractérisation de l'amidon, bioplastiques et le composite.

Le dernier chapitre rassemble l'ensemble des résultats obtenus, accompagné des discussions appropriées.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale et certaines perspectives.

Référence Bibliographique

[1] R. Geyer, J.R. Jambeck, K.L. Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, 3(7), e1700782, (2017).

[2] UNEP, Single-use plastics: A roadmap for sustainability, United Nations Environment Programme, (2018).

[3] L. Averous, E. Pollet, Biodegradable Polymers, *Springer*, ISBN 978-1-4614-3413-5, (2012).

[4] D. Lourdin, F. Della Valle, P. Colonna, Influence of amylose content on starch films and foams, *Carbohydrate Polymers*, 33(4), 261-269, (1997).

Chapitre I

Étude

Bibliographique

I.1 Introduction

Les polymères, macromolécules à longues chaînes constituées d'unités structurales répétitives. Leurs propriétés remarquables ; légèreté, durabilité exceptionnelle, inertie chimique, autorisent leur utilisation dans un large éventail d'applications, allant des biens domestiques courants aux innovations médicales de pointe, en passant par la fabrication industrielle sophistiquée.

Des plastiques omniprésents qui ont transformé l'emballage en prolongeant la durée de vie et la sécurité des produits, aux fibres synthétiques performantes qui améliorent la fonctionnalité et le confort des textiles, en passant par les dispositifs médicaux cruciaux tels que les implants biodégradables et les systèmes ciblés d'administration thérapeutique, jusqu'aux composants légers et avancés dans les secteurs automobile et aérospatial qui optimisent l'efficacité et la performance, les polymères imprègnent pratiquement toutes les sphères de la vie contemporaine. Toutefois, leur usage généralisé soulève d'importants défis environnementaux, notamment la pollution persistante et la complexité de la gestion des déchets, ce qui a stimulé le développement accéléré de polymères biodégradables, de technologies de recyclage en circuit fermé et d'alternatives biosourcées issues de ressources renouvelables.

I.2 Classification des Polymères

Les polymères constituent une vaste classe de matériaux macromoléculaires, Leur classification peut se faire selon plusieurs critères complémentaires.

I.2.1. Selon l'origine

- **Polymères naturels** : produits par des organismes vivants, ils comprennent notamment : Les biopolymères comme les protéines, l'ADN et l'ARN (polymères de nucléotides), Les fibres naturelles (laine, cheveux) ou le collagène (cuir), Les polysaccharides comme la cellulose (fibres végétales).
- **Polymères artificiels** : obtenus par modification chimique de polymères naturels, où la chaîne principale est conservée mais les groupes fonctionnels sont modifiés pour améliorer certaines propriétés.

- **Polymères synthétiques** : fabriqués par synthèse chimique à partir de monomères pétrochimiques ou biosourcés, ils représentent la majorité des plastiques industriels, comme le polyéthylène, le polystyrène, le polypropylène, le PVC, les polyesters.

I.2.2 Selon la structure moléculaire et l'architecture

- **Polymères linéaires** : chaînes longues sans ramifications, souvent capables de cristalliser partiellement, ce qui confère résistance et rigidité (polyéthylène haute densité).
- **Polymères ramifiés** : chaînes avec ramifications latérales, moins denses et moins cristallins, plus flexibles (polyéthylène basse densité).
- **Polymères réticulés** : chaînes reliées entre elles par des liaisons covalentes formant un réseau tridimensionnel, ce qui donne rigidité, stabilité thermique et insolubilité (résines époxy).

I.2.3 Selon leur nature chimique (polymérisation)

- **Polymères d'addition** : Formés par l'addition d'unités monomères sans perte de petites molécules.
Exemples : polyéthylène, Téflon, polychlorure de vinyle (PVC).
- **Polymères de condensation** : Formés par l'élimination de petites molécules comme l'eau lors de la polymérisation.
Exemples : nylon-6,6, polyesters, pérylène.

I.2.4 Selon le nombre et la nature des unités répétitives

- **Homopolymères** : composés d'un seul type d'unité monomère répétée (ex. polystyrène, polyéthylène).
- **Copolymères** : composés de deux types ou plus d'unités monomères, combinant les propriétés des différents monomères.

I.2.5 Classification selon les propriétés thermomécaniques

- **Polymères thermoplastiques** : polymères linéaires ou ramifiés qui fondent à la chaleur et peuvent être remodelés plusieurs fois. Ils sont recyclables et utilisés dans une large gamme d'applications (polyéthylène, polystyrène, PVC).

- **Polymères thermodurcissables** : polymères réticulés qui durcissent de façon irréversible sous l'effet de la chaleur et/ou d'un agent chimique. Ils ne fondent pas et sont insolubles, souvent utilisés pour leurs propriétés mécaniques et thermiques supérieures (résines époxy, polyuréthanes).
- **Élastomères** : polymères faiblement réticulés présentant une grande élasticité et déformabilité réversible. Ils peuvent être thermoplastiques (TPE) ou thermodurcissables (caoutchouc naturel et synthétique).

I.3 Biopolymères

Les biopolymères sont présents dans diverses sources naturelles telles que les plantes, les animaux, les micro-organismes et les déchets agricoles. On peut citer comme exemples la cellulose végétale et le collagène animal. Biodégradables et biocompatibles, ils sont précieux pour des applications dans les emballages alimentaires, les implants médicaux...ect

Leur origine naturelle et leur biodégradabilité font des biopolymères une alternative durable et importante aux plastiques et matériaux synthétiques.

I.4 Avantages des biopolymères

- **Renouvelables et durables** :
Issus de ressources renouvelables, ils réduisent la dépendance aux combustibles fossiles.
- **Biodégradabilité** :
La plupart des biopolymères se dégradent naturellement, minimisant ainsi la pollution environnementale et l'enfouissement.
- **Biocompatibilité** :
Adaptés aux applications médicales et pharmaceutiques grâce à leur faible toxicité et à leur compatibilité avec les tissus biologiques.
- **Polyvalence** :
Peut être conçu pour diverses applications, notamment l'emballage, l'agriculture, le textile et la médecine.
- **Empreinte carbone réduite** :
Potentiel de neutralité carbone grâce à des cycles de production et de dégradation durables.

I.5 Inconvénients des biopolymères

- Limites mécaniques et barrières :
Certains biopolymères présentent une résistance, une durabilité et des propriétés de barrière à l'humidité et aux gaz inférieures à celles des plastiques conventionnels.
- Défis de transformation :
Nécessitent des techniques et des conditions de transformation spécifiques, ce qui peut augmenter les coûts de production.
- Coût :
Généralement plus cher que les polymères dérivés du pétrole en raison de la disponibilité des matières premières et de la complexité de leur transformation.
- Hydrophilie :
De nombreux biopolymères sont hydrophiles, ce qui peut affecter la stabilité et la durée de conservation des produits dans des environnements humides.

Les biopolymères représentent une classe prometteuse de matériaux durables aux applications variées, notamment dans l'agriculture et l'emballage, où ils contribuent à la protection de l'environnement et à l'efficacité des ressources. La poursuite des recherches vise à surmonter les limites actuelles et à élargir leur adoption industrielle.

I.6 Principales applications des biopolymères

Les biopolymères sont de plus en plus utilisés dans divers secteurs industriels en raison de leur biodégradabilité, de leur caractère renouvelable et de leur polyvalence. Parmi les principaux domaines d'application figurent :

I.6.1 Applications agricoles

I.6.1.1 Engrais à libération contrôlée

Les biopolymères sont utilisés pour encapsuler les engrais, permettant une libération contrôlée des nutriments.

I.6.1.2 Agents de rétention d'eau

Les biopolymères super absorbants améliorent la structure du sol et la rétention d'eau, favorisant la croissance des plantes pendant les sécheresses et aidant l'agriculture à s'adapter aux défis du changement climatique.

I.6.2 Applications d'emballage

Les biopolymères à base de cellulose, comme la cellophane, l'amidon, l'acide polylactique (PLA) et les polyhydroxyalcanoates (PHA), sont largement utilisés dans les emballages alimentaires, notamment les films, les barquettes, les sacs et les bouteilles. Ces matériaux réduisent la dépendance aux plastiques dérivés du pétrole et sont compostables.

I.7 Bioplastiques

Les bioplastiques peuvent être définis comme les matériaux qui sont biosourcés et/ou biodégradables (figure I.1) [1,2].

Les bioplastiques sont des nouveaux matériaux, d'un grand intérêt du 21ème siècle, leurs productions et leurs consommations sont en développement à travers le monde. Ces matériaux nécessitent d'être soigneusement évalués pour la gestion des déchets et de la durabilité. Les plastiques biosourcés peuvent être fabriqués à partir de nombreuses ressources différentes telles que le maïs, la pomme de terre, le bois, le coton, les algues, etc. Il convient de rappeler que les plastiques biosourcés ne sont pas toujours biodégradables, et les plastiques biodégradables ne sont pas toujours biosourcés [3].

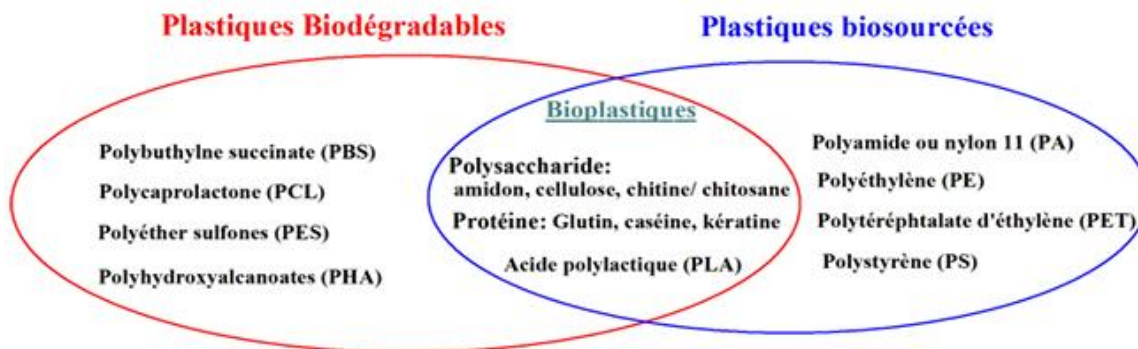


Figure I.1: Bioplastiques constitués de plastiques biodégradables et biosourcés [3].

Il est très important de différencier un biopolymère ou polymère biosourcé qui est issu de ressources renouvelables et un polymère biodégradable qui peut être issu d'origine pétrochimique pouvant être biodégradé [4].

I.8 Biodégradabilité des biopolymères

Les plastiques biodégradables sont capables de subir une décomposition et une dégradation de matières organiques par l'action des micro-organismes (bactéries, enzymes, champignons). Il s'agit d'une fragmentation avec modification chimique et perte des propriétés mécaniques. Le matériau est converti en eau H₂O, en dioxyde de carbone CO₂, en méthane CH₄ et/ou une biomasse nouvelle et éventuellement un résidu non toxique pour l'homme et l'environnement, dans laquelle le mécanisme prédominant est l'action enzymatique des micro-organismes. Un point important à retenir est que le terme biodégradable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique.

En effet, un matériau biodégradable peut subir

- une photodégradation: dégradation sous l'effet des rayons ultraviolets (UV).
- une dégradation chimique: il s'agit ici d'une hydrolyse, si les matériaux sont hydrosolubles et se désagrègent sous l'effet d'humidité, ou d'une oxydation dans le cas des matériaux oxodégradables qui se fragmentent par oxydation [5].

I.9 Amidon ou polymère naturel

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose C₆H₁₂O₆. Il est l'un des meilleurs polymères biodégradables. C'est une molécule de réserve pour les plantes et un constituant essentiel de l'alimentation humaine. L'amidon représente une fraction pondérale importante des matières premières agricoles. On le trouve stocké dans les organes de réserve de nombreuses plantes :

- Les graines, en particulier les céréales (maïs, blé, riz)
- Les légumineuses
- Les tubercules (pomme de terre)

L'amidon se trouve dans les organes des plantes sous forme semi-cristalline en granulés relativement dense, insoluble dans l'eau froide et ayant une taille variant de 1 à 100µm selon l'origine botanique.

I.9.1 Structure et Composition chimique de l'amidon

Les constituants de l'amidon sont essentiellement représentés par des glucides (98 à 99 %), et la fraction non glucidique (1 à 2 %) étant donc minoritaire [6].

L'amidon est un homopolymère du D-glucose (figure I.2). Il est formé de deux polymères de structures primaires différentes: l'amylose et l'amylopectine.

- L'amylose polymère quasi-linéaire est représenté de 5 à 30% de l'amidon.
- L'amylopectine polymère fortement ramifiée est le constituant principal de la plupart des amidons, il représente 70 à 95% de l'amidon [7]. Ces deux polymères sont constitués d'unités de glucose (conformation chaise).

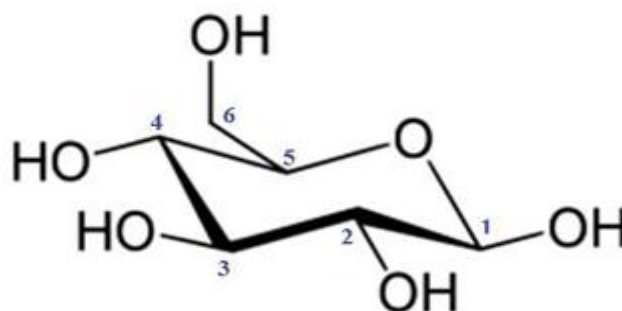


Figure I.2: Formule chimique du glucose.

L'amidon contient également d'autres matières non-polysaccharidiques dans des proportions très faibles telles que: des lipides, des protéines et des matières minérales [8].

I.9.2 Amylose

L'amylose représente 20 à 30 % de l'amidon suivant son origine botanique. L'amylose est un polymère essentiellement linéaire constitué de monomères du glucose liés par des liaisons α (1 \rightarrow 4) (Figure I. 3). Sa masse molaire moyenne est de 10^5 à 10^6 g.mol⁻¹.

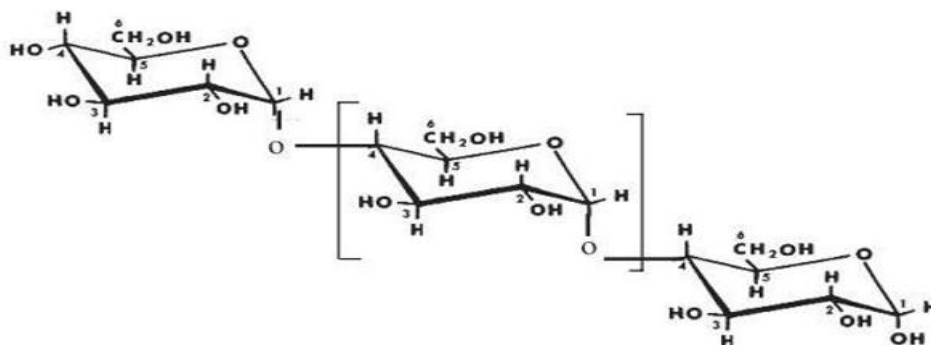


Figure I.3: Structure chimique de l'amylose [9].

I.10 Propriétés physicochimiques

I.10.1 Absorption d'eau et gonflement

Les granules d'amidon absorbent l'eau et gonflent sous l'effet de la chaleur, ce qui entraîne leur désintégration et la lixiviation de l'amylose. Ce gonflement perturbe la structure semi-cristalline, augmentant ainsi la solubilité et la taille des granules. L'amylose peut former des complexes avec les lipides, limitant ainsi le gonflement et la solubilité.

I.10.2 Gélatinisation

Chauffé dans un excès d'eau, l'amidon subit une gélatinisation, au cours de laquelle les liaisons hydrogène se rompent et les molécules d'amidon s'hydratent, formant des pâtes visqueuses. La température et l'enthalpie de gélatinisation dépendent de la structure de l'amidon. Une teneur élevée en amylose et des granules compacts nécessitent davantage d'énergie et de température pour gélatiniser.

I.10.3 Propriétés rhéologiques

Les pâtes d'amidon sont des dispersions visqueuses d'amylose et d'amylopectine solubilisées, avec des granules gonflés. Les paramètres de viscosité tels que la viscosité maximale, la dégradation, le retrait et la consistance sont liés à la stabilité, à la fragilité et aux tendances à la rétrogradation de l'amidon.

I.10.4 Propriétés thermiques

La calorimétrie différentielle à balayage montre les transitions thermiques de l'amidon, notamment les températures et l'enthalpie de gélatinisation, reflétant la cristallinité et le tassement moléculaire des granules.

I.10.5 Solubilité et pouvoir gonflant

Ces paramètres varient selon les types d'amidon et sont influencés par la teneur en amylose, la taille des granules et la structure moléculaire. Une teneur élevée en amylose réduit généralement le gonflement et la solubilité.

I.11 Conclusion

L'étude bibliographique a mis en évidence l'intérêt du développement de matériaux à base de polymères issus de ressources renouvelables comme alternative à des matériaux d'origine pétrochimique. Dans ce contexte, le développement des matériaux composites à base d'amidon, fait l'objet de nombreux travaux.

Le choix de l'amidon de pomme de terre pour cette étude est basé sur plusieurs raisons: son intervalle de température de gélatinisation est inférieur à celui d'autres types d'amidon, ce qui facilite la plastification au cours de la mise en forme, la masse molaire moyenne de l'amidon de pomme de terre est la plus élevée, ceci n'est pas très intéressant pour la mise en forme, mais peut avoir un impact favorable sur les propriétés mécaniques du produit final.

Référence Bibliographique

- [1] D. Pasquini, A.A.S. Curvelo, E. Corradini, M.N. Belgacem, A. Dufresne, Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch, *Carbohydrate Polymers*, 78, 422-431, (2009).
- [2] A. Wattanakornsiri, S. Tongnunui, Sustainable green composites of thermoplastic starch and cellulose fibers, *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 36 (2), 149-161, (2014).
- [3] A. Wattanakornsiri, K. Pachana, S. Kaewpirom, P. Sawangwong, C. Migliaresi, Green composites of thermoplastic corn starch and recycled paper cellulose fibers, *Songklanakarin J Sci Technol*, 33(4):461-7, (2011).
- [4] La pomme de terre: Le tubercule - Année internationale de la pomme de terre, 2008. WWW.fao.org/potato-2008©FAO, (2008).
- [5] R. Bodirlau, CA. I. Teaca, Spiridon Influence of natural fillers on the properties of starch based biocomposite films. *Compos Part B Eng*, 44, 575-583, (2013).
- [6] D. French, Organization of Starch Granules. In: *Starch: Chemistry and Technology*, 2nd Ed, R. L. Whistler, J.N. BeMiller, E. F. Paschall, Academic press, Orlando, p184-274, (1984).
- [7] A. Stanojlovic-davidovic, physicochimie des polymères, *Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles-Application à l'emballage alimentaire*, Thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon-Var, (2006).
- [8] R. P. Ellis, M. P. Cochrane, M. F. B. Dale, C. M. Duffus, A. Lynn, I. M. Morrison, R. D. M. Prentice, J. S. Swanston, S. A. Tiller, Starch production and industrial Use, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77, 289-311, (1998).
- [9] A. Buléon, P. Colonna, V. Leloup, Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. *Industrie agro-alimentaire*, 515-532, (1990).
- [10] B. Boursier, Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires, *Techniques de l'Ingénieur*, F4600, (2005).
- [11] S. Hizukuri, Y. Takeda, J. Abe, Analytical development molecular and macromolecular characterization. In: Frazier, P.J., Richmond, P. & Donald, A.M. (eds) *Starch: Structure and functionally*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 121-128, (1997).

Référence Bibliographique

- [12] O.Boutahir, R. Saadani, M. Benyassi, M. Rahmoune, A. Zoubir, K. Sbai, Modélisation de l'effet des fibres d'alfa sur le comportement thermique d'un matériau à base d'argile, 13ème Congrès de Mécanique (Meknès, MAROC) 11 - 14 Avril (2017).
- [13] Paiva M.C., Ammar I., Campos A.R., Cheikh R.B., Cunha A.M., Alfa fibres : Mechanical, morphological and interfacial characterization, Composites Science and Technology, 67,1132-1138, (2007).
- [14] Peters R.H., Textile Chemistry II: Impurities in Fibres; Purification of Fibres, First edition, Elsevier publishing company, 374p , (1967).
- [15] M. Dallel, Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.): Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil, Université de Haute Alsace Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT), Thèse (2012).
- [16] T. Yokohara, M.Y., Structure and properties for biomass-based polyester blends of PLA and PBS, 44(3): p. 677-685. European Polymer Journal (2008).

CHAPITRE II

Étude Expérimentale

II.1 Introduction

La présente étude a été réalisée au niveau du laboratoire de Génie des Procédés de l'université Amar Thelidji Laghouat.

Après une revue bibliographique générale sur le sujet de ce travail, dans le présent chapitre nous allons détailler le procédé à fabrication de films à base d'amidon de pomme de terre, de ses épluchures et renforcés par fibre naturelle. Les techniques de caractérisations structurales et des principales propriétés des films obtenus ont été expliquées.

Note: on a réalisé plusieurs expériences aboutissant à l'élaboration de plusieurs films bioplastiques et vu la non disponibilité du matériel de caractérisation et le manque de temps on s'est contenté d'interpréter les résultats de certains de nos produits et de faire références à des travaux réalisés ultérieurement pour le reste de nos échantillons

II.2 Produits et Matériels

II.2.1 produits utilisés

Les produits utilisés au cours de ce travail sont:

II.2.1.1 Glycérol

Le glycérol (propan-1, 2, 3-triol) est souvent utilisé du fait de sa température d'ébullition élevée (290°C). Contenant des fonctions hydroxyles et sa fixation sur les macromolécules ne sont pas trop diminuées par rapport à l'eau. Ainsi, la plastification peut avoir lieu. En effet, la mobilité des chaînes polymériques d'amidon augmente car les molécules de glycérol affaiblissent les liaisons hydrogènes interchaînes. Par l'ajout du glycérol, on pourra passer d'un matériau rigide à un matériau plastique. Le glycérol rend le film plastique, transparent, totalement biodégradable et non toxique.

II.2.1.2 Acide chlorhydrique

L'acide chlorhydrique HCl sert à favoriser la déstructuration du grain d'amidon par un phénomène d'hydrolyse ménagée. On favorise alors la séparation amylose/amylopectine et le passage de l'amylose en solution. Un amidon déstructuré est tout simplement un amidon qui ne se trouve plus sous sa forme originelle de grain: les polymères le constituant (amylose et amylopectine) sont dispersés mais chimiquement, il n'y a aucune différence (les chaînes de glucose sont juste un peu plus courtes à cause de l'acide).

II.2.1.3 Hydroxyde de sodium

L'hydroxyde de sodium (NaOH) sert à diminuer la viscosité du mélange, il permet aussi d'obtenir une solution neutre [1,2]. Afin de valoriser les déchets alimentaires, nous avons choisi pour notre travail l'amidon extrait de pomme de terre et de ses épluchures.

II.2.1.4 Amidon

C'est un polysaccharide constitué d'unités de D-glucose ($C_6H_{12}O_6$)_n

II.2.1.5 Acide ascorbique

Prévenir l'oxydation, stabiliser le milieu réactionnel et préserver la qualité nutritionnelle et fonctionnelle.

II.2.2 Matériels utilisés

Le matériel utilisé est regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Matériels utilisés

Matériels utilisés		
Deux récipients	Une cuillère	Plaque chauffante
Une râpe	Mixeur type AGIMATIC-N	Etuve type memmert
Une passoire	Balance électronique	Fiole
Un couteau	Baguette en verre	Eprouvette Graduée
Un économe	Bécher de 150ml	Papier filtre
Boite pétri	Cristallisoir	Pipette
Micropipette	Goblet	Montre en verre
centrifugeuse type J.P.SELECTA, s.a.	Spectromètre IR à transformée de fourrier de type FTIR-4200, JASCO, JAPON	Microscope optique motric NAB B I series

II.3 Extraction de l'amidon à base de pomme de terre et de ses épluchures

La pomme de terre utilisée dans ce travail est un type de biomasse couramment cité dans les études ultérieures (pomme de terre à peau rouge; variété Baratina) cette biomasse est souvent utilisée pour l'élaboration de bioplastiques [3-8].

II.3.1 Extraction de l'amidon à partir des épluchures de pomme de terre

L'amidon est extrait à partir des épluchures de pomme de terre collectées auprès d'un restaurant local, selon le protocole suivant :

- **II.3.1.1 Préparation des épluchures**

Les épluchures sont soigneusement lavées afin d'éliminer les impuretés, puis découpées en morceaux de taille appropriée.

- **II.3.1.2 Trempage**

Les épluchures préparées sont immergées dans une solution d'acide ascorbique à 0,2 M, avec un rapport (1/6) défini entre les épluchures et la solution de trempage. Le mélange est agité à 500 tours par minute à l'aide d'un malaxeur de type **AGIMATIC-N**, maintenu à une température de 35 °C pendant 60 minutes. À l'issue de cette étape, les épluchures sont homogénéisées par broyage.

- **II.3.1.3 Broyage**

Les pelures sont placées dans un récipient avec une quantité d'eau appropriée, puis broyées à l'aide d'un mixeur afin de libérer l'amidon contenu dans les cellules végétales

- **II.3.1.4 Filtration**

Le mélange obtenu, riche en mousse et en particules solides, est ensuite filtré à l'aide d'une passoire fine. Cette étape permet de séparer le liquide contenant l'amidon des résidus solides de pelures et la mousse

- **II.3.1.5 Décantation**

Le filtrat est laissé au repos dans un bécher. L'amidon, plus dense que l'eau, se dépose progressivement au fond du récipient sous forme d'un sédiment blanc, tandis que les impuretés restent en suspension ou flottent. L'amidon recueilli au fond et lavé plusieurs fois à l'eau distillée pour augmenter sa pureté.

• II.3.1.6 Centrifugation

Liquide précipité est ensuite soumis à une centrifugation à 5000 tours par minute pendant 10 minutes. L'amidon précipité est récupéré par grattage puis séché à l'air pendant environ quatre jours, avant d'être récupéré sous forme de poudre et stocké dans un flacon hermétique.



Figure II.1: Regroupe les étapes réalisées au cours de l'extraction de l'amidon à partir des épluchures de pomme de terre.

II.3.2 Extraction de l'amidon à partir de la pomme de terre

II.3.2.1 Protocole de l'extraction

1. Les pommes de terre sont soigneusement nettoyées puis pelées à l'aide d'un économe.
2. Les tubercules pelés sont râpés afin d'obtenir une pulpe homogène, recueillie dans un récipient approprié.
3. De l'eau est ajoutée à la pulpe de pomme de terre, puis le mélange est agité vigoureusement pour assurer une bonne dispersion.
4. Le mélange est filtré à travers une passoire afin d'éliminer les particules grossières et les débris solides.
5. La solution filtrée est laissée au repos pour permettre la décantation de l'amidon, qui se dépose au fond du récipient.
6. Le surnageant est délicatement retiré à l'aide d'une pipette afin de ne conserver que le dépôt d'amidon.
7. L'amidon décanté est ensuite séché à l'air libre pendant une période d'environ quatre jours, avant d'être récupéré sous forme de poudre et conservé dans un flacon hermétique.

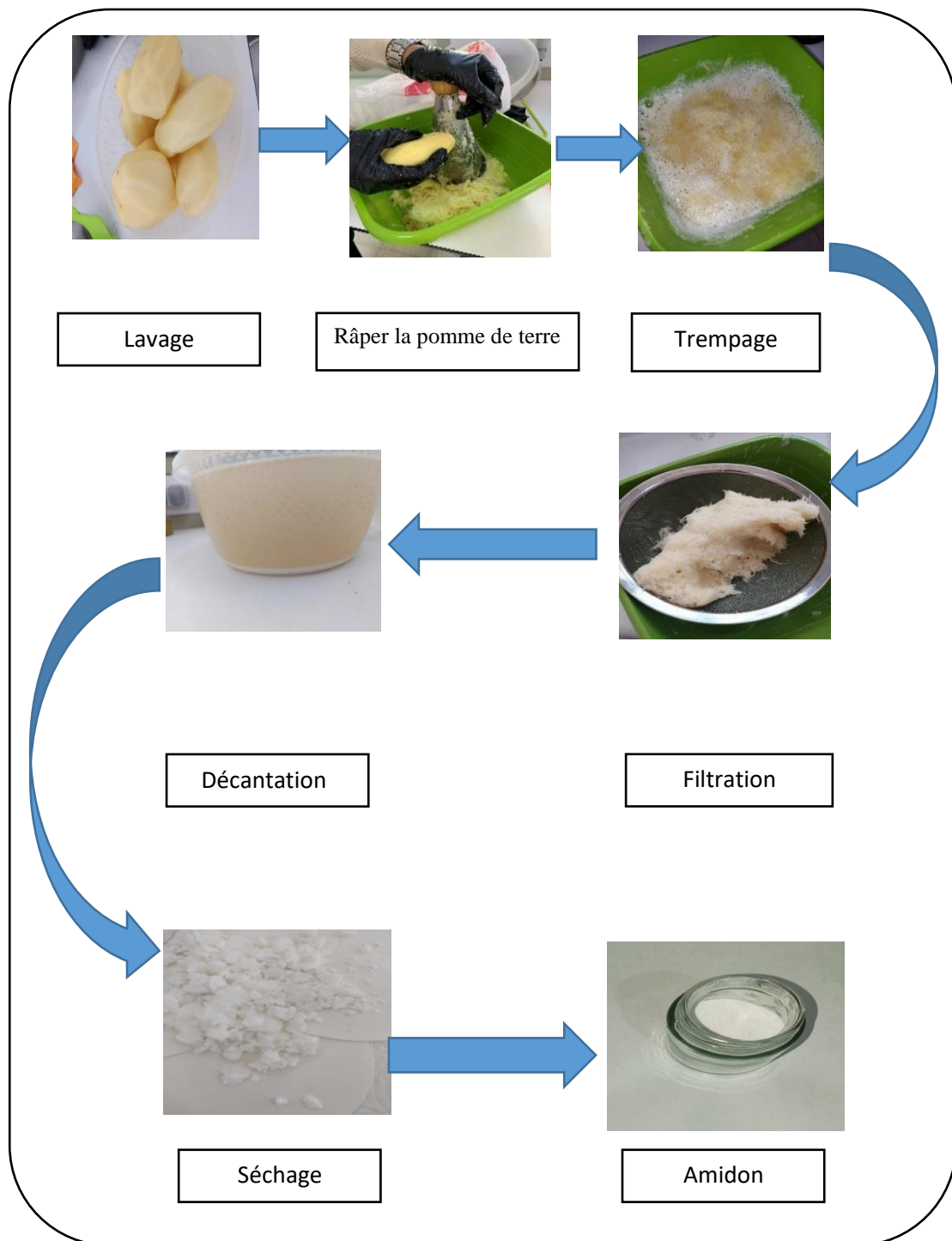


Figure II.2: Regroupe les étapes réalisées au cours de l'extraction de l'amidon à partir des épluchures de pomme de terre.

II.4 Production de bioplastique à partir d'amidon extrait**II.4.1. Protocole**

Les films bioplastiques à base d'amidon de pomme de terre et de ses déchets ont été préparés par une méthode couramment utilisée en laboratoire, reposant sur la préparation de suspensions d'amidon, d'eau distillée et de plastifiant (glycérol).

Nous avons utilisé deux différentes concentrations de HCl et NaOH, afin de choisir la meilleure concentration pour la préparation des composites bioplastiques.

a / HCl 0.5M et NaOH 0.5M

Précisément, 1.8 g d'amidon de pomme de terre sont dispersés dans 25 mL d'eau distillée, puis 2 mL de glycérol sont ajoutés sous agitation magnétique. Ensuite, 3 mL d'acide chlorhydrique (HCl 0,5 M) sont incorporés afin de favoriser la dissociation de l'amidon dans le mélange. Le tout est chauffé à une température comprise entre 78 et 85 °C pendant 8 à 10 minutes sous agitation constante. Lorsque la solution visqueuse est observée, (2ml) d'hydroxyde de sodium (NaOH 0,5 M) sont ajoutés pour réduire la viscosité du mélange.

Le mélange homogène est versé dans des boîtes pétri. Le film est ensuite laissé à l'air libre pendant 24h à 48h (Varie en fonction de la température du laboratoire) jusqu'au séchage complet, permettant un démoulage facile du film bioplastique formé (figure II.4).

b / HCl 0.1M et NaOH 0.1M

Nous avons procédé au même mode opératoire utilisé pour la préparation des bioplastiques ci-dessus. D'après les films obtenus on a constaté que la concentration d'ordre de 0,5M pour HCl et de 0,5M NaOH a donné le meilleur aspect des biofilms, donc cette concentration sera utilisée pour la préparation des différents composites.

La figure II.4 montre les différentes étapes effectuées pour l'élaboration de biofilms à base de pomme de terre et de ses épluchures.

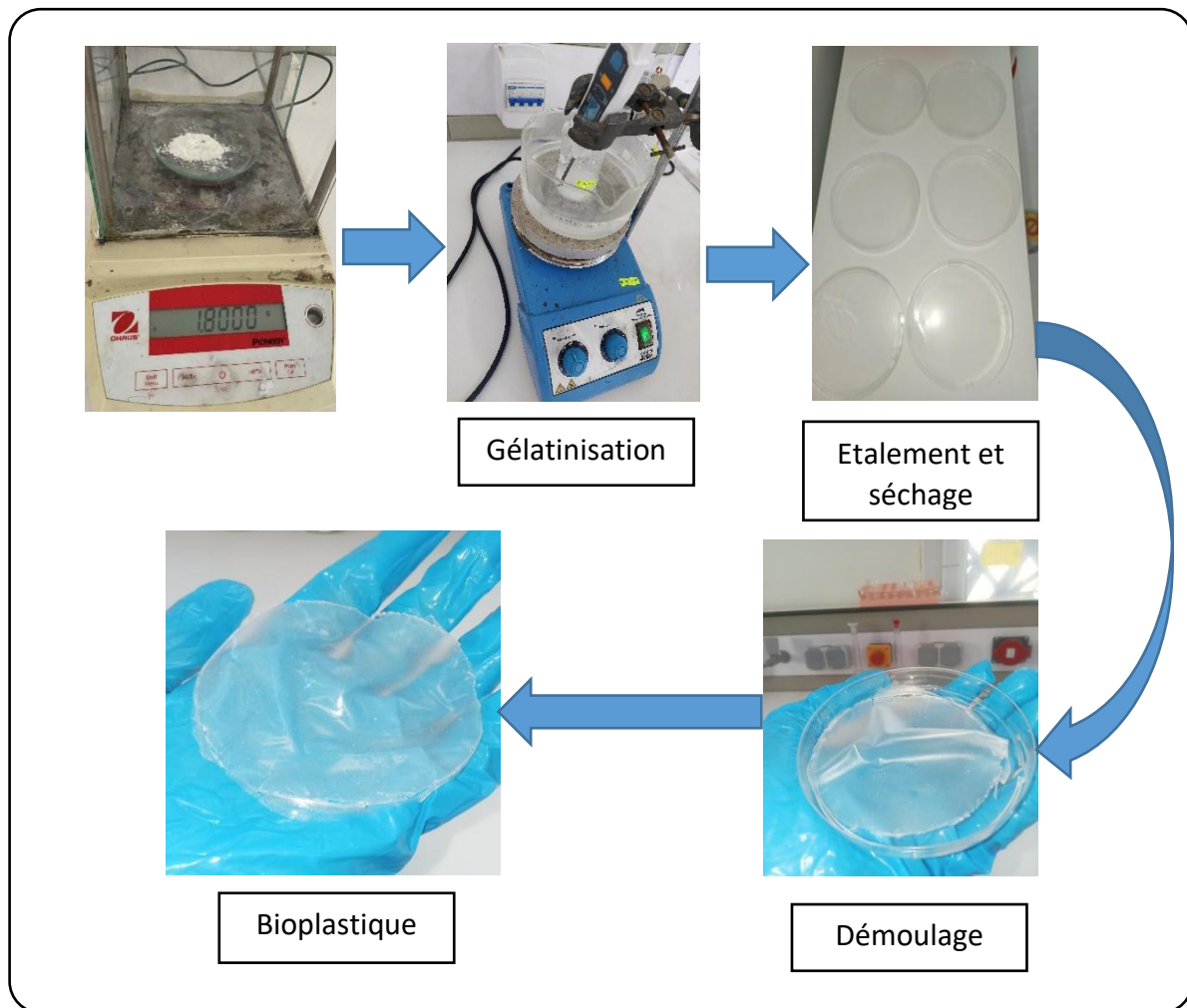


Figure II.3: Montre les différentes étapes effectuées pour l'élaboration de biofilms à base de pomme de terre et de ses épluchures.

II.6 Méthodes de caractérisation

II.6.1 Taux d'humidité

Nous avons déterminé le taux d'humidité H% pour l'amidon extrait d'épluchures et celui de pomme de terre.

Mode opératoire

On pèse 5 g de chaque échantillon (amidon extrait d'épluchures et celui de pomme de terre et de maïs commercial pour comparaison), dans un verre de montre (m_0), l'échantillon a été placé ensuite dans une étuve réglée à 105°C pendant 24h.

Après le séchage, la masse obtenue a été pesée (m_1). Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

Avec:

- M_1 : La masse finale de l'échantillon testé.
- M_0 : La masse initiale de l'échantillon testé.

II.6.2 Rendement en produits obtenus

Le rendement en amidon et produit préparé pour les deux variétés ; pomme de terre et ses épluchures est calculé en appliquant la formule suivante :

$$R\% = \frac{\text{La masse finale de l'amidon obtenu}}{\text{la masse initial de matière première}} \times 100\%$$

Cette méthode permet d'évaluer quantitativement l'efficacité du procédé d'extraction et de purification de l'amidon, en exprimant le rendement sous forme de pourcentage relatif à la matière première initiale.

II.6.3. Biodégradation dans le sol

Pour déterminer le temps nécessaire à la dégradation de nos matériaux composites élaborés, des expériences de biodégradation ont été réalisées par cette méthode : les biofilms ont été enterrés dans le sol.

Les dimensions de nos échantillons ont été préparées de 30 mm x 30 mm (Figure II.5) par la suite ont été mis dans des récipients contenant environ 100 g de terre [9] comme l'illustre la (Figure II.6).

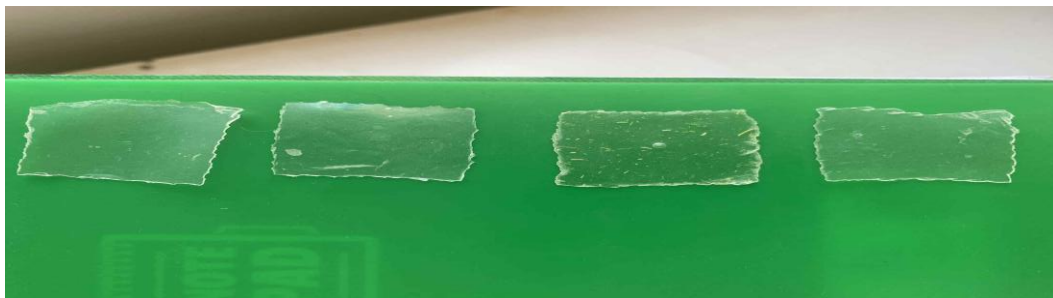


Figure II.4 : Les dimensions des biofilms préparés.

Les récipients ont été gardés dans un endroit aéré à la température ambiante pour une période de 30 jours.



Figure II.5: Biodégradation des biofilms dans le sol.

Les biofilms ont été retirés du sol tous les trois jours, afin de déterminer la perte de poids, ont été nettoyés en essuyant doucement avec une brosse pour éliminer les traces du sol.

Les échantillons sont pesés et calculés selon l'équation suivante :

$$\text{Perte de masse} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

Avec : m_0 : La masse initiale des échantillons.

m_1 : La masse des échantillons après un temps t (jours).

II.6.4 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)

Les échantillons ont été caractérisés à l'aide d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier de type FTIR-4200 (JASCO). Cette technique repose sur la mesure de l'absorption d'un rayonnement infrarouge dont le nombre d'onde s'étend généralement de 4000 à 400 cm^{-1} . Ce domaine spectral correspond aux énergies associées aux vibrations moléculaires, permettant ainsi l'identification des groupes fonctionnels présents dans le matériau étudié.

Cette méthode exploite l'absorption spécifique des radiations infrarouges par les liaisons chimiques au sein des molécules. Chaque type de liaison chimique possède des modes de vibration caractéristiques (étirements, déformations, torsions) qui absorbent à des fréquences précises, traduites en nombres d'onde. L'analyse des spectres FTIR permet ainsi une identification qualitative et, dans certains cas, quantitative des fonctions chimiques présentes.

Les échantillons solides ont été préparés sous forme de pastilles en mélangeant le plastifiant avec du bromure de potassium (KBr) dans un rapport massique de 1:100. Le bromure de potassium, transparent dans la région infrarouge, sert de matrice inerte permettant la transmission du rayonnement IR sans interférence significative.



Figure II.6 : spectromètre FTIR-4200, JASCO, JAPON.

II.6.5 Microscope Optique

Dans notre travail nous avons utilisé le microscope optique motic NAB B1series .C'est un microscope binoculaire équipé de 04 objectifs : x4, x10, x40, x100. L'oculaire avec pointeur permet un grossissement x10. L'éclairage est garanti par LED et Halogène. Il est équipé d'une Platine à mouvements croisés 75x30 avec commande à droite et porte-objet avec levier à ressort à gauche. Le tube binoculaire est incliné à 30° (figure.II.8).



Figure.II.7: Microscope optique motic NAB B1series.

Référence Bibliographique

- [1] Nattakan S, Nittaya L, Atitaya Natthawut N, Y, Tawee T, Reinforcing potential of micro- and nano-sized fibers in the starch-based biocomposites, *Compos Sci Technol*, 72, 845–852, (2012).
- [2] Bodirlau R, Teaca CA. I., Spiridon Influence of natural fillers on the properties of starch based biocomposite films. *Compos Part B Eng*, 44, 575–583, 2013.
- [3] Boufares K, Behavior of three potato varieties (Spunta, Désirée and Chubaek) in two cultivation media: substrate and hydroponic Thesis, University of Telemcen Vol 108 pages 6-18,(2012).
- [4] Selmane K Water-soluble copolymers based on starch: modification and control of properties, Thesis in chemistry, university Abou Baker BELKAID Telemcen, (2012).
- [5] Vasanthan T, Bergthaller W, Driedger D, Yeung J, Sporns Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties. *Food Research International*, [Volume 32, Issue 5](#) Pages 355-365 (1999)
- [6] Ehi Imoisili P, Tien-Chien J Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch, effect of glycerol as plasticizer. *materialstoday proceedings*, [Volume 105](#), Pages 1-5, (2024).
- [7] Rongfei Z, Xiangyou W and Meng Ch Preparation and Characterization of Potato Starch Film with Various Size of Nano-SiO₂. *Polymers* (2018).
- [8] [Luciana C. de Azêvedo](#), [Suzimara R](#), [Jonntatan J. Santos](#), [Djalma B. D](#) Study of Renewable Silica Powder Influence in the Preparation of Bioplastics from Corn and Potato Starch. [Journal of Polymers and the Environment](#), Volume 29 pages 707–720, (2020).
- [9]: Hui Chi, Kun Xu, Xiuli Wu, Effect of acetylation on properties of corn starch , *Food Chemistry*, February (2008).

CHAPITRE III

Résultats et discussions

III.1.Introduction :

L'objectif principal de ce chapitre est d'exploiter, les résultats d'élaboration et de caractérisation d'un biopolymère à base d'amidon .

Dans ce chapitre, nous exposerons les données expérimentales recueillies et également la caractérisation du composite à base d'amidon de pomme de terre, puis nous discuterons leur signification afin d'en tirer des conclusions sur les propriétés et les performances du matériau étudié.

III.2.Caractérisation de l'amidon en poudre et des films à base d'amidon

III.2.1.Taux d'humidité

Les résultats de l'analyse du taux d'humidité, des échantillons de biomasse utilisés sont présentés dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Taux d'humidité de l'amidon extrait

Type de Amidon	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	Taux d'humidité (%)
Amidon extrait de pomme de terre	5	4.37	12.6
Amidon extrait des épluchures de pomme de terre	5	4.31	13.8
Amidon Commercial	5	4.40	12

L'analyse du taux d'humidité des différents types d'amidons montre une légère variation selon la source. L'amidon extrait des pelures de pomme de terre présente, le taux d'humidité le plus élevé (13,8 %), ce qui peut être attribué à une rétention d'eau plus importante en raison de la structure fibreuse et moins homogène des pelures. En revanche, l'amidon commercial présente un taux plus faible (12 %), ce qui reflète un traitement industriel plus maîtrisé, souvent accompagné d'un séchage plus efficace. L'amidon extrait de pommes de terre entières montre un taux intermédiaire (12,6 %), témoignant d'une qualité similaire mais légèrement moins standardisée que celle de l'amidon commercial.

III.2.2. Rendement

Dans le tableau III.2 sont illustrés les résultats de deux variétés de pommes de terre qui ont été sélectionnées afin d'évaluer leur potentiel en tant que source d'amidon. Chaque type a été soumis au même procédé d'extraction afin de comparer les rendements de l'amidon obtenu.

Tableau III.2 : Rendement d'extraction de l'amidon selon le type de la matière première

Type de biomasse	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	Rendement (%)
Pomme de terre blanche	1000	103	10.3
Pomme de terre rouge	1000	90	9
Epluchures de pomme de terre	1000	45	4.5

Les résultats montrent que le rendement d'extraction de l'amidon varie en fonction du type de matière première utilisée. Le meilleur rendement est obtenu à partir de pommes de terre blanches (10,3 %), suivies des pommes de terre rouges (9 %). L'amidon extrait des épluchures de pommes de terre montre un rendement significativement plus faible (4,5 %).

En effet, les pommes de terre blanches sont généralement reconnues pour leur chair plus riche en amidon, ce qui favorise une extraction plus efficace. À l'inverse, les pommes de terre rouges ont souvent une chair plus ferme et une teneur en eau légèrement plus élevée, ce qui réduit la proportion d'amidon disponible. Par ailleurs, les épluchures, bien qu'elles contiennent encore des résidus d'amidon, présentent une concentration moindre comparée à la chair entière, ce qui explique leur rendement inférieur.

Cette différence de rendement peut aussi être liée à la variété spécifique des pommes de terre utilisées, ainsi que les conditions de culture, qui influencent la quantité d'amidon accumulée dans les tubercules.

III.2.3 Analyse par microscope optique (Etude de la morphologie)

Dans ce qui suit nous présentons les résultats de l'analyse par microscope optique. Par souci de clarté nous avons commencé de manière distincte par la description des constituants entrant dans la réalisation du composite. Puis, une analyse des composites avec leurs différentes formulations.

• III.2.3.1 Amidon extrait des déchets de pomme de terre et ses biofilms

Afin de rendre compte de l'effet de la gélatinisation de la poudre d'amidon en film nous représentons dans la (fig. III.1) la surface de l'amidon (EPT)(a), puis celui de cette même poudre après transformation en un film de TPS (b). Dans la fig. III.1 (a) de l'amidon natif, on distingue clairement chaque grain. Ces derniers sont de forme variée et certains montrent même une forme régulière.

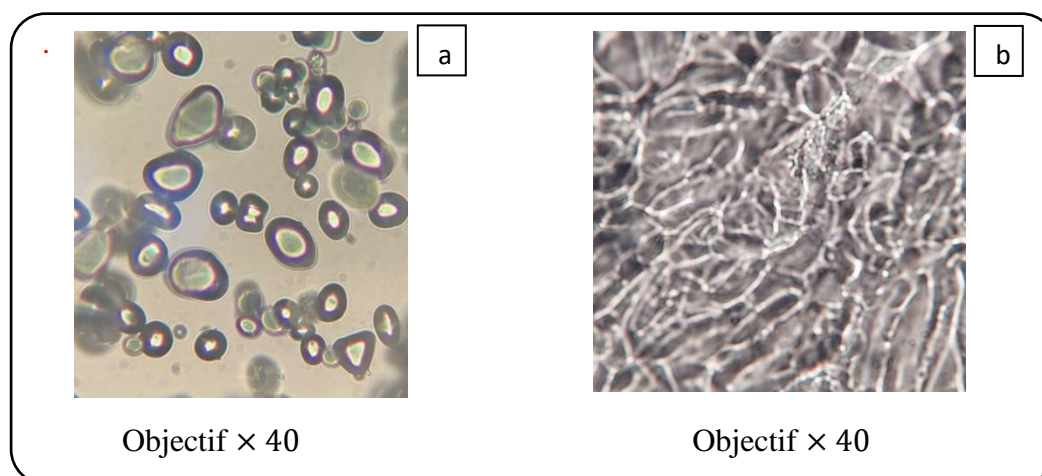


Figure III.1: (a) l'amidon en poudre, (b) l'amidon après gélatinisation ou TPS (EPT)

Durant la gélatinisation la disparition de ces formes régulières conduisant à une fusion de tous ces grains ce qui explique la disparition des plans cristallographique visible dans l'amidon natif. Sur la fig. III.1 (b) on voit distinctement que le matériau présente une surface de matière non continue.

Pour le grossissement le plus faible la surface est régulière avec très peu d'imperfection si ce n'est que de faibles traces obliques (Objectif X4 Annexe A). Mais dès qu'on agrandit l'image ces traces deviennent plus perceptibles. Les traces de l'image sont très probablement orientées dans la direction de l'écoulement de la matière dans le moule.

- **III.2.3.2 Amidon extrait de pomme de terre et ses biofilms**

Dans la fig. III.2 comme précédemment l'image (a), montre clairement les grains de l'amidon natif. Ces derniers sont de forme très régulière par rapport à celles de l'amidon (EPT). Les surfaces planes de ces grains montrent bien que les formes cristallines fondamentales de ce matériau ce sont empilées par endroit de manière régulière.

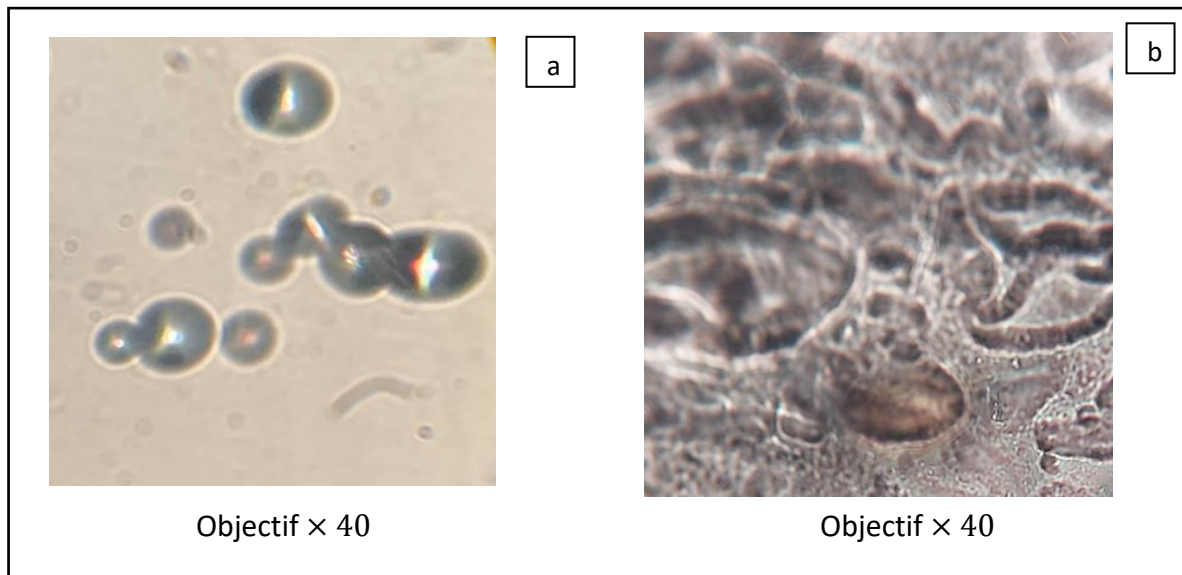


Figure III.2 : (a) l'amidon en poudre, (b) l'amidon après gélatinisation ou TPS (PDT)

Sur la fig. III.2 (b) on voit distinctement que le matériau présente une surface de matière continue par rapport à celle de (fig. III.1 (b)). Cependant quelques éléments en surface témoignent d'une fusion incomplète de certains grains. Nous pouvons supposer que durant le processus de préparation, les grains d'amidon qui sont en contact avec la paroi en verre du réacteur, se retrouvent dans des conditions de température différentes. De plus la vitesse d'agitation et donc de cisaillement est également différente des autres régions du milieu réactionnel. Les grains de ces régions ne fondent que partiellement et se retrouvent à la surface du TPS après étalement.

Les images du microscope optique nous ont permis de voir d'une manière peu précise la morphologie des grains d'amidon natif et que leur fusion conduit à un film de TPS avec une surface plus au moins régulière.

III.2.4 Analyse Infra rouge de l'amidon en poudre et des films à base d'amidon

Dans le (tableau III.3) sont reportés les bandes d'absorption des films à base d'amidon (PT et EPT), également celles de l'amidon en poudre. Nous indiquons les fonctions qui leurs correspondent, d'une manière générale et cela sera valide pour les deux types d'amidon et leurs films.

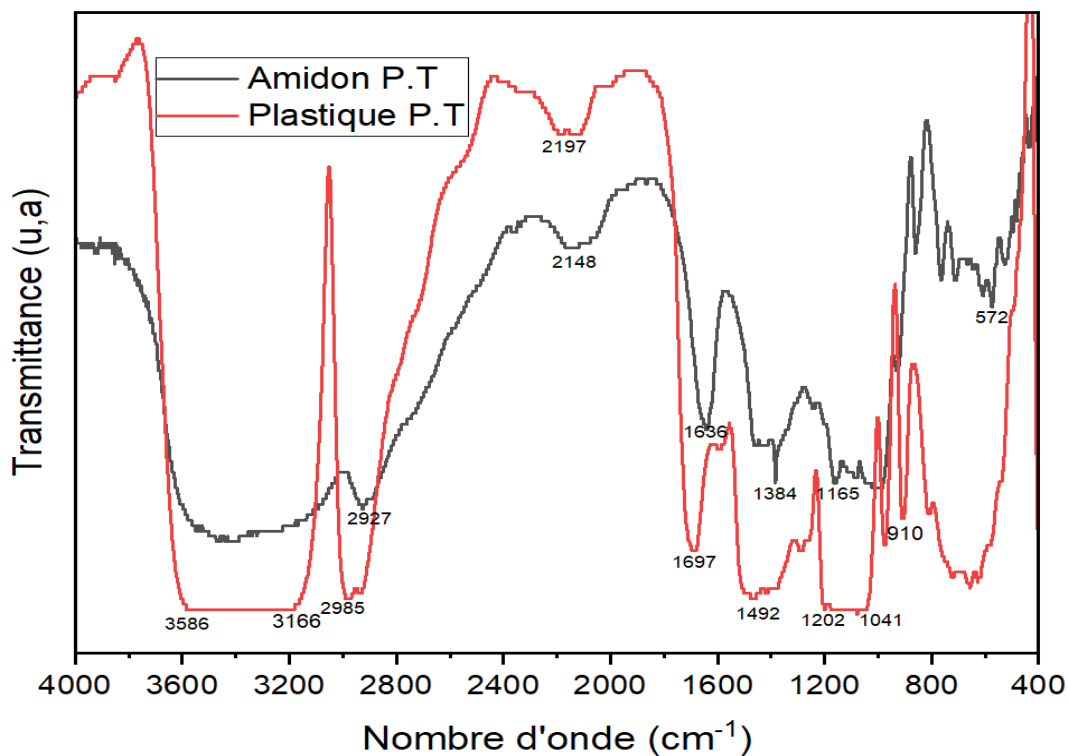
Sur La figure III.1 les bandes d'absorption sont bien spécifiques à l'amidon de pomme de terre. La large bande à 3166 et 3600 cm^{-1} est attribuable à la liaison -OH des fonctions alcool de la molécule d'amidon.

Une bande d'absorption observée à environ de 2985 cm^{-1} correspondant aux vibrations en mode élongations des liaisons C-H du glucose; 1600-1662 cm^{-1} correspond à la vibration d'allongement de la liaison C-H. la vibration à 1492 cm^{-1} est attribuable à la déformation du -CH₂ et la bande d'absorption à 1384 cm^{-1} correspond à la vibration d'allongement de la liaison -OH dans l'unité glucose,

Les vibrations d'allongement de la liaison C-O des groupements fonctionnels C-O-H et C-O-C dans un cycle de glucose de la molécule d'amidon apparaissent à 1202 cm^{-1} , 1041 cm^{-1} , 1000 cm^{-1} , 978 cm^{-1} , 910 cm^{-1} , 867 cm^{-1} respectivement.

Tableau III.3 : Attribution des différentes bandes d'absorption du plastique.

Nombre d'onde (cm-1)	Attribution	Nature
3586-3166	O-H	Large bande d'élongation
2985-2872	CH, CH ₂ (polyol)	Bonde de déformation
2163-2092	C-H cycle	Bonde déformation
1697	C-C	Bonde déformation
1492	C-H	Déformation
1273-1350	O-H	Deformation
1041	C-O	Elongation



Figure(III.1.a) : Les spectres FTIR de l'amidon (PT) et le bioplastiques extrait de pomme de terre.

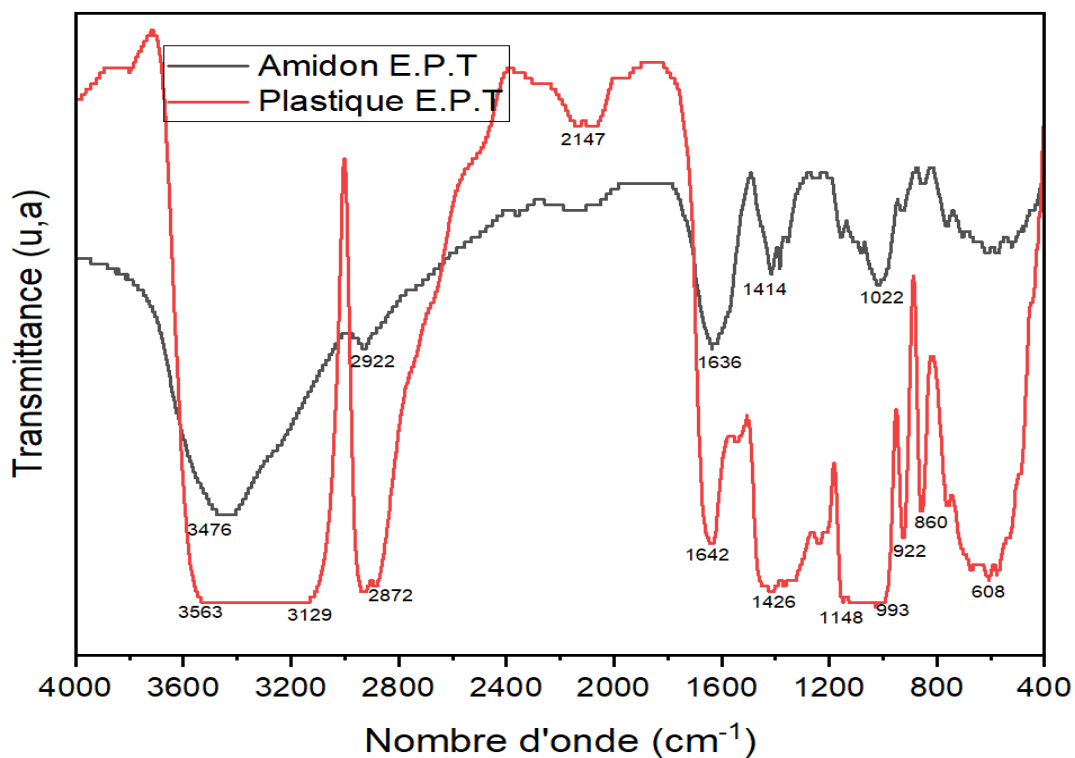


Figure (III.1.b) : Les spectres FTIR de l'amidon (EPT) et le bioplastiques extrait des épluchures de pomme de terre.

De l'analyse infrarouge on en déduit que l'amidon est un mélange de deux entités moléculaires une fraction linéaire, l'amylose, et son homologue ramifié, l'amylopectine.

La poudre d'amidon a été ensuite transformée conformément au mode opératoire décrit dans le chapitre II, et cela pour en faire un film TPS et des films chargé avec de la fibre alfa traité ou avec de la fibre alfa non traité.

En effet, la large bande des films entre $[3200-3600\text{ cm}^{-1}]$ correspond à la vibration d'étirement des groupements O-H de l'amidon mais également du glycérol ayant permis la confection des films. La bande est plus élargie dans le spectre du plastique E.P.T, ce qui indique une forte hydrophilie liée à la présence de glycérol et d'eau.

Par contre La bande à $[2860-2985\text{ cm}^{-1}]$ est généralement attribué à la vibration d'étirement des groupements C-H de l'amidon. Quelques minimums restent toutefois difficilement attribuables en effet les bandes qui apparaissent à 1896, 1971, 2197 et 2147 cm^{-1} bien que correctement définies sur le spectre on pourrait supposer que ce sont des vibrations de résonance des groupements C-O et/ ou CH de la molécule d'amidon. La large bande d'absorption comprise entre $2800\text{ et }3000\text{ cm}^{-1}$ est généralement attribué au groupement CH_2 provenant de la fonction alcool (lié aux cycles) [1]. Par contre certains auteurs ayant travaillé sur l'amidon de pomme de terre attribut cette bande d'absorption aux groupements $-\text{CH}_2-$ pont méthylènes [02]. Les groupements $-\text{CH}$ lié à un carbone du cycle ayant lui-même une fonction alcool ($-\text{OH}$) sont susceptible d'absorber dans cette région du spectre.

Enfin la comparaison des spectres FTIR révèle que la transformation de l'amidon en film plastique modifie sensiblement son organisation moléculaire.

- Le glycérol réagit avec les groupes hydroxyles des molécules d'amidon en formant des liaisons éther C-O, avec une analyse IR on confirme le griffage du glycérol par les bondes de CH_2 à $2860-2985\text{ cm}^{-1}$ et les bondes d'OH à 3400 cm^{-1} caractéristiques au glycérol.
- L'intensification de la bande O-H dans le film est un indice clair d'une forte teneur en eau et d'interactions hydrogènes accrus, principalement entre l'amidon et le glycérol dû à l'addition de glycérol et d'eau.

•La présence de nouvelles bandes confirme l'apparition d'interactions entre les chaînes d'amidon et les plastifiants. Enfin, la conservation des bandes typiques de l'amidon montre que sa structure principale est maintenue, mais modifiée dans son organisation par les interactions moléculaires.

III.2.5. Test de biodégradabilité :

Les résultats du test de biodégradabilité du bioplastique développé sont présentés dans le tableau (III.4) et illustrés à la figure (III.3).

Tableau III.4 : Biodégradabilité du bioplastique élaboré.

Jour	La masse dégradée (g)		Perte de charge (%)	
	Bioplastique de P.T	Bioplastique de E.P.T	Bioplastique de P.T	Bioplastique de E.P.T
0	0.6215	0.6201	0	0
2	0.4638	0.4948	25.37	22.33
4	0.3642	0.3286	41.39	41.64
6	0.3277	0.3016	47.27	46.14
8	0.3195	0.2830	48.59	49.46
10	0.2956	0.2670	52.43	52.32
12	0.2813	0.2655	54.73	52.58
14	0.2784	0.2567	55.20	54.16
16	0.2654	0.2340	57.29	58.21
18	0.2354	0.1967	62.12	64.87
20	0.2039	0.1882	67.19	66.39
22	0.1945	0.1674	68.70	70.10

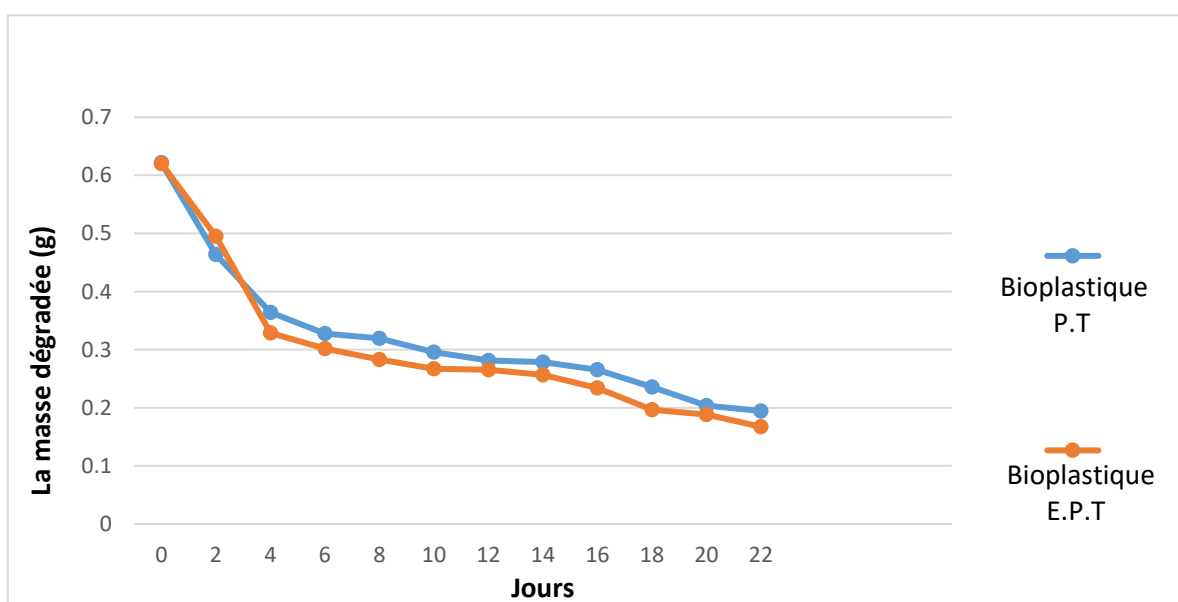


Figure III.3 : dégradation de la masse du la bioplastique de P.T et E.P.T en fonction de temps.

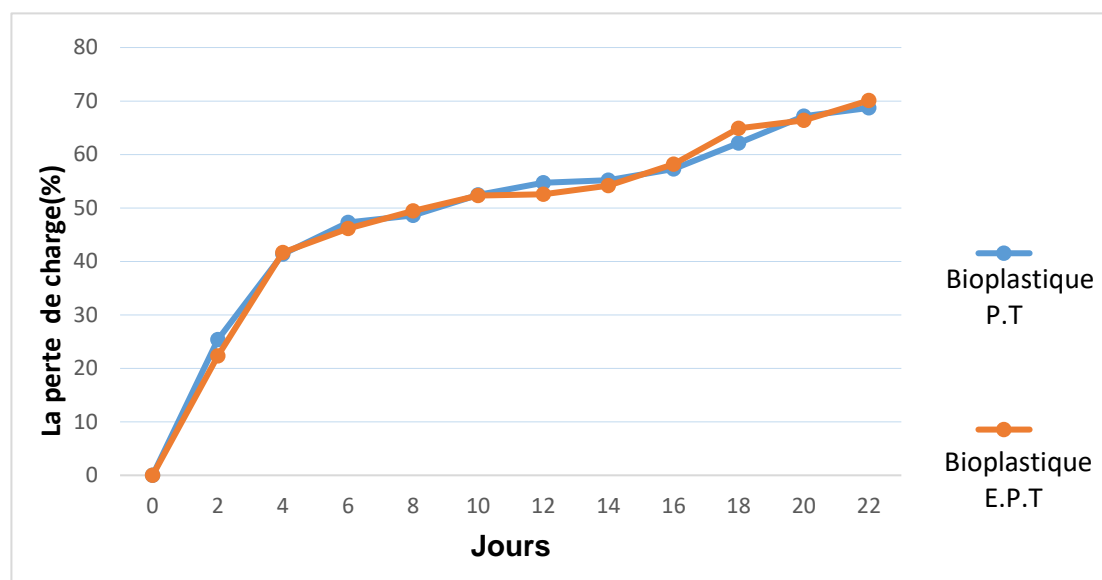


Figure III.4 : la perte de charge du la bioplastique de P.T et de E.P.T en fonction de temps.

À partir des tests d'enfouissement dans le sol, la perte de poids et la dégradation des biofilms ont été déterminées. Ces variations de poids servent d'indicateurs à l'étendue de la biodégradation se produisant dans l'environnement naturel. Le processus de dégradation des biofilms dans le sol implique plusieurs agents biologiques, notamment des champignons, des bactéries et d'autres micro-organismes, qui jouent un rôle crucial dans la décomposition des matériaux.

Les résultats indiquent que la dégradation en masse des bioplastiques augmente progressivement avec le temps, atteignant une dégradation quasi complète après 22 jours. Le bioplastique dérivé des épluchures de pomme de terre présente un profil de dégradation similaire mais se dégrade légèrement plus rapidement que celui produit à partir de l'amidon de pomme de terre. Les études bibliographiques sur la biodégradabilité montrent que la vitesse de dégradation des matériaux est fortement influencée par la nature chimique du polymère [3]. Après 18 jours, les biofilms commencent à perdre leur forme carrée d'origine et deviennent de plus en plus fragiles. Une perte de masse significative est observée à ce stade, indiquant une dégradation avancée.



Figure III.5 : Image d'un échantillon de bioplastique partiellement dégradé

Ce test permet de conclure que :

➤ **Apparence physique :**

Le film est fissuré, friable et cassant, avec des bords irréguliers. On remarque une texture ridée et un aspect poreux, signes d'une dégradation avancée de la structure interne.

➤ **Perte d'intégrité structurale :**

Le bioplastique s'est rompu en plusieurs morceaux, ce qui indique une perte importante de cohésion moléculaire, typique après une exposition prolongée à un environnement de dégradation (humidité, microorganismes, variations de pH).

L'état actuel du bioplastique après exposition montre une biodégradation réussie. L'altération visuelle et la fragmentation sont des signes clairs de sa désintégration naturelle, ce qui confirme sa caractéristique écologique et compostable.

Référence Bibliographique

[01] N. Hamidi, modification des biopolymers: caractérisation et application comme agents de dispersion des nanotubes de carbone bi-parois , mémoire de magister , université de Blida 1, p 47- 48, (2015).

[02] N. Farhouh, Plastification d'un bio-polymère à base d'amidon de pomme de terre, Université Ibn Khaldoun, (2012).

[03] Curveloa AAS., AJF. De Carvalho, JAM.Agnelli ,Thermoplastic starch cellulosic fibers composites: preliminary results. Carbohydr Polym, 45:183–188, (2001).

Conclusion Générale

Conclusion générale

Face aux défis environnementaux engendrés par l'utilisation extensive de polymères d'origine pétrochimique, le développement de matériaux biodégradables issus de ressources renouvelables constitue une alternative stratégique pour promouvoir un avenir durable. Dans ce contexte, la présente étude s'est concentrée sur la synthèse et la caractérisation d'un composite à base d'amidon renforcé par une charge végétale.

L'approche expérimentale a débuté par l'extraction et la valorisation de l'amidon à partir de pommes de terre et de ces épluchures, des matières premières locales, abondantes et économiques. Par la suite, des films bioplastiques ont été formulés en utilisant un plastifiant naturel, le glycérol, et renforcés par l'incorporation de charge végétale, à différentes proportions, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques et la stabilité des matériaux obtenus.

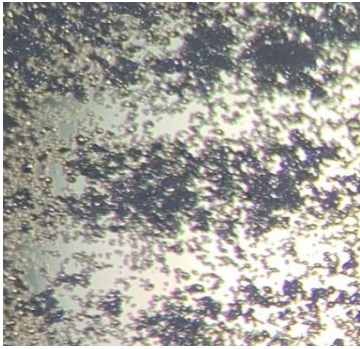
Les matériaux développés ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et leur biodégradabilité a également été évaluée. Sur la base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

1. Le meilleur rendement en amidon est obtenu à partir de pommes de terre blanches (10,3 %), suivies des pommes de terre rouges (9 %). L'amidon extrait des épluchures de pommes de terre montre un rendement significativement plus faible (4,5 %).
2. L'analyse spectroscopique FTIR confirme la présence de toutes les bandes d'absorption caractéristiques de l'amidon, ainsi que des bandes supplémentaires correspondant aux liaisons CH₂ entre 2890 et 2943 cm⁻¹ et aux liaisons OH à 3400 cm⁻¹, caractéristiques du glycérol utilisé dans la formulation du bioplastique.

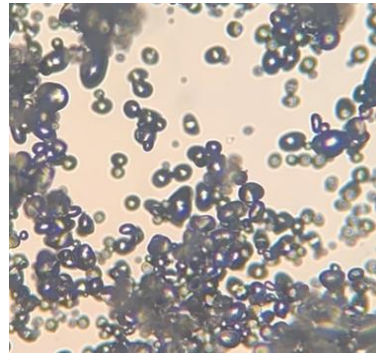
Dans les perspectives de ce travail, nous recommandons :

- Effectuer des analyses microscopiques MEB, afin de définir la morphologie des biomatériaux élaborés.
- Compléter le travail par des analyses des propriétés mécaniques et rhéologiques des composites.
- Extraire l'amidon en utilisant d'autres déchets alimentaires.

Annexe



Objectif × 4



Objectif × 10

عنوان المذكرة: تحضير وتوصيف مركب قائم على النشاء مدعم بحشوة نباتية

المؤطر: بوعرار فهيمة

الإسم: ياسين

اللقب: بن قيط

فارس محمد الأمين

غزال

ملخص: الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطوير بوليمر حيوي مركب قائم على نشا البطاطس، مُعزز بحشو مادة طبيعية. من المهم التأكيد على أن النشا المُستخرج من مخلفات الطعام يُعد بديلاً بيئياً مثيراً للاهتمام. وقد مكن تحليل الأشعة تحت الحمراء بتقنية فورييه (FTIR) من تحديد المنتجات المُطورة. تشير اختبارات التحلل الحيوي الطبيعي إلى أن إضافة مادة طبيعية تُحسن مقاومة البوليمر الحيوي للتحلل، مما يُشير إلى استقرار أفضل وتحسن قوة الترابط بين النشا والألياف النباتية.

كلمات مفتاحية: البطاطس – النشاء – البلاستيك الحيوي- قشور- اغشية بلاستيكية - ألياف طبيعية

...

Memory title : Synthesis and Characterization of a Starch-Based Composite Reinforced with Plant Filler

Name: YACINE

First name: BENGUIT

Directed by: FAHIMA BOUARAR

FARES MED EL AMINE GHEZAL

Abstract : The main objective of this work is to develop a composite biopolymer based on potato starch, reinforced with a natural filler. It is important to emphasize that starch from food waste is an interesting ecological alternative. FTIR analysis was able to identify the products developed. Natural biodegradability tests indicate that the incorporation of natural filler improves the biopolymer's resistance to degradation, which suggests better stability and a reinforced interaction between the starch matrix and the natural filler.

Key words: Bioplastic- Potato- Peelings- Starch- Biodegradable Films-Naturel fiber.

Titre du mémoire : Synthèse et Caractérisation d'un Composite à Base d'Amidon / Charge Végétale

**Nom : BENGUIT
GHEZAL**

Prénom : YACINE

Encadreur : BOUARAR FAHIMA

FARES MED EL AMINE

Résumé : L'objectif principal de ce présent travail est d'élaborer un biopolymère composite à base d'amidon de pomme de terre, renforcé par une charge naturelle. Il est important de souligner que l'amidon issu des déchets alimentaires constitue une alternative écologique intéressante. L'analyse FTIR a pu identifier les produits élaborés. Les tests de biodégradabilité naturelle indiquent que l'incorporation de charge naturelle améliore la résistance du biopolymère à la dégradation, ce qui suggère une meilleure stabilité et une interaction renforcée entre la matrice d'amidon et la charge naturelle.

Mots clés : Bioplastique – pomme de terre – épluchures– amidon- Fibre naturelle.