

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

**Etude comparative sur la préparation de bioplastique
biodégradable par deux sources d'amidons différents**

Présenté par :

Abdelwahab ALLOUT

Zouhir DADDI BABA

Devant le jury composé de :

Bahmed FEKHAR

MAB

Université Ghardaïa

Encadrant

Nacera LAHOUEL

AR

URAER-Ghardaïa

Examineur

Ikram ZEBIRI

MAB

Université Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2021/2022

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le Bon Dieu pour m'avoir donnée la force, le courage la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon bien être, je vous remercie pour tout le soutien le courage que vous me portez tout au long de mon parcours.

À mon frère et ma sœur et à toute la famille.

À tous mes amis et tous ceux qui m'ont soutenus de près ou de loin et me souhaités toujours la réussite et le bonheur.

Zouhir Daddi baba

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le tout « puissant Allah » qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, en témoignage de ma profonde affection et ma reconnaissance pour leur amour, soutien, confiance et qui m'ont donné une éducation sans laquelle je n'aurais pas pu évoluer dans la vie.

A mon frère et mes sœurs

A tous les membres de ma famille

A tous mes amis et les gens qui m'aiment

Tous ceux qui ont contribué à mon succès

Abdelwahab Allout

Remerciements

En premier lieu, nous exprimons nos profonds remerciements à **ALLAH** tout puissant qui nous a donné la force, le courage, la volonté et la santé durant toutes ces années d'études.

Nous tenons à remercier nos deux familles respectives, pour leur affection inégalable et leur soutien. Sans leurs encouragements, nous n'aurions pu mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciement à notre encadrant et maître de stage **Dr. FEKHAR Bahmed** de nous avoir guidé et encouragé durant ce travail, pour la confiance qu'il nous a transmis et d'avoir mis à notre disposition tout son savoir-faire et ses qualités intellectuelles, professionnelles et humaines.

Nous adressons également nos plus vifs remerciements au **Mr ADAMO Youcef** de l'Université de Ghardaïa de nous avoir fait l'honneur de présider le jury. Nos remerciements vont aussi aux examinateurs **M^{me} ZEBIRI Ikram**, et **M^{me} LAHOUEL Nacera** d'avoir accepté de juger ce travail, ainsi que de leur honorable présence.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à **M^{me} DERBALI Imane** ingénieure du laboratoire de Génie des procédés, à l'Université de Ghardaïa pour son aide fourni durant la réalisation de ce travail.

Nous remercions tous **les enseignant(e)s** de notre cursus universitaire qui ont contribué à notre formation.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Et à tous ceux que nous avons oubliés.

Résumé

Les bioplastiques à base d'amidon biodégradables sont des alternatives idéales aux plastiques synthétiques d'origine pétrolière, qui constituent une source de pollution pour l'environnement.

L'objectif de cette étude est donc d'améliorer les propriétés structurelles d'un film bioplastique biodégradable susceptible de se substituer au plastique synthétique conventionnel. Ce film bioplastique biodégradable est préparé à base d'amidon de pomme de terre, cet amidon a été expansé et renforcé par l'ajout de dioxyde de titane (TiO_2).

Après optimisation des conditions de mise en œuvre, l'influence de dioxyde de titane (TiO_2) dans les formulations d'amidon commercial a été analysée.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de dioxyde de titane (TiO_2) augmente la traction mécanique du biofilm (12.903 %), ainsi que sa résistance à l'eau et l'alcool : (absorption d'eau 22.126 %, solubilité dans l'eau 17.01 %, solubilité dans l'alcool 10.24 %), nos résultats montrent aussi la résistance à la dégradation 45.70%, et aux produits chimiques de ce bioplastique.

Mots clés : Bioplastique, Biodégradable, Amidon, Dioxyde de Titane (TiO_2).

Abstract

Biodegradable starch-based bioplastics are the ideal alternative to synthetic petroleum-based plastics, which are a source of environmental pollution. But the properties of bioplastics are considered lower than those of synthetic plastics.

The objective of this study is therefore to improve the structural properties of a biodegradable bioplastic film capable of replacing conventional synthetic plastic.

This biodegradable bioplastic film is prepared from potato starch. This starch has been expanded and reinforced by the addition of titanium dioxide (TiO₂). The influence of titanium dioxide (TiO₂) in commercial starch formulations was analyzed.

After optimization of the conditions of implementation by the mechanical strength (traction) of the product (12.903 %), as well as its resistance to water (moisture content (6.48 %), water absorption (22.126 %), solubility of water (17.01 %) and alcohol (10.24 %), chemical resistance), its biodegradability (45.70%), have been determined and optimized.

Keywords: Bioplastic, Biodegradable, Starch, Titanium Dioxide (TiO₂).

يعتبر البلاستيك الحيوي القائم على أساس النشاء البيولوجي البديل للبلاستيك البيئي. لكن تعتبر خصائص البلاستيك الحيوي هي الأقل مقارنة بالبلاستيك يشكل

الهدف هذه هو تحسين البلاستيك التقليدي. التحضير هذ البلاستيكي الحيوي أكسيد التيتانيوم (TiO₂).
الحيوي التركيبية لشريط بلاستيكي الحيوي تقويته
تأثير ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO₂) في تركيبة النشا التجاري تم تحليله، تحسين التنفيذ الميكانيكية ()
(12.903 %) مقاومته) (6.48 %) قابلية (22.126 %)
(17.01 %) (10.24 %) الكيمائية أيضا تحديد قابليتها البيولوجي
(45.70%) وتحسينها.

الكلمات المفتاحية: البلاستيك الحيوي، التحلل البيولوجي، ثاني أكسيد التيتانيوم.

TABLE DE MATIERES

Dédicace	2
Remerciment	3
Résumé	5
Liste des tableaux	12
Liste des figures	13
Liste des abréviations	15
Introduction générale	17

Chapitre I Synthèse Bibliographique

1. Les plastiques	20
1.1. Généralité sur les plastiques	20
1.1.1 Le problème du plastique à base de pétrole	21
1.2. Les bioplastiques	23
1.2.1. Généralité sur les bioplastiques	23
1.2.2. Les matériaux biosourcés	25
1.2.3. Les matériaux biocomposites	26
1.2.4. La biodégradabilité	26
1.2.5. Acide polylactique (PLA)	26
1.2.6. Potentiel de substitution des plastiques biodégradables	27
1.2.7. Facteurs de l'adoption des plastiques biodégradables	28
1.2.8. Avantage des bioplastiques	30

1.2.9. Inconvénients des bioplastiques	30
1.3. Amidon	32
1.3.1. Généralités	32
1.3.2. Structure et morphologie de l'amidon	33
1.4. Dioxyde de titane	35
1.4.1. Généralités	35
1.4.2. Propriétés	35
2. Présentation de différentes sources d'amidon	
2.1. Pomme de terre	36
2.1.1. Description	36
2.1.2. Structure de tubercule de pomme de terre	37
2.1.2.1. Structure externe du tubercule	37
2.1.2.2. Structure interne du tubercule	37
2.1.3. Composition chimique du tubercule de pomme de terre	38
2.2. Maïs	38
2.2.1. Description	38
2.2.2. Structure du grain de maïs	39
2.2.3. Composition chimique du grain de maïs	40
2.3. Blé	41
2.3.1. Description	41
2.3.2. Structure du grain de blé	42
2.3.3. Composition chimique du grain de blé	43

Chapitre II Matériels et Méthodes

1. Matériels utilisés	46
1.1 Réactifs	46
2. Méthodes expérimentales	47
2.1. Extraction d'amidon	47
2.1.1 Amidon de Pomme de terre	47
2.1.2. Amidon commercial	48
2.2. Procédure de préparation des films bioplastiques d'amidon	48
3. Analyses et caractérisations	50
3.1. Analyse de la biomasse utilisée	50
3.1.1. Taux de cendre	50
3.2. Analyse et Caractérisations de film bioplastique	50
3.2.1. Taux d'humidité	50
3.2.2. Absorption d'eau	50
3.2.3. Solubilité dans l'eau	51
3.2.4. Solubilité dans l'alcool	51
3.2.5. Test de biodégradabilité	51
3.2.6. Résistance chimique	52
3.2.7. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FT-IR)	52
3.2.8. Propriétés mécanique (l'essai de traction)	53

Chapitre III Résultats et discussions

1. Extraction d'amidons	58
2. Les films obtenus	58

3. Analyse de la biomasse utilisée	59
3.1. Taux de cendre	59
4. Analyse et caractérisation des films obtenus	59
4.1. Taux d'humidité	60
4.2. Absorption d'eau	60
4.3. Solubilité dans l'eau	62
4.4. Solubilité dans l'alcool	62
4.5. Test de biodégradabilité	63
4.6. Résistance chimique	65
4.6.1. Résistance dans Sodium Chloride (NaCl)	65
4.6.2. Résistance dans l'hydroxyde de sodium (NaOH)	65
4.6.3. Résistance dans l'éthanol	66
4.6.4. Résistance dans l'acide chlorhydrique (HCl)	66
4.7. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FT-IR)	67
4.8. Propriété mécanique (essai de traction)	70
Conclusion générale	72
Références Bibliographiques	75

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Historique de bioplastique.	25
Tableau I.2 : Comparaison entre Bioplastique et Pétroplastique.	31
Tableau I.3 : Composition approximative en amylopectine et en amylose de devers types d'amidon.	34
Tableau I.4 : La température de gélatinassions d'amidon de différentes sources.	35
Tableau I.5 : Les principales propriétés physiques du dioxyde de titane.	36
Tableau II.1 : Différents types des réactifs utilisés et leurs rôles	46
Tableau III.1 : Caractérisations des trois amidons.	48
Tableau III.2 : Taux de cendre (%) de la biomasse utilisée.	59
Tableau III.3 : Taux d'humidité (%) des trois films.	60
Tableau III.4 : Absorption d'eau (%) des trois films.	61
Tableau III.5 : Solubilité dans l'eau (%) des trois films.	62
Tableau III.6 : Solubilité dans l'alcool (%) des trois films.	62
Tableau III.7 : Biodégradabilité % des trois films.	63
Tableau III.8 : Principales bandes dans le spectre FT-IR.	69
Tableau III.9 : Les valeurs de l'allongement à la rupture, contrainte à la rupture et module de Young (E) pour les films.	70

Liste des figures

Figure I.1 : Cycle du carbone.	26
Figure I.2 : Structure moléculaire de l'amylose.	33
Figure I.3 : Structure moléculaire de l'amylopectine	34
Figure I.4 : Structure de tubercule de pomme de terre.	38
Figure I.5 : Composition chimique du tubercule de pomme de terre.	38
Figure I.6 : Structure du grain de maïs suivant une coupe longitudinale.	40
Figure I.7 : Composition chimique du grain de maïs.	41
Figure I.8 : Structure du grain de blé.	43
Figure I.9 : Composition chimique du grain de blé.	44
Figure II.1 : Le protocole d'extraction d'amidon de pomme de terre.	48
Figure II.2 : Schéma représenté les différentes étapes de préparation d'un film bioplastique à base d'amidon.	47
Figure II.3 : Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FT-IR)	53
Figure II.4 : Le comportement d'un matériau soumis à une contrainte mécanique.	54
Figure II.5 : Machine de l'essai de traction.	56
Figure III.1 : Les amidons obtenus de différentes sources.	58
Figure III.2 : Les différents films obtenus.	59
Figure III.3 : Taux d'humidité des films en fonction du temps.	60

Figure III.4 : Taux d'absorption des films en fonction du temps.	61
Figure III.5 : La perte de poids % des films en fonction du temps.	64
Figure III.6 : L'analyse de résistance chimique dans le Sodium Chloride (NaCl).	65
Figure III.7 : L'analyse de résistance chimique dans l'Hydroxyde de Sodium (NaOH).	65
Figure III.8 : L'analyse de résistance chimique dans l'éthanol.	66
Figure III.9 : L'analyse de résistance chimique dans l'Acide Chlorhydrique (HCl).	67
Figure III.10 : Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon commercial.	68
Figure III.11 : Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon de pomme de terre.	68
Figure III.12. : Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon commercial renforcé par le dioxyde de titane (TiO ₂).	79
Figure III.13 : L'essai de traction des films.	70

Liste des abréviations

PE : Polyéthylène.

PET : Polyéthylène téréphtalate.

PP : Polypropylène.

PVC : Polychlorure de vinyle.

PS : Polystyrène.

PC : Polycarbonate.

PU : Polyuréthane.

UE : Union européenne.

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

US : États-Unis (United States).

USDA : United States Department of Agriculture.

PHA : Polyhydroxyalcanoate.

ASTM : International, anciennement American Society for Testing and Materials.

PLA : Acide Polylactique.

GES : Gaz à Effet de Serre.

TiO₂ : Dioxyde de Titane.

UV : Ultra-Violet.

FT-IR : Spectroscopie Infrarouge à Transformer de Fourier.

Introduction générale

Introduction générale

En raison de l'utilisation accélérée de matériaux manufacturés et non dégradables, et des effets néfastes qu'ils provoquent sur l'homme et son environnement, ainsi que sur les conditions économiques mondiales, il est devenu nécessaire d'utiliser des sources renouvelables et respectueuses de l'environnement, c'est-à-dire exploiter totalement ou partiellement les plantes et les arbres ou même leurs déchets . Parce qu'ils contiennent un grand nombre de composants utilisables dans de nombreux domaines [1].

Les déchets agricoles sont riches en matières cellulosiques et amylacées utilisables dans plusieurs industries, dont la papeterie et l'industrie de l'emballage, ainsi que l'industrie du bioplastique, qui sont tous des produits graduables et respectueux de l'environnement.

L'investissement dans la valorisation de ces matériaux est un véritable investissement de grande valeur économique qui peut donner une impulsion à l'agriculture et à l'industrie manufacturière et contribuer à la préservation de l'environnement.

La région d'Al-wad en Algérie est connue pour ses cultures agricoles, dont la plus importante est la pomme de terre, car elle est considérée comme le deuxième producteur de cette culture au niveau national, estimée à 12 140 000 (quintaux) en l'année 2019. Cette énorme production posait problème, ce sont les résidus d'arbres, ainsi que les pommes de terre non consommables, qui sont éliminés par jet ou brûlage, les laissant se décomposer naturellement, ou au mieux fournir de l'alimentation animale. [3].

L'attention à ces déchets et leur valorisation pour l'exploitation est notre objectif de cette étude, car la pomme de terre non comestible peut être une source d'amidon et de cellulose, qui est considéré comme une matière première pour la production de bioplastiques.

Le bioplastique a des caractéristiques distinctives qui le qualifie d'être une alternative aux produits traditionnels tels que le plastique fabriqué à partir de matériaux pétroliers [2].

L'objectif de ce mémoire est de montrer la possibilité de préparer des films bioplastiques biodégradables à base d'amidon une alternative au plastique synthétique conventionnel et de trouver les meilleures sources naturelles d'amidon en termes de qualité, et d'essayer d'améliorer les propriétés de film en ajoutant du dioxyde de titane (TiO₂).

Le travail est divisé en trois chapitres classés comme suit :

Dans le premier chapitre, nous avons traité des généralités sur le plastique de pétrole et les bioplastiques, puis une description de quelques sources d'amidon, leur structure et leurs compositions chimiques,

Dans le deuxième chapitre, la description des matériels et méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude.

Dans le troisième chapitre, nous avons présentés les résultats expérimentaux et leur discussion.

.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I. Les plastiques

1.1. Généralité sur les plastiques

Les plastiques sont des polymères présentant diverses caractéristiques uniques telles qu'une faible densité, une durabilité élevée ou grâce auxquels ils ont trouvé des applications utiles dans tous les domaines de notre vie [4]. Les polymères peuvent provenir de la biomasse ou de produits pétrochimiques. Plusieurs polymères peuvent être produits à partir de ressources renouvelables ou fossiles [5].

Le terme biopolymère est utilisé pour les matériaux polymères qui sont formés dans la nature par des organismes vivants. Des exemples de biopolymères incluent la cellulose, la chitine, l'amidon, le caoutchouc ou la lignine [6]. « La première mention d'une matière première pour la production de matières plastiques » date de 1530. A cette époque, une caséine de protéine de lait était utilisée. À la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle, le caoutchouc naturel a été modifié afin d'être utilisé pour diverses applications [7]. Cependant, le milieu du XIXe siècle, lorsque les premiers plastiques étaient fabriqués à partir de biomasse, est considéré comme l'origine de l'industrie des bioplastiques. En 1868, le premier matériau thermoplastique a été fabriqué à partir de celluloïd dans le but de remplacer l'ivoire [8]. Néanmoins, le développement du nouveau matériau aux caractéristiques uniques a rapidement été dépassé par l'industrie pétrochimique qui domine la production de plastiques jusqu'à aujourd'hui [8]. Les plastiques sont divisés en deux groupes en fonction de leur réaction à la chaleur. Thermoplastiques, ou les plastiques thermo-adoucissants, représentent près de 80 pour cent des polymères synthétiques [8]. « Les thermoplastiques sont des molécules linéaires ou ramifiées dépourvues de liaisons chimiques » [10]. Ainsi, ils peuvent être facilement remodelés en différentes formes. Les thermoplastiques dominants sont le polyéthylène (PE), le polyéthylène téréphtalate (PET), le polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC). Le polystyrène (PS), le polycarbonate (PC) et le nylon font également partie du groupe des thermoplastiques.

Le reste des polymères est formé de thermodurcissables ou de plastiques thermodurcissables, qui ne peuvent pas être modifiés car ils ont des liaisons entre les molécules. Un exemple de thermodurcissable est le polyuréthane (PU) [8].

La grande majorité des plastiques actuels sont d'origine pétrochimique et fabriqués à partir de ressources fossiles non renouvelables offrant un large éventail d'applications. À l'heure actuelle, ils peuvent être trouvés dans tous les secteurs. Environ la moitié de tous les plastiques fabriqués dans le monde sont utilisés pour des applications d'élimination, principalement des emballages, qui consomment environ un tiers des plastiques, puis à des fins agricoles comme les films de paillage et d'autres articles de consommation [8]. La production annuelle de plastiques à base de pétrole a dépassé 300 millions de tonnes en 2015, ce qui représente une augmentation spectaculaire par rapport à 1950, où seulement 1,5 million de tonnes de plastiques étaient produites chaque année [8]. La Chine est le leader mondial de la production de plastiques, car le pays fournit environ un tiers de tous les plastiques manufacturés, suivi de l'UE et de l'Amérique du Nord.

Cependant, la consommation moyenne par habitant est la plus élevée aux États-Unis et dans l'UE. En moyenne, le taux de consommation de matières plastiques par habitant est de 139 kg par an pour la région de l'Aléna et de 136 kg pour l'Europe. Chaque citoyen de l'UE crée en moyenne 31 kg de déchets plastiques.

1.1.1. Le problème du plastique à base de pétrole

Les plastiques à base de pétrole sont des polymères synthétisés chimiquement par polymérisation à partir de produits pétroliers contenant de longues chaînes de monomères.

Sans aucun doute, le plastique d'origine fossile est un matériau important dans nos économies. Il a des propriétés uniques et sa production est bon marché. Ces faits contribuent à sa large diffusion à travers le monde. En quelques décennies, le plastique est devenu une partie de la vie quotidienne de millions de personnes dans le monde, y compris dans les pays en développement, et la production de plastique devraient croître de façon exponentielle. Cependant, le matériau a des implications importantes pour l'environnement et la santé. Selon des scientifiques tels que Vaclav Smilb (2014), le PVC est considéré comme le plastique le plus nocif pour l'environnement et le plus toxique. « La production et l'incinération du PVC émettent des dioxines et des phtalates, les plastifiants utilisés pour ramollir le PVC sont des

cancérogènes présumés qui pénètrent dans l'environnement lors de l'utilisation et de l'élimination du polymère » [9].

Dans l'Union Européenne, seuls 30 % environ des déchets plastiques sont collectés pour être recyclés, ce qui signifie que selon les estimations, « 95 % de la valeur des matériaux d'emballage en plastique, soit entre 70 et 105 milliards d'euros par an, sont perdus pour le l'économie après une très cycle court de première utilisation ». Le reste des plastiques finit dans des décharges ou dans des usines d'incinération. Plusieurs membres de l'Union européenne ont déjà interdit la mise en décharge, mais environ 50 % des déchets plastiques sont toujours mis en décharge [10].

En raison de l'impact négatif des plastiques en général sur l'environnement, le PNUE (2014) estime que le coût global en capital naturel de l'utilisation des plastiques dans le secteur des biens de consommation est de 74 milliards de dollars US chaque année. Le calcul de ce montant a été fait sur la base des impacts financiers de la pollution marine ou de la pollution de l'air résultant de la combustion du plastique. De plus, plus de 30 pour cent des coûts en capital naturel du plastique représentent les émissions de gaz à effet de serre causées par l'extraction et le traitement des matières premières. Néanmoins, la pollution marine résultant des déchets plastiques, qui se sont retrouvés dans l'océan, est le plus gros coût en aval estimé à 13 milliards de dollars.

Les déchets plastiques transforment la soi-disant « planète bleue » en une « planète plastique ». À l'heure actuelle, plus de 300 millions de tonnes¹ de plastique dans le monde sont fabriqués chaque année et ce nombre est en augmentation [4]. Si la tendance actuelle à l'augmentation de la quantité de plastiques produits se poursuit, d'ici 2020, environ 20 % de la consommation totale de pétrole pourraient être utilisés pour la production de plastiques, ce qui représenterait 15 % des émissions de gaz à effet de serre. Il existe également des estimations selon lesquelles les plastiques dépasseront la quantité de poissons dans les océans d'ici là 2020. On estime que jusqu'à 12 millions de tonnes métriques de plastique se retrouvent dans l'océan chaque année. Les articles en plastique à usage unique représentent 50 % des déchets marins. De plus, les niveaux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère continuent d'augmenter principalement en raison de l'utilisation de ressources fossiles. Les données peu flatteuses ont contribué à la reconnaissance du problème des déchets plastiques du côté des organisations internationales, des politiciens, des producteurs et des clients. Surtout, l'industrie de l'emballage et de l'alimentation ainsi que les détaillants sont encouragées par la tendance

actuelle à adopter un comportement plus durable. Le client exige des fabricants et des détaillants qu'ils recherchent plus alternatives durables à leurs processus et approches existants. Les médias jouent également un rôle important car même les médias grand public accordent plus d'espace à la question de la pollution des océans et contribuent aux attaques contre les plastiques conventionnels. [] Selon une enquête de la Commission européenne (2018), 87% des citoyens européens s'inquiètent des impacts environnementaux causés par les plastiques. Ainsi, les entreprises présentent des objectifs durables tels que devenir zéro fabrication en décharge ou produire des bouteilles plus légères avec moins de matière qu'auparavant.

1.2. Les bioplastiques

1.2.1. Généralité sur les bioplastiques

Est un terme utilisé pour désigner les plastiques biosourcés, biodégradables ou répondant aux deux critères. Contrairement aux plastiques traditionnels fabriqués à partir de matières premières fossiles, les plastiques biosourcés sont entièrement ou partiellement fabriqués à partir de matières premières renouvelables dérivées de la biomasse. Les matières premières couramment utilisées pour produire ces matières premières renouvelables pour la production de plastique comprennent les tiges de maïs, les tiges de canne à sucre et la cellulose, ainsi que de plus en plus diverses huiles et graisses provenant de sources renouvelables. Les termes « bioplastiques » et « plastiques biosourcés » sont souvent utilisés de manière interchangeable par les profanes, mais ils ne signifient pas réellement la même chose.

- Les plastiques biodégradables sont des plastiques aux structures moléculaires innovantes qui peuvent être décomposés par les bactéries en fin de vie dans certaines conditions environnementales. Tous les plastiques biosourcés ne sont pas biodégradables, contrairement à certains plastiques fabriqués à partir de combustibles fossiles.
- Les plastiques biosourcés sont partiellement ou totalement fabriqués à partir de matériaux issus de la biomasse au lieu de matières premières d'origine fossile. Certains sont biodégradables, d'autres non.

En 2018, 2,61 millions de tonnes de plastiques biosourcés ont été produites dans le monde, selon l'Institute for Bioplastics and Biocomposites, mais cela représente encore un peu moins de 1% du marché mondial du plastique. Alors que la demande de plastique continue de

croître, la demande de solutions plastiques plus durables augmente également. Le plastique conventionnel d'origine fossile peut être remplacé par du plastique à un équivalent biosourcé. Cela peut aider à réduire l'empreinte carbone du produit final tandis que les autres caractéristiques du produit - sa durabilité ou sa recyclabilité - par exemple, restent les mêmes.

Le polyhydroxyalcanoate ou PHA, est un type courant de plastique biodégradable biosourcé, actuellement utilisé pour fabriquer des emballages et des bouteilles, par exemple. Il est produit par fermentation industrielle lorsque certaines bactéries sont nourries de sucre ou de graisse à partir de matières premières telles que la betterave, la canne à sucre, le maïs ou l'huile végétale. Mais les sous-produits indésirables, tels que les déchets d'huile de cuisson ou la mélasse qui restent après la fabrication du sucre, pourraient être utilisés comme matière première alternative, libérant les cultures vivrières pour d'autres usages.

Il n'existe pas de définition unique de la durabilité. Il existe un certain nombre de caractéristiques qu'un produit peut posséder, à la fois indépendamment les unes des autres et ensemble, qui détermineront la durabilité d'un produit. Voici quelques termes sur les bioplastiques qu'il peut être utile de garder au clair lors de l'étude de la faisabilité d'un matériau pour un produit :

Sont une famille de matériaux aux propriétés et applications différentes. Un matériau est défini comme un bioplastique s'il est soit biosourcé, biodégradable ou présente les deux propriétés.

Tableau I.1. Historique de bioplastique.

Année	Développement
1992	Metabolix, une société de biosciences, a fourni des solutions aux besoins mondiaux en matière de plastiques, de produits chimiques et d'énergie.
2000	Metabolix a initié les programmes de recherche pour le développement de cultures industrielles modifiées pour la production de bioplastiques.
2005	Toyota a lancé une usine pilote à l'usine Hirose de la ville de Toyota, au Japon, pour tester la facilité de production de bioplastiques.
2006	La société LONDON-NEC et Unitika Ltd avaient développé un matériau bioplastique renforcé avec des fibres de l'usine de Kenaf pour réduire l'impact environnemental des téléphones portables.
2010	La fabrication de bioplastiques Cardia en Malaisie (CBMM) a été développée pour fabriquer des produits en bioplastique.

I.2.2. Les matériaux biosourcés

Sont fabriqués à partir de matériaux organiques (à base de carbone) qui contiennent en tout ou en partie du carbone biogénique (biologique) - remplaçant le pétrole/carbone fossile par du carbone bio/renouvelable. Aux États-Unis, le programme USDA Biopreferred certifie que les matériaux sont biosourcés. Les produits fabriqués avec des matériaux biosourcés certifiés peuvent bénéficier d'achats préférentiels auprès des agences d'approvisionnement fédérales. Le pourcentage de matière renouvelable nécessaire pour répondre à cette exigence varie selon les produits.

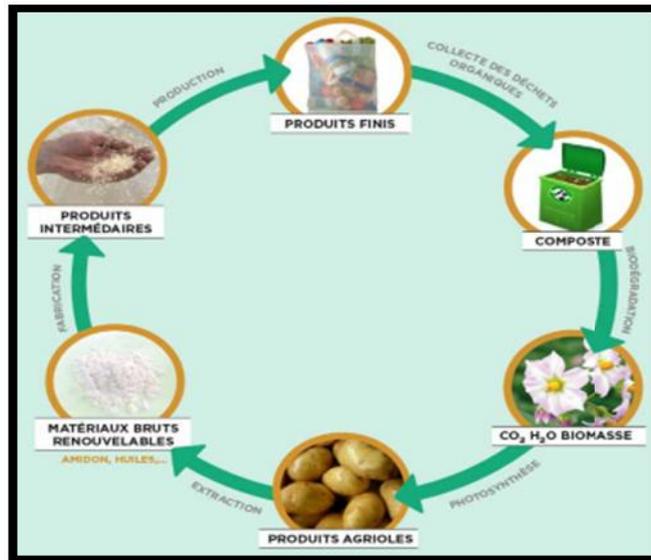


Figure I.1 Cycle du carbone.

I.2.3. Les matériaux biocomposites

Combinent des biomatériaux comme le bois, l'amidon, le lin, le jute, le chanvre et d'autres matériaux similaires avec des plastiques traditionnels. Ces matériaux sont utilisés pour imprégner une esthétique naturelle et améliorer les caractéristiques physiques tout en réduisant la quantité de plastique à base de pétrole non renouvelable.

I.2.4. La biodégradabilité

Est la capacité d'un matériau à subir une biodégradation, un processus chimique au cours duquel les micro-organismes présents dans l'environnement transforment les matériaux en substances naturelles telles que l'eau, le dioxyde de carbone et le compost. Le processus de biodégradation dépend des conditions environnementales environnantes.

➤ Les produits en plastique composables

Sont définis par les normes internationales ASTM 6400 et 6868. Ces normes exigent que le matériau se biodégrade dans un certain laps de temps et ne laisse aucun résidu toxique dans le sol.

I.2.5. Acide polylactique (PLA)

Le PLA est appelé bioplastique biodégradable en raison de son matériau respectueux de l'environnement. Le PLA est fabriqué à partir de ressources renouvelables telles que le maïs,

les pommes de terre et la canne à sucre. Il a des caractéristiques similaires à celles du polypropylène (PP), du polyéthylène (PE) ou du polystyrène (PS) et se transforme facilement par des machines de moulage par injection, de soufflage et d'emboutissage qui sont utilisées pour les plastiques pétrochimiques conventionnels. Les plastiques PLA sont normalement utilisés pour l'emballage comme les pots de yaourt, les épicerie fines, les contenants à emporter et les emballages de produits frais [11]. Un grand avantage du plastique PLA est que ses propriétés polyvalentes peuvent changer avec les additifs qui conduisent à la variété de produits dans lesquels il peut être utilisé. En outre, la biodégradabilité du PLA est naturelle lorsqu'il est exposé à l'environnement. Par exemple, une bouteille de PLA laissée dans l'océan se dégrade généralement en six à 24 mois [12]. Cependant, les plastiques PLA présente certains inconvénients, notamment le ramollissement à 60°C. Des températures de ramollissement plus élevées peuvent être obtenues par copolymérisation avec un polymère plus résistant à la chaleur ou en ajoutant des charges. Selon la recherche, les plastiques PLA sont renforcés avec de la fibre de verre offrant la grande amélioration des propriétés mécaniques et thermiques [13].

I.2.6. Potentiel de substitution des plastiques biodégradables

Bien que les niveaux de production actuels et les niveaux de substitution restent faibles, l'accent étant mis sur l'emballage, théoriquement, les polymères biodégradables sont capables de remplacer la plupart des polymères conventionnels actuellement utilisés [14], ont étudié en profondeur le potentiel de substitution technique des plastiques biosourcés pour remplacer leurs homologues pétrochimiques. Depuis 2007, ils ont estimé à 94 % la substitution technique maximale totale des plastiques conventionnels par des plastiques biosourcés, comprenant une substitution de 31 % par des plastiques biodégradables et une substitution de 63 % par des plastiques biosourcés mais non biodégradables. En utilisant une méthodologie similaire pour considérer le potentiel de remplacement biodégradable des conteneurs et des emballages au Japon [15], ont conclu que 87 % seraient remplaçables par du PLA ou des mélanges de PLA.

Cependant, comme mentionné, les niveaux réels de production et de substitution restent loin de ce maximum théorique. Il ne sera probablement pas possible d'exploiter ce potentiel ni à court ni à moyen terme en raison de facteurs tels que des considérations économiques, la difficulté d'une mise à l'échelle rapide, la difficulté d'assurer la disponibilité des matières premières biosourcées et la lente adoption de nouveaux plastiques par le secteur des

plastiques [16]. Il n'est pas non plus clair que l'objectif doive être de substituer les plastiques biodégradables à tous les plastiques.

I.2.7. Facteurs de l'adoption des plastiques biodégradables

Les facteurs déterminant le taux d'adoption et le rôle des plastiques biodégradables comprendront non seulement leurs références en matière de durabilité, mais également les aspects financiers, réglementaires, de consommation et technologiques/matériaux [16]. De brefs exemples de ces aspects sont les suivants :

➤ Financier

Des mesures de politique fiscale seront nécessaires pour soutenir la transition vers les polymères biodégradables. Ceux-ci incluent le soutien aux processus à faibles émissions de GES et aux prix élevés de la mise en décharge (ce qui améliorera le coût compétitivité de la gestion des déchets biologiques) et le suivi du niveau des prix des matières premières agricoles (pour s'assurer qu'elles sont compétitives par rapport aux combustibles fossiles afin de conduire le mouvement vers matériaux biosourcés). La conduite de la technologie par l'économie est démontrée par l'exemple des Pays-Bas (où la mise en décharge est coûteuse en raison de la proximité du niveau de la mer) et du Japon (où l'excavation des décharges nécessite de creuser dans la roche volcanique dure) étant deux des pays avec le meilleur recyclage et systèmes d'incinération [17] et il est envisagé que cela puisse s'étendre aux systèmes de déchets biologiques.

➤ Réglementaire

L'introduction de politiques et de mesures pourrait modifier considérablement le taux d'utilisation des polymères biosourcés [16]. On pense que les bioplastiques souffrent d'un manque de politique favorable par rapport à ceux qui ont été mis en œuvre pour soutenir la production de biocarburants [18].

Il existe une forte corrélation entre les interdictions de mise en décharge (zéro déchet en décharge ou réduction des déchets recyclables en décharge) et la baisse des taux de mise en décharge des plastiques [19]. Cependant, un mot d'avertissement est que de telles politiques doivent être associées à des objectifs de recyclage spécifiques, puis surveillées pour s'assurer qu'elles ne conduisent pas seulement à une augmentation importante des déchets plastiques incinérés [20]. Dans le cadre du paquet économie circulaire de l'Union européenne, un

objectif de réutilisation et de recyclage des matériaux d'emballage en plastique de 55 % a été suggéré, avec un maximum de 10 % de tous les déchets municipaux devant être mis en décharge d'ici 2030 [21]. Des interdictions sur les articles en plastique à usage unique peuvent également être envisagées.

➤ **Technologie/propriétés des matériaux**

Deux aspects de la technologie joueront un rôle dans l'adoption et la durabilité des plastiques biodégradables : le développement de matériaux et la gestion des déchets. Premièrement, du côté de la gestion des déchets. L'amélioration des infrastructures de compostage, y compris le tri après le compostage, permettra de traiter les plastiques biodégradables dans les installations de compostage [22]. Une technologie de tri améliorée et financièrement viable atténuerait également les inquiétudes concernant le recyclage. Une technologie prometteuse dans ce domaine comprend les marqueurs fluorescents [23]. Les marqueurs fluorescents consistent à marquer la résine avec un colorant qui, lorsqu'il est irradié, produit un signal pouvant être détecté et utilisé pour trier les matériaux. D'autres entreprises (par exemple Tomra) travaillent à l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des équipements de tri du plastique. En ce qui concerne les propriétés des matériaux, un aspect clé est de pouvoir produire des plastiques biodégradables avec des propriétés équivalentes aux plastiques conventionnels, afin d'assurer la compétitivité de l'industrie.

➤ **Consommateur**

Les consommateurs devront être soutenus dans l'identification et l'élimination des plastiques biodégradables [24]. Le projet Open-Bio (une initiative européenne), vise à résoudre ce problème en « augmentant l'adoption de normes, d'étiquettes et de listes d'informations harmonisées sur les produits pour les produits biosourcés en Europe » et le développement d'une base de données sur les produits biosourcés et leurs propriétés [25].

Pour faciliter une élimination appropriée, il a été recommandé d'élaborer un code d'identification pour les sacs et contenants composables afin de les séparer des matières recyclables.

I.2.8. Avantage des bioplastiques

Le meilleur avantage des plastiques biodégradables est de réduire les déchets permanents. Les plastiques biodégradables sont particulièrement adaptés au recyclage avec les déchets

organiques, à condition que le plastique soit compostable. A supposer que les plastiques biodégradables soient les mieux utilisés pour se substituer aux plastiques conventionnels qui génèrent des problèmes environnementaux aussi bien lors de leur utilisation que de leur fin de vie. Par exemple, les plastiques pour les sacs à provisions sont une des principales raisons de polluer l'environnement, car les déchets dans l'océan proviennent de sacs en plastique jetables qui affectent l'environnement, en particulier les espèces marines, et brisent les systèmes écologiques [26].

Il est clair que les plastiques biosourcés ont une empreinte carbone beaucoup plus faible. Il convient de souligner que l'empreinte carbone du bioplastique dépend de manière cruciale du fait que le plastique stocke en permanence le carbone extrait de l'air par la plante en croissance. Un plastique fabriqué à partir d'une source biologique séquestre le CO₂ capté par la plante lors du processus de photosynthèse. Si le bioplastique résultant se dégrade à nouveau en CO₂ et en eau, cette séquestration est inversée. Mais un bioplastique permanent conçu pour être similaire au polyéthylène ou à d'autres plastiques conventionnels stocke le CO₂ pour toujours. Même si le plastique est recyclé plusieurs fois, le CO₂ initialement prélevé dans l'atmosphère reste séquestré.

Suite à l'avantage de l'efficacité énergétique, le coût de l'énergie sera inférieur à celui des plastiques conventionnels. 4% du pétrole chaque année est utilisée pour fabriquer des plastiques. De nos jours, le pétrole se raréfie, les prix de fabrication des plastiques augmentent et fluctuent [27].

À propos d'une indépendance des utilisations de combustibles fossiles, par rapport aux plastiques conventionnels, les matières premières des plastiques biodégradables biosourcés sont issues de la biomasse qui fournit potentiellement la neutralité carbone et réduit les émissions de gaz vert. [28]. Ils peuvent contribuer à une meilleure efficacité des ressources grâce à la l'utilisation de cascades de biomasse, car elles sont adaptées au recyclage et à la récupération d'énergie après les options de réutilisation et de recyclage. Nouvelles propriétés fonctionnelles et faibles émissions de GES lors du processus de fabrication,

I.2.9. Inconvénient des bioplastiques

Outre les nombreux avantages significatifs des plastiques biodégradables, il existe encore plusieurs inconvénients qui doivent être remarqués. Le problème du recyclage est l'un des problèmes majeurs. Premièrement, l'élimination incontrôlée des plastiques biodégradables

entraîne une pollution du sol, de l'eau et des terres. Bien que les polymères biodégradables soient décomposés en particules plus petites, il reste le potentiel nocif pour l'environnement lors de la mise au rebut des produits. Deuxièmement, les plastiques biodégradables ressemblent aux plastiques conventionnels, il faut donc des instructions pour un étiquetage, une élimination et un recyclage clairs. La raison en est que ces polymères biodégradables peuvent contaminer les plastiques conventionnels lors des processus de recyclage. De plus, les bioplastiques sont deux fois plus chers que les plastiques conventionnels. Cependant, on s'attend à ce que dans un avenir proche, la quantité de production industrielle à grande échelle de bioplastiques soit plus commune et croissante qui conduit à une réduction des coûts [29]. Ils seront compétitifs par rapport aux sources alimentaires car les bioplastiques produits à partir de sources renouvelables pourraient réduire les réserves de matières premières. Cependant, afin de réduire la concurrence potentielle avec les ressources agricoles pour les aliments, les sous-produits alimentaires sont également tendance actuelle pour fabriquer des bioplastiques [30]. Par exemple : le développement technologique dans l'industrie des bioplastiques a montré qu'il était possible de créer des plastiques biodégradables à partir de chanvre, d'algues et d'autres plantes.

Tableau I.2 Comparaison entre Bioplastique et Pétroplastique. [31]

Bioplastique	Pétroplastique
Resource renouvelable	Resource non renouvelable
Dégradable	Non dégradable ou dégradable au long term
Non polluant	Polluant pour l'environnement
Non toxique	Certains comme le polycarbonate sont dangereux, pouvant avoir des conséquences sur la fertilité des organes
Coût de production élevé	Moins couteux à la production
Certain testes de résistance peu convaincants notamment celui de la chaleur et du poids	Plus résistant
Entre en concurrence avec l'alimentation humaine	Possède peu de concurrence

1.3. Amidon

1.3.1 Généralités

L'amidon est le principal composant pour le stockage d'énergie dans les plantes et est l'un des biopolymères les plus abondants et disponibles. Les sources les plus importantes d'amidon sont le maïs, la pomme de terre, le blé, tandis que l'orge, le riz, et d'autres constituent des sources plus petites [32]. L'amidon est devenu un contributeur multifonctionnel et important à l'industrie alimentaire commerciale, en raison de ses propriétés thermiques et de sa fonctionnalité uniques [33]. Il est utilisé comme épaississant, stabilisant, agent de charge, gélifiant et adjuvant de viscosité [34]. L'amidon peut être hydrolysé chimiquement et/ou enzymatiquement pour obtenir des produits tels que le glucose, le maltose, les maltodextrines et les cyclodextrines [35]. De plus, étant un polymère biodégradable, il a un grand potentiel en tant que ressource polyvalente et renouvelable pour diverses applications matérielles. Par exemple, des matériaux biodégradables à base d'amidon ont été proposés dans le cadre de la nouvelle génération de matériaux cédant pour contribuer à la réduction des problèmes environnementaux tels que l'effet de serre [36] par rapport aux matériaux non biodégradables. Les matériaux biodégradables à base d'amidon peuvent fonctionner comme des matériaux traditionnels plastiques, mais être complètement biodégradable dans un cycle de compostage par l'action d'organismes vivants. De plus, une modification physique, chimique ou biochimique de l'amidon peut conduire à des amidons avec une fonctionnalité encore plus grande. Cela stimulera le développement de nouveaux produits, procédés et tendances du marché [34], tels que pour les emballages (sacs poubelles, emballages, mousse en vrac, contenants alimentaires, emballages sous film, papier laminé), livraison d'ingrédients (encapsulation de médicaments), hygiène (dos de couches, coton-tige), biens de consommation (vaisselle de restauration rapide, contenants, jouets) et agriculture (films de paillis) [37].

Malheureusement, jusqu'à présent, l'utilisation de matériaux à base d'amidon a été limitée en raison de leur faible tolérance à l'eau et de leurs faibles propriétés mécaniques dans des conditions humides. Pour cette raison, l'amidon est fréquemment mélangé avec d'autres polymères dans le but d'étendre son applicabilité [38]. En faisant varier les composants du mélange et en contrôlant leur interaction avec l'amidon, la morphologie et donc les propriétés

peuvent être contrôlées. Par conséquent, une compréhension claire du mécanisme qui contrôle la relation processus-structure dans le mélange est la clé du développement d'une nouvelle génération de mélanges biodégradables à base d'amidon. Les nouvelles tendances encouragent également une industrie croissante pour les matériaux alternatifs - les bioplastiques. Néanmoins, la réduction des coûts joue un rôle et les prix de certains bioplastiques plongent vers ceux des plastiques d'origine fossile. De plus, les entreprises calculent avec les sources limitées de pétrole et l'augmentation potentielle des prix de ce combustible fossile non renouvelable. Les produits biosourcés et biodégradables sont souvent présentés comme l'une des solutions potentielles pour pallier les objets à usage unique et limité à base de pétrole.

1.3.2. Structure et morphologie d'amidon

L'amidon existe généralement sous la forme d'une combinaison de deux polymères de - glucose ; l'**amylose**, qui a une structure linéaire et l'**amylopectine**, qui est ramifiée. La composition chimique et la teneur relative en amylose et en amylopectine varie selon les différentes sources d'amidon. Cependant, tous les amidons sont constitués de D-glycopyranose en chaînes linéaires avec la liaison $\alpha(1-4)$ dans l'amylose, ou en chaînes ramifiées par la liaison (1-6) sur des chaînes (1-4) dans l'amylopectine [39].

- L'amylose

Elle constitue environ 25 pour cent de l'amidon, c'est molécule formé d'environ 600 à 1000 molécules de glucose en chaîne linière. Elle est synthétisée par la synthèse insoluble de l'amidon. La structure moléculaire de l'amylose est représentée sur **figure I.2** [40].

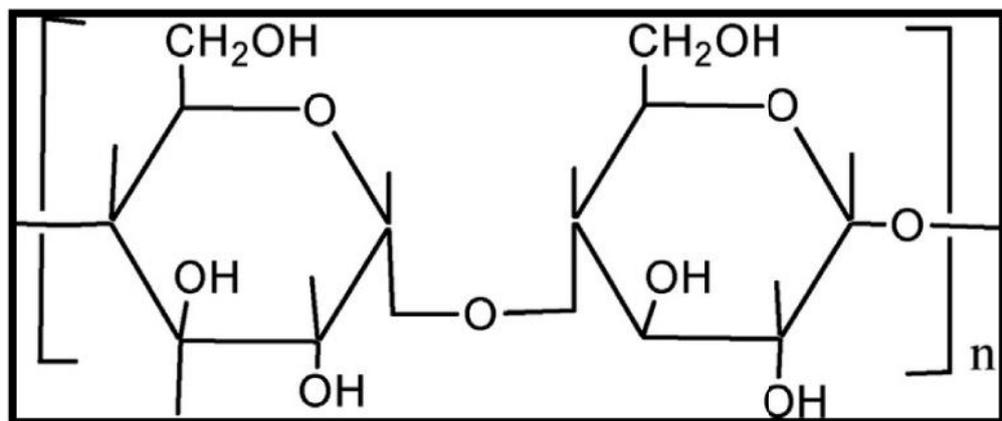


Figure I.2 Structure moléculaire de l'amylose [41].

- **L'amylopectine**

Elle est constituée d'environ 75 pour cent de l'amidon. C'est une molécule qui a un aspect buissonnant du fait de ramifications qui se branchent sur une fonction $-\text{CH}_2\text{OH}$, approximativement tous les 25 motifs. La chaîne totale peut entrer 10000 ET 100000 résidus glucoses. . Elle est synthétisée par la synthèse insoluble de l'amidon. La structure moléculaire de l'amylose est représentée sur **figure I.3** [42].

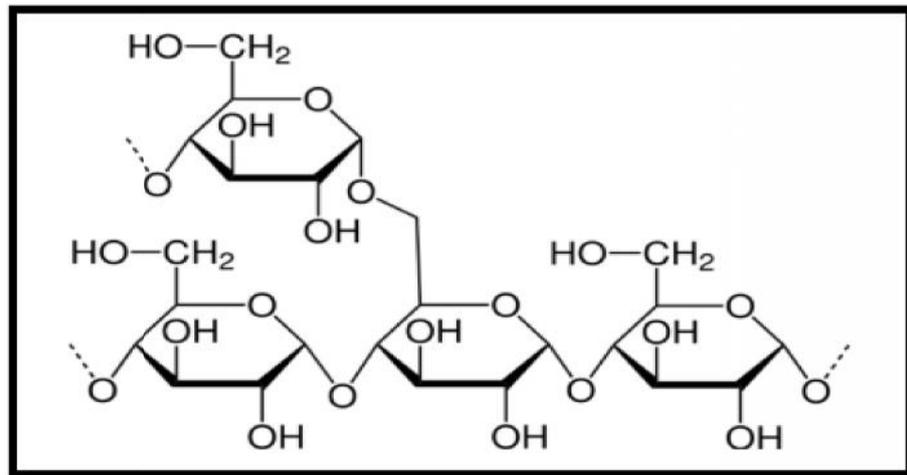


Figure I.3 Structure moléculaire de l'amylopectine.

Tableau I.3 Composition approximative en amylopectine et en amylose de devers types d'amidon. [42]

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Pomme de terre	21	79
Maïs	28	72
Blé	28	72

Tableau I.4 La température de gélaminassions d'amidon de différentes sources.

Type	Température de gélaminassions (°C)
Maïs	62-80
Pomme de terre	58-65
Blé	52-85

1.4. Dioxyde de titane (TiO₂)

1.4.1. Généralités

Le dioxyde de titane (TiO₂) est utilisé depuis nombreuse décennies dans différents industries tel que les industries cosmétique, pharmaceutique, alimentaire, comme pigment de peinture ou d'émaux. Le dioxyde de titane est aussi utilisé dans plusieurs applications liées à ses propriétés photo catalytiques. De nouvelles applications émigrantes sont liées au comportement des particules de taille nanométrique.

Dans toutes ces applications la nature chimique du dioxyde de titane est considérée comme non toxique, est aussi un composé peu cher à cause de la technologie industriel de sa synthèse à partir des ressources minérales [43].

1.4.2. Propriétés

➤ Chimique

Le dioxyde de titane est chimiquement stable, il ne réagit pratiquement avec d'autres matériau à des températures modérées. Il ne réagit pas avec l'oxygène, le sulfure d'hydrogène, le dioxyde de carbone et de soufre, et l'ammoniaque. Il n'est pas soluble dans l'eau, les acides organiques et les acides inorganiques faibles.

Outre sa résistance naturelle aux éléments, il possède d'importantes propriétés de l'absorption de de diffusion des UV, et ce qui permet de prévenir le vieillissement des matériaux exposés aux éléments naturel.

Lorsqu'il est incorporé aux résines synthétique des produits à base de plastique, le dioxyde de titane permet d'éviter que les rayons UV ne pénètrent n'endommagent pas le produit ainsi que son apparence [44].

➤ **Physique :**

Le dioxyde de titane (TiO_2) est une substance inorganique solide blanche thermiquement stable, inflammable et peu soluble dans les solutions usuelles. A des surfaces hydrophiles, l'absorption d'humidité augment avec la surface spécifique, mais est aussi fonction du type de traitement de surface des poudres à l'issue du procédé de synthèse [45].

Les principales propriétés physiques du dioxyde de titane sont les suivantes :

Tableau I.5 Les principales propriétés physiques du dioxyde de titane [45].

Masse molaire	79,8658 g.mol^{-1}
Température de fusion	1855 °C
Température d'ébullition	2500 – 3000 °C
Permittivité diélectrique relative moyenne	anatase 45 ; rutile 127
Dureté Mohs	anatase 5,5-6 ; rutile 6-7
Indice de réfraction dans l'air	anatase 2,55 ; rutile 2,75

2. Présentation de différentes sources d'amidon

2.1. Pomme de terre

2.1.1. Description

La pomme de terre situe aux premiers rangs de l'ensemble des cultures vivrières dans le monde avec le maïs et le blé, c'est une plante vivace de la famille Solanacées de genre de *Solanum tuberosum* pouvant atteindre un mètre de hauteur, issu d'un renflement d'une tige souterraine qui va grossir, alimenté par la végétation en surface et les racines. C'est un organe de stockage substances de réserve produites par la photosynthèse. C'est une source importante de glucides, qui se présentent principalement sous forme de féculé, mais aussi de protéines et de vitamines. Ses qualités nutritives et sa facilité de culture font qu'elle est devenue l'un des aliments de base de l'humanité, figurant parmi les légumes et féculents les plus consommés.

C'est aussi la culture alimentaire la plus productive, produisant plus de matière sèche à l'hectare que les céréales et que toute autre plante cultivée, à l'exception de la canne à sucre [46].

2.1.2. Structure de tubercule de pomme de terre

2.1.2.1. Structure externe du tubercule

A l'extrémité apicale du tubercule, ou couronne, se trouve le bourgeon terminal ou apical tandis qu'à l'opposé, du côté proximal, se trouve le point d'attache du stolon, l'ombilic. Les yeux, disposés régulièrement sur le tubercule suivant une phyllotaxie spiralée, correspondent à l'emplacement des bourgeons axillaires. Des lenticelles parcourent la surface du tubercule et jouent un rôle essentiel dans la respiration du tubercule [47].

2.1.2.2. Structure interne du tubercule

En coupe longitudinale d'un tubercule mature, on distingue de l'extérieur vers l'intérieur : le péricorme, le cortex ou parenchyme cortical, l'anneau vasculaire composé de phloème externe, de xylème et de parenchyme vasculaire. On peut également remarquer la zone pérимédullaire ou parenchyme pérимédullaire contenant le phloème interne et enfin, la moelle ou parenchyme médullaire.

Les différents parenchyms (cortical, périvasculaire, pérимédullaire, médullaire) contiennent de grandes quantités de grains d'amidon qui diffèrent par leur taille (diamètre de 7 à 32 μm) et leur forme (ovoïde, sphérique) [48].

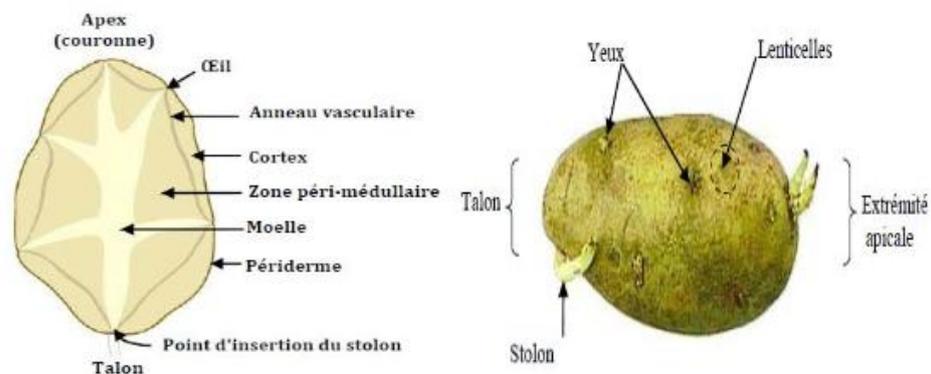


Figure I.4 Structure de tubercule de pomme de terre [48].

2.1.3. Composition chimique du tubercule de pomme de terre

Le tubercule est constitué principalement d'un pourcentage 75 % d'eau, le reste est formé par la matière sèche : 20% d'amidon, 2,5% protéines, 1,8 fibres, 0,15% acides gras et 0,55% (sucres, acide aminés, vitamines et sels minéraux) [47].

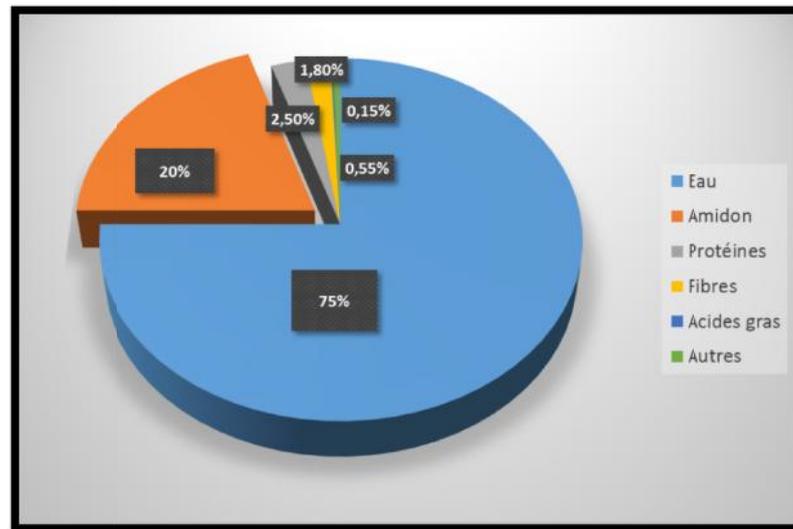


Figure I.5 Composition chimique du tubercule de pomme de terre.

2.2. Maïs

2.2.1. Description

Le maïs du nom scientifique *zea mays*, est une plante monocotylédone diploïde annuelle ($2n=20$) appartenant à la famille des poaceae ou graminées .Il existe de nombreuses variétés de maïs classées en sept types suivant les caractéristiques des grains, cette classification est essentiellement agronomique. Le maïs est une graminée annuelle à tige pleine contrairement aux autres graminées. La tige unique est de gros diamètre est pleine, lignifiée et formée de plusieurs entrenœuds, d'une vingtaine de centimètres, séparés par autant de nœuds. Comme d'autres graminées, le pied de maïs est capable de tallage [49].

Le maïs (*Zea mays*) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des graminées, à la sous-famille des Panicoidées. Son système racinaire est du type fasciculé. Les feuilles sont alternes et disposées en deux lignes opposées. La tige, de 3 à 4 cm de diamètre, peut atteindre, une hauteur moyenne de 1 à 3,5 m (variant de 1 à 6 m). Le maïs est une plante

monoïque et possède des inflorescences mâles et femelles séparées sur le même pied. Bien que le maïs soit auto-fertile, le caractère monoïque des plantes et sa protandrie assurent une pollinisation croisée par le vent, de l'ordre de 90 à 95 %.

L'agrette ou l'inflorescence male est une panicule terminale qui s'étend à partir des feuilles engainantes à la pointe de la tige. Elle consiste en un certain nombre de branches disposées en spirale autour de l'axe principale. L'inflorescence femelle, appelée épi, se développe sur une courte branche latérale qui émerge de l'aisselle d'une des feuilles du milieu de la tige. Normalement seul un ou deux bourgeons se transforment en épi ; l'axe centrale de l'épi, appelé rachis ou rafle porte des épillets en pair, pourvus, chacun, d'une fleur fertile en rangées longitudinales. Le fruit à une seule graine est appelé caryopse grain [50].

2.2.2. Structure du grain de maïs

A l'instar de nombreux produits biologiques, le grain de maïs est caractérisé par une grande hétérogénéité et une complexité de sa structure physique. Comparativement à d'autres céréales (riz, blé, avoine), le maïs est couvert d'une pellicule qui occupe une proportion relativement faible (~5%) de la masse totale du grain. Son embryon (germe), qui occupe une position subcentrale, représente environ 11% de poids total du grain et est constitué de 33% d'huile ainsi que des protéines autres que celles de stockage [51].

L'endosperme qui constitue la fraction pondérale la plus importante du grain est constitué en majeure partie de l'amidon et de protéines. L'endosperme farineux, friable, occupe les parties centrales du grain et entoure l'embryon. L'endosperme corné, plus dur, occupe quant à lui la périphérie.

L'ensemble de la structure du grain de maïs, hormis le funicule (tip cap) qui constitue le point d'attache du grain dans l'épi, est enveloppé d'un péricarpe composé des fibres.

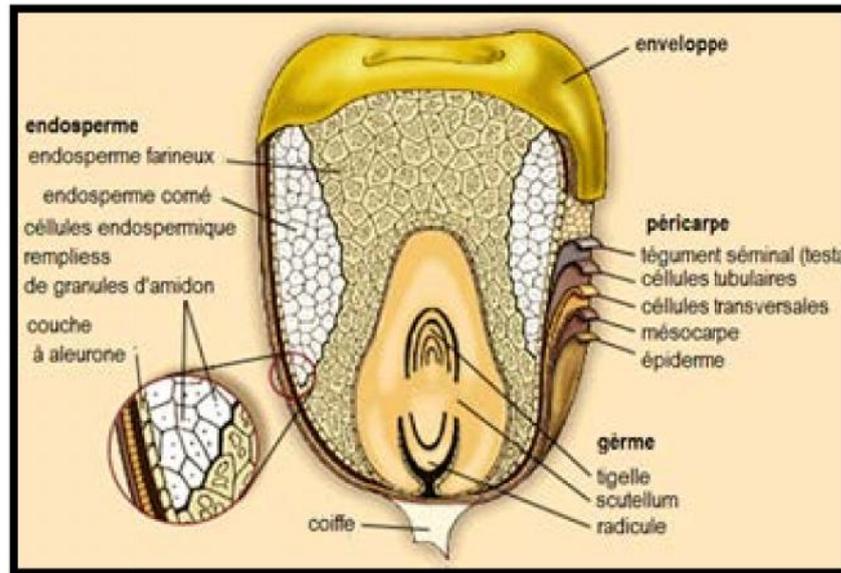


Figure I.6 Structure du grain de maïs suivant une coupe longitudinale.

2.2.3. Composition chimique du grain de maïs

Le principal composant chimique du grain de maïs est l'amidon, qui constitue de 72 à 74 % de son poids. Les autres sont des 12,30 % protéines, 6,8 % lipides, 3,97 % sucres libres, 3,43 % cendres [50].

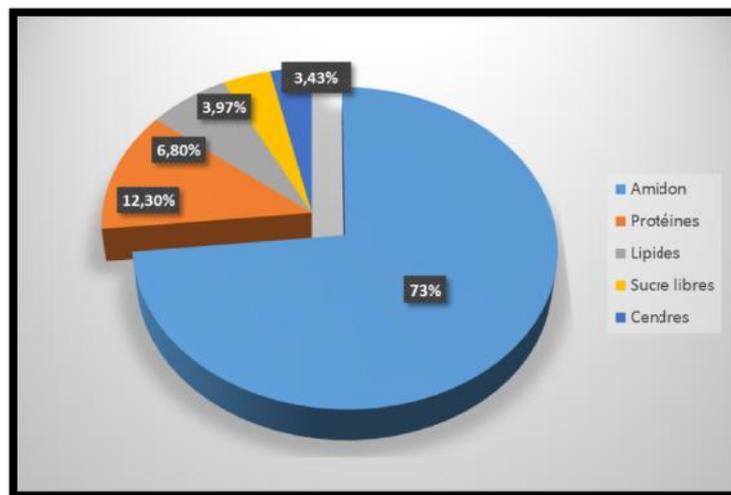


Figure I.7 Composition chimique du grain de maïs.

2.3. Blé

2.3.1. Description

Céréale appartenant au genre *Triticum*, le blé a suivi le processus naturel de l'évolution. Cette plante annuelle de la famille des graminées existait à l'état sauvage il y a de cela des siècles.

C'est une plante herbacée annuelle, monocotylédone, à feuilles alternes, formée d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis. Les fleurs de cette plante sont nombreuses, petites et peu visibles. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes. La fleur est cléistogame, c'est-à-dire qu'elle reste fermée, la pollinisation s'effectuant par autogamie qui est le mode de reproduction le plus fréquent chez les blés.

C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence (qui ne s'ouvre pas), appelé caryopse.

Il est cultivé pour faire la farine panifiable utilisée pour le pain. Ses grains se séparent de leurs enveloppes au battage. Communément dénommée blé tendre ou tout simplement blé, cette espèce a connu une très grande dispersion géographique et est devenue la céréale la plus cultivée. La sélection moderne, initiée à la fin du XIX^e siècle par Henry de Vilmorin, s'est concentrée sur trois axes : la résistance aux aléas climatiques, la richesse en protéines, notamment le gluten pour la panification, et bien entendu le rendement [51].

2.3.2. Structure du grain de blé

Un grain de blé est formé de trois régions :

- **Albumen** : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois

cellulosiques sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85% du grain).

- **Enveloppes de la graine et du fruit** formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%).

- **Germe (3%)** composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum.

Comparativement à d'autres céréales, du maïs et du riz en particulier, le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe ; les faisceaux nourriciers de la graine au cours de son développement sont localisés au fond de ce sillon. Sa présence détermine la manière dont s'opère la séparation de l'albumen et des enveloppes pour extraire les farines ; il rend en effet impossible, comme en rizerie, l'élimination progressive des téguments par abrasion des parties périphériques. L'extraction des farines nécessite de fragmenter les grains, puis d'isoler progressivement l'albumen à partir des zones les plus internes du grain, du centre vers la périphérie ; pour cette raison, les premières farines sont les plus purifiées.

La longueur du grain (plus grande dimension) est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4 [52].

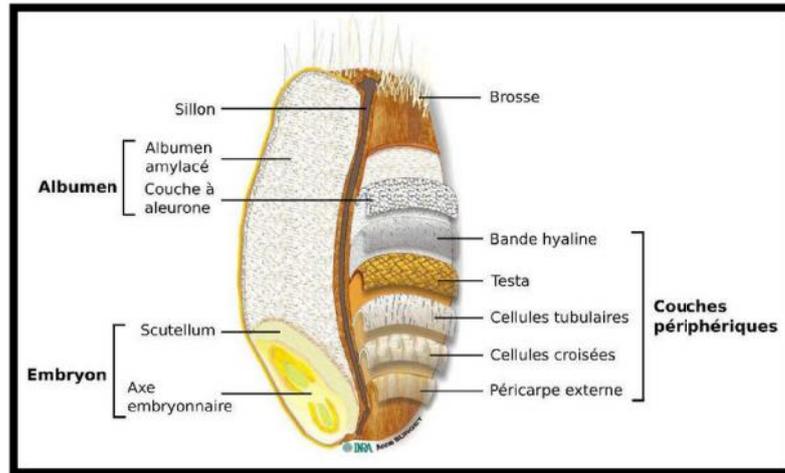


Figure I.8 Structure du grain de blé.

2.3.3. Composition chimique du grain de blé

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%) selon les variétés et les conditions de culture), les autres constituants, pondéralement mineurs sont : 2,5% les lipides, 3% la cellulose, 2,5% les sucres libres, 2% les minéraux et 9% les vitamines [52].

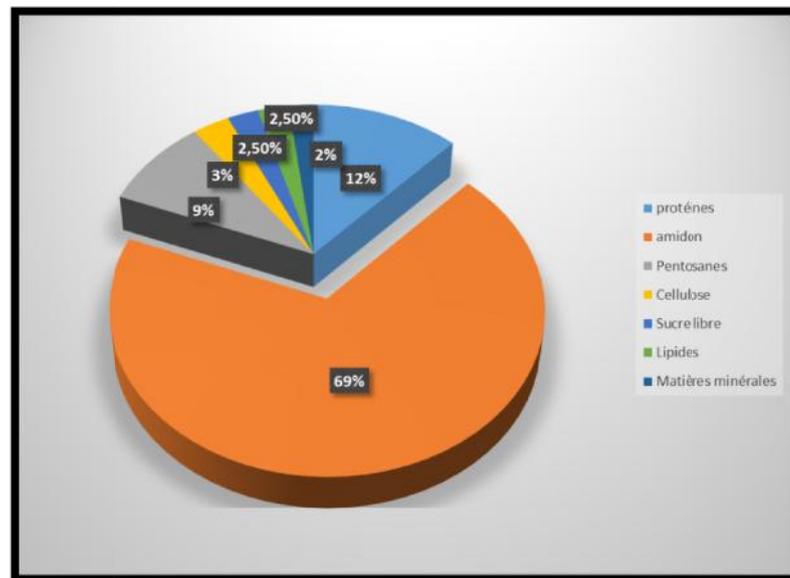


Figure I.9 Composition chimique du grain de blé.

Chapitre II

Matériels et Méthode

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Le travail expérimental de cette étude a été mené dans le laboratoire de Génie des procédés, à l'Université de Ghardaïa. Dans ce chapitre, est décrit le matériel utilisé et les méthodes suivies lors des procédés expérimentaux.

1-Matériels utilisés

Le matériel utilisé dans cette étude est le suivant.

1.1. Réactifs

Les réactifs utilisés dans la partie d'extraction d'amidon et la partie de préparation de film bioplastique sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1. Différents types des réactifs utilisés et leurs rôles [53].

Réactifs	Rôle
Amidon	Polymère qui plastifié par du glycérol pour permet d'obtenir le bioplastique.
Glycérol (CH₃ H₈ O₃)	Plastifiant qui permet d'augmenter le volume libre entre deux chaines de polymère, pour en diminuer les interactions et favoriser le mouvement de l'une par rapport à l'autre, permet ainsi de diminuer le chauffage et il rend le film plastique transparent ce qui est bien pratique au niveau d'application.
L'acide chlorhydrique (HCl)	Favorise la destruction du grain d'amidon par un phénomène d'hydrolyse ménagé.
L'hydroxyde de sodium (NaOH)	Diminuer la viscosité de la solution.
Dioxyde de titane (TiO₂)	Existe à l'état naturel, permet d'éviter les rayons UV de ne pénétre et n'endommagent pas le produit, sert également à blanchir et opacifier la peinture de plastique.

2-Méthodes expérimentales

2.1. Extraction d'amidon

2.1.1 Amidon de Pomme de terre

L'amidon de pomme de terre a été extrait selon le protocole d'extraction schématisé sur la figure **II.1**

Le processus s'est déroulé comme suite :

- 100 g de pomme de terre sont lavées par l'eau distillée, elles sont ensuite râpées
- La masse de pomme de terre râpée est mise dans un broyeur avec 100 ml d'eau distillée puis broyé soigneusement jusqu'à l'obtention d'une pâte fine.
- Le mélange broyé a été filtré à travers un filtre pour éliminer l'excès d'eau
- le filtrat est ensuite remis dans le broyeur avec 100 ml d'eau distillée puis broyé à nouveau, les étapes de mélange à l'eau, broyage et de filtration peuvent être reprises à 3 répétitions pour augmenter la quantité d'amidon extraite.
- La décantation du filtrat pendant 15 minutes.
- Récupération du culot de la décantation (l'amidon)
- Centrifugation du surnageant pour récupérer l'amidon résiduelle..
- Rinçage de du culot (l'amidon) récupérer avec 100 ml d'eau l'opération peuvent être reprises 3 fois
- Séchage de l'amidon à 40 °C .

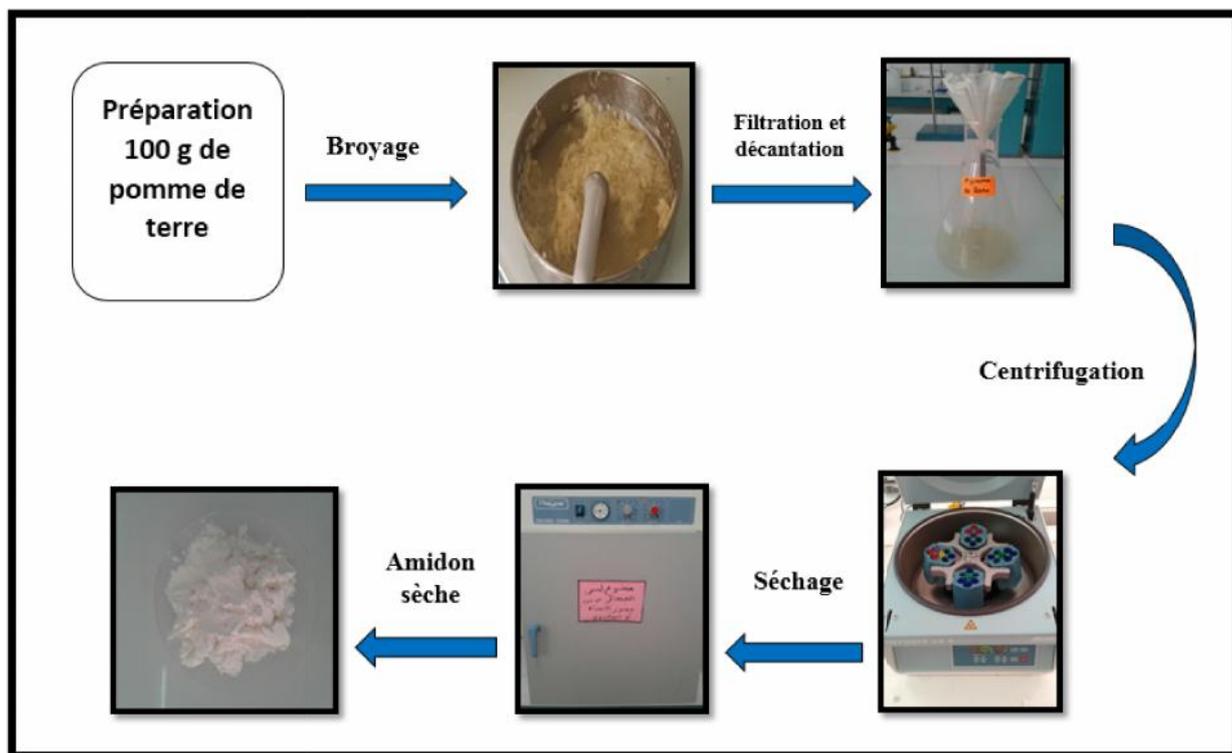


Figure II.1. Le protocole d'extraction d'amidon de pomme de terre.

2.1.2. Amidon commercial

Caractérisation d'amidon commercial utilisé est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III.2. Caractérisation d'amidon commercial.

Source	Marque	Purification
Maïs	Société Roquette, France	25% d'amylose et 75% d'amylopectine

2.2. Procédure de préparation des films bioplastiques d'amidon

Les films à base d'amidon ont été préparés à l'échelle de laboratoire en utilisant des différents amidons, d'eau distillée et de plastifiant (le glycérol).

L'amidon (5g) a été dispersé dans l'eau distillée (60 ml) avec (1.5 ml) de glycérol (1%), le mélange a été chauffé à 100 C° sur une plaque chauffante sous agitation magnétique continue, (9 ml) d'acide chlorhydrique (0.1 M) ont été ensuite ajoutés pour la bonne dissociation de

l'amidon dans le mélange, lorsque la solution visqueuse est observé, (9 ml) d'hydroxyde de sodium est ajouté pour diminuer la viscosité de mélange et neutraliser le mélange.

A la fin le mélange obtenu est versé sur des boîtes pétri, ensuite il est placé dans une étuve pour le sécher à 90 C° pendant 1h, puis laissée refroidir à une température ambiante [55].

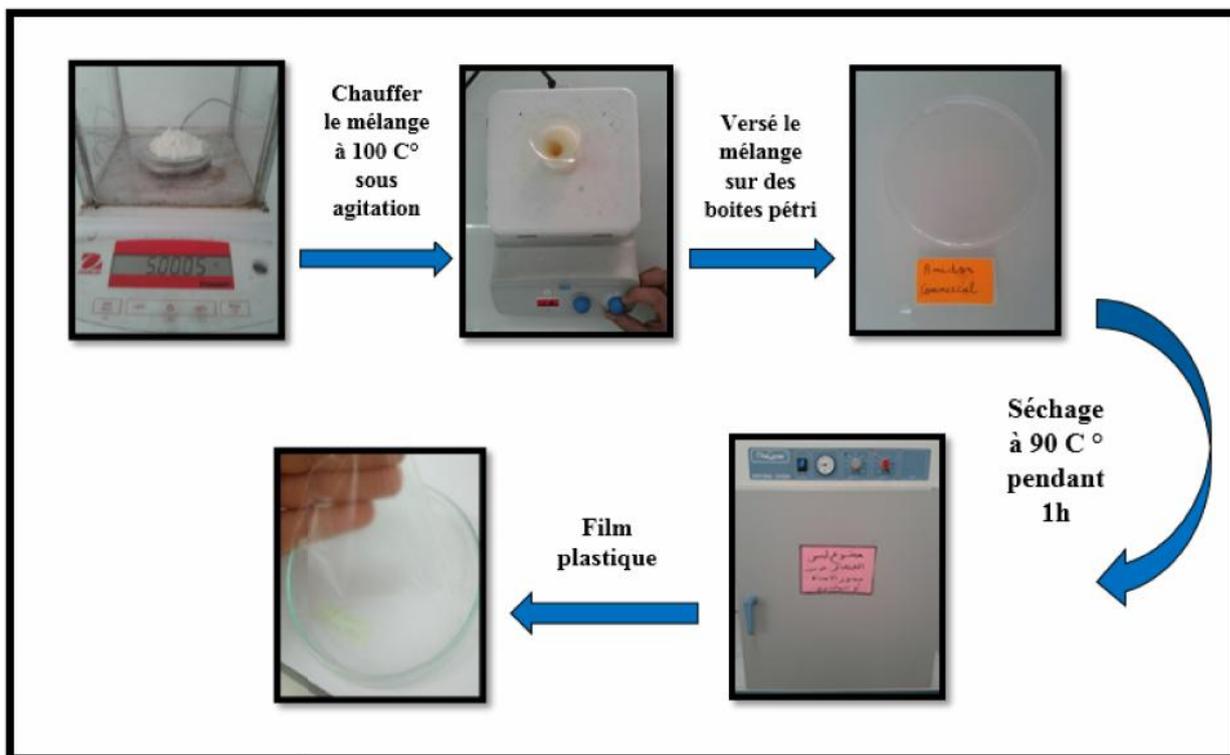


Figure II.2. Shéma représente les différents étapes de préparation de film bioplastique à base d'amidon.

3. Analyse et caractérisations

3.1. Analyse de la biomasse utilisée

La biomasse utilisée a été caractérisée par le taux de cendre pour évaluer le pourcentage de la matière organique présente dans la biomasse, le mode opératoire est exposé dans ce qui suit :

3.1.1. Taux de cendre

C'est le rapport qu'il permet de connaître le pourcentage de la matière organique qui compose la biomasse par rapport à la matière sèche [56].

5 g de pomme de terre sont séché dans l'étuve pendant 12h puis placé dans un creuset en céramique, est mis par la suite dans un four réglé à 600 C° pendant 3h. Une fois la carbonisation terminée, le creuset est retiré de four, et laissée refroidir à l'air libre puis pesé. Le taux de descendre est calculé par la formule suivantes :

$$\text{Taux de cendre} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\text{Eq III.1})$$

3.2. Analyses et Caractérisations de film bioplastique

Les films bioplastique préparés ont été caractérisés par différents technique pour évaluer leurs différentes propriétés, le mode opératoire de ces différentes techniques est exposé dans ce qui suit :

3.2.1. Taux d'humidité

Les échantillons de bioplastique obtenus de taille 1,5 cm² sont pesés pour mesurer le poids initial (W1). Les échantillons ensuite sont séchés dans une étuve à 85 °C pendant 24 h. Les échantillons sont pesés une fois de plus pour mesurer le poids final (W2). Le taux d'humidité a été déterminé à l'aide de la formule suivante [56] :

$$\text{Teneur en humidité} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\text{Eq III. 2})$$

3.2.2. Absorption d'eau

L'absorption d'eau des bioplastiques obtenus sont déterminées à partir de la méthode ASTM D570-98 légèrement modifiée. Les échantillons de bioplastique obtenus de taille 1,5 cm² sont séchés dans un four à 85 °C pendant 24 h pour permettre de mesurer leur poids sec (W1), puis, placer les échantillons dans un bécher de 50 ml d'eau distillée à température ambiante pendant 24 h. Après 24 h, le bioplastique est obtenu en filtrant l'eau, puis son poids est mesuré

pour trouver son poids final (W2). L'absorption d'eau est trouvée en utilisant la formule suivante [57]

$$\text{Absorption d'eau} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (\text{Eq III. 3})$$

3.2.3. Solubilité dans l'eau

Les échantillons des bioplastiques obtenus de taille 1,5 cm² sont d'abord séchés à l'étuve à 85 °C pendant 24 h pour permettre de mesurer son poids sec (W1), ils sont ensuite placés dans un bécher de 50 ml d'eau distillée à température ambiante pendant 24 h. Après 24 h le résidu bioplastique est obtenu en filtrant l'eau et à nouveau séché dans une étuve à 85 °C pendant 24 h puis il est pesé pour trouver le poids final (W2). La solubilité est trouvée en utilisant la formule suivante [57] :

$$\text{Solubilité dans l'eau} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\text{Eq III. 4})$$

3.2.4. Solubilité dans l'alcool

Les échantillons des bioplastique obtenus de taille 1,5 cm² doivent sont séchés à l'étuve à 85 °C pendant 24 h pour permettre de mesurer son poids sec (W1), ils sont ensuite placés dans 3 ml d'éthanol dans des tubes à essai avec bouchons à température ambiante pendant 24h. Après 24 h, le résidu de bioplastique obtenu en filtrant l'éthanol et à nouveau séché dans une étuve à 85 °C pendant 24h puis pesé pour trouver le poids final (W2). La solubilité est trouvée en utilisant la formule suivante :

$$\text{Solubilité dans l'alcool} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\text{Eq III. 5})$$

3.2.5. Test de biodégradabilité

Les échantillons des bioplastiques obtenus de taille 1,5 cm² sont pesés pour mesurer le poids initial (W1). Les échantillons sont enterrés sous 2 cm de terre de jardin humide contenue dans des gobelets en polystyrène et sont conservés pendant 5 jours à température ambiante avec d'autre échantillon sont conservés pendant 10 jours. Le sol doit être maintenu humide pendant les 10 jours, après quoi les résidus bioplastiques sont récupérés du sol, suivi d'un lavage à l'eau et d'un séchage dans une étuve à 85 °C pendant 24 h, puis à nouveau pesé pour mesurer le

poids final (W2). La biodégradabilité est mesurée à partir de la formule suivante [58] :

$$\text{Test de biodégradabilité} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100 \quad (\text{Eq III. 6})$$

3.2.6. Résistance chimique

Les films bioplastiques sont immergés dans différents solvants (0,1 N HCl, 0,1 N NaOH, solution de NaCl et 50% d'éthanol) pendant 48 h, et leur résistance il est vérifiée en mesurant le changement en apparence.

3.2.7. Spectroscopie Infrarouge à Transformer de Fourier (FT-IR)

La technique FT-IR utilisée pour découvrir les groupes fonctionnels présents dans les échantillons de bioplastique, en utilisant une plage de nombres d'ondes de 4000 à 650 cm^{-1} et une résolution de 2 cm^{-1} .

❖ Principe de fonctionnement de la technique infrarouge (FT-IR)

La spectroscopie infrarouge est beaucoup utilisée pour l'étude de la structure des molécules pour des applications chimiques, c'est une technique simple à mettre œuvre qui peut permettre d'obtenir des informations rapides sur tous types d'échantillons.

Cette technique est une spectroscopie vibrationnelle basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon. Toute molécule émet, à travers ses liaisons chimiques, des vibrations de différents types (élongation, déformation...), ces vibrations vont absorber le rayonnement infrarouge à des longueurs d'ondes différentes selon la nature de la liaison et le type de vibration. La position (longueur d'onde convertie en nombre d'ondes) et la forme des bandes d'absorption d'un spectre sont donc caractéristiques des groupements chimiques d'où elles proviennent, ainsi un composé particulier (par exemple un polymère) donne une empreinte spectrale d'absorption dans l'infrarouge qui lui est propre et pourra être identifié.

Pour l'analyse, le faisceau infrarouge provenant de la source via un interféromètre (qui va moduler les longueurs d'onde du faisceau en interférogramme), est soit transmis à travers (en coupe, ou en couche mince sur un substrat transparent à l'infrarouge), soit réfléchi sur l'échantillon (par réflexion spéculaire ou par réflexion totale atténuée _ ATR) jusqu'à un détecteur, ce dernier donne le signal sous forme d'interférogramme

qui est converti en spectre infrarouge par transformée de Fourier. L'intensité de l'absorption est en principe proportionnelle à la quantitative (à partir de courbes d'étalonnage) [59].



Figure II.3. Spectroscopie Infrarouge à Transformer de Fourier (FT-IR).

3.2.8. Propriétés mécanique (l'essai de traction)

Cet analyse a été effectuée au niveau de laboratoire chimique de l'entreprise nationale de fabrication des tubes « ALFAPIPE » - Ghardaïa.

Essai de traction : réalisé à température ambiante sur des éprouvettes cylindriques l'essai consiste à appliquer deux forces opposées sur un échantillon avec une vitesse de traverse de 10 mm/min et une longueur de 40 mm et une largeur de 15 mm.

Les extrémités d'un échantillon de film ont été serrées entre les mâchoires de de la machine d'essai en tension, l'une fixe et l'autre mobile. L'échantillon a été ensuite soumis à un étirement uniaxial à vitesse imposée et constante. Les forces ont été enregistrées par le capteur de force situé sur la partie fixe de la machine. Chaque matériau est caractérisé par un diagramme contrainte déformation et chaque comportement d'un matériau soumis à une contrainte de traction. On y distingue trois zones :

La zone 1 de la contrainte élongation est linéaire et correspond à une déformation élastique (déformation réversible), le matériau s'allonge sous l'action de la traction et reprend sa forme et ces dimension initiale lorsque la contrainte est interrompue. Le coefficient de proportionnalité est appelé module de Young ou module d'élasticité.

La zone 2 est appelée zone de déformation plastique. La déformation est toujours élastique, mais la variation (contrainte déformation) n'est plus linéaire. Cette zone présente un maximum au-delà duquel le matériau subit une déformation irréversible. L'arrête de la contrainte, le matériau ne retrouve pas sa forme initiale : il existe une déformation résiduelle permanente.

Au-delà d'une déformation critique une contraction du matériau s'opère en un point donné jusqu'à rupture. On aborde alors **la zone 3** de la courbe, dite zone de rupture. Si un matériau se casse dans son domaine élastique, c'est-à-dire sans subir de déformation plastique avant sa rupture, il considéré comme fragile. Par contre, il sera considéré comme ductile s'il peut subir de grandes déformations plastiques avant sa rupture.

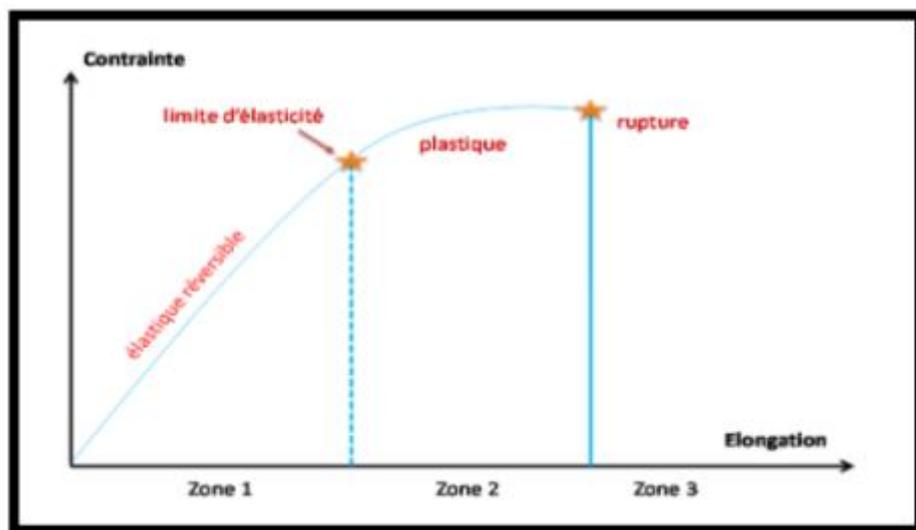


Figure II.4. Le comportement d'un matériau soumis à une contrainte mécanique.

Les propriétés mécaniques de différents films ont été évaluées à l'aide d'une machine de traction.

Des échantillons rectangulaire de film ont été préparés en utilisant un massicot de précision à double lame afin d’obtenir des éprouvettes de traction avec une largeur exacte et des cotés parallèles et sans défaut sur toute leur longueur.

Ces échantillon précondition ont été soumis à un essai de traction uniaxial (capture de force 300N) à une vitesse constante de 1mm/min jusqu’à rupture.

Les différents films ont été testés. A partir des courbes contrainte déformation enregistrées automatiquement (Forces(F) en N en fonction de l’allongement (L) en millimètre), nous avons calculé [60] :

- La contrainte maximale à la rupture (**MPa**) :

$$= \frac{F_{max}}{S} \quad \text{(Eq III. 7)}$$

Avec : S est la section initiale de l’éprouvette (m²) et égale au produit de l’épaisseur par sa largeur, et F_{max}, la force maximale à la rupture (N).

- Le module d’élasticité ou module de Young E (MPa) correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe (contrainte déformation) aux faible déformations :

$$E = \frac{\delta}{\epsilon} \quad \text{(Eq III. 8)}$$

Avec :

La contrainte (N/m² ou MPa) et la déformation (%).

- Le pourcentage de déformation nominale (allongement) du film au point de rupture %

Il correspond au rapport entre l’allongement et la longueur de référence (initiale) :

$$n = (\Delta L / L_0) \times 100 \quad \text{(Eq III.9)}$$

Avec :

L = l – l₀ : Allongement à rupture (mm).

L₀ : Longueur initial de l’éprouvette.

l : Longueur final de l’éprouvette.



Figure II.5. Machine de l'essai de traction **ZWICK / ROELL**.

Chapitre III

Résultats et discussions

Chapitre III Résultats et discussions

1. Extraction d'amidons

Les amidons extraire par divers sources sont représentées dans la figure suivantes :

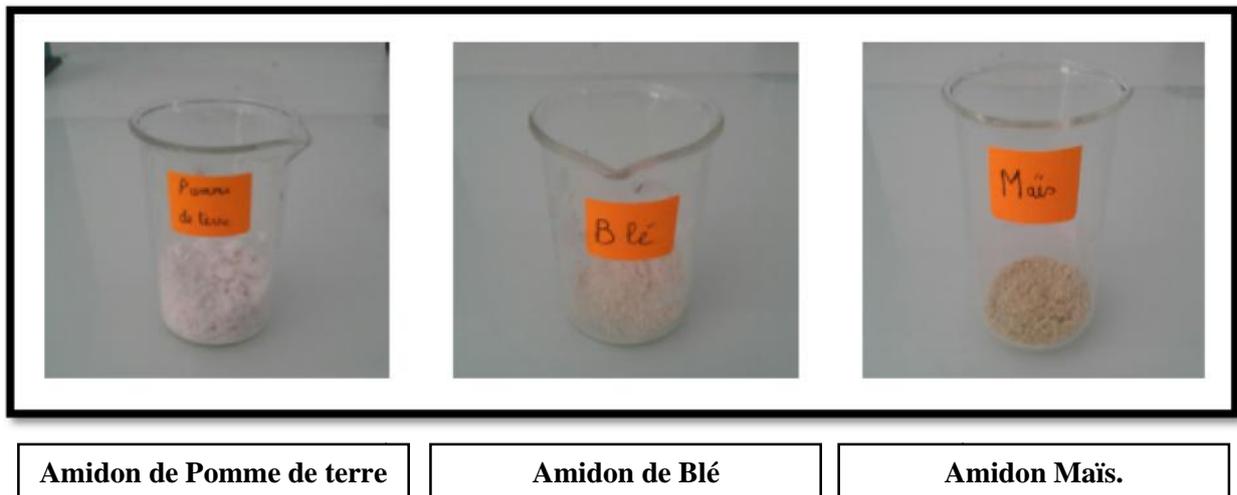


Figure III.1. Les amidons obtenus de différentes sources.

- Par notre expérience l'amidon de pomme de terre représente le meilleur amidon pour la gélatinassions et pour la préparation du bioplastique.
- Caractérisations des trois amidons sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1. Caractérisations des trois amidons.

	Amidon de Pomme de terre	Amidon de Blé	Amidon de maïs.
Gélatinassions	Bonne	Mauvaise	Mauvaise
Purification	Pas des impuretés	Présence des impuretés	Présence des impuretés

2. Les films obtenus

La figure suivante représente les différents films obtenus :

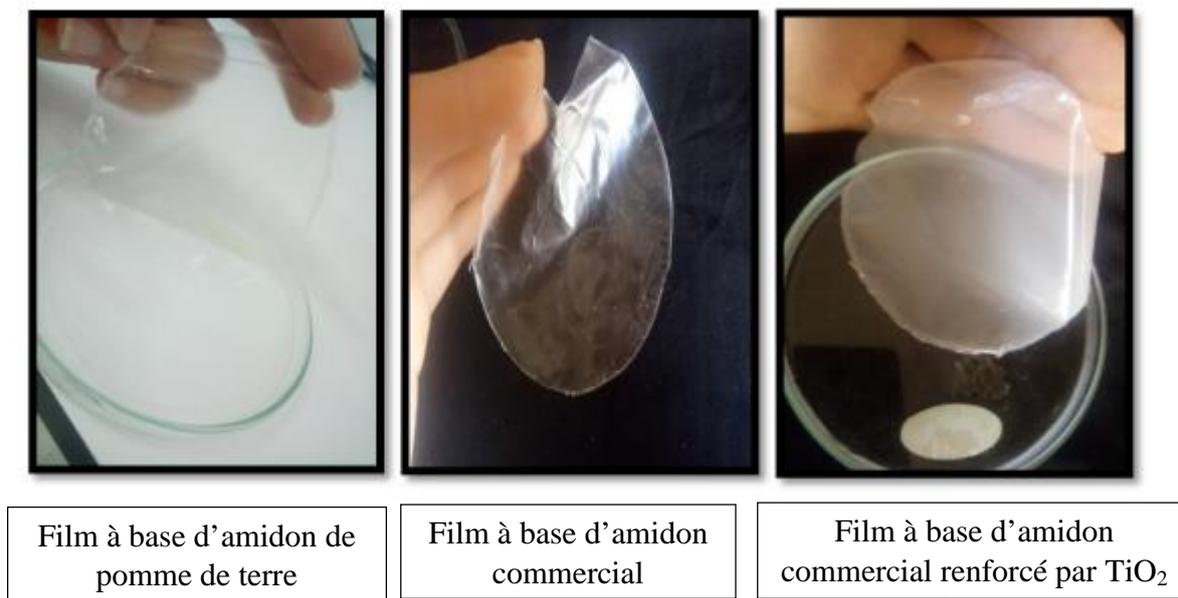


Figure III.2. Les différents films obtenus.

3. Analyse de la biomasse utilisée

3.2. Taux de cendre

Les résultats de taux de cendre de notre biomasse sont représentés dans **le tableau III.2** :

Tableau III.2. Taux de cendre (%) de la biomasse étudiée.

Biomasse	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Taux de cendre (%)
Pomme de terre	5.4650	1.4373	26.30 %

- Par ce résultat, la matière organique qui compose la pomme de terre représente une valeur de pourcentage de 26.30 %.

4. Analyse et caractérisation des films obtenue

4.1. Taux d'humidité

Les résultats d'analyse de taux d'humidité pour les trois films sont représentés dans le **tableau III.3** et illustré dans la **figure III.3** :

Tableau III.3. Taux d'humidité (%) des trois films.

Films	Masse initiale (g)	Masse final (g)	Taux d'humidité (%)
Amidon commercial non renforcé	0.5027	0.4655	7.40
Amidon commercial renforcé par TiO ₂	0.5096	0.4766	6.48
Amidon de pomme de terre	0.5135	0.4446	13.42

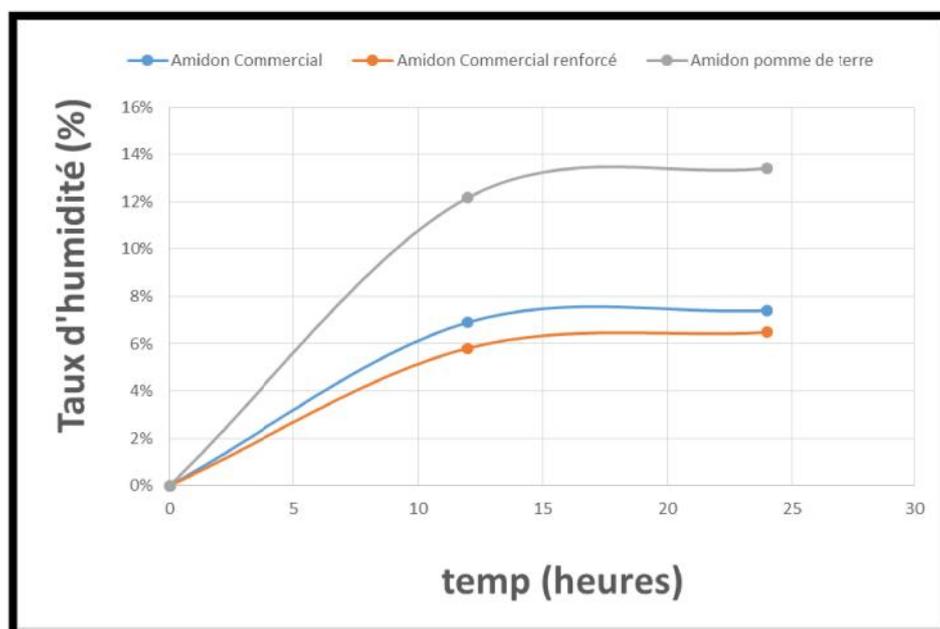


Figure III.3. Taux d'humidité des films en fonction du temps.

Les résultats obtenus dans le tableau montrent que le taux d'humidité de film d'amidon de pomme de terre a le pourcentage le plus élevé **13.42 %** par rapport au film de l'amidon commercial qui a le pourcentage **7.40 %**, d'autre part comparativement entre le film renforcé et non renforcé on remarque que il n'y a pas une grande variation de taux d'humidité, **7.40 %** pour le film non renforcé **6.48 %** pour le film renforcé.

4.2. Absorption d'eau

Les variations de l'absorption d'eau pour les films sont exprimées dans le **tableau III.4** et illustré dans la **figure III.4**.

Tableau III.4. Absorption d'eau (%) des trois films.

Films	Masse initiale	Masse final	Absorption d'eau
	(g)	(g)	(%)
Amidon commercial non renforcé	0,544	0,687	26,204
Amidon commercial renforcé par TiO ₂	0,565	0,689	22,126
Amidon de pomme de terre	0,502	0,598	19,056

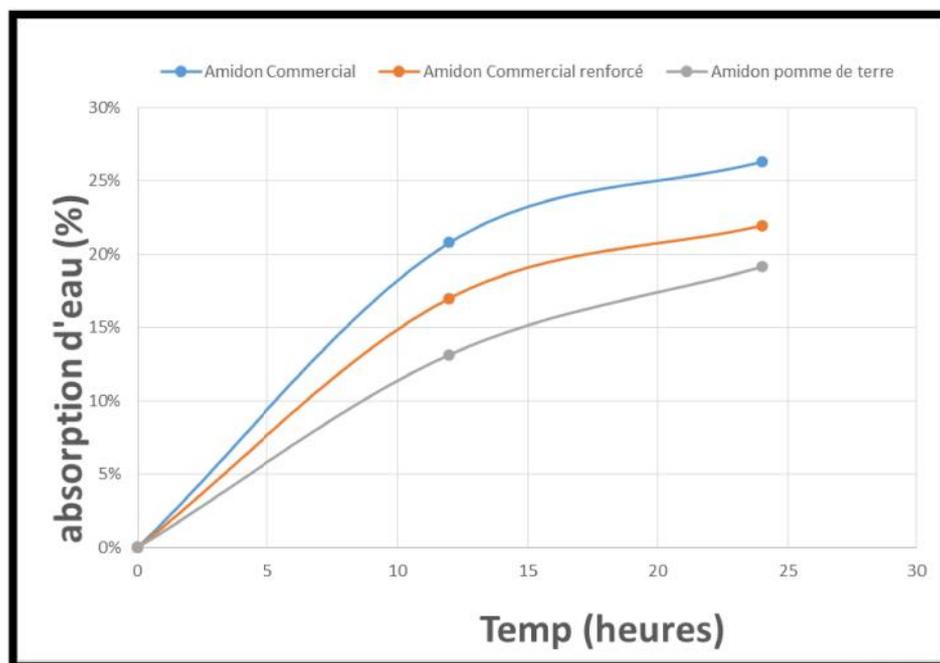


Figure III.4. Taux d'absorption des films en fonction du temps.

Par les résultats de tableau, on observe que l'absorption d'eau de film d'amidon commercial représente la plus haute valeur **26,204 %** par rapport au film d'amidon de pomme de terre qui représente la valeur **19,056 %**, d'une autre part on remarque entre l'amidon commercial renforcé et non renforcé que lorsque on ajoute le TiO_2 (Film renforcé) l'absorption d'eau diminué, de **26,204 %** à **22,126%**.

4.3. Solubilité dans l'eau

Les différents pourcentages de la solubilité d'eau pour les films sont représentés dans le **tableau III.5**

Tableau III.5. Solubilité dans l'eau (%) des trois films.

Films	Masse initiale	Masse final	Solubilité dans l'eau
	(g)	(g)	(%)
Amidon commercial non renforcé	0,5172	0,3831	25,93
Amidon commercial renforcé par TiO_2	0,5184	0,4302	17,01
Amidon de pomme de terre	0,5097	0,0633	87,58

Les résultats de tableau indiquent que le pourcentage de matière soluble de l'amidon de pomme de terre dans l'eau représente la valeur la plus élevée **87,58 %** par rapport au l'amidon commercial **25,93 %**, d'autre part comparativement entre renforcé et non renforcé on remarque que l'amidon renforcé représente le pourcentage la plus faible valeur de la solubilité **17,01%**.

On peut conclure que le film d'amidon de pomme de terre représente la plus faible résistance à l'eau entre les trois films, contrairement au film renforcé qui représente une grande résistance.

4.4. Solubilité dans l'alcool

Les différents pourcentages de la solubilité d'alcool pour les films représentés dans le **tableau III.6**.

Tableau III.6. Solubilité dans l'alcool (%) des trois films.

Films	Masse initiale	Masse final	Solubilité dans l'alcool
	(g)	(g)	(%)
Amidon commercial non renforcé	0,5257	0,332	36,85
Amidon commercial renforcé par TiO ₂	0,5109	0,4586	10,24
Amidon de pomme de terre	0,5092	0,0616	87,90

Par les résultats de tableau, on remarque que les mêmes variations des pourcentages de la solubilité dans l'alcool ont été observées chez la solubilité dans l'eau.

4. 5. Test de biodégradabilité

Le test de biodégradabilité a été évalués en fonction du temps (jours) et en fonction de la perte de poids (%), les différents résultats sont présentés dans le **tableau III.7** et illustré dans la **figure III. 5**.

Tableau III. 7. Biodégradabilité % des trois films.

Films	Masse initiale	Masse final (10 jours)	Masse final (20 jours)	Test de biodégradabilité (10 jours)	Test de biodégradabilité (20 jours)
	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
Amidon commercial non renforcé	1,5197	0,855	0,728	43,7389	52,09
Amidon commercial renforcé par TiO ₂	1,512	0,915	0,821	39,4841	45,70
Amidon de pomme de terre	0,5808	0,213	0,1164	63,3265	79,96

La figure suivant présente la perte de poids en % pendant 20 jours.

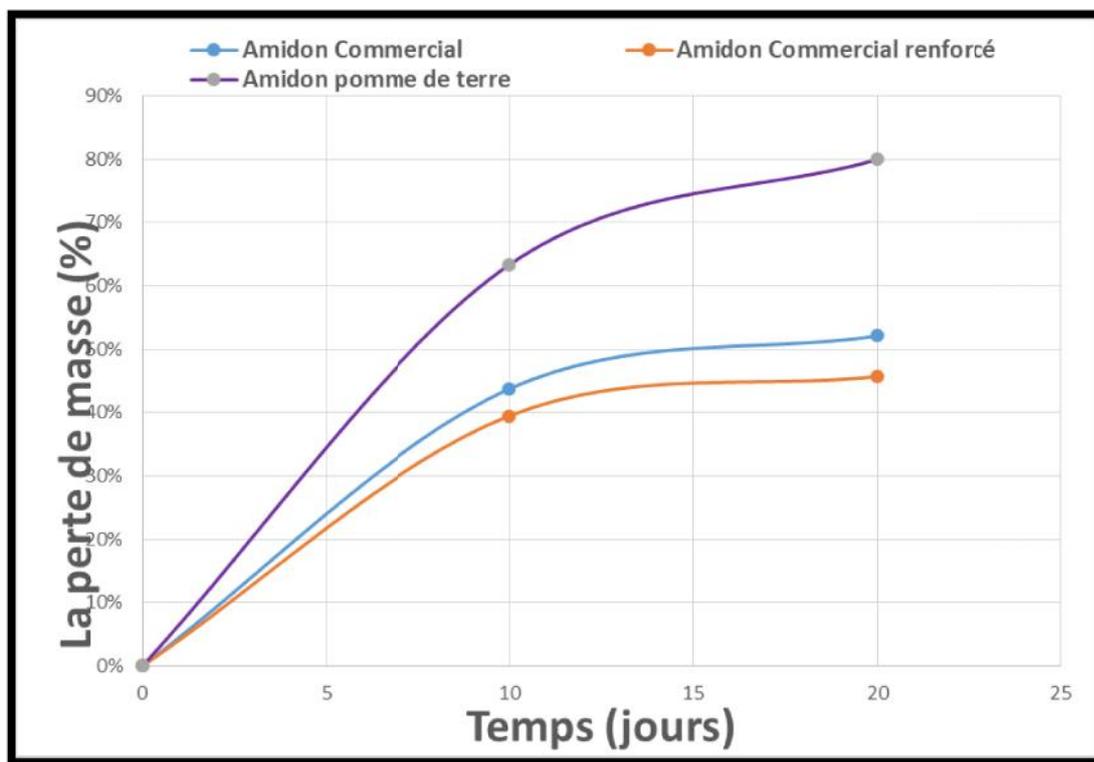


Figure III.5. La perte de poids % des films en fonction du temps.

Les résultats de test de biodégradabilité montrent que la perte de poids augmente au cours du temps, avant les 10 jours on observe une augmentation rapide de perte de poids, après 10 jours la perte de poids continue mais avec un pourcentage léger.

On remarque également que le film d'amidon de pomme de terre présente la perte de poids la plus élevée **79,95 %**, par contre une moitié de perte de poids pour le film d'amidon commercial **52,10 %**, d'une autre part le film renforcé présente une perte de poids peu moins à celle de film non renforcé.

4.6. Résistance chimique

4.6.1. Résistance dans le Sodium Chloride (NaCl)

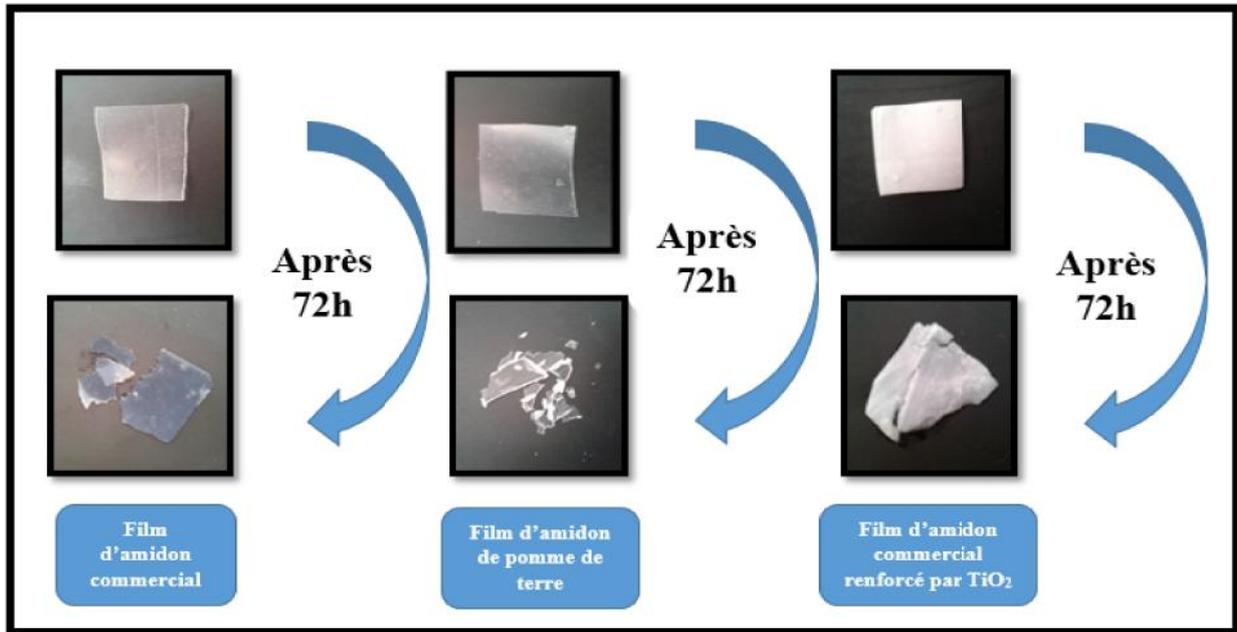


Figure III.6. L'analyse de résistance chimique dans le Sodium Chloride (NaCl).

Les résultats de résistance des trois films dans le Sodium Chloride (NaCl) montrent une faible résistance, notamment pour le film de pomme de terre.

4.6.2. Résistance dans l'hydroxyde de sodium (NaOH)

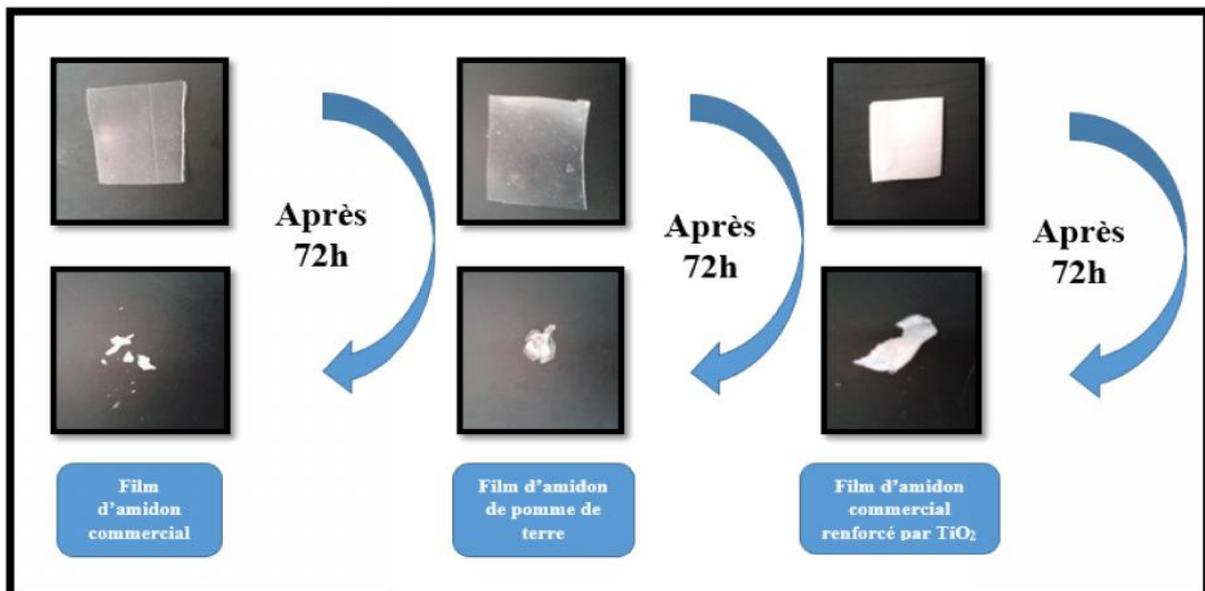


Figure III.7. L'analyse de résistance chimique dans l'hydroxyde de sodium (NaOH).

On observe par la résistance des trois films dans l'hydroxyde de sodium (NaOH) une disparition de grande partie des films surtout pour le film d'amidon commercial, cela indique également une faible résistance pour les trois films dans le (NaOH).

4.6.3. Résistance dans l'éthanol

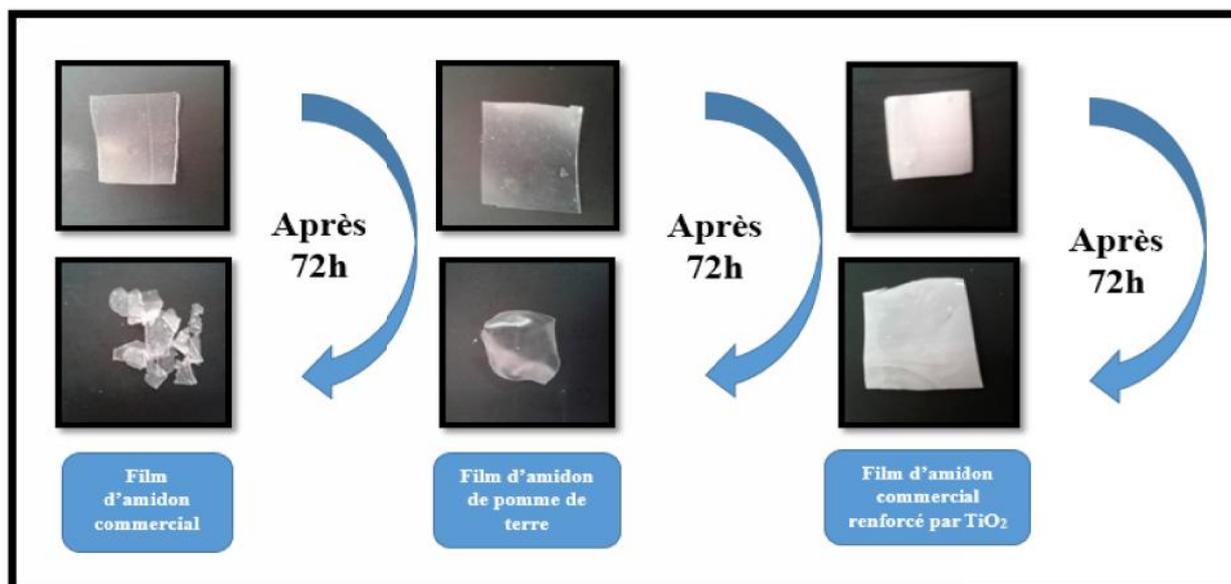


Figure III.8. L'analyse de résistance chimique dans l'éthanol.

Dans l'analyse de résistance dans l'éthanol, on remarque que le film d'amidon commercial renforcé par TiO_2 représente la meilleure résistance, contrairement pour le film non renforcé qui montre une faible résistance.

4.6.4. Résistance dans l'acide chlorhydrique (HCl)

L'analyse de résistances dans l'acide chlorhydrique (HCl), a montré également une meilleure résistance pour le film d'amidon commercial renforcé par TiO_2 , et une faible résistance pour le film non renforcé.

Par ces résultats, généralement on peut conclure que le renforcement de film par dioxyde de titane a amélioré leur résistance chimique.

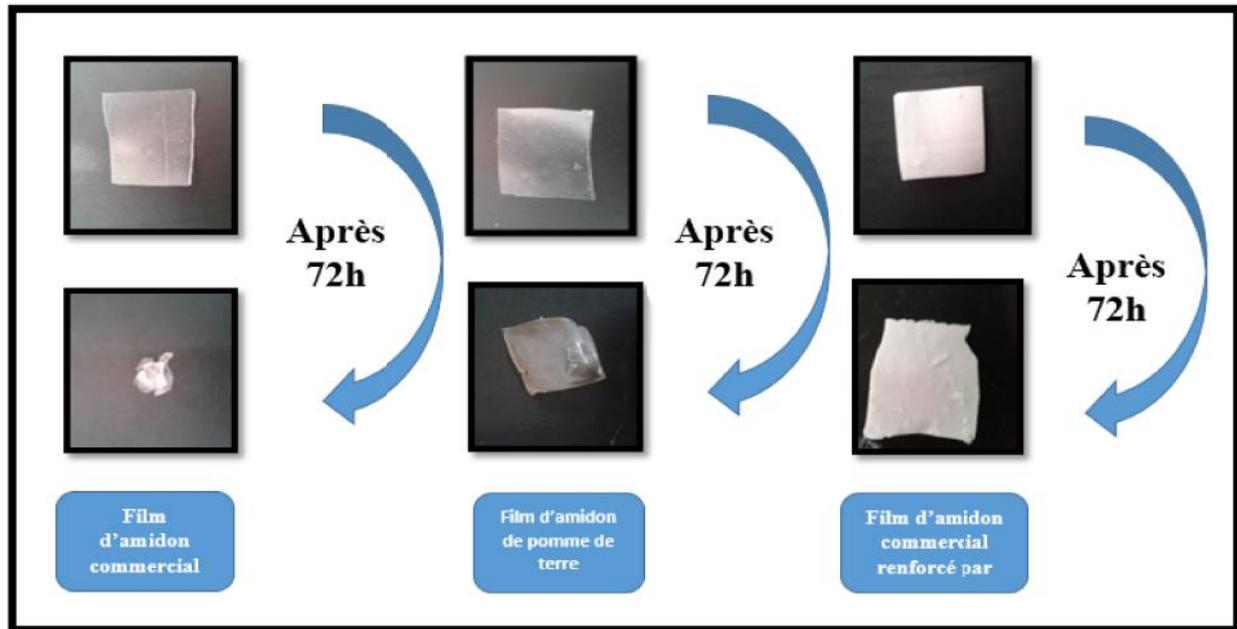


Figure III.9. L'analyse de résistance chimique dans l'acide chlorhydrique (HCl).

4.7. Spectroscopie Infrarouge à Transformer de Fourier (FT-IR)

L'analyse par FT-IR est utilisée pour découvrir les groupes fonctionnels présents dans les échantillons de bioplastique, en utilisant une plage de nombres d'ondes de 4000 à 650 cm^{-1} et une résolution de 2 cm^{-1} .

Les spectres FT-IR des amidons sont représentés sur les **figures III.10., III.11. et III.12.** respectivement.

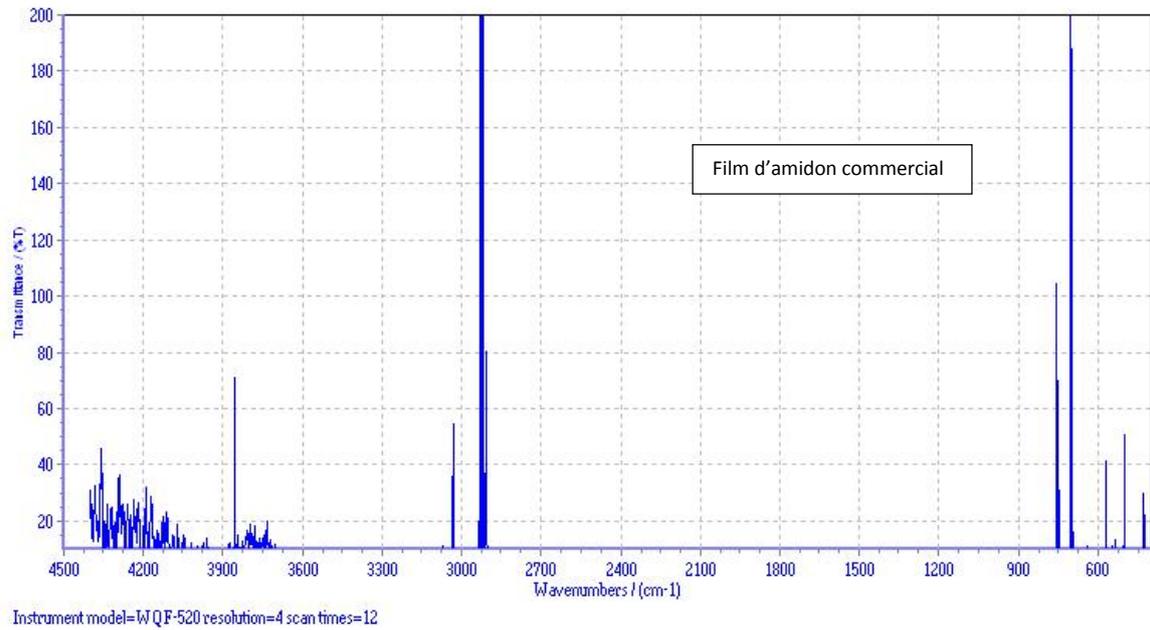


Figure III. 10. Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon commercial.

Tout d'abord on remarque que le spectre FT-IR n'est pas net, ceci peut être dû à la présence d'une grande quantité d'eau dans le film.

On peut observer l'apparition des pics dans l'intervalle de longueur d'onde de 2927.12 à 2887.33 cm^{-1} correspond à la liaison d'alkyle (C-H), aussi on observe des pics dans l'intervalle de 750 à 700 cm^{-1} qui correspond à la liaison de Benzène (C_6H_6).

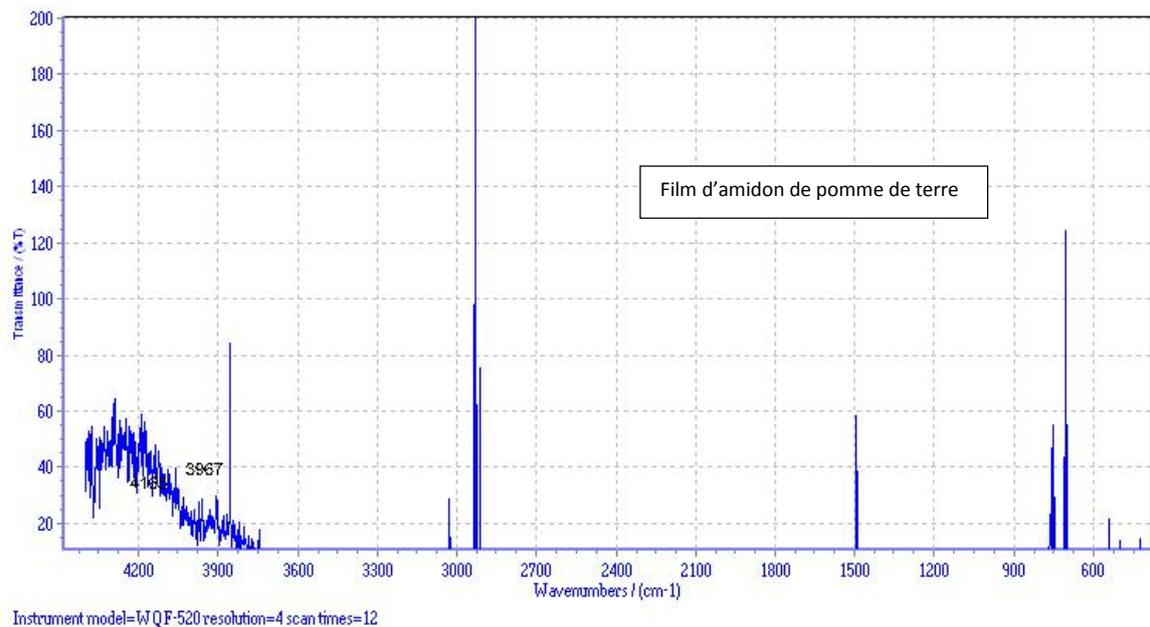


Figure III.11. Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon de pomme de terre.

Le spectre a montré un pic également d'alkyle (C-H) entre 2927.12 et 2887.33 cm^{-1} , une apparition de pic dans la longueur d'onde 1500 cm^{-1} indique la présence des composés aromatiques, aussi l'apparition des pics dans l'intervalle de 750 à 700 cm^{-1} qui correspond à la liaison de Benzène (C_6H_6).

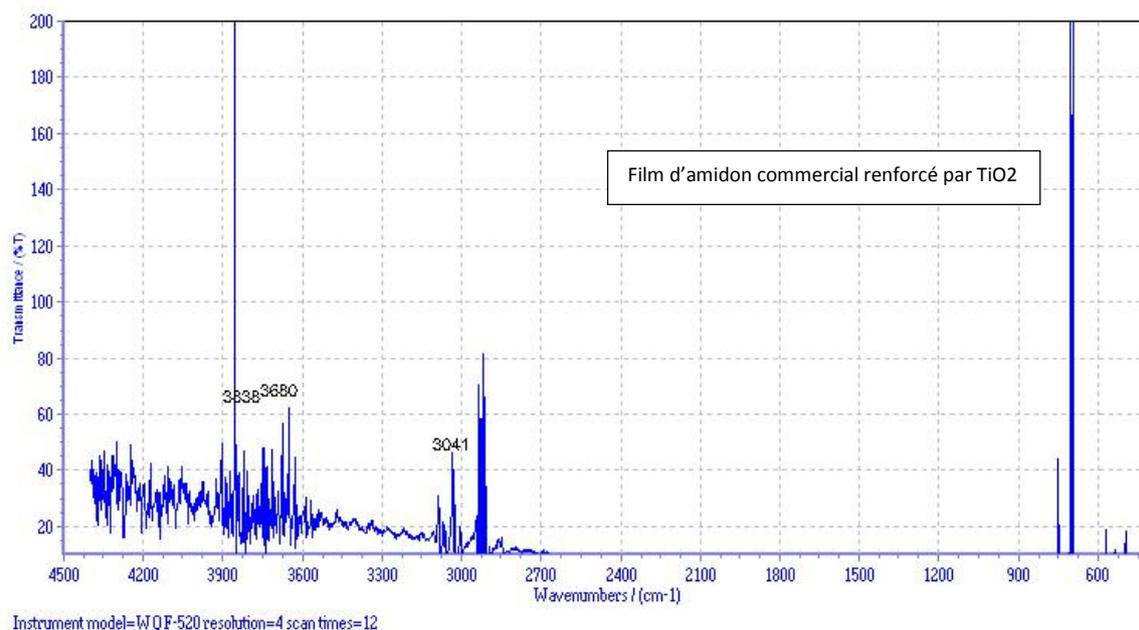


Figure III.12. Spectre FT-IR de film bioplastique à base d'amidon commercial renforcé par le dioxyde de titane (TiO_2).

Le spectre a montré une large bande entre le nombre d'onde 3900 à 3600 cm^{-1} qui correspond aux groupements OH, aussi on observe l'apparition des pics de d'alkyle et de Benzène respectivement dans les intervalles (2927.12 à 2887.33 cm^{-1}) et à 750 à 700 cm^{-1}

Principales bandes dans le spectre pour les trois films sont représentés dans le tableau suivantes :

Tableau III.8 : Principales bandes dans le spectre FT-IR.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attributions
700–750	C_6H_6 (Benzène)
1500	C C (Aromatique)
2927,12-2887,33	C-H (- CH_2 et CH_3)
3000	O-H (Acides carboxyliques)
3020	C CH (Vinyle)
3610–3670	O H (Alcools, phénols)

4.8. Propriété mécanique (essai de traction)

Les propriétés mécaniques ont été étudiées par les essais de traction sur les trois films, les essais ont mesurés pour but de résistance à la traction ainsi que le module de Young avec une vitesse de traverse de 10 mm/min et une longueur de 40 mm et une largeur de 15 mm.

Les valeurs de l'allongement et la contrainte à la rupture sont représentés dans le **tableau III.9** et illustré dans la **figure III.13**.

Tableau III.9. Les valeurs de l'allongement à la rupture, contrainte à la rupture et module de Young (E) pour les films.

Film	(%)	(MPa)	E(MPa)
AMIDON COMMERCIEL	4,302	0,652	0,152
AMIDON COMMERCIEL RENFORCIE	12,903	0,6135	0,048
AMIDON DE POMME DE TERRE	4,102	0,3942	0,096

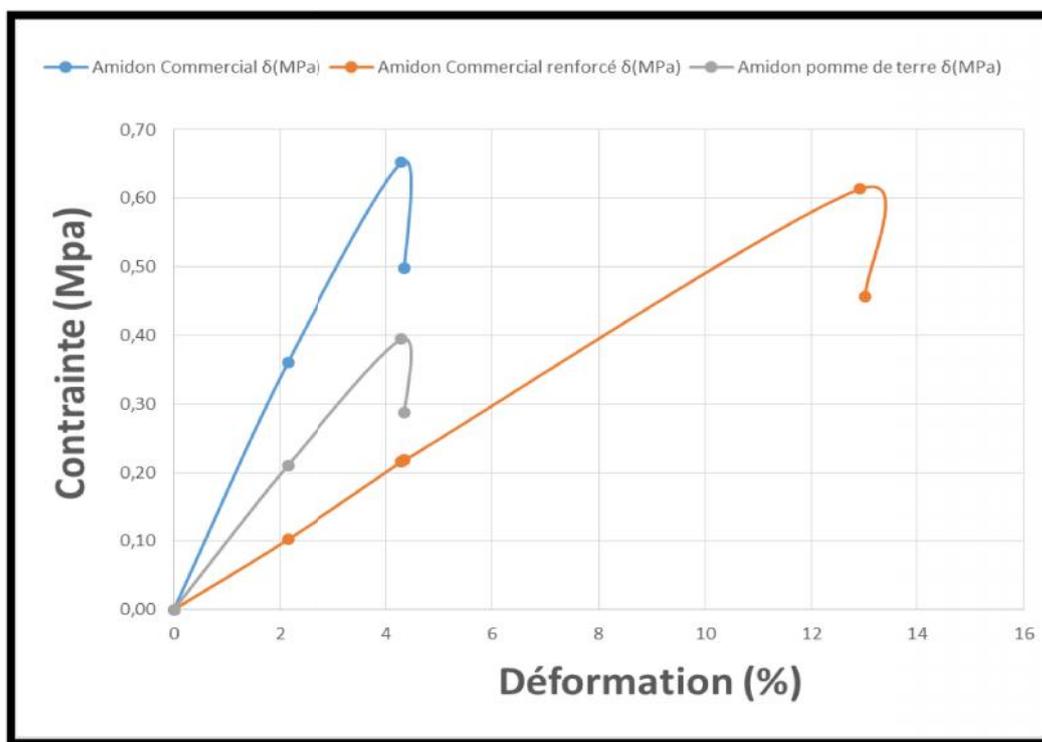


Figure III.13. L'essai de traction des films.

D'après les résultats obtenu on constate que :

- L'essai de traction a présenté la meilleure contrainte avec une valeur de 0.652 N/mm^2 pour le film commercial.
- Pour l'allongement à la rupture on observe que le film d'amidon renforcé par dioxyde de titane a présenté le meilleur allongement avec une valeur de 12.903% et le module d'élasticité le film renforcé représente également une meilleure valeur de $0.048 \text{ (N/mm}^2\text{)}$.
- Par conclusion, la flexibilité et la résistance des films augmentent lorsque le module d'élasticité diminue, le film renforcé il a le meilleur allongement et contrainte à la rupture, donc l'ajoute de dioxyde de titane (TiO_2) amélioré les propriétés mécanique de film.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les bioplastiques offrent un large spectre de propriétés et d'applications et constituent aujourd'hui un matériau important pour de nombreuses branches industrielles. La demande mondiale ne cesse d'augmenter, ce qui s'applique également aux exigences posées au potentiel de rendement de ce groupe de matières.

L'objectif de ce travail est d'élaborer des films plastiques décomposés dans la nature à base de différentes sources d'amidon et essayer d'améliorer les propriétés de chacun, dans le but est de rapprocher les propriétés des plastiques à base de pétrole.

Après l'extraction d'amidon, nous avons préparé des films bioplastiques à partir de deux sources différentes d'amidon, (amidon commercial et amidon naturel extrait de pommes de terre), et nous avons renforcé l'un d'eux avec du dioxyde de titane, après nous avons caractérisés ces films bioplastiques par plusieurs analyses physico-chimique et mécaniques.

Les différents films obtenus ont été caractérisés et étudiés par la mesure de taux d'humidité, d'absorption d'eau et la solubilité dans deux différentes solutions (Eau et l'alcool), et de la résistance chimique, aussi un test de biodégradation dans un milieu d'enivrement (Terre de jardin humide), puis, nous avons eu recours à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour voir la miscibilité des polymères.

L'évaluation de la qualité du produit élaboré, vis-à-vis les propriétés mécaniques telle que l'traction montrent clairement une amélioration de film renforcé par le dioxyde de titane, la flexibilité et la résistance des films augmentent lorsque le module d'élasticité diminue, les films renforcés ils ont le meilleur allongement et contrainte à la rupture.

Nous pouvons conclure que les propriétés des films bioplastiques changent lorsque la source d'amidon est modifiée, et cela est dû au changement de leur structure et de leur composition chimique, et le renforcement du film bioplastique par le dioxyde de titane a conduit une amélioration notable dans la plupart de ses propriétés.

Au final, comme recommandation pour la suite de recherche, nous devons recommander à s'intéresser aux déchets végétaux comme source d'amidon, parce la fabrication des films bioplastiques à partir de matière première alimentaire présente un risque de déséquilibre la

sécurité alimentaire de certain population, nous suggérons également d'utiliser d'autre matériaux de renforcement naturels comme (l'argile ou coquilles d'œufs).

Références Bibliographiques

- [1] WEISS , Charles . Science , technology and international relations . *Technology in Society* , 2005 , 27.3 : 295-313 .
- [2] Tjahjono , Benny , and Dongmei Cao . " Advancing bioplastic packaging products through co - innovation : A conceptual framework for supplier - customer collaboration . " *Journal of Cleaner Production* 252 (2020) : 119861 .
- [3] Whole Earth magazine , No. 90 , summer 1997 .
- [4] Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current opinion in Green and Sustainable chemistry*, 13, 68-75.
- [5] Niaounakis, M. (2015). *Biopolymers: applications and trends*. William Andrew.
- [6] Burgstaller, M., Potrykus, A., Weißenbacher, J., Kabasci, S., Merrettig-Bruns, U., & Sayder, B. (2018). Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. *UBA Texte*, 57, 2018.
- [7] Erdmann, R., Kabasci, S., Kurek, J., & Zepnik, S. (2014). Study of reactive melt processing behavior of externally plasticized cellulose acetate in presence of isocyanate. *Materials*, 7(12), 7752-7769.
- [8] JANKOVA, V. (2018). Bioplastics: Opportunities and Challenges.
- [9] Crocker, R. (2018). From 'Spaceship Earth' to the circular economy: The problem of consumption. In *Unmaking waste in production and consumption: towards the circular economy*. Emerald Publishing Limited.
- [10] Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges. *Current opinion in Green and Sustainable chemistry*, 13, 68-75.
- [11] Platt, D. K. (2006). *Biodegradable polymers: market report*. iSmithers Rapra Publishing.
- [12] Le, V. (2020). Bio-plastics production from starch.
- [13] Shamshina, J. L., Berton, P., & Rogers, R. D. (2019). Chitin as a resource for eco-friendly bioplastics. *Journal: Encyclopedia of Ionic Liquids*, 1-8.

- [14] Shen, J., Song, Z., Qian, X., & Liu, W. (2009). Modification of papermaking grade fillers: A brief review. *BioResources*, 4(3), 1190-1209.
- [15] Dlouhá, J., Suryanegara, L., & Yano, H. (2014). Cellulose nanofibre–poly (lactic acid) microcellular foams exhibiting high tensile toughness. *Reactive and Functional Polymers*, 85, 201-207.
- [16] Shen, L., Haufe, J., & Patel, M. K. (2009). Product overview and market projection of emerging bio-based plastics PRO-BIP 2009. *Report for European polysaccharide network of excellence (EPNOE) and European bioplastics*, 243, 1-245.
- [17] Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- [18] Philp, J. C., Ritchie, R. J., & Guy, K. (2013). Biobased plastics in a bioeconomy. *Trends in biotechnology*, 31(2), 65-67.
- [19] Wei, R., & Zimmermann, W. (2017). Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we?. *Microbial biotechnology*, 10(6), 1308-1322.
- [20] Com niță, E. D., Hlihor, R. M., Ghinea, C., & Gavrilă, M. (2016). Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 15(3).
- [21] Toope, D. M., & Bevacqua, M. Improved Waste Management is the Key.
- [22] Gironi, F., & Piemonte, V. (2011). Bioplastics and petroleum-based plastics: strengths and weaknesses. *Energy sources, part a: recovery, utilization, and environmental effects*, 33(21), 1949-1959.
- [23] Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- [24] Nara, K., Nishiyama, K., Natsugari, H., Takeshita, A., & Takahashi, H. (2009). Leaching of the plasticizer, acetyl tributyl citrate:(ATBC) from plastic kitchen wrap. *Journal of health science*, 55(2), 281-284.

- [25] Ke, H., Gong, S., He, J., Zhou, C., Zhang, L., & Zhou, Y. (2019). Spatial and temporal distribution of open bio-mass burning in China from 2013 to 2017. *Atmospheric Environment*, 210, 156-165.
- [26] Dusselier, M., Van Wouwe, P., Dewaele, A., Jacobs, P. A., & Sels, B. F. (2015). Shape-selective zeolite catalysis for bioplastics production. *Science*, 349(6243), 78-80.
- [27] Chen, L., Fan, F., Hong, L., Chen, J., Ji, Y. Z., Zhang, S. L., ... & Chen, L. Q. (2014). A phase-field model coupled with large elasto-plastic deformation: application to lithiated silicon electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*, 161(11), F3164.
- [28] Lu, C., Chen, P., Yu, Q., Gao, J., & Yu, B. (2008). Thermal residual stress distribution in carbon fiber/novel thermal plastic composite. *Applied Composite Materials*, 15(3), 157-169.
- [29] Chavre, B. W. POSITIVE AND NEGATIVE ROLE OF BIOTECHNOLOGY IN HUMAN LIFE: A REVIEW.
- [30] Lagaron, J. M., & Lopez-Rubio, A. (2011). Nanotechnology for bioplastics: opportunities, challenges and strategies. *Trends in food science & technology*, 22(11), 611-617.
- [31] <https://tpe--bioplastiques-99.websself.net/comparaison>
- [32] Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2008). Starch gelatinization. *Advances in food and nutrition research*, 55, 221-268.
- [33] Rouilly, A., & Rigal, L. (2002). Agro-materials: a bibliographic review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 42(4), 441-479.
- [34]] Eliasson, A. C. (Ed.). (2004). *Starch in food: Structure, function and applications*. CRC press.
- [35] Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2008). Starch gelatinization. *Advances in food and nutrition research*, 55, 221-268.
- [36] Bastioli, C. (2001). Global status of the production of biobased packaging materials. *Starch-Stärke*, 53(8), 351-355.
- [37] Gross, R. A., & Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297(5582), 803-807.
- [38] Averous, L. (2004). Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 44(3), 231-274.

- [39] Avérous L. ; Starch-Based Sustainable Materials. In Habibi, Y. et Lucia. L. A ; Polysaccharide Building Bloks – A Sustainable Approach to the Development of Renewable Biomaterials. Hoboken, John Wiley & Sons, (cha, 12, p. 307-330), 2012
- [40] Lapointe R. ; Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires distinctions subtiles mais significatives. Essai de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke Québec, (p :89). 2012.
- [41] Avérous L. ; Starch-Based Sustainable Materials. In Habibi, Y. et Lucia. L. A ; Polysaccharide Building Bloks – A Sustainable Approach to the Development of Renewable Biomaterials. Hoboken, John Wiley & Sons, (cha, 12, p. 307-330), 2012.
- [42] WERTZ, J. L. (2011). L'amidon et le PLA : deux biopolymères sur le marché. Note de synthèse. Document FARR-Wall.
- [43] Philippe BLANCHART : Professeur émérite – ENSIL – ENSCI, Institut de Recherche sur les Céramique (IRCER) – ESTER Technopole, Limoges, France 10 juin 2019 (TECHNIQUE DE L'INGENIEUR)
- [44] [BOUFARES, K. (2014). Comportement de trois variétés de pomme de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Mémoire de Magistar février 2012. Université de Tlemcen Vol 108 pages 6-8]
- [45] Jean-Claude Laberche « Biologie végétale », Dunod 3ème édition 2001 vol 305 pages 15-16
- [47] Anonyme, A. (2014). Les Brèves du Courrier 64. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 64(64), 157-159.
- [48] Charous, S. J., Kempster, G., Manders, E., & Ristanovic, R. (2001). The effect of vagal nerve stimulation on voice. *The Laryngoscope*, 111(11), 2028-2031.
- [59] Li, J. S., & Vassal, S. K. (2004). Quality protein maize. *Encyclopedia of grain science*, 2, 212-216.
- [50] Demarquilly, C., Aubry, J., & Boissau, J. M. (1969). VALEUR ALIMENTAIRE DU MAÏS FOURRAGE. I.-COMPOSITION CHIMIQUE ET DIGESTIBILITÉ DU MAÏS SUR PIED. In *Annales de zootechnie* (Vol. 18, No. 1, pp. 17-32).
- [51] Armand, B., & Germain, M. (1992). Le Blé: éléments fondamentaux et transformation. *Presses Université Laval*, 9-188.

- [52] Feillet, P. (2000). *Le grain de blé: composition et utilisation*. Editions Quae.
- [53] BREMONT, Chloé. GUILLET, F. VIANEZ, C. Les plastiques et les bioplastiques. Environnement et progrès. pdf
- [54] KORICHE, Y., HADJ SADOK, A., et SEMSARI, S. Modélisation de la méthode d'extraction du biopolyméreamidon : Application à l'adsorption des ions métalliques. *Revue des énergies renouvelable*, 2009,P. 158.
- [55] Djetouiet, Z. PREPARATION D'UN POLYMERE THERMOPLASTIQUE BIODEGRADABLE A BASE D'AMIDON DE MAIS. (2012). Laboratoire des matériaux Polymérique Multiphasique (LMPMP), Faculté de technologie, Département de génie des procédés. Université de Farhat Abbas, Setif.
- [56] MODECOM, (1993). « Méthode de caractérisation des ordures ménagères. ADEME (Angers). Déchets manégés et assimilés.
- [57] American Society for Testing and Materials (Filadelfia). (2006). Standard Test Method for Water Absorbtion of Plastic. ASTM.
- [58] Di Bartolo, Alberto et al. "A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy." *Polymers* vol. 13,8 1229. 10 Apr. 2021, doi:10.3390/polym13081229
- [59] Science et surface – Centre scientifique Auguste Moirux – Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier FTIR.
- [60] BENBETTAIEB Nasreddine, Influence de traitements de réticulations sans solvant les propriétés de film à base de gélatine et chitosan encapsulant ou non des antioxydants naturels : caractérisations physico-chimiques et applications, THESE de doctorat, l'université de Carthage, 2015.