

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité/Option : Production et Technologie Laitière

Département : Ecologie et Génie de L'Environnement

Thème

Utilisation des plastiques organiques (bioplastiques) dans les emballages des produits laitiers

Présenté par :

MAIZI Hamada

DIRIDI Dia-Eddine

SAADNA Abd-Elhek

BOUTELDJA Mohammed

Devant le jury composé de :

Président : BENOSMANE. S

MCB

Université de Guelma

Examineur : MESSIAD. R

MCB

Université de Guelma

Encadreur : BENTEBOULA. M

MAA

Université de Guelma

Invité d'honneur : ZEBSA. R

MCA

Université de Guelma

Juin 2023

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Chapitre I. Les emballages Agro- alimentaires

1. Historique sur les emballages alimentaires.....	3
2. Définition.....	4
2. 1. Les emballages alimentaires.....	4
2. 2. Le Codex-Alimentarius.....	4
3. Les intérêts des emballages en agroalimentaire.....	5
3. 1. La conservation des produits alimentaires.....	5
3. 1. 1. Les conditions qui déterminent le choix du type de matériau d'emballage pour les aliments.....	6
3. 1. 2. Caractères extrinsèques.....	7
3. 1. 3. Caractères Intrinsèques.....	7
3. 2. Rôles.....	8
3. 2. 1. Rôle technique de l'emballage.....	8
3. 2. 2. Rôle marketing de l'emballage.....	8
3. 2. 3. Rôle conservatoire.....	9
4. Les différents types d'emballage agroalimentaire.....	10
4.1. Emballages en carton.....	10
4. 1. 1. La source.....	10
4. 1. 2. La composition chimique.....	10
4. 1. 3. La formule chimique.....	11
4. 1. 4. Processus de fabrication.....	12
4. 1. 4. 1. Un procédé mécanique.....	12
4. 1. 4. 2. Un procédé chimique.....	12
4. 1. 5. Les formes de carton utilisé en emballages alimentaires.....	12

4. 1. 5. 1. Le carton ondulé.....	12
4. 1. 5. 2. Le carton alvéolaire.....	14
4. 1. 5. 3. Le carton plat.....	14
4. 1. 5. 4. Le carton spiralé.....	15
4. 1. 6. Les avantages et les inconvénients.....	15
4. 1. 6. 1. Les avantages.....	15
4. 1. 6. 2. Les inconvénients.....	17
4. 2. Emballage en verre.....	17
4. 2. 1. Origine et la source	17
4. 2. 1. 1. Origine.....	17
4. 2. 1. 2. La source	17
4. 2. 2. La composition chimique.....	17
4. 2. 3. La formule chimique.....	20
4. 2. 4. Processus de fabrication et/ou transformation.....	20
4. 2. 4. 1. Sélection et mélange des matières premières.....	20
4. 2. 4. 2. La fusion ou la transformation de la matière.....	20
4. 2. 4. 3. Quand le verre prend forme.....	21
4. 2. 4. 4. La recuisons, garantie d'une solidité maximale.....	21
4. 2. 4. 5. Contrôler et livrer.....	21
4. 2. 4. 6. Un circuit de recyclage interne pour minimiser notre impact sur le verre.....	21
4. 2. 5. Les avantages et les inconvénients de verre.....	22
4. 2. 5. 1. Les avantages.....	22
4. 2. 5. 2. Les inconvénients.....	22
4. 3. Les emballages métalliques.....	22
4. 3. 1. La source.....	22
4. 3. 2. La composition chimique.....	23
4. 3. 2. 1. Fer (Fe).....	23
4. 3. 2. 2. Cuivre (Cu).....	23
4. 3. 2. 3. Aluminium (Al).....	23
4. 3. 3. Processus de fabrication du métal.....	23
4. 3. 3. 1. La métallurgie primaire.....	23

4. 3. 3. 2. La métallurgie secondaire.....	24
4. 3. 3. 3. Le formage.....	25
4. 3. 3. 4. L'usinage.....	25
4. 3. 4. Les avantages et les Inconvénients.....	26
4. 3. 4. 1. Les avantages.....	26
4. 3. 4. 2. Inconvénients.....	26
4. 4. Emballages en plastiques.....	27
4. 4. 1. La source.....	27
4. 4. 2. La composition chimique.....	27
4. 4. 3. La formule chimique.....	27
4. 4. 4. Procédé de transformation de pétrole en plastique.....	28
4. 4. 4. 1. Raffinage.....	28
4. 4. 4. 2. Vapocraquage.....	29
4. 4. 4. 3. Polymérisation	29
4. 4. 4. 4. Adjuvants.....	30
4. 4. 5. Les différents types de plastique.....	31
4. 4. 5. 1. Plastique naturel.....	31
4. 4. 5. 2. Plastique artificiel.....	31
4. 4. 5. 3. Plastique synthétique.....	31
4. 4. 6. Le cycle de vie des emballages plastiques.....	31
4. 4. 7. L'utilisation du plastique dans les emballages agro-alimentaires.....	33
4. 4. 7. 1. PE (polyéthylène).....	33
4. 4. 7. 2. PET (polyéthylène téréphtalate).....	34
4. 4. 7. 3. PVC (polychlorure de vinyle).....	34
4. 4. 7. 4. PP (polypropylène).....	34
4. 4. 7. 5. PS (polystyrène).....	34
4. 4. 8. Instabilité et migration polimère.....	35
4. 4. 8. 1. Instabilité.....	35
4. 4. 8. 2. La migration.....	35
4. 4. 9. Le recyclage et la réutilisation des emballages plastiques.....	36
4. 4. 10. Les avantages et les inconvénients.....	36
4. 4. 10. 1. Les avantages.....	36

4. 4. 10. 2. Les inconvénients.....	38
4. 4. 10. 2. 1. Sur l’humain.....	38
4. 4. 10. 2. 2. Sur l’environnement	38
4. 4. 10. 2. 3. Sur les animaux	38
4. 4. 10. 2. 4. Sur les animaux marins	39
4. 4. 10. 2. 5. Sur le sol.....	39
4. 4. 10. 2. 6. A l’antenne	39
5. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers dans le monde et en Algérie...40	
5. 1. Type des emballages utilisés dans les industries laitiers dans le monde.....40	
5. 1. 1. Emballages en carton.....	40
5. 1. 2. Emballages en verre.....	40
5. 1. 3. Emballages en plastique.....	40
5. 1. 4. Emballages sous vide.....	40
5. 1. 5. Emballages en aluminium.....	40
5. 2. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers en Algérie.....41	
5. 3. Type des emballages utilisés dans les industries laitiers dans l’est Algérien.....41	
5. 3. 1. Les sachets plastiques.....	41
5. 3. 2. Les bouteilles en plastique.....	41
5. 3. 3. Les barquettes en plastique	42

Chapitre II Les bioplastiques pour l’emballage alimentaire

1. Historique de l’utilisation de bioplastique dans les emballages agroalimentaire.....43	
2. Définition et les sources de bioplastique.....44	
2.1. La définition.....	44
2. 2. Les sources de bio plastique.....	44
3. La biodégradabilité.....	45
4. Composition chimique de bioplastique.....	45
5. Les différents types de bio plastique.....	45
5. 1. Bio plastique à base de polysaccharide.....	45
5. 1. 1. Bioplastique à base d’amidon.....	45
4. 2. Bioplastiques à base des protéines.....	46
6. Classification des bioplastiques.....	46

7. Capacité mondiale de production de bioplastiques.....	48
8. Les bioplastiques pour l'emballage alimentaire à base d'amidon.....	49
8. 1. La composition chimique de l'amidon.....	49
8. 1. 1. La pomme de terre.....	49
8. 1. 2. Le maïs.....	50
8. 1. 3. Epluchures de la pomme de terre.....	51
8. 2. Techniques d'extraction de l'amidon.....	51
8. 2. 1. La pomme de terre.....	51
8. 2. 2. Le maïs jaune.....	52
8. 3. Composition et structure moléculaire (la formule chimique de l'amidon).....	53
8. 3. 1. L'amylose.	54
8. 3. 2. L'amylopectine..	56
8. 4. Structure supramoléculaire...	57
8. 5. Structure morphologique..	58
8. 6. Propriétés...	59
8. 6. 1. Propriétés hydrothermiques..	59
8. 6. 2. La gélatinisation - L'empesage.	59
8. 6. 3. La rétrogradation...	60
8. 6.4. L'amidon matériau....	60
8. 7. Les étapes de fabrication de plastique à base d'amidon...	61
8. 7.1. Sorption.....	61
8. 7.2. Gélatinisation...	61
8. 7.3. Rétrogradation..	62
8. 8. Plastification de l'amidon.	63
9. Les propriétés des bioplastiques utilisés dans l'industrie agroalimentaire.....	63
9. 1. Biocompatibilité et biorésorbabilité.....	63
9. 2. Propriétés chimiques.....	64
10. Procédure de mise en forme d'emballage bioplastique.....	65
11. La formule chimique de bio-emballage.....	66
12. Intérêt d'utilisation de bioplastique.....	66
12.1. Intérêt d'utilisation de bioplastique dans les emballages agroalimentaires.....	67
12. 1. 1. Durabilité environnementale.....	67

12. 1. 2. Réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.....	67
12. 1. 3. Compatibilité avec les processus de recyclage	67
13. 1. 4. Performance et fonctionnalité.....	67
12. 2. Intérêt d'utilisation de bioplastique dans les emballages des produits.....	68
13. Les avantages et les inconvénients de bioplastique.....	68
13. 1. Les Avantages.....	68
13. 2. Les inconvénients.....	70

Chapitre III. L'industrie de bioplastiques de l'usine et les machines nécessaires

1. Les étapes d'extraction d'amidon.....	71
2. Les machines utilisée dans la fabrication du bioplastique.....	72
2. 1. Extrudeuse.....	72
2. 2. Injection molder.....	72
2. 3. Broyeur.....	72
2. 4. Mélangeur.....	72
2. 5. Four.....	72
2. 6. Granulateur.....	72
3. Les étapes de fabrication de bio plastique.....	73
4. Souffleuse.....	74
5. Mélange durable avec la technologie Coperion.....	74
5. 1. Applications typiques des systèmes Coperion.....	75
5. 1. 1. Remplissage et mélange de biopolymères.....	75
5. 1. 2. Fabrication d'amidon thermoplastique par cuisson-extrusion (TPS).....	76
5. 1. 3. Composé de mélange d'amidon.....	77
6. Les facteurs affectant le bio-emballage.....	78
7. La durée de conservation des produits laitiers en emballage bioplastique.....	79
8. Les bioplastiques préservent la qualité des produits laitiers.....	79
9. La migration entre l'alimente et le bioplastique.....	80

Chapitre IV. Fabrication de bioplastique dans laboratoire

1. L'objectif d'étude.....	81
----------------------------	----

2. La période d'étude.....	81
3. Lieu d'étude.....	81
4. Matériels et méthodes.....	81
4. 2. Matière première.....	81
4. 2. 1. Amidon de maïs.....	81
4. 2. 2. Extrait d'amidon de pomme de terre.....	82
4. 3. Matériel utilisé.....	82
4. 4. Méthode.....	83
4. 4. 1. Préparation de fécule de pomme de terre.....	83
4. 4. 2. Préparation d'un bioplastique à partir d'amidon.....	84
5. Résultat et discussions.....	89
5.1 Résultats.....	89
5.2 Discussion.....	89
Conclusion.....	92
Références bibliographiques	

Remerciement

Nos remercions le Dieu tout puissant qui nous ont donnés le courage et la patience de faire cet humble travail.

Nous tiens à exprimer nos gratitude sincère envers les distingués membres du jury pour avoir consacré leur temps et leur patience à l'évaluation de notre travail. Nos remerciements vont tout particulièrement au D^r. Benosmane S, d'avoir acceptée de présider notre jury, nous remercîment vont également au D^r. Messiad R, pour leur précieuse contribution et leur expertise. Nous nous somme reconnaissant de leur présence et de leur engagement lors de cette évaluation.

Nous tiens à exprimer mos profonde gratitude envers M^e. BENTEBOULA Moncef pour son expertise, sa patience et sa disponibilité tout au long de ce parcours. Ses conseils éclairés et ses commentaires constructifs ont été d'une valeur inestimable pour l'enrichissement de ce mémoire.

Nous tenons à remercie D^r. Zebza R, d'avoir accepter notre invitation pour assister à la soutenance de ce travail.

Ce travail n'est jamais un effort individuel. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement pour la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je voudrais tout d'abord remercier ALLAH,
Dieu le tout Puissant de m'avoir guidé tout au long de mes années d'études et de m'avoir
donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

A l'homme, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

A la femme, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non et qui n'a
épargné aucun effort pour me rendre heureux : mon adorable mère.

À mon frère Abd- El-Raouf et à mes sœurs Loubna, Soundous et à mes nièces Rawane et
Jana que Dieu les protèges.

A tous les collègues et amis de l'université Dia- Eddine, Yahya, Abdel-Hek, Mohamed
Houssam, Haitham, Abd-El-Nour, Mokdad.

À mes chers amis Ahmed, Akram, Salah Eddine, Wail, Fares, Islam, Bilal, Hicham,
Houssine, Antar, Marwan, Anis, Khair-Eddine.

Maizi kamada

Dédicace

Louange à Dieu, qui a réussi à valoriser cette étape de notre carrière d'étude dans notre,
c'est le fruit de l'effort et du succès

Je dédie ce travail à mon père et à ma mère, que Dieu les protèges et les soutiennes comme
une lumière pour mon chemin

Mes dédicaces vont aussi à mes frères Oussama et Amjad

Que Dieu les sauves et les protèges.

A tous les collègues et amis de l'université Hamada Yahya, Abdel-Hek, Mohamed
Hossam, Haitham, Abd-El-Nour, Mokdad.

Dridi Dia Eddine

Dédicace

Dieu soit loué, qui nous a permis d'apprécier cette étape de notre cheminement académique, avec ce mémoire, fruit d'efforts et de réussites.

Un moment dont j'ai toujours attendu et rêvé, j'ai terminé ma carrière universitaire.

Je dédie cette remise des diplômes à mon père et à ma mère, et je leur offre les plus hautes expressions de gratitude pour leur soutien continu envers moi et leur soutien constant à mes côtés, ainsi qu'à mes frères Faysal et Djalal, et je les remercie pour leur accompagnement tout au long de ma carrière et dans les circonstances les plus difficiles.

J'adresse également mes dédicaces à mes collègues de cette note de fin d'études (Diane, Eddine, Hamada et Mohamed) et à tous mes amis proches sans exception.

Saadna abd elhek

Dédicace

Ce mémoire de Master est dédié à toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin tout au long de cette aventure académique. Votre présence bienveillante, vos encouragements et votre soutien constant ont été les piliers qui m'ont permis d'accomplir ce travail avec succès.

Je dédie ce travail à ma famille et mes amis pour leur amour, leur compréhension et leur soutien indéfectibles. Vos encouragements, vos sourires ont été des sources d'inspiration et de motivation inépuisables.

Je suis également reconnaissant envers tous les enseignants, les chercheurs et les professionnels qui ont contribué à mon apprentissage et à ma formation tout au long de mes études. Vos connaissances, vos enseignements et vos partages d'expérience ont été précieux dans le développement de mes compétences et de ma vision dans ce domaine.

Enfin, je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui nourrissent une passion pour la recherche, l'innovation et la poursuite de la connaissance. Que ce travail puisse apporter une contribution significative à la communauté académique et susciter de nouvelles idées et réflexions pour les futurs chercheurs.

Merci encore à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre soutien et votre présence ont été essentiels dans cette étape majeure de ma vie académique. Avec toute ma reconnaissance

Bouteldja Mohammed

Résumé

Cette étude à pour objectif est d'essayer de trouver une solution alternative au plastique ordinaire fabriqué à partir de pétrole et de produits chimiques, en essayant de fabriquer du plastique organique à partir de matériaux naturels, dont le premier est l'amidon extrait de la pomme de terre et du maïs et de l'utiliser dans des emballages produits laitiers et leurs dérivés, car le plastique organique aide à préserver la santé humaine. Il est considéré comme respectueux de l'environnement en raison de sa décomposition rapide et c'est l'une des caractéristiques les plus importantes de ce dernier, contrairement au plastique ordinaire qui est nocif pour la santé humaine et nocif pour l'environnement ressemblent.

Mots clés : plastique, plastique bio, amidon, emballage, santé.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو محاولة إيجاد حل بديل للبلاستيك العادي والمصنوع انطلاقا من البترول والمواد الكيميائية وذلك من خلال محاولة تصنيع البلاستيك العضوي ابتداء من مواد طبيعية أولها النشاء المستخرج من البطاطا والذرة وتوظيفها في تغليف منتجات الألبان ومشتقاتها وذلك لان البلاستيك العضوي يساعد في الحفاظ على صحة الإنسان و يعتبر صديقا للبيئة لتميزه بسرعة التحلل وهذه من أهم ميزات هذا الأخير على عكس البلاستيك العادي المضر بصحة الإنسان والمضر بالبيئة على حد سواء .

الكلمات المفتاحية: البلاستيك، البلاستيك العضوي، النشاء، التغليف، الصحة.

Abstract

The objective of this work is to try to find an alternative solution to ordinary plastic made from petroleum and chemicals, trying to make organic plastic from natural materials, the first of which is starch extracted from potato and corn, and use it in packaging. dairy products and their derivatives, because organic plastic helps preserve human health. It is considered environmentally friendly due to its rapid decomposition, and this is one of the most important features of it, unlike ordinary plastic which is harmful to human health and harmful to the environment alike .

Keywords: plastic, bioplastic, starch, packaging, health.

Liste des figures

Figure 1. Fabrication du papier	12
Figure 2. La form de carton ondulé	13
Figure 3. La form de carton alvéolaire.....	14
Figure 4. La form de carton plat	15
Figure 5. La form de carton spiralé	15
Figure 6. Composition chimique 2D de fibre de verre amorphe (SiO ₂)	18
Figure 7. Matière plastique et élastomères	28
Figure 8. Comprendre le processus de raffinage : du pétrole brut jusqu'au produit final...29	
Figure 9. Le cycle de vie de l'emballage plastique	33
Figure 10. Types des plastiques utilisés pour ma fabrication d'emballages.....	35
Figure 11. Matrice des bioplastiques.....	47
Figure 12. Classification des bioplastiques	48
Figure 13. Les étapes de l'amidonnerie	53
Figure 14. Structure chimique de l'amylose	55
Figure 15. Structure hélicoïdale gauche de l'amylose.....	55
Figure 16. Complexe amylose-iode.....	56
Figure 17. Structure de l'amylopectine	56
Figure 18. Modèle d'organisation des chaînes d'amylopectine	57
Figure 19. Amidon en lumière polarisée	58
Figure 20. Rétrogradation de l'amylose.....	62
Figure 21. Application des biopolymères : libération contrôlée des principes actif.....	64
Figure 22. Structures chimique des biopolymères.....	65
Figure 23. La machine de fabrique de bioplastique	73
Figure 24. Le remplissage et mélange de biopolymères	75
Figure 25. La Fabrication d'amidon thermoplastique par cuisson-extrusion (tps).....	76
Figure 26. La Composé de mélange d'amidon	77
Figure 27. Amidon de maïs.....	81
Figure 28. Féculé de pomme de terre.....	82
Figure 29. Préparation d'un extrait d'amidon a partie de pomme de terre.....	84

Figure 30. Préparation d'un bioplastique à partir d'amidon de maïs.....	86
Figure 31. Préparation d'un bioplastique à partir d'amidon de pomme de terre.....	88

Liste des tableaux

Tableau 1. Les Normes officielles de codex alimentarius	5
Tableau 2. Les différents rôles et intervenants en emballage alimentaire.....	9
Tableau 3. Composition du bois et caractéristique des fibres.....	11
Tableau 4. Les types est les form de carton	14
Tableau 5. Composition chimique moyenne des principaux types de verres Average chemical composition of the main types of glasses.....	19
Tableau 6. Capacité mondiale de production de bioplastiques par région, 2013 et 2018...49	
Tableau 7. Composition chimique de la pomme de terre (100g).....	50
Tableau 8. Composition chimique des épluchures de la pomme de terre (100g)... ..	51
Tableau 9. La quantité d'éléments en 100 kg de maïs.....	53
Tableau 10. Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques	54
Tableau 11. Maille cristalline des allomorphes A et B de l'amidon.....	58
Tableau 12. Description de l'amidon de maïs.....	81
Tableau 13. Description de l'amidon extrait de pomme de terre.....	82
Tableau 14. Matériels utilisés dans le laboratoire de la biochimie.....	82
Tableau 15. Les résultats.....	89

Liste des abréviations

ae : Amylose-extender

PA : Polyamides

PE : Polyéthylène

PEbd : Polyéthylène basse densité

PEhd : Polyéthylène haute densité

PET : Polyéthylène téréphtalate

PLA : Acide polylactique

PP : Polypropylène PE polyéthylène

PS : Le polystyrène

PSE : Polystyrène expansible PB polystyrène choc

PVC : Polychlorure de vinyle

Tf : La température de fusion

Tg: Température de transition vitreuse

UHT : Ultra Haute Température

Introduction

Introduction

L'emballage a évolué au fil du temps et son rôle dans la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle. L'emballage a été créé pour emballer et transporter les produits en toute sécurité. La demande d'emballages a augmenté en raison de l'exode rural et de la croissance des magasins vendant des aliments et des biens de consommation à la nouvelle classe ouvrière. Les grands magasins ont été créés et il était nécessaire d'éduquer les consommateurs sur les produits et de différencier les produits pour mieux vendre (**Multon et al., 1997**).

De plus, la prise de conscience des dangers d'intoxication alimentaire provoquée par les emballages ordinaires, combinée à un certain désir de produits frais et de qualité, nous permet d'assister à la naissance d'emballages dits « actifs et intelligents », qui transmettent directement les informations sur les produits aux consommateurs (**Gontard et al., 2017**).

Nous examinons ici si les systèmes d'emballage que nous utilisons actuellement dans l'industrie alimentaire, tels que le lait et les produits laitiers, sont à jour.

Le polymère synthétique à base d'huile utilisé dans l'industrie de l'emballage utilise des produits alimentaires et agricoles tels que les produits laitiers. Il provoque une pollution de l'environnement et une accumulation de déchets (non dégradables), ainsi que les risques qu'il entraîne pour la santé du consommateur (**Rutot et Dubois, 2004**).

En raison de l'utilisation accélérée de polymères manufacturés et non biodégradables, et des effets néfastes qu'ils provoquent sur l'homme et son environnement, et des conditions économiques du monde, la tendance est devenue nécessaire à l'utilisation de sources renouvelables et respectueuses de l'environnement, qui sont représentées dans l'exploitation des plantes et des arbres (blé, pommes de terre, maïs... etc.) en tout ou en partie ou même leurs résidus (comme les pelures de pommes de terre) car ils contiennent un grand nombre d'ingrédients qui peuvent être utilisés dans de nombreux domaines. Le plastique organique est un type de matière plastique dérivé de matières premières renouvelables telles que les plantes et les animaux. Ce type de plastique est souvent utilisé dans la fabrication d'emballages pour les produits laitiers en raison de ses propriétés de barrière efficaces contre l'humidité, l'oxygène et les bactéries (**Weiss et Charles, 2005**).

Les emballages en plastique organique offrent également une alternative plus durable et respectueuse de l'environnement aux emballages en plastique traditionnel dérivé du pétrole, car ils sont fabriqués à partir de matières premières renouvelables et peuvent être biodégradables (**National Renewable Energy Laboratory, 2019**). Cependant, il est important de noter que tous les plastiques organiques ne sont pas biodégradables et composables. Certains types de plastique organique nécessitent des conditions spécifiques pour se décomposer, tels que des températures élevées et des environnements anaérobies (**Plastics Europe, 2018**).

Pour surmonter ces problèmes, en particulier, les risques associés aux nouveaux matériaux ont été introduits dans les emballages agroalimentaires et les produits laitier, c'est-à-dire les bioplastiques sur lesquels notre sujet est basé. Comment atténuer les risques associés aux emballages en plastique pétrolier ? Quel est l'intérêt des bioplastiques dans les industries Agro-alimentaires principalement les produits laitiers ? Les avantages des bioplastiques sur la conservation des produits alimentaires ainsi que sur la santé des consommateurs ?

Cette étude est subdivisée en 4 chapitres, 3 chapitres théoriques portant sur Les emballages agro-alimentaires en premier chapitre, en second chapitre nous nous sommes basés sur les bioplastiques dans les emballages alimentaire en troisième chapitre nous avons parlé de l'industrie de bioplastiques d'une manière générale ;

Le quatrième et le dernier chapitre est consacré pour des essayer de fabrication du bioplastique dans un laboratoire.

Chapitre I

Les emballages Agro- alimentaires

1. Historique sur les emballages alimentaires

L'emballage alimentaire a une longue histoire, qui remonte à des milliers d'années. Les premiers humains utilisaient des matériaux naturels tels que des feuilles, de l'écorce, des coquillages et des cornes d'animaux pour envelopper et conserver leur nourriture (Morris, 2018).

Au fil du temps, les matériaux d'emballage sont devenus plus sophistiqués. Les Égyptiens utilisaient des pots en argile pour stocker leur nourriture, tandis que les Grecs et les Romains utilisaient des amphores pour conserver l'huile d'olive (The Packaging School, 2020). Les Chinois ont inventé le papier de riz, qui a été utilisé pour emballer les aliments, tandis que les Japonais ont créé le pinto, un repas emballé dans une boîte en bois ou en métal [1].

Au Moyen Âge, les bouchers ont commencé à envelopper la viande dans du papier pour la protéger des mouches et des insectes (Design for Europe, 2015). À la fin du 19^{ème} siècle, les boîtes de conserve en métal sont devenues populaires pour la conservation des aliments. Pendant la Première Guerre mondiale, des boîtes de conserve sont utilisées pour nourrir les soldats au front [2].

Au cours du 20^{ème} siècle, l'emballage a considérablement évolué, avec l'avènement de nouveaux matériaux et technologies. Les emballages en carton ont été introduits en 1910, suivis par les emballages en plastique dans les années cinquante et soixante du XX^{ème} siècle (Pollock, 2018). Les sachets sous vide ont également été développés dans les années soixante pour garder les aliments frais plus longtemps.

De nos jours, les emballages alimentaires sont de plus en plus sophistiqués et conçus pour répondre à des exigences spécifiques en matière de sécurité, de fraîcheur, de praticité et de durabilité. Les emballages peuvent être faits de matériaux recyclables, compostables ou biodégradables, et de plus en plus d'entreprises cherchent à réduire leur empreinte carbone en utilisant des emballages plus respectueux de l'environnement.

2. Définition

2. 1. Les emballages alimentaires

Les emballages sont des produits fabriqués à partir de différents types de matériaux et conçus pour contenir et protéger diverses marchandises, allant des matières premières aux produits finis. Leur fonction principale est de faciliter la manutention et l'acheminement des produits du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, tout en assurant une présentation appropriée. Les articles jetables utilisés à des fins similaires sont également appelés comme des emballages (**Debeaufot et al., 2022**).

2. 2. Le Codex Alimentarius

Le Codex Alimentarius est un recueil de normes, de directives et de codes de pratiques recommandées relatifs à la sécurité sanitaire des aliments. Il est élaboré par la Commission du Codex Alimentarius, une organisation intergouvernementale créée en 1963 par la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OMS (Organisation mondiale de la santé) pour promouvoir la sécurité et la qualité des denrées alimentaires au niveau mondial.

Le Codex Alimentarius vise à protéger la santé des consommateurs et à garantir des pratiques commerciales équitables dans le secteur alimentaire. Il couvre un large éventail de sujets liés à la sécurité sanitaire des aliments, tels que l'hygiène alimentaire, les additifs alimentaires, les résidus de pesticides, les contaminants alimentaires, les normes pour les aliments destinés aux régimes particuliers, les normes pour les étiquetages et les présentations des denrées alimentaires, etc.

Les normes et directives établies par le Codex Alimentarius sont reconnues internationalement et ont une influence sur les politiques alimentaires nationales et internationales, ainsi que sur le commerce international des denrées alimentaires. Elles sont également utilisées comme référence par les gouvernements, les producteurs alimentaires, les consommateurs et les organisations internationales telles que l'OMC (Organisation mondiale du commerce) [3].

Tableau 1. Les Normes officielles de codex alimentarius [3].

Les plus consultées	
Les code	
CXS 193-1995	Norme générale pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de consommation humaine et animale
CXC 1-1969	Principes généraux d'hygiène alimentaire
CXS 1-1985	Norme générale pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées
CXS 192-1995	Norme générale pour les additifs alimentaires
Les plus récentes	
CXS 340-2020	Norme pour l'igname
CXG 94-2021	Directives sur le suivi et la surveillance intégrés de la résistance aux antimicrobiens d'origine alimentaire
CXS 346-2021	Norme générale pour l'étiquetage des récipients de denrées alimentaires non destinés à la vente au détail
CXG 98-2022	Lignes directrices pour l'élaboration d'une législation harmonisée sur la sécurité sanitaire des aliments pour la région CCAFRICA
CXG 96-2022	Lignes directrices sur la gestion des éclosions d'origine alimentaire biologique
CXG 97-2022	Lignes directrices pour la reconnaissance des substances actives ou des utilisations autorisées de substances actives de faible problème de santé publique qui sont considérées comme exemptées de l'établissement de limites de résidus maximales ou ne donnent pas lieu aux résidus
CXG 95-2022	Lignes directrices pour les aliments thérapeutiques prêts à l'emploi (RUTF)

3. Les intérêts des emballages en agroalimentaire

3. 1. La conservation des produits alimentaires

La conservation des produits alimentaires est un processus crucial pour garantir leur sécurité et leur qualité. Plusieurs techniques sont utilisées pour prolonger la durée de conservation des aliments, notamment :

- **La réfrigération** : Est une méthode courante pour conserver les aliments périssables tels que les produits laitiers, les viandes et les fruits et légumes

frais. Elle ralentit la croissance des bactéries et prolonge la durée de vie des aliments. Cependant, la réfrigération ne peut pas garantir une conservation indéfinie, et il est important de respecter les dates de péremption (**Gould, 2000**) ;

- **La congélation** : La congélation est une méthode efficace pour conserver les aliments pendant une période plus longue. Elle permet de préserver la texture, la saveur et la valeur nutritive des aliments. Cependant, certains aliments peuvent ne pas bien se congeler, et il est important de suivre les instructions de congélation appropriées (**Rahman, 2017**) ;
- **La mise en conserve** : La mise en conserve est une technique de conservation qui consiste à stériliser les aliments dans des bocaux hermétiques. Elle peut être utilisée pour conserver les fruits, les légumes, les viandes et les poissons pendant une période de plusieurs mois. Cependant, il est important de suivre les instructions de mise en conserve appropriées pour éviter les risques de contamination (**Meredith et Scallan, 2019**) ;
- **Les traitements thermiques** : Les traitements thermiques, tels que la pasteurisation et la stérilisation, sont utilisés pour éliminer les bactéries dans les aliments. Ils sont couramment utilisés pour les produits laitiers, les jus de fruits et les conserves (**Jay et al., 2019**).

3. 1. 1. Les conditions qui déterminent le choix du type de matériau d'emballage pour les aliments

Lors du choix du type d'emballage utilisé dans l'emballage d'un aliment, plusieurs facteurs le déterminent, notamment:

- L'emballage doit être adapté au type de produit alimentaire ;
- L'emballage doit préserver le produit de la contamination après le scellement et la stérilisation ;
- L'emballage doit permettre une isolation complète du produit de l'environnement extérieur, caractérisée par une imperméabilité à l'humidité, aux gaz et aux odeurs dans et depuis les aliments ;
- Les contenants empêchent les aliments d'être exposés à la lumière. Un emballage en plastique ou une feuille d'aluminium est utilisé à cette fin ;

- L'emballage doit préserver le produit de la contamination après le scellement et la stérilisation [5].

3. 1. 2. Caractères extrinsèques

Les facteurs extrinsèques de conservation des aliments comprennent principalement l'humidité relative, la température, la pression, la composition de l'atmosphère, la lumière et les champs électromagnétiques (**Raybaudi-Massilia et al., 2009**) :

L'humidité : relative peut influencer la prolifération de micro-organismes, la réaction enzymatique et la stabilité de l'emballage (**Corbo et al., 2003**).

La température : est un facteur critique car elle peut affecter la croissance microbienne, la réaction chimique et la texture des aliments (**Peleg et Cole, 1998**).

La pression atmosphérique : modifie la réactivité chimique et la composition des gaz dissous dans les aliments (**Chakraborty et al., 2017**).

La composition de l'atmosphère : en particulier la teneur en oxygène, en dioxyde de carbone et en azote, peut modifier la croissance microbienne et la stabilité des aliments (**Guilbert et Gontard, 1995**).

La lumière : peut affecter la couleur, la vitamine et la teneur en acides gras des aliments (**Majumdar et al., 2015**).

Les champs électromagnétiques : tels que les micro-ondes et les champs électriques, peuvent modifier la réaction chimique, la texture et la composition des aliments (**Rao et al., 2017**).

3. 1. 3. Caractères Intrinsèques

Les caractères intrinsèques qui affectent la conservation des aliments comprennent plusieurs facteurs, dont les plus importants sont :

- **Acidité (pH)**: L'acidité est l'un des caractères intrinsèques importants dans la conservation des aliments, car elle contribue à inhiber la croissance des micro-organismes et à améliorer la qualité des aliments emballés, et est utilisée dans le processus de fermentation et de stockage (**Al-Khalifa et al., 2010**) ;
- **Humidité**: Le contrôle de l'humidité est important dans la conservation des aliments, si l'humidité est trop élevée, cela peut entraîner la croissance de micro-

organismes et la détérioration des aliments, tandis qu'une humidité trop faible peut faire perdre aux aliments leur qualité et leur humidité naturelle (**Barbosa-Cánovas et Vega-Mercado, 2001**) ;

- **Température:** La température est l'un des facteurs internes importants dans la conservation des aliments, si la température est trop élevée, elle peut entraîner la détérioration et la détérioration des aliments, et de même si la température est trop basse, elle peut causer la congélation et la détérioration des aliments (**Brennan, 2011**) ;
- **Ventilation:** La ventilation est l'un des facteurs internes importants dans la conservation des aliments, car elle contribue à réduire l'humidité et à réduire la croissance des micro-organismes (**Haldun, 2018**).

L'entreposage des aliments doit également être évité dans les endroits qui peuvent être exposés à une contamination causée par des bactéries, des virus et des parasites.

3. 2. Rôles

3. 2. 1. Rôle technique de l'emballage

L'emballage est un élément crucial dans la chaîne de production et de distribution des produits alimentaires. Il remplit plusieurs fonctions telles que la protection contre la contamination, le transport, le stockage et la présentation du produit. Cependant, il est rare de trouver un emballage unique qui puisse remplir toutes ces fonctions, et il est donc nécessaire de créer un système d'emballage adapté à chaque produit. Ce système d'emballage est composé d'un ensemble de matériaux qui fonctionnent ensemble pour protéger le produit à chaque étape de sa vie, de sa fabrication à sa disposition finale. Une approche systématique est nécessaire pour concevoir un système d'emballage efficace, qui prend en compte plusieurs facteurs tels que le design du produit, sa fabrication, son entreposage, sa distribution, la vente au détail, l'image de marque et l'environnement législatif (**CTAC, 2010**).

3. 2. 2. Rôle marketing de l'emballage (création)

- Dans un marché commercial de plus concurrentiel, où de nouveaux produits sont introduits rapidement, l'emballage est devenu un outil de communication stratégique essentiel pour tous les produits de consommation courante. La conception de l'emballage ne se limite pas à un simple aspect esthétique, mais elle

devient un véritable enjeu de communication en tant que premier point de contact avec le consommateur, et parfois même le seul;

- Selon les sondages, il est clair que 70 % des décisions d'achat sont prises de manière spontanée en magasin, en regardant les rayons. Même si un produit est de grande qualité et qu'il est conditionné dans un emballage exceptionnel, il peut être ignoré s'il ne parvient pas à attirer l'attention ou à transmettre le bon message.
- Un design d'emballage médiocre est l'une des principales raisons de l'échec des nouveaux produits lancés par les PME. Souvent, cette dernière étape de la production, qui est également la première étape de la commercialisation, est négligée ou mal conçue, ce qui peut entraîner des résultats décevants ;
- Avant de commencer à concevoir un emballage, il est crucial de préparer un brief de création. Ce document rassemble tous les éléments d'information nécessaires à la conception d'un emballage efficace, qui doit également communiquer un message précis (CTAC, 2010).

Tableau 2. Les différents rôles et intervenants en emballage alimentaire (CTAC, 2010).

Rôle technique	Rôle marketing	Intervenants
Contenir	vendre	fabricants
Préserver	communiquer	transformateurs
Transporter	motiver	détaillants/grossistes
Utiliser	informer	consommateurs

3. 1. 3. Rôle conservatoire

La nourriture est un produit périssable, lié à l'environnement et au temps. Il empêche le développement de bactéries, de champignons et de micro-organismes et retarde également l'oxydation des graisses qui provoquent la pourriture du produit (Mathlouthi, 2008).

- **Produit et emballage avec traitement thermique :**

L'emballage est exposé à la chaleur du produit chaud ou chauffé par divers procédés afin de pasteuriser ou stériliser le produit. Cette méthode thermique est utilisée pour réduire considérablement les micro-organismes et prolonger la durée de conservation du produit (Atek et Belhaneche, 2005) ;

- **Emballage sous atmosphère modifiée (MAP) ou protectrice :**

En fonction des aliments à conserver, nous injectons un mélange avec différentes proportions de gaz inertes, les gaz utilisés sont : N, CO₂, O₂. Ces gaz favorisent la conservation des aliments (**Brouillet et Fugit, 2009**).

4. Les différents types d'emballage agroalimentaire

4. 1. Emballages en carton

4. 1. 1. La source

Le papier est créé à partir de fibres de cellulose obtenues à partir d'arbres, de papier recyclé et de fibres végétales telles que la paille issue de la culture des céréales. Actuellement, plus de 97% du papier et du carton dans le monde sont produits à partir de pâte à papier issue du bois, dont plus de 80% proviennent d'épicéa, de sapin et de pin (bois tendre). Les bois durs, tels que le bouleau et le tremble, ainsi que d'autres espèces des climats tempérés (principalement en Europe), sont également utilisés comme matière première pour le carton ondulé ou pour les papiers d'impression et d'écriture. Dans les pays à climat chaud, comme le Portugal en Europe, l'eucalyptus, originaire d'Australie et de Nouvelle-Zélande, est cultivé avec succès pour produire de la pâte à papier de haute qualité, qui permet la fabrication d'une grande variété de papiers, y compris des papiers spéciaux. Les bois résineux offrent des fibres plus longues en moyenne (environ 3 mm contre 1 mm pour les bois durs). Ces longues fibres de cellulose sont préférées pour les papiers et cartons nécessitant des caractéristiques de résistance mécanique plus élevées. La composition du bois et les caractéristiques des fibres ont une incidence sur la qualité de la pâte et sur le rendement d'extraction de la cellulose (**Debeaufot et al., 2022**).

4. 1. 2. La composition chimique

- La composition du carton est très proche de celle du papier ;
- Le carton se compose principalement de matériaux naturels. Il comprend :

Le carton est principalement composé de cellulose, une macromolécule très courante dans les êtres vivants et représentant environ 50% du carbone organique. Les chaînes de cellulose constituent la matière première du carton, représentant entre 40 et 50% de sa composition. Certains cartons de qualité inférieure peuvent contenir de la lignine, un polymère présent dans les parois cellulaires végétales qui apporte de la rigidité au matériau. La lignine est décomposée par les champignons du sol. Pour empêcher le carton

de prendre l'humidité, un agent collant tel que le sulfate d'aluminium (alun) ou la colophane extraite de la résine de conifères est utilisé [6].

Le carton contient non seulement les trois éléments principaux qui le composent, mais également du kaolin (un silicate naturel), du gypse (un sulfate de calcium) et du talc. Ces ingrédients sont ajoutés à la pâte à carton pour réduire la porosité des fibres et améliorer la blancheur. Ils jouent donc un rôle important dans l'apparence et les propriétés du carton.

- Essentiellement, le carton est constitué de molécules d'origine végétale, qui existent naturellement. Sans blanchiment, le carton peut être considéré comme un matériau entièrement naturel. Bien que la production de carton nécessite une quantité considérable d'énergie, elle ne comporte pas de processus chimiques extrêmement dommageables pour l'environnement.
- Le carton est souvent fabriqué à partir de la filière de recyclage de papier et d'autres cartons. Environ 60% du papier est recyclé pour être utilisé dans la production de nouvelles boîtes en carton. Dans cette situation, environ 91% de la cellulose utilisée provient de matériaux recyclés, tandis que les 19% restants proviennent de fibres nouvelles provenant de scieries ou de sources durables de gestion forestière [6].

Tableau 3. Composition du bois et caractéristique des fibres [6].

Composition (%) et caractéristiques des fibres	bois tendre	bois dur
Cellulose	42-44	43-47
Lignine	25-30	43-47
Hémicellulose hexosanes	15	5-8
Hémicellulose pentosanes	10-15	15-35
Cires, résines, lipids	1-10	0.5-2
Longueur des fibres (mm)	2-3.5	0.9-1.2
Diamètre des fibres (µm)	20-50	20-30

4. 1. 3. La formule chimique

Le carton n'a pas de formule chimique unique, car il s'agit d'un matériau composite fabriqué à partir de plusieurs composants différents. Le carton est

principalement composé de fibres de cellulose, la formule chimique cellulose et $(C_6H_{10}O_5)_n$ [7].

4. 1. 4. Processus de fabrication

4. 1. 4. 1. Un procédé mécanique

Dans lequel le bois est broyé et mélangé à l'eau, formant une sorte de bouillie de couleur brune contenant la totalité des composants du bois, avec des fibres plus ou moins longues, mais aussi des tanins, résines, ... etc. Ce procédé est utilisé pour la fabrication du carton plat.

4. 1. 4. 2. Un procédé chimique

Dans lequel le broyage est suivi d'un traitement chimique à la soude, au bisulfite ou au sulfate qui permet de séparer les fibres des autres constituants. Le procédé à la soude permet d'obtenir des papiers destinés à la fabrication de cartons ondulés. Le procédé au sulfate attaque partiellement la cellulose, ce qui permet d'obtenir selon la durée du traitement des papiers kraft en cycle court et des papiers mécaniquement très résistants en cycle long (Jeantet et al., 2007).

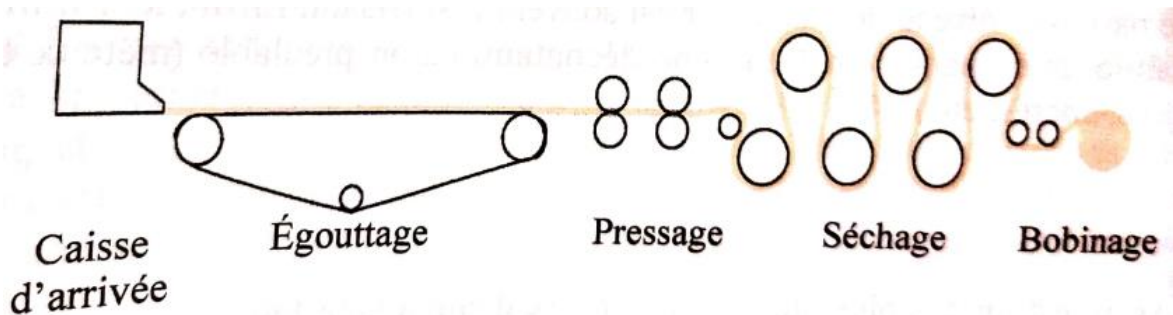


Figure 1. Fabrication du papier (Jeantet et al., 2007).

4. 1. 5. Les formes de carton utilisé en emballages alimentaires

4. 1. 5. 1. Le carton ondulé

Le carton ondulé, qui est bien connu des professionnels de l'emballage, est fabriqué en collant une ou plusieurs feuilles de papier cannelé sur une ou plusieurs feuilles de papier plat.

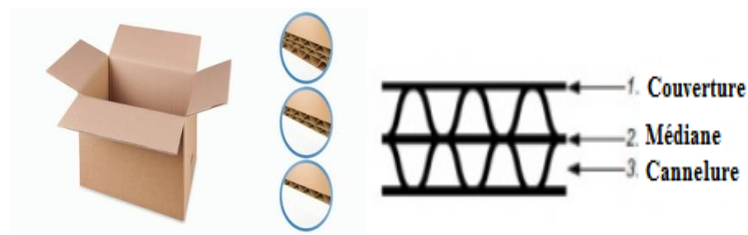


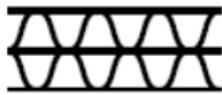
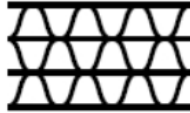


Figure 2. La forme de carton ondulé [8].

Il Ya4 types de carton ondulé différents [9]:

- **Le carton à simple face** : est utilisé dans diverses applications, mais l'une de ses principales utilisations est la décoration, selon moi ;
- **Le carton simple cannelure** : Nous utilisons rarement du carton simple cannelure, dans les livres. Il est souvent utilisé pour les meubles dans les endroits difficiles d'accès car il est facilement pliable ;
- **Le carton à double cannelure** : est celui que j'utilise le plus fréquemment, car il est idéal pour fabriquer des meubles avec les techniques des traverses et du boitage. En outre, il est également utile en collage et en contre-collage ;
- **Le carton à triple cannelure** : est un matériau très résistant que j'ai utilisé pour fabriquer des étagères, et une de mes élèves l'a utilisé pour construire une table basse avec un plateau et des pieds solides.

Tableau 4. Les types est les formes de carton [9].

Les type de carton	La form de carton
Le carton à simple face	
Le carton simple cannelure	
Le carton à double cannelure	
Le carton à triple cannelure	

4. 1. 5. 2. Le carton alvéolaire

Ce type de carton est indéniablement le plus robuste et durable de tous. Il est également très léger et est disponible en plusieurs épaisseurs. Si vous examinez sa structure en soulevant l'une de ses couches, vous remarquerez que cela ressemble aux alvéoles que les abeilles construisent sur leurs cadres [9].

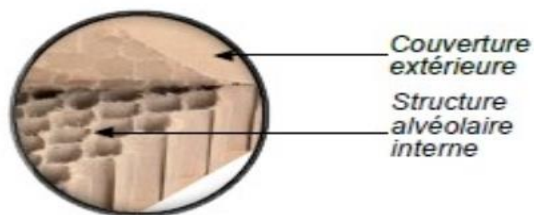


Figure 3. La forme de carton alvéolaire [9].

4. 1. 5. 3. Le carton plat

Le carton plat, qui inclut le carton gris, est un matériau que j'utilise souvent pour fabriquer des gabarits de meubles, protéger les assises ou couvrir les meubles présentant

des défauts, car il est extrêmement résistant et disponible en plusieurs épaisseurs. Sa solidité le rend particulièrement utile dans ces types d'applications [9].



Figure 4. La forme de carton plat [10].

4. 1. 5. 4. Le carton spiralé

Ils comprennent des tubes et des coins en carton, qui sont très compacts, très solides et donc difficiles ou impossibles à couper avec un couteau [9].



Figure 5. La forme de carton spiralé [11].

4. 1. 6. Les avantages et les inconvénients

4. 1. 6. 1. Les avantages

- L'utilisation de papiers et cartons pour les emballages commerciaux présente de nombreux avantages, tels qu'une qualité d'impression remarquable, une excellente protection mécanique des produits, des coûts de production et de traitement relativement bas, ainsi qu'une capacité de recyclage facile et efficace. Les fibres de cellulose utilisées pour la fabrication du papier proviennent principalement du bois et d'autres plantes, ce qui en fait une ressource renouvelable et durable. Toutefois, la production de papier vierge implique la coupe d'arbres pour obtenir de la pâte vierge et l'utilisation de produits chimiques, tels que l'eau de javel. Pour minimiser

l'impact environnemental, il est essentiel de recycler le papier et le carton, qui peuvent être recyclés jusqu'à sept fois avant d'être mélangés à de nouvelles fibres ou à de la pâte à papier vierge (Debeaufot et al., 2022).

- **Moins d'impact sur l'environnement :** Les emballages en carton offrent un avantage significatif par rapport à d'autres matériaux d'emballage, car leur production génère moins de pollution. En effet, les étapes d'extraction, de transformation et de distribution du carton sont moins émettrices de dioxyde de carbone et de pétrole, qui sont des substances nocives pour l'environnement. Par conséquent, l'utilisation d'emballages en carton contribue à réduire l'impact environnemental de la production d'emballages ;
- **Entièrement biodégradable :** Les cartons ont la particularité de se décomposer ou de se dégrader naturellement en moins d'un an, se transformant ainsi en matières organiques. Cette propriété permet de minimiser la production de déchets dans la nature ;
- **Ils économisent l'énergie :** La fabrication du carton utilise 90 % moins d'eau et 50 % moins d'électricité. En fait, la pâte recyclée est utilisée comme matière première ;
- **Un prix plus bas :** Les emballages en carton sont une option économique par rapport aux emballages en plastique ou en aluminium, ce qui les rend particulièrement attrayants pour les entreprises, y compris les restaurants, qui ont des besoins importants en matière d'emballage. De ce fait, les emballages en carton sont souvent privilégiés pour leur coût avantageux ;
- **Ils sont légers :** La légèreté du carton en fait un matériau facile à transporter. De plus, cette caractéristique en fait un choix judicieux pour la fabrication d'emballages de grande taille, car le poids supplémentaire des matériaux plus lourds tels que le plastique ou l'aluminium peut poser des problèmes logistiques ;
- **Idéal pour l'impression d'images :** Le carton présente des caractéristiques qui le rendent propice à l'impression d'images, ce qui en fait un moyen de publicité efficace pour promouvoir une entreprise. Ainsi, il peut être utilisé comme support publicitaire pour faire la promotion de votre entreprise [12].

4. 1. 6. 2. Les inconvénients

Après de parler des avantages de l'emballage en carton, parlons de ses inconvénients :

- Le carton est moins résistant que d'autres matériaux d'emballage et a une résistance à la compression relativement faible. Si les marchandises emballées ne sont pas correctement positionnées lors du chargement, elles risquent d'être endommagées plus facilement [13] ;
- Ils ne sont pas aussi résistants que d'autres matériaux : le carton est un matériau sensible à l'humidité, ce qui signifie qu'il peut se déformer et Perdre de sa résistance au contact de liquides [14] ;
- Il est inflammable : en raison de sa composition en fibres de papier végétal, le carton est un matériau entièrement inflammable. Cependant, il est important de prendre des précautions lors de son stockage en évitant tout contact avec des sources de chaleur ou de feu potentielles [14].

4. 2. Emballage en verre

4. 2. 1. Origine et la source

4. 2. 1. 1. Origine

Il est probable que le verre ait été fabriqué pour la première fois en Mésopotamie vers 4500 avant notre ère. Toutefois, les premières traces de métiers du verre ont été découvertes en Égypte ancienne aux alentours de 3000 avant notre ère [15].

4. 2. 1. 2. La source

Le principal composant du verre est la silice, également connue sous le nom de sable industriel. Elle est vitale pour l'industrie du verre, car elle fournit le dioxyde de silicium (SiO_2) qui est essentiel à la fabrication de tous les types de verre, standard ou spécialisé. Bien que l'industrie du verre nécessite l'utilisation de plusieurs éléments différents, la silice représente plus de 70% de son poids final. La pureté chimique de la silice est donc un facteur clé déterminant la couleur, la clarté et la résistance du verre fabriqué [16].

4. 2. 2. La composition chimique

Le verre est un matériau solide amorphe, qui ne possède pas de structure cristalline régulière. Sa composition chimique varie en fonction de sa nature et de son utilisation, mais il est principalement constitué de silice (SiO_2), d'oxydes métalliques (comme l'oxyde

de sodium (Na_2O), l'oxyde de calcium (CaO) et l'oxyde de potassium (K_2O) et de quelques autres éléments, tels que l'aluminium (Al_2O_3) et le magnésium (MgO) (Zarzycki, 1995).

La silice est l'élément de base du verre et représente généralement plus de 70% de sa composition. Les oxydes métalliques sont ajoutés pour modifier les propriétés du verre, telles que la température de fusion, la viscosité, la résistance et la transparence. Les autres éléments sont souvent ajoutés en petites quantités pour donner une couleur ou une propriété spécifique au verre (Day, 2007).

Voici une liste des principaux éléments qui composent le verre (Bray, 1993) :

- Silice (SiO_2)
- Oxyde de sodium (Na_2O)
- Oxyde de calcium (CaO)
- Oxyde de potassium (K_2O)
- Aluminium (Al_2O_3)
- Magnésium (MgO)
- Oxyde de baryum (BaO)
- Oxyde de plomb (PbO)

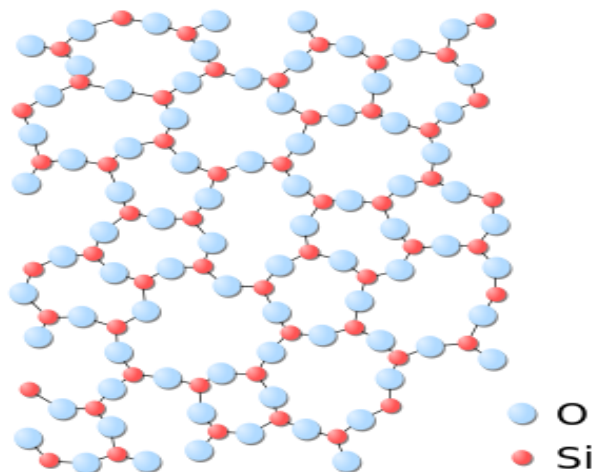


Figure 6. Composition chimique 2D de fibre de verre amorphe (SiO_2) [17].

Tableau 5. Composition chimique moyenne des principaux types de verres

Average chemical composition of the main types of glasses [18].

Composition chimique	Verre vitrage (silico-sodocalcique)	Verre pour la boratoire (borosilicate de sodium)	Verre le typique pour ampoule électrique	Verre le typique pour scellement basse température	Verre pour lampe à vapeur de sodium	Verre pour fertilisation sols	Verre cristal
SiO₂	72	80	61	5	8	37.5	51
B₂O₃		12.5	1	17	48		
P₂O₅						20.2	
Al₂O₃	2	2	16		24		
PbO				64			39
CaO	9		10		6	7.9	
MgO	3					7.9	
BaO			12				
Na₂O	14	5.5			14	8.9	1.7
K₂O						8.9	7.6
Fe₂O₃						4.8	
ZnO				14			
MnO₂						3.9	

4. 2. 3. La formule chimique

Il n'existe pas de formule chimique unique pour le verre, car celui-ci est un matériau amorphe et non cristallin. La composition chimique du verre varie en fonction de sa nature et de son utilisation, et peut contenir des proportions variables d'oxydes métalliques et de silice (Zarzycki, 1995).

Cependant, la plupart des verres sont principalement constitués de silice (SiO_2) et d'oxydes métalliques tels que l'oxyde de sodium (Na_2O), l'oxyde de calcium (CaO) et l'oxyde de potassium (K_2O). La formule chimique exacte dépendra donc du type de verre considéré (Bray, 1993).

Par exemple, la formule chimique du verre borosilicate, utilisé dans la fabrication de verrerie de laboratoire, est généralement écrite comme $(\text{Na}_2\text{O})_{0.2}$, $(\text{CaO})_{0.6}$, $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0.1}$, $(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.3}$, $(\text{SiO}_2)_{2.7}$, où les chiffres entre parenthèses représentent les proportions relatives de chaque composant (Day, 2007).

4. 2. 4. Processus de fabrication et/ou transformation

4. 2. 4. 1. Sélection et mélange des matières premières

Afin de fabriquer de nouveaux emballages en verre tout en adoptant une approche durable et éco-responsable, nous utilisons du calcin. Ce matériau de verre recyclé est issu des déchets de production, de la collecte sélective des déchets, ou des conteneurs de recyclage. Nous le mélangeons avec d'autres matières premières telles que du sable (71%), du carbonate de sodium (14%), du calcaire (11%) et divers composants (4%) qui permettent de colorer le verre. Cette méthode nous permet de réduire notre consommation de matières premières et d'énergie, tout en favorisant une économie circulaire et en minimisant notre impact environnemental [19].

4. 2. 4. 2. La fusion ou la transformation de la matière

Les fours doivent être chauffés à une température élevée de 1550°C pendant environ 24 heures pour fondre un mélange homogène de matières premières solides telles que le calcin, le sable, le carbonate de soude et le carbonate de calcium. Ce processus de fusion est nécessaire pour que le verre liquide puisse être acheminé via des canaux de distribution jusqu'aux machines de formage équipées de moules en verre. Cette étape est cruciale pour garantir une qualité de production optimale et obtenir des emballages en verre solides et résistants [19].

4. 2. 4. 3. Quand le verre prend forme

Le processus de mise en forme du verre implique une étape de soufflage en deux temps : tout d'abord dans un moule ébaucheur, puis dans un moule finisseur, afin de donner la forme finale à l'emballage en verre. Les bouteilles et pots en verre ainsi formés sont ensuite extraits des machines à des températures très élevées dépassant les 500°C. Cette température élevée est nécessaire pour assurer la solidification du verre et ainsi obtenir des emballages en verre durables et résistants [19].

4. 2. 4. 4. La recuisons, garantie d'une solidité maximale

L'objectif de l'arche de recuisson est de libérer les tensions internes du verre, ce qui permet de garantir la solidité et la résistance des emballages en verre. Cette étape est essentielle pour éviter que le verre ne se brise ou ne se fissure sous l'effet de contraintes externes. Le four tunnel de l'arche de recuisson assure cette fonction en soumettant les emballages en verre à une température élevée pendant une période donnée. En sortie d'arche, les emballages en verre subissent également un traitement de résistance aux rayures pour assurer leur qualité et leur durabilité [19].

4. 2. 4. 5. Contrôler et livrer

Avant de procéder à l'expédition des bouteilles en verre, il est primordial de réaliser des contrôles rigoureux pour vérifier la qualité et la conformité de chaque emballage. Des équipements de pointe sont utilisés pour mesurer avec précision le bouchage, la résistance à la pression pour les boissons gazeuses, les dimensions, l'épaisseur du verre et l'esthétique des emballages en verre. Une fois que chaque bouteille a été vérifiée, ils sont soigneusement disposés sur des palettes constituées de matériaux réutilisables ou recyclables. Les emballages sont ensuite protégés par une housse pour éviter tout dommage lors du transport [19].

4. 2. 4. 6. Un circuit de recyclage interne pour minimiser notre impact sur le verre

Dans la perspective de préserver l'environnement, la plupart de nos usines ont mis en place un système de recyclage interne pour réutiliser l'intégralité du calcin provenant de leurs productions. De plus, ces usines s'efforcent de trouver des débouchés pour le calcin usagé provenant de l'extérieur chaque fois que cela est possible. Nous avons également investi dans 8 centres de traitement du calcin, où le verre usagé est trié, purifié de ses

impuretés et broyé pour obtenir du calcin propre et prêt à être utilisé pour la fabrication de nouveaux emballages en verre [19].

4. 2 .5. Les avantages et les inconvénients de verre

4. 2. 5. 1. Les avantages

Les emballages en verre sont durables, inertes, recyclables et réutilisables, et permettent de conserver les aliments et les boissons en toute sécurité sanitaire. Ils sont utilisés dans les industries alimentaire et pharmaceutique, ainsi que dans l'industrie cosmétique et des parfums. Les récipients en verre préservent le goût, l'odeur et la composition des produits qu'ils contiennent, offrant une excellente barrière contre l'environnement extérieur. Les emballages en verre sont donc une solution sûre et écologique pour protéger les produits (Debeaufot et al., 2022).

4. 2. 5. 2. Les inconvénients

- Le poids, sur les marchés de consommation (alors que pour certains produits haut de gamme, c'est un avantage apprécié par la tradition) danger de se couper si brisé;
- Cassable;
- Faible maniabilité;
- Recyclable à l'infini mais cher;
- Pas d'innovation;
- Consomme beaucoup d'énergie pour recycler;
- Pas de valeur de revente;
- Espace requis pour le transport en raison de la forme cylindrique (CTAC, 2008).

4. 3. Les emballages métalliques

4. 3. 1. la source

Les métaux tels que l'aluminium, l'argent et le cuivre sont généralement extraits de la croûte terrestre, à partir de minerais qui se trouvent dans les roches. Ces minerais ont une composition chimique diversifiée, comprenant des oxydes tels que la bauxite (minerai d'aluminium), l'ilménite (minerai de titane), l'hématite et la magnétite (minerais de fer), des sulfates tels que la chalcopirite (minerai de cuivre) ou la sphalérite (minerai de zinc), ainsi que des silicates, des carbonates et bien d'autres composés. Pour obtenir le métal pur à partir de ces minerais, il est nécessaire de procéder à une extraction [20].

4. 3. 2. La composition chimique

4. 3. 2. 1. Fer (Fe)

- Le fer est un métal avec des propriétés intéressantes telles que la ductilité, la malléabilité et le magnétisme. Toutefois, il a tendance à réagir avec l'oxygène de l'air et à former de la rouille à sa surface, ce qui peut poser des problèmes, en particulier pour les bateaux exposés à l'eau salée ;
- Principaux minerais de fer : hématite (Fe_2O_3 , le plus répandu), magnétite (Fe_3O_4 , roche qui est un aimant naturel), limonite ;
- Point de fusion : 1535°C [21].

4. 3. 2. 2. Cuivre (Cu)

Il se trouve dans le sol sous forme pure et dans de nombreux minerais : azurite ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), bornite (Cu_5FeS_4), chalcosine (Cu_2S), chalcopyrite (CuFeS_2), covelline (CuS), cubanite (CuFe_2S_3), cuprite (Cu_2O), malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$) [21].

4. 3. 2. 3. Aluminium (Al)

- L'aluminium est un métal blanc, brillant, léger, malléable, très abondant dans la nature mais rarement sous forme pure ;
- Point de fusion : 660°C ;
- Le principal minerai d'aluminium est la bauxite, une roche contenant de l'alumine Al_2O_3 [21].

4. 3. 3. Processus de fabrication du métal

Le processus de fabrication des métaux que nous côtoyons implique automatiquement la transformation des minéraux métalliques en produits finis. Cette conversion nécessite généralement l'utilisation de techniques spéciales et de produits chimiques. Décortiquons ensemble les différentes étapes de ce processus [22].

Le processus métallurgique de transformation du minerai en produit fini peut être divisé en quatre grandes étapes distinctes :

4. 3. 3. 1. La métallurgie primaire

Comme indiqué précédemment, la plupart des métaux se trouvent naturellement sous forme de minéraux oxydés, qui sont des roches contenant des composés de métaux. La métallurgie primaire implique la récupération du minéral extrait en carrière, suivi de la séparation des différentes caractéristiques de la roche, puis de la réduction du minéral pour

éliminer l'oxygène et obtenir le métal.

Pour extraire des métaux à partir de minéraux, différentes méthodes peuvent être utilisées, notamment :

- Les méthodes de séparation basées sur des différences de densité et de flottabilité, telles que la décantation, la centrifugation, la filtration ou la flottaison ;
- La lixiviation, qui implique la dissolution d'une des phases du minéral dans une solution aqueuse, généralement utilisée pour les minéraux de cuivre et d'aluminium ;
- La réaction avec un produit solide contenant de la silice, qui est utilisé pour extraire le nickel ;
- La gazéification, qui consiste à faire réagir l'oxyde de métal avec du dichlore pour le transformer en gaz (pour le minéral de titane) [22] ;

Puis à le séparer par distillation. Une fois séparée des autres composants de la roche, l'oxyde métallique peut être réduit :

- soit avec du monoxyde de carbone produit par la combustion de charbon (pour le fer et le cuivre) ;
- soit avec du dihydrogène (pour le nickel)
- soit par électrolyse, c'est-à-dire en faisant passer un courant électrique dans un liquide (pour l'aluminium) [22].

4. 3. 3. 2. La métallurgie secondaire

La métallurgie secondaire englobe les procédés de purification du métal produit, notamment le dégazage et l'élimination des impuretés. Différentes techniques sont utilisées pour atteindre ces objectifs, telles que :

- Le vide pousse appliqué au métal en fusion afin d'éliminer les gaz indésirables ;
- L'ajout de produits permettant de capturer les impuretés et les séparer dans une phase de densité différente, peut être facilement éliminable ;
- L'introduction d'air ou de dioxygène pur dans le métal en fusion (puddlage) pour oxyder les impuretés ciblées et les piéger [22].

4. 3. 3. 3. Le formage

Les cinq techniques de formage les plus courantes sont la coulée en moule, le laminage, l'extrusion, l'estampage et la métallurgie des poudres. Voici une description de chacune de ces techniques :

- La coulée en moule, appelée fonderie, permet de produire des pièces avec une forme quasi définitive, en utilisant une quantité minimale de matière également pour les formes complexes. Des moules métalliques permanents peuvent être utilisés pour les grandes séries, tandis que des moules à usage unique sont utilisés pour les petites séries, fabriqués à partir d'un matériau malléable par empreinte d'un modèle (moulage en sable, moulage à la cire perdue) ;
- Le laminage (souvent utilisé pour le fer) consiste à allonger le métal en le faisant passer entre des rouleaux, donnant ainsi une forme plate (tôle) ou allongée (poutre, rail, profilé) ;
- L'extrusion implique de pousser ou tirer la matière à travers un trou pour obtenir une section donnée, entraîne ainsi une barre ou un tube ;
- L'estampage ou forgeage, consiste à frapper le métal pour lui donner la forme souhaitée à partir d'un moule. Cette méthode permet également de produire des complexes de formes avec une quantité minimale de matière, tout comme la coulée.
- La métallurgie des poudres implique le pressage suivi de poudre métallique dans un moule, d'une chauffe pour souder les grains ensemble (frittage). Bien que cette opération soit plus complexe, elle permet une meilleure maîtrise de la forme obtenue, sans passer par une phase de fusion [22].

4. 3. 3. 4. L'usinage

L'usinage implique l'élimination de matière à l'aide d'un outil de coupe , généralement en utilisant l'une des deux techniques principales suivantes :

- **le tournage** : pour les pièces cylindriques, coniques ou sphériques, où l'objet est tourné et l'outil avance dans l'axe ou selon un rayon;
- **le fraisage** : où la pièce est fixée en place et l'outil tourne et avance dans la matière. Plusieurs paramètres sont pris en compte pour déterminer la vitesse de rotation de la pièce (pour le tournage) ou de l'outil (pour le fraisage), la vitesse d'avancement

de l'outil et la nécessité d'utiliser une lubrification. L'usinage peut s'avérer complexe en raison de ces nombreux facteurs [22].

4. 3. 4. Les avantages et les Inconvénients

4. 3. 4. 1. Les avantages

- Les matériaux d'emballage métalliques offrent une protection complète avec des propriétés de barrière excellentes grâce à leur faible perméabilité (presque nulle) au gaz, à l'eau et à la vapeur d'eau ;
- Les matériaux d'emballages métalliques permettent une excellente rétention des parfums sans transmettre la lumière ;
- Les matériaux d'emballage métalliques sont efficaces pour prévenir les effets nocifs des rayons ultraviolets ;
- Ces matériaux sont résistants à l'humidité ;
- Les matériaux d'emballage offrent une protection supérieure contre les effets nocifs du parfum, ainsi qu'un ombrage plus efficace que les autres types de matériaux tels que le plastique ou le papier ;
- Les contenants d'emballages métalliques, ainsi que les peintures intérieures qui les recouvrent, répondent couramment aux normes d'hygiène et de sécurité en vigueur, ce qui les rend pratiques et hygiéniques ;
- Les articles qui sont enveloppés ont l'avantage d'être faciles à transporter et à utiliser, car ils sont souvent munis de dispositifs pratiques pour l'ouverture, comme des languettes de traction pour les canettes, par exemple ;
- Ces produits peuvent s'adapter à diverses conditions climatiques et permettre une bonne gestion des déchets, étant recyclables et réutilisables [23].

4. 3. 4. 2. Inconvénients

- Les matériaux en acier ont une stabilité chimique insuffisante et sont vulnérables à la corrosion, ce qui rend nécessaire l'utilisation de revêtements anti-rouille;
- Ces matériaux présentent une faible résistance aux acides et aux alcalis, ce qui peut entraîner la précipitation d'ions métalliques lorsqu'ils sont utilisés pour emballer des substances acides, notamment les aliments;
- Cela peut avoir une incidence sur la qualité du produit;
- En général, ils favorisent l'isolation et la protection d'un revêtement intérieur;

- Les matériaux d'emballage métalliques ont un coût supérieur à celui des autres matériaux d'emballage, ce qui entraîne un coût global d'emballage plus élevé [23].

4. 4. Emballages en plastiques

4. 4 .1. La source

Les matières plastiques sont des polymères synthétiques constitués de macromolécules pouvant être façonnées ou moulées sous pression à chaud. Du point de vue chimique, elles sont composées d'une phase organique macromoléculaire (polymère ou résine), de charges ou de renforts (verre, fibres, etc.) et d'adjuvants (plastifiants, stabilisants thermiques, anti-UV, colorants, etc.). De manière générale, il existe deux types de résines : les thermoplastiques, qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur et durcissent en refroidissant, permettant ainsi plusieurs transformations, et les thermodurcissables, qui ne peuvent être façonnés qu'une seule fois. Les plastiques sont produits par l'industrie pétrochimique, à l'exception de la cellophane, qui est fabriqué à partir de traitements chimiques de la cellulose (Jeantet et al., 2007).

4. 4. 2. La composition chimique

La structure habituelle d'une matière plastique comprend des polymères de base (résines brutes), des charges, des plastifiants et des additifs qui peuvent être modifiés pour altérer certaines de leurs propriétés (par exemple, la couleur ou la résistance à la rupture) en ajoutant des colorants ou des fibres. La résine de base, qui est la partie principale de la matière plastique, est elle-même composée d'un polymère.

Les polymères sont fabriqués à partir de pétrole, de gaz ou de charbon, ainsi que d'autres composants. Par exemple, le PVC est composé de 43 % d'éthylène, dérivé du pétrole brut, et de 57 % de chlore. On parle d'organochlorés [24].

Certains plastiques courants tels que le PVC ont été produits avec l'utilisation de nombreux additifs toxiques, notamment le plomb et le cadmium [25].

4. 4. 3. La formule chimique

En tant que petits chimistes, vous devez savoir que le polyéthylène est le plastique le plus couramment utilisé. Il est composé de molécules d'éthylène, un hydrocarbure insaturé, qui ont été additionnées par purifier pour former le polymère de l'éthylène. Sa formule générique est $[(-CH_2-)_n]$ [26].

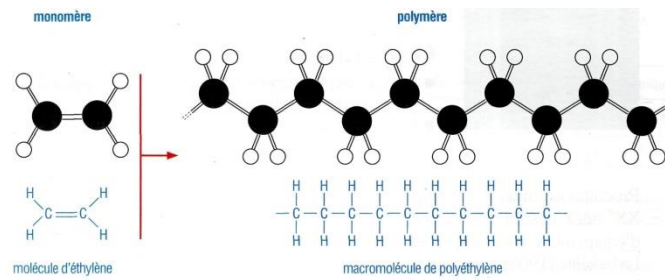


Figure 7. Matière plastique et élastomères [26].

4. 4. 4. Procédé de transformation de pétrole en plastique

Le naphta est un liquide obtenu lors du processus de raffinage du pétrole et qui se condense entre 40 et 180°C. C'est une matière première utilisée dans la production de plastiques. Avant d'être utilisé par les fabricants de plastiques, le naphta doit subir une opération de craquage [27].

4. 4. 4. 1. Raffinage

Après avoir été exploré, identifié et extrait de son puits nouveau foré par des stations de pompage importantes, le brut est transporté à une raffinerie de pétrole par un oléoduc. À la raffinerie, le brut est chauffé à des températures très élevées, puis envoyé à une tour de distillation fractionnée, qui facilite la séparation de ses milliers de composants. Les différents constituants sont répartis et condensés à différents niveaux de la tour en fonction de leur masse et/ou de leur point d'ébullition. À la fin du processus, plusieurs produits distincts sont obtenus, tels que le fuel (pour le chauffage), le gazole et le kérosène (pour les carburants), ainsi que le naphta, Il s'agit d'un liquide primordial dans la fabrication du plastique, qui est obtenu par condensation entre 180°C et 40°C. Ce produit est également utilisé pour fabriquer des colorants, des engrais, des produits cosmétiques, des parfums, des médicaments ou divers produits ménagers. Cependant, il est important de souligner que seulement 4 % de la consommation de pétrole en Europe est utilisée pour la production de plastique [28].

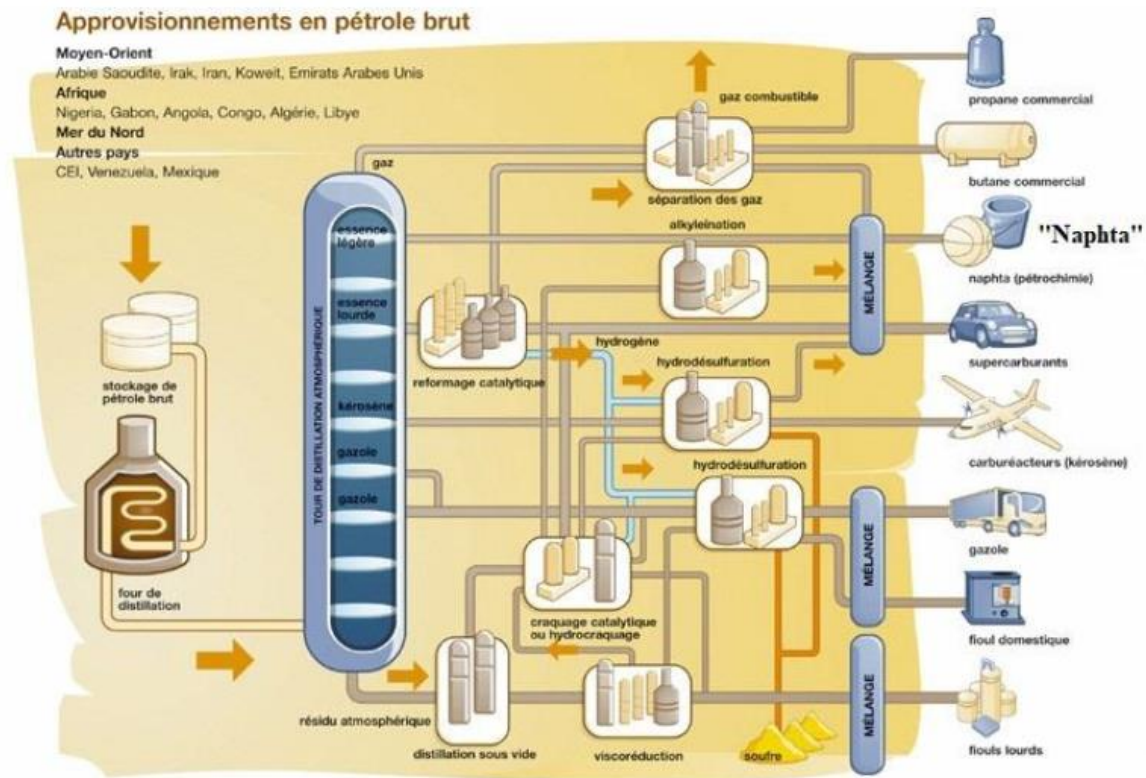


Figure 8. Comprendre le processus de raffinage : du pétrole brut jusqu'au produit final (Sia Conseil, 2009).

4. 4. 4. 2. Vapocraquage

Après sa récupération, le naphta nécessite une étape de transformation cruciale avant d'être utilisé dans la production de plastique. Cette étape est connue sous le nom de craquage, qui implique de fragmenter les grandes molécules d'hydrocarbures du naphta en molécules plus petites et plus faciles à manipuler. Le processus de craquage commence par mélanger le liquide pétrolier avec la vapeur d'eau, puis de chauffer le mélange à 800°C, suivi d'un refroidissement soudain à 400°C. Ce processus produit des petites molécules, appelées possédants, qui contiennent de 2 à 7 atomes de carbone. Ces composants sont ensuite utilisés pour former les polymères, les composants clés de la matière plastique [29].

4. 4. 4. 3. Polymérisation

Une description de la réaction chimique de purification fait référence à tout le processus de formation de polymères qui résulte de l'assemblage de molécules de polymère en longues chaînes (SDP, 2010). Les plus courantes sont la polycondensation et la polyaddition (Encyclopedia of Chemistry, 2007). La polycondensation implique

l'assemblage de différentes bases (**Lower, 2009**). Mais cette réaction produit une petite molécule sous forme de résidu, généralement constitué de HO ou HCl (**Cantor, 2011**). Par exemple, lors de la polymérisation du PET, chaque amarrage de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol entraîne la répulsion des molécules d'eau (**Olivier, 2013**). La polyaddition utilise à la place l'ouverture de cycle de liaisons insaturées apparentes (doubles ou triples liaisons) pour connecter successivement des liaisons insaturées. Elle doit être initiée par un catalyseur avant que la réaction ne se produise spontanément dans la chaîne (**Reyne, 1998**). Les produits polymères tels que le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, etc., qui seront par la raffinerie, peuvent être sous forme de granulés, de liquides ou de poudres (**Ben haroun et M'rabet, 2021**).

4. 4. 4. 4. Adjuvants

Ce sont généralement des composés organiques ou organométalliques qui ont un poids moléculaire inférieur au polymère et sont capables de modifier les propriétés physiques ou chimiques du polymère. La différence est :

- Les plastifiants améliorent les propriétés mécaniques des plastiques en s'intercalant entre les chaînes moléculaires;
- Les stabilisants pour éviter les modifications de la matière lors de la mise en œuvre et de l'utilisation : Antioxydants des polyoléfinés (PP, PE, PS) contre l'oxydation Particulièrement sensible, PET, PS, PA et autres agents anti-ultraviolets qui présentent une photo dégradation ou une photo oxydation due à une forte absorption des ultraviolets, des anti-ozonant et des fongicides pour caoutchouc particulièrement sensibles à l'ozone;
- Utile sur les lubrifiants moulés de calandres;
- Des antistatiques pour améliorer l'écoulement de surface des charges électrostatiques, ce qui rend le plastique conducteur en surface et s'oppose au dépôt de poussières;
- Il existe également des composés ignifugeants qui empêchent la propagation des flammes. Colorants, etc. qui doivent répondre aux exigences de stabilité à la lumière. La tendance actuelle est de remplacer les pigments minéraux contenant des métaux lourds par des pigments organiques, moins opaques et moins résistants à la migration et aux UV;

L'utilisation d'un adjuvant est motivée par sa fonction principale, mais elle peut également entraîner des effets secondaires. Cependant, l'ajout d'un autre adjuvant peut aider à contrôler ces effets secondaires. Si les adjuvants atteignent leur limite de solubilité dans le polymère, ils peuvent se retrouver à la surface du matériau. En raison de leur poids moléculaire faible, ces adjuvants sont soumis à une réglementation stricte en raison de leur tendance à migrer facilement (**Jeantet et al., 2007**).

4. 4. 5. Les différents types de plastique

4. 4. 5. 1. Plastique naturel

Le plastique naturel, qui est le contraire du plastique artificiel, est produit à partir de la sève de l'hévéa. Il s'agit du plastique que l'on trouve dans la nature. La cellulose est un polymère naturel que l'on trouve abondamment dans les arbres, l'herbe, le chanvre, le coton et le lin. Les scientifiques ont commencé à étudier la fabrication d'autres types de plastiques grâce à leur compréhension de la cellulose (**Commission Européenne, 2007**).

4. 4. 5. 2. Plastique artificiel

Le plastique naturel est soumis à un traitement par les humains pour produire du plastique synthétique. Parmi les premiers matériaux de cette famille, on trouve le celluloid (utilisé pour les balles de tennis de table), l'acétate de cellulose et la cellulose dérivée de la caséine de lait. Toutefois, en raison de leur inflammabilité excessive et de leur mauvaise tenue au vieillissement, ces plastiques sont très peu utilisés de nos jours (**Commission Européenne, 2007**).

4. 4. 5. 3. Plastique synthétique

Les plastiques synthétiques constituent l'une des plus grandes familles de plastiques, étant produits à partir de pétrole et de gaz naturel par des chimistes. Les chercheurs travaillent à leur développement en modifiant leurs caractéristiques pour qu'ils puissent répondre aux nouvelles exigences (**Commission Européenne, 2007**).

Les plastiques synthétiques sont très diversifiés en termes de propriétés, avec un grand nombre d'entre eux classés en trois groupes principaux : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères (**Zwiener et al., 2002**).

4. 4. 6. Le cycle de vie des emballages plastiques

Les différentes étapes du cycle de vie des emballages plastiques ou souples peuvent être résumées comme suit (**Elipso, 2017**):

- **Production des matières premières:** Les fabricants d'emballages plastiques et souples utilisent une variété de matières premières telles que des plastiques vierges, des plastiques recyclés, des plastiques biosourcés, ainsi que des combinaisons avec d'autres matériaux tels que le papier et l'aluminium. Les propriétés de ces matières premières permettent de donner à l'emballage les fonctionnalités requises tout au long de son cycle de vie ;
- **Fabrication de l'emballage plastique ou souple :** Il existe une variété de procédés de transformation et de décoration utilisés pour fabriquer des emballages plastiques, tels que le calandrage, le thermoformage, l'injection, l'extrusion, et bien d'autres encore ;
- **Conditionnement des produits :** Les emballages sont utilisés pour conditionner une grande variété de produits tels que des aliments, des boissons, des produits cosmétiques, des détergents, des ingrédients, des matériaux, et bien d'autres encore ;
- **Distribution et mise sur le marché des produits :** Les produits emballés suivent différents schémas logistiques avant d'être commercialisés via des circuits de distribution variés, tels que les circuits courts, la grande distribution, l'exportation, et bien d'autres encore ;
- **Consommation ou utilisation des produits :** Les emballages continuent à jouer un rôle important à cette étape en étant adaptés aux modes de consommation ou d'utilisation des produits, tels que la consommation ou l'utilisation en une fois, en plusieurs fois, et ainsi de suite ;
- **Collecte et tri des emballages :** Après que les produits ont été consommés ou utilisés, les emballages sont collectés et triés soit par les collectivités, soit par les industriels ;
- **Fin de vie – recyclage :** Des filières de recyclage sont mises en place pour recycler les emballages plastiques lorsque cela est possible. Les bouteilles et flacons en PET, PE ou PP, ainsi que les caisses en polystyrène, en sont des exemples ;
- **Fin de vie – compostage :** Les emballages plastiques biodégradables sont capables de se décomposer dans des filières industrielles ou domestiques, et c'est le cas des sacs de caisse ou des films biodégradables ;

- **Fin de vie – valorisation énergétique :** Les emballages plastiques qui ne peuvent être ni réutilisés ni recyclés peuvent toutefois être valorisés pour produire de l'énergie dans des installations spécialisées [30].

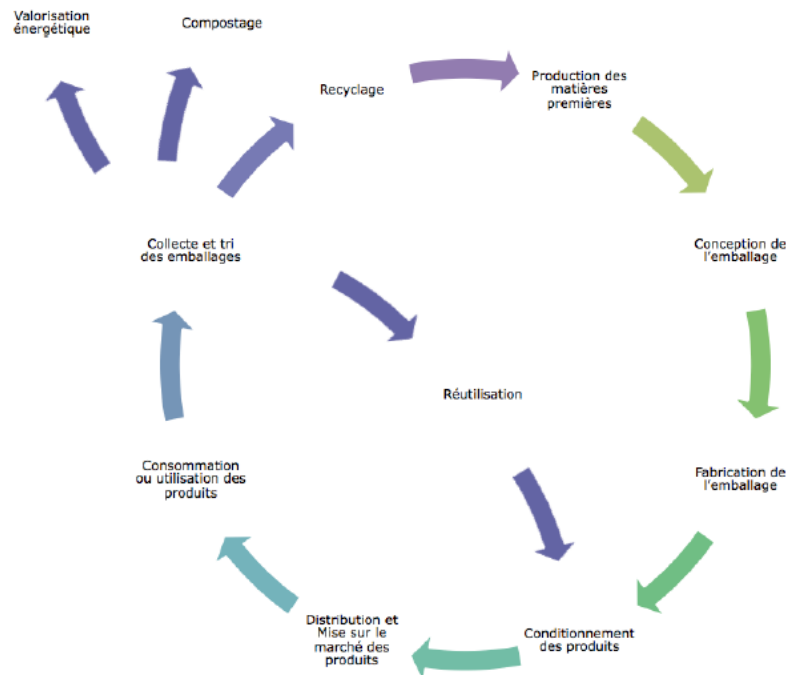


Figure 9. Le cycle de vie de l'emballage plastique (Elipso, 2017).

4. 4. 7. L'utilisation du plastique dans les emballages agro-alimentaires

4. 4. 7. 1 PE (polyéthylène)

Le polyéthylène (PE) est le plastique le plus utilisé pour les emballages, représentant 58% de l'ensemble des emballages plastiques. Il se présente principalement sous deux formes : le polyéthylène haute densité (PEhd) et le polyéthylène basse densité (PEld ou PEbd). Le PEhd est utilisé pour la fabrication de flacons (détergents, assouplissants, cosmétiques, etc.), de jerricans, de casiers à bouteilles et de bouteilles. Le PEld est utilisé pour la production de films plastiques souples, de sachets, de films rétractables pour les unités de groupage en libre-service (boîtes de conserves, bouteilles d'eau, pots de yaourt, cartons de lessive, etc.), de sacs à ordures ménagères, de récipients souples pour l'industrie pharmaceutique (gouttes pour les yeux, le nez, etc.), de tubes souples (crèmes dermiques, etc.) et de Tetra Brik (CTAC, 2008).

4. 4. 7. 2 PET (polyéthylène téréphtalate)

Vins, boissons aux fruits, sauces, huiles, vinaigre, etc.), de pots, de plateaux, de films et de boîtes. Il est particulièrement apprécié pour ses propriétés de scellage avec n'importe quel autre matériau d'emballage et comme film moulant. Actuellement, c'est le plastique le plus recyclé. Pour les micro-ondes et les fours, L'industrie utilise du PET pour les emballages destinés aux micro-ondes et aux fours en raison de sa résistance à des températures plus élevées (CTAC, 2008).

4. 4. 7. 3. PVC (polychlorure de vinyle)

Les emballages plastiques en PETG représentent 0,5% de l'ensemble des emballages plastiques et sont utilisés sous forme de films et de feuilles pour les blisters, les supports dans les boîtes de biscuits, les boîtes d'œufs, etc. Les emballages plastiques de type PVC représentent 0,5% du total. Ils sont utilisés pour produire des films et des feuilles (blisters, supports dans les boîtes de biscuits, boîtes d'œufs, etc.), ainsi que des bouteilles et des flacons pour les eaux minérales plates et légèrement gazeuses, les vinaigres, les huiles, les cosmétiques, les produits de droguerie, etc. Des tissus enduits et des films souples peuvent également être fabriqués à partir de ce matériau. En outre, les tissus enduits et les films souples sont également réalisés à partir de ce matériau. (CTAC, 2008).

4. 4. 7. 4. PP (polypropylène)

Le plastique PS représente 8% des emballages et est principalement utilisé pour l'emballage de produits gras, le conditionnement des produits laitiers tels que les yaourts et les margarines, les charcuteries, Ces utilisations incluent les portions individuelles, les récipients destinés aux préparations à réchauffer, les films conçus pour les micro-ondes, l'emballage de produits tels que les pâtes, les chips, le pain, les biscottes, ainsi que les conditionnements nécessitant une stérilisation, y compris pour des applications médicales, notamment pour les applications médicales (CTAC, 2008).

4. 4. 7. 5. PS (polystyrène)

Le polystyrène est responsable de 14% des emballages plastiques et est disponible en trois formes différentes : le polystyrène standard (PS), le polystyrène choc (PB) et le polystyrène expansible (PSE), également connu sous le nom de frigolite. Il est utilisé pour l'emballage des produits laitiers tels que le yaourt et la margarine, ainsi que pour les couvercles, gobelets, coques et chips servant à la protection des objets fragiles, l'isolation thermique, la présentation des préemballés, etc (CTAC, 2008).



Figure 10. Types des plastiques utilisés pour la fabrication d'emballages (CTAC, 2008).

4. 4. 8. Instabilité et migration polymère

4. 4. 8. 1. Instabilité

Le contrôle des phénomènes d'instabilité plastique est essentiel pour garantir l'aspect et les performances des produits finis dans les processus de mise en forme des matériaux solides. Les procédés utilisés pour les métaux, tels que l'emboutissage, le forgeage et le laminage, ont souvent produit des bandes de cisaillement et des strictions diffuses, qui ont été largement étudiées et font toujours l'objet de recherches. Les matériaux polymères, quant à eux, ont été longtemps négligés en termes d'instabilité de déformation car ils sont souvent manufacturés à partir de procédés de mise en forme à l'état fondu, tels que le moulage par injection et l'extrusion, qui relèvent davantage de la mécanique des fluides (**Backofen, 1972; Semiatin et Jonas, 1984**). Cependant, avec le développement de procédés à basse température tels que l'étirage de produits longs, le thermoformage de plaques et le forgeage en matrice fermée, les bandes de cisaillement et les strictions diffuses deviennent de plus en plus courantes. Bien que leur développement incontrôlé puisse affecter la qualité du produit final, leur cinétique de croissance diffère considérablement de celle observée dans les métaux (**Warshavskiet Tokita, 1970; Coffman, 1977**). Par exemple, la striction des polymères ductiles apparaît plus tôt que dans les métaux, mais plutôt que de s'aggraver jusqu'à la rupture, elle tend à se propager à partir d'une certaine déformation critique. En conséquence, l'étude des phénomènes d'instabilité de déformation dans les matériaux polymères est d'une grande importance scientifique et technologique (**G'Sell, 1988**).

4. 4. 8. 2. La migration

Dans cette étude, nous allons nous pencher sur le problème de la migration des constituants de l'emballage, tels que les monomères résiduels, les additifs et les néoformés, vers le produit conditionné, qui peut avoir un impact sur la sécurité alimentaire.

Nous allons nous concentrer spécifiquement sur les bouteilles en PET utilisées pour l'emballage de l'eau. Dans la section suivante, nous examinerons les fondements de la

migration polymère/aliment, en détaillant comment ce transfert de matière peut se produire pendant la production, le transport, le stockage, la cuisson ou la consommation de l'aliment (Bachampa, 2011).

4. 4. 9. Le recyclage et la réutilisation des emballages plastiques

Les matières thermoplastiques ont l'avantage d'être récupérables et réutilisables, contrairement aux matières thermodurcissables ou aux élastomères.

Les thermodurcissables, qui ne sont pas fondables, ne peuvent être recyclés comme matière première et leur valorisation se limite généralement à l'incinération ou à une utilisation limitée comme charges dans les résines vierges.

- **Principe du recyclage des thermoplastiques**

On entend par recyclage la méthode de traitement des matériaux qui permet de réutiliser les matériaux constitutifs d'un produit dans le cycle de production. La difficulté de recycler les polymères réside principalement dans le fait qu'ils sont rarement utilisés seuls. Pour faciliter leur mise en forme, des plastifiants et des charges sont souvent ajoutés aux procédés industriels. Toutefois, de nouvelles techniques ont été développées pour recycler les polymères en fin de vie.

Les matières plastiques sont souvent utilisées dans la fabrication des emballages des produits de la vie quotidienne. Ces matières ont un pouvoir calorifique élevé, ce qui permet de les valoriser énergétiquement par incinération pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Cependant, il est possible d'utiliser d'autres méthodes pour recycler ces matériaux, telles que le traitement mécanique (lavage, tri, broyage, séparation) ou le traitement thermochimique (solvolyse, pyrolyse, réaction chimique). Chaque étape de transformation des polymères ajoute une valeur au produit, mais cela augmente également le coût de recyclage si l'on souhaite obtenir un matériau de grande pureté [40].

4. 4. 10. Les avantages et les inconvénients

4. 4. 10. 1. Les avantages

- **Durabilité :** En raison de son cycle de vie prolongé, comparé à d'autres options telles que le carton ou le bois, l'utilisation de ce matériau a un impact environnemental et économique plus favorable, en réduisant le nombre d'unités nécessaires au fil du temps ;

- **Recyclage** : Nous utilisons des résidus d'autres applications pour produire nos produits, ce qui contribue à améliorer l'impact environnemental de l'industrie de l'emballage dans son ensemble. Application circulaire ;
- **Hygiène** : Leur imperméabilité à l'eau leur permet d'être lavés après chaque utilisation. De plus, ils n'absorbent pas les bactéries ni les parasites, ce qui les rend idéaux pour les exportations en toute sécurité sans la nécessité de traitements supplémentaires pour se conformer à la norme ISPM-15 ;
- **Léger** : Ils En comparaison à d'autres alternatives telles que le bois ou le métal, ces produits sont légers, ce qui permet des économies sur l'utilisation de combustibles fossiles et sur les émissions de CO₂, à la fois lors de la production et du transport ;
- **Inaltérable** : Ils conservent leur poids et leur forme de manière inaltérable. Contrairement à d'autres options, ils ne sont pas sujets à l'absorption d'eau ou d'humidité, ce qui permet de les stocker en toute sécurité à l'extérieur ;
- **Manipulation** : Les produits sont conçus pour être ergonomiques et faciles à manipuler dès la phase de conception. Ils sont dépourvus d'éclats ou d'éléments pointus, ce qui évite le besoin de porter des gants pour les manipuler ;
- **Esthétique** : Ils améliorent l'aspect visuel des rayons, contribuant ainsi à une expérience d'achat plus agréable et à un environnement plus propre dans les points de vente ;
- **Entretien** : Ils présentent une résistance supérieure à l'usure par rapport à d'autres alternatives telles que le bois ou le carton, et étant composés de moins de composants, ils sont plus faciles à trier et à entretenir ;
- **Nettoyage** : Moins de maintenance nécessaire pour les installations, car ces produits réduisent la quantité de déchets produits lors de la manipulation sur les lignes de production et/ou dans les points de vente, tels que les éclats ou les fragments ;
- **Réparation** : Certains de nos produits peuvent être réparés, ce qui permet d'augmenter leur durée de vie en remplaçant certaines de leurs pièces ;
- **Optimisation** : Certains de nos produits sont conçus pour être emboîtables ou pliables, ce qui permet une optimisation de l'espace de stockage et de transport, en économisant de l'espace sous vide [31].

4. 4. 10. 2. Les inconvénients

4. 4. 10. 2. 1. Sur l'humain

- Des professionnels de la santé ont noté que les produits chimiques présents dans les plastiques comportent un risque significatif pour la santé endocrinienne, perturbant leur fonction essentielle de libération de certaines hormones ;
- **Cancer** : Des études ont prouvé que le BPA présent dans les plastiques peut altérer les gènes des tissus corporels, ce qui peut stimuler la croissance et la multiplication des cellules cancéreuses ;
Les chercheurs ont mis en évidence que l'utilisation de plastiques est associée à un risque accru de développer un cancer de la prostate ;
- **Complications de la grossesse** : Des recherches ont montré que l'utilisation de plastique pendant la grossesse peut augmenter le risque de complications telles que la fausse couche, la naissance prématurée et la diminution de la fertilité et du poids du bébé après la naissance. Ces complications sont causées par les perturbations hormonales que les plastiques peuvent causer dans le corps de la mère ;
- **Difformité des enfants** : Les études ont révélé que même de petites quantités de bisphénol A présentes dans les plastiques peuvent présenter un risque important pour les enfants, comme des malformations et un pourcentage élevé de graisse corporelle ;
- **Dysfonction érectile chez les hommes** : Une étude menée par l'Endocrine Society a conclu que les produits chimiques contenus dans les plastiques affectent négativement la santé sexuelle des hommes, entraînant une diminution du nombre de spermatozoïdes et une faible qualité des spermatozoïdes [32].

4. 4. 10. 2. 2. Sur l'environnement

L'utilisation de sacs plastiques pose un problème environnemental car ils adhèrent à tout ce qu'ils rencontrent, altérant ainsi l'esthétique de l'environnement. De plus, ces sacs entravent la croissance des plantes en bloquant la lumière du soleil et l'air nécessaires à leur développement. En s'accrochant aux herbes et aux branches d'arbres, ils gênent également les animaux en quête de nourriture [33].

4. 4. 10. 2. 3. Sur les animaux

La dissémination des sacs en plastique dans les pâturages, les zones rurales et les habitats naturels a un impact négatif sur la faune. En effet, de nombreux animaux tels que

les vaches, les moutons, les chèvres et les animaux sauvages meurent à cause de l'ingestion de ces sacs ou de leurs fragments, entraînant une obstruction du tube digestif ou du système respiratoire, notamment des poumons et des bronches. Ces sacs altèrent également la productivité des animaux en affectant leur appétit et leur santé, ce qui entraîne une diminution de leur production de viande ou de lait [33].

4. 4. 10. 2. 4. Sur les animaux marins

Lorsque les déchets plastiques sont rejetés dans les mers et les océans, que ce soit par des sites d'élimination des déchets à proximité ou par des déchets jetés directement à la mer par des navires de passage ou des navires de pêche, cela affecte considérablement la vie marine. Les animaux marins peuvent avaler ces sacs et autres déchets ou être entravés dans leurs mouvements, entraînant leur mort. Malheureusement, le nombre d'animaux marins décédés chaque année à cause de ces déchets est alarmant, estimé à environ un million d'oiseaux de mer et environ cent mille baleines et phoques [33].

4. 4. 10. 2. 5. Sur le sol

Une augmentation de plus de 5 % de la présence de plastique dans le sol des sites d'enfouissement rend ce sol inutilisable pour la construction et l'établissement d'installations à la surface. De plus, certains produits chimiques toxiques utilisés dans la fabrication de granulés de polyéthylène - qui sont composés de plus de 20 matériaux différents - peuvent se décomposer et se dissoudre dans le sol ou les eaux souterraines, entraînant ainsi leur pollution [33].

4. 4. 10. 2. 6. A l'antenne

La combustion des sacs en plastique lorsqu'ils sont incinérés émet des gaz toxiques et des vapeurs dangereuses pour la santé humaine, tels que le formaldéhyde CH_2O , le benzaldéhyde $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$, le cyanure d'hydrogène HCN , l'ammoniac NH_3 , le monoxyde de carbone CO , les oxydes d'azote NO_2 - N_2O - N_2O_3 - N_2O_4 , ainsi que certains composés d'hydrocarbures volatils (COV) et autres. Ces substances peuvent causer divers problèmes de santé tels que des allergies, des maladies respiratoires, nerveuses, digestives, cardiaques, hépatiques, rénales et d'autres maladies [33].

5. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers dans le monde et en Algérie

5. 1. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers dans le monde

Il existe plusieurs types d'emballages utilisés dans les industries laitières dans le monde entier. Voici une liste des types d'emballages couramment utilisés :

5. 1. 1. Emballages en carton

Les emballages en carton sont couramment utilisés pour le lait et d'autres produits laitiers. Ils sont souvent fabriqués à partir de carton stratifié, avec une doublure intérieure en polyéthylène pour une meilleure étanchéité. Les emballages en carton sont populaires en Europe et en Amérique du Nord [34].

5. 1. 2. Emballages en verre

Les emballages en verre sont également courants pour le lait et les produits laitiers. Ils sont souvent réutilisables et recyclables. Les emballages en verre sont populaires dans de nombreuses régions du monde, notamment en Europe, en Asie et en Amérique du Nord [35].

5. 1. 3. Emballages en plastique

Les emballages en plastique sont couramment utilisés pour le lait et les produits laitiers, en particulier pour les produits liquides tels que le yaourt et les desserts lactés. Les emballages en plastique sont souvent fabriqués à partir de polyéthylène téréphtalate (PET) ou de polystyrène (PS). Les emballages en plastique sont populaires dans de nombreuses régions du monde, notamment en Asie et en Amérique du Nord [36].

5. 1. 4. Emballages sous vide

Les emballages sous vide sont couramment utilisés pour le fromage et d'autres produits laitiers à pâte dure. Les emballages sous vide aident à prolonger la durée de conservation des produits en évitant l'oxydation et la croissance de bactéries. Les emballages sous vide sont populaires dans de nombreuses régions du monde, notamment en Europe et en Amérique du Nord [37].

5. 1. 5. Emballages en aluminium

Les emballages en aluminium sont couramment utilisés pour les produits laitiers tels que le lait concentré sucré et la crème fouettée. Les emballages en aluminium sont populaires dans de nombreuses régions du monde, notamment en Asie [34].

5. 2. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers en Algérie

Les industries laitières de l'est de l'Algérie disposent de plusieurs types d'emballages utilisés pour emballer les produits laitiers. Parmi ces forfaits, on peut citer :

- **Emballage en plastique:** Couramment utilisé pour emballer du lait frais et des fromages à pâte dure tels que le fromage blanc et jaune. Ces bouteilles sont disponibles en plusieurs tailles différentes, allant de 100ml à 5 litres ;
- **Emballage en carton :** Couramment utilisé pour emballer du lait frais et des jus de fruits frais. Ces bouteilles sont disponibles en plusieurs tailles différentes, allant de 200ml à 1 litre ;
- **Emballage en aluminium :** Couramment utilisé pour emballer le lait pasteurisé et condensé et d'autres produits laitiers tels que la crème et le beurre. Ces bouteilles sont disponibles en plusieurs tailles différentes, allant de 100ml à 1 litre ;
- **Emballage en verre :** Couramment utilisés pour emballer le lait pasteurisé et les fromages à pâte dure comme le fromage blanc et le fromage jaune. Ces bouteilles sont disponibles en plusieurs tailles différentes, allant de 100ml à 1 litre [38].

5. 3. Types des emballages utilisés dans les industries laitiers dans l'est Algérien

Les emballages utilisés dans les industries laitières en Algérie sont variés et dépendent du type de produit laitier, ainsi que de la capacité de production de chaque entreprise. Voici quelques exemples d'emballages couramment utilisés en Algérie pour les produits laitiers :

5. 3. 1. Les sachets plastiques

Ce sont des emballages souples utilisés pour les produits laitiers liquides tels que le lait, les jus, les boissons lactées, ... etc. Les sachets sont souvent fabriqués à partir de polyéthylène basse densité (PEBD) ou de polyéthylène haute densité (PEHD) et sont généralement disponibles dans des tailles allant de 250 ml à 1 litre. Exemple les Sachets en PEBD de 250 ml à 1 litre (Han, 2004).

5. 3. 2. Les bouteilles en plastique

Ces emballages rigides sont utilisés pour les produits laitiers liquides tels que le

lait, les jus, les boissons lactées, etc. Les bouteilles sont généralement fabriquées à partir de polyéthylène téréphtalate (PET) et sont disponibles dans des tailles allant de 500 ml à 2 litres. (Danone, 2005).

5. 3. 3. Les barquettes en plastique

Ce sont des emballages rigides utilisés pour les fromages, les beurres, ... etc. Les barquettes sont généralement fabriquées à partir de polystyrène (PS) ou de polypropylène (PP) et sont disponibles dans des tailles allant de 100 g à 500 g. [39].

Chapitre II
Les bioplastiques dans les emballages
alimentaires

1. Historique de l'utilisation de bioplastique dans les emballages agroalimentaire.

L'utilisation de bioplastiques dans les emballages agroalimentaires a connu une croissance constante ces dernières années, en raison de la nécessité de réduire l'impact environnemental des emballages plastiques traditionnels.

Voici une brève chronologie de l'utilisation de bioplastiques dans les emballages agroalimentaires, avec des références pour chaque étape clé :

1990 : Des chercheurs de l'Institut de Technologie de Tokyo ont développé le premier bioplastique à base d'amidon de maïs (**Doi et al., 1990**) ;

2000 : Le premier emballage alimentaire en bioplastique, fabriqué à partir d'un mélange de polymères biodégradables à base d'amidon de maïs et de polyesters, est introduit sur le marché par l'entreprise italienne novamont (**Bastioli, 2000**) ;

2001 : L'entreprise américaine Nature Works lance un bioplastique appelé **Ingeo**, fabriqué à partir d'acide poly lactique (PLA), dérivé de l'amidon de maïs. Les emballages alimentaires en Inge sont utilisés par des entreprises telles que McDonald's et Wal-Mart (**Garlotta, 2001**) ;

2013 : Le groupe français carrefour lance un emballage en bioplastique pour sa gamme de salades, fabriqué à partir d'amidon de maïs et de canne à sucre (**Carrefour, 2013**).

2018 : L'entreprise britannique biome bioplastics lance un bioplastique appelé biome Flex, destiné aux emballages alimentaires souples. biome Flex est fabriqué à partir d'un mélange de polymères compostables dérivés de matières premières renouvelables telles que l'amidon de pomme de terre et le sucre de canne (**Biome Bioplastique, 2018**).

2020 : Nestlé lance un emballage en bioplastique pour sa barre de chocolat YES!, fabriqué à partir d'un mélange de papier et de bioplastique compostable dérivé de l'amidon de pomme de terre (**Nestlé, 2020**).

2. Définition et les sources de bioplastique

2.1. La définition

Le bioplastique est un type de plastique fabriqué à partir de matières premières renouvelables telles que l'amidon de maïs, la cellulose, les huiles végétales, les déchets agricoles ou les algues. Contrairement aux plastiques traditionnels à base de pétrole, les bioplastiques sont biodégradables ou compostables, ce qui signifie qu'ils se décomposent naturellement dans l'environnement sans laisser de résidus nocifs (**EuropéenBioplastics, 2021**).

Les bioplastiques sont de plus en plus utilisés comme alternative écologique aux plastiques traditionnels. Ils peuvent être utilisés dans une variété d'applications, telles que les emballages alimentaires, les sacs en plastique, les bouteilles, les couverts jetables et les articles ménagers (**United States Department of Agriculture, 2018**).

2. 2. Les sources de bio plastique

Les bioplastiques sont des types de plastiques qui sont fabriqués en partie ou en totalité à partir de polymères issus de sources biologiques, comme la canne à sucre, la féculé de pomme de terre, la cellulose des arbres, la paille et le coton. Il convient de noter que les bioplastiques ne constituent pas un seul matériau, mais plutôt une famille de matériaux qui possèdent des propriétés et des applications variées. Pour être considéré comme un matériau biologique, un plastique doit être biodégradable ou posséder les deux propriétés (**European Bioplastics, 2021**).

L'amidon est un sucre complexe de formule brute $(C_6H_{10}O_5)_n$, produit par la photosynthèse et stocké sous forme de grains de tailles variables (1 à 200 μm) dans les plantes en tant que source de sucre. En solution aqueuse, l'amidon forme une solution colloïdale. Les principales sources d'amidon sont le maïs, la pomme de terre, le blé, le manioc et le riz (**Linden et Lorient, 1994**). La production d'amidon commence par la séparation des différents constituants de la plante, notamment l'amidon, les protéines, l'enveloppe cellulosique et les fractions solubles, à travers une série d'étapes physiques telles que le broyage, le tamisage et la centrifugation. Il convient de noter que les procédés de fabrication sont spécifiques à chaque plante et que les outils industriels sont adaptés à une matière première donnée (blé, maïs ou pomme de terre en Europe). Une fois extrait sous sa forme la plus pure, l'amidon sera utilisé en tant qu'amidon natif après séchage,

transformé pour améliorer ses performances (amidons modifiés), ou utilisé pour la production de sirops de glucose (Davidovic, 2006).

3. La bio dégradabilité

Les plastiques biodégradables sont capables de se décomposer en H_2O , CO_2 , CH_4 et/ou nouvelle biomasse et finalement en résidus non toxiques pour l'homme et l'environnement, le mécanisme principal étant l'action enzymatique des micro-organismes, qui peut être mesurée par des tests standardisés, pendant une durée déterminée, dans les conditions d'élimination disponibles. Une chose importante à retenir est que le terme biodégradable est lié à la gestion en fin de vie des bioplastiques (Ashter, 2016).

4. Composition chimique de bioplastique

Les bioplastiques peuvent être fabriqués à partir de nombreuses sources différentes et les matériaux. Ils comprennent ; l'huile végétale, la cellulose, le maïs Amidon, la fécule de pomme de terre, la canne à sucre, les mauvaises herbes, le chanvre, ...etc. (Reddy et al., 2013).

5. Les différents types de bio plastique

5. 1. Bio plastique à base de polysaccharide

Les bioplastiques à base de polysaccharides sont des polymères naturels fabriqués à partir de sources renouvelables telles que l'amidon, la cellulose et la chitine. Ils sont biodégradables et ont une empreinte carbone plus faible que les plastiques conventionnels (Kumaretal, 2019).

5. 1. 1. Bioplastique à base d'amidon

La bioplastique à base d'amidon est un matériau fabriqué à partir de matières premières renouvelables, telles que l'amidon de maïs, de pomme de terre ou de tapioca. Il est souvent utilisé comme alternative écologique aux plastiques traditionnels à base de pétrole (Chen et al., 2016).

Les bioplastiques à base de cellulose sont des matériaux biosourcés qui peuvent être produits à partir de matières premières renouvelables telles que la cellulose, le bois ou la

paille. Ces matériaux sont biodégradables et peuvent constituer une alternative écologique aux plastiques traditionnels à base de pétrole (**Bhatia et al., 2019**).

Les bioplastiques cellulosiques sont principalement fabriqués à partir d'esters de cellulose (comme l'acétate de cellulose et la nitrocellulose) et de leurs dérivés, tels que le celluloid. Si la cellulose subit des modifications importantes, elle peut devenir thermoplastique. Un exemple est l'acétate de cellulose, qui est coûteux et si rarement utilisé dans les emballages. En raison de leur hydrophilie inférieure à celle de l'amidon, les fibres cellulosiques ajoutées aux amidons peuvent augmenter les caractéristiques mécaniques, la perméabilité aux gaz et la résistance à l'eau.

Une équipe de l'Université de Shanghai a pu créer un nouveau plastique vert à base de cellulose en utilisant une technique connue sous le nom de pressage à chaud (**Sabry, 2022**).

5. 2. Bioplastiques à base des protéines

Les bioplastiques peuvent être fabriqués à partir de protéines provenant de différentes sources. Le gluten de blé et la caséine, par exemple, présentent des propriétés intéressantes pour la production de divers polymères biodégradables. La protéine de soja est également envisagée comme une source potentielle de bioplastique. Depuis près d'un siècle, les plastiques à base de protéines de soja ont été utilisés dans diverses applications, comme les panneaux de carrosserie d'une voiture Ford d'origine. Cependant, en raison de leur sensibilité à l'eau et de leur coût relativement élevé, les polymères à base de protéines de soja présentent des défis. Par conséquent, l'association de protéines de soja avec plusieurs polyesters biodégradables facilement disponibles peut améliorer leur sensibilité à l'eau et leur coût (**Sabry, 2022**).

6. Classification des bioplastiques

Les bioplastiques peuvent être catégorisés selon plusieurs méthodes. Ils peuvent entre autres être classifiés selon leurs compositions chimiques, leurs méthodes de synthèse, leurs procédés de fabrication, leurs importances économiques ou leurs applications (**Smith, 2005**). Une classification selon l'origine des ressources (renouvelables ou non renouvelables) et la gestion en fin de vie (biodégradable ou non biodégradable) a également été couverte précédemment et est présentée par la figure ci-après :

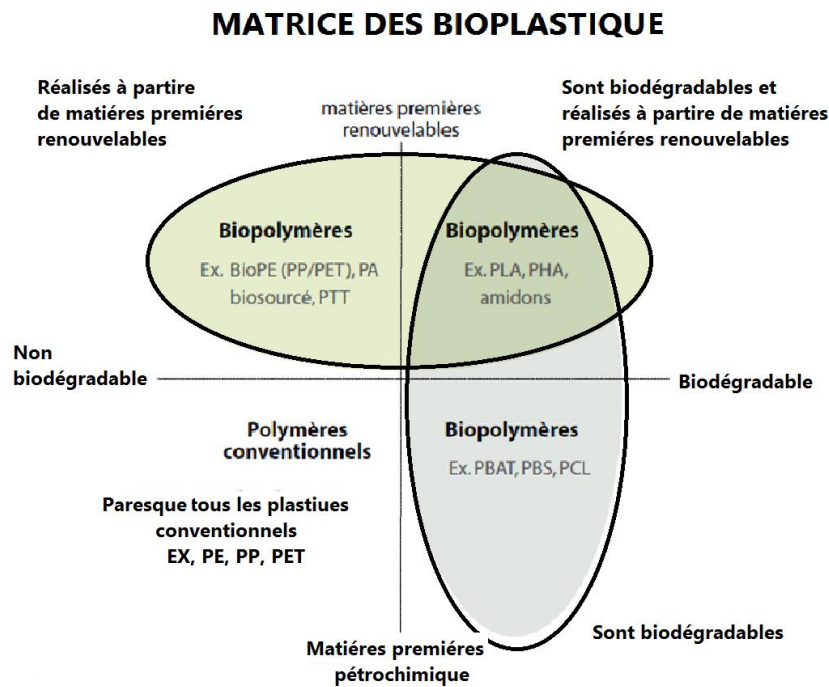


Figure11. Matrice des bioplastiques (preventpack, 2012).

Dans ce chapitre, l'accent a été mis sur la classification basée sur les procédés de fabrication pour présenter et expliquer les différents types de bioplastiques. La figure ci-dessous illustre les quatre groupes ainsi identifiés :

- Groupe 1 : Les bioplastiques naturels dérivés directement de la biomasse;
- Groupe 2 : Les bioplastiques produits par fermentation microbienne des micro-organismes;
- Groupe 3 : Les bioplastiques synthétisés à partir de monomères renouvelables;
- Groupe 4 : Les bioplastiques pétrochimiques biodégradables (Laponte, 2012).

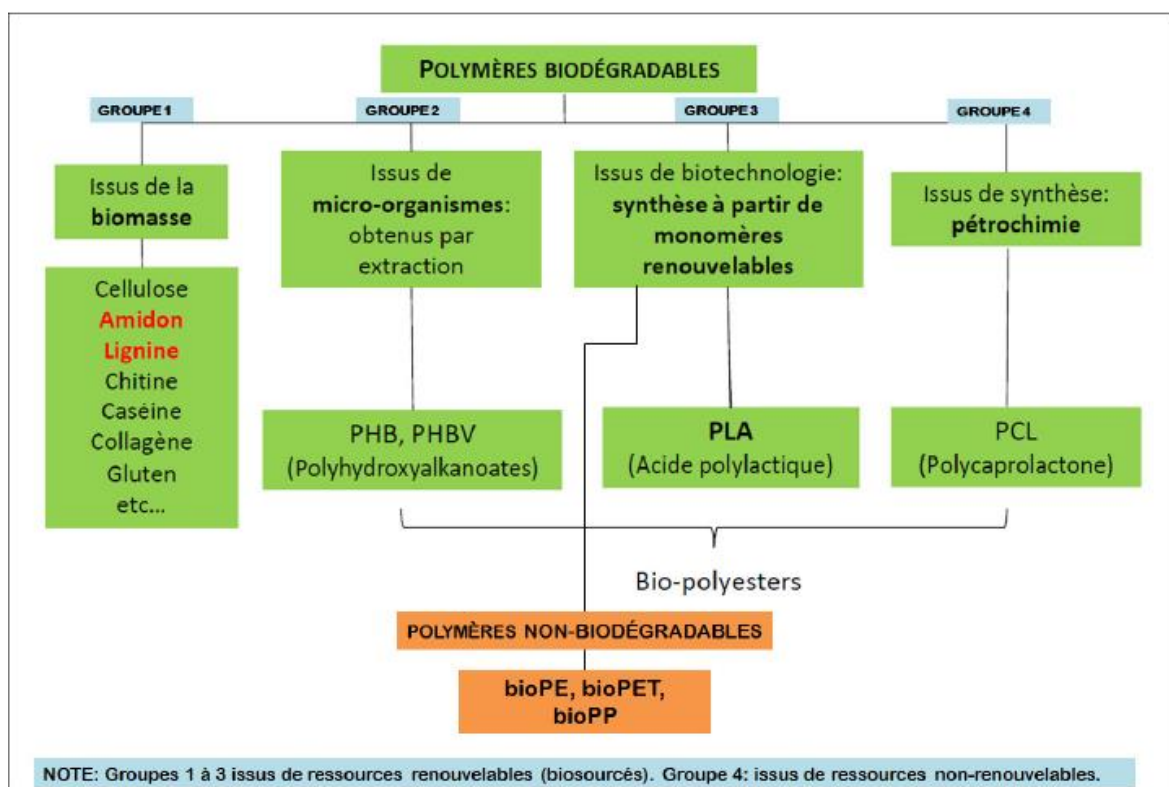


Figure 12. Classification des bioplastiques (Legros et al., 2011).

7. Capacité mondiale de production de bioplastiques

La plupart des investissements dans de nouvelles capacités de polymères biosourcés nécessiteront place en Asie en raison d'un meilleur accès aux matières premières et d'une Cadre politique, Le tableau 3 présente les capacités mondiales de production de polymères biosourcés réparties par région en 2013 et 2018.

La part de l'Europe devrait passer de 17,3 à 7,6 %. La part de l'Amérique du Nord devrait passer de 18,4 à 4,3 %, tandis que L'Asie devrait passer de 51,4 à 75,8 %.Amérique du Sud devrait rester constante avec une part d'environ 12%. Dans d'autres On s'attend à ce que les parts de marché mondiales changent radicalement.

L'Asie devrait connaître la plupart des développements dans les domaines de la production de blocs de construction biosourcés et de polymères, tandis que L'Europe et l'Amérique du Nord devraient perdre plus de la moitié et un peu plus des trois quarts de leurs actions, respectivement (Aeschelmann, 2015).

Tableau 6. Capacité mondiale de production de bioplastiques par région, 2013 et 2018 (Florence et Michael, 2020).

Région	2013 en %	2018 en %
Asie	51.4	75.8
Amérique du sud	12.3	12.2
Amérique du nord	18.4	4.3
Europe	17.3	7.6
Australie	0.6	0.1
Total	1.62 millions de tonnes	6.73 millions de tonnes

8. Les bioplastiques pour l'emballage alimentaire à base d'amidon

8. 1. La composition chimique de l'amidon

L'amidon est un composé chimique composé de longues chaînes de glucose et est considéré comme la principale substance féculente dans les plantes. L'amidon est extrait de diverses parties de la plante telles que le maïs, les pommes de terre, le blé et le riz (BeMiller, 2009).

8. 1. 1. La pomme de terre

Les pommes de terre sont riches en nutriments, car le pourcentage de matière sèche varie entre 29-15, comme l'amidon représente 25-10% du pourcentage, et il contient également des protéines, représentées dans 18 acides aminés sur 20 acides des acides aminés essentiels nécessaires au corps humain, ce qui lui donne une valeur vitale élevée (El-hadjhamouda, 2010), et c'est aussi une bonne source de nombreux éléments minéraux (fer, potassium, phosphore,etc.). Quant aux vitamines, elles contiennent un groupe de vitamines, en particulier la vitamine B et la vitamine C (Laamouri, 2010).

Les pommes de terre sont également l'un des aliments les plus stimulants sur le plan énergétique, car de nombreuses études ont révélé une différence dans la composition chimique des pommes de terre en fonction du génotype, du type de sol dans lequel elles poussent, des conditions environnementales, des différents traitements agricoles, du degré de maturité et des conditions de stockage, de sorte qu'il est difficile de déterminer une composition uniforme pour elles (Ahmed, 1979).

Tableau 7. Composition chimique de la pomme de terre (100g) (Camire et al., 2009).

Les Éléments	Quantités	Unités
L'eau	61.51-74.89	(g)
Amidon	17.27-20.13	(g)
Protéine	2.50-2.66	(g)
Les glucides	21.15-28.71	(g)
Sucre	0.28-1.8	(g)
Fibre	2.2-2.6	(g)
Glucose	0.11-0.44	(g)
Fructose	0.34	(g)
Sacchrose	0.18-0.40	(g)
Les lipides	0.13-5.22	(g)
Energie	93-172	(Kcal)
Sélénium	0.2-0.4	(mg)
Phosphore	70-97	(mg)
Sodium	10-32	(mg)
Potassium	451-535	(mg)
Fer	0.74-1.08	(mg)
Manganèse	0.210-0.219	(mg)
Magnésium	26-28	(mg)
Zinc	0.36-0.38	(mg)
Cuivre	0.118-135	(mg)
Calcium	12-15	(mg)

8. 1. 2. Le maïs

Le principal composant chimique présent dans le grain de maïs est l'amidon, qui représente entre 72 et 73% de son poids. Les autres types de glucides présents sont des sucres simples tels que le glucose, le saccharose et le fructose, qui se trouvent en quantités allant de 1 à 3% dans le grain. L'amidon présent dans le maïs est constitué de deux polymères de glucose différents, l'amylose et l'amylopectine. L'amylose est un polymère linéaire tandis que l'amylopectine est constituée d'unités de glucose ramifiées. La

composition de l'amidon dans le maïs est génétiquement déterminée, avec des proportions d'amylose et d'amylopectine respectivement de 25 à 30% et de 70 à 75% dans le maïs commun, qu'il soit à albumen denté ou vitreux. Le maïs cireux quant à lui contient un amidon qui est exclusivement constitué d'amylopectine. L'existence d'un mutant de l'albumen, appelé amylose-extendeur (ae), peut induire une augmentation de la proportion d'amylose dans l'amidon du maïs, pouvant atteindre 50% ou plus. Il est possible de modifier les proportions d'amylose et d'amylopectine dans l'amidon de maïs en utilisant d'autres gènes, seuls ou en combinaison (Boyer et Shannon, 1987).

8. 1. 3. Epluchures de la pomme de terre

L'eau est le composant principal des Epluchures de pommes de terre, avec une teneur en eau de 83,3. Les Epluchures de pommes de terre contiennent également de l'amidon et de la cellulose avec suffisamment de pointes (Arapoglou et al., 2010).

Tableau 8. Composition chimique des épluchures de la pomme de terre (100g) (Sepelev et Galoburda, 2015).

Les composants	La teneur en (%)
Eau	83,3-85,1
Protéines	1,2-2,3
Totallipides	0,1-0,4
Total carbohydrates	8,7-12,4
Amidon	7,8
Totalfibres	2,5
Cendres	0,9-1,6

8. 2. Techniques d'extraction de l'amidon

8. 2. 1. La pomme de terre

L'amidon est extrait des pommes de terre après plusieurs étapes, qui sont les suivantes :

- **Nettoyage des pommes de terre:** Les pommes de terre sont soigneusement nettoyées à l'eau propre pour éliminer la saleté et les impuretés accumulées sur les pommes de terre ;
- **Hacher les pommes de terre:** Après le nettoyage, coupez les pommes de terre en petits morceaux ou en tranches minces à l'aide de la machinerie appropriée ;

- **Pressage des pommes de terre:** De l'eau est ajoutée aux pommes de terre hachées et placée dans une centrifugeuse pour presser l'amidon et obtenir un liquide contenant de l'amidon et d'autres composés ;
- **Sédimentation:** Le liquide obtenu à l'étape précédente est laissé pendant plusieurs heures pour aider à précipiter l'amidon et d'autres grosses molécules ;
- **Élimination du superfluide:** Après la sédimentation de l'amidon, le superfluide contenant d'autres molécules qui n'ont pas été déposées est éliminé ;
- **Séchage:** Après le lavage, l'amidon est séché à la chaleur ou à l'air sec pour obtenir de l'amidon sec et frais (**Van hal, 2017**).

8. 2. 2. Le maïs jaune

L'amidonnerie est un processus industriel qui consiste à extraire l'amidon de divers produits végétaux, principalement de grain de céréales (maïs, blé, riz), mais il peut aussi s'appliquer aux tubercules (pomme de terre, manioc...etc.).

Pour en extraire l'amidon, les grains de maïs vont subir un procédé de broyage par voie humide, puis une séparation de l'amidon par centrifugation. À noter toutefois que les procédés de fabrication sont spécifiques à chaque plante et que les outils industriels sont dédiés à une matière première (blé, maïs ou pomme de terre en Europe). Après son extraction, l'amidon peut soit être utilisé tel quel sous forme séchée, appelé "amidon natif", soit être envoyé à divers ateliers où il subira des transformations pour améliorer ses performances, appelé "amidons modifiés", ou pour produire des sirops de glucose. Il est important de noter que, en français, le terme "féculé" est utilisé pour désigner l'amidon extrait des tubercules ou des racines, comme la pomme de terre, le manioc ou la patate douce, contrairement à l'anglais qui utilise uniquement le terme "starch" (**LG Seeds Franc, 2021**).

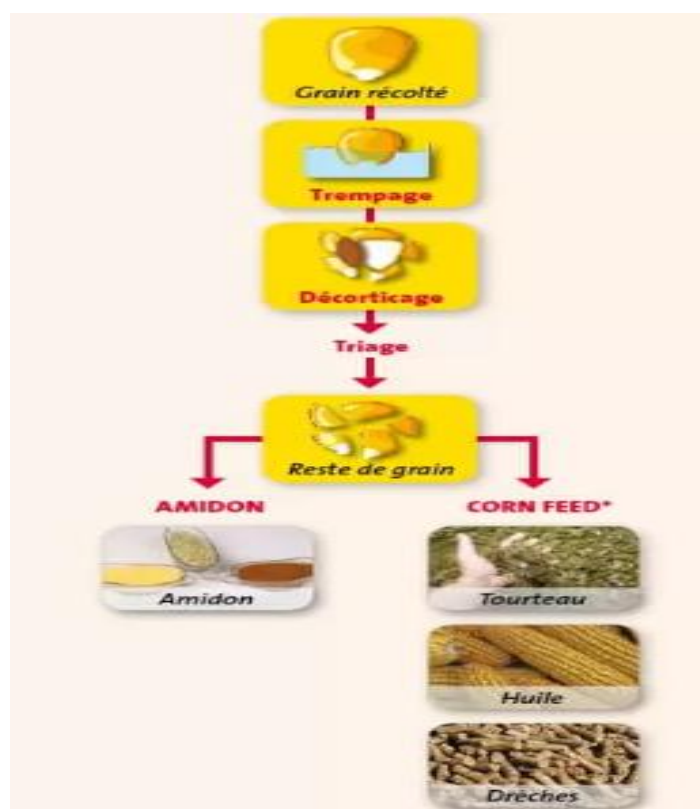


Figure 13. Les étapes de l'amidonnerie (LG Seeds Franc, 2021).

Tableau 09.100 kg de maïs (LG Seeds Franc, 2021).

Les éléments	Quantité
Amidon	62 kg
Protéines	5 kg
Huile brute	3 kg
Tourteaux	3 kg

8. 3. Composition et structure moléculaire (la formule chimique de l'amidon)

L'amidon consiste en deux glucanes structurellement différents : l'amylose, polymère linéaire (c'est à dire. non branché) et l'amylopectine, polymère fortement branché. L'amylopectine est le constituant principal de la plupart des amidons (**Monnet, 2008**).

La teneur en chacun des constituants est différente suivant l'origine de l'amidon.

Tableau 10. Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques (Chene, 2004).

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Maïs	28	72
Pomme de terre	21	79
Blé	28	72
Maïs cireux (1)	0	100
Amylomaïs	50-80	50-20
Riz	17	83
Pois	35	65
Manioc	17	83

La proportion d'amylose dans l'amidon peut varier considérablement, allant de 0 % pour l'amidon de maïs cireux à 70-80 % pour l'amidon de pois ridé et de maïs riche en amylose. Ces taux extrêmes sont obtenus pour des génotypes mutés, alors que les espèces sauvages comme la pomme de terre, le blé et le pois lisse ont une teneur en amylose comprise entre 18 et 35 %. L'amidon est constitué de granules semi-cristallins résultant de l'organisation de ses deux constituants (Wertz, 2011 et Lafargue, 2007).

8. 3. 1. L'amylose

L'amylose est un polysaccharide linéaire composé de molécules de D-glucose reliées entre elles par des liaisons de type α -(1,4), avec une unité réductrice en bout de chaîne. Les ramifications sont également présentes en quantité inférieure avec des liaisons α -(1,6) (<1%). La masse molaire de l'amylose varie entre 105 et 106 g.mol⁻¹ en fonction de son origine botanique. Elle contient en moyenne de 500 à 6000 unités de glucose réparties en plusieurs chaînes de degré de polymérisation moyen 500. L'indice de polydispersité de l'amylose varie entre 1,3 et 2,1 selon l'origine botanique et les techniques d'extraction utilisées (Colonna et al., 1984).

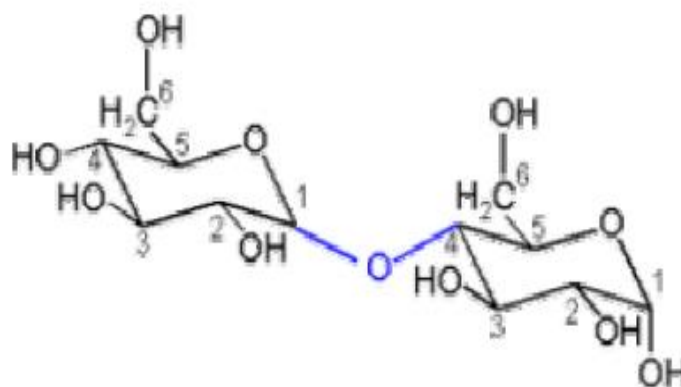


Figure 14. Structure chimique de l'amylose (Wertz, 2011).

Le taux d'amylose dans l'amidon varie considérablement, allant de 0 % pour l'amidon de maïs creux jusqu'à 70-80 % pour l'amidon de pois ridé et de maïs riche en amylose (Lafargue, 2007). Ces valeurs extrêmes sont obtenues à partir de génotypes mutés, tandis que chez les espèces sauvages telles que la pomme de terre, le blé et le pois lisse, la teneur en amylose varie entre 18 et 35 %. L'amidon est composé d'entités granulaires semi-cristallines qui résultent de l'organisation de ses deux composants (Wertz, 2011).

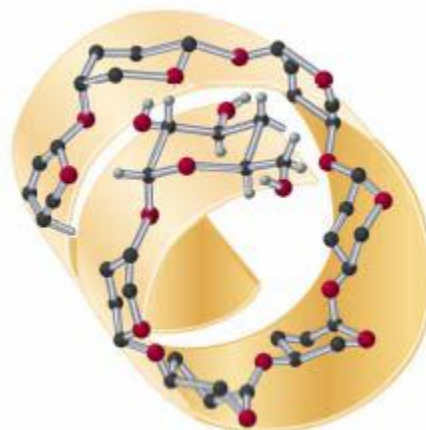


Figure 15. Structure hélicoïdale gauche de l'amylose (Wertz, 2011).

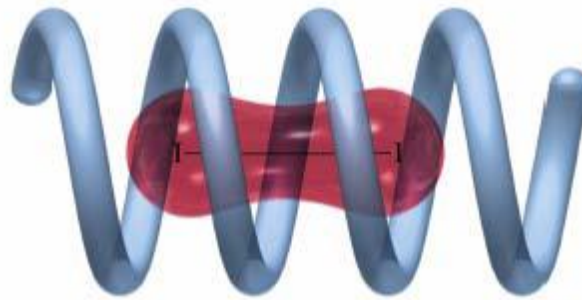


Figure 16. Complexe amylose-iode (Wertz, 2011).

8. 3. 2. L'amylopectine

L'amylopectine (Figure 23) est le constituant majoritaire de l'amidon et possède la même unité monomérique que l'amylose. Selon l'origine botanique, sa masse molaire est comprise entre 10^7 et 10^8g.mol^{-1} . Outre une importante proportion de liaisons α -(1,4), de l'ordre de 95%, la présence des liaisons α -(1,6) (environ 5%) se produisant toutes les 25 à 70 unités glucosyl environ (Zobel, 1988) entraîne la ramification des chaînes macromoléculaires. La structure en grappe ainsi formée a été représentée par (Hizukuri, 1986) (Figure 24).

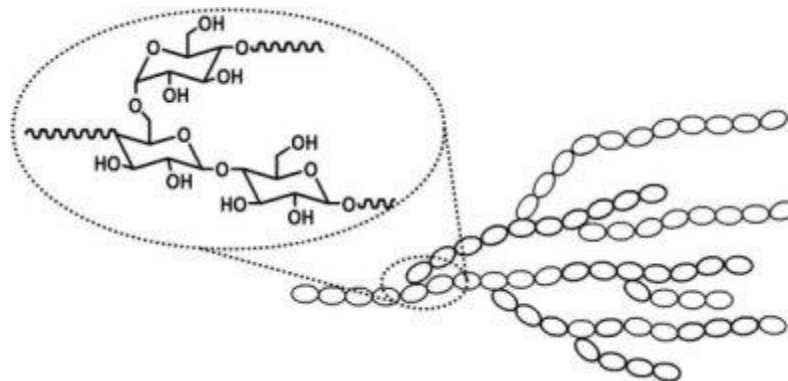


Figure 17. Structure de l'amylopectine (Hizukuri, 1986).

L'amylopectine fixe moins d'iode que l'amylose (<1% massique) et absorbe aux environs de 540 nm.

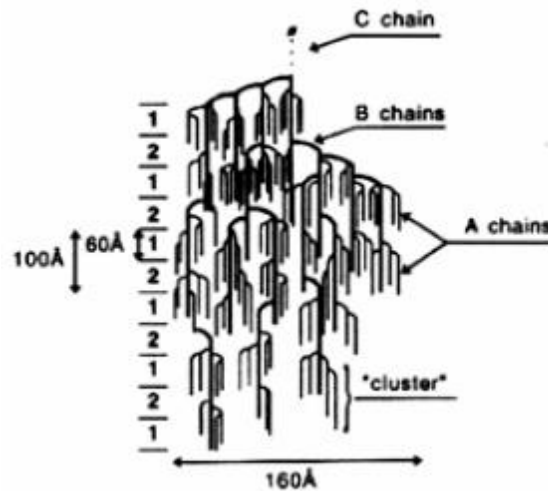


Figure 18. Modèle d'organisation des chaînes d'amylopectine (Buléon et al., 1990).

8. 4. Structure supramoléculaire

Des études ont démontré la nature semi-cristalline des amidons natifs grâce à la diffraction des rayons X (Lafargue, 2007). Les amidons natifs peuvent être divisés en trois catégories en fonction de leur diagramme de diffraction : A, B et C. Les amidons de céréales (blé et maïs cireux) présentent un type A, tandis que les amidons de tubercules et de céréales riches en amylose présentent un type B. Les amidons de légumineuses, quant à eux, sont caractérisés par le type C, qui est un mélange des deux types cristallins A et B. Les diagrammes de diffraction des rayons X des grains d'amidon montrent des pics larges et une contribution amorphe importante. Le taux de cristallinité des amidons varie entre 15 % et 45 % selon leur origine botanique. Il est important de noter que l'eau fait partie intégrante de la structure cristalline de l'amidon.

Pour les types cristallins A et B, les chaînes macromoléculaires s'organisent en doubles hélices gauches à 6 unités glucose par tour. Chaque hélice est parallèle à sa voisine avec un décalage d'un demi-pas selon l'axe de l'hélice (Monnet, 2008). Deux chaînes d'amylose ou deux chaînes courtes (S) d'amylopectine peuvent donner naissance à des cristaux A ou B. Les deux allomorphes A et B diffèrent par l'empilement des doubles hélices dans la maille cristalline. Le type A correspond à une maille de type monoclinique tandis que le type B correspond à une maille hexagonale (Tableau 12) (Angellier, 2005).

Tableau11. Maille cristalline des allomorphes A et B de l'amidon(Angellier, 2005).

Amidon	Allomorphe A	Allomorphe B
Type de maille	Monoclinique	Hexagonale
a (nm)	2,124	1,85
b (nm)	1,172	1,85
c (nm)	1.069	1,04
$\gamma(^{\circ})$	123,5	120

Une autre différence majeure entre ces deux structures est la quantité d'eau que la maille contient. En effet, dans une maille monoclinique, 4 molécules d'eau sont fixées tandis qu'il y en a 36 dans une maille hexagonale. Ainsi, une forte humidité et une température basse favorisera la formation de l'allomorphe B tandis qu'une température élevée et une faible humidité favorisera la formation de l'allomorphe A (Wertz, 2011).

8. 5. Structure morphologique

Les molécules d'amylose et d'amylopectine sont liées entre elles pour former des grains d'amidon semi-cristallins à l'état natif, qui peuvent avoir une taille de 1 à 100 μm et une forme sphérique, lenticulaire ou polyédrique, ainsi qu'un hile dont la position et la morphologie varient selon l'origine botanique (Lafargue, 2007). En lumière polarisée, ces grains présentent une biréfringence en forme de croix de Malte, avec des branches qui convergent vers le hile (Figure 25). Cette biréfringence est positive, ce qui indique une organisation radiale des chaînes à l'intérieur du grain.

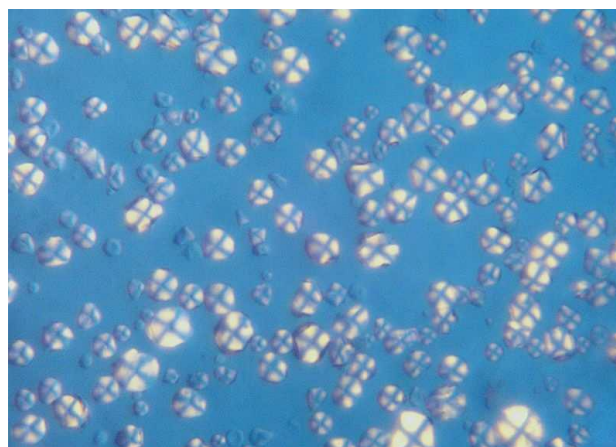


Figure 19. Amidon en lumière polarisée (Wertz, 2011).

Les grains d'amidon présentent une structure en forme d'oignon, constituée de couches concentriques alternativement amorphes et semi-cristallines, qui correspondent aux anneaux de croissance du grain. Ces anneaux, dont l'épaisseur varie entre 120 et 400 nm, sont influencés par l'origine botanique de l'amidon. Chacun de ces anneaux se compose d'une alternance de lamelles amorphes et cristallines, dont l'épaisseur est comprise entre 120 et 400 nm. On pense que l'épaisseur des répétitions semi-cristallines de l'amidon est liée à sa structure en grappes d'amylopectine, tandis que les lamelles cristallines sont formées de chaînes courtes d'amylopectines ayant une longueur d'environ 15 unités de glucose (DP~15), et les lamelles amorphes seraient composées des points de ramification.

Le mode d'organisation des lamelles dans le grain d'amidon est encore étudié (**Angellier, 2005 et Lafargue, 2007**). Des recherches menées par microscopie à force atomique (AFM) ont proposé un modèle où les lamelles sont organisées en blocs sphériques appelés "blocklets", dont le diamètre varie entre 20 et 500 nm selon l'origine botanique et l'emplacement dans le grain d'amidon. Des analyses de la structure interne des grains d'amidon de pois à l'aide de l'AFM ont montré que les blocklets étaient répartis de manière homogène, tandis que certaines zones présentaient une disposition en bandes de blocklets (**Wertz, 2011**).

8. 6. Propriétés

8. 6. 1. Propriétés hygrothermiques

Si on n'utilisait pas des traitements hygrothermiques ou thermomécaniques pour détruire la structure granulaire de l'amidon natif, ce dernier trouverait peu d'applications industrielles (**Schwach, 2004**). A température ambiante, l'amidon est insoluble dans l'eau, mais l'humidité relative de l'air affecte sa cristallinité, qui peut être évaluée par la perméabilité du grain à l'eau (phénomène de sorption) (**Lafargue, 2007 et Monnet, 2008**).

À des températures plus élevées, le grain d'amidon subit plusieurs transitions de phase, dont l'empesage à une température supérieure à environ 60 °C. Finalement, lorsque l'amidon revient à température ambiante, il subit une gélification par rétrogradation (**Wertz, 2011**).

8. 6. 2. La gélatinisation - L'empesage

Présence d'eau en excès, ils gonflent et se gélatinisent (**Lafargue, 2007**). Une fois que le chauffage se prolonge, l'amylose amorphe se dissout dans le milieu, tandis que

l'amylose de Lorsque les grains d'amidon sont chauffés à une température suffisante en petite taille est plus facilement libérée. Pour une dispersion complète, y compris celle des amyloses participant à la cristallisation de l'amylopectine, une température aussi élevée que 90°C est requise. La température de dispersion des amyloses dépend de l'origine botanique. Pendant cette dispersion, une perte de cristallinité se produit à l'intérieur du grain, appelée empesage. Ce processus mène à un état final appelé empois d'amidon, qui est une déstructuration irréversible du grain. L'empois d'amidon est une solution comprenant des granules gonflés et des macromolécules solubilisées (Wertz, 2011).

8. 6. 3. La rétrogradation

Le processus de gélatinisation correspond au passage d'un état cinétiquement métastable à un état instable, ce qui provoque une réorganisation des chaînes d'amidon (Monnet, 2008). Au fur et à mesure que la température diminue, l'amidon qui a subi la gélatinisation se réarrange pour atteindre un état de stabilité énergétique supérieur. Les chaînes, ayant quitté les grains, se recombinent sous forme de double hélice de manière aléatoire. Ce processus est appelé rétrogradation et la recristallisation se produit progressivement. La solubilité de l'empois diminue à mesure que la rétrogradation se produit et finalement un gel blanc et opaque, composé d'amylose et d'amylopectine, est formé. Dans le gel d'amidon, l'amylose recristallise plus rapidement que l'amylopectine. La température de fusion dans une région riche en amylose sera d'environ 120 °C, tandis qu'elle ne sera que de 45 °C dans une région riche en amylopectine.

Le matériau est dans un état caoutchoutique lorsque sa température se situe entre la température de transition vitreuse (T_g) et la température de fusion (T_f). À cette plage de températures, les chaînes moléculaires sont mobiles, ce qui permet l'initiation et la propagation de la cristallinité du polymère. La T_g dépend du taux de plastifiant dans le matériau, et l'eau joue le rôle de plastifiant pour l'amidon. Pour un amidon sec, la T_g est de 227 °C, mais en présence de 30 % d'eau, elle chute à 64 °C (Wertz, 2011).

8. 6. 4. L'amidon matériau

Lorsqu'il est extrait de la plante dont il provient, l'amidon se présente sous forme de poudre et ne possède pas de bonnes propriétés mécaniques à la rupture (Monnet, 2008). Afin d'améliorer ses propriétés, il est nécessaire de le plastifier ou de le formuler avec différents additifs. Les matériaux amyloacés peuvent ensuite être mis en œuvre par casting ou extrusion (E.B. Ly, 2008).

Le casting consiste à solubiliser l'amidon selon une formulation spécifique pour obtenir un film, qui est ensuite coulé dans un moule et laissé sécher à température ambiante ou supérieure. La méthode d'extrusion permet d'obtenir le matériau amylicé en un temps plus que le casting, car elle permet simultanément la gélatinisation et la plastification.

De nos jours, les films fabriqués à partir de matériaux à base d'amidon ont gagné en popularité, car ils sont issus de sources renouvelables (**Lafargue, 2007**). Les propriétés mécaniques de ces matériaux dépendent de la teneur en amylose, qui est directement liée à leur capacité d'enchevêtrement des macromolécules linéaires, entraînant une augmentation quasi linéaire de la contrainte et de l'élongation à la rupture. Les amidons à haute teneur en amylose sont considérés comme des choix idéaux pour la fabrication de films à base d'amidon.

Cependant, bien que ces matériaux présentent des contraintes à la rupture acceptable qui peut être comparables à celles de certains polymères synthétiques, ils demeurent fragiles et vulnérables à l'eau, ce qui a un impact sur leur Tg et, par conséquent, sur leurs propriétés mécaniques. La quantité d'eau présente dans les films modifie le Tg de manière significative, avec une variation de 1 % de la teneur en eau entraînant une modification d'environ 10 °C. Divers autres facteurs, tels que la masse molaire et la cristallinité, peuvent également avoir une incidence sur les caractéristiques des films à base d'amidon (**Wertz, 2011**).

8. 7. Les étapes de fabrication de plastique à base d'amidon

8. 7. 1. Sorption

À mesure que la température augmente, les interactions entre l'amidon et l'eau deviennent de plus en plus favorables sur le plan thermodynamique. Il y a donc fixation de molécules d'eau sur les groupements hydroxyles de l'amidon par l'intermédiaire de liaisons hydrogène. Dès le début de l'absorption, l'eau rompt les liaisons faibles existant entre les groupements hydroxyles et établit un pontage par des liaisons hydrogène qui sont plus énergétiques, ce qui a pour effet de dilater le réseau macromoléculaire (**Landreau, 2008**).

8. 7. 2. Gélatinisation

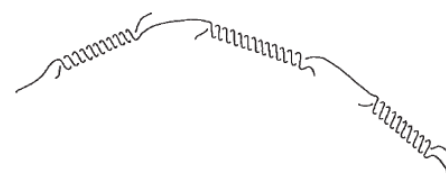
Le processus de gélatinisation de l'amidon commence par une augmentation de l'absorption d'eau qui devient de plus en plus favorable avec l'augmentation de la température. Au-delà d'un certain seuil critique, la structure granulaire de l'amidon se rompt, conduisant à la solubilisation de l'amylose et de l'amylopectine et la formation d'une

solution colloïdale connue sous le nom d'empois d'amidon. À ce stade, la structure cristalline de l'amidon se désagrège, les doubles hélices se dissociant et se liant à des molécules d'eau, ce qui entraîne une augmentation considérable de la viscosité de la suspension. La température de gélatinisation est similaire à celle de la fusion et varie en fonction de l'origine botanique de l'amidon, de la quantité d'eau et des solutés présents dans l'eau. Des facteurs environnementaux et génétiques peuvent également influencer la température de gélatinisation (Landreau, 2008).

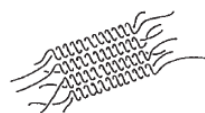
8. 7. 3. Rétrogradation

Pendant le refroidissement de l'empois d'amidon, les macromolécules d'amylose et d'amylopectine subissent une réorganisation qui conduit à la rétrogradation (van Soest et al., 1994). Ce processus correspond à la recristallisation de l'amidon hydraté et à la formation de nouvelles hélices similaires à celles présentes dans le granule. Ces hélices s'associent pour former un milieu hétérogène, contenant des zones riches en amidon qui servent de nœuds de réticulation.

Lorsque la concentration en amidon est suffisante, un gel physique se forme, entraînant des changements de viscosité et une augmentation de l'opacité. La mobilité des molécules étant un facteur clé pour la rétrogradation, la teneur en eau, la température et le temps sont des paramètres importants pour contrôler ce phénomène. L'amylopectine, en raison de sa taille plus importante et de ses nombreuses ramifications, rétrograde plus lentement que l'amylose (Landreau, 2008).



(a) formation des doubles hélices d'amylose



(b) association des doubles hélices

Figure 20. Rétrogradation de l'amylose (Landreau, 2008).

8. 8. Plastification de l'amidon

Comme pour les polymères synthétiques traditionnels, l'addition de plastifiants entraîne généralement une réduction de la contrainte à la rupture et du module d'élasticité, ainsi qu'une augmentation de l'allongement à la rupture (**Gontard et al., 1993**). Les recherches menées par (**Lourdin et al., 1997**) ont également confirmé cette tendance, observant une évolution similaire au-delà d'une concentration de 12% de glycérol ajouté.

Lorsque la concentration en glycérol est d'environ 12% ou plus, le comportement mécanique dépend de la température de transition vitreuse par rapport à la température ambiante, qui est régulée par la quantité d'eau et de glycérol présente.

Toutefois, lorsque la concentration en glycérol est inférieure à ce seuil, comme observé dans l'étude de (**Lourdin et al., 1997**), la diminution de la contrainte à la rupture s'accompagne également d'une réduction de l'allongement à la rupture. Cette réduction est due au phénomène d'anti plastification, tel que mentionner dans une étude ultérieure de (**Belard. 2007**).

9. Les propriétés des bioplastiques utilisés dans l'industrie agroalimentaire

Les biopolymères les plus courants, tels que l'amidon, la cellulose et les protéines, présentent une hydrophilie qui leur confère des propriétés de perméabilité à la vapeur d'eau. Cette caractéristique est attribuée à la présence de groupes fonctionnels polaires, tels que des hydroxyles et/ou des amines, qui sont fortement réactifs avec l'eau en formant des liaisons hydrogène (**Auras et al., 2004**). Ces mêmes groupes fonctionnels leur confèrent également une propriété antistatique.

9. 1. Biocompatibilité et biorésorbabilité

Un matériau biocompatible est un matériau qui peut remplir une fonction spécifique de manière efficace sans avoir d'impacts négatifs sur l'environnement biologique dans lequel il est utilisé. La réponse biologique du matériau dépend de ses propriétés, de l'environnement biologique dans lequel il est utilisé et de la fonction spécifique qu'il est censé remplir (**Rabetafika et al., 2006**).

Il est logique que les biopolymères, de par leur origine naturelle, soient des candidats appropriés pour remplir cette fonction, et les implants médicaux en matériaux

inertes tels que les céramiques sont de plus en plus remplacés par des polymères d'origine naturelle (Middleton et Tipton, 1998 ; Liu et al., 2001).

En plus de leur biocompatibilité, les matériaux utilisés pour des applications médicales doivent être biorésorbables, c'est-à-dire qu'ils doivent pouvoir se décomposer naturellement dans l'organisme humain et être remplacés progressivement par un tissu vivant. Les biopolymères répondent à ces critères car ils sont dégradés naturellement par hydrolyse (enzymatique) dans l'organisme humain et libèrent des molécules assimilables et non toxiques (Hasirci et al., 2001 ; Chen et Lu, 2004 ; Liu et al., 2005). La biorésorbabilité des polymères joue un rôle crucial dans les médicaments à libération contrôlée en pharmacie, comme illustré dans la figure 27 (Rabetafika et al., 2006).

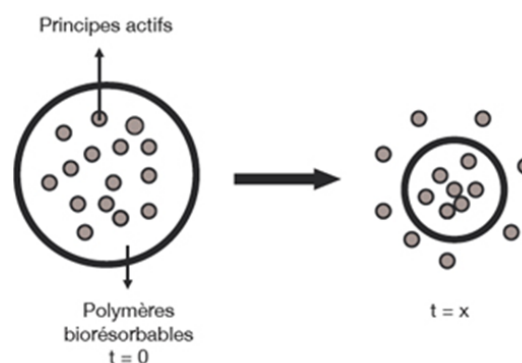


Figure 21. Application des biopolymères : libération contrôlée des principes actifs (Rabetafika et al., 2006).

9. 2. Propriétés chimiques

Les molécules possédant des fonctions chimiques ont des propriétés distinctes et ont la capacité de réagir avec d'autres molécules.

Leur réactivité découle de la présence de fonctions telles que les alcools, les acides, les amines ou les aldéhydes, qui réagissent facilement en raison de leur site nucléophile ou électrophile (Kumar, 2002; Okada, 2002; Van Dam, 2005).

Les insaturations et les groupements hydroxyles présents sur les chaînes alkyles des triglycérides permettent leur fonctionnalisation, ce qui conduit à la formation de polyuréthanes, de polyamides ou de polyesters (Warwel, 2001 et Okada, 2002).

Il existe quatre classes de matières premières végétales : les glucides, les lipides, les protéines et les dérivés phénoliques. La figure 28 présente les structures chimiques de certains polymères végétaux.

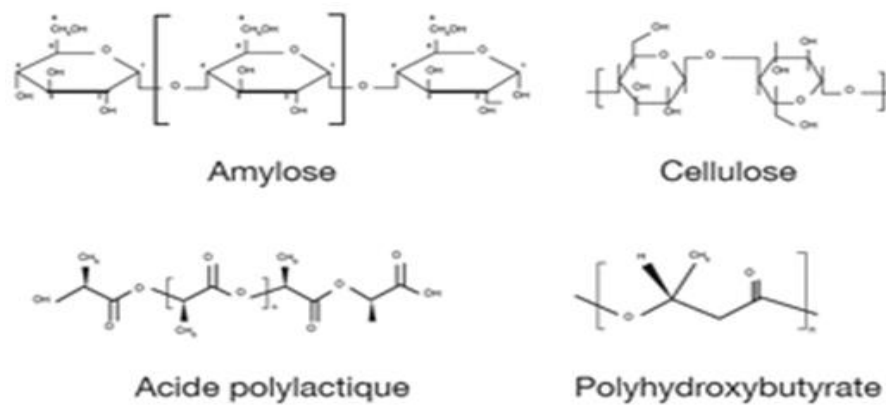


Figure 22. Structures chimique des biopolymères (Landreau, 2008).

10. Procédure de mise en forme d'emballage bioplastique.

Préparation de la matière première : la matière première utilisée pour la fabrication d'emballages bioplastiques doit être transformée en granulés ou en poudre, selon le type de matériau. Cette étape peut impliquer des processus tels que le broyage, le séchage ou le mélange.

Préchauffage : avant la mise en forme, la matière première doit être préchauffée pour atteindre la température de fusion ou de ramollissement appropriée. Cette étape est importante pour garantir une distribution uniforme de la matière première et pour éviter les défauts de surface dans l'emballage (Reddyetal., 2013).

Mise en forme : la mise en forme peut être effectuée par injection, extrusion, thermoformage ou moulage par compression, selon le type d'emballage bioplastique. Chaque méthode a ses propres exigences en termes de température, de pression et de temps de traitement (Krishnan et al., 2012).

Refroidissement : une fois que l'emballage a été mis en forme, il doit être refroidi pour durcir et conserver sa forme. Cette étape peut être effectuée à l'air libre ou dans une chambre de refroidissement (**Gironès, 2020**).

Finition : l'emballage bioplastique peut être soumis à des étapes de finition telles que le découpage, l'impression ou l'application de revêtements protecteurs. Ces étapes peuvent améliorer l'apparence et la durabilité de l'emballage (**Krishnan et al., 2012**).

Contrôle qualité : enfin, l'emballage bioplastique doit être soumis à des tests de qualité pour s'assurer qu'il répond aux normes de performance et de sécurité. Ces tests peuvent inclure des mesures de la résistance mécanique, de la résistance à la chaleur et de la perméabilité aux gaz (**European Bioplastics, 2019**).

11. La formule chimique de bio-emballage.

Il n'y a pas de formule chimique unique pour les bio-emballages, car ils peuvent être fabriqués à partir de différentes matières premières organiques, telles que les polysaccharides, les protéines et les lipides. Cependant, voici quelques exemples de matériaux couramment utilisés pour fabriquer des bio-emballages et:

L'amidon : $(C_6H_{10}O_5)_n$ (**Goyanes, 2020**).

La cellulose : $(C_6H_{10}O_5)_n$ (**Habibi, 2014**)

Les protéines : Les protéines sont constituées d'acides aminés et leur formule chimique varie en fonction de la composition de chaque protéine (**Pucci, 2020**).

12. Intérêt d'utilisation de bioplastique

L'utilisation de bioplastiques présente plusieurs avantages environnementaux par rapport aux plastiques traditionnels à base de pétrole. Voici quelques exemples:

Réduction de l'empreinte carbone: Les bioplastiques sont souvent fabriqués à partir de matières premières renouvelables qui nécessitent moins d'énergie pour être produites que le pétrole. Cela peut réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la production de plastiques.

Biodégradabilité: Les bioplastiques sont souvent biodégradables ou compostables, ce qui signifie qu'ils peuvent se décomposer naturellement dans l'environnement sans laisser de résidus nocifs.

Réduction des déchets: Les bioplastiques compostables peuvent être transformés en compost, ce qui peut réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges

Durabilité: Certains types de bioplastiques sont aussi résistants et durables que les plastiques traditionnels, ce qui permet leur utilisation dans une grande variété d'applications (Mohanty et al., 2000).

12. 1 Intérêt d'utilisation de bioplastique dans les emballages agroalimentaires

Les bioplastiques présentent plusieurs avantages par rapport aux plastiques traditionnels dans les emballages agroalimentaires, notamment :

12. 1. 1. Durabilité environnementale

Les bioplastiques sont fabriqués à partir de matériaux renouvelables, tels que l'amidon de maïs, la canne à sucre, la pomme de terre, la cellulose, etc. Ils peuvent également être fabriqués à partir de matériaux biosourcés, tels que des huiles végétales et des graisses animales. Les bioplastiques sont ainsi plus durables que les plastiques traditionnels dérivés de combustibles fossiles (Pacheco-Torgal et al., 2016).

12. 1. 2. Réduction de la dépendance aux combustibles fossiles

La production de bioplastiques réduit la dépendance aux combustibles fossiles, ce qui réduit également les émissions de gaz à effet de serre et la pollution environnementale (Braunegg et al., 2011).

12. 1. 3. Compatibilité avec les processus de recyclage

Certains types de bioplastiques peuvent être recyclés en même temps que les plastiques traditionnels. Ils peuvent également être compostés, ce qui réduit les déchets et les émissions de gaz à effet de serre associées à l'enfouissement des déchets (Xu et al., 2020).

12. 1. 4. Performance et fonctionnalité

Les bioplastiques peuvent être conçus pour répondre aux mêmes exigences de performance que les plastiques traditionnels. Par exemple, ils peuvent être transparents, résistants à l'eau, résistants à la chaleur et étanches (Castro-Aguirre et al., 2020).

12. 2. Intérêt d'utilisation de bioplastique dans les emballages des produits laitiers

Les produits laitiers sont un aliment sensible, car ils peuvent être affectés par la contamination bactérienne, l'oxydation, l'humidité, la chaleur et d'autres facteurs externes qui affectent sa qualité et sa sécurité sanitaire. L'emballage laitier joue donc un rôle crucial dans le maintien de la qualité et de la sécurité du produit et dans la prolongation de sa durée de conservation (**Mohanty et al., 2000**).

Les bioplastiques ont des propriétés uniques telles que la tolérance à la chaleur, à l'humidité et à la pression, ce qui les rend idéaux pour l'emballage des produits laitiers et autres qui nécessitent une protection spéciale. Les bioplastiques sont de plus en plus utilisés dans l'industrie de l'emballage laitier et peuvent être une bonne option pour les entreprises qui souhaitent adopter des pratiques plus durables (**López-Rubio et al., 2019**).

Les produits laitiers utilisent généralement des emballages en plastique traditionnels qui nécessitent beaucoup de temps pour se décomposer et causent une pollution de l'environnement. En utilisant des bioplastiques pour les emballages laitiers, les impacts environnementaux négatifs des emballages peuvent être réduits, et cela peut également contribuer à améliorer l'image de l'entreprise en adoptant des pratiques respectueuses de l'environnement (**Khan et al., 2019**).

L'exposition à l'air, à l'humidité et à la lumière peut dégrader la qualité des produits laitiers. Les bioplastiques aident à maintenir la qualité du produit en fournissant une bonne humidité, de l'oxygène et une isolation lumineuse.

13. Les avantages et les inconvénients de bioplastique

13. 1. Les Avantages

- Les bioplastiques sont renouvelables, compostables et contribuent à réduire la pollution de l'environnement ;
- Les bioplastiques génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre et ne contiennent pas de toxines ;
- Après son expiration, il peut être brûlé pour produire de l'énergie renouvelable ou utilisé pour fabriquer des biocarburants ;
- Les bioplastiques contribuent à accroître la faible fertilité des sols et à réduire l'accumulation de déchets et de plastiques dans l'environnement ;

- Les bioplastiques sont devenus plus viables à mesure que les prix du pétrole augmentent ;
- La capacité et la capacité d'imprimer du texte ou des images très claires sur du plastique ;
- La conception bioplastique offre une forme plus acceptable que le plastique traditionnel ;
- Les bioplastiques peuvent devenir plus transparents et visibles que les plastiques conventionnels. (Srikanth Pilla, 2011 et Reddy et al., 2013).
- **Sur l'environnement :**
 - Les bioplastiques ont le potentiel de diminuer la toxicité des déchets plastiques dans l'environnement en raison de leur fabrication à partir de matières premières renouvelables et de leur capacité à se dégrader plus rapidement. Contrairement aux plastiques dérivés du pétrole, les bioplastiques peuvent être fabriqués à partir de sources renouvelables telles que le maïs et la canne à sucre, ce qui les rend plus durables et écologiques. Une étude menée par l'Université de Plymouth suggère que l'utilisation de bioplastiques peut contribuer à préserver la qualité de l'eau en réduisant la quantité de plastique nocif dans l'environnement (Thompson et al., 2009) ;
 - Les bioplastiques peuvent être compostés pour créer des engrais naturels qui peuvent être utilisés pour fertiliser les cultures, ce qui les différencie des plastiques dérivés du pétrole. Contrairement aux plastiques traditionnels qui finissent souvent dans les décharges, les bioplastiques offrent une solution plus durable en étant transformés en engrais naturels qui peuvent réduire la quantité de déchets plastiques accumulés. En outre, cette méthode de production d'engrais peut contribuer à réduire la dépendance aux engrais chimiques qui ont un impact environnemental négatif (Dell'Anna et al., 2018).
- **Sur la santé des consommateurs**
 - Les bioplastiques peuvent être produits à partir de matières premières qui ne sont pas toxiques, ce qui les distingue des plastiques à base de pétrole. Les matières premières utilisées pour fabriquer des bioplastiques peuvent être d'origine végétale ou animale et ne contiennent pas de substances toxiques.

Cette caractéristique peut réduire les risques pour la santé des travailleurs de l'industrie plastique et des consommateurs en éliminant les substances nocives des matériaux de fabrication des bioplastiques (**Mulder et al., 2016**)

- Les bioplastiques peuvent aider à limiter l'exposition des consommateurs aux substances chimiques nocives présentes dans les plastiques traditionnels. Les plastiques à base de pétrole peuvent contenir des additifs chimiques tels que des phtalates et des bisphénols, qui sont connus pour avoir des effets néfastes sur la santé humaine. En revanche, les bioplastiques contiennent généralement moins de substances chimiques nocives que les plastiques dérivés du pétrole, ce qui en fait une alternative plus sûre pour les consommateurs (**Andrady, 2015**).

13. 2. Les inconvénients

- S'appuyer sur les bioplastiques dans l'industrie et la production nécessite une énorme quantité de cultures agricoles telles que le maïs, ce qui peut provoquer un assèchement des sols et une pollution des eaux souterraines ;
- Son coût est élevé, car il est dix fois plus élevé que le plastique à base de pétrole ;
- Leur résistance est inférieure à celle du plastique conventionnel (**fabien et al., 2015**).

Chapitre III

L'industrie de Bioplastique

1. Les étapes d'extraction d'amidon

L'amidon est un polysaccharide qui est souvent utilisé comme matière première dans la production de bioplastiques. Voici les étapes de base pour extraire l'amidon à partir de sa source :

- **Récolte de la source** : Pour extraire l'amidon, il est tout d'abord nécessaire de récolter la matière première à partir de laquelle il sera obtenu, tels que le maïs, la pomme de terre, le manioc, le riz, le blé, et bien d'autres encore. Cette source est ensuite soumise à un processus de nettoyage visant à éliminer toutes les impuretés qu'elle pourrait contenir (Manjeet et al., 2015) ;
- **Trempage** : Dans le processus d'extraction de l'amidon, la source est généralement immergée dans de l'eau afin de ramollir la matière première et faciliter la libération de l'amidon ;
- **Broyage** : Après avoir été trempée dans de l'eau, la source de matière première est ensuite broyée pour libérer l'amidon qu'elle contient. Cette étape peut être réalisée de manière manuelle ou à l'aide d'une machine ;
- **Séparation de l'amidon** : Une fois le broyage effectué, l'amidon doit être séparé des autres composants de la matière première tels que les fibres et les protéines. Différentes méthodes peuvent être utilisées à cet effet, telles que la centrifugation, la décantation, la filtration et la flottation (Anet et al., 2019) ;
- **Lavage** : Après la séparation de l'amidon des autres composants, il est nécessaire de procéder à un lavage pour éliminer les impuretés telles que les protéines et les fibres qui pourraient être encore présentes ;
- **Séchage** : Une fois que l'amidon a été lavé, il est séché pour éliminer l'excès d'eau. Cette étape peut être réalisée de différentes manières, soit en laissant l'amidon sécher à l'air libre, soit en utilisant un séchoir (Nidhi et al., 2016).

2. Les machines utilisées dans la fabrication du bioplastique

La fabrication de bioplastiques implique l'utilisation de différentes machines et équipements spécialisés. Voici une liste des principales machines utilisées dans la fabrication de bioplastiques, ainsi que des références pour en savoir plus :

2. 1. Extrudeuse : une machine qui permet d'extruder la matière première sous forme de granulés. L'extrudeuse permet également de mélanger différents polymères et d'ajouter des additifs pour améliorer les propriétés du matériau (Niaounakis, 2016).

2. 2. Injection molder : une machine qui permet de mouler les bioplastiques sous forme de produits finis tels que des emballages ou des pièces d'équipement. Cette machine utilise une vis pour fondre le matériau, puis le pousse dans une cavité de moule (Niaounakis, 2016).

2. 3. Broyeur : une machine utilisée pour broyer et mouliner les matières premières en une poudre fine. Cela est souvent nécessaire pour les bioplastiques provenant de sources naturelles telles que les amidons de maïs ou de pomme de terre (Kunioka, 2009).

2. 4. Mélangeur : une machine utilisée pour mélanger les matières premières avec des additifs tels que des plastifiants, des agents de renforcement, des colorants ou des stabilisants. Le mélangeur peut être utilisé avant ou après l'extrusion (Kunioka, 2009).

2. 5. Four : une machine utilisée pour chauffer et sécher les matières premières avant leur utilisation dans le processus de fabrication. Les températures et les durées de traitement varient en fonction du matériau utilisé (Kunioka, 2009).

2. 6. Granulateur : une machine utilisée pour transformer les bioplastiques en granulés, qui peuvent ensuite être utilisés pour l'extrusion ou le moulage par injection. Les granulateurs sont souvent utilisés pour recycler les déchets de bioplastiques (Niaounakis, 2016).



Figure 23. La machine de fabrication de bioplastique « ZSK 70 MC » [42].

3. Les étapes de fabrication de bio plastique

Le bioplastique peut être fabriqué à partir de différentes matières premières telles que l'amidon, la cellulose, les huiles végétales, les protéines, les acides lactiques, etc. Les étapes de fabrication peuvent varier en fonction du type de bioplastique à produire, mais voici les étapes de base :

- **Extraction de la matière première** : La matière première est extraite de la source, telle que l'amidon de maïs ou la cellulose de bois (Ashter et Andrew, 2016) ;
- **Transformation** : La matière première est transformée en un monomère ou un polymère, qui est la base du bioplastique ;
- **Polymérisation** : Les monomères sont combinés pour former des polymères à l'aide de différents procédés de polymérisation, tels que la polymérisation par condensation ou la polymérisation par addition ;
- **Ajout d'additifs** : Des additifs tels que des plastifiants, des colorants, des stabilisants et des agents de renforcement peuvent être ajoutés au polymère pour améliorer ses propriétés physiques et chimiques (Stephen et al., 2013) ;
- **Moulage**: Le bioplastique est moulé dans la forme désirée à l'aide de différentes techniques de moulage telles que l'injection, l'extrusion ou le soufflage ;
- **Finissage** : Le bioplastique peut être soumis à différents traitements de finition pour améliorer sa surface ou ses propriétés, tels que le polissage, le revêtement ou

le laminage (Nandaet al., 2020).

4. Souffleuse

Le soufflage de bioplastique est une technique de fabrication utilisée pour produire des bouteilles, des contenants et d'autres produits en utilisant des matériaux à base de plantes ou d'autres sources renouvelables. Cette technique est similaire à celle utilisée pour produire des objets en plastique traditionnels, mais les matériaux utilisés dans le processus de soufflage sont différents.

Plusieurs études ont examiné l'utilisation de la technique de soufflage pour produire des produits en bioplastique. Par exemple, l'utilisation de la technique de soufflage pour produire des bouteilles en bioplastique à base d'amidon de maïs. Les résultats ont montré que les bouteilles en bioplastique avaient des propriétés similaires à celles des bouteilles en plastique traditionnel, mais qu'elles étaient plus susceptibles de se déformer sous des charges élevées (Chinnan et al., 2011).

L'utilisation de la technique de soufflage pour produire des bouteilles en bioplastique à base d'amidon de pomme de terre et de polyéthylène haute densité (PEHD). Les résultats ont montré que les bouteilles en bioplastique étaient capables de résister à des pressions élevées et qu'elles avaient des propriétés mécaniques comparables à celles des bouteilles en PEHD.

Le soufflage de bioplastique est une technique de fabrication qui peut être utilisée pour produire une large gamme de produits en utilisant des matériaux renouvelables. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les propriétés des produits en bioplastique produits par soufflage (Mariano et al., 2014).

5. Mélange durable avec la technologie Coperion

Les bioplastiques sont biodégradables, biosourcés ou les deux. Ils représentent une solution prête pour le marché et sont déjà utilisés dans une variété d'applications.

La fabrication de bioplastiques impose des exigences très élevées au processus de mélange en raison du nombre de polymères de base possibles et des grandes différences dans les mélanges de recettes. Chaque étape du processus dans les systèmes de

compoundage doit être précisément alignée sur les propriétés mécaniques requises dans le produit final [42].

Coperion et Coperion K-Tron ont des décennies d'expérience dans la réalisation de systèmes pour la fabrication de bioplastiques. Nous possédons une expertise unique en matière de processus et un savoir-faire complet en matière de systèmes pour l'ensemble de la chaîne de processus - du transport des matières premières au prémélange, en passant par l'alimentation, l'extrusion, la granulation et le séchage, ainsi que le transport [42].

5. 1. Applications typiques des systèmes coperion

5. 1. 1. Remplissage et mélange de biopolymères

Lors du remplissage et du mélange de biopolymères, nous obtenons avec nos systèmes des débits comparables à ceux des plastiques techniques d'origine fossile. Une large gamme de technologies d'alimentation nous permet de fournir un système d'alimentation optimisé pour tout matériau en vrac. Utilisant la technologie FET brevetée, la section d'admission de l'extrudeuse est équipée d'une paroi poreuse et perméable aux gaz à laquelle un vide est appliqué à l'extérieur. Le vide de gaz qui en résulte augmente considérablement la capacité d'admission de matière et le débit lors du traitement de produits à alimentation limitée. En raison du mélange intensif et de la dé volatilisation dans l'extrudeuse, une qualité de produit très élevée est obtenue [42].

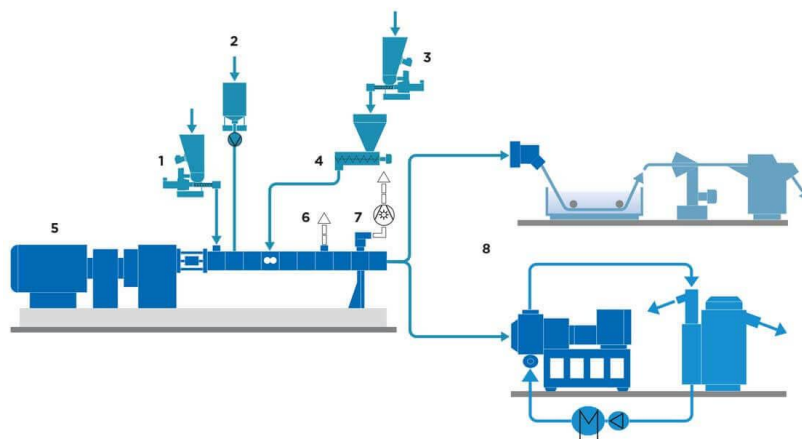


Figure 24. Le remplissage et mélange de biopolymères [42].

1. Doseur à perte de poids pour biopolymères/additifs/charges ;
2. Doseur de liquide pour additifs ;

3. Doseur à perte de poids pour charge (par ex. talc) ;
4. Doseur latéral ZS-B avec FET ;
5. Extrudeuse bivis ZSK ;
6. Ventilation atmosphérique ;
7. Dégazage sous vide ;
8. Pelletisation (SP Strand Pelletizer/ UG Underwater Pelletizer) I * non nécessaire pour les processus de mélange.

5. 1. 2. Fabrication d'amidon thermoplastique par cuisson-extrusion (TPS)

Étant donné que l'amidon natif ne peut pas être fondu à la chaleur, il doit être converti en amidon thermoplastique (TPS). Dans ce processus, la poudre d'amidon (c'est-à-dire de maïs, de pommes de terre ou de tapioca) est gélatinisée (cuite) dans l'extrudeuse. En ajoutant du liquide, de la chaleur et de l'énergie de cisaillement, la structure partiellement cristalline de l'amidon se transforme en une structure complètement amorphe. Ce processus est irréversible. Pour donner plus de flexibilité au TPS, des plastifiants, tels que la glycérine, peuvent être ajoutés au processus. Les doseurs de liquide gravimétriques garantissent que les additifs sont ajoutés avec une très grande précision, même à de faibles débits d'alimentation [42].

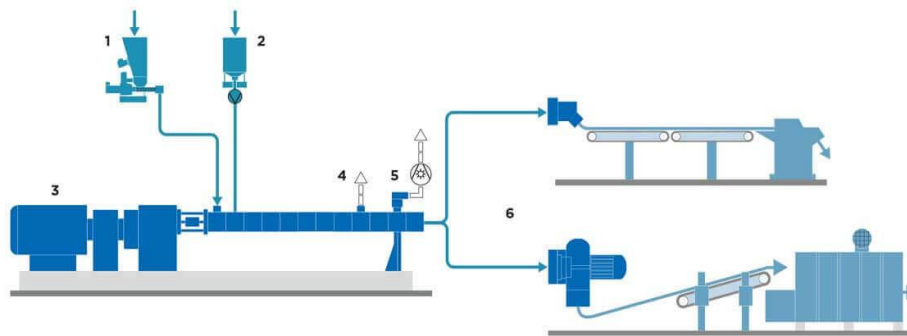


Figure 25. La Fabrication d'amidon thermoplastique par cuisson-extrusion (TPS) [42].

1. Doseur à perte de poids pour amidons ;
2. Doseur de liquide pour plastifiant/eau ;
3. Extrudeuse bivis ZSK ;
4. Ventilation atmosphérique ;

5. Dégazage sous vide ;
6. Pelletisation (SP Strand Pelletizer/ZGF Centric Pelletizer).

5. 1. 3. Composé de mélange d'amidon

Les mélanges d'amidon sont des mélanges d'amidon thermoplastique (TPS) et de plastiques fabriqués à partir de matières premières fossiles ou durables. La fabrication de ce type de bioplastique, qui comprend actuellement la plus grande part de tous les bioplastiques, peut être réalisée dans l'extrudeuse à double vis en une seule étape de processus [42].

Le biopolymère est introduit directement dans l'extrudeuse avec des composants pour TPS. Les recettes et les propriétés des mélanges d'amidon varient considérablement en fonction de l'objectif du produit final. À l'aide d'alimentateurs de haute précision, les matières premières sont introduites dans l'extrudeuse à double vis. Avec le dispositif intelligent d'aide à l'écoulement ActiFlow, les doseurs gravimétriques à double vis peuvent alimenter de manière fiable même les amidons à écoulement difficile avec une grande précision. Dans l'extrudeuse ZSK, les matières premières sont modifiées au moyen d'une énergie intensive introduction et mélange homogène. La masse fondue est dévolatilisée de manière fiable et, selon les propriétés du produit, peut être transformée en composés à l'aide d'une granulation sous-marine ou sous l'eau [42].

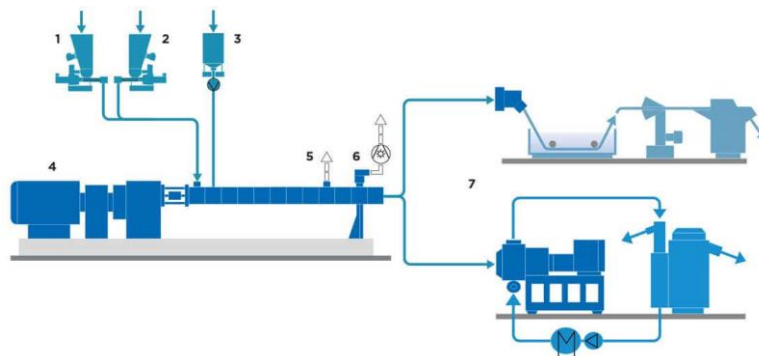


Figure 26. La Composé de mélange d'amidon [42].

1. Doseur à perte de poids pour amidons ;
2. Doseur à perte de poids pour biopolymères ;
3. Doseur de liquide pour plastifiant ;
4. Extrudeuse bisis ZSK ;

5. Ventilation atmosphérique ;
6. Dégazage sous vide ;
7. Pelletisation (SP Strand Pelletizer/UG Underwater Pelletizer).

6. Les facteurs affectant le bio-emballage

Voici certains facteurs qui peuvent affecter la performance des bio-emballages:

- **La température de stockage:** La température de stockage est un facteur important qui peut affecter la durée de vie du bio-emballage. Des températures élevées peuvent accélérer la dégradation du matériau, tandis que des températures basses peuvent ralentir ce processus ;
- **La température de traitement:** La température de traitement est également importante dans la production de bio-emballages. Si la température est trop élevée, elle peut dégrader le matériau et compromettre sa qualité (**Sun et al., 2018**) ;
- **L'humidité:** L'humidité peut également affecter la durée de vie du bioemballage. Des niveaux d'humidité élevés peuvent favoriser la croissance de moisissures et de bactéries, ce qui peut accélérer la dégradation du matériau (**Bastioli et William, 1995**) ;
- **La pression:** La pression peut également avoir un impact sur la qualité du bio-emballage. Des pressions élevées peuvent déformer ou briser le matériau (**Kim et al., 2015**) ;
- **Lumière:** Les bio-emballages peuvent être sensibles à la lumière et se dégrader plus rapidement lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Il est donc important de les stocker dans des conditions sombres et de les protéger de la lumière lors de leur utilisation (**Jiang, 2013**) ;
- **pH:** Certains bio-emballages peuvent être sensibles aux variations de pH. Par exemple, les emballages à base d'amidon peuvent se dégrader plus rapidement en présence d'un pH élevé. Il est donc important de prendre en compte le pH de l'environnement dans lequel les bio-emballages seront utilisés (**Mohanty, 2011**).

7. La durée de conservation des produits laitiers en emballage bio-plastiques

La durée de conservation des produits laitiers en emballage bio-plastiques peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la température de stockage, le type de produit laitier et le type de bio-plastique utilisé. Cependant, de nombreuses études ont montré que les emballages bio-plastiques peuvent améliorer la durée de conservation des produits laitiers par rapport aux emballages traditionnels en plastique.

Par exemple, une étude a comparé la durée de conservation du lait UHT (Ultra Haute Température) en bouteilles en PET (Polyéthylène téréphtalate) et en bouteilles en bio-PET (obtenu à partir de ressources renouvelables) à des températures de stockage allant de 4 à 25°C. Les résultats ont montré que le lait stocké dans des bouteilles en bio-PET présentait une meilleure stabilité microbiologique et une durée de conservation plus longue que le lait stocké dans des bouteilles en PET traditionnel (**Fabra et al., 2012**).

De même, une autre étude a évalué la durée de conservation de fromages frais en emballage en PLA (Acide polylactique) et en emballage traditionnel en plastique. Les résultats ont montré que le fromage emballé dans du PLA était microbiologiquement stable pendant 14 jours, tandis que le fromage emballé dans du plastique traditionnel était contaminé au bout de 7 jours (**Fabra et al., 2016**).

Cependant, il est important de noter que la durée de conservation peut varier en fonction des conditions de stockage et de transport, ainsi que de la qualité initiale du produit laitier. Par conséquent, des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la durée de conservation des différents types de produits laitiers en emballages bio-plastiques dans des conditions réelles de production et de distribution.

8. Les bioplastiques préservent la qualité des produits laitiers

Les bioplastiques peuvent être utilisés pour préserver la qualité des produits laitiers grâce à leurs propriétés de barrière qui empêchent l'oxygène, l'humidité et les odeurs d'entrer en contact avec les aliments. Cela permet de prolonger leur durée de conservation et de maintenir leur fraîcheur et leur saveur.

Par exemple, des études ont montré que l'utilisation de films bioplastiques à base de féculé de pomme de terre ou d'amidon de maïs peut prolonger la durée de conservation du

fromage et du yaourt en réduisant la perte de poids due à la déshydratation et en préservant leur texture et leur goût (**Jovanovic et al., 2013; Wongsagonsup et al., 2018**).

De plus, les bioplastiques peuvent être utilisés pour fabriquer des emballages actifs qui libèrent des agents antimicrobiens ou antioxydants pour protéger les produits laitiers de la contamination bactérienne et de l'oxydation (**Ivankovic et al., 2014**).

9. La migration entre l'alimente et le bioplastique

La migration entre le bioplastique et les aliments est un sujet de préoccupation en matière de sécurité alimentaire. Les bioplastiques sont de plus en plus utilisés dans les emballages alimentaires en raison de leur capacité à se décomposer plus rapidement que les plastiques traditionnels. Cependant, la migration de certaines substances chimiques des bioplastiques vers les aliments peut se produire, ce qui peut être nocif pour la santé humaine (**Grob et al., 2014**).

Des études ont montré que la migration de substances chimiques à partir de certains types de bioplastiques peut être plus élevée que celle des plastiques traditionnels. Par exemple, une étude a montré que la migration de l'acide polylactique (PLA), un bioplastique fabriqué à partir d'amidon de maïs, peut-être plus élevée que celle du polyéthylène téréphtalate (PET), un plastique traditionnel, lorsqu'il est soumis à des conditions de température et d'humidité élevées (**Grob et al., 2014**).

Les réglementations alimentaires dans de nombreux pays exigent que les matériaux d'emballage alimentaire soient testés pour leur compatibilité avec les aliments et pour la migration de substances chimiques potentiellement dangereuses. Par exemple, la Commission européenne a établi des limites de migration spécifiques pour certaines substances chimiques dans les matériaux d'emballage alimentaire (**Commission européenne, 2011**).

Chapitre IV
Fabrication de Bioplastique dans le
laboratoire

1. Objectif d'étude

L'objectif du travail est la fabrication de bioplastiques, où ils sont fabriqués à partir de féculé de maïs et de pomme de terre. En suivant deux recettes sur Internet.

Ce plastique est testé pour la biodégradabilité, la fertilisation, la résistance et la dureté et testé s'il est gonflable.

2. La période d'étude

L'expérimentation s'est déroulée au cours de la période qui s'étant de 09/05/2023 au 14/05/2023.

3. Lieu d'étude

L'étude à été mené dans le laboratoire pédagogique N°5 de la faculté des SNV-STU de l'université 8 Mai 1945 –Guelma-.

4. Matériels et méthodes

4. 2. Matière première

4. 2. 1. Amidon de maïs

L'amidon utilisé synthétisé. Le tableau montre la description de l'amidon de maïs.



Figure 27. Amidon de maïs

Tableau 12. Description de l'amidon de maïs.

Etat physique	Forme	Odeur	Couleur
Solide	Cristaux de grains	Inodore	Jaunâtre

4. 2. 2. Extrait d'amidon de pomme de terre

Nous avons extrait de l'amidon de pomme de terre pour l'utiliser dans la fabrication de bioplastiques en laboratoire.

Les pommes de terre contiennent un pourcentage plus élevé d'amidon que les légumes et autres céréales telles que le blé, l'amidon, la betterave ... ect.

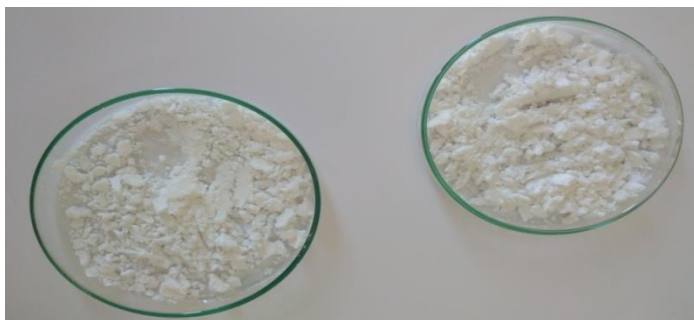


Figure 28. Fécule de pomme de terre

Tableau 13. Description de l'amidon extrait de pomme de terre

Etat physique	Forme	Odeur	Couleur
Solide	Cristaux de grains fines	Inodore	Blanc

4. 3. Matériel utilisé

Tableau 14. Matériels utilisés dans le laboratoire de la biochimie.

Appareillage	Réactifs	Verrerie	Autres matériels
- Une balance de précision (10-1 g) - Une étuve/Four Pasteur (90-100°C) - Une plaque chauffante/agitateur magnétique - Thermomètre (110°C)	-Hydroxyde de sodium (NaOH) -Acide chlorhydrique (HCl), - Glycérol (C ₃ H ₈ O ₃) - Eau distillée (H ₂ O)	- Bécher de 250 ml - Bécher de 100 ml - Erlenmeyer de 100 ml - Plaque en verre - Flacon de 15 ml gradués - Pipettes graduées	- Baguette magnétique - Spatule - Râpe - Bol/saladier - Économe - Boite de pétri - Etiquette

❖ **Consignes méthodologiques et de sécurité :**

- **NaOH**

Risque : Provoque de graves brûlures.

Sécurité : Au contact des yeux, laver immédiatement à l'eau et à fond et consulter un ophtalmologiste. Travailler avec le NaOH à 0.1M dilué pour réduire les risques.

- **HCl**

Risque : Provoque de graves brûlures, Irritant respiratoire.

Sécurité :

- Sur la peau : Laver soigneusement à l'eau.
- Sur les yeux : vous devez bien vous laver à l'eau, en gardant les yeux ouverts pendant au moins 10 minutes et consulter un ophtalmologiste.

Travailler avec le HCl à 0.1M dilué pour réduire les risques.

- **Glycérol**

Risque : Aucun risque.

Sécurité :

- Sur la peau : Lavage à l'eau et au savon.
- Sur les yeux : Laver soigneusement à l'eau.

Verser de l'acide dans l'eau et non l'inverse pour éviter les projections.

4. 4. Méthode

4. 4. 1. Préparation de fécule de pomme de terre

Afin de préparer la fécule de pomme de terre, nous avons besoin des moyens suivants :

- Une râpe
- Un économe
- Une spatule
- Un bol ou un saladier

Vous pelez d'abord les pommes de terre, puis râpez ces pommes de terre dans un bol avec une râpe. Ajouter l'eau avec les pommes de terre râpées et égoutter le mélange dans un autre bol avec pression avec une cuillère, et laisser pendant plusieurs minutes jusqu'à ce que l'amidon se dépose au fond du bol, puis retirer l'eau de la surface et laisser sécher pendant plusieurs jours, Puis on récupère l'amidon.

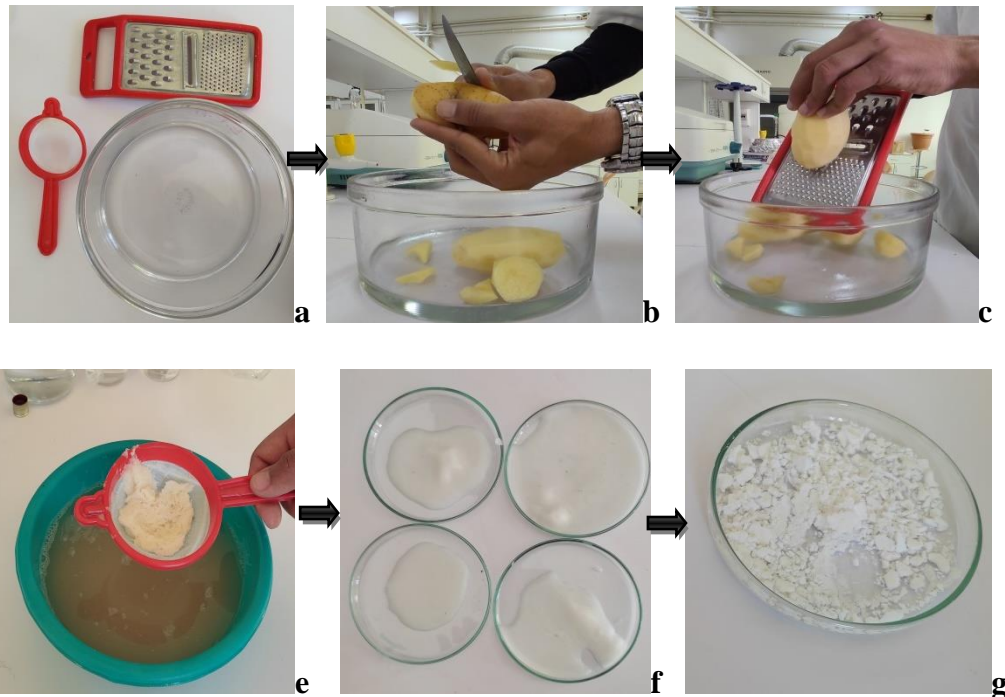


Figure 29. Préparation d'un extrait d'amidon à partir de pomme de terre.

4. 4. 2. Préparation d'un bioplastique à partir d'amidon

Il existe trois méthodes différentes dans ce travail en termes de type de matières premières et de réactifs utilisés. Ces méthodes sont principalement basées sur le mélange et la bonne clarification selon la procédure décrite ci-dessous.

❖ Méthode 1

L'utilisation de la fécule de maïs comme matière première.

• Ingrédients

- 2.5 g d'amidon de maïs
- 25 ml d'eau distillée
- 3 ml de glycérol (solution 50% vol dans de l'eau distillée)
- 3 ml HCl 0.1M
- 2 ml NaOH 0.1M

- gouttes de colorant alimentaire
- **Appareillage**
 - Une balance de précision (10-1 g)
 - Une étuve/Four Pasteur (90-100°C)
 - Une plaque chauffante/agitateur magnétique
 - Thermomètre (110°C)
- **Mode opératoire**
 - Vous pesez 2,5g amidons de maïs et le mettez dans une Bécher ;
 - Ajouter 3 ml de glycérine incolore dans la Bécher ;
 - Quelques gouttes de colorant alimentaire de votre choix (au cas où vous voudriez des bioplastiques colorés) ;
 - Verser 25 ml d'eau distillée et 3 ml d'acide chlorhydrique (HCl) ;
 - En fin de compte, vous mélangez avec la baguette en verre ;
 - Le mélange obtenu est appelé mélange précurseur bioplastique ;
 - Placez le mélange obtenu sur l'agitateur magnétique après l'avoir chauffé au bain-marie (surveillez la température avec un thermomètre). Lorsque la température est de 100 °C, continuez à chauffer et à remuer pendant encore 15 minutes ;
 - Ajouter 1 à 2 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) selon la viscosité obtenue après chauffage ;
 - Versez le mélange sur la plaque de verre et étalez-le bien à l'aide de la baguette en verre. Laisser sécher à l'étuve à une température de 90-100 ° C ;
 - Retirez la plaque lorsque les bords sont secs mais que le centre reste gélatineux ;
 - Débranchez le film de bioplastique du plat en verre et laissez-le sécher sur le dessus de la table.

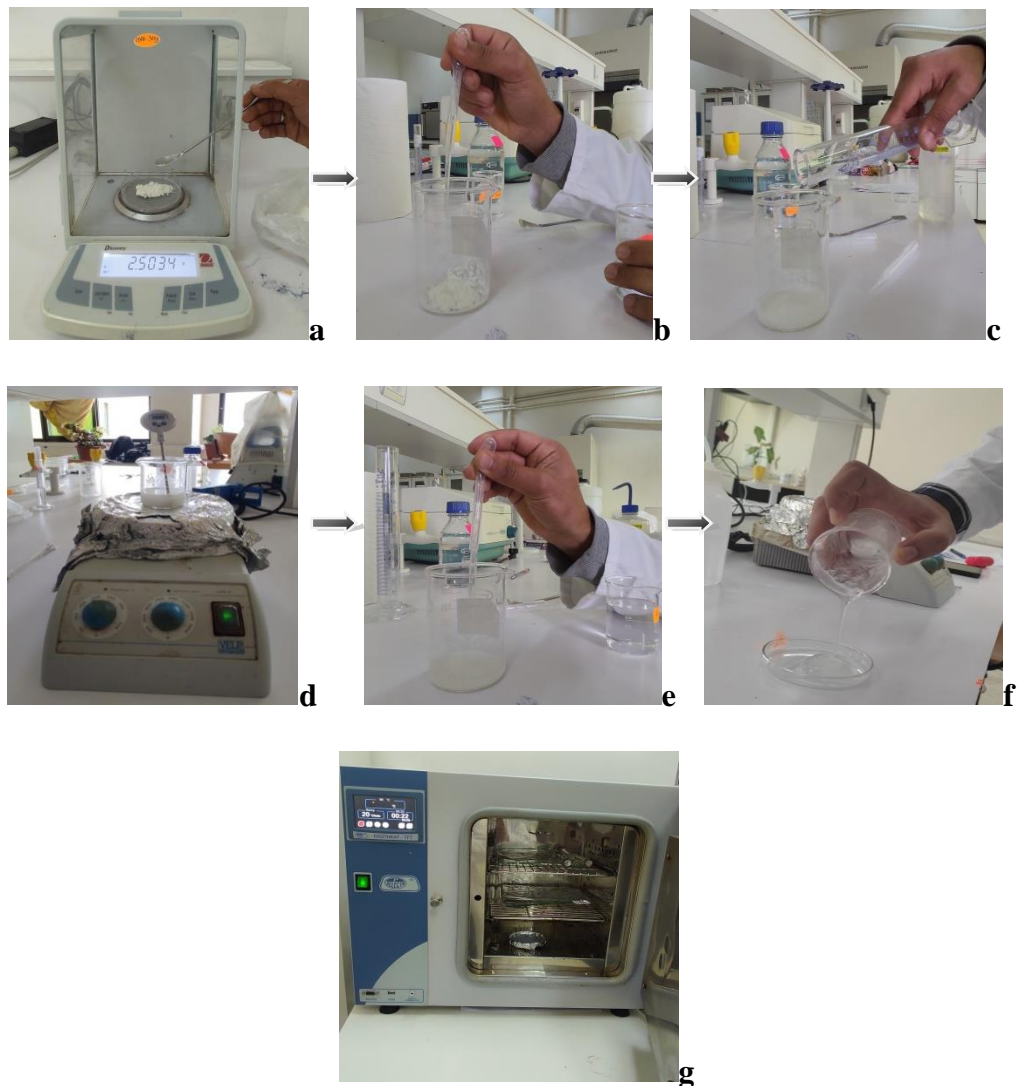


Figure 30. Les différentes étapes de la préparation d'un bioplastique à partir d'amidon de maïs.

❖ Méthode 2

Cette méthode suit le même principe que la première méthode, mais élimine certains réactifs tels que les colorants alimentaires et le glycérol.

❖ Méthode 3

Cette méthode utilise l'amidon de pomme de terre comme matière première et du vinaigre blanc.

- **Ingrédients**

- 2.5 g d'amidon de pomme de terre.
- 25 ml d'eau distillée.
- 1.5 ml de glycérol dilué dans 1.5 d'eau distillée
- 2 ml de vinaigre blanc.
- 1 à 2 gouttes de colorant alimentaire.

- **Appareillage :**

- Une balance de précision (10-1 g)
- Une étuve ou four Pasteur (90-100°C)
- Un thermomètre (110°C)
- Une plaque chauffante/agitateur magnétique

- **Mode opératoire :**

Peser 2.5 g d'amidon de pomme de terre et le placer dans un bécher. Ajouter 3 ml de vinaigre blanc, puis ajouter 25 ml d'eau distillée. Mélanger à l'aide d'une baguette en verre. Mettre l'agitateur magnétique dans le mélange et le faire chauffer en agitant au bain-marie. Surveiller la température avec un thermomètre pendant 10 à 15 minutes. Attention, des grumeaux peuvent se former si le mélange est trop chauffé. Verser le mélange sur une plaque de verre, bien étaler avec une baguette en verre et laisser sécher pendant deux jours dans un endroit frais et sec.

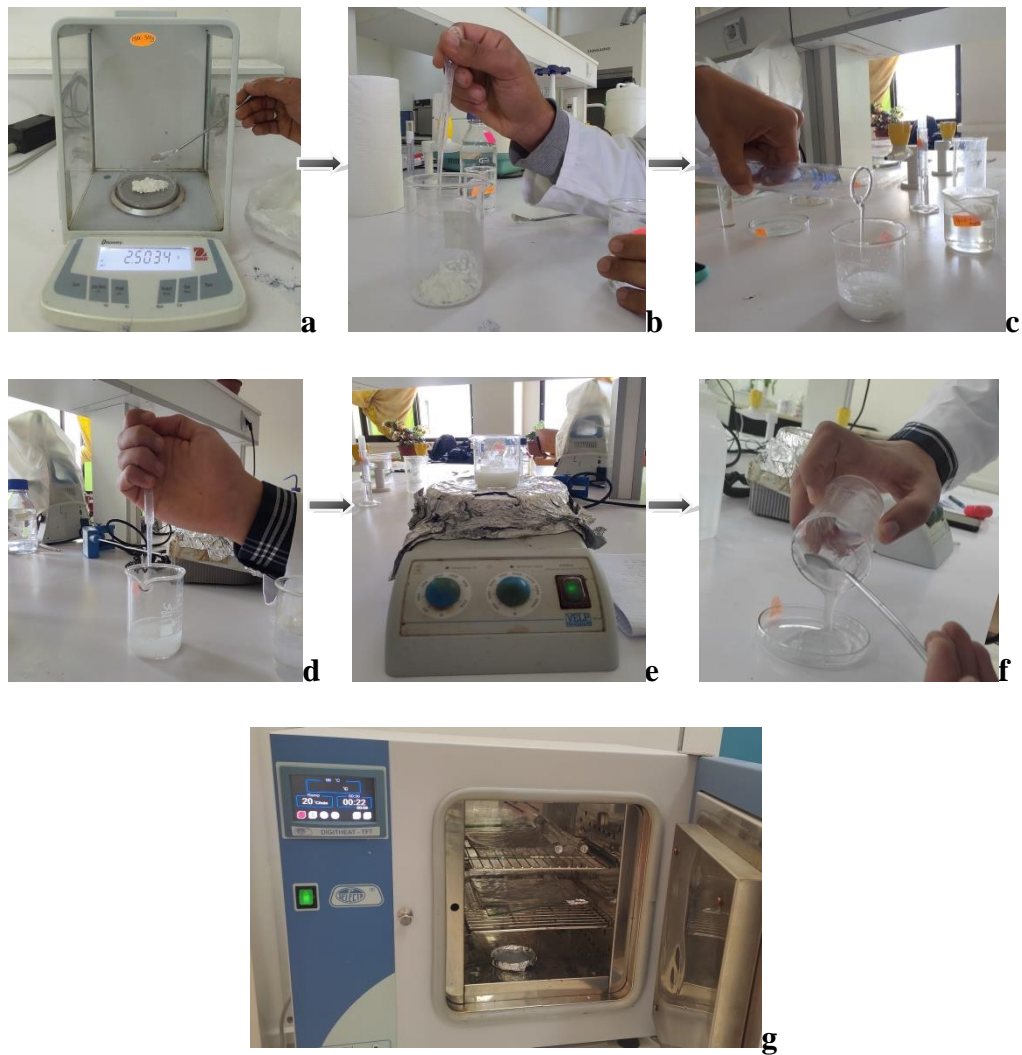






Figure 31. Les différentes étapes de la préparation d'un bioplastique à partir d'amidon de pomme de terre.

5. Résultat et discussions

5. 1. Résultats

Tableau 15. Les résultats

Code	Résultat (Avant séchage)	Résultat (Après séchage)	Description
1			Changement de couleur (blanc fonce), faible solidité, un peu sec, absence de contamination.
2			Couleur blanc fonce, faible solide, un peu sec, absence de contamination

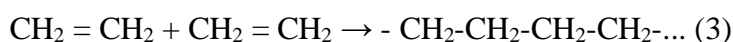
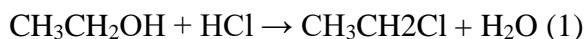
5. 2. Discussion

La production de bioplastique est basée sur un mélange de granulés d'amidon avec de l'acide chlorhydrique. La glycérine est utilisée comme plastifiant. Il ne réagit pas chimiquement avec la matrice à partir de laquelle il est dispersé. Il ne fait qu'augmenter le volume libre entre deux canaux polymères pour diminuer leur interaction et ainsi favoriser le mouvement de l'un par rapport à l'autre. La présence de ce plastifiant peut réduire la chaleur car le plastifiant introduit du volume libre entre les chaînes. Nous avons donc abandonné les plastiques durs. Par conséquent, le film produit sera plus résistant à l'étirement et à la flexion. De plus, l'ajout de glycérine rend le film plastique transparent, ce qui est très pratique dans les applications, notamment dans le domaine de l'emballage.

Lors du chauffage, qui aide à décomposer les granules d'amidon, une réaction chimique se produit entre l'alcool de sucre fermenté de l'amidon et l'acide chlorhydrique (équation 1). Cette réaction produit un halogénure d'alkyle et l'ajout de NaOH permet d'obtenir un alcène via une réaction d'élimination (Equation 2). Ce dernier est un

monomère qui réagit avec une autre unité monomère pour former un polymère qui est plastique (Equation 3).

Illustrons cela avec l'éthanol par l'exemple qui conduit au polyéthylène :



De plus, une partie des granules d'amidon détruits par le chauffage réagit avec le glycérol. Cette réaction a pour résultat que la couleur du mélange précurseur passe de l'incolore à quelque peu foncée. Ce qui devrait rester est un mélange incolore, qui donne une couleur au plastique en ajoutant du colorant alimentaire liquide.

L'acide chlorhydrique favorise la destruction des grains d'amidon par le phénomène d'hydrolyse contrôlée. Il favorise alors la séparation amylose/amylopectine et le passage de l'amylose dans la solution. L'amidon endommagé est simplement de l'amidon qui n'est plus sous sa forme granulaire d'origine, et une dispersion des polymères qui le composent (amylose et amylopectine). Il n'y a pas de différence chimique, c'est-à-dire que les chaînes de glucose sont légèrement plus courtes en raison de l'acide.

Aussi, il convient de noter que le protocole utilisé dans ce travail permettant la fabrication de plastiques biodégradables et dégradables à partir d'amidon n'était pas assez robuste pour être utilisé à des fins commerciales. Le fait que nos plastiques manufacturés ne soient pas aussi résistants que les plastiques commerciaux peut être dû à divers facteurs tels que par exemple, des additifs qui leur ajoutent des propriétés bénéfiques, tels que des lubrifiants, colorants et charges. Mais nous pensons dans l'état actuel de nos connaissances que cela est dû au fait que notre produit est constitué d'amidon, un sucre qui ne résiste pas à l'eau. Il est donc intéressant d'essayer de fabriquer cet imperméable en plastique. En ce sens, nous pensons que l'ajout d'huile végétale au mélange fera un plastique étanche.

Finalement, nous avons pu fabriquer du plastique biosourcé et biodégradable, mais de faible résistance pour être utilisé à des fins commerciales. Qu'à cela ne tienne, nous sommes ravis de succès de la fabrication des bioplastiques dans le sens où ce type de

plastique contribue de manière significative à la protection de l'environnement ainsi que la préservation de la santé du consommateur.

Nous regrettons quand même que le manque de certaines qualifications nécessaires nous ait été un facteur nuisible dans la mesure où un de nos objectifs n'a pas été atteint, celui consistant à tester les paramètres physicochimiques ainsi que la biodégradabilité.

Conclusion

Conclusion

Il est indéniable que tout produit aujourd'hui, notamment la circulation des biens de consommation, est indissociable de l'emballage. Les matériaux d'emballage et les technologies d'application sont en plein essor dans les pays développés, alors que les pays en développement sont encore à la limite de ce progrès. L'emballage a une des caractéristiques de qualité principalement en termes de conservation et de distribution.

L'évolution du plastique depuis son essor dans les années 50 ainsi que tous qui concerne les procédés de transformation de la matière première Jusqu'à un produit plastique final, Où nous avons mentionné ses différents types, y compris ceux qui sont utilisés dans l'industrie d'emballage agroalimentaire. Dans le premier chapitre on a parlé de l'impact de l'emballage plastique y compris les substances toxiques qu'ils contiennent sur notre santé et l'environnement de façon générale. Ainsi que quelques maladies dues à l'utilisation et la réutilisation de l'emballage lui-même, Comme nous l'avons mentionné, les problèmes les plus importants auxquels nous pouvons être faire face avec ce type d'emballage.

Le deuxième chapitre dresse à faire entrer les biopolymères dans l'industrie des emballages agroalimentaire comme une solution pour les problèmes déjà posés sur le chapitre précédent. Où nous avons cité les différentes sources qui peuvent être exploitées dans la fabrication de cette nouvelle génération de plastique comme l'amidon de maïs et de pomme de terre par exemple. Ainsi que les procédés de fabrication de chaque type des biopolymères et les caractéristiques les plus importantes de celui-ci, comme nous avons également mentionné certains additifs utilisés lors de la fabrication des emballages bioplastiques, qui à leur ajoutent des propriétés utiles comme les lubrifiants les colorants et les agents de remplissage. Ensuite, nous avons basé sur les propriétés des biopolymères utilisés dans la fabrication des emballages agroalimentaire (les produits laitiers) pour donner une importance à notre thématique et valoriser l'utilisation des bioplastiques dans la fabrication de ces emballages. Ainsi que des données statistiques sur la production mondiale au niveau des différentes régions, et d'autres paramètres liées au l'aliments lui-même comme la stabilité et la durée de vie.

Dans la partie pratique, nous extrayons l'amidon des déchets végétaux est un terme qui peut contribuer à fournir des matières premières pour l'industriela fabrication du bioplastique renforcé. Au cours de cette étude, les déchets agricoles du plant de pomme de

terre ont été utilisés en termes d'extraction et de rendement. Les résultats étaient prometteurs, car nous avons atteint un rendement de 20% en amidon, ou l'amidon de maïs et 73%.

Après avoir obtenu le matériau d'amidon, plusieurs films et pellicules bioplastiques ont été fabriqués afin qu'il puisse être utilisé dans plusieurs autres applications industrielles telles que l'emballage sûr et respectueux de l'environnement, l'emballage agroalimentaire (les produits laitiers), le traitement de l'eau, ainsi que l'industrie électronique et autre.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Aeschelmann et Carus. (2015).** Biobased Building Blocks and Polymers in the World: Capacities, Production, and Applications–Status Quo and Trends Towards 2020. *Industrial Biotechnology*, 11(3), P-P. 154-159. doi:10.1089/ind.2015.28999.fae.
2. **Ahmad. (1979).** Salinity induced changes in the growth and chemical composition on oh potato. *Pak J .BOT*, P-P. 103-112.
3. **Akoglu et Haldun. (2018).** User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18(3), P-P. 91–93. doi:10.1016/j.tjem.2018.08.001
4. **Al-Khalifa et Al-Nasser. (2010).** Microbial quality and safety of fresh and processed tomato products. *Journal of Food Safety*, 30(4), P-P. 928-938. Doi: 10.1111/j.1745-4565.2010.00245.x.
5. **Andrady. (2015).** The plastic in microplastics: a review. *Marine pollution bulletin*, 97(1-2), P-P. 341-348.
6. **Angellier. (2005).** Nanocristaux de maïs cireux pour applications composites, Université Joseph Fourier– Grenoble 1, dans
7. **Arapoglou., Varzakas., Vlyssides et Israilides. (2010).** “[Ethanol Production From Potato Peel Waste](#) (PPW)” *Waste Management*, vol 5.
8. **Ashter. (2016).** *Introduction to Bioplastics Engineering*. William Andrew.
9. **Ashteret et William Andrew. (2016).** "Introduction to Bioplastics Engineering"
10. **Atek et Belhaneche. (2005).** Investigation of the specific migration of additives from rigid poly, *eur.polym J.* 41, P-P. 707-714.
11. **Backofen. (1972).** *Deformation Processing* (Addison-Wesley) Reading, Mass.
12. **Barbons-Cánovas et Vega-Mercado. (2001).** Moisture control in food preservation. In *Handbook of food preservation* Marcel Dekker. P-P. 293-312.
13. **Bastioli, William Andrew. (1995).** "Handbook of Biodegradable Polymers." William Andrew.
14. **Bastioli. (2000).** *Handbook of Biodegradable Polymers*. ISmithersRapra Publishing.
15. **Belard. (2007).** *Novelles stratégies d'hydrophobation des matériaux à base d'amidon plastifié* [Thèse de Doctorat], Université Reims Champagne-Ardenne, France, P. 213.

- 16. Benharoun et M'rabet. (2021).** Bioplastique, utilisation et intérêt dans les industries des emballages agroalimentaires. Mémoire de Master. Université 8 mai 1945 Guelma faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers.
- 17. Bhatia., Gurav., Choi., Park., Yang., et Kim. (2019).** Recent advances in bioplastics and their environmental impact. Journal of environmental management, P-P. 43-650.
- 18. Biome Bioplastics. (2018).** "Biome Bioplastics Launches Biome Flex Range of Compostable Materials for Flexible Packaging."
- 19. Boyer et Shannon. (1987).** Carbohydrates of the kernel./n S.A. Watson & P.E. Ramstad, éd. Corn: chemistry and technology, St Paul, Minn., Etats-Unis, Am. Assoc. Cereal Chem. P. 253.
- 20. Braunegg., Kandelbauer., Lefebvre et Koller. (2011).** "Fossil-based plastics vs. bioplastics - comparing greenhouse gas emissions," Journal of Cleaner Production, vol. 19, no. 6-7, P-P. 536-544.
- 21. Bray. (1993).** "Structure and properties of oxide glasses", Progress in Materials Science, Volume 37, Issue 3, P-P. 283-361.
- 22. Brennan. (2011).** "Food Preservation». Food Processing Handbook. Wiley-VCH. P-P. 773-793.
- 23. Brouillet et Fugit. (2009).** Solutions to reduce release behavior of plasticizer out of PVC made equipments binary blends of plasticizers and thermal treatment. Polymer Bulletin, P. 843.
- 24. Buléon., Colonna et Leloup. (1990).** Les amidons et leurs dérivés dans les industries des céréales. Actualité des industries alimentaires et agro-industrielles, P-P. 515-531.
- 25. Buléon., Le Bail., Colonna et Bizot. (1998).** Phase and polymorphic transitions of starches at low and intermediate water contents, dans "The properties of water in foods ISOPOW 6", Eds D.S. Reid, London (UK).
- 26. Camire., Kubow et Donnelly. (2009).** Potatoes and Human Health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. P-P. 823-840.
- 27. Carrefour. (2013).** "Un nouvel emballage pour les salades Carrefour."
- 28. Castro-Aguirre., Gómez-Patiño et Ramos-de-la-Peña. (2020).** "Recent advances in food packaging based on sustainable materials and its use in the food industry," Journal of Cleaner Production, vol. P. 275.

29. **Chakrabort et Rao. (2017)** .Preservation of foods by application of high pressure. In Preservation and Shelf Life Extension P-P. 155-170. Woodhead Publishing.
30. **Chen et Lu. (2004)**. Micro and nano-fabrication of biodegradable polymers for drug delivery. Adv. Drug Delivery Rev. 56, P-P. 1621–1633.
31. **Chen., Zhu., Yang et Zhou. (2016)**. Biodegradable starch-based polymeric materials: opportunities and challenges. Journal of The Science of Food and Agriculture, 96(7), P-P. 2279-2287.
32. **Chene. (2004)**. Les Amidons, Journal de l'ADRIANOR, Agro-Jonction n°34, dans
33. **Chinnan, M. S., Sablani, S. S., Rahman, M. S., & Saba, N. (2011)**.Blown-film extrusion of biodegradable starch-based plastics. International Journal of Polymer Science, P-P. 1-9.
34. **Coffman. (1977)**. Plast.Eng. 8 19.
35. **Colonna et Mercier. (1984)**. Macromolecular structure of wrinkled- and smooth-pea
36. **Commission Européenne. (2007)**. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Fabrication des polymères, Août 2007, P-P. : 1-3, 141, 142, 145. <https://docplayer.fr/15817496-Fabrication-des-polymeres.html>
37. **Commission Européenne. (2011)**. Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food. Official Journal of the European Union, L12, P-P. 1-89.
38. **Conseil de la transformation agroalimentaire et des produits de consommation (CTAC). (2010)**. Guide de l'emballage alimentaire. Québec https://conseiltaq.com/wp-content/uploads/2017/05/Guide_emballage_F.pdf
39. **Conseil de la transformation agroalimentaire et des produits de consommation (CTAC). (2008)**. Emballage alimentaire : enjeux et opportunités. Québec https://www.agrireseau.net/TransformationAlimentaire/documents/CTAC_emballage_alimentaire.pdf.
40. **Corbo., Bevilacqua et Sinigaglia. (2003)**. Effects of some environmental factors on the growth kinetics of Pseudomonas fluorescens in a culture broth. Food Microbiology, 20(4), P-P. 447-453.
41. **Cristina Bach campá. (2011)**. Evaluation de la migration des constituants de l'emballage en poly (éthylène téréphtalate) (pet) vers l'eau, des facteurs d'influence et

- du potentiel toxique des migrants. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de lorraine école doctorale énergie mécanique matériaux institut jean Lamour.
- 42. Davidovic. (2006).** Matériaux biodégradable à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles application à l'emballage alimentaire Thèse Doctorat spécialité physicochimie des polymères, université du Sud Toulon var France. P. 201.
- 43. Day, (2007).** "Glass: Chemistry, Structure and Properties", Glass Science and Technology, Volume 5, P-P. 1-12.
- 44. De Wilde . (2003).** Plastiques biodégradables : emballages compostables, point de la situation. Pack News 154.
- 45. Debeaufot., Galic., Kurek., Benbettaieb et Scetar. (2022).** Matériaux et procédés d'emballage pour les industries, alimentaires cosmétiques et pharmaceutiques, Agronomie et sciences des aliments (emballages et recyclage)
- 46. Dell'Anna., Faraco et Giordano. (2018).** Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. A review. Agronomy for Sustainable Development, 38(2), P-P. 1-21.
- 47. Design for Europe. (2015).** A Brief History of Food Packaging. Retrieved from <https://www.designforeurope.eu/resource/brief-history-food-packaging>
- 48. Doi, et Fukuda. (1990).** Biodegradable plastics and polymers. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 327(1247), P-P. 581-588.
- 49. E.B.LY. (2008).** Nouveaux matériaux composites thermo formables à base de fibres de cellulose, Institut National Polytechnique de Grenoble, dans
- 50. El-Hadj Ali Hamouda. (2010).** La pomme de terre, Dar El-Khartoum, Soudan. P-P. 43-40.
- 51. European Bioplastics. (2019).** Thermoforming of bioplastics: Guide. https://docs.european-bioplastics.org/guides/EBP_Guidelines_Thermoforming_01-2019.pdf
- 52. European Bioplastics.(2021).** Whybioplastics, de <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/why-bioplastics/>

- 53. Fabra., Jiménez., Atarés., Talens et Chiralt. (2016).** Properties of chitosan–gelatin films reinforced with nanoparticles at two different relative humidities. *Carbohydr. Polym.* 141, P-P. 36–44.
- 54. Fabra., Talens., Chiralt et González-Martínez. (2012).** Barrier properties of biodegradable packaging based on protein/polyanion coatings. *Food Hydrocolloids* 28, P-P. 64–70.
- 55. Florence et Michael. (2020).** Biobased building blocks and polymers in the world: capacities, production, and application-status quo and trends towards. Industry report. Nova-institute, hürth-germany.
- 56. G'Sell. (1988).** [Instabilités de déformation pendant l'étirage des polymères solides.](#) Laboratoire de Physique du Solide, U.A. CNRS 155, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 Nancy Cedex, France.
- 57. Garlotta. (2010).** A literature review of poly (lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), P-P. 63-84.
- 58. Gironès. (2020).** Injection molding of bio-based plastics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109732. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109732>
- 59. Gontard., Guibert et Cuq. (1993).** Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, 58(1), P-P. 206-211.
- 60. Gontard., Guillard., Gaucel et Guillaume. (2017).** L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions. *Innovations Agronomiques* 58, 1–9. <https://doi.org/10.15454/1.5137830815050605E12>
- 61. Gould. (2000).** Introduction to Food Preservation. Springer Science & Business Media.
- 62. Goyanes., Blandino et Gallo. (2020).** Recent Advances on Starch-Based Films and Coatings for Packaging Applications. *Food and Bioprocess Technology*, 13(7), P-P. 1075-1095.
- 63. Grob., Biedermann., Scherbaum., Roth et Rieger. (2014).** Migration of substances from bio-based and petroleum-based plastics used as food packaging into water and their simultaneous determination. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406(29), P-P. 7385-7396.
- 64. Gu JD. (2003).** Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *Int. Biodeter. Biodeg.* , P-P. 69–91.

- 65. Guilbert et Gontard. (1995).** Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(7), P-P. 509-524.
- 66. Guillet Fabien., Vianez et Bremont. (2015).** *Les Plastiques et Bioplastiques*. P. 20.
- 67. Habibi. (2014).** Key advances in the chemical modification of nanocelluloses. *Chemical Society Reviews*, 43(5), P-P. 1519-1542.
- 68. Han. (2004).** Food Packaging - Roles, Materials, and Environmental Issues .*Journal of Food Science*.
- 69. Hasirci ., Lewandrowski ., Gresser ., Wise et Trantolo. (2001).** Versatility of biodegradable biopolymers: degradability and an in vivo application. *J. Biotechnol.* 86, P-P. 135–150.
- 70. Hizukuri. (1986).** Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*, 147(2), P-P. 342-347.
- 71. Hizukuri., Takeda et Yasuda. (1981).** Multibranched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydrate Research*, 94(2), P-P. 205-213.
<http://ebureau.univ-reims.fr/slide/files/quotas/SCD/theses/exl-doc/GED00000984.pdf>.
- 72. Ivankovic., Thomas et Singh, R. P. (2014).** Biopolymer-based packaging materials: A review. In *Advances in food and nutrition research* Vol. 71, P-P. 183-213. Academic Press.
- 73. Jambrak., Stupić and Ščetar, (2019).** "Starch Extraction: Principles, Equipment and Devices" (Polymers) Ardenne, dans
- 74. Jay., Loessner et Golden. (2019).** *Modern Food Microbiology*. Springer.
- 75. Jeantet., Croguennec., Schuck et Brulé. (2007).** *Science des aliments, Biochimie-Microbiologie-Procédés-Prouits*. Volume 2 Technologie des produits alimentaires. Editions Lavoisier.
- 76. Jiang., Wolcott et Zhang. (2013).** Study on the properties of starch-based composite films. *Carbohydrate Polymers*, 91(1), P-P. 22-29.
- 77. Jovanovic., Schmid et Chau. (2013).** Biopolymer-based films for the protection of dairy products. In *Biopolymers and biotech admixtures for eco-efficient construction materials*. Wood head Publishing. P-P. 303-327.

- 78. Khan et Shahzad. (2019).** Bioplastics: An alternative towards sustainable packaging. Journal of Renewable Materials, P-P. 919-927.
- 79. Kim and Lee. (2015).** "Development of a Biodegradable Packaging Material from Cassava Starch and Its Performance Evaluation." Journal of Food Science and Technology, vol. 52, no. 6, P-P. 3515–3521.
- 80. Krishnan., Sundarrajan., Ramakrishna et Seeram (2012).** Green Processing of Nanofibers for Regenerative Medicine. Macromolecular Materials and Engineering, (), n/a–n/a. doi:10.1002/mame.201200323
- 81. Kumar., Choudhary., Mishra., Varma et Mattiason. (2002).** Adhesives and plastics based on soyprotein products. Ind. Crop Prod. P-P. 155–172.
- 82. Kumar., Singh., et Ahuja. (2019).** Polysaccharide-Based Bioplastics: A Promising Alternative to Petrochemical-Based Plastics. In Renewable Energy and Sustainable Technologies for Building and Environmental Applications. Springer, Singapore. P-P. 217-232.
- 83. Kunioka. (2009).** Biodegradable plastics and polymers. John Wiley & Sons.
- 84. Laamouri. (2007).** La vision des marchandises Agricoles, N° 31, La pomme de terre en syrie.
- 85. Lafargue. (2007).** Etude et élaboration de films à base de polysaccharides pour la fabrication de gélules pharmaceutiques, Thèse de Doctorat, Université de Nantes, dans http://www.inra.fr/les_partenariats/collaborations_et_partenaires/entreprises/en_direct_des_labos/des_gelules_pharmaceutiques_vegetales
- 86. Landreau. (2008).** Matériaux issus de ressources renouvelables mélange amidon plastifié /PA11 compatibilités, Thèse de Doctorat, Université Reims Champagne-Ardenne, France.
- 87. Legros., Chapleau et Li. (2011).** La plasturgie et les matériaux biosourcés. Colloque québécois sur les bioplastiques compostables, Sherbrooke.
- 88. Linden et Lorient. (1994).** Biochimie agro-industrielle: Valorisation alimentaire de laproduction agricole, MASSON Paris Milan Barcelone.
- 89. Liu., Sun ., Wang., Zhang et Wang. (2005).** Microspheres of corn protein, zein, for an ivermectin drug delivery system. Biomaterials 26. P-P. 109–115.

90. **Liu., Zhao et Wan. (2001).** Research progresses on degradation mechanism in vivo and medical applications of polylactic acid. *Space Med. Eng.* 14 (4) P-P. 308–312.
91. **López-Rubio., Gavara et Lagarón. (2019).** Bioplastics for food packaging applications. In *Food packaging and preservation* . CRC Press. P-P. 239-276.
92. **Lourdin D., Bizot H. et Colonna P. (1997).** “Anti plasticisation” in starch/glycerol films.
93. **Majumdar., Chakraborty et Chakraborty. (2015).** Effect of light on vitamins and pigments in fruits and vegetables during postharvest storage. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1). P-P. 38-48.
94. **Manjeet Aggarwal., Nidhi Bansal., and Karam Singh. (2015).** "Starch Extraction from Maize (Corn) and Its Applications" (*International Journal of Food Properties*)
95. **Mariano., Waldron et Gomes. (2014).** Production of bottles from potato starch and high-density polyethylene blends by extrusion blow moulding. *Journal of Polymer and the Environment*, 22(1). P-P. 104-113.
96. **Mathlouthi. (2008).** *Emballage et conservation des produits alimentaires.*
97. **Meredith et Scallan. (2019).** *Handbook of Food Preservation.* John Wiley & Sons.
98. **Middleton et Tipton. (1998).** Synthetic biodegradable polymers as medical devices. *Med. Plast. Biomater. Mag.* P-P. 30–39.
99. **Mohanty., Amar., Manjusri ., Lawrence., Susan., Bruce et Georg. (2000).** "Natural fibres, biopolymers, and biocomposites: An introduction. Taylor & Francis Group.
100. **Mohanty., Misra et Hinrichsen. (2011).** *Bio-based plastics: Materials and applications.* John Wiley & Sons.
101. **Monnet. (2008).** Etude de l'évolution des propriétés mécaniques de matériaux amyliques par sélection et/ou modifications structurales dirigées, Université de Reims Champagne-
102. **Morris. (2018).** A Brief History of Food Packaging. Retrieved from <https://www.packagingstrategies.com/articles/91359-a-brief-history-of-foodpackaging>.
103. **Mulder., Iqbal et Shahzad. (2016).** A review of biodegradable polymers: uses, current developments in the synthesis and characterization of biodegradable polyesters, blends of biodegradable polymers and recent advances in biodegradation studies. *Polymer Reviews*, 56(4). P-P. 602-642.

104. **Mulot. (2007).** La vérité sur les plastiques biodégradables. Sciences et avenir, n o 725. P-P.8-17.
105. **Multon., Bureau et Gilbert. (1997).** L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation (sciences et tec). technique & doc.
106. **Nanda., Mohanty et Maiti. (2020).** " Bioplastics: A Review on the Recent Progress and Emerging Developments in Synthesis, Properties and Biodegradability" (Journal of Polymers and the Environment,)
107. **National Renewable Energy Laboratory. (2019).** Organic Plastics. Retrieved from <https://www.nrel.gov/workingwithus/re-organic-plastics.html>
108. **Nestlé. (2020).** "Nestlé launches new recyclable paper packaging for YES! Snack bars.").
109. **Niaounakis. (2016).** Biopolymers: Applications and Trends. William Andrew Publishing.
110. **Nidhi., Bhupendra and Karam. (2016).** "Extraction of Starch from Different Sources and Its Applications» (Critical Reviews in Food Science and Nutrition,)
111. **Okada. (2002).** Chemical syntheses of biodegradable polymers. Prog. Polym. Sci. 27, . P-P. 87–133.
112. **Pacheco-Torgal., Jalali et Fucic. (2016).** Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials, Wood head Publishing.
113. **Peleg et Cole. (1998).** Reinterpretation of microbial survival curves. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 38(5). P-P. 353-380.
114. **Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers in Europe) (2001).** Biodegradable plastics. Positio.
115. **Plastics Europe.(2018).** Plastics - the Facts 2018. Retrieved from https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1711/8081/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf
116. **Pollock. (2018).** A Brief History of Packaging. Retrieved from
117. **Preventpack. (2012).** Dossier Biopackaging. In Preventpack. Site de Preventpack, Enligne.<http://www.preventpack.be/tpl/publications/pdf/fr/201206-14-Dossier.pdf>
118. **Pucci., Haque et Sivaramakrishnan. (2020).** Biopolymer-Based Packaging Materials: A Review. Materials, 13(7), P.1619.

119. **Rabetafika., Paquot et Dubois. (2006).** Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique. Biotechnologie, agronomie, société et environnement.
120. **Rahman. (2017).** Handbook of Food Preservation, Second Edition. CRC Press.
121. **Rao et Chakraborty. (2017).** Food preservation by novel food processing technologies. In Food Preservation and Shelf Life: Extension and New Methodologies. Wood head Publishing. P-P. 171-192.
122. **Raybaudi-Massilia., Mosqueda-Melgar et Soliva-Fortuny. (2009).** Emerging preservation techniques for controlling spoilage and pathogenic microorganisms in fresh vegetable juices. Food Control, 20(10). P-P. 905-910.
123. **Reddy, (2013).** Bioplastics: An overview. Macromolecular Materials and Engineering, 298(5), 557-576. <https://doi.org/10.1002/mame.2012003234>.
124. **Reddy., Gupta et Reddy. (2013).** Study of bio-plastics as green and sustainable alternative to plastics .International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
125. **Rutot, D., et Dubois, P. (2004).** Les (bio) polymères biodégradables : l'enjeu de demain, Chimie des matières renouvelables, 86. P-P. 66-74.
126. **Sabry. (2022).** Bioplastique, [Un Milliard De Personnes Informées \[French\]](#).
127. **Schwach. (2004).** Etude de systèmes mutiphases biodégradables à base d'amidon de blé plastifié Relations structure – propriétés Approche de la compatibilisation, dans <http://ebureau.univreims.fr/slide/files/quotas/SCD/theses/exl-doc/GED00000112.pdf>
128. **Semiatin et Jonas. (1984).** Formability and Workability of Metals ASM Ser. Metal Processing, Ed. H. L. Gegel (A.S.M.) Metals Park, Ohio.
129. **Sepelev et Galoburda. (2015).** "industrial potato peel (solanum tuberosum) waste application in food vol7.
130. **Smith. (2005).** Biodegradable polymers for industrial applications. Cambridge, Wood head Publishing Limited, P. 531.
131. **Srikanth. (2011).** Handbook of Bio plastics and Bio composites Engineering Applications. Massachusetts: Wiley Scrivener Publishing LLC. starch components. Carbohydrate Research. P-P. 233-247.
132. **Stephen., Joseph et Sons. (2013).** "Bioplastic Manufacturing and Engineering"

133. **Sun., Cheng et Zhou. (2018).** "Recent Advances in the Study of Thermal Properties of Biodegradable Polymers and Their Composites." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 134, no. 2, P-P. 787–804. doi:10.1007/s10973-018-7211-1.
134. **The Packaging School. (2020).** the Evolution of Food Packaging. Retrieved from <https://packagingschool.com/the-evolution-of-food-packaging/>
135. **Thompson., Moore., VomSaal et Swan. (2009).** Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526). P-P. 2153-2166.
136. **United States Department of Agriculture. (2018).** Bioplastics. Récupéré le 7 mai 2023, de <https://www.usda.gov/topics/plants/bioplastics>
137. **United States Environmental Protection Agency. (2021).** Advantages and Disadvantages of Bioplastics, de <https://www.epa.gov/sustainable-management-plastics/advantages-and-disadvantages-bioplastics>
138. **van Soest., Wit., Tournois et Vliegthart. (1994).** "Retrogradation of potato starches as studied by Fourier transform infrared spectroscopy". *Starch/Staerke*, P-P. 453-457.
139. **Van Dam ., Klerk-Engels., Struik et Rabbinge. (2005).** Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy. *Ind. Crop Prod.* 21. P-P. 129–144.
140. **Warwel., Bruse., Demes., Kunz et Klaas. (2001).** Polymers and surfactants on the basis of renewable resources. *Chemosphere* **43**. P-P. 39–48.
141. **Weiss et Charles. (2005).** Science, technology and international relations. *Technology in Society*, 27.3: P-P. 295-313.
142. **Wertz. (2011).** L'amidon et le PLA : deux biopolymères sur le marché Document ValBiom – Gembloux Agro-Bio Tech Document FARR-Wal – Avec le soutien de la Région Wallonne – DGO3/4. Réf. 2010_xx_xx.
143. **Wongsagonsup., Pechyen et Suppakul. (2018).** Biodegradable films based on starch and chitosan for packaging of dairy products. In *Dairy Engineering*, Springer. P-P. 227-250.

144. **Xiu-LI., Yang et Wang . (2003).** Properties of Starch blends with biodegradable Polymers. *J. Macromol. Sci., Part C – Polymer Reviews* **43** (3), P-P. 385–409.
145. **Xu., Xiang., Tan. (2020).** "Recent Advances in Biodegradable Polymers for Sustainable Packaging," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 4, P. 39.
146. **Yu. (2009).** *Biodegradable Polymers Blends and Composites from Renewable Ressources.* New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., P. 487.
147. **Zarzycki. (1995).** "Silica-based and silica-containing glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Volume 184, Issues 1-2, P-P. 1-18.
148. **Zobel. (1988).** Molecules to granules: a comprehensive starch review. *Starch/Stärke*, 40(2), P-P. 44-50.
149. **Zwiener., Glauner et Frimmel. (2002).** Method optimization for the determination of carbonyl compounds in disinfected water by DNPH derivatization and LC–ESI–MS–MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 372(5-6), P-P. 615-621.
<https://doi.org/10.1007/s00216-002-1233-y>
- 150.

Sites web

Utilisation des emballages organiques (bioplastiques) dans les industries des produits laitiers

Références bibliographiques

Les références

- [1]. PBS. (n.d). A Brief History of the Bento Box. Retrieved from. <https://www.pbs.org/food/the-history-kitchen/brief-history-bento-box/>
- [2]. The History of Packaging.(n.d.).Timeline of Packaging. Retrieved from <https://crawfordpackaging.com/learn/history-of-packaging/>
- [3]. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/fr/>.
- [4]. FreshSeal.(n.d.).The History of Vacuum Packaging.Retrieved from <https://www.firstfoodmachinery.co.uk/history-vacuum-packing/> / 23 juil. 2019
- [5]. <https://www.almerja.com/reading.php?idm=174232%20September%202014>
- [6]. http://www.lesateliersenherbe.com/carton-potager-lasagne-nocif/25_janv._2013
- [7]. "Carton." Encyclopædia Britannica. Encyclopædia Britannica, Inc., n.d. Web. 13 May. 2023. <https://www.britannica.com/topic/carton>.
- [8].https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.antal.fr%2Faccueil%2Ffoire-aux-questions%2Fproduits%2Fcaisses-cartons-ondule.html&psig=AOvVaw04k-lAaRjOWAfBdQSa_Mvd&ust=1680388767772000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLC8_4qeh_4CFQAAAAAdAAAAABAF
- [9]. <https://lpb carton.com/blog/les-differents-types-de-carton/>
- [10]. <https://www.premiumbeautynews.com/>.
- [11]. <https://www.tupack-groupe.com/wp-content/uploads/2017/01/Chris-site-2016-EM2-mandrins-palette-790x500.jpg>.
- [12]. <https://blog.greenuso.com/fr/emballage-en-carton/>
- [13]. <https://fr.custompackingpapers.com/news/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-p-55950247.html>9 mars 2022.
- [14]. <https://blog.greenuso.com/fr/emballage-en-carton/>.
- [15]. <https://lesjoyeuxrecycleurs.com/lexique/le-verre/>15 sept. 2022.
- [16]. <https://www.almr.sal.com/post/1024427> 31 mars 2023.
- [17]. La composition chimique de verre. <https://www.marefa.org/>, 13 avril. 2022.
- [18]. http://www.atomer.fr/1/1_composition-chimique-verre.html.
- [19]. <https://www.verallia.com/fabrication-du-verre/>.
- [20]. <https://www.paprec.com/fr/comprendre-le-recyclage/tout-savoir-sur-les-matieres%20%20recyclables/ferrailles-et-metiaux/la-fabrication-du-metal/>.
- [21]. <https://www.archi7.net/J34/index.php/notions/155-le-nom-et-la-composition-des-difer%20ents-metiaux>

