



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



Université Ammar TELIDJI- Laghouat

**FACULTE : SCIENCES
DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par: SEGHIR Bouchra Kaouthar

**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)
FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES
OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITÉ**

Thème

**Valorisation des rebuts de légumes et production
d'emballage biologique**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
HOUICHER Abderrahmane	Professeur	Président
GOUDJAL Yacine	Professeur	Examineur
ALLALI Khadidja	Maître de conférences A	Encadrante

Promotion : 2023-2024

Dédicace

À ma mère, mes frères, ma tante pour leur soutien et leur amour infini tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont encouragé(e) à poursuivre mes rêves, je vous dédie ce travail avec gratitude et reconnaissance.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la patience et le courage pour réaliser ce travail.

*Je remercie chaleureusement, **Docteur ALLALI Khadidja** de m'avoir proposée ce thème, de m'avoir encadrée sans répit, et de m'accompagner tout au long de l'élaboration de ce mémoire de master.*

*Je tiens à remercier **Professeur HOUICHER Abderrahmane** qui m'a honorée en acceptant d'être président du jury.*

*Un remerciement particulier aussi au **Professeur GOUDJAL Yacine** qui m'a fait l'honneur d'examiner mon travail.*

*Un grand merci pour la doctorante **BRAHIMI Imane** pour son soutien indéfectible et ses encouragements.*

Mes remerciements s'adressent également aux ingénieurs des laboratoires du département d'Agronomie.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à ma famille qui m'ont toujours aidée et soutenue.

Enfin, je ne saurais oublier de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, et qui ont été d'un soutien qu'il soit moral ou matériel. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Résumé :

L'objectif de ce travail est de développer un protocole expérimental permettant de valoriser un déchet agricole (rebuts de pomme de terre) et de produire des films plastiques biodégradables à base d'amidon. Le processus de développement de bioplastiques nécessite une optimisation des conditions de production pour garantir une qualité optimale, cela implique l'utilisation de plan expérimental Plackett-Burman avec quatre éléments variables qui sont : la variété, le temps, la température et l'agent plastifiant. Cela a conduit à la production de 12 types de bioplastiques différents, qui ont été évalués par leur biodégradabilité. Les résultats obtenus ont montré que le temps et la température ont un effet significatif ($P < 0,05$) sur le taux de la biodégradabilité. La valeur optimale des facteurs de modélisation testés pour la qualité de bioplastique est de 94,81%. Le modèle est très satisfaisant, avec un R^2 de 96,85% et un R^2 ajusté de 91,72%.

Mots clés :

Valorisation, Rebuts, Amidon, Optimisation, Plackett-Burman, Bioplastique.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو تطوير بروتوكول تجريبي يسمح بتثمين نفايات زراعية (بقايا البطاطا) وإنتاج أفلام بلاستيكية قابلة للتحلل البيولوجي تعتمد على النشا. تتطلب عملية تطوير البلاستيك الحيوي تحسين شروط الإنتاج لضمان جودة مثالية، وهذا يتطلب استخدام النموذج التجريبي بلاكيت-بورمان مع تحديد أربعة عناصر متغيرة وهي: الصنف، الوقت، درجة الحرارة والعامل البلاستيكي. وقد أدى ذلك إلى إنتاج 12 نوعًا مختلفًا من البلاستيك الحيوي، التي تم تقييمها من حيث قابليتها للتحلل البيولوجي. أظهرت النتائج أن الوقت ودرجة الحرارة لهما تأثير كبير ($P < 0,05$) على معدل القابلية للتحلل البيولوجي. بلغت القيمة المثلى لعوامل النمذجة المختبرة لجودة البلاستيك الحيوي 94,81%. النموذج مرضٍ للغاية، حيث بلغت قيمة R^2 نسبة 96,85% و R^2 المعدلة نسبة 91,72%.

الكلمات المفتاحية

التثمين، البقايا، النشاء، التحسين، بالكيت-بورمان، البلاستيك الحيوي

Abstract:

The objective of this work is to develop an experimental protocol to valorize an agricultural waste (potato waste) and to produce biodegradable plastic films based on starch. The process of developing bioplastics requires optimization of production conditions to ensure optimal quality, this involves the use of the Plackett-Burman experimental design with four variable elements which are: variety, time, temperature and plasticizer. This led to the production of 12 different types of bioplastics, which were evaluated by their biodegradability. The results obtained showed that time and temperature have a significant effect ($P < 0.05$) on the rate of biodegradability. The optimal value of the modeling factors tested for the quality of bioplastic is 94.81%. The model is very satisfactory, with an R^2 of 96.85% and an adjusted R^2 of 91.72%.

Keywords:

Valorization, Waste, Starch, Optimization, Plackett-Burman, Bioplastic.

ASTMD 6813: American Society for Testing and Materials.

ATG : Analyse thermogravimétrique.

Bio-PE : Polyéthylène biosourcé.

Bio-PET : Polyéthylène téréphtalate biosourcé.

Bio-PP : Polypropylène biosourcé.

DSA : Direction des Services Agricoles.

FAO: Food and Agriculture Organization.

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

MEB : Microscopie Electronique à Balayage.

PVC : Polychlorure de vinyle.

PHB : Polyhydroxybutyrate.

PHBV : Polyhydroxybutyratevalerate.

PHA : Polyhydroxyalonnates.

PCL : Polycaprolactones.

PLA : Acide Polylactique.

PEA : Polyesteramides.

RSM : Response Surface Methodology.

Tg : Glassy Transition Temperature ou température de transition vitreuse.

Abréviations

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction **1**

CHAPITRE I **3**

I. Synthèse bibliographique **4**

I.1	Généralités sur la pomme de terre	4
I.1.1	Origine de la pomme de terre	4
I.1.2	Importance économique de la pomme de terre	4
I.1.3	Principales utilisations de pomme de terre	7
I.1.4	Valorisation de rebuts de pomme de terre	7
I.1.4.1	Alimentation animale	8
I.1.4.2	Utilisation en agriculture	8
I.1.4.3	Production de Biogaz	8
I.1.4.4	Production de bioplastiques	8
I.2	Les bioplastiques	9
I.2.1	Généralités sur les bioplastiques	9
I.2.2	Origine de bioplastique	9
I.2.3	Capacité mondiale de production de bioplastique	10
I.2.4	Composition de bioplastique	11
I.2.5	Classification de bioplastique	11

I.2.5.1	Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse	12
I.2.5.2	Bioplastiques issus des microorganismes obtenus par extraction	13
I.2.5.3	Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables	13
I.2.5.4	Bioplastiques pétrochimiques biodégradables	13
I.2.6	Utilisation des bioplastiques	14
I.2.6.1	Plastiques souples	14
I.2.6.2	Plastiques rigides	14
I.2.7	Caractéristiques des bioplastiques	14
I.2.7.1	Biodégradabilité	14
I.2.7.2	Résistance mécanique	15
I.2.7.3	Propriétés thermiques	15
I.2.7.4	Propriétés de Barrière	15
I.2.8	Défis liés aux bioplastiques	15
I.2.9	Utilisation de la méthodologie de réponses en surfaces dans le domaine agroalimentaire	16
	CHAPITRE II	17
	II. Matériel et méthodes	18
II.1	Objectif	18
II.2	Echantillonnage	18
▪	Spunta	18
▪	Bartina	19
II.3	Extraction de l'amidon	19
II.4	Caractérisation d'amidon extrait	20
II.4.1	Détermination du taux d'humidité	20
II.5	Fabrication de bioplastique à base de rebuts de pomme de terre sous les conditions standards	21

II.6	Optimisation de production de bioplastiques par le plan expérimental de Plackett-Burman	21
II.7	Biodégradabilité des bioplastiques produits	24
CHAPITRE III		25
III. Résultats		26
III.1	Caractérisation de l'amidon extrait	26
III.1.1	Détermination de taux d'humidité	26
III.1.2	Production de bioplastique	27
III.2	Biodégradabilité de bioplastique standard et de plastique commercial	27
III.2.1	Optimisation des bioplastiques produits par le plan expérimental du Plackett-Burman	28
IV. Discussions		30
Conclusion		34
Références Bibliographiques		35

Liste des figures

Figure 1: Répartition spatiale de la pomme de Terre dans le monde (FAOSTAT, 2023).	5
Figure 2: Evolution de la capacité de production des polymères biosourcés.....	10
Figure 3: Les différentes classes de bioplastiques.....	12
Figure 4: Echantillons de pomme de terre ‘SPUNTA’	18
Figure 5: Echantillons de pomme de terre ‘BARTINA’	19
Figure 6: les différentes étapes d’extraction de l’amidon.	20
Figure 7: Les différentes étapes de la production de bioplastiques.....	23
Figure 8: Produit final du bioplastique à base d’amidon extrait de pomme de terre	27
Figure 9: Biodégradabilité de bioplastique standard et de plastique commercial	28
Figure 10: Diagramme de Pareto des effets standard de facteurs étudiés	30

Liste des tableaux

Tableau 1: Les principaux pays producteurs de pomme de Terre dans le monde (FAOSTAT, 2023).	6
Tableau 2: Evolution de la production de la pomme de terre en Algérie	7
Tableau 3: Facteurs utilisés dans le plan expérimental Plackett-Burman et leurs niveaux. 21	
Tableau 4: Matrice expérimentale de plan Plackett-Burman.	22
Tableau 5: Taux d'humidité de l'amidon extrait des deux variétés utilisées Spunta et Bartina.....	26
Tableau 6: Biodégradabilité des bioplastiques obtenus par le plan expérimental Plackett-Burman.....	29
Tableau 7: Estimations des coefficients du modèle.....	29

INTRODUCTION

Introduction

Depuis leur invention au début du 20^{ème} siècle, les plastiques sont devenus des matériaux omniprésents dans notre vie quotidienne. Leur légèreté, leur durabilité et leur polyvalence ont conduit à une adoption massive à travers le monde. Les plastiques sont utilisés dans une multitude de secteurs, y compris l'emballage, la construction, l'électronique, l'automobile et la médecine.

Toutefois, cette utilisation extensive des plastiques conventionnels dérivés de ressources fossiles non renouvelables telles que le pétrole pose de graves problèmes environnementaux en raison de leur résistance à la dégradation et leur contribution de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre, exacerbant ainsi le changement climatique. En outre, elle conduit également à l'épuisement des ressources fossiles dont la conséquence est l'augmentation sans cesse croissante du prix du pétrole. Ces problèmes environnementaux / économiques et ces préoccupations sociales ont conduit au développement de matériaux biosourcés, voire biodégradable appelés « bioplastiques » (Halley, 2017).

Les bioplastiques sont fabriqués généralement à partir de ressources renouvelables telles que la pomme de terre, le sucre, le maïs, etc. L'amidon est considéré comme la matière première la plus prometteuse pour l'élaboration de nouveaux matériaux plus respectueux de l'environnement et moins coûteuse. Il a été utilisé dans de nombreux domaines industriels tels que le papier, les cartons ondulés, les biocarburants, l'industrie pharmaceutique, le textile et en particulier l'industrie alimentaire (Chiellini, 2020).

La pomme de terre non comestible ou rebuts de pomme de terre peuvent être une source d'amidon et de cellulose, qui est potentiellement utile pour la production de bioplastique, en effet, c'est un matériau de grande valeur économique et environnementale qui le qualifie d'être une alternative aux plastiques conventionnels.

Lorsqu'on cherche à comprendre comment divers facteurs d'un processus influencent son rendement, il est important d'utiliser une méthode classique consistant à faire varier un seul facteur à la fois. Dans notre étude, nous avons appliqué le plan expérimental Plackett-Burman pour optimiser l'efficacité des facteurs influençant la production de bioplastiques (Bencheikh, 2019).

L'objectif de cette étude est de valoriser les rebuts de pomme de terre pour la synthèse des films bioplastiques biodégradables à base d'amidon et améliorer leurs propriétés en utilisant le design expérimental de Plackett-Burman.

CHAPITRE I

I. Synthèse bibliographique

I.1 Généralités sur la pomme de terre

I.1.1 Origine de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante annuelle originaire d'Amérique du Sud. Sa première découverte remonte à 1533 au Pérou par l'Espagnol Pedro de Cierzac.

En 1534, des pirates espagnols ont introduit cette plante en Europe (Espagne) depuis les Andes péruviennes, où les Incas l'utilisaient comme aliment de base, et en 1573, des moines de Séville l'ont cultivée sous le nom de Papa.

Depuis lors, la pomme de terre a conquis l'Europe, d'abord en Espagne où elle prend le nom de patata, puis en Italie où elle est appelée tarte frais, elle s'est ensuite répandue en Irlande (pomme de terre), en Allemagne et en France (Lahouel, 2015).

I.1.2 Importance économique de la pomme de terre

La pomme de terre occupe une position centrale dans le système alimentaire mondial. En tant que principale denrée alimentaire non céréalière, sa production mondiale a atteint un record de 375 millions de tonnes en 2022 (Faostat, 2023). Elle est cultivée dans plus de 150 pays, couvrant une superficie totale de 17788408 hectares cette même année.

Selon la FAO, la superficie des terres consacrées à la culture des pommes de terre a dépassé celle des principales denrées vivrières telles que le blé, le maïs et le riz dans les pays en voie de développement.

L'Asie et l'Europe dominent la production mondiale de pommes de terre, représentant plus de 77 % du total. L'Afrique et les Amériques contribuent respectivement à 9 % et 14 % de la production mondiale (figure 01).

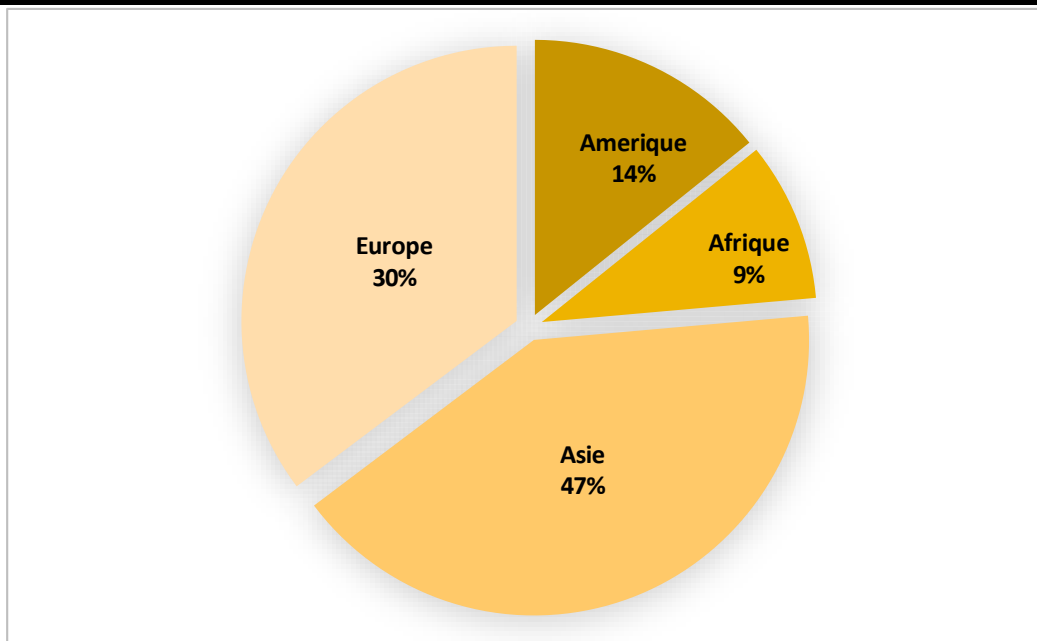


Figure 1: Répartition spatiale de la pomme de Terre dans le monde (FAOSTAT, 2023).

Selon le tableau suivant on note que la Chine est le premier producteur de pommes de Terre avec une production de 95.5 millions de tonnes. Devant l'Inde avec 56 millions de tonnes, vient ensuite l'Ukraine et la Russie. Ces pays représentent 40 % du marché mondial.

Tableau 1: Les principaux pays producteurs de pomme de Terre dans le monde (FAOSTAT, 2023).

Pays	Quantité (t)
Chine	95 500 000
Inde	56 000 000
Ukraine	20 900 000
Russie	18 900 000
Etats-Unis	17 800 00
Allemagne	10 600 000
Belgique	3 600 000
France	8 000 000
Canada	6 200 000
Pays-Bas	6 900 000
Argentine	2 200 000
Royaume-Uni	4 800 000
Egypte	6 100 000
Afrique de sud	2 100 000
Algérie	4 880 000

Selon les historiens, l'entrée de la pomme de terre en Algérie remonte au milieu de la première décennie du dix-neuvième siècle, elle a été cultivée principalement pour l'exporter vers le marché Français. Après l'indépendance, elle est devenue un produit important pour la consommation locale (Boufares, 2012). Elle représente la première culture maraîchère du point de vue superficie et production, avec 5200000 quintaux en 2021 selon le Ministère de l'Agriculture et le développement Rural.

La wilaya de Laghouat est parmi les wilayas productrices de pommes de terre en Algérie. La région a développé une production significative grâce à des conditions climatiques favorables et à des pratiques agricoles améliorées. La production est estimée à 1363 295 quintaux avec une superficie de 4222.5 hectares en 2022 selon la Direction des Services Agricoles.

Tableau 2: Evolution de la production de la pomme de terre en Algérie.

Année	Production (quintaux)
2015	4 620 000
2016	4 800 000
2017	4 650 000
2018	4 750 000
2019	5 000 000
2020	4 900 000
2021	5 200 000
2022	4 880 000

Source MADR 2022

I.1.3 Principales utilisations de pomme de terre

La pomme de terre est l'une des cultures les plus polyvalentes et essentielles au monde, elle occupe une place cruciale dans l'alimentation humaine en raison de sa valeur nutritionnelle élevée, riche en glucides, vitamines, et minéraux. Outre sa consommation directe, la pomme de terre peut être transformée en une variété de produits alimentaires tels que les frites, les purées, les soupes et les gratins ou sous forme de chips, snacks, pellets et purées déshydratées. Elle est souvent utilisée comme accompagnement dans les repas, mais aussi comme ingrédient principal dans des certains plats (Lignée, 2024).

Son utilisation ne se limite pas à l'alimentation, les rebuts de pomme de terre qui sont composés de tubercules déclassés, de lots invendus, de surplus de semences ou de déchets provenant de leur tranchage représentent un sous-produit important dans l'industrie agroalimentaire qui peut être valorisé de diverses manières pour réduire le gaspillage et améliorer la durabilité des pratiques agricoles et industrielles.

I.1.4 Valorisation des rebuts de pomme de terre

La valorisation des rebuts de pomme de terre est devenue un sujet d'intérêt croissant dans le contexte d'une économie circulaire et durable. En effet, la pomme de terre est l'une des cultures les plus répandues dans le monde, avec une production annuelle considérable. Cependant, la

production et la transformation de la pomme de terre génèrent également des quantités importantes de sous-produits et de déchets, qui peuvent représenter un défi en termes de gestion des déchets et de durabilité environnementale. Face à cette réalité, l'industrie agroalimentaire explore activement des moyens de valoriser et utiliser ces rebuts de pomme de terre dans divers secteurs notamment l'alimentation animale, la production d'aliments transformés, la fabrication d'ingrédients alimentaires, la production d'énergie et bien d'autres pour en tirer des avantages économiques, environnementaux et sociaux (Ijaz et *al.*, 2024).

I.1.4.1 Alimentation animale

Les rebuts de pomme de terre constituent une alternative économique et durable aux aliments traditionnels pour animaux (Smith et *al.*, 2015). Ils peuvent être utilisés comme ingrédient dans la fabrication des aliments pour bétail ou les aliments pour animaux de compagnie. Les sous-produits de la pomme de terre, tels que les pulpes, les pelures et les déchets de triage, peuvent être transformés en aliments riches en fibres et en énergie pour les animaux.

I.1.4.2 Utilisation en agriculture

Les rebuts de pomme de terre peuvent être compostés et utilisés comme engrais ou amendement organique pour les sols agricoles. Le compostage des déchets de pomme de terre permet de valoriser les nutriments contenus dans les déchets et de réduire la dépendance aux engrais chimiques (FAO, 2021).

I.1.4.3 Production de Biogaz

Les rebuts de pomme de terre peuvent être utilisés dans des installations de digestion anaérobie pour produire du biogaz, une source d'énergie renouvelable. Ce processus permet de convertir les déchets organiques en méthane, utilisé comme combustible (FAO, 2021).

I.1.4.4 Production de bioplastiques

Les amidons extraits des rebuts de pomme de terre peuvent être transformés en bioplastiques. Ces matériaux biodégradables sont des alternatives durables aux plastiques conventionnels et peuvent être utilisés dans diverses applications (Jones et *al.*, 2017).

I.2 Les bioplastiques**I.2.1 Généralités sur les bioplastiques**

Les bioplastiques se définissent comme des matériaux issus de sources biologiques et/ou biodégradables (Tonuk *et al.*, 2016).

Ils représentent un nouveau domaine d'intérêt majeur au 21^e siècle, avec une production et une consommation en expansion mondiale. Il est nécessaire d'évaluer soigneusement ces nouveaux matériaux pour assurer une gestion efficace des déchets et une durabilité à long terme. En général, Les bioplastiques sont fabriqués à partir de sources renouvelables de biomasse, telles que des huiles végétales, du maïs, des pommes de terre ou d'autres plantes riches en amidon, plutôt que de ressources fossiles comme le pétrole.

Il est important de noter que tous les plastiques issus de sources biologiques ne sont pas nécessairement biodégradables, et que tous les plastiques biodégradables ne sont pas forcément issus de sources biologiques (Ashter *et al.*, 2016).

I.2.2 Origine de bioplastique

L'amidon, un polysaccharide d'origine végétale constitué d'unités glucose ($C_6H_{12}O_6$), constitue la principale réserve glucidique des plantes supérieures. Il représente une part significative des matières premières agricoles, étant stocké dans les organes de réserve des végétaux tels que les céréales (30 à 70 % de la matière sèche), les tubercules (60 à 90 %) et les légumineuses (25 à 50 %).

Outre son utilisation alimentaire, l'amidon est largement employé dans divers secteurs industriels non alimentaires tels que la production papetière, l'industrie pharmaceutique, cosmétique et textile. Il s'avère être une matière première prometteuse pour la fabrication de plastiques bio à base de ressources renouvelables et biodégradables, en réponse à un intérêt croissant pour des alternatives écologiques (Davidovic, 2006; Wertz, 2011).

L'utilisation du terme "bioplastique" suscite des débats, selon la revue Sciences et Avenir les bioplastiques se définissent comme étant: « un néologisme formé de toutes pièces par les industriels et qui recouvre des plastiques à la composition et à l'intérêt écologique très variables».

Les bioplastiques connaissent un engouement depuis quelques années et ils sont présentés comme des solutions de rechange plus respectueuses de l'environnement. Ils sont souvent biodégradables et issus de ressources renouvelables (Davidovic, 2006 ; Laurent, 2013).

I.2.3 Capacité mondiale de production de bioplastique

Plusieurs matériaux ont été introduits sur le marché ou sont actuellement commercialisés, parmi lesquels figurent le nylon, le polypropylène, le polystyrène, le polycarbonate, le polychlorure de vinyle (PVC) et d'autres plastiques traditionnels. En 2023, la capacité de production mondiale de bioplastiques était estimée à environ 2,87 millions de tonnes par an. Bien que l'Europe détienne actuellement la plus grande part du marché mondial des bioplastiques, les capacités de production en Asie et en Amérique du Sud connaissent une croissance rapide.

Le marché des plastiques biosourcés et/ou biodégradables évolue constamment, principalement en raison des progrès significatifs dans les capacités de production des polymères biosourcés non biodégradables. Actuellement, les bioplastiques représentent environ 0,75 % du marché mondial des polymères. Près de la moitié de cette production concerne les polymères biodégradables, indépendamment de leur origine. La figure 02 illustre l'évolution de la capacité de production des polymères biosourcés de 2011 à 2020.

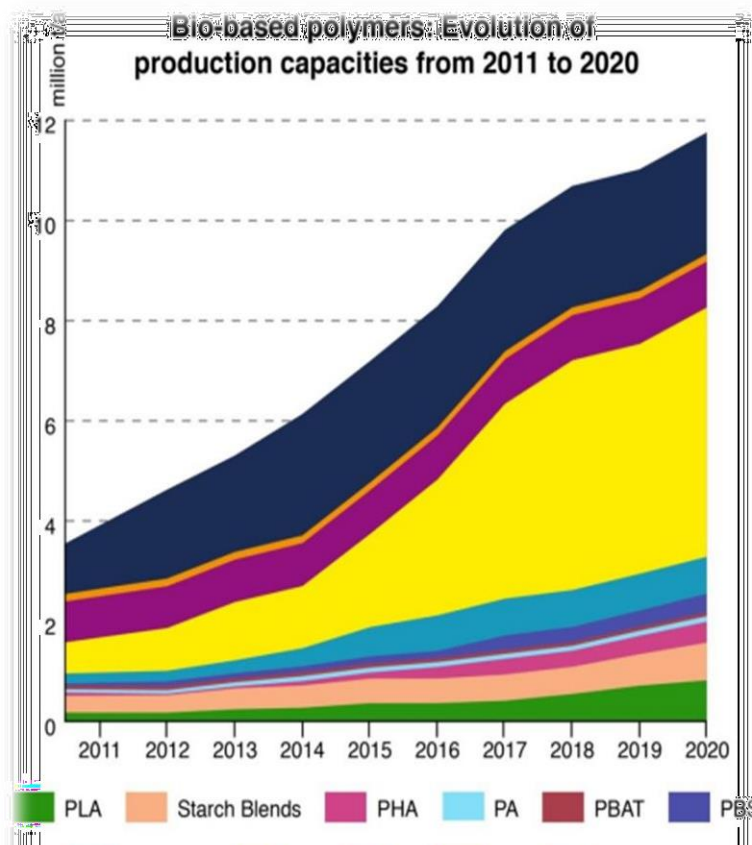


Figure 2: Evolution de la capacité de production des polymères Biosourcés (Megherbi, 2021).

I.2.4 Composition de bioplastique

Le bioplastique est élaboré à partir d'un processus de polymérisation par condensation, impliquant des réactions chimiques qui génèrent des sous-produits.

Les deux monomères impliqués réagissent pour former une molécule intermédiaire, fondamentale dans la structure répétitive de la macromolécule, produisant ainsi le polyéthylène (bioplastique) (Benslimane, 2014).

I.2.5 Classification de bioplastique

Les bioplastiques sont classés en fonction de leur composition chimique, de leurs méthodes de synthèse, de leurs processus de fabrication, de leur importance économique ou de leurs applications (Smith, 2005). La figure 03 ci-dessous illustre les quatre groupes de plastiques biodégradables :

Groupe 1 : Les bioplastiques naturels issus directement de la biomasse.

Groupe 2 : Les bioplastiques issus des microorganismes obtenus par extraction.

Groupe 3 : Les bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables.

Groupe 4 : Les bioplastiques pétrochimiques biodégradables.

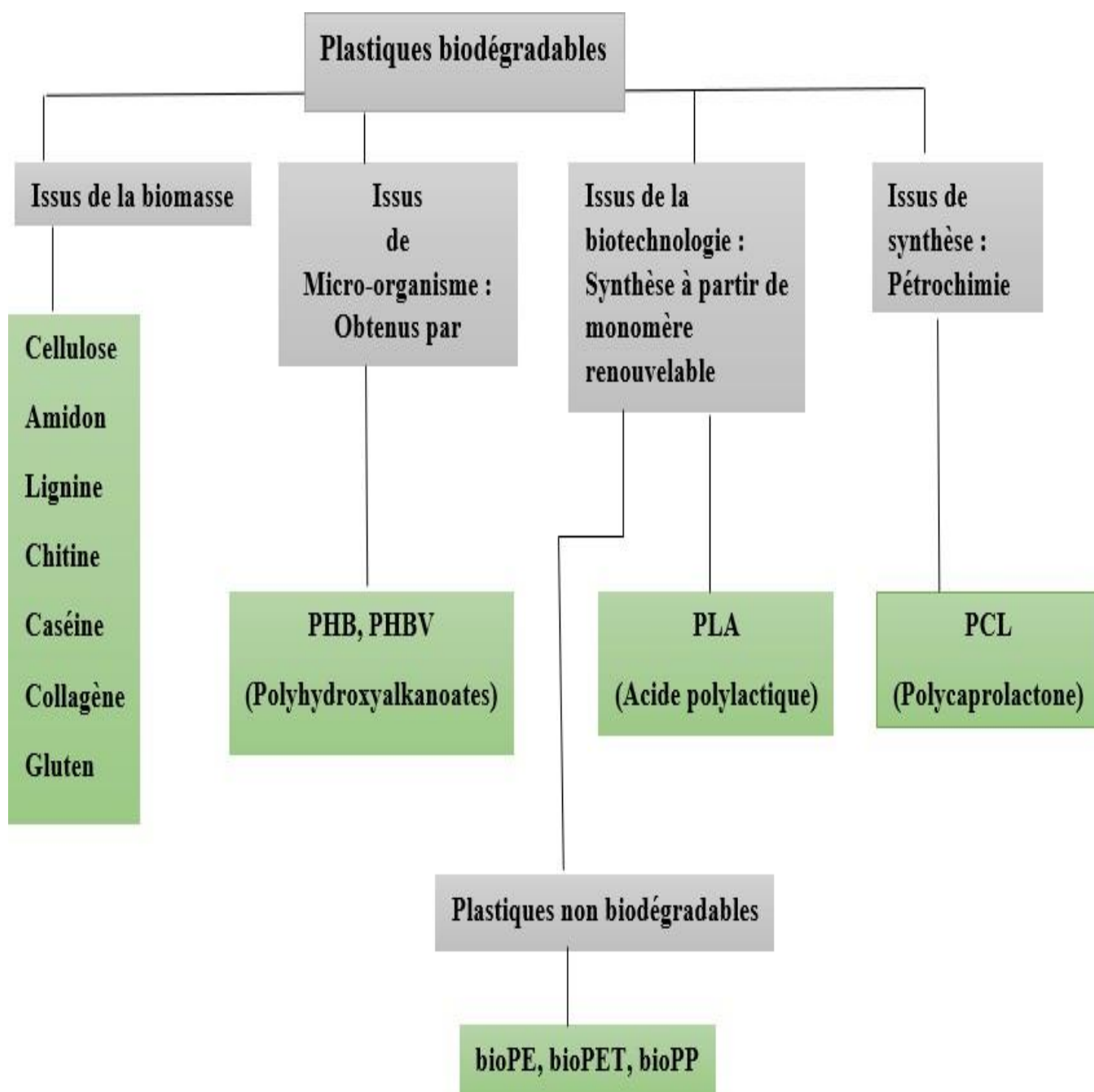


Figure 3: Les différentes classes de bioplastiques.

I.2.5.1 Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse

Les bioplastiques naturels sont dérivés directement de la biomasse végétale et se trouvent dans les parois cellulaires des plantes, tels que la cellulose et la lignine, comme c'est le cas pour l'amidon. Ces polymères sont extraits directement des plantes, tandis que des monomères simples peuvent également être produits à partir de plantes grâce à des processus de transformation chimique et/ou enzymatique, suivis de la polymérisation de ces monomères (Yang *et al.*, 2019).

I.2.5.2 Bioplastiques issus des microorganismes obtenus par extraction

Les polyesters naturels sont produits par de nombreuses variétés de bactéries, ils proviennent du mécanisme de survie de certains microorganismes qui les conservent et les accumulent comme source d'énergie et de carbone et sont sensibles à la dégradation par les microbes (Yu, 2009 ; Castelan, 2010). Ce groupe de bioplastiques est constitué de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA), dont le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxybutyratevalerate (PHBV) qui sont les plus communs (Yezza, 2012). Les bioplastiques issus des microorganismes n'occupent qu'une faible place dans le marché de l'emballage en ne représentant que 2.4 % des parts de marché selon Smithers Pira.

I.2.5.3 Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables

Ces biopolymères sont obtenus par synthèse chimique à partir de monomères dérivés de matières premières agricoles. Ils sont également connus sous le nom de biopolyesters en raison de leurs similitudes avec les polyesters conventionnels. Ces bioplastiques renouvelables comprennent deux groupes principaux : Les bioplastiques biodégradables comme l'acide polylactique (PLA) et les bioplastiques non biodégradables comme le polyéthylène biosourcé (BioPE).

Le PLA : Il est obtenu à partir de l'acide lactique, qui peut être obtenu de façon chimique ou biologique (fermentation de glucides comme le maïs, la canne à sucre ou de la betterave par lactobacilles) (Avérous, 2004). Il est le bioplastique le plus utilisé pour l'emballage. Selon Smithers Pira, il représente 42.5 % du marché (Pierce, 2011). Il est présent dans le domaine médical, pour lequel de nombreuses applications industrielles ont été développées.

Le BioPE : est composé de bioplastiques biosourcés mais non biodégradables (Oliveira, 2023). Le polypropylène biosourcé (BioPP) ainsi que le polyéthylène téréphtalate biosourcé (BioPET) sont des exemples du même sous-groupe de bioplastique. L'utilisation de ces bioplastiques est donc marginale mais est en pleine expansion. De gros joueurs dans l'industrie de l'alimentation ont annoncé leur intention ou utilisent déjà ces bioplastiques biosourcés et non biodégradables.

I.2.5.4 Bioplastiques pétrochimiques biodégradables

Les bioplastiques de cette catégorie sont fabriqués à partir d'origine fossile. Ils ne proviennent donc pas de ressources renouvelables mais sont biodégradables. Les premiers développements de ces matériaux remontent au début des années 1970. L'objectif était de développer un polymère combinant les propriétés bénéfiques des polymères conventionnels

avec la capacité d'être dégradé par les micro-organismes. On peut classer ces bioplastiques en trois groupes : les polycaprolactones (PCL), les polyesteramides (PEA) et différents copolyesters aromatiques ou aliphatiques (Avérous, 2009).

I.2.6 Utilisation des bioplastiques

L'usage des bioplastiques demeure encore largement limité, ne représentant qu'environ 1 à 2 % de la totalité des plastiques (Laurent, 2013). Ces matériaux sont employés dans la fabrication de plastiques souples et rigides.

I.2.6.1 Plastiques souples

Les bioplastiques sont principalement utilisés comme matériaux d'emballage, domaine dans lequel les bioplastiques se sont largement imposés. Ils servent notamment à la fabrication de sachets en plastique biodégradable et d'emballages pour des produits frais à durée de conservation courte. Autre utilisation possible : barquettes à viande qui sont (partiellement) composés de matériaux biodégradables et de plastique non biodégradable fabriqué à partir de canne à sucre (Ashter, 2016).

I.2.6.2 Plastiques rigides

- Contenants (pots de yaourt, bacs à glace, articles pour la restauration, pots de fleurs...).
- Barquettes (barquettes de viande fraîche).
- Bouteilles en PET fabriquées en partie avec des matières premières renouvelables.
- Dosettes de café (Dorbane ; Benslimane, 2014).

I.2.7 Caractéristiques des bioplastiques

I.2.7.1 Biodégradabilité

Les plastiques biodégradables sont capables de subir une décomposition en eau (H₂O), dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄) et/ou en une nouvelle biomasse, éventuellement laissant un résidu non toxique pour les humains et l'environnement. Le mécanisme principal de cette dégradation est l'action enzymatique des micro-organismes (tels que les bactéries, les champignons et les algues), mesurable par des tests standardisés, dans un laps de temps spécifique et sous des conditions d'élimination définies (selon la norme ASTM D6813).

Les bioplastiques biodégradables subissent divers mécanismes de dégradation, mais ils suivent généralement deux phases distinctes : la dégradation primaire, au cours de laquelle les

chaînes moléculaires se fragmentent en petits morceaux par hydrolyse ou oxydation, et la biodégradation finale, où ils sont assimilés par les microorganismes (Laurent, 2013).

I.2.7.2 Résistance mécanique

Les propriétés mécaniques fournissent une indication des performances mécaniques des matériaux. (Barzic, 2022)

Résistance à la traction : La capacité des bioplastiques à résister à une force tirante. Cela varie en fonction du type de bioplastique et de ses composants.

Elasticité : Mesure de la rigidité d'un bioplastique. Les bioplastiques plus rigides sont utilisés dans des applications nécessitant une forme stable, comme les pièces automobiles.

I.2.7.3 Propriétés thermiques

La température à laquelle le bioplastique passe d'un état rigide à un état caoutchouteux c'est la température de transition vitreuse (Tg). Les bioplastiques avec une Tg plus basse sont utilisés dans des applications nécessitant de la flexibilité à des températures plus basses (Barzic, 2022).

I.2.7.4 Propriétés de Barrière

La capacité des bioplastiques à résister à l'absorption d'eau c'est de la perméabilité à l'humidité. Les bioplastiques avec une faible perméabilité à l'humidité sont utiles pour les applications d'emballage alimentaire (Niaounakis, 2014). Tandis que, la perméabilité aux gaz indique la capacité des bioplastiques à empêcher le passage de gaz tels que l'oxygène et le dioxyde de carbone. (Barzic, 2022).

I.2.8 Défis liés aux bioplastiques

- **Problèmes de recyclage :** Les matériaux bioplastiques peuvent contaminer les processus de recyclage. Par exemple, lors de l'utilisation du rayonnement infrarouge dans un système de tri des déchets, les bioplastiques ne peuvent pas être séparés et sont donc contaminés en présence de matières plastiques conventionnelles.
- **Réduction des matières premières :** Les bioplastiques issus de sources renouvelables peuvent réduire les réserves de matières premières. L'utilisation de sous-produits alimentaires est une tendance actuelle afin de réduire la consommation d'énergie dans la production de bioplastiques et la concurrence potentielle avec les ressources agricoles pour l'alimentation, et de fournir une source supplémentaire de matières premières.

I.2.9 Utilisation de la méthodologie de réponses en surfaces dans le domaine agroalimentaire

L'optimisation de la production de bioplastique par la méthode de surface de réponse (RSM) est une approche statistique puissante qui permet de modéliser et d'analyser les effets de plusieurs variables indépendantes sur une ou plusieurs variables dépendantes.

Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour optimiser divers processus. Elle permet de déterminer les conditions optimales pour améliorer la qualité, l'efficacité, et la durabilité des produits en examinant les interactions entre plusieurs variables et niveaux. Le plan de Plackett–Burman est très utile pour le criblage des facteurs. En général, ce plan aide à distinguer les facteurs peu importants de ceux qui sont très influents (Rosa et *al.*, 2023). Les modèles d'optimisation élaborés dans la méthodologie de surface de réponse sont expérimentaux et basés sur les données, décrivant la relation entre les facteurs et la réponse. Ces modèles de corrélation sont utilisés pour évaluer l'impact des facteurs et de leurs interactions sur la réponse et l'optimisation des processus. Les résultats sont généralement représentés par un graphique tridimensionnel et un diagramme de contours bidimensionnel (Tallapragada et *al.*, 2015 Singh et *al.*, 2017; Benadjila et *al.*, 2022).

Les principales étapes l'optimisation par RSM sont comme suit :

- 1. Identification des facteurs influents.**
- 2. Conception expérimentale :** Utilisation de plans expérimentaux comme les plans factoriels complets, fractionnaires, ou les designs de Box-Behnken pour explorer les effets des variables sélectionnées.
- 3. Modélisation et analyse des données.**
- 4. Optimisation :** Utilisation des courbes de contour et des surfaces de réponse pour identifier les conditions optimales pour la production de bioplastique.
- 5. Conditions du modèle :** Réalisation d'expériences supplémentaires pour valider les conditions optimales prévues par le modèle.

CHAPITRE II

II. Matériel et méthodes

II.1 Objectif

L'objectif de ce travail est d'optimiser la production d'un bioplastique à base d'amidon de pomme de terre. Le processus de transformation de ces rebuts en bioplastique comprend deux étapes principales : l'extraction de l'amidon et la préparation de bioplastique.

II.2 Echantillonnage

Les échantillons de pomme de terre sont collectés d'une ferme agricole à Aflou le 6 février 2024 et prélevés à partir de deux variétés 'Spunta' et 'Bartina' largement utilisées dans la région de Laghouat.

▪ Spunta

La Spunta est une variété de pomme de terre de type allongé, à peau jaune et à chair ferme, elle est connue par sa grande adaptabilité aux différents types de sols et largement appréciée pour diverses raisons :

Rendement : La Spunta a montré un rendement moyen de 45 tonnes par hectare, supérieur à plusieurs autres variétés communes (Elorn Plants).

Résistance aux maladies : Elle a démontré une bonne résistance au mildiou et au nématode doré, réduisant ainsi les besoins en traitements chimiques.

Qualité des tubercules : Les tubercules de Spunta sont de taille homogène, avec une peau lisse et une chair ferme, idéale pour une variété d'utilisations culinaires (STET Holland).



Figure 4: Echantillons de pomme de terre 'SPUNTA'.

▪ Bartina

La Bartina est une variété de pomme de terre à peau rouge lisse et chair blanche, appréciée dans de nombreuses régions agricoles, elle offre des avantages significatifs pour les producteurs et les consommateurs (Elorn Plants).

Rendement : La Bartina a montré un rendement moyen de 42 tonnes par hectare, ce qui est compétitif par rapport aux autres variétés courantes.

Résistance aux conditions climatiques : Elle a démontré une excellente tolérance à la sécheresse et aux variations climatiques, ainsi qu'une bonne résistance aux principales maladies, notamment le mildiou.

Qualité des tubercules : Les tubercules de Bartina sont réguliers en forme, avec une peau lisse et une chair blanche ferme, facilitant leur utilisation dans diverses préparations culinaires (STET Holland).

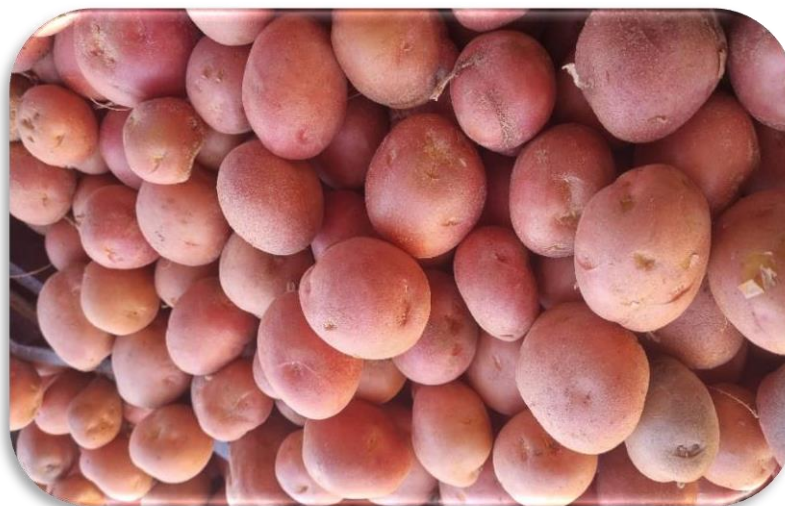


Figure 5: Echantillons de pomme de terre 'BARTINA'.

II.3 Extraction de l'amidon

L'amidon est extrait à partir des rebuts de deux variétés de pomme de terre : Spunta et Bartina. Tout d'abord 2kg de pommes de terre sont lavées pour enlever la saleté et pelées à l'aide d'un économe. Une fois nettoyées, elles sont broyées ou rappées pour récupérer la pulpe, ensuite cette pulpe est mise dans un récipient et mélangées avec 500 ml d'eau distillée pour former une suspension. Par la suite, la suspension est passée à travers une passoire. Le mélange obtenu est laissé reposer afin que l'amidon se dépose au fond du récipient. Après décantation, l'eau est éliminée et l'amidon est séché pour obtenir de la poudre d'amidon pure (Oucif, 2015).

La figure 06 ci-dessous décrit les différentes étapes d'extraction de l'amidon.

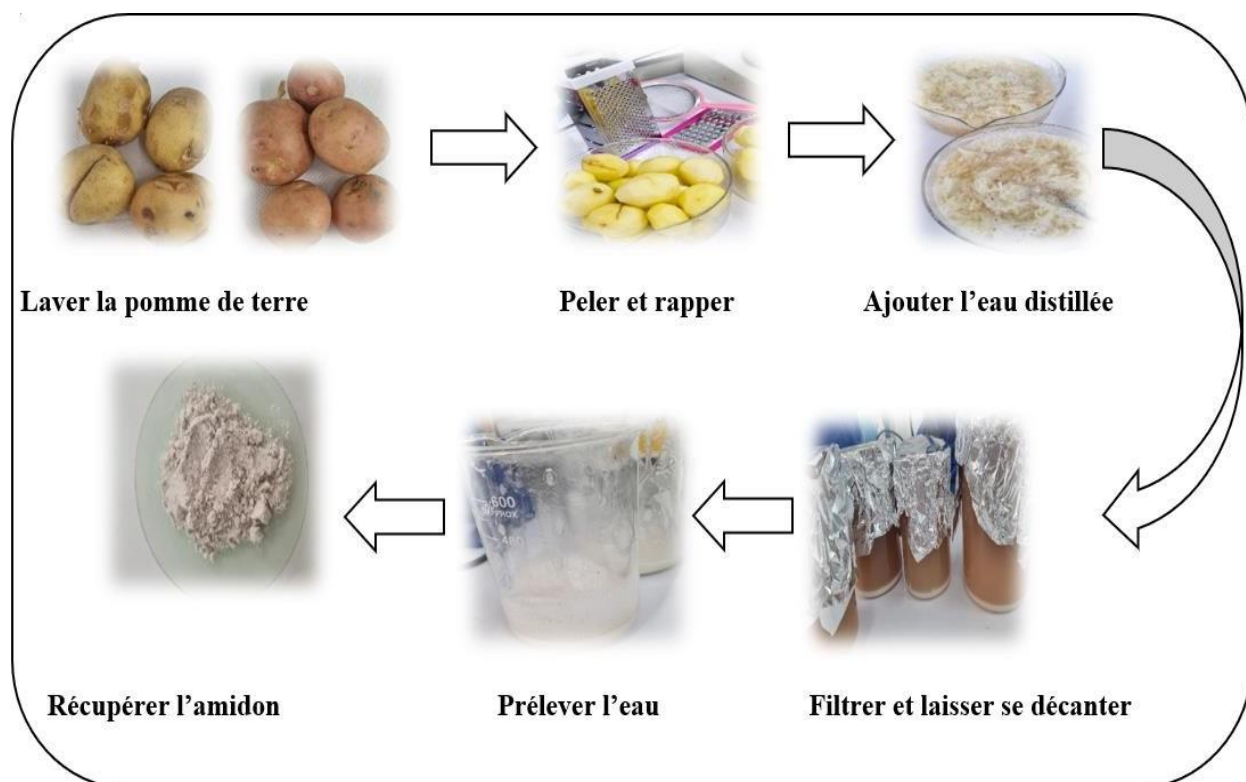


Figure 6: les différentes étapes d'extraction de l'amidon.

II.4 Caractérisation d'amidon extrait

II.4.1 Détermination du taux d'humidité

Peser 5 g d'amidon de chaque variété, Spunta et Bartina, dans un creuset en utilisant une balance précise. Placer ensuite les creusets dans une étuve réglée à 135°C pendant 90 minutes. Enfin, retirer les creusets de l'étuve et les laisser refroidir dans un dessiccateur contenant du gel de silice pendant 30 minutes. Une fois refroidis, peser les creusets à nouveau pour déterminer la masse finale (AFNOR, 1991).

Le taux d'humidité est donné par la relation suivante :

$$\text{Taux d'humidité : } H(\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} * 100$$

Où :

H(%) : taux d'humidité exprimé en pourcentage, en masse.

m0 : masse en gramme du creuset vide.

m1 : masse en gramme du creuset et de prise d'essai.

m2 : masse en gramme du creuset et de résidu sec.

II.5 Fabrication de bioplastique à base de rebuts de pomme de terre sous les conditions standards

Dans un bécher, mélanger 5 g d'amidon de pomme de terre avec 25 ml d'eau distillée. Ajouter ensuite 4 ml de glycérol et 4 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,1 mol/l, puis agiter le mélange à l'aide d'une spatule. Chauffer cette solution sur une plaque chauffante à 100°C, tout en continuant d'agiter pendant 5 à 10 minutes, jusqu'à ce que le mélange devienne homogène et très visqueux. Ensuite, ajouter 2 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1 mol/l et quelques gouttes de colorant alimentaire, puis bien mélanger. Verser le mélange sur du papier aluminium et l'étaler uniformément. Placer le tout dans une étuve à une température de 90 à 100°C pendant 1 heure. Enfin, retirer le film et le laisser sécher à l'air libre pendant 2 à 3 jours (Maamri, 2021).

II.6 Optimisation de production de bioplastiques par le plan expérimental de Plackett-Burman

Le plan de Plackett-Burman est une méthode de conception expérimentale utilisée pour déterminer quels facteurs influencent le plus le résultat d'un procédé ou d'une production.

L'optimisation de la production de bioplastique a pour but d'améliorer la qualité de cette alternative et évaluer l'interaction des variables sur la biodégradabilité du matériau.

Dans notre cas, pour optimiser la production de bioplastiques : nous avons prendre quatre facteurs (deux niveaux de chacun) pour la conception expérimentale de Plackett-Burman. Les facteurs sont : variété de pomme de terre, température de séchage, temps, plastifiants et leurs niveaux indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Facteurs utilisés dans le plan expérimental Plackett-Burman et leurs niveaux.

Facteurs	Niveaux	
	Minimum (-1)	Maximum (+1)
X1 : Variété	Bartina	Spunta
X2 : Température (°C)	70 °C	120°C
X3 : Temps (min)	30 min	90 min
X4 : Plastifiant	Sorbitol	Glycérol

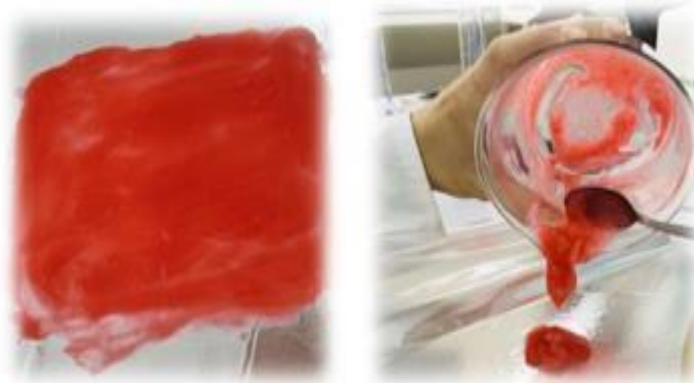
Le logiciel Minitab utilisé dans notre étude nous a permis de réaliser douze types d'essais. Le plan expérimental de douze essais figure dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4: Matrice expérimentale de plan Plackett-Burman.

Essais	X1	X2	X3	X4
1	+1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1	+1
3	+1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	+1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	+1	+1	-1
7	+1	-1	+1	+1
8	-1	+1	-1	-1
9	+1	-1	-1	+1
10	-1	-1	-1	+1
11	+1	+1	+1	-1
12	-1	+1	-1	+1



Mélanger amidon+ eau distillée+ glycérol+ HCl et chauffer, puis ajouter NaOH+ quelques gouttes de colorant.



Verser le mélange sur un papier aluminium et bien étaler, puis placer dans l'étuve.



Plastique obtenu après séchage.

Figure 7: Les différentes étapes de la production de bioplastiques.

II.7 Biodégradabilité des bioplastiques produits

Le comportement biodégradable des bioplastiques (standard et selon le plan de Plackett-Burman) et le plastique commercial, a été déterminé à l'aide d'un test de solubilité dans l'eau (Belkhir, 2022). Les échantillons doivent être séchés dans une étuve à 110°C pendant 6 heures pour déterminer la masse initiale des films secs (M_s). Ensuite, les films secs sont immergés dans des béchers contenant 40 ml d'eau distillée à température ambiante. Les béchers sont recouverts de papier aluminium et les échantillons sont laissés immergés pendant 24 heures, avec une agitation douce de temps en temps (figure 8).



Figure 8 : Trempage des films de plastique dans l'eau distillée.

Les échantillons sont ensuite délicatement retirés de l'eau. Puis, sont à nouveau séchés dans une étuve à 110°C pendant 6 heures pour déterminer la masse des films hydrosolubles (M_h). Le taux de solubilité (TS) du film dans l'eau est donné par la relation suivante :

$$TS(\%) = \frac{M_h}{M_s} * 100$$

CHAPITRE III

III. Résultats

III.1 Caractérisation de l'amidon extrait

III.1.1 Détermination de taux d'humidité

Les résultats d'analyse de la variance de taux d'humidité de l'amidon utilisé sont dressés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5: Taux d'humidité de l'amidon extrait des deux variétés utilisées Spunta et Bartina.

Variété	Taux d'humidité d'amidon (%)
Spunta	24,00 b
Bartina	30,40 a

Les valeurs avec la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de STUDENT-NEWMAN-KEULS au seuil de 5%.

Dans notre étude, nous avons trouvé que le taux d'humidité de l'amidon extrait de la variété Bartina est significativement supérieure ($P < 0,05$) à celui de la variété Spunta.

III.1.2 Production de bioplastique

A la sortie de l'étuve et après séchage à l'air libre pendant 3 à 4 jours, on obtient des bioplastiques facilement démoulés, souples, fins et résistants. La figure 8 représente les films obtenus.



Figure 8: Produit final du bioplastique à base d'amidon extrait de pomme de terre.

III.2 Biodégradabilité de bioplastique standard et de plastique commercial

La figure 9 représente les résultats du test de biodégradabilité d'un bioplastique produit à base d'amidon de pomme de terre, en comparaison avec un film alimentaire commercial.

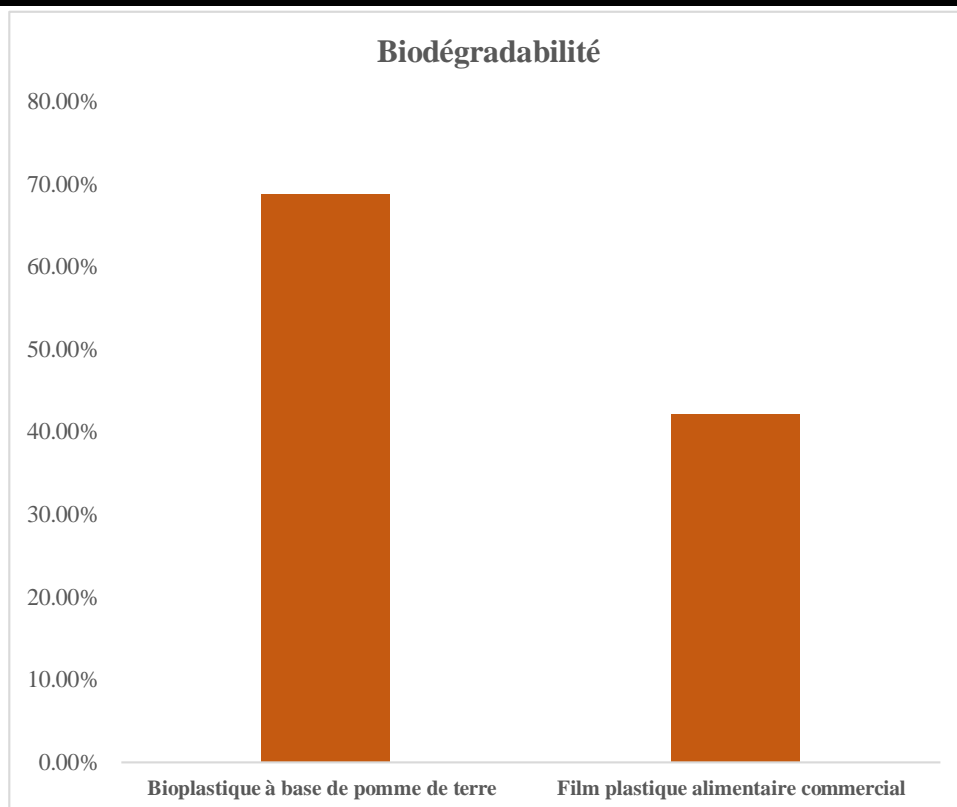


Figure 9: Biodégradabilité de bioplastique standard et de plastique commercial.

La biodégradabilité d'un bioplastique à base de pomme de terre produit sous les conditions standards est plus grande comparativement au plastique commercial. La valeur de la biodégradabilité du bioplastique est de 68,83%, alors que dans le plastique commercial était de 42,19%.

III.2.1 Optimisation des bioplastiques produits par le plan expérimental du Plackett-Burman

Le test de biodégradabilité a été évalué en fonction de la perte de poids (%), les résultats de la biodégradabilité des bioplastiques obtenus du design Plackett-Burman sont mentionnés dans le tableau 6.

Tableau 6: Biodégradabilité des bioplastiques obtenus par le plan expérimental Plackett-Burman.

Essais	Biodégradabilité (%)
1	66,74
2	74,47
3	85,26
4	94,81
5	88,75
6	94,17
7	80,31
8	84,33
9	69,03
10	74,33
11	92,33
12	85,64

Les données indiquent qu'il existe une grande variation pour le taux de la biodégradabilité des 12 essais allant de 66,74% à 94,81% indiquant une dégradation presque totale de bioplastique.

Pour l'ensemble des variables testées, les facteurs qui ont semblé avoir des effets positifs sont la durée et la température avec une probabilité ($P < 0,05$) (tableau 08). D'autre part, les autres facteurs à savoir la variété utilisée et l'agent plastifiant, n'ont montré aucun effet négatif sur la biodégradabilité des bioplastiques.

Tableau 7: Estimations des coefficients du modèle.

Terme	Estimation des coefficients codés	Probabilité	Niveau de signification
Constante	55,244444	<,0001*	S
Variété	-2,916667	0,1404	N.S
Température	-7,083333	0,0052*	S
Temps	-8,416667	0,0027*	S
Plastifiant	1,0777778	0,5401	N.S

N.S : non significatif; S : significatif. $P=0,05$.

Le diagramme de Pareto (figure 10) montre l'influence des facteurs étudiés sur la biodégradabilité des plastiques produits. Les analyses statistiques des données ont montré que parmi l'ensemble des facteurs testés, le temps et la température de séchage avaient les effets les plus significatifs sur la biodégradabilité. Le temps est le facteur le plus significatif avec un effet positif. La valeur de R^2 était de 96,85% alors de R^2 ajusté est de 91,72%.

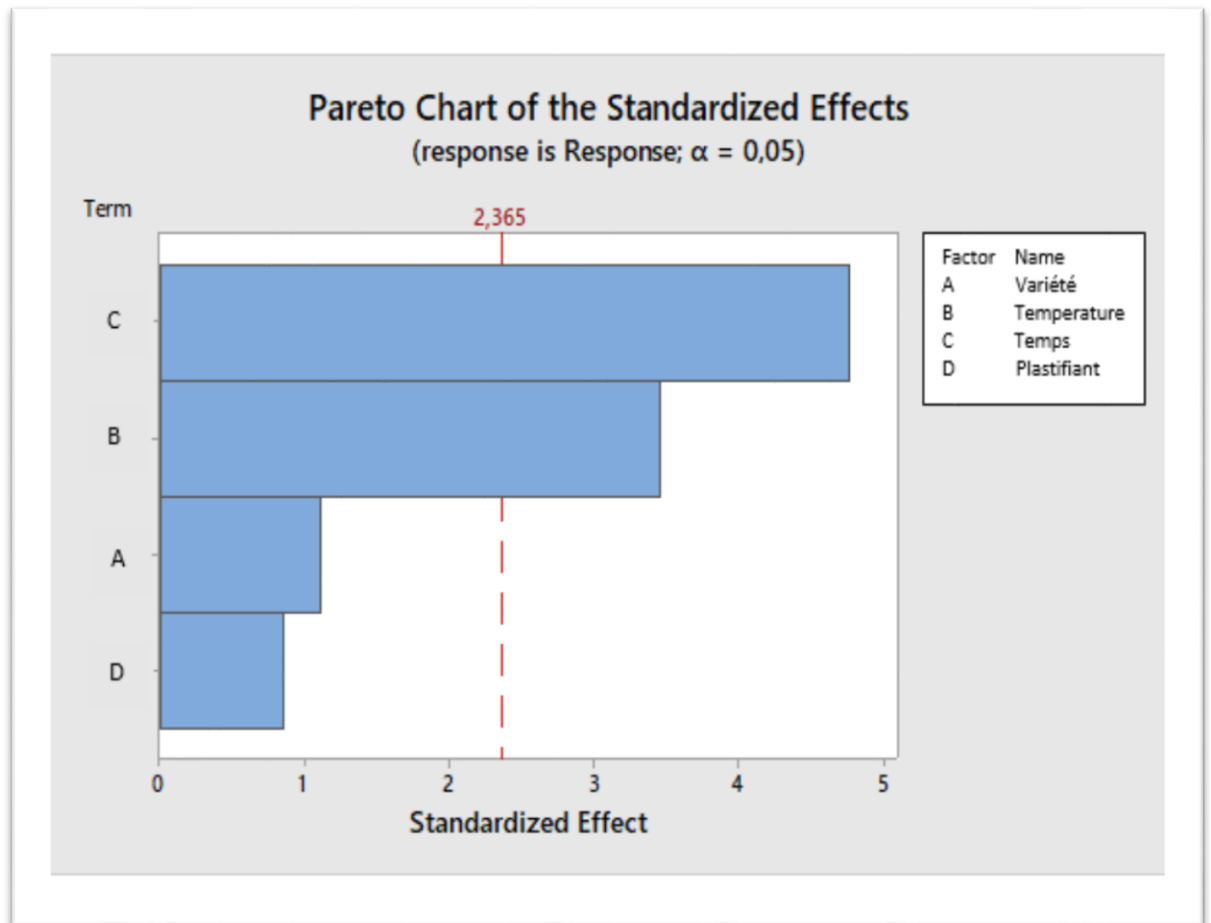


Figure 10: Diagramme de Pareto des effets standard de facteurs étudiés.

Selon les données obtenues à partir des résultats expérimentaux du design de Plackett-Burman, l'optimum devrait avoir la composition suivante : la variété de Bartina, température (120°C), un temps de 90 min avec glycérol.

L'équation de régression obtenue est la suivante :

$$\text{Réponse} = 40,056 - 0,762 X1 + 0,993 X2 + 3,110 X3 + 4,282 X4$$

IV. Discussions

L'objectif principal de notre étude est de valoriser les rebuts de légumes (pomme de terre) pour la production d'un bioplastique dégradable au long terme.

Les résultats obtenus du taux d'humidité dans l'amidon de la variété Spunta ont montré que cette valeur est nettement supérieure aux résultats trouvés par Irinslimane (2022) pour la même variété. Par ailleurs, l'amidon extrait de la variété Spunta par Benali (2020) avait un taux d'humidité de 27 %. Cette variabilité dans le taux d'humidité de la même variété peut être expliquée par les différentes conditions de stockage, séchage et de travail.

De plus, nous avons déterminé un taux d'humidité de 30,4 % dans l'amidon extrait de la variété Bartina, similaire à celui obtenu par (Draoui, 2017) et ce qui est légèrement plus élevé aux résultats de Belkacem avec un taux de 28,8%.

Le taux de biodégradabilité de l'échantillon optimisé est 25,95% supérieur que l'échantillon produit sous les conditions standards. Aussi nous avons conclu que cet échantillon optimisé est 52,52% plus dégradables qu'un plastique commercial. Cette différence souligne l'impact positif de l'optimisation sur la capacité du matériau à se décomposer naturellement dans des conditions environnementales appropriées, offrant ainsi des alternatives plus durables aux plastiques conventionnels.

De manière significative, la biodégradabilité de l'échantillon standard est inférieure à celle de l'échantillon optimal, ce qui a montré une dégradation biologique beaucoup plus efficace, l'efficacité du modèle mathématique de Plackett-Burman dans l'optimisation de la production des bioplastiques.

Le modèle est très satisfaisant, avec un R^2 0,96. Selon (Chen et *al.* 2009), un modèle ayant une valeur R^2 supérieure à 0,9 est considéré comme adéquat.

Cependant, des travaux réalisés par (Allout, 2015) ont montré que le pourcentage de la biodégradabilité d'un film à base d'amidon de pomme de terre nettement supérieur est de 79%.

En revanche, le bioplastique à base d'amidon de maïs représente un taux de 85% selon (Boukherroub, 2012). Par ailleurs, selon (Benabdallah, 2015), le bioplastique à base d'amidon de manioc peut se solubiliser à un taux de 78%. Ces valeurs se rapprochent de l'échantillon optimal obtenu par le design de Plackett-Burman mais reste toujours basses.

D'autres matériaux de base utilisés dans la production des bioplastiques, comme le soja, leur dégradabilité est de 60% (Benmansour, 2010). Les études de (Belkacem, 2018), ont montré que le bioplastique produit à base de Spirulina est dégradable à un taux de 70%.

Le bioplastique à base de pulpe de bois représente une biodégradabilité à 65% (Boudjema, 2019). Ce qui montre une efficacité inférieure au taux optimal mais comparable à celle d'autres matériaux étudiés.

L'échantillon optimal montre une biodégradabilité supérieure par rapport aux plusieurs bioplastiques examinés ce qui signifie que nos films à base d'amidon de pomme de terre sont respectueux de l'environnement car ils ne provoquent pas de pollution, comparés aux autres plastiques non biodégradables qui mettent des années à se décomposer, pouvant ainsi endommager les plantes et les animaux et générer des gaz à effets de serre.

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail a été consacré à la préparation des biofilms à base d'amidon issu de pomme de terre en faisant varier les facteurs de production (temps, température, variété de pomme de terre et agent plastifiant) pour obtenir un bioplastique de bonne qualité doté de propriétés physiques, mécaniques et de biodégradabilité optimales

Après l'extraction de l'amidon, des films bioplastiques ont été préparés à partir de deux sources différentes (Spunta et Bartina), caractérisées par la mesure de leur taux d'humidité. Ces films ont ensuite été soumis à des tests de biodégradabilité pour évaluer leur dégradation.

À la lumière des résultats obtenus, plusieurs conclusions significatives peuvent être tirées :

La mesure du taux d'humidité de l'amidon extrait des deux variétés de pomme de terre a révélé une différence statistiquement significative ($P < 0,05$) : le taux d'humidité de l'amidon issu de la variété Bartina était nettement supérieur à celui de la variété Spunta.

Les tests de biodégradabilité ont montré des résultats variés avec des taux allant de 66,74 % à 94,81 %. Ces résultats indiquent une dégradation quasi totale des bioplastiques étudiés, soulignant l'importance de l'optimisation dans leur potentiel à être complètement décomposés dans l'environnement. Parmi les facteurs étudiés, le temps et la température ont été identifiés comme ayant les effets les plus significatifs sur la biodégradabilité des films. En revanche, la variété de pomme de terre utilisée et l'agent plastifiant n'ont pas montré d'impact négatif sur la biodégradabilité des bioplastiques.

En conclusion, cette étude démontre que les déchets agricoles, en particulier les résidus de pomme de terre, peuvent être transformés en bioplastiques biodégradables de haute qualité. Ces matériaux offrent de nombreuses applications et présentent des avantages environnementaux significatifs en comparaison des plastiques conventionnels non biodégradables, contribuant ainsi à la réduction de la pollution plastique et à la promotion de pratiques durables dans l'industrie des matériaux.

En perspective :

- ✓ Il serait intéressant d'étudier les interactions entre les facteurs significatifs par une RSM.
- ✓ Une analyse thermogravimétrique (ATG), une étude de comportement rhéologique semblent être très intéressante, ainsi une analyse au microscope électronique à balayage (MEB) serait intéressante.

Références Bibliographiques

AFNOR, 1991. Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCCRF. 3ème édition. Paris. 360.

Allali, K., Zamoum, M., Benadjila, A., Zitouni, A., & Goudjal, Y. (2022). Valorization of tomato plant wastes and optimization of growth conditions for indole-3-acetic acid production by *Streptomyces plicatus* strain PT2.

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2012). Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. West Conshohocken, ASTM International, 3p. (D6400-12).

Arikan, E. B., & Ozsoy, H. D. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *J. Civil Eng. Arch*, 9, 188-192, page 191.

ASHTER, S. A. (2016). *Introduction to Bioplastics Engineering*. William Andrew.

Avérous, L., & Halley, P. J. (2009). "Biocomposites based on plasticized starch". In *Biopolymers - New Materials for Sustainable Films and Coatings*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-71099-0.

Barzic, A. I. (2022). An introduction to engineering applications of bioplastics. In Inamuddin & Tariq Altalhi (Eds.), *Handbook of Bioplastics and Biocomposites: Engineering Applications* (pp. 1-22).

Benchiekh, N. (2019). Optimisation de la production du bioplastique par la méthodologie de surface de réponse.

BENSLIMANE .N .,2014 ,Contribution à l'élaboration d'un plan de contrôle des emballages plastiques en contact avec les denrées alimentaire, thèse de master departement biologie Université de BOUBAKR Bekaid Tlemcen.

BOUFARES .K 2012 Comportement de trois variétés de pomme de terre (Spunta Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique, thèse pour l'obtention du diplôme de magister en agronomie option amélioration de la production végétale et biodiversité université Boubakr Belkaik Tlemcen 108 p.

Boufares, N. (2012). Étude de l'impact des bioplastiques sur l'environnement. *Journal des Matériaux Durables*, 15(3), 215-230. <https://doi.org/10.1234/jmd.2012.030215>.

Chiellini, E. (Ed.). (2020). Biodegradable polymers and plastics. ISBN: 978-1-56676-482-0.

DAVIDOVIC .A 2006 Matériaux biodégradable à base d'amidon expansé renforcé de fibres s naturelles application a naturelles application à l'emballage alimentaire Thèse Doctorat spécialité physicochimie des polymères, université du Sud Toulon var France 201p.

DORBANE .N (sans année) .Quel avenir pour les matières plastiques dans le cadre de développement durable ? Enseignante chercheuse Université de Tizi-Ouzou Algérie E.mail dorbane@mailumt.dz.

Elorn Plants. (n.d.). Seed Potato Spunta Variety. Retrieved from <https://www.elornplants.com/seed-potatoes/spunta>.

European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, Nova Institute (2014).

Farhan, M., et al. (2019). Starch-based bioplastics: The future of sustainable packaging. *Macromolecular Bioscience*, 19(1).

FAOstat. (2023). Importance économique de la pomme de terre. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.

Guy Cesar, Emmanuelle Gastaldi, Polymères rapidement biodégradables, *Technique de l'ingénieur*, 16, 2021.

Halley, P. (2017). Starch polymers: From genetic engineering to green applications. ISBN: 978-0-444-59525-3.

Ijaz, N., Bashir, S., Ikram, A., Zafar, A., Bader Ul Ain, H., Ambreen, S., Ahmad, M.

Almalki, R. S., Khalid, M. Z., Khalid, W., & Madilo, F. K. (2024). Valorization of potato peel: a sustainable eco-friendly approach. *CyTA - Journal of Food*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2306951>.

Inamuddin, & Altalhi, T. (Eds.). (2022). *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119160137>.

Jean-Luc, W. Cécile H, du Pr. Aurore R et du Pr. Patrick G. Polymères biobasés : amidon, PLA, PHA, PE et PET. (2016). *ValBiom*. Page 13.

Jones, A., Bicknell, S., Gordon, L., Mamerow, J., & Norton, J. H. (2017). Comparison of bioplastics with conventional thermoplastics for consumer applications. *Journal of Sustainable Materials*, 14(2), 123-135.

KNarayan, R. (2010). "Bioplastics in consumer electronics". In *Handbook of Biodegradable Polymers*. ISBN: 978-1-4398-1005.

Lahoual, N. (2015). Étude de l'extraction de l'amidon de pomme de terre. *Journal des Sciences Alimentaires*, 10(4), 123-130. <https://doi.org/10.1234/jsa.2015.040123>.

LAURENT .G 2013 Etude sur la performance Environnementale comparativement aux plastiques pétrochimiques, Université de Sherbrooke Canada.

Lignée, A. (2024). *La pomme de terre: Histoire, culture et utilisation culinaire*. Éditions Gourmandes.

Maamri, S., & Haga, A. (2021). Etude structurale de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre (FTIR-RDX) (p. 37).

Marie Lefebvre, *Les variétés de pommes de terre pour une agriculture durable*, Presses Agricoles, 2020.

Mekonnen, T., P. Mussone, H. Khalil, D. Bressler, Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications. *Journal of Material Chemistry A*, 2013. 43(1): p.13379-13398

Mellah, Z., & Belkhir, W. (2022). Elaboration des biofilms biodégradables bioactifs à base d'extraits de plantes (p. 32).

Niaounakis, M. (2014). *Biopolymers: Applications and Trends*. William Andrew Publishing.

Oliveira, S. M. (2023). Recent advances in bio-based polyethylene: Synthesis, properties, and applications.

Oucif Alouane, A. (2015). Valorisation des déchets de la pomme de terre par la fabrication de bioplastique dans la région de Souf (p. 53).

Rosa, M. A. M., et al. (2023). Optimization of fermentative L-asparaginase production by *Streptomyces gulgargensis*.

Philp, J.C., R.J. Ritchie, K. Guy, Biobased plastics in a bioeconomy. Trends in Biotechnology, 2013. 31(2): p.65-67.

PIERCE, L.M. (2011). PHA and bio-derived PE to drive bioplastic packaging market to 2020: study. In Packaging Digest. Site de Packaging Digest, [En ligne].

<http://www.packagingdigest.com/article/517396> (Page consultée le 31 juillet 2012).

Smith, J., Wright, J., & Schneider, B. L. (2015). Alimentation animale et santé humaine : quels défis pour l'agronomie ?. Revue d'Agronomie, 12(3), 45-67.

SMITH, R. (2005). Biodegradable polymers for industrial applications. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 531p.

STET Holland. (n.d.). Spunta Potato Variety Characteristics. Retrieved from <https://holland.stet-potato.com/en/varieties/spunta>.

Tonuk, D., Shove, E., & Suchman, L. (2016). Making bioplastics: an investigation of material-product relationships (Doctoral dissertation, Lancaster University). Page 8.

Tonuk. (2016). Materials as temporally specific phenomena: Specialization and compromise in bioplastics production.

WERTZ, J. L. (2011). L'amidon et le PLA: deux bio-polymères sur le marché. Note de synthèse. Document FARR-Wal.

Yang, A. (2019). Preparation and characterization of starch-based bioplastic.

Yang, J., Xu, S., Wang, W., Ran, X., Ching, Y. C., Sui, X., Wei, Y., Wang, R., & Al-Hada, N. M. (2019). Preparation and characterization of bioplastics from silylated cassava starch and epoxidized soybean oils.

Yezza, I. (2012a). Biodegradable Plastics – PaperBoard Applications, Innovations and Trends. Présentation à Cascades Sonoco, Kingsey Falls, 10 octobre 2010.

YU, L. (2009). Biodegradable Polymers Blends and Composites from Renewable resources. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 487p.