

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE

FILIERE : CHIMIE

MÉMOIRE DE MASTER

SPECIALITE : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

Production des bioplastiques a base des déchets

alimentaires

Présenté par : *M^{elle}* SALHI Hassina et *M^{elle}* SELLOUM Yasmina

Soutenu publiquement, le 13 / 07 / 2023, devant le Jury composé de :

<i>Mme LOUNI Dalila</i>	<i>MAA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>PRESIDENTE</i>
<i>Mme IDRIS Imane</i>	<i>MCB</i>	<i>UMMTO</i>	<i>ENCADRANT</i>
<i>Mme FERRAG Fatiha</i>	<i>MCA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>EXAMINATRICE</i>
<i>Mr BAIT Larbi</i>	<i>MAA</i>	<i>UMMTO</i>	<i>EXAMINATEUR</i>

Remerciements

Ce travail a été effectué aux seins de laboratoire de thermodynamique au département de génie civil.

En premier lieu, on tient d'abord à dire et à écrire EL HAMDOLAH, et donc remercier le bon dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et l'ambition pour réaliser ce modeste travail.

En second lieu, on remercie chaleureusement notre promotrice docteur Mme IDRIS IMANE « maitre de conférence classe B » pour sa disponibilité à toute épreuve, pour sa gentillesse et sa patience, qui nous a encouragés en permanence pendant la réalisation de ce mémoire. Nous exprimons toutes nos gratitudees.

On adresse également nos sincères remerciements aux membres de jury d'avoir bien accepté de lire et d'évaluer ce travail et de participer à la soutenance.

Nos sincères remerciements s'adressent à l'ensemble des ingénieurs et techniciens des laboratoires de département de génie civil.

Nos remerciements vont aussi à tous membres de département de chimie faculté des sciences.

Un vif remerciement a nos parents qu'ils trouvent dans la réalisation de ce travail .on remercié nos sœurs et frères pour leurs soutiens et leurs encouragements.



Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents

A ma mère, qui m'a toujours soutenu avec son amour, ces sacrifices et avec ses précieux conseils avec lesquels j'ai pu réussir aujourd'hui.

A mon père, qui m'a donné une éducation sans laquelle je n'avais pas pu évoluer dans la vie et qui peut être fier aujourd'hui car il voit les résultats de ses efforts et de longues années de sacrifices.

A mes frères Arezki et sa femme Faiza et Toufik.

A mes sœurs Lynda et Samia et leurs maris Rachid et Ahmed

A mes neveux d'amour Amine, Manel, Enzo, Sofiane, Youcef, Mariem, Liya et Sara.


A ma chère binôme Yasmine et toute sa famille avec qui depuis nos chemins se sont croisés, notre partenariat est devenu bien plus qu'une simple collaboration. Elle devenue une part essentiel de ma vie.

A la personne qui m'a toujours soutenue et qui était toujours présent pour moi Lotfi.

A tous mes ami(e)s : Nadia, Saida, Said, Lynda, Kader, Melissa.

A tous ceux qui m'ont soutenus de près ou de loin et me souhaitent toujours la réussite et le bonheur.

A toute la promotion chimie de l'environnement 2022-2023





Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille

A ma mère, mon ange dans la vie et le sens de l'amour et celle qui était le secret de ma réussite

A mon père, celui qui m'a appris tous dans la vie et celui dont je porte le nom avec fierté et qui m'a toujours soutenue et qui a toujours cru en moi.

A mes frères Mustapha et Amar, mes sœurs Lydia et Hanane.

A mes chers neveux Anis et Samy


A ma binôme Hassina et toute sa famille.

A la personne qui m'a toujours fourni un soutien indéfectible et qui est restée une présence constante dans ma vie Saad

A tous mes amis

A tout ceux qui m'ont soutenus de près ou de loin et me souhaités toujours la réussite et le bonheur.

A toute la promotion 2022-2023



Résumé

La matière plastique est la matière la plus utilisée dans notre vie quotidienne, mais elle a reçu quelques critiques en termes d'environnement et de santé. En revanche, elle se biodégrade très lentement et contient des produits chimiques très nocifs pour la santé. Devant cette situation, il est devenu nécessaire de rechercher d'autres matières d'origine végétale pour compenser le plastique d'origine chimique, qui est le bioplastique.

Les pelures de pomme de terre et de banane sont largement reconnues comme deux des sources d'amidon les plus abondantes, ce qui en fait des candidats idéaux pour l'extraction de l'amidon utilisé dans la production de bioplastique. Ce procédé consiste à combiner l'amidon, la pectine et la poudre de banane et à les mélanger avec de l'eau et du glycérol qui agit comme un plastifiant, à une température de 90 C. Une fois le mélange séché à l'air libre, il se transforme en une matière plastique appelée biofilm. Pour garantir leur efficacité, leur durabilité et leur adéquation à diverses applications, les bioplastiques sont soumis à des évaluations méticuleuses, notamment des évaluations de la teneur en eau, de la solubilité, de l'absorption d'eau, de la biodégradabilité et des performances mécaniques.

Mot clés : déchets, film biodégradable, pectine, amidon, peaux de banane, pomme de terre, biosourcé.

Abstract

Plastic is the most widely used material in our daily lives, but it has come in for some criticism in terms of the environment and health. It biodegrades very slowly and contains chemicals that are very harmful to health. Faced with this situation, it has become necessary to look for other materials, preferably biomaterials to compensate the chemical origin of plastics. The proposed alternatives are bioplastics.

In our work we have used potato and banana peels, these are widely recognized as two of the most abundant sources of starch, making them ideal candidates for the extraction of the starch used in the production of bioplastics. The biofilm preparation process developed consists of combining starch, pectin and banana powder using glycerol as a plasticizer. To ensure their effectiveness, durability and suitability for various applications, bioplastics undergo meticulous evaluations, including evaluations of water content, solubility, water absorption, biodegradability and mechanical performance.

Key words: waste, biodegradable film, pectin, bounce, banana peel, potato, biosourced

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	

Partie théorique

Chapitre1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

1	Généralités sur les plastiques et les bioplastiques.....	3
1.1	Les plastiques.....	3
1.1.1	Définition.....	3
1.1.2	Origines de la matière plastique.....	3
1.1.3	Les grandes familles de la matière plastique	4
1.1.4	Inconvénients des matières plastique	6
1.1.5	Recyclage de la matière plastique.....	7
1.2	Les bioplastiques.....	7
1.2.1	Definition.....	7
1.2.2	Classification des bioplastiques.....	8
1.2.3	Types de bioplastiques	8
1.2.4	Capacité mondiale de production du bioplastiques.....	9
1.2.5	Applications des bioplastiques	9
1.2.6	Avantages et Inconvénients des bioplastiques.....	10
1.2.7	Antécédents des bioplastique a base d'amidon et de peaux de banane	11

Chapitre2: Présentation de la matière première

2	Présentation de la matière première	14
2.1	Les épluchures de pomme de terre	14
2.1.1	Description morphologique.....	14
2.1.2	Composition chimique des épluchures de pomme de terre	14
2.1.3	Production de tubercule en Algérie.....	15
2.1.4	Consommation de la pomme de terre en Algérie.....	15
2.2	La peau de banane.....	16
2.2.1	Description morphologique.....	16
2.2.2	Composition chimique.....	16

2.2.3	Production et consommation de bananes et plantains dans le monde	17
2.2.4	Production et consommation de bananes et plantains dans l'Algérie	17
.		
2.3	L'amidon.....	18
2.3.1	Présentation de l'amidon	18
2.3.2	Composition de l'amidon	18
2.4	La pectine.....	20

Partie expérimentale

Chapitre3 : Matériels, méthodes et techniques de caractérisation

3.1	Extraction de la matière première.....	23
3.1.1	L'amidon	23
3.1.1.1	Matériels.....	23
3.1.1.2	Mode opératoire	23
3.1.2	La pectine	24
3.1.2.1	Matériels et réactifs	24
3.1.2.2	Mode opératoire	25
3.1.2.3	L'intérêt de l'ajout de la pectine.....	25
3.1.3	La poudre de banane.....	26
3.1.3.1	Matériels.....	26
3.1.3.2	Mode opératoire	26
3.2	Production des bioplastiques	27
3.2.1	Test préliminaire	27
3.2.2	Préparation des biofilms	27
3.2.3	Matériels et réactifs	27
3.2.4	Mode opératoire.....	28
3.3	Techniques de caractérisation	29
3.3.1	Caractérisation de la matière première.....	29
3.3.2	Caractérisation des films obtenus.....	29
3.3.2.1	Teneur en humidité.....	29
3.3.2.2	Absorption de l'eau	29
3.3.2.3	Solubilité dans l'eau distillée	29
3.3.2.4	Solubilité dans l'alcool.....	29
3.3.2.5	Teste de biodégradabilité.....	30

3.3.2.6	Propriétés mécaniques.....	30
---------	----------------------------	----

Chapitre4: Résultats et discussions

4.1	Caractérisation de la matière première.....	32
4.1.1	L'amidon	32
4.1.2	Pectine	32
4.2	Testes préliminaires.....	34
4.3	Préparation des biofilms.....	35
4.4	Caractérisation des films obtenus	36
4.4.1	La teneur en eau.....	37
4.4.2	L'absorption de l'eau.....	38
4.4.3	La solubilité dans l'eau.....	39
4.4.4	La solubilité dans l'alcool	40
4.4.5	La biodégradabilité.....	41
4.4.6	Tests mécaniques.....	42
	Conclusion générale.....	46
	Références bibliographiques	
	Annexe	

Liste des figures

Figure 1 : Quelques objets du quotidien en plastique	3
Figure 2 : Les étapes de recyclage de plastique	7
Figure 3 : Les groupes des plastiques biodégradables	8
Figure 4 : Capacités de production mondiale de bioplastiques par type de matériaux	9
Figure 5 : Quelques applications des bioplastiques	10
Figure 6 : tubercule de pomme de terre	14
Figure 7 : Des bananes	16
Figure 8 : Les peaux de banane.....	16
Figure 9 : La structure chimique de l'amylose.....	19
Figure 10 : La structure chimique de l'amylopectine	19
Figure 11 : Formule chimique de la pectine	20
Figure 12 : Matériels pour l'extraction de l'amidon	23
Figure 13 : Etapes de préparation de l'amidon	24
Figure 14 : Matériels pour l'extraction de la pectine	24
Figure 15 : Extraction de la pectine	25
Figure 16 : matériels pour préparer la poudre de banane	26
Figure 17 : Préparation de la poudre de la banane	26
Figure 18 : Matériels et réactifs pour préparer les biofilms.....	28
Figure 19 : Etapes de préparation des biofilms	28
Figure 20 : Machines utilisées pour mesurer les propriétés mécaniques.....	30
Figure 21 : Spectre FTIR de l'amidon.....	32
Figure 22 : Spectre FTIR de pectine.....	33
Figure 23 : Les échantillons des bioplastiques	34
Figure 24 : La teneur en humidité selon les variations des matières premières	36
Figure 25 : L'absorption de l'eau selon les variations des matières premières	37
Figure 26 : La solubilité dans l'eau selon les variations des matières premières	38
Figure 27 : La solubilité dans l'alcool selon les variations des matières premières.....	39
Figure 28 : La biodégradabilité selon les variations des matières premières.....	40
Figure 29 : Machine pour mesurer les propriétés mécaniques	41
Figure 30 : Résistance a la traction des films préparés.....	43
Figure 31 : Module de Yong des films préparés	43
Figure 32 : Module de Yong des films préparés	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : les thermoplastiques et leurs utilisations	4
Tableau 2 : Les thermodurcissables et leurs utilisations	5
Tableau 3 : Les catégories des élastomères	6
Tableau 4 : Composition chimique des épluchures de pomme de terre	14
Tableau 5 : la composition chimique de la peau de banane	17
Tableau 6 : Les propriétés des films selon la quantité du plastifiant.....	34
Tableau 7 : Plan de variations de matière première	35
Tableau 8 : Propriétés physiques et chimiques des échantillons.....	36
Tableau 9 : Propriétés mécaniques.....	42

Liste des abréviations

PE : Polyéthylène

PET : Polyéthylènetéréphtalate

PS : Polystyrène

PA : Polyamide

PUR : Polyuréthanes

PSI : PolyestersInsaturés

PF : Phénoplastes

MF : Aminoplastes

bio-PE : bio-polyéthylène

TPE : caoutchouc thermoplastique

PP : Polypropylène

PEF : polyfuranoate d'éthylène

PLA : polylactique

PHA : Polyhydroxycanoates

PBAT : polybutylène adipate téréphtalate

PCL : polycaprolactone

APT : Amidon de pomme de terre

FPB : Farine de peaux de banane

PCT : Pectine

°C : degré Celsius

ml : millilitres

g : gramme

MPa : méga Pascal

La croissance de l'industrie des plastiques a été astronomique en raison du développement de différentes voies de production de polymères à partir de sources pétrochimiques. Les plastiques sont très avantageux en raison de leur faible poids, de leur durabilité et de leur prix abordable par rapport à d'autres matériaux alternatifs ⁽¹⁾.

La production mondiale de plastiques a été multipliée par vingt au cours du dernier demi-siècle, passant de 15 millions de tonnes en 1964 à 311 millions de tonnes en 2014. Selon la Fondation Ellen MacArthur, elle devrait encore doubler dans les vingt prochaines années et presque quadrupler d'ici à 2050. Elle a atteint 320 millions de tonnes en 2015, 335 millions de tonnes en 2016 et 348 millions de tonnes en 2017⁽¹⁾.

Le plastique est devenu une source de richesse (27,5 milliards d'euros de contribution aux finances publiques dans les pays européens) et d'emplois (plus de 1,5 million d'emplois en Europe) ⁽²⁾.

Malgré les avantages multiples des matériaux plastiques, ils présentent d'importants inconvénients. , En effet le plastique est composé de plusieurs produits toxiques polluants pour les sols, l'air et l'eau. De plus, le matériau en question a une longue durée de vie et se dégrade très lentement, ce qui constitue une menace importante pour la vie urbaine. Les déchets produits par ce matériau ont des conséquences importantes pour la santé publique, ainsi que pour la flore et la faune des écosystèmes terrestres et marins. Son enfouissement signifierait la préservation des matières nocives pour toujours. Le Programme Environnemental des Nations Unies a estimé 2006 que chaque mile carré d'océan contient 46.00 morceaux de plastique flottants. Plus d'un million d'oiseaux de mer et environ 100.000 mammifères marins meurent chaque année après l'ingestion ou l'enchevêtrement dans les débris de plastique⁽³⁾.

Pour lutter contre ces problèmes de pollution plastique, les chercheurs ont imaginé une alternative, et ils proposent un modèle biodégradable de plastique biosourcé appelé « bioplastique ». Les bioplastiques, ou plastiques issus de sources renouvelables, sont des polymères naturels dérivés de plantes, d'algues ou d'animaux. Ces polymères ont connu un véritable essor ces dernières années du fait de leur origine biologique et surtout de leur caractère biodégradable. ⁽⁴⁾.

C'est dans ce cadre s'inscrit notre projet, dont l'objectif de notre travail est de produire des films bioplastiques de bonne qualité en utilisant des déchets ménagers largement disponibles tel que les pelures de pomme de terre et la peau de banane.

Notre manuscrit est divisé en deux parties :

La première partie est une synthèse bibliographique. Elle regroupe dans un premier chapitre qui exposera et décrira des généralités sur les plastiques et sur les bioplastiques. Le second chapitre sera consacré aux matières premières utilisées.

Pour la deuxième partie, consacré a l'aspect expérimentale, les méthodes d'extraction de la matière première et les protocoles de fabrication et de caractérisation des bioplastiques sont décrit dans un premier chapitre intitulé « matériels et méthodes ». Nous enchainons avec le deuxième chapitre qui lui regroupe les différents résultats obtenus ainsi qu'une discussion de ces derniers.

A partir de l'interprétation des résultats expérimentaux, nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Première partie



Synthèse

Bibliographique

Chapitre 1:

Généralité sur les

plastiques

et les

bioplastiques

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

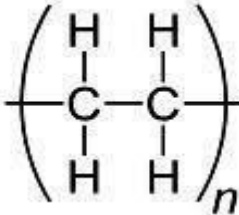
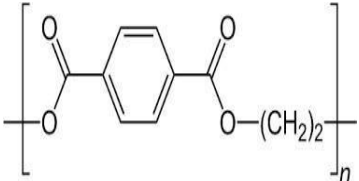
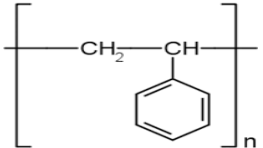
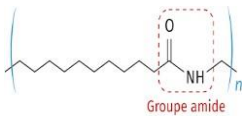
1.1.3 Les grandes familles de la matière plastique

Les plastiques peuvent être classés en différentes familles en fonction de leurs propriétés chimiques et physiques. Ces familles sont souvent regroupées en fonction de la structure de leur polymère de base. Parmi ces familles on peut citer :

➤ Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des chaînes polymères reliées entre elles par des faibles liaisons, elles se présentent sous forme solide (granules, plaques) qu'on met en forme en les ramollissant par chauffage, puis on les solidifie par refroidissement. Ils sont réversibles et facilement recyclables⁽⁹⁾. Le tableau suivant présente quelques exemples de thermoplastiques et leurs utilisations (Tableau 1).

Tableau 1 : les thermoplastiques et leurs utilisations⁽⁸⁾

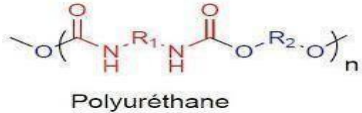
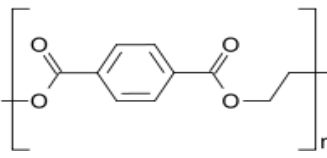
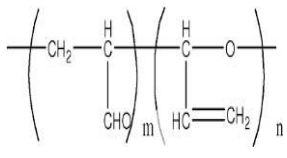
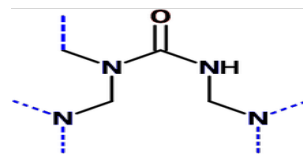
Le polymère	L'abréviation	La formule chimique du monomère	Utilisations
Polyéthylène	PE		Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. Produits souples : sacs, films, sachets, bidon, et bouteilles souples.
Polyéthylène téréphtalate	PET		Fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de soda. Usage limité par la température.
Polystyrène	PS		Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt... « cristal » : nombreux types de boîtes, boîtiers CD.
Polyamide	PA		Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie et de serrurerie.

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

➤ Les thermodurcissables

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissement : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. La technique de fabrication est difficile à mettre en œuvre mais elle produit des matériaux très solides et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur. Les aminoplastes sont les plastiques thermodurcissables les plus utilisés⁽⁵⁾. Le tableau suivant présente quelques exemples de plastiques thermodurcissables et leurs utilisations (Tableau2).

Tableau 2 : Les thermodurcissables et leurs utilisations⁽⁸⁾

Polymère	Abréviation	La formule chimique du monomère	Utilisations
Polyuréthanes	PUR	 <p>Polyuréthane</p>	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres. Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord.
Polyesters Insaturés	PSI		Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, piscines, carrosseries d'automobiles, coques et cabines de bateaux.
Phénoplastes	PF		Domaines scientifiques et réalisation d'objets : téléphones, poste de radio, pour fabriquer les poignées de casserole....
Aminoplastes	MF		Mobilier de cuisine, plans de travail, bois agglomérés, mélaminé, matériel électrique, vernis de parquets, peintures.

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

➤ *Les élastomères*

Les élastomères sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture⁽⁵⁾. Le tableau suivant présente quelques catégories des élastomères (Tableau3).

Tableau 3 : Les catégories des élastomères⁽⁸⁾

Catégories	Matériaux
Caoutchoucs	<ul style="list-style-type: none">- Caoutchouc naturel, cis-1,4-polyisoprène.- Copolymère styrène-butadiène.- Polyisoprène synthétique.
Elastomères Spéciaux	<ul style="list-style-type: none">- Co- ou therpolymères d'éthylène.- Copolymères d'isobutylèneisoprène.- Polychloroprènes
Elastomères très spéciaux	<ul style="list-style-type: none">- Caoutchoucs de silicone.- Elastomères fluorés.- Polycrylates.

1.1.4 Inconvénients des matières plastiques

Le processus de fabrication du plastique implique l'utilisation de divers produits chimiques, de nombreux additifs qui pourraient être dangereux pour la santé s'ils sont consommés tels que des stabilisants (stabilisants antioxydants, stabilisants au UV) et des colorants (colorants organiques). Aucune évaluation n'a été menée concernant les risques environnementaux potentiels qu'ils peuvent poser et les effets potentiels sur la santé humaine.

La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables, ce qui signifie qu'ils ne se décomposent pas naturellement dans l'environnement ce qui entraîne une accumulation à long terme des déchets plastiques. La production de plastique nécessite l'utilisation de ressources fossile non renouvelables, l'extraction et la transformation de ces ressources ont un impact environnemental significatif ⁽⁵⁾.

1.1.5 Recyclage de la matière plastique

Avec la hausse constante du prix des matières premières ainsi qu'avec le spectre d'une éventuelle pénurie de ces matières, le recyclage des matières plastiques devient un aspect important à considérer dans le contexte actuel d'une économie à faible croissance. Le problème des déchets plastiques est un problème qui est directement relié à notre mode de vie, c'est-à-dire qu'à cause des nouvelles applications et des développements de nouveaux polymères, notre consommation de plastiques augmente et avec cette augmentation, on génère une quantité croissante de déchets polymériques. Tout déchet constitue une perte énergétique. Le recyclage des matières plastiques peut passer par des procédés destructifs ou par des procédés non-destructifs ⁽¹⁰⁾. Ces étapes sont illustrées dans la figure ci-dessous.



Figure 2 : Les étapes de recyclage de plastique

1.2 Les bioplastiques

1.2.1 Définition

Les bioplastiques sont des polymères ou des matières plastiques fabriqués à partir de sources renouvelables, telles que des matières premières d'origine végétale (amidon de maïs, la canne à sucre, les algues) ou animale (collagène, la chitine). Contrairement aux plastiques traditionnels dérivés du pétrole, les bioplastiques visent à réduire l'impact environnemental en diminuant la dépendance aux ressources non renouvelables et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre lors de leur production ⁽¹¹⁾.

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

1.2.2 Classification des bioplastiques

Les bioplastiques peuvent être catégorisés selon plusieurs méthodes. Ils peuvent être classifiés selon leurs compositions chimiques, leurs méthodes de synthèse, leurs procédés de fabrication, leurs importances économiques ou leurs applications. La figure (03) représente les quatre groupes des plastiques biodégradables :

- Groupe 1 : Les bioplastiques naturels issus directement de la biomasse.
- Groupe 2 : Les bioplastiques issus des microorganismes par fermentation Microbienne.
- Groupe 3 : Les bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères Renouvelables.
- Groupe 4 : Les bioplastiques pétrochimiques biodégradables⁽¹²⁾.

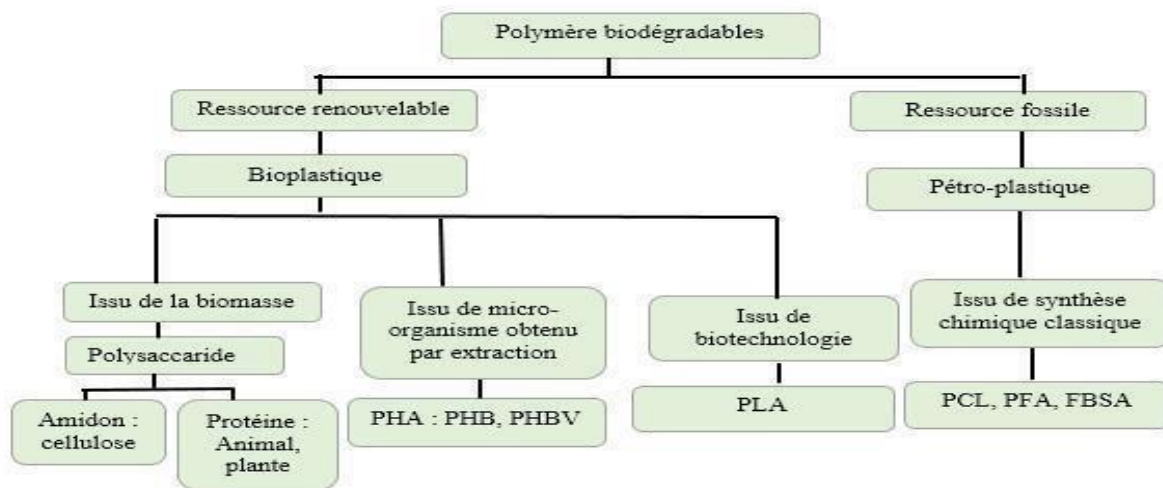


Figure 3 : Les groupes des plastiques biodégradables

1.2.3 Types de bioplastique :

Il existe trois groupes de bioplastiques

- ✓ Les plastiques biosourcés non biodégradables, tels que les plastiques traditionnels : bio-polyéthylène (bio-PE), polyamide (PA), polyuréthane (TPU), caoutchouc thermoplastique (TPE). De nouvelles matières sont en développement tel que les Bio Polypropylène (PP) et le polyfuranoate d'éthylène (PEF).
- ✓ Les plastiques bio sources et biodégradables, qui sont des polymères à structure innovante : polylactique (PLA), polyhydroxyalcanoates (PHA).
- ✓ Et les plastiques issus de ressources fossiles et biodégradables : polybutylène adipate

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

téréphtalate (PBAT), polycaprolactone (PCL)⁽⁵⁾.

1.2.4 Capacité mondiale de production du bioplastiques

La figure 4 montre les capacités de production mondiale des bioplastiques par type de matériau. L'Europe possède le plus grand marché mondial de bioplastiques; cependant, les capacités de production de l'Asie et de l'Amérique du Sud se développent rapidement⁽¹³⁾. La capacité de production mondiale de bioplastiques en 2021 a été documentée à environ 2,417 millions de tonnes, comme indiqué par les données d'European Bioplastics. L'industrie de l'emballage se développe dans le monde entier, avec une augmentation notable en Asie-Pacifique, cette région possède la plus grande capacité de production de bioplastiques, représentant environ 45 % de la capacité mondiale. De plus, les gouvernements de pays comme la Chine, l'Inde et le Japon ont mis en place des réglementations strictes et sensibilisé les consommateurs à la consommation de bioplastiques, contribuant ainsi à cette tendance à la croissance. À l'heure actuelle, plus de 1,5 million de tonnes ou 64 % de la capacité de production totale de bioplastiques sont attribuées aux plastiques biodégradables comme le PHA, le PLA et les mélanges d'amidon, entre autres. Selon une étude, les plastiques biosourcés non biodégradables représentent environ 36 % de la capacité de production mondiale de bioplastiques, qui s'élève à plus de 866 000 tonnes ⁽¹⁴⁾.

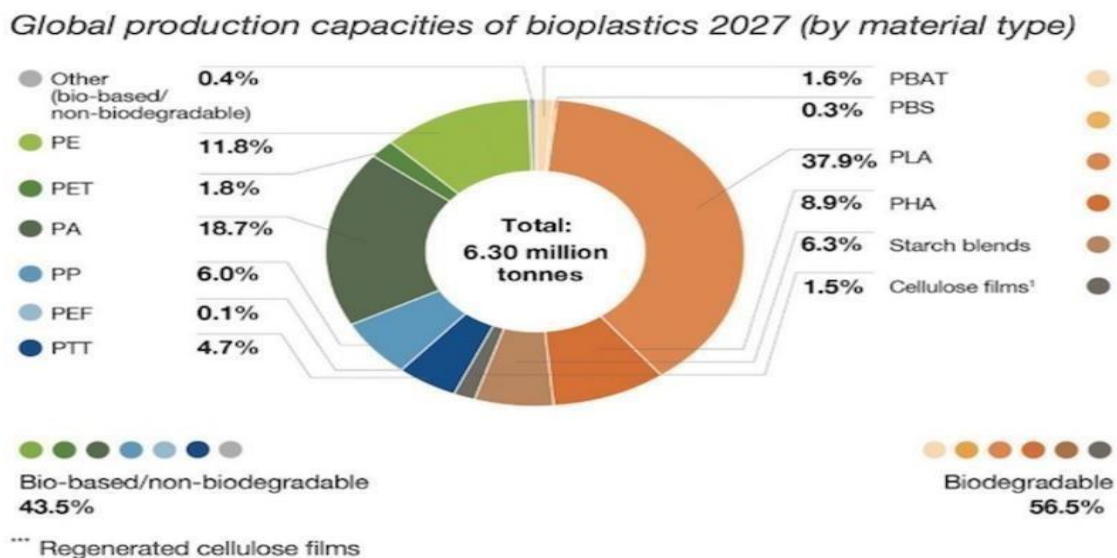


Figure 4 : Capacités de production mondiale de bioplastiques par type de matériaux

1.2.5 Applications des bioplastiques ⁽¹⁵⁾

- **Emballages** : Dans le secteur des emballages, l'offre des produits biodégradables est

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

réellement aboutie pour de nombreuses applications : emballage alimentaire, capsules de café, particules de calage.

- **Sacs** : Le segment du sac présente un fort potentiel de marché.
- **En agriculture** : Les bioplastiques sont utilisés par exemple pour la fabrication de liens ou clips horticoles, d'agrafes de vigne, de ficelle ou de films de paillage biodégradables... Ils limitent les opérations de collecte et les coûts de ramassage.
- **Produits à usage unique** : Les bioplastiques sont utilisés dans le secteur de la restauration hors domicile : couverts, gobelets, boîtes...
- **Produits d'hygiène ET COSMÉTIQUES** : Des bioplastiques peuvent être incorporés dans des produits variés : cotons-tiges, couches culottes, produits d'hygiène féminine...
- **SECTEUR AUTOMOBILE** : Les bioplastiques peuvent aussi servir de composant pour des pneumatiques de véhicule ou entrer dans la fabrication de pièces automobiles. La figure 5 présente quelques applications de bioplastiques.



Figure 5 : Quelques applications des bioplastiques

1.2.6 Avantages et Inconvénients des bioplastiques

✓ *Avantages*

Les bioplastiques présentent plusieurs avantages, parmi eux on cite les suivants :

- Les bioplastiques sont renouvelables, compostables et contribuent à réduire la pollution de l'environnement.
- Réduction de l'empreinte carbone (L'empreinte carbone est un indicateur qui vise à mesurer l'impact d'une activité sur l'environnement, et plus particulièrement les

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

émissions de gaz à effet de serre liées à cette activité).

- Les bioplastiques génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre et ne contiennent pas de toxines.
- Les bioplastiques tels que le polyéthylène téréphtalate biosourcé (bio-PET) sont similaires aux plastiques à base de fossiles et peuvent être recyclés de la même manière que les plastiques classiques.
- Les bioplastiques biosourcés à la fin de leur vie, lorsque le recyclage n'est plus une option, ces matériaux peuvent être brûlés pour produire des énergies renouvelables et / ou être utilisés pour fabriquer des biocarburants.
- Les bioplastiques contribuent à l'augmentation de la fertilité des sols, la faible accumulation de matières plastiques dans l'environnement et la réduction du coût des déchets générés⁽¹⁶⁾.

✓ *Inconvénients*

- **Problèmes de recyclage** : Le matériau bioplastique pourrait contaminer le processus de recyclage. Par exemple, en travaillant avec les rayons infrarouges en système de séparation des déchets, les bioplastiques ne peuvent être séparés, d'où ils seront contaminés en présence des matières plastiques conventionnelles.
- **Réduction des matières premières**: L'utilisation de bioplastiques fabriqués à partir de ressources agricoles interfère avec l'approvisionnement en matières premières alimentaires. Afin de minimiser la consommation d'énergie et la concurrence potentielle avec les ressources agricoles utilisées pour l'alimentation, la tendance actuelle est de valoriser les sous-produits alimentaires⁽⁵⁾.

1.2.7 Antécédents des bioplastiques à base d'amidon et de peaux de banane

Les bioplastiques à base d'amidon et de peaux de banane ont évolué au fil du temps en réponse à la demande croissante de solutions durables. Les avancées dans les techniques de traitement et les recherches sur les propriétés ont permis de développer des bioplastiques plus performants et plus respectueux de l'environnement. Les bioplastiques à base d'amidon se sont développés dans les années 1990 en réponse aux préoccupations croissantes concernant la dépendance aux plastiques dérivés du pétrole et leurs impacts environnementaux et l'amidon est utilisé comme matière première pour produire des polymères qui peuvent être transformés en divers produits, tels que des films, des sacs, des

Chapitre 1 : Généralités sur les plastiques et les bioplastiques

emballages. Les chercheurs ont exploré diverses méthodes pour extraire les composants de la peau de banane a fin de les utiliser comme matière première pour la fabrication de bioplastique qui peuvent être utilisées dans diverses applications, notamment les films, les revêtements et les emballages. Les recherches sur les bioplastiques a base d'amidon et peaux de banane se poursuivent afin d'améliorer les propriétés des matériaux, d'optimiser les processus de fabrication et d'explorer de nouvelles applications⁽¹⁵⁾.

Chapitre 2 :
Présentation de
la matière
Première

2 Présentation de la matière première

2.1 Les épluchures de pomme de terre

2.1.1 Description morphologique

La pomme de terre (figure 6) se situe au 4^{ème} rang de l'ensemble des cultures vivrières dans le monde derrière le maïs, le blé et le riz .elle est la première culture non céréalière au monde. Originnaire d'Amérique du sud, elle est une plante vivace de la famille solanacées de genre *solanum tuberosum* pouvant atteindre une mètre de hauteur.la pomme de terre est riche en amidon et en oligo-élément comme le potassium, le phosphore, le fer et le magnésium⁽⁵⁾



Figure 6 : tubercule de pomme de terre

2.1.2 Composition chimique des épluchures de pomme de terre

L'eau est le constituant majeur des épluchures de pomme de terre avec une teneur de 83.3%. Une quantité relativement élevée en glucides (sucres), un faible taux de substances azotées et très peu de lipides⁽¹⁷⁾. Sa composition moyenne est donnée dans le tableau 4

Tableau 4 : Composition chimique des épluchures de pomme de terre

Constituant	La valeur moyenne (%)
Eau	83.3-85.1
Total lipides	0.1-0.4
Glucides totaux (sucres)	19.4
Amidon	7.8
Fibres	2.5

2.1.3 Production de tubercule en Algérie

Elle est majoritairement cultivée dans les régions : littoral, sublittoral, atlas tellien et les hautes plaines⁽¹⁸⁾.

- Primeur (plantation octobre-novembre) dans : Boumerdes, Tipaza, Skikda, Alger, Mostaganem et Tlemcen.
- Saisonnière (plantation janvier-mars) dans : Ain-defla, Mascara, Mila, Souk-ahras, Boumerdes, Mostaganem, Sétif, Tizi-Ouzou, Tiaret, Tlemcen, Batna, Chlef, Bouira et El-oued.
- Arrière-saison (plantation juillet-aout) dans : Ain-defla, Mascara, Guelma, Chlef, El oued, Tlemcen, Mostaganem et Djelfa.

2.1.4 Consommation de la pomme de terre en Algérie

L'importance de la place qu'occupe la consommation de pomme de terre dans la ration alimentaire de l'Algérien moyen, a été induite par les choix en matière de politique alimentaire, arrêtés et suivis depuis les années 1970. Devant l'importance des niveaux de consommation enregistrés pour les céréales, pas moins de 200 Kg / hab /an, les planificateurs ont admis qu'il est possible et souhaitable que la pomme de terre substitue une partie des céréales dans la ration alimentaire de l'Algérien. Ainsi, supposée produire plus de calories par hectare que le blé, la pomme de terre est promue au rang de «produit stratégique». Elle sera dotée d'un ensemble de mesures et d'organismes de soutien. La production a effectivement suivi, passant de près de 2,5 millions de quintaux en moyenne annuelle 1964-1973 à plus de 16,4 millions de quintaux pour la période 2000/2007. La consommation intérieure de pomme de terre a effectivement répondu à cette politique. Elle a presque doublé en moyenne nationale par habitant et par an, passant de 22 Kg en 1967 à 41 kg en 1988⁽¹⁹⁾.

2.2 La peau de banane

2.2.1 Description morphologique

La banane (figure7) appartient à la famille Musa et est cultivée dans la plupart des pays tropicaux. C'est un aliment important consommé dans le monde entier et il peut être consommé non mûr ou mûr, cru ou transformé. Le fruit contient des vitamines (A, B et C), des minéraux (calcium, potassium et fer) et est peu calorique (90 à 120 kcal/ 100 g) ⁽²⁰⁾.

Une peau de banane (figure 8), aussi appelée pelure de banane, est l'écorce de ce fruit. Les peaux de banane ont de nombreuses applications, notamment comme produits biochimiques utilisés en nutraceutique, en biotechnologie industrielle, en alimentation animale, en bioremédiation (décontamination, purification de l'eau)⁽²¹⁾.



Figure 7 : Des bananes



Figure 8 : Les peaux de banane

2.2.2 Composition chimique

La peau de banane est un déchet alimentaire qui finit généralement dans la poubelle ou dans le meilleur des cas au composte, pour ceux qui en possèdent. La peau de banane est composée approximativement de 40% d'**amidon** et 30 % de sucres rapides de plus lorsque la banane est bien mûre, à peu près 30 % de fibres, de la vitamine A, de la vitamine B, de la vitamine C, des sels minéraux comme le calcium, le magnésium et le potassium, ainsi qu'une importante quantité de manganèse, de cuivre et d'antioxydants. Le tableau 5 présente la composition chimique de la peau de banane⁽²²⁾.

Tableau 5 : la composition chimique de la peau de banane

Composants	Valeur moyenne %
Eau	75,02
Protides	1,8
Lipides	0,6
Glucides	20,8
Cellulose	0,8
Tanin	0,4

2.2.3 Production et consommation de bananes et plantains dans le monde

. Dans le monde, la production de ce fruit dépasse 106 millions de tonnes par an, ce qui en fait le fruit le mieux classé en termes de rendement. Les systèmes de culture de ce fruit sont très diversifiés, avec des objectifs variés tels que l'autoconsommation, la vente sur les marchés locaux et nationaux, et l'exportation vers les régions proches et les pays industrialisés de l'hémisphère Nord. Près de 90% de la production de fruits est attribuée à de petits agriculteurs qui cultivent principalement pour la consommation domestique et les marchés locaux, tandis qu'un peu plus de 10% de la production est destinée à l'exportation. La production de ce fruit se divise en deux filières principales : une qui est uniquement dédiée à la culture de bananiers destinés à l'exportation, et une autre qui fait appel à des méthodes de polyculture pour approvisionner les marchés locaux et pour l'autoconsommation familiale. Ils sont généralement consommés comme fruits frais ou cuits/frits comme légume, mais peuvent également être transformés en divers aliments tels que des chips, des frites, des beignets et de la purée, ainsi qu'en condiments comme la confiture, le ketchup et les boissons alcoolisées. De plus, d'autres parties de la plante sont utilisées comme fibres textiles ou pour construire des abris, fabriquer des couvertures ou comme emballages de cuisine⁽²³⁾.

2.2.4 Production et consommation de bananes et plantains dans l'Algérie⁽⁹⁾

Les experts dans le domaine de l'agriculture ont noté que les arbres fruitiers exotiques, qui poussent principalement dans les régions tropicales, nécessitent trois conditions essentielles pour une croissance optimale : un sol riche en humus, un climat humide et une quantité de chaleur importante. Alors que la première exigence peut être satisfaite, les deux dernières

Chapitre2 : Présentation de la matière première

sont difficiles à atteindre dans un climat méditerranéen sec pendant les mois d'été. En conséquence, la culture des fruits exotiques en Algérie est généralement réalisée sous serre, car c'est la méthode la plus efficace et la plus largement utilisée pour ceux qui ont choisi de poursuivre ce type de culture.

Le cas du jeune Zoheir Fatssi qui a réussi à relancer la culture de la banane dans la wilaya de Jijel, en recourant à la culture sous serres multi-chapelles, est un exemple édifiant sur la possibilité de planter des bananiers en Algérie et d'espérer une production et une qualité qui n'ont rien à envier aux bananes importées d'Amérique latine et d'ailleurs...

On peut citer le cas de Moura Albani, de Tipasa, qui peut se targuer d'être le pionnier de la culture de la banane en Algérie en utilisant des centaines de serres et qui envisage d'exporter sa production vers la Tunisie en raison de la bonne qualité de son produits en goût et en calibre car généralement les bananiers cultivés sous serres donnent des fruits aux dimensions menues et au goût âpre.

2.3 L'amidon

2.3.1 Présentation de l'amidon

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose $C_6H_{12}O_6$. Il est la principale substance glucidique de réserve des plantes supérieures. On le trouve stocké dans les organes de réserve des végétaux tels que les céréales (30-70% de la matière sèche), les tubercules (60-90 %) et les légumineuses (25 à 50 %). C'est un composé nutritionnel abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d'emplois d'amidon granulaire et comme matières sucrantes, support lorsqu'il est utilisé sous forme hydrolysé⁽⁹⁾.

2.3.2 Composition de l'amidon

L'amidon consiste en deux glucanes structurellement différents : l'amylose polymère Linéaire et l'amylopectine polymère fortement branché. L'amylopectine est le constituant principal de la plupart des amidons.

2.3.2.1 Amylose

L'amylose est un polymère linéaire constitué de résidus D-glucopyranose liés par des liaisons α -1,4 (liaison avec l'oxygène glucosidique en position axiale. Il est l'analogue α de

Chapitre 2 : Présentation de la matière première

cellulose, qui, lui, est un polymère linéaire de résidus D-glucopyranose liés par des liaisons β -1,4 (liaison avec l'oxygène glucosidique en position équatoriale).

Le degré de polymérisation (DP) varie entre 100 et 10000. Chaque macromolécule est terminée par une unité réductrice et un non réducteur. En général, plus il y a d'amylose, plus il y a de zones cristallin⁽²⁴⁾. La structure chimique de l'amylose est présentée dans la figure 9

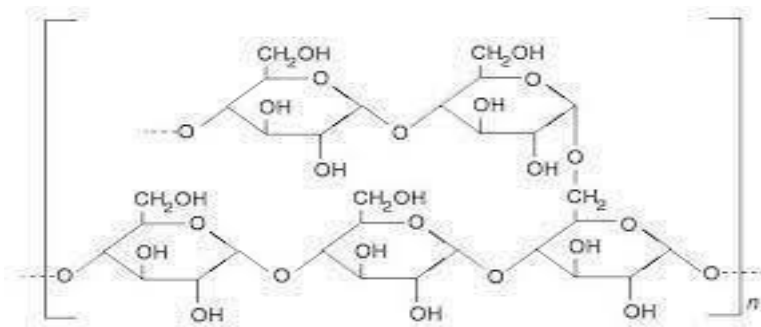


Figure 9 : La structure chimique de l'amylose

2.3.2.2 L'amylopectine

Les molécules de glucose (jusqu'à 2 millions de résidus) forment une chaîne linéaire, elles sont reliées entre elle par des liaisons α -1,4 glycosidiques donnant à l'amylopectine une structure arborescente.

La molécule d'amylopectine possède des masses molaires de l'ordre de plusieurs millions ($M_w = 10^8 \text{ g.mol}^{-1}$). Soit plus élevées que l'amylose ce qui fait d'elle la plus grosse macromolécule connue à ce jour⁽²⁴⁾. La structure chimique de l'amylopectine est présentée dans la figure 10.

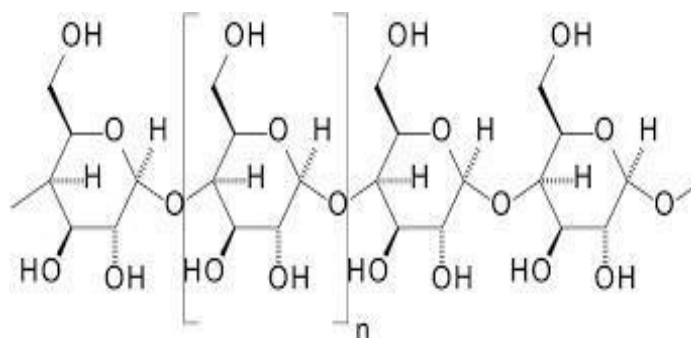


Figure 10 : La structure chimique de l'amylopectine

2.4 La pectine

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux. Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux⁽⁹⁾.

Sur le plan structural, les pectines sont une famille de polysaccharides complexes qui contiennent un enchaînement d'unités d'acide α -D-galacturonique liées entre elles par des liaisons α (1-4), interrompu par la présence d'unités L-rhamnopyranose. Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide. L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel⁽²⁵⁾. La structure chimique de la pectine est dans la figure 11.

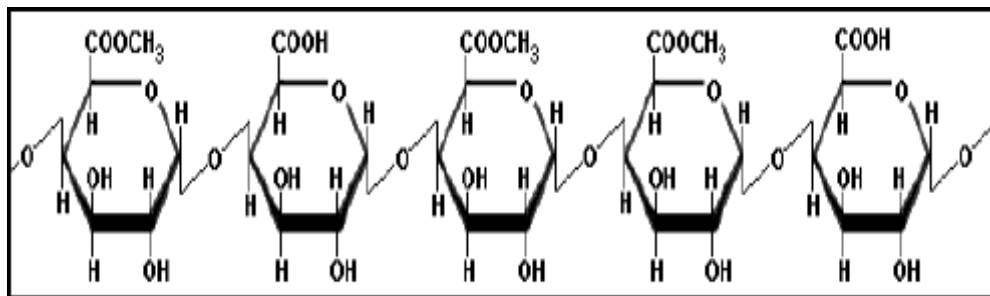


Figure 11 : Formule chimique de la pectine

Conclusion

générale

Conclusion

Les bioplastiques ont un large éventail de propriétés et d'applications et sont aujourd'hui des matériaux importants dans de nombreux secteurs industriels.

La demande mondiale continue de croître, ce qui s'applique également au potentiel de performance de ces substances.

L'objectif de ce travail était donc de valoriser des déchets alimentaires pour la production des bioplastiques biodégradables répondant aux normes de qualité et de performances requises.

Afin de préparer nos bioplastiques, trois matières premières ont été extraites. De la poudre de banane et de la pectine à partir des peaux de bananes, et de l'amidon à partir des pelures de pomme de terre.

Après avoir déterminé la méthode et la quantité de plastifiants à utiliser, différentes variations de matières premières ont été effectuées, grâce auxquelles 13 biofilms ont été obtenus.

Pour évaluer la qualité des bioplastiques obtenus, nous avons procédé à des tests physico-chimiques afin de déterminer leur solubilité dans l'eau, dans l'alcool et leur capacité d'absorption ainsi que leur teneur en humidité. Par la suite, nous n'avons effectué des analyses mécaniques pour évaluer leurs propriétés mécaniques. En outre, un test de biodégradabilité a été réalisé.

Selon les résultats obtenus, les films fabriqués à partir d'amidon ainsi que du mélange d'amidon, de pectine et de poudre de banane se sont avérés faiblement solubles, ils ont également montré une capacité moyenne d'absorption d'eau. Les taux obtenus sont supérieurs aux normes requises pour la production de plastique à usage unique. Cependant, les matériaux préparés ont montré un taux de biodégradabilité satisfaisant.

En termes des propriétés physico-chimiques et mécaniques, le bioplastique 5 dont la composition est de 80% d'amidon et 20% de farine des peaux de banane semble être le plus prometteur. Tandis que, du point de vue de la biodégradabilité, le bioplastique 9 composé de 80% d'amidon et 20% de pectine est le meilleur avec 92% de taux de biodégradabilité.

On peut conclure que, l'ajout de la poudre de banane a une influence sur les propriétés physico-chimiques surtout l'absorption de l'eau et la solubilité dans l'eau et les propriétés mécanique en augmentant leurs rigidités des biofilms. Alors que, l'ajout de la pectine a une influence sur le paramètre de biodégradabilité.

Les bioplastiques obtenus peuvent être utilisés dans des domaines spécifiques selon les caractéristiques de chacun d'eux.

Selon les résultats obtenus, les bioplastiques pourrait représenter une alternative à ces problèmes en remettant en question notre mode de fabrication et en prenant en compte les aspects environnementaux.

Cependant, il reste encore a étudier des méthodes économiques et écologiques permettant d'améliorer les propriétés des bioplastiques afin de les rendre comparables avec les films plastique commerciaux. Ces recherches visent a découvrir de nouvelles solutions pour atteindre cet objectif.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- (1) Fondation Ellen MacArthur, Pour une nouvelle économie des plastiques, rapport présenté au Forum économique mondial en 2016.
- (2) Nathalie Gontard, Déchets plastiques : la dangereuse illusion du tout-recyclage, The conversation, 28 janvier 2018.
- (3) Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
- (4) OUCIF ALOUANE, A. (2016). Valorisation des déchets de la pomme de terre par la fabrication de bioplastique dans la région de Souf.
- (5) Maamri, S., & Haga, A. (2022). Etude structurale de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre (FTIR-RDX
- (6) MAHDI, S., & TAHMI, A. (2020). Etude de la récupération et de la valorisation de quelques déchets plastiques destinés à l'emballage (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA
- (7) Adjoudj, F., & Mohammedi, D. (2017). Etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri)
- (8) <https://www.technologuepro.com/cours-conception-moules-sb/chapitre-1-proprietes-matieres-plastiques-caracterisation.pdf>
- (9) Latifa, M. B. H. (2016). Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables. Mémoire de doctorat
- (10) BATAILLE, P. (1980). RECYCLAGE DES PLASTIQUES. INGENIEUR (CAN), (340).
- (11) ARIKAN, E. B., & Bilgen, H. D. (2019). Production of bioplastic from potato peel waste and investigation of its biodegradability. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 3(2), 93-97.
- (12) Lapointe, R. (2012). Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles mais significatives (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.).

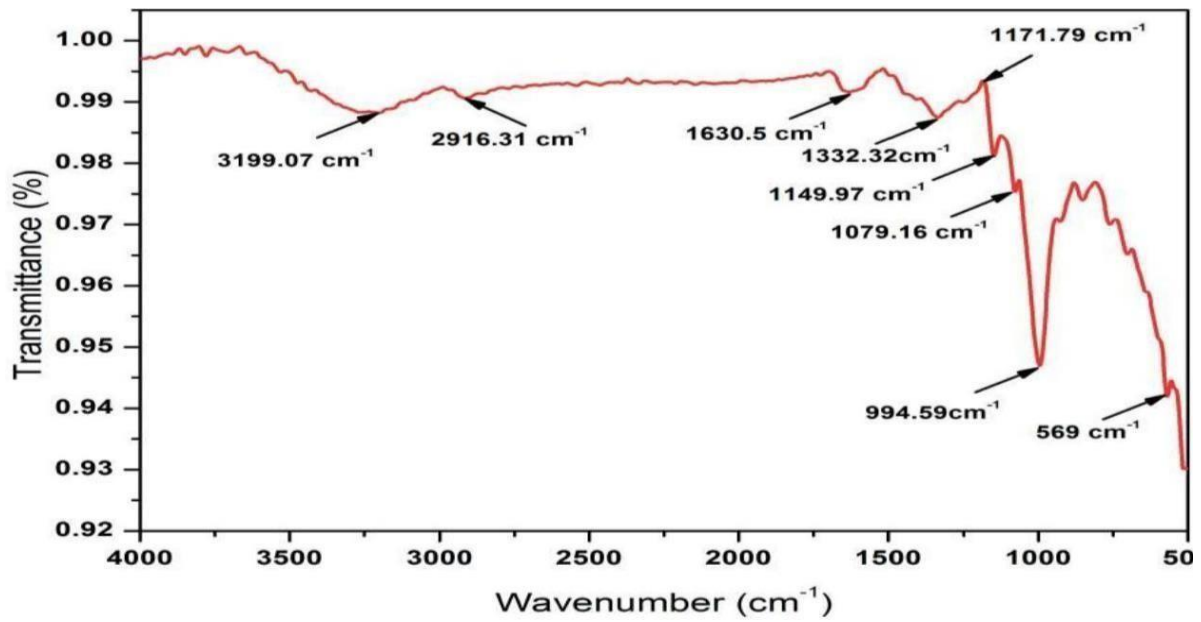
Références bibliographiques

- (13) European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, Nova Institute
- (14) Chen, Y. J. (2014). Bioplastics and their role in achieving global sustainability. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(1), 226-
- (15) Zoubir, H., & Benchiekh, N. Optimisation de la production du bioplastique par la méthodologie du surface du réponse (Doctoral dissertation, Université KASDI- MERBAH Ouargla).
- Arikan, E. B., & Ozsoy, H. D. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *J. Civil Eng. Arch*, 9, 188-192, page 191.
- (16) Arikan, E. B., & Ozsoy, H. D. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *J. Civil Eng. Arch*, 9, 188-192
- (17) Igor Sepelev, Ruta Galoburda ‘‘INDUSTRIAL POTATO PEEL (Solanumtuberosum) WASTE APPLICATION IN FOOD (2015) vol
- (18) Fiche technique valorisée des cultures maraîchères et industriels’’, ITCMI (2010)vol 10.
- (19) Tria, M., & Chehat, F. (2013). Typologie des producteurs de pomme de terre dans la région d’Ain Defla. *Les cahiers du CREAD*, 103, 107-136.
- (20) Borges, A. L., SOUZA, L. D. S., & Oliveira, A. M. G. (2007). Banana
- (21) Oliveira, L., Freire, CS, Silvestre, AJ et Cordeiro, N. (2008). Extraits lipophiles de résidus de bananes : une source de précieux phytostérols. *Journal de chimie agricole et alimentaire*, 56 (20), 9520-9524.
- (22) DUPAIGNE P. POUVOIR NUTRITIF ET DIETETIQUE DE QUELQUES FRUITS D’ORIGINE TROPICALE : BANANE, ANANAS, AVOCAT Mai 1980,IRFA, p 37 – 43
- (23) Lassois, L., Busogoro, J. P., & Jijakli, H. (2009). La banane: de son origine à sa commercialisation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(4).
- (24) El Hadji Babacar, L. Y. (2008). Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose. Institut National Polytechnique de Grenoble.
- (25) Ragoubi, M. (2010). Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne (Doctoral dissertation, Nancy 1).

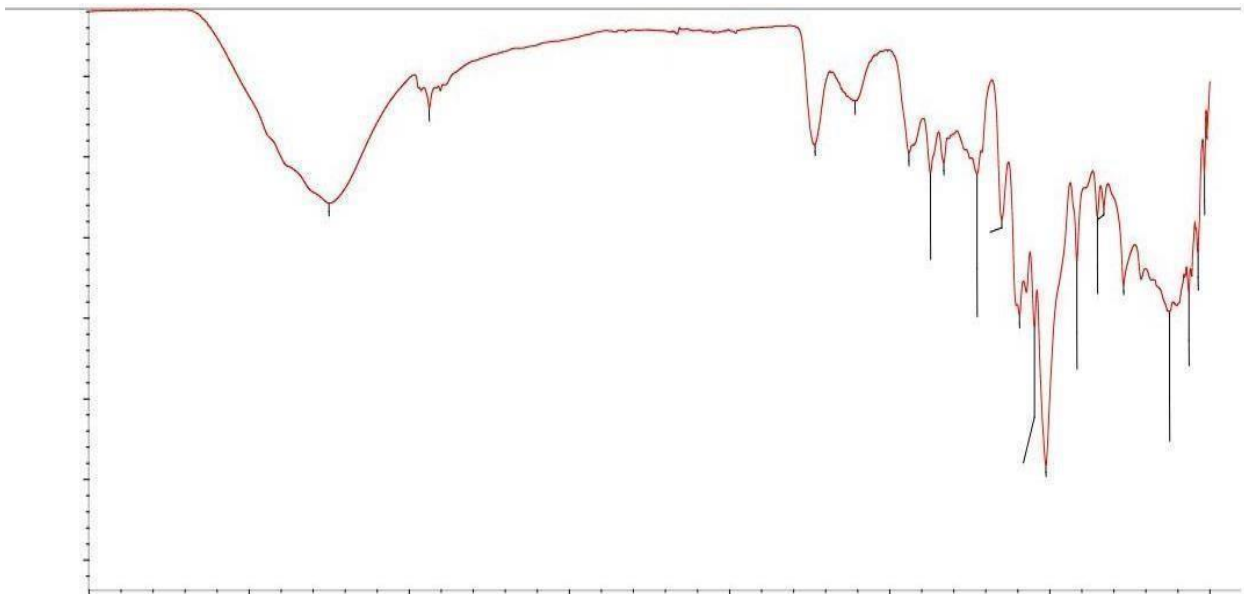
Références bibliographiques

- (26) Jeyasubramanian, K., & Balachander, R. (2016). Starch bioplastic film as an alternative food-packaging material. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 75(2), 78-84.
- (27) Chodijah, S., Husaini, A. et Zaman, M. (2019, février). Extraction de pectine de peaux de banane (*Musa paradisiaca fomatypica*) pour films plastiques biodégradables. Dans *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1167, No. 1, p. 012061). Édition IOP.
- (28) Salazar, D., Arancibia, M., Lalaleo, D., Rodríguez-Maecker, R., López-Caballero, ME et Montero, MP (2022). Propriétés physico-chimiques et aptitude filmogène pour l'emballage comestible des farines de bananes vertes équatoriennes (*Musa acuminata* AAA). *Hydrocolloïdes alimentaires* , 122 , 107048.
- (29) Shafqat, A., Al-Zaqri, N., Tahir, A., & Alsalme, A. (2021). Synthèse et caractérisation de bioplastiques à base d'amidon à l'aide d'ingrédients végétaux variés, de plastifiants et de charges naturelles. *Journal saoudien des sciences biologiques* , 28 (3), 1739-1749.
- (30) De Paola, M. G., Andreoli, T., Lopresto, C. G., & Calabrò, V. (2022). Starch/pectin-biobased films: How initial dispersions could affect their performances. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(17), 52032.
- (31) Tarique, J., Sapuan, SM et Khalina, A. (2021). Effet de la charge de plastifiant de glycérol sur les propriétés physiques, mécaniques, thermiques et barrières des biopolymères d'amidon d'arrow-root (*Maranta arundinacea*). *Rapports scientifiques*, 11 (1), 13900.

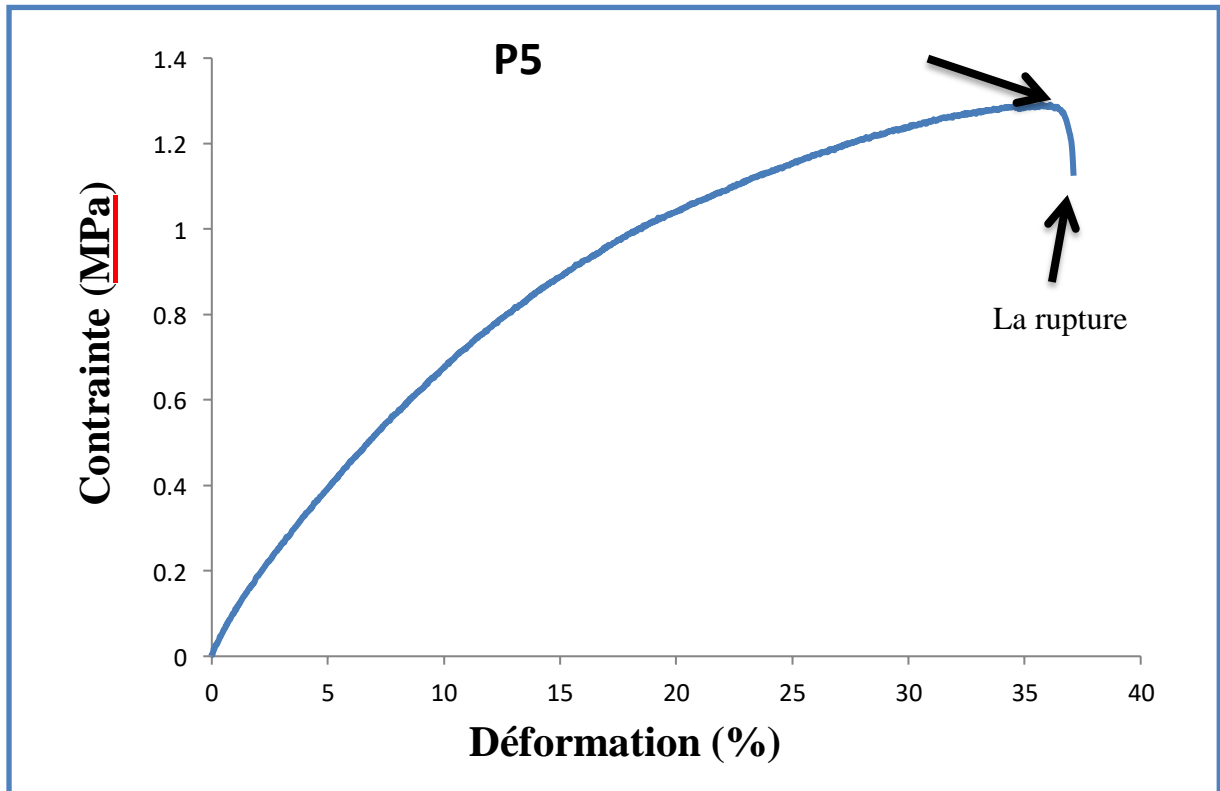
Annexe



Spectre FTIR d'amidon tiré de la bibliographie⁽²⁶⁾



Spectre FTIR de la pectine tiré de la bibliographie⁽²⁷⁾



La courbe de la contrainte en fonction de la déformation