



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



**Université Amar Telidji- Laghouat**

**FACULTE : SCIENCES**

**DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES**

**MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par :**

**BEN ALI Ibrahim El Khalil et ZEBDA Mohammed El amine**

**DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES**

**OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE.**

**Thème**

**Valorisation du son de blé et production d'un  
bio-emballage alimentaire**

**Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
OUBRAHAM Farid	MCB	Président
MEDJKOUH Lynda	MCA	Examinatrice
BOURAKNA Zineb	MCB	Encadrante
GOUDJAL Yacine	Pr	Co-encadrant

**Promotion : Juin – 2025**

# REMERCIEMENT

﴿وَقُلْ لِّ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا﴾ [طه: 114]

*Avant tous, nous remercions **ALLAH**, qui nous a guidés et permis d'achever ce travail. Sans sa miséricorde et son aide, cela n'aurait pas été possible.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre directrice de thèse, Dr. **BOURAKNA ZINEB**, pour sa patience, ses précieux conseils et son généreux soutien tout au long de la préparation de cette thèse. Son encadrement nous a apporté un soutien précieux, tant sur le plan académique que moral. Et n'oublions pas non plus de mentionner notre co-encadrant le **Pr. GOUDJAL YACINE**.*

*Nous tenons à remercier vivement les membres du jury de notre thèse Dr. **OUBRAHAM FARID** le président et Dr. **MEDJKOUH LYNDA** l'examinatrice d'avoir accepté de participer à ce jury et d'examiner cette thèse.*

*Nos profonds remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants du Département des sciences agronomiques, pour leur engagement, leur disponibilité et la qualité de l'enseignement dispensé durant notre formation.*

*Nous remercions également tous les ingénieurs des laboratoires*

*Enfin, nous remercions tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail. Que chacun(e) trouve ici l'expression de notre reconnaissance.*

**BENALI IBRAHIM EL KHALIL**  
**ZEBDA MOHAMED EL AMIN**

# *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail

## **À mes très chers parents**

*Aucune ne dédicace, aucun mot ne saurait exprimer mon amour éternel, mon respect, et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien-être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*J'espère que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos Innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.*

*Que dieu vous procure bonne santé, bonheur et longue vie.*

## **À toutes les membres de ma famille « BENALI » et « KAABACH »**

**À mes chers amis « KRIMOU, HABIB, AYOUB, TAHER, ZAKI, TOUFIK » et mon binôme « MOHAMED EL AMINE »**

*En témoignage de notre sincère amitié, des souvenirs et de tous les moments agréables que nous avons passés ensemble. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

**À tous mes enseignants et mes collègues tout au long de mes études à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail**

***IBRAHIL EL KHALIL***

# *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail

## **À mes très chers parents**

*Aucune ne dédicace, aucun mot ne saurait exprimer mon amour éternel, mon respect, et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien-être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*J'espère que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos Innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.*

*Que dieu vous procure bonne santé, bonheur et longue vie.*

## **À toutes les membres de ma famille « ZEBDA »**

**À mes chers amis « MADJID, MOUHAMED, SAYEH et MAAMAR » et mon binôme  
« IBRAHIM EL KHALIL »**

*En témoignage de notre sincère amitié, des souvenirs et de tous les moments agréables que nous avons passés ensemble. Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

**À tous mes enseignants et mes collègues tout au long de mes études à tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail**

***MOHAMED EL AMINE***

## Résumé

### **Thème : Valorisation du son de blé et production d'un bio-emballage alimentaire.**

Cette étude visait à développer un film bioplastique optimisé et biodégradable à partir d'un amidon naturel du son de blé, dans le but de valoriser les ressources agricoles et d'améliorer les matériaux respectueux de l'environnement. Le plan expérimental de Plackett-Burman a été utilisé comme approche statistique pour élaborer un protocole optimisé qui combine les facteurs appropriés (quantité d'amidon, la quantité de glycérol, type d'acide et la température d'agitation) afin d'obtenir un biofilm biodégradable et offrant une bonne transparence, et le compare avec un bioplastique standard et plastique commercial. Douze formulations différentes ont été développées et analysées en fonction de leur biodégradabilité dans le compost, de leur solubilité dans l'eau et leur opacité. Les résultats ont montré des différences significatives ( $p < 0,001$ ) dans toutes les propriétés étudiées entre le bioplastique le plus optimal, le bioplastique standard et le plastique commercial. Le bio-film (B7) a connu les meilleures performances, qui a atteint un taux de biodégradabilité de 85,71 % dans le compost et de solubilité de 90,67 %, ainsi un degré d'opacité faible de 2,19. Ces résultats soulignent le potentiel du son de blé comme matière première économique et facilement disponible pour la production de bioplastiques haute performance, offrant une alternative pratique aux plastiques conventionnels et contribuant à réduire l'impact environnemental des déchets plastiques.

**Mots clés:** Son de blé, Amidon, Bioplastique, Plackett-Burman, Biodégradabilité, Solubilité, Opacité.

## **Abstract**

### **Theme: Valorization of wheat bran and production of food bio-packaging.**

This study aimed to develop an optimized and biodegradable bioplastic film from a natural wheat bran starch, with the aim of valorizing agricultural resources and improving environmentally friendly materials. The Plackett-Burman experimental design was used as a statistical approach to develop an optimized protocol that combines the appropriate factors (amount of starch, amount of glycerol, type of acid and stirring temperature) to obtain a biodegradable biofilm with good transparency, and compare it with a standard bioplastic and commercial plastic. Twelve different formulations were developed and analyzed according to their biodegradability in compost, solubility in water and opacity. The results showed significant differences ( $p < 0.001$ ) in all the properties studied between the most optimal bioplastic, the standard bioplastic and the commercial plastic. The biofilm (B7) showed the best performance, which achieved a biodegradability rate of 85.71% in compost and solubility in water of 90.67%, as well as a low opacity degree of 2.19. These results highlight the potential of wheat bran as an economical and readily available raw material for the production of high-performance bioplastics, providing a practical alternative to conventional plastics and helping to reduce the environmental impact of plastic waste.

**Keywords:** Wheat bran, Starch, Bioplastic, Plackett-Burman, Biodegradability, Solubility, Opacity.

## الملخص

الموضوع: تئمين نخالة القمح وانتاج مواد التغليف الغذائية البيولوجية

هدفت هذه الدراسة إلى تطوير غشاء بلاستيكي حيوي مُحسّن وقابل للتحلل من النشاء الطبيعي لنخالة القمح، بهدف تئمين الموارد الزراعية وتحسين المواد الصديقة للبيئة. استُخدم تصميم بلاكيت-بورمان التجريبي كمنهج إحصائي لتطوير بروتوكول مُحسّن يجمع بين العوامل المناسبة (كمية النشاء، كمية الجلسرين، نوع الحمض، ودرجة حرارة التحريك) للحصول على غشاء حيوي قابل للتحلل ويتمتع بشفافية جيدة، مقارنته بالبلاستيك الحيوي القياسي والبلاستيك التجاري. طُورت اثنتي عشرة تركيبة مختلفة وحُلّت وفقًا لقابليتها للتحلل في السماد العضوي، ذوبانها في الماء، وعتامتها. أظهرت في جميع الخصائص المدروسة بين البلاستيك الحيوي الأمثل، البلاستيك الحيوي ( $p < 0.001$ ) النتائج فروقًا معنوية أفضل أداء، حيث حقق معدل تحلل بلغ 85.71% في السماد (B7) القياسي، والبلاستيك التجاري. أظهر الغشاء الحيوي العضوي، وذوبانًا في الماء بنسبة 90.67%، بالإضافة إلى درجة عتامة منخفضة بلغت 2.19. تُبرز هذه النتائج إمكانية نخالة القمح كمادة خام اقتصادية ومتوفرة بسهولة لإنتاج بلاستيك حيوي عالي الأداء، مما يوفر بديلًا عمليًا للبلاستيك التقليدي، ويساعد في الحد من الأثر البيئي للنفايات البلاستيكية.

الكلمات المفتاحية: نخالة القمح، النشاء، البلاستيك الحيوي، بلاكيت بورمان ، قابلية التحلل البيولوجي، قابلية الذوبان، العتامة.

## Listes des figures

<b>Figure 1:</b> Les dix premiers pays producteurs de blé en 2023. ....	4
<b>Figure 2:</b> Coupe d'un grain de blé.....	6
<b>Figure 3:</b> Schéma de transformation du blé .....	10
<b>Figure 4:</b> Capacité mondiale de la production de bioplastiques .....	16
<b>Figure 5:</b> Schéma explicatif des principaux groupes de bioplastiques .....	17
<b>Figure 6:</b> Objectif et émarcheÉtapes d'extraction de l'amidon du son de blé.....	22
<b>Figure 7:</b> Étapes de la fabrication du bioplastique .....	23
<b>Figure 8:</b> Mesure de l'épaisseur de bioplastiques à base d'amidon et plastique commercial. .....	26
<b>Figure 9 :</b> Aspect général de l'amidon extrait du son de blé .....	27
<b>Figure 10 :</b> Aspect du bioplastique standard à base d'amidon .....	28
<b>Figure 11 :</b> Taux de biodégradabilité du plastique commercial, bioplastique standard et bioplastique optimal .....	30
<b>Figure 12 :</b> Opacité du plastique commercial, du bioplastique standard et bioplastique plus optimal.....	32
<b>Figure 13 :</b> Taux de solubilité du plastique commercial, du bioplastique standard et bioplastique plus optimal .....	34

## **Listes des tableaux**

<b>Tableau 1 :</b> Composition chimique du grain de blé.....	7
<b>Tableau 2:</b> Composition organique et chimique (pour 100 g de matière sèche).....	12
<b>Tableau 3:</b> Conception expérimentale basée sur la matrice Plackett-Burman (sélection de quatre facteurs déterminants).....	24
<b>Tableau 4:</b> Application de la matrice Plackett-Burman (conception de 12 essais à niveaux codés -1 et +1) .....	24
<b>Tableau 5.</b> Taux de biodégradabilité des bioplastiques produits à base d'amidon et plastique commercial .....	29
<b>Tableau 6.</b> Opacité de bioplastiques à base d'amidon et plastique commercial .....	32
<b>Tableau 7.</b> Taux de la solubilité de différents types de plastique dans l'eau .....	34

## **Liste des abréviations**

FAO: Food and Agriculture Organization

PHA: Polyhydroxyalcanoates

PHBV: Polyhydroxybutyrate-valérate

PHB: Polyhydroxybutyrate

PLA: Acide polylactique

PCL: Polycaprolactones

PEA: Polyestramides

Bio-PE : Polyéthylène biosourcé

RSM : Réponse Surface Méthodologie

# Table des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
المخلص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Listes des abréviations	
Introduction .....	1

## PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHPITRE I : BLÉ ET SON DE BLÉ

1. Généralité sur le blé .....	3
1.1. Histoire et origine .....	3
1.2. Importance économique .....	4
1.2.1. Situation mondiale du blé .....	4
1.2.2. Situation de blé en Algérie .....	5
1.3. Systématique botanique .....	5
1.4. Structure, composition et valeur nutritive du grain de blé .....	5
1.4.1. Structure histologique.....	5
1.4.2. Composition biochimique et valeur nutritive .....	6
2. Valorisation des sous-produits des graines de blé.....	09
2.1. Son.....	10
2.2. Remoulage .....	11
2.3. Farine basse .....	11
2.4. Criblures .....	11
3. Son de blé.....	11
3.1. Composition organique et chimique du son de blé .....	11
3.2. Utilisation du son de blé .....	13
3.2.1. Utilisation du son de blé comme matière première dans la fabrication des bioplastiques et des biofilms.....	14

### CHAPITRE 2 : GENERALITE SUR BIOPLASTIQUE

1. Notion de bioplastique .....	15
---------------------------------	----

2. Composition de bioplastique .....	15
3. Capacité mondiale de production des bioplastiques .....	15
4. Classification de bioplastique.....	16
4.1. Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse .....	16
4.2. Bioplastiques issus des micro-organismes obtenus par extraction .....	17
4.3. Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables .....	17
4.4. Bioplastiques pétrochimiques biodégradables .....	17
5. Propriétés des bioplastiques .....	18
5.2. Propriétés mécaniques.....	18
5.3. Propriétés thermiques .....	18
5.4. Propriétés de barrière.....	18
5.5. Biodégradabilité .....	18
6. Intérêts et application de bioplastiques .....	19
7. Avantages et inconvénients .....	19
7.1. Avantages.....	19
7.2. Inconvénients.....	20

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIELS ET METHODES**

1. Extraction de l'amidon .....	21
2. Production de bioplastique sous les conditions standard .....	22
3. Optimisation de la production de bioplastique par le plan expérimental de Plackett- Burmen .....	23
4. Caractéristiques de bioplastique fabriqué .....	24
4.1. Biodégradabilité dans le compost .....	25
4.2. Solubilité dans l'eau .....	25
4.3. Opacité.....	26
5. Analyses statistiques .....	26

### **CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSION**

1. Amidon extrait du son de blé... ..	27
1.1. Aspect général de l'amidon extrait.....	27
1.2. Rendement de l'amidon extrait... ..	27

<b>2. Aspect général de bioplastique fabriqué .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Évaluation et comparaison des propriétés des bioplastiques à base d'amidon et de plastique commercial .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. Biodégradabilité dans le compost... ..</b>	<b>28</b>
<b>3.3. Solubilité .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4. Opacité .....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>37</b>

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

La pollution due aux plastiques artificiels est l'un des défis environnementaux les plus importants du XXI<sup>e</sup> siècle. Ces matières, couramment employées dans le secteur industriel et au quotidien, proviennent majoritairement de ressources fossiles non renouvelables (telles que le pétrole). Leur résistance à la dégradation naturelle provoque une accumulation massive dans les écosystèmes, menaçant la faune, la flore, et potentiellement la santé humaine. Dans ce contexte, les bioplastiques se présentent comme une alternative durable et prometteuse. Ils sont fabriqués à partir de matériaux renouvelables et généralement biodégradables, offrant une solution significative à la crise environnementale associée aux plastiques conventionnels (Thakur et *al.*, 2018).

Parmi les différentes sources de bioplastiques, l'amidon occupe une place centrale en raison de sa disponibilité, de son faible coût et de ses propriétés fonctionnelles. Il s'agit d'un polysaccharide naturel constitué d'amylose et d'amylopectine, deux polymères de glucose qui lui confèrent une aptitude particulière à former des gels et des films. L'amidon est extrait de nombreuses plantes telles que le maïs, la pomme de terre, le manioc ou encore le blé. Grâce à sa structure chimique, il est capable de former des matrices continues pouvant être transformées en matériaux plastiques biodégradables adaptés à différentes utilisations (Krochta & De Mulder-Johnston, 1997).

Le son de blé est la principale composante des sous-produits issus de la mouture lors de la transformation du blé en farine blanche pour la consommation humaine. Le son de blé suscite un intérêt croissant en raison de leur abondance, leur faible coût et leur composition riche en fibres et composés bioactifs. Sa riche en fibres alimentaires et en composés lignocellulosiques, possède un potentiel remarquable en tant que matière première dans la fabrication de matériaux biodégradables tels que les bioplastiques et les biofilms. Cela réduisant ainsi la dépendance aux polymères d'origine pétrochimique et particulièrement adaptés aux usages environnementaux durables (Strangis et *al.*, 2023).

C'est pourquoi nous avons pensé à développer un processus de production d'un nouveau bioplastique à base d'amidon, non seulement respectueux de l'environnement, mais s'appuyant également sur la valorisation des sous-produits céréaliers. En outre, afin d'améliorer ses propriétés, en utilisant le design expérimental de Plackett-Burman pour développer un protocole optimisé combinant les facteurs appropriés pour obtenir un bio-film biodégradable de

meilleure qualité et offrant une bonne transparence. Ceci est comparé au bioplastique standard et au plastique commercial.

Nous avons structuré notre document en deux parties :

- La première est réservée à l'étude bibliographique comportant deux chapitres : l'un se rapporte à une généralité sur le blé et le son de blé et l'autre sur le bioplastique.
- La deuxième est réservée à l'étude expérimentale que nous l'avons répartie en deux : l'un traite tous matériels et les différentes techniques utilisées en méthodologie et l'autre porte sur la présentation des résultats qui sont discutés.

Enfin, cette étude est achevée par une conclusion générale accompagnée par des perspectives.

# **Partie bibliographique**

# **CHAPITRE I**

**BLÉ ET SON DE BLÉ**

## CHPITRE I : BLÉ ET SON DE BLÉ

### 1. Généralité sur le blé

Le blé, aux côtés du maïs et du riz, constitue l'une des trois grandes céréales cultivées à travers le monde. C'est une plante alimentaire dont la culture est largement répandue. Botaniquement, le blé est une plante monocotylédone appartenant au genre *Triticum*, qui est une plante annuelle de la famille des Poacées (Graminées). Son grain est un fruit sec indéhiscent (qui ne s'ouvre pas), appelé caryopse, composé d'une graine entourée de téguments (Feillet, 2000).

Les deux espèces de blé, les plus cultivées et utilisées dans la fabrication d'une large gamme de produits alimentaires, sont le blé tendre (*T. aestivum*) et le blé dur (*T. durum*).

#### 1.1. Histoire et origine

La culture des céréales constitue l'une des premières formes d'agriculture. Il y a plus de trois millions d'années, les hommes préhistoriques étaient des nomades, vivant de la chasse et de la cueillette pour se nourrir. Peu à peu, le nomadisme a cédé la place à la sédentarité, ce qui a permis le développement de l'agriculture, et notamment la culture des céréales. Le blé, une des céréales les plus anciennes, est cultivé depuis l'Antiquité, avec des traces de sa culture datant du Mésolithique, autour de 7000 avant Jésus-Christ (Ruel, 2006).

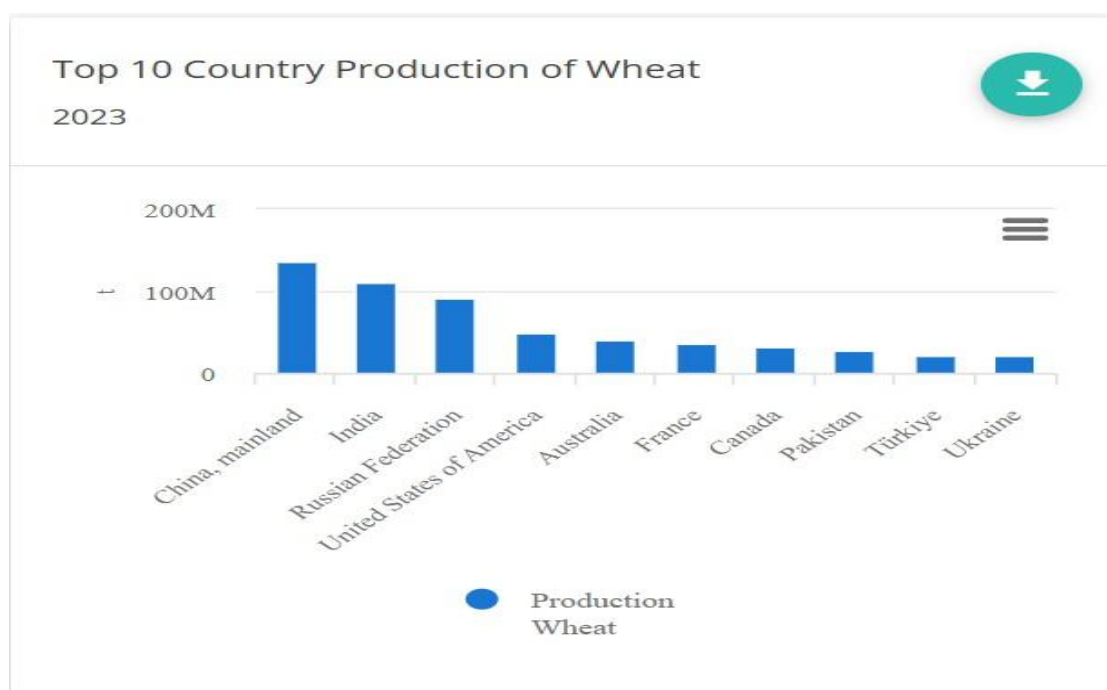
C'est au 3<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ que les Égyptiens ont développé les premiers procédés de panification, en préparant les premières galettes de blé. Cette avancée a permis à l'homme de produire sa propre nourriture, atteignant ainsi l'autosuffisance alimentaire, et a favorisé l'émergence des premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panification ont été perfectionnées par les Hébreux, les Grecs, et les Romains, qui ont propagé l'usage du blé à travers l'Europe. À la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les Anglais ont introduit le blé en Amérique du Nord, où il a été rapidement adopté comme matière première pour la fabrication du pain, en raison de sa teneur en gluten supérieure à celle des autres céréales (Yves et Buyer, 2000).

À travers les siècles, le blé a conservé toutes ses qualités nutritionnelles et reste un pilier fondamental de notre alimentation. Aujourd'hui, le blé est omniprésent dans notre quotidien, utilisé dans une multitude de produits (Yves et Buyer, 2000).

## 1.2. Importance économique

### 1.2.1. Situation mondiale du blé

Le blé est la deuxième céréale la plus produite au monde après le maïs (Statistica, 2025). C'est la céréale la plus consommée directement par les humains dans le monde et la plus échangées sur les marchés internationaux. Selon la FAO-Stat (2025), en 2023, la culture de blé mondiale occupe une superficie de 220 407 070 d'hectares, pour une production de 798 975 306 tonnes. Cependant, les dernières prévisions de la FAO (2025), concernant la production de blé en 2025 connaîtra une baisse de production s'étend à 795 millions de tonnes. En 2023, La Chine était le premier pays producteur de blé avec une production de 136 590 100 tonnes, suivie par l'Inde (110 553 675 tonnes), Fédération de Russie (91 500 000 tonnes), ce sont les trois premiers pays producteurs (figure 1) (FAO-Stat, 2025).



**Figure 1.** Les dix premiers pays producteurs de blé en 2023. (FAO-Stat (2025))

Historiquement, le blé est consommé dans le bassin méditerranéen et en Europe. Cependant, en 2024-2025, la consommation mondiale de blé devrait augmenter de 1,8 million de tonnes, principalement portée par une demande accrue en Argentine et dans l'Union européenne. Cette hausse porte les prévisions totales à 797 millions de tonnes, marquant une légère progression de 0,1 % par rapport à la campagne précédente (FAO, 2025).

### 1.2.2. Situation de blé en Algérie

En Algérie, cette céréale revêt une importance économique majeure. Selon FAO-Stat (2022), en 2023, le blé est la troisième culture nationale au terme de production après pommes de terre et pastèques. Sa production atteignait 2 500 000 tonnes sur une superficie de 1 800 000 hectares.

### 1.3. Systématique botanique

Selon Cronquist (1981), le blé appartient au :

- **Embranchement** : Magnoliophyta
- **Classe**: Liliopsysda
- **Sous classe** : Commelinidae
- **Ordre** : Cyperales
- **Famille** : Poaceae
- **Genre** : Triticum

Le blé regroupe plusieurs espèces, parmi lesquelles deux espèces sont les plus cultivées et elles revêtent aujourd'hui une importance économique majeure, sont : *Triticum durum* (blé dur) et *Triticum aestivum* (blé tendre).

### 1.4. Structure, composition et valeur nutritive du grain de blé

#### 1.4.1. Structure histologique

Toutes les parties du grain de blé sont utilisées essentiellement dans l'alimentation humaine et animale. Selon Feillet (2000), le grain de blé, y compris (figure 2) :

- **Enveloppes de la graine et du fruit**

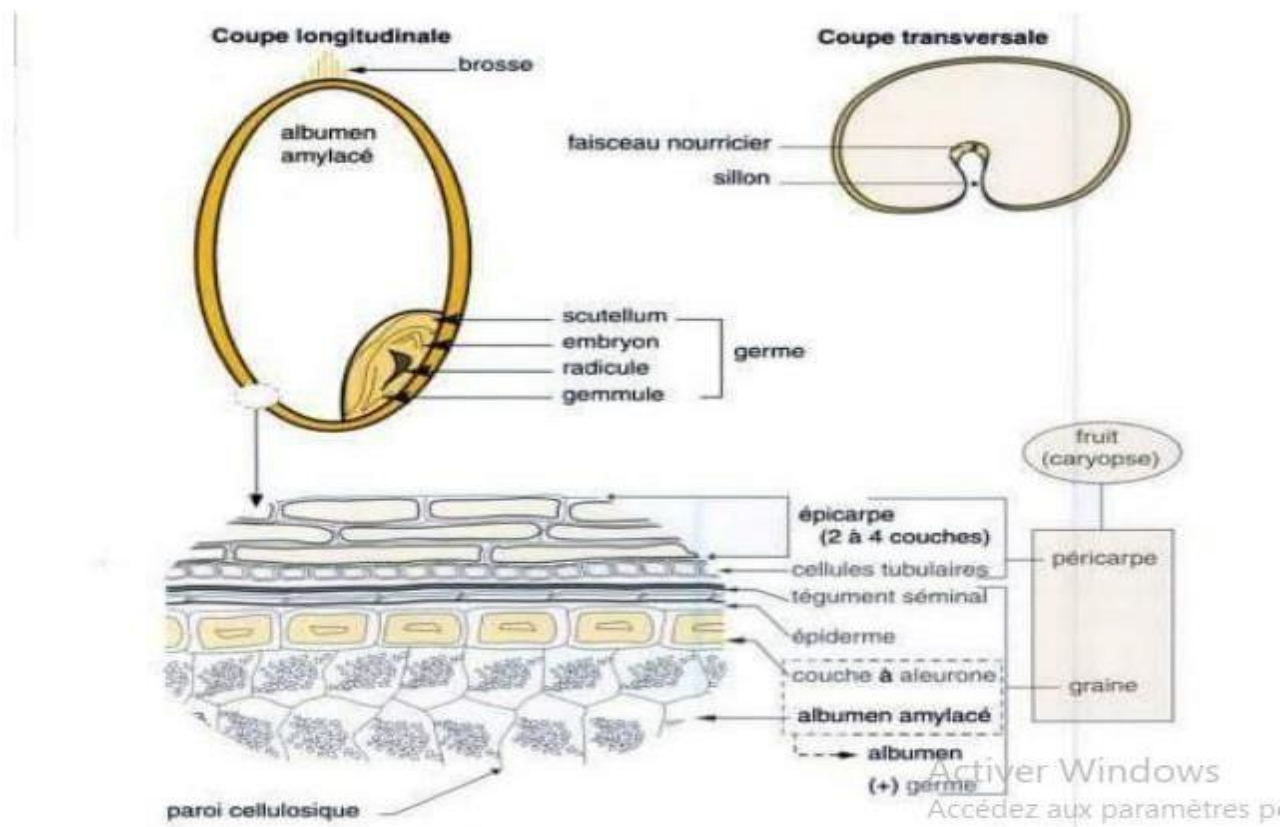
Elle se forme de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%) (Feillet, 2000).

- **Albumen**

L'albumen constitue presque tout l'intérieur du grain. Se compose principalement 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 celluloses sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85% du grain) (Feillet, 2000).

### ➤ Germe (embryon)

Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2,5 à 3 % du grain de blé. Le germe comprend deux parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destiné à la plantule), qui contient l'essentiel de matières grasses. Enfin, le germe est riche en vitamine B1, B6 (Barron et Surget, 2005).



Source : Feillet (2000).

Figure 2. Coupe d'un grain de blé

#### 1.4.2. Composition biochimique et valeur nutritive

La composition biochimique du grain de blé donne une idée sur sa valeur nutritionnelle et technologique. 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 (quelques % seulement), sont : les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (tableau 1) (Feillet, 2000).

**Tableau 01.** Composition chimique du grain de blé .( *Feillet (2000)*).

Nature des composants	Teneur (%ms)
<b>Protéines</b>	10-15
<b>Amidon</b>	67-71
<b>Pentosanes</b>	8-10
<b>Cellulose</b>	2-4
<b>Sucre libre</b>	2-3
<b>Lipides</b>	2-3
<b>Matières minérales</b>	1,5-2,5

#### ➤ Amidon

L'amidon représente le principal glucide de réserve des végétaux, accumulé notamment dans les organes de stockage comme les grains céréaliers, les légumineuses et les tubercules (GODON, 1991). Dans le contexte spécifique du blé, ce polysaccharide constitue la fraction majoritaire de l'albumen amylicé, où il se présente sous forme d'un complexe macromoléculaire associant : une fraction linéaire d'amylose (20-30%), une fraction ramifiée d'amylopectine (70-80%), ainsi que des lipides résiduels (0,1-0,6%) (Sasaki et *al.*, 2000).

#### ➤ Protéines

Les protéines du blé, constituant secondaire représentant 8 à 18 % de la composition du grain, jouent un rôle capital tant sur le plan fonctionnel que nutritionnel dans les produits céréaliers. Elles se répartissent en deux groupes distincts : d'une part, les protéines globulaires (albumines et globulines), qui constituent environ 25 % des protéines totales et sont principalement localisées dans les enveloppes, la couche à aleurone et le germe ; d'autre part, les protéines de réserve (gliadines et glutenines), qui représentent 75 % des protéines totales et se concentrent dans l'endosperme amylicé (Hoseney, 1986). La composition protéique du grain

n'est pas fixe ; elle varie en fonction des conditions environnementales et des interactions entre ces facteurs externes et le patrimoine génétique de la plante (ZHU et KHAN, 2001).

➤ **Gluten**

Constitué principalement des protéines de réserve (75-80% du total), représente un élément clé dans la détermination de la qualité technologique du blé. Ce complexe protéique, formé par l'association des glutenines et des gliadines avec d'autres composants (glucides, lipides, matières minérales), confère aux pâtes leurs propriétés rhéologiques essentielles : élasticité, cohésion, extensibilité, ténacité (Feillet, 2000).

➤ **Lipides**

Les lipides du blé, bien que ne représentant que 2 à 3 % du poids sec du grain (Adrian, 1987), jouent un rôle important dans ses propriétés technologiques et nutritionnelles. Principalement localisés dans le germe, ces composés présentent une forte proportion d'acides gras insaturés (75-80 %), dominés par l'acide linoléique (55-60 %), suivi de l'acide oléique (16-18 %) et de l'acide linoléique (4-5 %), tandis que les acides gras saturés ne représentent que 20 à 25 % du total. Environ deux tiers de ces lipides sont sous forme libre, le reste étant associé à d'autres constituants de la farine comme les glucides et les protéines (Feillet, 2000).

➤ **Eau**

La teneur en eau du blé, généralement stabilisée autour de 13,5 %, constitue un paramètre crucial influençant directement sa conservation et sa qualité. Cette humidité, variable selon les variétés et les conditions de récolte, présente un double avantage : elle assure d'une part une bonne stabilité lors du stockage à long terme, et inhibe d'autre part le développement des micro-organismes, en particulier les moisissures (FREDOT, 2005).

➤ **Minéraux**

Le grain de blé présente une teneur moyenne en matière minérale d'environ 1,8%, avec une répartition inégale selon les différentes parties du grain (Abecassis, 1987) : les enveloppes contiennent 5 à 8% des minéraux totaux, la couche à aleurone en concentre environ 10%, tandis que l'albumen amyloacé n'en renferme que 0,5 à 1%. La composition minérale du blé se caractérise par une richesse en phosphate, potassium, magnésium et divers oligo-éléments (fer, manganèse, zinc), mais par une faible teneur en calcium, chlore et sodium (Colas, 1997).

Contrairement à d'autres composants, ces teneurs minérales restent relativement stables et peu influencées par les conditions de culture (Godon et Wilm, 1991).

➤ **Vitamines**

Le blé renferme principalement des vitamines PP (niacine) et E (tocophérols), ainsi que des quantités plus faibles de vitamines B1 (thiamine), B2 (riboflavine) et B6 (pyridoxine) (Godon et Wilm, 1991).

➤ **Enzymes**

Les enzymes du blé, bien que présentes en faibles quantités dans le grain et la semoule (Boudreau et Menard, 1992), jouent un rôle crucial dans ses propriétés fonctionnelles. Selon Feillet (2000), ces enzymes se répartissent différemment selon les tissus du grain et se classent en deux catégories principales : les hydrolases (comprenant les enzymes amylolytiques, protéases et lipases) et les oxydoréductases (incluant catalases, polyphénol-oxydases et peroxydases).

➤ **Pigments**

Les pigments du blé, principalement des caroténoïdes liposolubles (xanthophylles et carotènes  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ), sont responsables de la coloration jaune caractéristique des semoules et pâtes alimentaires (Franconie et *al.*, 2010).

➤ **Fibres**

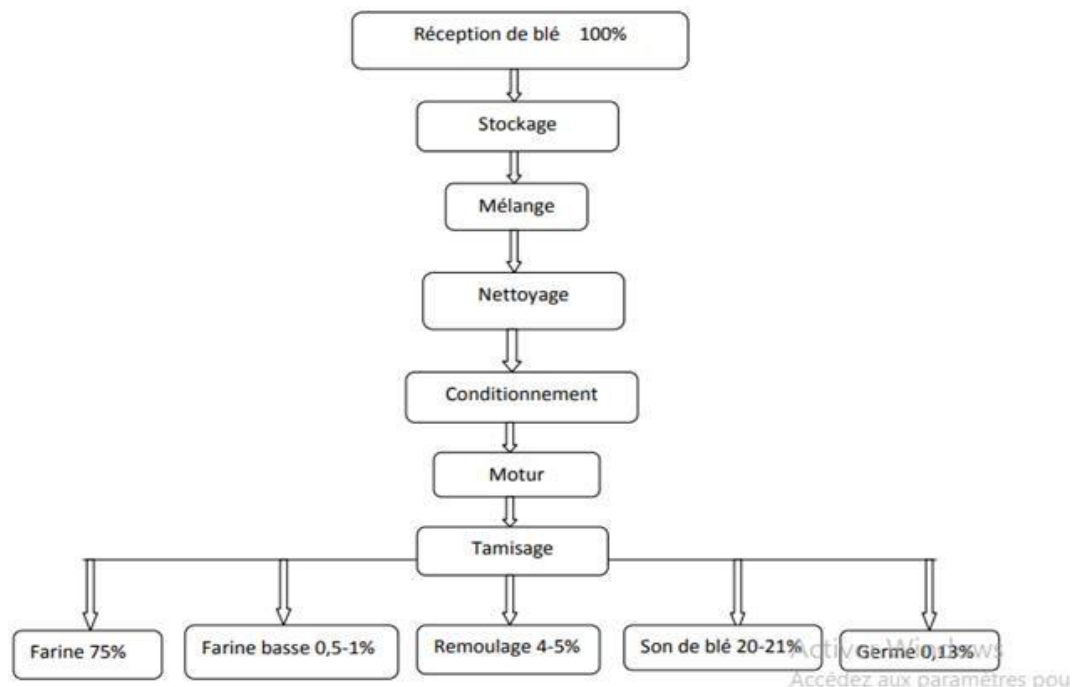
Les fibres du blé, constituées de polysaccharides non amylacés non digestibles (Jeantel et *al.*, 2007), représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la semoule. Principalement localisées dans les parois de l'albumen (70-80% de leur composition), elles se divisent en deux catégories selon leur solubilité : les fibres insolubles (à structure cristalline) et les fibres solubles (cellulose,  $\beta$ -glucanes et pentosanes) (Jeantel et *al.*, 2007).

## **2. Valorisation des sous-produits des graines de blé**

La transformation de blé a pour objectif d'extraire l'albumen contenu dans le caryopse par le processus de mouture du grain qui permettant de produire comme matière principale de la farine ou de la semoule utilisée en alimentation humaine et en matière secondaire des sous-produits employés dans l'alimentation du bétail (figure 3) (Abecassis et Mabile, 1997).

Ce procédé technologique consiste donc en une séparation des diverses parties du grain pour obtenir d'une part la farine ou la semoule et d'autre part les issus de meunerie (Godon, 1991).

Les sous-produits de blé générés de ce processus sont de différentes catégories : son fin et gros, remoulages, farines basses, et criblures (déchets ou grains déclassés). Les proportions de chacun de ces sous-produits restent en fonction de la nature des blés réceptionnés, ainsi que de la conduite de la mouture qui est liée à l'état des équipements. Généralement, le rendement de la matière principale se situe entre 66 et 72 % et le pourcentage des issus variant entre 19 et 20%, où ces derniers sont composés de 90% de son, 5% de remoulages, 1% de farine basse et 4% de criblures (déchets ou grains déclassés) (Ben hamouda et Lounnas, 1995).



Source : Godon et Willm (1991).

Figure 3. Schéma de transformation du blé.

### 2.1. Son de blé

Le son de blé est la principale composante des sous-produits issus de la mouture. Il est principalement composé de fragments des enveloppes du grain, ainsi que de particules dont la majeure partie de l'endosperme a été retirée. On distingue le son gros formé de petites écailles non altérées et le son fin constitué d'écailles pulvérisées et des restes des téguments très fins (Hébrard et al., 2002).

## **2.2. Remoulage**

Le remoulage est composé essentiellement de fragments d'enveloppes (téguments) et des couches d'aleurone. Contrairement au son, cette fraction contient une proportion plus élevée d'endosperme résiduel, appelés parfois farine deuxième, car celui-ci n'a pas été totalement séparé lors des premières étapes de la transformation. Le remoulage représente ainsi un sous-produit intermédiaire, à la fois plus riche en matières nutritives que le son et moins raffiné que la farine. On peut distinguer le remoulage blanc qui représente le refus en fin de claquage qui est riche en farine et le remoulage bis de couleur rougeâtre, formé de fragments d'enveloppes (Feillet, 2000).

## **2.3. Farine basse**

La farine basse est composée majoritairement de fines particules d'endosperme, mais contenant également une proportion non négligeable de fragments d'enveloppes (téguments) ainsi que de petits débris de grains. Elle présente une qualité inférieure en raison de la présence résiduelle de constituants périphériques du grain, ce qui peut rendre sa couleur plus sombre que la farine blanche panifiable, sa texture est toutefois plus grossière et moins pure. Elle est appelée aussi farine troisième (Godon & Willm, 1991).

## **2.4. Criblures**

Elles correspondent aux grains de blés éliminés lors du tri car ils étaient brisés, trop petits et déformés (Abécassis & Autran, 1990).

## **3. Son de blé**

Le son est un sous-produit issu de la transformation du blé en farine blanche pour la consommation humaine. Il est principalement composé de l'enveloppe externe (tégument) du grain, riche en glucides pariétaux. Cependant, ces fibres présentent une faible digestibilité pour les volailles, limitant ainsi leur valeur nutritionnelle dans l'alimentation animale (Leslie Jacquemin, 2012).

### **3.1. Composition organique et chimique du son de blé**

Le son de blé est reconnu pour sa richesse en fibres alimentaires et en nutriments essentiels (tableau 2) (FAO, 2021 ; USDA, 2023).

**Tableau 2.** Composition organique et chimique (pour 100 g de matière sèche). (FAO, 2021 ; USDA, 2023).

Composant	Quantité approximative
Fibres alimentaires totales	40 – 45 g
Protéines	15 – 18 g
Lipides (graisses)	3 – 6 g
Glucides (hors fibres)	20 – 25 g
Cendres (minéraux totaux)	5 – 7 g
Eau (dans produit brut)	10 – 15 %

➤ **Fibres**

Composées principalement de cellulose, hémicellulose et lignine, elles jouent un rôle crucial dans la régulation du transit intestinal (Buttriss, 1998).

➤ **Protéines**

Le son de blé contient des protéines de qualité, riches en acides aminés essentiels comme la lysine (USDA, 2023).

➤ **Lipides**

Faiblement présents, ils incluent des acides gras insaturés bénéfiques pour la santé cardiovasculaire (FAO, 2021).

➤ **Glucides**

Surtout des sucres complexes et une petite part d'amidon résiduel (USDA, 2023).

➤ **Vitamines**

Il est riche en vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B6) et en vitamine E (tocophérols), essentielles au métabolisme énergétique et à la protection cellulaire (Buttriss, 1998).

➤ **Minéraux**

Contient des quantités importantes de magnésium, phosphore, fer, zinc et potassium (FAO, 2021 ; USDA, 2023)

### **3.2. Utilisation du son de blé**

Le son de blé possède une richesse exceptionnelle en fibres alimentaires et en composés bioactifs, ce qui lui confère de nombreuses applications dans les domaines de la nutrition et de la santé. Dans le secteur de la nutrition animale, plusieurs recherches ont démontré que l'ajout de son de blé fermenté dans l'alimentation des volailles permet d'améliorer significativement les performances de croissance, la digestibilité des nutriments ainsi que la santé intestinale (Kim *et al.*, 2024). Des résultats similaires ont été obtenus chez les porcs, où le son de blé fermenté a montré une efficacité notable dans l'amélioration de la structure intestinale, la régulation du microbiote et l'absorption des nutriments (Ma *et al.*, 2023).

En ce qui concerne la santé humaine, le son de blé est reconnu pour son rôle potentiel dans la prévention du cancer colorectal. Des expériences menées sur des modèles animaux ont révélé que la consommation régulière de son de blé peut réduire l'incidence des tumeurs du côlon grâce à son effet sur la production d'acides gras à chaîne courte bénéfiques pour la muqueuse intestinale (Reddy et Rao, 1997). En plus de ses effets protecteurs, le son de blé contribue également à la réduction du cholestérol sanguin et à l'amélioration du transit intestinal, grâce à sa teneur élevée en fibres insolubles.

Par ailleurs, une autre étude récente a montré que le son de blé fermenté représente une alternative prometteuse comme ingrédient dans la fabrication d'aliments pour animaux, contribuant à la durabilité de l'élevage tout en améliorant la valeur nutritionnelle des rations (Nguyen *et al.*, 2024).

Enfin, l'efficacité de ce sous-produit a été confirmée dans d'autres recherches sur la volaille, où l'on observe une amélioration significative de la santé digestive et une meilleure assimilation des nutriments (Abudabos *et al.*, 2020).

### **3.2.1. Utilisation du son de blé comme matière première dans la fabrication des bioplastiques et des biofilms**

Dans le contexte actuel de crise environnementale liée à la pollution plastique l'exploration de solutions alternatives d'origine naturelle est devenue une priorité mondiale. Les sous-produits agricoles, en particulier le son de blé, suscitent un intérêt croissant en raison de leur abondance, leur faible coût et leur composition riche en fibres et composés bioactifs. Grâce à ses propriétés physico-chimiques uniques, le son de blé peut être valorisé dans la fabrication de matériaux biodégradables tels que les bioplastiques et les biofilms, réduisant ainsi la dépendance aux polymères d'origine pétrochimique (Reddy *et al.*, 2013 ; Sharma & Banerjee, 2021).

Le son de blé, riche en fibres alimentaires et en composés lignocellulosiques, possède un potentiel remarquable en tant que matière première dans la fabrication de matériaux biodégradables tels que les bioplastiques et les biofilms. Par exemple, la société Biotrem a développé une technologie permettant la fabrication de vaisselle jetable à partir de son de blé compressé, entièrement biodégradable en 30 jours. À partir d'une tonne de son, on peut produire jusqu'à 10 000 pièces (Biotrem, 2020).

D'autre part, des recherches ont montré que l'ajout de son de blé dans les composites polymériques, notamment le poly (butylène succinate-co-adipate), améliore leur biodégradabilité en milieu marin, ce qui les rend particulièrement adaptés aux usages environnementaux durables (Strangis *et al.*, 2023). En parallèle, le son de blé peut également servir de substrat pour la production microbienne de polyhydroxybutyrate (PHB), un polymère biodégradable offrant des propriétés similaires aux plastiques conventionnels (Mandal *et al.*, 2024).

Sur le plan biomédical, des études ont démontré que les extraits de son de blé possèdent une activité anti-biofilm contre des bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, en inhibant leurs mécanismes de communication cellulaire (quorum sensing), ce qui suggère une possible utilisation dans la fabrication de biofilms antimicrobiens naturels (González-Ortiz *et al.*, 2014).

# **CHAPITRE II**

**GENERALITE SUR BIOPLASTIQUE**

**CHAPITRE II : GENERALITE SUR BIOPLASTIQUE****1. Notion de bioplastique**

Les bioplastiques représentent une nouvelle génération de matériaux plastiques issus de ressources renouvelables (biologique), et/ou biodégradable dans des conditions spécifiques (Tonuk et *al.*, 2016). Ces matériaux ont été développés pour répondre aux problématiques environnementales liées à la pollution plastique. Ils nécessitent également une évaluation rigoureuse de la gestion des déchets et de la durabilité. Les bioplastiques ont des différentes ressources renouvelables de biomasse, comme les huiles végétales, l'amidon de maïs, de pomme de terre, de blé ou d'autres plantes riches en amidon, de fibres obtenues à partir d'ananas, de bois, de jute, de chanvre et de bananes. Les bioplastiques peuvent également être fabriqués à partir de micro-organismes bactériens et des algues (Kerrache, 2023).

**2. Composition de bioplastique**

Les bioplastiques sont des matériaux polymériques partiellement ou totalement issus de ressources renouvelables, tels que l'amidon, les huiles végétales, la cellulose ou d'autres sous-produits agricoles. Leur composition peut inclure un ou plusieurs polymères biosourcés qui assurent la structure du matériau, des plastifiants naturels comme le glycérol ou un acide organique, afin d'en améliorer la flexibilité, des charges renforçantes et parfois des additifs pour ajuster les propriétés physiques, mécaniques ou optiques du matériau final. Cette composition varie selon les applications visées et influence directement la biodégradabilité et la performance environnementale des bioplastiques. Ces bioplastiques se présentent comme des alternatives viables aux polymères conventionnels issus du pétrole (Emadian et *al.*, 2017).

**3. Capacité mondiale de production des bioplastiques**

La production mondiale de bioplastiques connaît une croissance constante, stimulée par une prise de conscience accrue des enjeux environnementaux ainsi que par la mise en œuvre de réglementations favorisant l'utilisation de matériaux biosourcés et biodégradables. Selon European Bioplastics (2025), en 2024, la capacité de production mondiale de bioplastiques est estimée à 2,47 millions de tonnes, contre 2,02 millions de tonnes en 2023, traduisant une évolution régulière du secteur. Parallèlement, cette production devrait augmenter

considérablement, passant à environ 5,73 millions de tonnes en 2029 (figure 4). Néanmoins, la production effective demeure inférieure, atteignant seulement 1,44 million de tonnes, soit un taux d'utilisation moyen de 58 %.

## Global production capacities of bioplastics

in 1,000 tonnes



Source: European Bioplastics, nova-institute (2024)

Source :EuropeanBioplastics (2025).

**Figure 4.** Capacité mondiale de la production de bioplastiques.

### 4. Classification de bioplastique

Les bioplastiques peuvent être classés selon divers critères tels que leur composition chimique, leurs méthodes de synthèse, les processus de fabrication, leur impact économique et leurs applications spécifiques (Smith, 2005). La classification suivante présente les quatre catégories principales de plastiques biodégradables (figure 5) :

#### 4.1. Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse

Les bioplastiques naturels sont issus directement de la biomasse, notamment des constituants des parois cellulaires des végétaux, tels que la cellulose et la lignine. Un exemple courant est l'amidon. Ces polymères peuvent être extraits directement des plantes. Par ailleurs, il est également possible d'obtenir des monomères simples à partir de matières végétales, après des transformations chimiques et/ou enzymatiques, qui seront ensuite polymérisés pour former des bioplastiques. (Rabetafika et al., 2006).

#### 4.2. Bioplastiques issus des micro-organismes obtenus par extraction

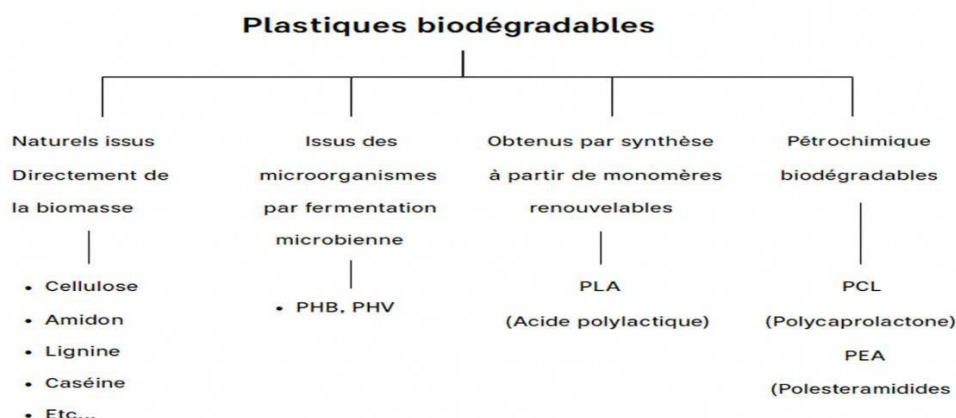
Ce groupe de bioplastiques comprend la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA), parmi lesquels le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxybutyrate-valérate (PHBV) sont les plus courants. Ces polyesters sont produits par certains micro-organismes qui les synthétisent et les accumulent comme réserve de carbone et d'énergie dans des conditions de stress ou de carence nutritionnelle (La Pointe, 2012)

#### 4.3. 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. On les désigne également sous le nom de biopolyesters, en raison de leurs nombreuses similitudes avec les polyesters conventionnels. Le principal représentant de cette famille est le polylactide (PLA), synthétisé chimiquement à partir d'acide lactique, lui-même extrait de produits agricoles ou de résidus issus de l'industrie agroalimentaire (Véronique et *al.*, 2012).

#### 4.4. Bioplastiques pétrochimiques biodégradables

De nombreux bioplastiques biodégradables peuvent être synthétisés à partir de ressources fossiles. Les premières recherches dans ce domaine remontent au début des années 1970. L'objectif était alors de concevoir des polymères alliant les propriétés fonctionnelles des plastiques conventionnels à la capacité d'être dégradés par des microorganismes (Feuilloley et *al.*, 2005).



*Source : La pointe (2012).*

**Figure 5.** Schéma explicatif des principaux groupes de bioplastiques.

## 5. Propriétés des bioplastiques

### 5.1. Propriétés mécaniques

Les **propriétés mécaniques** constituent un critère fondamental pour évaluer les performances des matériaux, en particulier dans les domaines où la résistance et la durabilité sont essentielles. D'après (**Barzic, 2022**), ces propriétés déterminent en grande partie les usages possibles des bioplastiques dans l'industrie.

**Résistance à la traction** : elle mesure la capacité d'un bioplastique à supporter une force de traction sans se rompre. Cette performance dépend fortement de la nature du polymère et des additifs utilisés (comme les fibres naturelles ou les plastifiants).

**Élasticité (ou rigidité)** : elle indique dans quelle mesure un matériau peut se déformer de façon réversible. Les bioplastiques rigides sont particulièrement adaptés aux applications nécessitant une bonne tenue en forme, telles que les pièces techniques dans le secteur automobile ou les emballages rigides.

### 5.2. Propriétés thermiques

La température à laquelle un bioplastique passe d'un état rigide à un état caoutchouteux est appelée température de transition vitreuse (Tg). Les bioplastiques ayant une Tg plus faible sont privilégiés dans les applications qui requièrent de la flexibilité à basse température (Barzic, 2022).

### 5.3. Propriétés de barrière

La perméabilité à l'humidité désigne la capacité des bioplastiques à limiter l'absorption d'eau. Ceux présentant une faible perméabilité sont particulièrement adaptés aux applications dans le domaine de l'emballage alimentaire (Niaounakis, 2014). Par ailleurs, la perméabilité aux gaz correspond à l'aptitude des bioplastiques à bloquer le passage de gaz tels que l'oxygène ou le dioxyde de carbone (Barzic, 2022).

### 5.4. Biodégradabilité

Les bioplastiques biodégradables ont la capacité de se décomposer naturellement en eau, dioxyde de carbone, méthane et biomasse, sans laisser de résidus toxiques pour l'environnement ou la santé humaine. Ce processus repose sur l'action enzymatique de micro-

organismes comme les bactéries, les champignons ou les algues. La biodégradation suit généralement deux étapes : une dégradation primaire des chaînes polymères (par hydrolyse ou oxydation), suivie d'une assimilation biologique des fragments par les micro-organismes. La biodégradabilité varie selon la nature chimique du polymère : les PLA, PHA et amidons sont biodégradables, contrairement aux bio-PE et bio-PET. Les conditions environnementales (comme le compostage industriel) influencent fortement le taux et la vitesse de dégradation. Ainsi, la biodégradabilité constitue un atout environnemental majeur pour certains bioplastiques, mais dépend de multiples facteurs (Laurent, 2013).

## **6. Intérêts et application de bioplastiques**

Les bioplastiques connaissent une demande croissante sur le marché en raison de leurs propriétés durables et de la diversité de leurs usages. L'industrie constitue le principal domaine d'application de ces matériaux innovants, qui sont utilisés dans plusieurs secteurs, parmi lesquels (Ashter et *al.*, 2016) :

- L'emballage,
- L'industrie automobile,
- Les équipements électriques et électroniques,
- Le bâtiment et la construction,
- L'industrie textile,
- L'agriculture et l'horticulture.

## **7. Avantages et inconvénients**

Selon Ashter et *al.* (2016), les bioplastiques offrent de nombreux avantages et les inconvénients sur les plans environnemental et économique :

### **7.1. Avantages**

- Ils sont fabriqués à partir de ressources renouvelables et sont biodégradables, ce qui contribue à réduire la pollution environnementale.
- Ils permettent de diminuer l'empreinte carbone et génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre, sans contenir de substances toxiques.

- Certains types, comme le polyéthylène téréphtalate biosourcé (Bio-PET), présentent des propriétés similaires à celles des plastiques fossiles et peuvent être recyclés de la même manière.
- En fin de vie, ils peuvent être utilisés pour produire de l'énergie renouvelable par incinération, ou transformés en biocarburants.
- Ils contribuent également à l'amélioration de la fertilité des sols, à la réduction de l'accumulation de plastiques dans l'environnement, et à la baisse des coûts liés à la gestion des déchets.

## **7.2. Inconvénients**

- Problèmes de recyclage :

Les bioplastiques peuvent perturber les systèmes classiques de recyclage, en particulier lorsqu'ils ne sont pas correctement triés. Par exemple, les équipements de tri utilisant les rayons infrarouges ne parviennent pas à distinguer les bioplastiques des plastiques conventionnels, ce qui entraîne un mélange indésirable et une baisse de la qualité des matériaux recyclés.

- Pression sur les ressources premières :

La production de bioplastiques à partir de ressources agricoles peut entraîner une réduction des stocks de matières premières mondiales et créer une concurrence avec les cultures destinées à l'alimentation. Pour pallier ce problème, les approches actuelles privilégient l'utilisation des sous-produits alimentaires et des déchets organiques comme sources alternatives, tout en visant à réduire la consommation d'énergie dans les processus de fabrication (Arikan *et al.*, 2015).

**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

# **CHAPITRE I**

**MATERIELS ET METHODES**

## CHAPITRE 1 : MATERIELS ET METHODES

Ce travail a été réalisé dans les laboratoires pédagogiques du département des sciences agronomiques de l'université de Laghouat, dans l'objectif d'élaborer un bioplastique optimal à base de l'amidon de son de blé. Ce processus a été passé par deux étapes : extraction de l'amidon et fabrication d'un biofilm.

### 1. Extraction de l'amidon

L'extraction de l'amidon à partir du son de blé a été réalisée en suivant le protocole de Sardari et *al.* (2019), avec quelques modifications adaptées aux conditions expérimentales locales (figure 6). Le son de blé a été obtenu en grande quantité auprès d'un fournisseur local dans la région de Laghouat.

Le son a été tamisé à l'aide d'un tamis de 2,2 mm afin d'éliminer les impuretés visibles telles que les insectes et les particules grossières. Ensuite, 100 g de son de blé tamisé ont été mélangés avec 1 L d'eau distillée dans un erlenmeyer, respectant un rapport solide/liquide de 1 : 10. Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique chauffant à une température de 55 °C pendant de 4 heures, dans le but de faciliter la libération de l'amidon. Le mélange obtenu a été filtré à l'aide d'un tamis de 200 µm placé sur un entonnoir, vers un second erlenmeyer. Les résidus solides retenus sur le tamis ont été rincés à l'aide de 500 mL d'eau distillée dans un bécher, puis filtrés à nouveau afin de récupérer un maximum d'amidon. Toute la suspension recueillie a été laissée au repos pendant environ deux heures pour permettre la décantation naturelle de l'amidon au fond du récipient. Après la décantation, le surnageant a été récupéré dans un propre bécher Pour le laisser autre fois au repos pendant 24 heure afin de favoriser une clarification optimale. Pendant ce temps, l'amidon précipité a été récupéré et transféré dans des boîtes de pétri en verre (pesées à vide). L'amidon a été séché dans une étuve à 50 °C pendant toute la nuit.

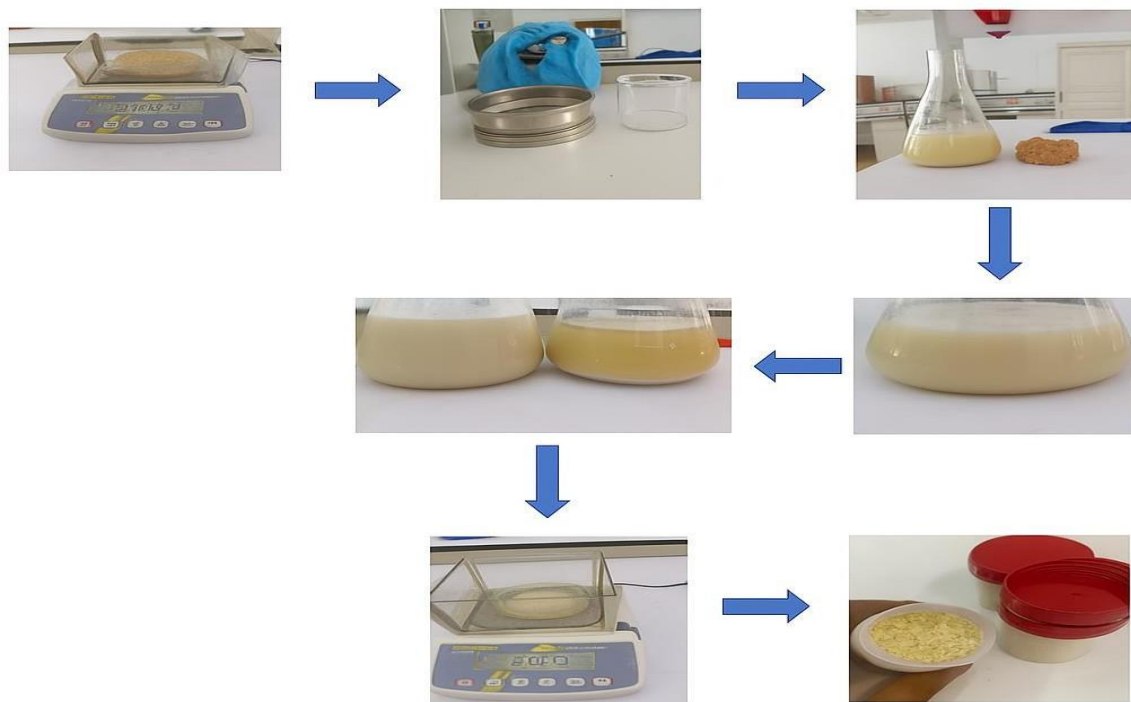
Après séchage, les boîtes ont été de nouveau pesées, et la différence de poids a permis de déterminer la masse d'amidon obtenue. Le rendement de l'amidon est calculé comme suit :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

***P<sub>i</sub>*** : poids de son de blé (100g).

***P<sub>f</sub>*** : poids de l'amidon obtenu.

Enfin, l'amidon sec a été broyé finement à l'aide d'un moulin électrique, puis stocké dans des flacons en plastique propres et secs en vue d'utilisations ultérieures.

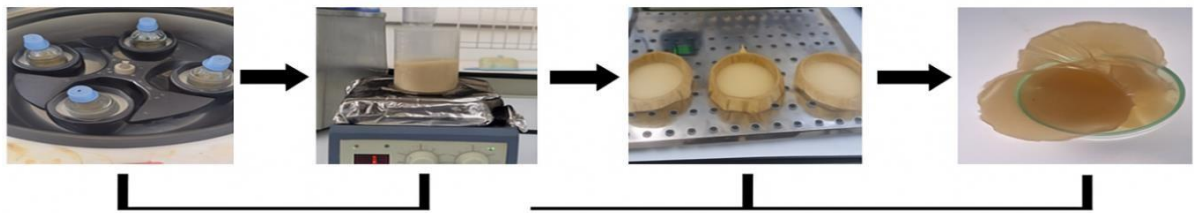


**Figure 6.** Étapes d'extraction de l'amidon du son de blé.

## 2. Production de bioplastique sous les conditions standard

Le bioplastique a été fabriqué selon la méthode décrite par Marichelvam *et al.* (2019), avec quelques modifications. Dans un bécher, 10 g d'amidon ont été dissous dans 100 mL d'eau distillée, en maintenant un ratio de 1:10 entre l'amidon et l'eau.

Ensuite, 3 g de glycérol, 2 g de gélatine et 1 g d'acide citrique ont été ajoutés successivement à la solution. La solution obtenue a été transférée à la centrifugeuse à 180 tours/min pendant 10 minutes, afin d'homogénéiser la solution et favoriser la solubilisation. Après centrifugation, la solution a été agitée à l'aide d'une plaque chauffante et réglée à une température de 100 °C pendant 70 min. Le mélange polymérique obtenu a été ensuite coulé de manière uniforme dans des boîtes de Pétri en verre contenant du papier sulfurisé qui recouvre toute la surface de la boîte et légèrement enduit d'huile alimentaire pour prévenir l'adhérence du film et faciliter son démoulage. Les boîtes ont été placées dans une étuve à 90 °C pendant deux heures. Enfin, les films préparés ont été laissés à sécher à l'air libre pendant 2 à 3 jours.



**Figure 7.** Étapes de la fabrication du bioplastique.

### **3. Optimisation de la production de bioplastique par le plan expérimental de PlackettBurmen**

La méthode de Plackett-Burman est un outil statistique de conception d'expériences, utilisé principalement en phase préliminaire pour repérer rapidement les facteurs ayant le plus d'influence sur un phénomène étudié. Elle permet d'évaluer plusieurs variables à l'aide d'un nombre réduit d'essais, en testant chaque facteur à deux niveaux (haut et bas), Cette approche est particulièrement adaptée aux travaux de laboratoire nécessitant un criblage rapide et efficace des paramètres influents (Montgomery, 2017).

L'optimisation de l'élaboration de bioplastique a pour but d'améliorer la qualité de cette alternative et évaluer l'interaction des variables sur les propriétés suivantes : la biodégradabilité, la solubilité et l'opacité.

Dans notre cas, pour optimiser la production de bioplastiques, quatre facteurs principaux ont été sélectionnés pour la conception expérimentale de la matrice Plackett-Burman. Les facteurs sont : quantité glycérol, quantité d'amidon, type d'acide (acide citrique ou acide tartrique) et température d'agitation (tableau 4).

**Tableau 3.** Conception expérimentale basée sur la matrice Plackett-Burman (sélection de quatre facteurs déterminants).

-1	+1
Quantité glycérol (1g)	Quantité glycérol (5 g)
Quantité d'amidon (5 g)	Quantité d'amidon (15 g)
Acide citrique	Acide acétique
Température d'agitation (80 °C)	Température d'agitation (120 °C)

Selon le tableau 3 la matrice de Plackett-Burman a montré que 12 essais expérimentaux désignés, testant chaque facteur à deux niveaux, codés -1 (faible) et +1 (élevé).

**Tableau 4.** Application de la matrice Plackett-Burman (conception de 12 essais à niveaux codés -1 et +1)

Essais	Quantité glycérol	de Quantité d'amidon	Type d'acide	T° d'agitation
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

#### 4. Caractéristiques de bioplastique fabriqué

Toutes les caractéristiques ont été étudiées sur le bioplastique standards, les bioplastiques établis selon le plan de Plackett- Burman et le plastique commercial.

#### 4.1. Biodégradabilité dans le compost

Le test de biodégradabilité a été réalisé selon la méthode de Marichelvam et *al.* (2019) avec quelques modifications. Les échantillons ont été découpés en morceaux de 4,0 cm<sup>2</sup>. Ils

ont été enfouis dans des gobelets en plastique remplis de compost à une profondeur de 2 à 3 cm pendant 15 jours. Chaque 2 jours, le compost a été humidifié légèrement pour favoriser l'activité microbienne responsable de la biodégradation. Après les 15 jours, les échantillons ont été soigneusement retirés du compost et nettoyés délicatement pour éliminer les résidus. Le poids des échantillons a été mesuré avant et après le test pour évaluer la perte de masse. Le taux de biodégradabilité a été calculé selon la formule suivant :

$$\text{Taux de biodégradabilité (\%)} = \frac{M_p}{M_i} \times 100$$

$M_p$  : masse perdue de l'échantillon

$M_i$  : masse initiale de l'échantillon

#### 4.2. Solubilité dans l'eau

La solubilité dans l'eau est le pourcentage d'une substance qui se dissout dans l'eau après immersion pendant une période spécifiée, généralement exprimé en pourcentage de perte de masse (Gawande et *al.*, 2024). La solubilité dans l'eau des bioplastiques fabriqués a été déterminée selon la méthode décrite par Rhimet *al.* (2005). Dans un premier temps, des échantillons ont été découpés en section carrées de 2 cm × 2 cm puis séchés dans une étuve à 110 °C pendant 6 heures pour déterminer la masse initiale des films secs ( $M_s$ ). Après le séchage, chaque échantillon a été placé séparément dans des béchers de 100 ml contenant 40 ml d'eau distillée. Les béchers ont été recouverts par un papier aluminium et les biofilms ont été laissés immergés pendant 24 heures, avec une agitation légère sur un agitateur magnétique.

Les échantillons ont ensuite été récupérés de l'eau puis à nouveau séchés dans une étuve à 110°C pendant 6 heures. En fin, la masse finale des films hydrosolubles a été déterminée ( $M_h$ ). Le taux de solubilité des matériaux testés a été déterminé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux de solubilité (\%)} = \frac{M_h}{M_s} \times 10$$

### 4.3. Opacité

Afin d'évaluer l'opacité des films préparés, leur épaisseur a été déterminée à l'aide d'un pied à coulisse.



**Figure 8.** Mesure de l'épaisseur de bioplastiques à base d'amidon et plastique commercial.

L'opacité de tous les échantillons a été enregistrée selon la méthode décrite par Asfaw et *al.* (2023). Les films ont été découpés en échantillons rectangulaires (1 cm x 3 cm) et placés directement dans les cuves du spectrophotomètre, l'air servant de référence. L'opacité des films a été enregistrée à 500 nm et calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Opacité} = \frac{\text{Absorbance } 500 \text{ nm}}{\text{Epaisseur (mm)}}$$

### 5. Analyses statistiques

Les analyses d'optimisation pour création de la matrice PlackettBurmen ont été réalisées à l'aide du logiciel Minitab version 17. Tous les résultats du rendement en amidon et les propriétés de bioplastiques (biodégradabilité, solubilité, et opacité) ont été calculés à l'aide de Microsoft Excel. Analyses de variances d'ANOVA à un facteur ont été utilisées pour comparer le bioplastique optimal, bioplastique standard et plastique commercial et la comparaison multiple des moyennes par test Tukey ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS 27. Le niveau significatif pour toutes les analyses était de 0,05.

# **CHAPITRE II**

**RESULTATS ET DISCUSSION**

**CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION****1. Amidon extrait du son de blé****1.1. Aspect général de l'amidon extrait**

L'amidon extrait à base du son de blé se présentait sous forme d'une poudre blanche légèrement beige, avec une texture fine, entièrement sèche et pure. Son aspect est différent de celui de l'amidon commercial.



**Figure 9.** Aspect général de l'amidon extrait du son de blé.

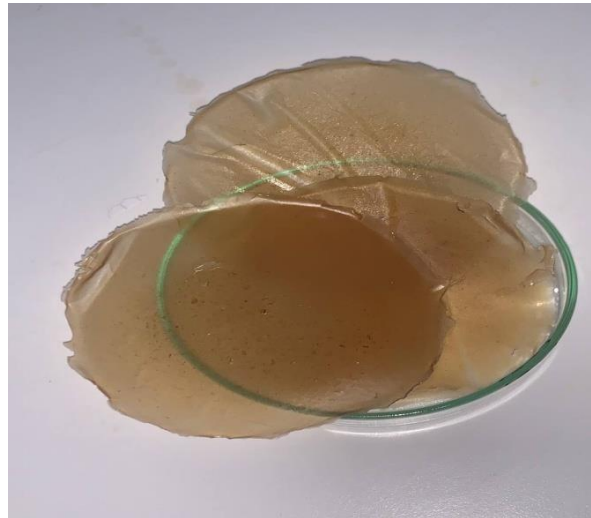
**1.2. Rendement de l'amidon extrait**

Le rendement d'extraction de l'amidon à partir du son de blé obtenu dans cette étude était de  $21,2 \pm 3,52$  %. Ce résultat est inférieur à celui rapporté par Sardari (2021), qui a obtenu un rendement de 80,02 %. Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la variabilité génétique des plantes influençant la synthèse de l'amidon, la nature de la source végétale utilisée (espèce, variété, cultivar), ainsi que les conditions agro-climatiques dans lesquelles les plantes ont été cultivées (Sindic, 2010 ; Meuser et Schmiedl, 1997). Alors que notre résultat soit supérieur à celui obtenu par Surendra-babu et Parimalavalli (2014), où le solvant utilisé dans l'extraction influence le rendement. Les auteurs ont confirmé que l'extraction de l'amidon par d'eau distillée produit un meilleur rendement.

**2. Aspect général de bioplastique fabriqué**

Le bioplastique à base d'amidon obtenu selon des conditions standards, présentait une couleur brunâtre, avec aspect légèrement transparent, de surface lisse et brillante, dépourvu de

défauts visibles et des fissures. Le film avait une texture sèche, bien que son épaisseur ne soit pas uniforme en raison de la façon de moulage. Le bioplastique obtenu était flexible et pliable,



**Figure 10.** Aspect du bioplastique standard à base d'amidon.

### **3. Évaluation et comparaison des propriétés des bioplastiques à base d'amidon et de plastique commercial**

Afin de bien étudier les performances de bioplastique optimisé, nous avons comparé le bioplastique standard, le bioplastique optimal de Plackett-Burman et le plastique commercial. Parmi les douze bioplastiques produit selon la matrice Plackett-Burman, nous avons choisi un seul, et le considéré comme le plus optimal. Le bioplastique optimal avait la valeur la plus élevée de biodégradabilité et la solubilité. Tandis que, par rapport l'opacité, nous avons choisi le bioplastique qui avait la valeur la plus faible lors qu'on cherche le caractère de la transparence.

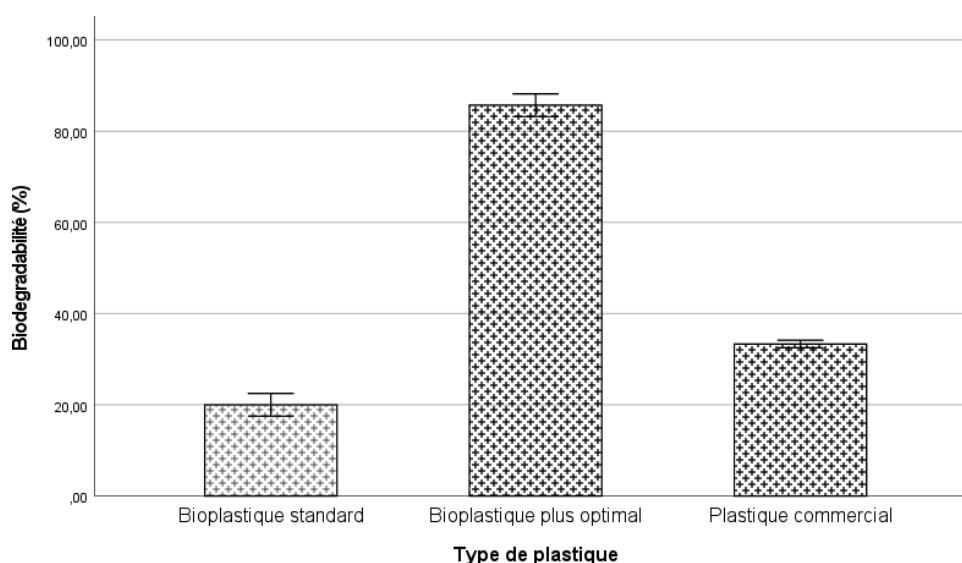
#### **3.1. Biodégradabilité dans le compost**

Le bioplastique produit selon les conditions standard a montré une biodégradabilité dans le compost à valeur faible 20,00 %. Tandis que, la biodégradabilité de 12 bioplastiques produits selon la matrice Plackett-Burman a montré des résultats variables, compris entre 10,53 % et 85,7 %. Le plastique commercial présentait 33,3 % (tableau 5).

**Tableau 5.** Taux de biodégradabilité des bioplastiques produits à base d'amidon et plastique commercial.

Types de plastique	Biodégradabilité %
<b>B1</b>	29,03
<b>B2</b>	62,50
<b>B3</b>	51,16
<b>B4</b>	10,00
<b>B5</b>	50,00
<b>B6</b>	28,57
<b>B7</b>	<b>85,71</b>
<b>B8</b>	10,53
<b>B9</b>	40,48
<b>B10</b>	40,00
<b>B11</b>	39,53
<b>B12</b>	32,43
<b>Standard</b>	<b>20,00</b>
<b>Commerciale</b>	<b>33,33</b>

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé que ces différences sont statistiquement significatives ( $ddl = 2$  ;  $F = 1546,94$  ;  $P < 0,001$ ), et les résultats des tests post-hoc de Tukey ont confirmé que chaque type de plastique diffère significativement de l'autres (**figure 11**).



**Figure 11** Taux de biodégradabilité du plastique commercial, –bioplastique standard et bioplastique optimal.

Ces variations apparait entre les bioplastiques produits peuvent être attribuées aux différences de formulation entre eux (quantité de glycérol, quantité d'amidon, type d'acide et température d'agitation). Le film optimal (B7) a été préparé avec une quantité importante en glycérol, une quantité minimale d'amidon, l'acide tartrique et agité à la température la plus faible, et offrait une biodégradabilité très importante. En particulier, le bioplastique optimal, riche en amidon et hydrophile, offre une accessibilité accrue aux enzymes et micro-organismes, ce qui favorise sa dégradation rapide (Shah et *al.*, 2008 ; Kale et *al.*, 2007). Aussi, l'absence de l'acide citrique peut accélère la biodégradabilité. L'acide citrique peut agir comme un agent de réticulation où il peut renforcer la structure du polymère, réduisant ainsi la capacité du film à absorber l'eau (Rhim & Hong, 2011). C'est le cas qui explique le faible taux de biodégradation (<50%), où la présence de l'acide citrique dans sa formulation ralentir leur biodégradation. À l'inverse, les plastiques commerciaux, souvent renforcés par des additifs synthétiques ou des charges minérales, présentent une résistance accrue au compostage (Song et *al.*, 2009).

### 3.2. Solubilité

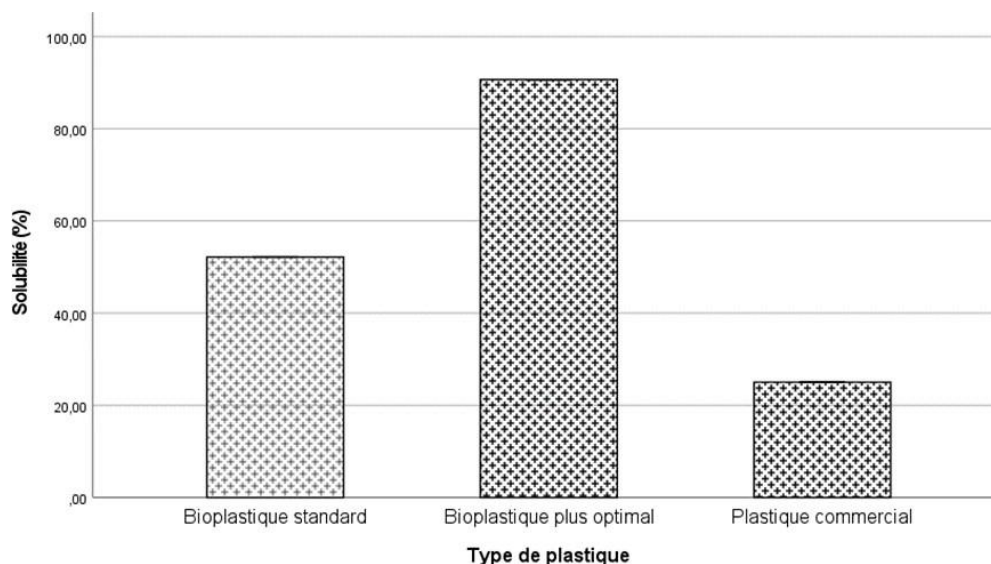
Le tableau 7 révèle qu'il y avait une variation importante de solubilité dans l'eau entre les bioplastiques établis. Les 12 bioplastiques produits selon la matrice Plackett-Burman a montré des taux variables de solubilité dans l'eau entre 12,50 % et 90,6 %. Le bioplastique standard

présentait une solubilité de 52,1 %, tandis que le plastique commercial affichait une valeur plus faible de 25 %.

**Tableau 6.** Taux de la solubilité de différents types de plastique dans l'eau.

Types de plastique	Solubilité %
<b>B1</b>	46,34
<b>B2</b>	90,00
<b>B3</b>	65,38
<b>B4</b>	12,50
<b>B5</b>	59,09
<b>B6</b>	75,00
<b>B7</b>	<b>90,67</b>
<b>B8</b>	63,75
<b>B9</b>	43,18
<b>B10</b>	71,43
<b>B11</b>	22,73
<b>B12</b>	72,14
<b>Standard</b>	<b>52,17</b>
<b>Commerciale</b>	<b>25,00</b>

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé que ces différences sont statistiquement significatives ( $ddl = 2$  ;  $F = 1546,94$  ;  $P < 0,001$ ), et les résultats des tests post-hoc de Tukey ont confirmé que chaque type de plastique diffère significativement de l'autres (**figure 12**).



**Figure 12.** Taux de solubilité du plastique commercial, du bioplastique standard et bioplastique plus optimal.

Les différences de taux de solubilité dans l'eau entre les bioplastiques standard et le plus soluble (B7) peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs. L'absence de l'acide citrique, qui est considéré comme un agent de réticulation, et la présence de l'amidon comme composant hydrophile favorisent l'absorption d'eau et la désintégration du polymère. À l'inverse, la faible solubilité du plastique commercial pourrait résulter de la présence d'agents hydrophobes, de plastifiants synthétiques ou d'un réseau polymère plus dense, limitant l'interaction avec l'eau (González-Seligma et *al.*, 2016 ; Ma et *al.*, 2008).

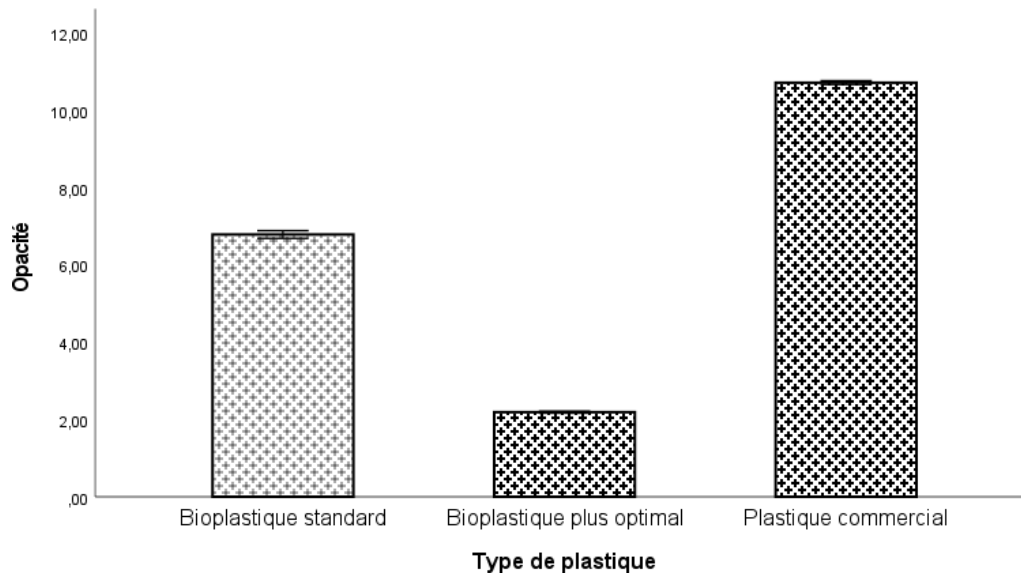
### 3.3. Opacité

Les bioplastiques issus selon la matrice de Plackett-Burman ont révélé des différences importantes qui variaient de 2,19 à 25,00. En revanche, le bioplastique standard a affiché une opacité de 6,79, tandis que le plastique commercial présente une valeur de 10,72 (tableau 7).

**Tableau 7.** Opacité de bioplastiques à base d'amidon et plastique commercial

Types de plastique	Opacité
<b>B1</b>	8,57
<b>B2</b>	18,50
<b>B3</b>	2,59
<b>B4</b>	25,00
<b>B5</b>	2,41
<b>B6</b>	11,55
<b>B7</b>	<b>2,19</b>
<b>B8</b>	10,47
<b>B9</b>	3,16
<b>B10</b>	3,90
<b>B11</b>	3,85
<b>B12</b>	9,46
<b>Standard</b>	<b>6,79</b>
<b>Commerciale</b>	<b>10,72</b>

L'analyse statistique par ANOVA a démontré que ces variations sont hautement significatives ( $ddl = 2$  ;  $F = 7811,84$  ;  $P < 0,001$ ), et les tests post-hoc de Tukey ont confirmé que les trois matériaux diffèrent significativement les uns des autres (figure 13).



**Figure 13.** Opacité du plastique commercial, du bioplastique standard et bioplastique plus optimal.

Ces différences peuvent être attribuées à la structure interne des films, à la dispersion des particules (telles que l'amidon ou les additifs), et au degré de cristallinité du polymère. L'opacité augmente généralement avec la présence de micro-phases hétérogènes qui diffusent la lumière (González-Seligra et *al.*, 2016). En revanche, la transparence élevée des films s'explique par la structure lacunaire du réseau copolymère, suggérant alors une faible tortuosité à la transmission de la lumière.

# **CONCLUSION**

## **Conclusion**

Au terme de notre thème de recherche s'intitulant « Valorisation du son de blé et production d'un bio-emballage alimentaire », nous avons pu avoir une masse importante de résultats et d'information sur le rendement de l'amidon dans le son de blé, et le processus de fabrication d'un bio-film optimal, biodégradable et de bonne qualité physique à partir le plan expérimental de Plackett-Burman en faisant varier les facteurs de production (quantité d'amidon, la quantité de glycérol, type d'acide et la température d'agitation).

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

- Le rendement d'extraction de l'amidon du son de blé a été moyennement faible 21,2 %, mais il reste affecter par plusieurs facteurs.
- Le film optimal (B7), préparé avec une faible teneur en amidon, une proportion élevée de glycérol, sans recours à l'acide citrique, et sous agitation modérée, a présenté une biodégradabilité remarquable dans le compost (85,71 %) et une solubilité dans l'eau très élevée (90,67 %), tout en conservant une transparence significative (opacité de 2,19).
- À l'inverse, le plastique commercial s'est distingué par une résistance marquée à la dégradation, une faible solubilité et une opacité accrue, illustrant son impact environnemental plus persistant. L'analyse statistique a confirmé que les différences observées entre les différents types de plastiques étaient significatives, soulignant la pertinence des choix formulaires dans l'optimisation des propriétés des bioplastiques.

En perspectives, d'autres points peuvent être abordés afin de compléter cette étude :

- L'étude de l'optimisation doit être complétée. Elle serait donc nécessaire de faire une analyse factorielle pour identifier les facteurs qui affectent les propriétés de bioplastique produit à base d'amidon du son de blé et étudier les interactions entre les facteurs significatifs par une RSM.
- Des études supplémentaires semblent nécessaires pour analyser leurs propriétés physiques, mécaniques, thermiques et antis microbiologiques.

## *Conclusion*

---

- Dans le cadre de la valorisation des déchets agricoles, l'étude doit être élargie. Il serait intéressant de produire des bio-emballages alimentaires à base de l'amidon de différentes matrices végétales.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

**Abecassis J., (1987).** La mouture d'essai du blé dur : Recherche et applications industrielles. Mémoire D'ingénieur Ed Ecole National Supérieur de Meunerie et des Industries Céréalières ; 146p.

**Abecassis, J., &Mabille, F. (1997).** Les procédés de transformation du blé. (You may need to add the publisher if available).

**Abudabos, A. M., et al. (2020).** The Role of Wheat Bran in Poultry Nutrition: Effects on Performance and Intestinal Health. *Animals*, 10(10), 1831.

**ADRIAN, (1987) :** La composition du blé et ses apports et les aliments céréaliers dans l'équilibre alimentaire. Ed fondation RONAC, Paris.

**Arikan, E. B., &Ozsoy, H. D. (2015).** A Review: Investigation of Bioplastics. *J. Civil*

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

**ASTM International. (2011).** ASTM D374-99(2011), Standard Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation. West Conshohocken, PA: ASTM International.

**Averous, L., &Boquillon, N. (2004).**Biocomposites based on plasticized starch: Thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymers*, 56(2), 111–122.

**Ben Hamouda, M. H., &Lounnas, K. (1995).** Technologie de la mouture du blé et valorisation des sous-produits. (You may need to add the publisher if available). *bioplastics> e-book*. « Durable Bioplastics ».pp 47-54.

**Biotrem. (2020).** Biodegradable single-use wheat bran tableware. Solar Impulse Efficient Solution. <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/biodegradable-single-use-wheat-bran-tableware>

**BOUDREAU A. et MENARD G., (1992):** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Ed Les presses de l'université de LAVAL. Québec, p29, 32, 34, 101, 102, 131, 173, 197.

**Buttriss, J. L. (1998).**Nutritional properties of dietary fibre. *Nutrition Bulletin*, 23(1), 3–7.

**COLAS, (1997):** Dosage des cendres et matières minérales in Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales, p305.

**Cronquist, A. (1981).** An integrated sytem of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press.

**Emadian, S. M., Onay, T. T., &Demirel, B. (2017).** Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526–536.

**FAO. (2021).** Base de données nutritionnelle des aliments. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org>

**Feillet P.,2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308p.

**Feuilloy, P., Cesar, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, H., Bewa, S., & Jamal, M. (2005).** Degradation of polyethylene used for agricultural purposes. *Journal of Polymers and the Environment*, 13(4), 349–355.

**Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025).** FAOStat: Wheat production and area harvested (2023 data). Retrieved from <http://www.fao.org/faosta>

**Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025).** FAO wheat production forecast for 2025. Retrieved from

**FRANCONIE. H, CHASTANET. M et SIGAUT. F., (2010).** Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed : Karthala, Paris.

**FREDOT E., (2005) :** Connaissances des aliments. TEC et DOC, Paris, 397p.

**Gawande, G., Kale, D., &Patil, P. (2024).***Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. Journal of Polymer Research*, 31(2), 203–215.

**Gawande, G., Khiratkar, T., Urkude, Y., Bombarde, S., Sonwane, U., Nikhade, S., &Sanap, J. (2024).** Bioplastic Production from Corn and Potato Starch and Its Industrial Applications (pp. 6–7).

**GODON B., (1991) .** Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris

**GODON E et WILM C., (1991) :** Les industries de premières transformations des céréales. Ed. TEC et DOC.LAVOISIER. Paris, p122-154.

**González-Ortiz, G., Quarles Van Ufford, H. C., Halkes, S. B. A., Cerdà-Cuellar, M., Beukelman, C. J., Pieters, R. J., Liskamp, R. M. J., Pérez, J. F., & Martín-Orue, S. M. (2014).** New properties of wheat bran: Anti-biofilm activity and interference with bacteria quorum-sensing systems. *EnvironmentalMicrobiology*, 16(5), 1346–1353.

**González-Seligra, P., Ponce, A., Roura, S., & Goyanes, S. (2016).**Biodegradable and active starch-based films with high antioxidant activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 138, 66–74.

**González-Seligra, P., Ponce, A., Roura, S., & Goyanes, S. (2016).** Biodegradable and active starch-based films with high antioxidant activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 138, 66–74.

**González-Seligra, P., Ponce, A., Roura, S., & Goyanes, S. (2016).** Biodegradable and active starch-based films with high antioxidant activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 138, 66–74.

**Hébrard, G., Autran, J.-C., & Abécassis, J. (2002).** Effets des caractéristiques du grain sur la mouture du blé dur. *Industries des Céréales*, 129, 3–9.

**HOSNEY R.C., (1986) :** Minor constituent of Cereal. In HOSNEY R.C (Ed): Principles of Cereal science and technology St Paul, Minnesota, AACC 98-110.

**Ihcene K,** “Élaboration et mise en forme d’un bioplastique à base de PLA et de déchet de marc de café”, Université 1 de Blida, 2023

**Jacquemin, L. (2012).** [Title of the book, article, or report]. Publisher. (If it is a journal article, include the journal name, volume(issue), page range, and DOI if available).

**JEANTET R., CROGUENNEC T., SCHUK P et BRULE G., (2007) :** Du blé au pain et aux pâtes alimentaires. In « science des aliments biochimie, Microbiologie, Procédés, produits » Vol 2 : Technologie Des Produits Alimentaires. Edition Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 137-180.

**Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012).** Effect of re-crystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 302–310.

**Kim, M. J., Kim, J. W., & Lee, S. H. (2024).** Effects of Fermented Wheat Bran on Growth Performance and Gut Health in Broiler Chickens. *Animals*, 14(23), 3407. <https://doi.org/10.3390/ani14233407>

**Krochta, J. M., & De Mulder-Johnston, C. (1997).** Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology*, 51(2), 61–74.

**La Pointe, R. (2012).** Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires : Distinctions subtiles mais significatives (Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke). Pp (13,27)

**Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008).** Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369–375.

**Ma, X., et al. (2023).** Fermented Wheat Bran Improves Intestinal Health and Growth Performance in Piglets. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1289010. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1289010>

**Mandal, M., Roy, A., Mitra, D., & Sarkar, A. (2024).** Possibilities and prospects of bioplastics production from agri-waste using bacterial communities: Finding a silver-lining in waste management. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100274.

**Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019).** Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials. *Fibers and Polymers*, 20(7), 1546–1557

**Marichelvam, M. K., Jawaid, M., & Asim, M. (2019).** Corn and rice starch-based bio-plastics as alternative packaging materials (p. 5).

**Meuser, F., & Schmiedl, D. (1997).** Starch in cereal by-products: Isolation and properties. *Starch/Stärke*, 49(9), 319–324.

**Montgomery, D. C. (2017).** Design and analysis of experiments (9th ed.). John Wiley & Sons.

**Nguyen, T. L., et al. (2024).** Application of Fermented Wheat Bran as an Alternative Feed Ingredient: Benefits and Implications. *Fermentation*, 10(12), 611. <https://doi.org/10.3390/fermentation10120611>

Pp 60-62.

**Rabetafika, Ph., & Dubois, P. (2006).** Développement durable et ressources renouvelables (p. 111). Politique scientifique fédérale. Rue de la Science 8, B-1000 Bruxelles, Belgique.

**Reddy, B. S., & Rao, C. V. (1997).** Effect of wheat bran on colon carcinogenesis. *Carcinogenesis*, 18(9), 1951–1955. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9349850/>

**Reddy, N., & Yang, Y. (2013).** Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in Biotechnology*, 23(1), 22–27.

**RUEL T., 2006 :** Document sur la culture de blé, Ed : Educagri. 18p

**SASAKI T, YASUIT, MARTUKI J., (2000):** Effect of amylose content on gelatinization, rétrogradation, and pasting proprieties of starches from waxy and waxy their F1 seeds. *Cereal. Chen*77 (1).

**Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008).** Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265.

**Sharma, S., & Banerjee, R. (2021).** Sustainable use of agro-industrial waste for development of biodegradable plastics: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(6), 571–600.

**Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. H. (2009).** Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2127–2139.

**Statista. (2025).** Global cereal production ranking – 2023 statistics. Retrieved from

**Strangis, G., Rossi, D., Cinelli, P., & Seggiani, M. (2023).** Seawater biodegradable poly(butylene succinate-co-adipate)—wheat bran biocomposites. *Materials*, 16(7), 2593. <https://doi.org/10.3390/ma16072593>

**SURGET A ET BARRON C, (2005) :** Histologie du grain de blé, industries des céréales

**Thakur, V. K., Thakur, M. K., & Gupta, R. K. (2018).** Review: Raw natural fiber-based polymer composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(3), 221–230.

**USDA. (2023).** Wheat bran. FoodData Central. U.S. Department of Agriculture. <https://fdc.nal.usda.gov/>

**Véronique, V. H., & Geerken, T. (2012).** Bioplastiques : Définitions, normes, possibilités d'application, impact sur l'environnement (p. 21).

**YVES H., et BUYER J., (2000)** l'origine des blés. Pour les sciences hors-série n°26

**Zhang, J., & Han, J. H. (2006).** Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 71(6), E253–E261.

**ZHU J. et KHAN K., (2001):** Effects of genotype and environment on glutenin polymers and bread making quality. *Cereal Chem*78: 125-130.

**Ziegler, J. U., Steiner, D., Longin, C. F. H., Würschum, T., & Schweiggert, R. M. (2016).** Phytochemical profile of wheat bran. *Food Chemistry*, 199, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem>

