

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



UNIVERSITE Abou Bakr BelKaid - TLEMCEM  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE



MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de Master

Spécialité : Science de la matière

Option : Physique énergétique énergie renouvelable

Thème

---

---

ÉLABORATION DE BIOMATÉRIAUX À PARTIR DE  
DÉCHETS MÉNAGERS ET AGRICOLES

---

---

Par :

*Mlle. Imène DEHAOUI*

Soutenu le : 26 juin 2018

**Devant le jury:**

<b>Président:</b>	Pr N.CHABANE SARI	Univ Abou Bekr BelKaid-TLEMCEM
<b>Encadreur:</b>	Dr. A. CHIALI	ESSA TLEMCEM
<b>Examineurs:</b>	Dr.S.AMARA	Univ Abou Bakr BelKaid-TLEMCEM
	Dr.T.BAGHDADLI	Univ Abou Bakr BelKaid-TLEMCEM

## **Remerciements**

*Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la santé, et la patience de mener à terme ce présent travail.*

*Je tiens à remercier très vivement Mon encadreur, Monsieur CHIALI ANISSE, j'aimerais lui présenter mes vifs sentiments pour sa confiance en me prenant sous son aile. il a été disponible et patient avec toujours l'envie de me transmettre son savoir.*

*je remercie chaleureusement Monsieur CHABANE SARI NASR-ADDINE, Professeur à l'Université de TLEMCEM, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire de présidence travail. Et Monsieur AMARA SOUFIANE directeur de laboratoire URMER et Monsieur BAGHDADLI TOUFIK maître de conférence à l'Université de TLEMCEM, pour avoir accepté d'être examinateurs de ce mémoire.*

*Je remercie **mes parents** pour les efforts, entrepris pour mes études et l'accomplissement d'une partie du chemin de l'existence pour mon éducation qu'ils m'ont inculqué. la détermination à réussir qu'ils m'ont appris et c'est une obligation et un devoir de leur offrir ma réussites et mon succès.*

*Enfin, je remercie tout :*

*Mes collègues du laboratoire URMER pour leur soutien.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce travail à mes parents*

*Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*Mon frère Okacha et ma sœur Salsabila*

*A mes amies.*

*A tous ceux qui me sont chères.*

*A tous ceux qui m'aiment.*

*A tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce travail*

## SOMMAIRE

Introduction générale.....	2
<b><u>Chapitre I : Le recyclage notions et définitions</u></b>	
I.Introduction .....	7
II. Le cycle de recyclage.....	8
III. Comment les matières recyclables sont-elles collectées?.....	9
1. Les systèmes de récupération des matériaux .....	9
2. Séparation à la source .....	9
3. Le recyclage mixte .....	9
IV. Le traitement.....	12
V. Fabrication avec des ressources recyclées .....	13
VI. Pourquoi le recyclage ?.....	17
1. Le recyclage permet d'économiser les matières premières .....	17
2. Le recyclage réduit notre impact sur le changement climatique .....	17
3. Le recyclage coûte moins cher .....	17
4. Le recyclage génère de l'argent .....	18
5. Le recyclage crée des emplois.....	18
6. Le recyclage nous aide à vivre de façon durable .....	18
VII. Référence bibliographique .....	20
<b><u>Chapitre II : Les polymères notions et définitions</u></b>	
I. Introduction .....	23
II. L'histoire de polymère.....	24
III. Classification des polymères .....	26
a. Les polymères naturels .....	26
b. Les polymères synthétiques .....	27
IV. Polymérisation .....	29
1. Polymérisation d'addition .....	29
2. Polymérisation par condensation.....	29
V. Les domaines d'application .....	30
1. Polymères et aliments .....	30
a. Agriculture.....	30
b. Distribution.....	30
c. Vente au détail.....	30
d. Dans la cuisine.....	30

e. Dans la nourriture.....	30
2. Polymères dans le sport.....	31
3. Polymères dans les produits médicaux.....	32
a. Lentilles de contact .....	32
b. Les soins des plaies.....	32
c. Polymères dentaires.....	33
VI. Référence bibliographique.....	34

### **Chapitre III : Les biomatériaux**

I. Introduction .....	38
II. Définition.....	40
1. À base de pomme de terre.....	41
2. A base de maïs.....	41
III. Histoire de bioplastique .....	43
IV. La situation actuelle et les perspectives d'évolution .....	44
V. Les procédés de fabrication les bioplastiques (plastiques végétales).....	46
VI. Domaine d'application .....	49
a. Emballage.....	49
b. Des sacs.....	49
c. Wraps.....	49
d. Agriculture et Horticulture.....	50
e. Film de paillis.....	50
f. Protecteurs d'arbres et supports / piquets de plante.....	50
g. Soins personnels et hygiène.....	50
h. Électronique.....	51
i. Automobiles.....	51
j. Emballage alimentaire.....	52
k. Enrobage.....	52
l. Mélange.....	52
m. Modification chimique et / ou physique.....	53
n. Construction.....	53
VII. Les avantages et les inconvénients .....	54
a. Les avantages .....	54
b. Les inconvénients .....	55

VII. Conclusion.....	57
IX. Référence bibliographie.....	58

**Chapitre IV : Synthèse et caractérisation de biomatériaux à partir des épiluchures de bananes et me lait impropre à la consommation**

I. Introduction.....	62
II. Procédés de caractérisation utilisés .....	62
1. Caractérisation des échantillons par MEB .....	62
a) Principe de fonctionnement .....	62
b) Historique .....	63
2. Caractérisation des échantillons par DRX .....	64
a) Définition .....	64
b) Historique.....	64
c) Applications.....	65

**PARTIE 1 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIOMATÉRIAUX A PARTIR DES ÉPILUCHURES DE BANANES.....**

I. Introduction .....	66
II. Procédures expérimentales .....	66
1. L'organigramme de synthèse de biomatériau .....	66
2. Préparation des épiluchures de bananes .....	67
3. Synthèse de biomatériau .....	67

III. Caractérisation des échantillons .....	70
III.1-Analyse FTIR.....	70
III.2-Analyse DRX .....	70
III.3-Caractérisation du bio polymère par MEB.....	71

**PARTIE 2 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIO POLYMERES A PARTIR DE LAIT IMPROPRE A LA CONSOMMATION.....**

I. Introduction .....	72
II. Procédures expérimentales.....	73
1. Les matériaux .....	73
2. L'organigramme de synthèse de polymère .....	74
3. Préparation de la caséine.....	75
4. Synthèse de polymère .....	75
III. Caractérisation des échantillons .....	78
III.1-Analyse FTIR.....	78

III.2-Analyse DRX.....	78
III.3-caractérisation du bio polymère par MEB .....	79
Référence bibliographique .....	80
Conclusion générale.....	83

## La liste des figures

**Figure I.1 :** *le symbole de recyclage.*

**Figure I.2 :** *Cycle de vie d'un produit recyclé par rapport à un produit vierge.*

**Figure I.3 :** *exemples de conteneurs de recyclage.*

**Figure I.4 :** *composition des déchets ménagers en Algérie 2004.*

**Figure I.5 :** *composition des déchets ménagers en Algérie 2013.*

**Figure I.6 :** *représente le verre en calcin.*

**Figure I.7 :** *représente les bouteilles de plastique mis en ballots.*

**Figure II.1 :** *Définition de polymère.*

**Figure II.2 :** *Les toiles d'araignée sont fabriquées à partir d'une protéine.*

**Figure II.3 :** *Billes en polyéthylène.*

**Figure II.4 :** *exemple des polymères synthétiques (plastique).*

**Figure II.5 :** *exemple de polymère.*

**Figure II.6 :** *exemple des polymères dans le sport.*

**Figure II.7 :** *exemple de polymère dans le domaine médical.*

**Figure III.1 :** *Capacités de production globales de bioplastiques.*

**Figure III.2 :** *Capacités de production globales de bioplastiques par régions.*

**Figure III.3 :** *Boucle de fabrication d'une matière bioplastique.*

**Figure III.4 :** *Premier sacs de plastique en Inde 100% biodégradable à partir de déchets végétales.*

**Figure IV.1 :** *organigramme de synthèse de bioplastique à base d'épluchure de banane.*

**Figure IV.2 :** *découpage la peau de banane.*

**Figure IV.3 :** *mixage des épluchures.*

**Figure IV.4 :** *la pâte fluide.*

**Figure IV.5 :** *traitement thermique.*

**Figure IV.6 :** *séchage par papier*

**Figure IV.7 :** *chauffage de la pâte*

**Figure IV.8 :** *synthèse de biomatériaux*

**Figure IV.9 :** *Analyse FTIR de polymère à base d'épluchures de banane.*

**Figure IV.10 :** *Diagramme de diffraction des rayons X montrant la nature cristalline du matériau bio plastique.*

**Figure IV.11 :** *MEB représentant les structures de d'échantillon de biopolymères à différentes résolutions.*

**Figure IV.12 :** *organigramme de synthèse de polymère à base de lait (la caséine)*

**Figure IV.13 :** *chauffage le lait*

**Figure IV.14 :** *l'acide acétique et le lait*

**Figure IV.15 :** *filtrage le lait caillé*

**Figure IV.16 :** *séchage par papier*

**Figure IV.17 :** *la caseine obtenue*

**Figure IV.18 :** *le soufre*

**Figure IV.19 :** *le NaOH*

**Figure IV.20 :** *production de bio polymère*

**Figure IV.21 :** *Spectre FTIR de caséine et de petit lait obtenu expérimentalement.*

**Figure IV.22 :** *Spectre DRX de biomatériau à base de lait*

**Figure IV.23 :** *MEB représentant les structures de d'échantillon de biopolymères à différentes résolutions.*

## **La liste des tableaux**

**Tableau I.1 :** *représente un résumé des différentes matières qui peuvent se recycler.*

**Tableau I.2 :** *représente un système de codage d'identification des bouteilles de plastique.*

**Tableau II.1 :** *Comparaison entre les polymères naturels et synthétique.*

**Tableau III.1 :** *Le tableau ci-dessus donne une brève comparaison de diverses propriétés des deux plastiques.*

**Tableau IV.1 :** *composition des épluchures de bananes.*

**Tableau IV.2 :** *la composition de 100g lait.*

**Tableau IV.3:** *Indexation des pics de l'échantillon de nanoparticules de Cuivre*

## **Introduction générale :**

Les matériaux plastiques sont actuellement considérés comme des matériaux très importants en raison de leurs propriétés et de leur performance par rapport à d'autres matériaux tels que le métal et le bois. La production annuelle mondiale de plastiques devrait dépasser 300 millions de tonnes d'ici 2015<sup>[1]</sup>. Parce que les plastiques sont utilisés dans une large gamme de applications.

Le premier problème environnemental qui conduit aux plastiques est "le problème de la décharge". La quantité croissante de déchets plastiques a émergé comme une crise dans le monde en raison de la diminution de la capacité d'enfouissement, de la hausse des coûts et d'une législation forte. Le deuxième problème environnemental est «l'accumulation de plastiques dans les océans». Par exemple, dans une étude à long terme dans l'Atlantique Nord, un échantillon d'eau de mer contenait l'équivalent de 580 000 morceaux de plastique par kilomètre carré <sup>[2]</sup>. En outre, l'incinération de plastique génère des émissions toxiques telles que le dioxyde de carbone et le méthane.

Pour éviter les problèmes environnementaux comme la pollution nous devons appliquer le recyclage dans notre environnement et recyclé les déchets ménagers et agricole pour voir un bioplastique non contaminé. Intérêt de ce travail est voir des panneaux solaires (les supports) 100% renouvelable.

Ce manuscrit est organisé en quatre chapitres ;

Le premier chapitre on va présenter des notions et définitions sur le recyclage, comment les matériaux sont-elles collectées et les avantages et les inconvénients de recyclage.

Le deuxième chapitre comporte des généralités sur les polymères, polymérisation, classification des polymères et les domaines d'applications.

Le troisième chapitre on va présenter des définitions sur biomatériaux, un historique sur les bioplastiques, les domaines d'applications et les avantages et les inconvénients.

Le quatrième chapitre comporte deux parties :

---

<sup>1</sup> « Plastics and Health Risks | Annual Review of Public Health », <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714>.

<sup>2</sup> « Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre | Science », consulté le 5 juin 2018, <http://science.sciencemag.org/content/329/5996/1185>.

La première partie présente les procédures expérimentales et les matériaux utilisés pour la préparation des bioplastique à partir les épluchures de bananes et le lait impropre à la consommation.

La deuxième partie on va présenter les résultats expérimentaux obtenus à partir de caractérisation des bio polymères par DRX et par MEB.

**Référence :**

1. « Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre | Science ». <http://science.sciencemag.org/content/329/5996/1185>.
2. « Plastics and Health Risks | Annual Review of Public Health ». <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714>.

## SOMMAIRE

I.	Introduction :.....	7
II.	Le cycle de recyclage : .....	8
III.	Comment les matières recyclables sont-elles collectées?.....	9
1.	Les systèmes de récupération des matériaux :.....	9
2.	Séparation à la source :.....	9
3.	Le recyclage mixte : .....	9
IV.	Le traitement : .....	12
V.	Fabrication avec des ressources recyclées :.....	13
VI.	Pourquoi le recyclage ? .....	17
1.	Le recyclage permet d'économiser les matières premières :.....	17
2.	Le recyclage réduit notre impact sur le changement climatique : .....	17
3.	Le recyclage coûte moins cher : .....	17
4.	Le recyclage génère de l'argent : .....	18
5.	Le recyclage crée des emplois :.....	18
6.	Le recyclage nous aide à vivre de façon durable :.....	18
VII.	Référence bibliographique : .....	20

## **I. Introduction :**

Le recyclage est un processus dynamique qui restaure le cycle de vie d'un matériau qui donne une seconde vie à la matière première.

C'est la récupération de matériaux utiles, tels que le papier, le verre, le plastique et les métaux de la poubelle à utiliser pour fabriquer de nouveaux produits, réduisant la quantité de matières premières vierges nécessaires. Hoosiers génère chaque année environ huit millions de tonnes de déchets solides municipaux, dont une grande partie peut être recyclée.<sup>[1]</sup>

Il y a de nombreux avantages à recycler, et avec autant de nouvelles technologies rendant encore plus de matériaux recyclables, avec l'aide de tous, nous pouvons nettoyer notre Terre. Le recyclage profite non seulement à l'environnement mais a également un effet positif sur l'économie. Le recyclage est rapporté tout au long de l'histoire de l'humanité, mais il a parcouru un long chemin depuis l'époque de Platon où les humains ont réutilisé des outils cassés et de la poterie quand les matériaux étaient rares. Aujourd'hui, il y a une multitude d'avantages qui proviennent du recyclage ainsi que des tonnes d'articles qui peuvent être recyclés.

Pour réaliser pleinement les avantages du recyclage, quatre éléments doivent être en équilibre: la collecte, le tri, la fabrication et l'achat de matières recyclées.

La première étape est la collecte. Les matériaux proviennent du centre commercial ou du centre de collecte.

La deuxième étape est le traitement et la commercialisation des matériaux recyclés. Les matériaux sont triés puis vendus.

La troisième étape est la fabrication. Les matières recyclables sont transformées en nouveaux produits et prennent une nouvelle vie en tant que biens de consommation.

La quatrième étape est l'achat par le consommateur de produits fabriqués à partir de matériaux recyclés.<sup>[2]</sup>

---

<sup>1</sup> « factsheet\_recycling.pdf », consulté le 20 janvier 2018, [https://www.in.gov/idem/files/factsheet\\_recycling.pdf](https://www.in.gov/idem/files/factsheet_recycling.pdf).

<sup>2</sup> CiprianCimpan,AnjaMaul,MichaelJansen, « Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling - ScienceDirect », Elsevier, 1 juin 2015.



**Figure I.1 :** le symbole de recyclage. <sup>[3]</sup>

## II. Le cycle de recyclage :

Généralement, les matières premières sont transformées en produits destinés à la consommation. Les restes sont ensuite jetés. Ce processus linéaire, de l'extraction des matières premières à la production, puis à la consommation et à l'élimination, a créé une crise des déchets. Pour réduire ce flux de ressources à sens unique vers des installations d'élimination des déchets surchargées, les matériaux dont on n'a plus besoin ou dont on a besoin peuvent être préfabriqués. Ces différents cycles de vie sont illustrés à la figure 2. La décision est celle du consommateur. Après avoir utilisé un objet dans toute son étendue, les restes peuvent être envoyés à la décharge de Coffin Butte ou séparés afin qu'ils puissent être collectés, triés et transformés en nouveaux produits. Le cercle est terminé lorsqu'un consommateur achète des articles fabriqués à partir ou recyclés dans des matériaux recyclés. <sup>[4,5]</sup>



**Figure I.2 :** Cycle de vie d'un produit recyclé par rapport à un produit vierge.

<sup>3</sup> Alfons Buekens et Jie Yang, « Recycling of WEEE Plastics: A Review », *Journal of Material Cycles and Waste Management* 16, n° 3 (1 juillet 2014): 415- 34, <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0241-2>.

<sup>4</sup> Martins Zaumanis et Rajib B. Mallick, « Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art », *International Journal of Pavement Engineering* 16, n° 1 (2 janvier 2015): 39- 55, <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893331>.

<sup>5</sup> Ernst Worrell et Markus Reuter, *Handbook of Recycling: State-of-the-Art for Practitioners, Analysts, and Scientists* (Newnes, 2014).

### **III. Comment les matières recyclables sont-elles collectées?**

En général, il existe trois types de systèmes de collecte des matières recyclables: la récupération des matériaux, le mélange et la séparation des sources.

#### **1. Les systèmes de récupération des matériaux :**

Extraient les matières recyclables des déchets mélangés ou des charges de haute qualité en utilisant une variété de méthodes manuelles et mécaniques. La séparation mécanique tire parti des propriétés physiques telles que la taille, la densité, le magnétisme, la flottabilité et la couleur. Ces types de systèmes n'exigent pas de générateurs de déchets (tels que le consommateur ou l'employé) pour séparer ou trier les matières recyclables.

#### **2. Séparation à la source :**

Signifie que les matières recyclables sont séparées des autres déchets au point de production - à la maison ou au travail - et sont recueillies séparément des déchets. Chaque matériau recyclable (plastique, verre, etc.) est placé dans un récipient séparé.

#### **3. Le recyclage mixte :**

(Parfois appelé le sevrage) permet aux utilisateurs de mélanger leurs matières recyclables, à quelques exceptions près, dans un seul chariot au lieu de les séparer en différents sacs. C'est une méthode de collecte de plus en plus courante. En raison des blessures et des difficultés que les éboueurs ont eu à recueillir des matières recyclables séparées à la source, de nombreuses entreprises d'ordures ont mis au point des programmes de collecte sélective. Les matières recyclables vont ensuite à un centre de traitement pour être séparées. Les clients reçoivent une poubelle rouge ou bleue et un chariot de 90 gallons pour le recyclage. Les matières recyclables en bon état sont-elles traitées de cette façon? La plupart des programmes de recyclage mixte exigent l'isolement de matériaux qui contamineront les autres lorsqu'ils seront recueillis ensemble. Dans les comtés de Linn et de Benton, les programmes de collecte sélective regroupent des bouteilles et des bocaux en verre et de l'huile à moteur, séparément des autres matériaux recyclables. Les débris de cour sont également recueillis dans un conteneur séparé. Le recyclage mixte a permis aux gens de recycler plus facilement en bordure de rue et a réduit la confusion sur ce qu'il fallait séparer. Cela a conduit à des taux de recyclage accrus. Cependant, les recycleurs qui préfèrent s'approvisionner séparément de leurs propres matériaux notent que le recyclage mixte présente un potentiel de contamination plus élevé, ce qui réduit la valeur marchande du matériau récupéré.

Actuellement, les communautés séparées par une source donnent aux ménages un ou deux bacs en plastique, et le propriétaire doit séparer les matériaux en utilisant des sacs en papier.

Ces matériaux comprennent le verre clair, le verre vert, le verre brun, les contenants rigides en plastique, les boîtes de conserve, l'aluminium, les journaux, le carton et les sacs en papier kraft, les autres métaux, les chargeurs, l'huile moteur et la peinture au latex. Certaines collectivités recueillent également du papier brouillon et des résidus de jardinage.<sup>[6]</sup>



**Figure I.3 :** *exemples de conteneurs de recyclage.* <sup>[ 7]</sup>

---

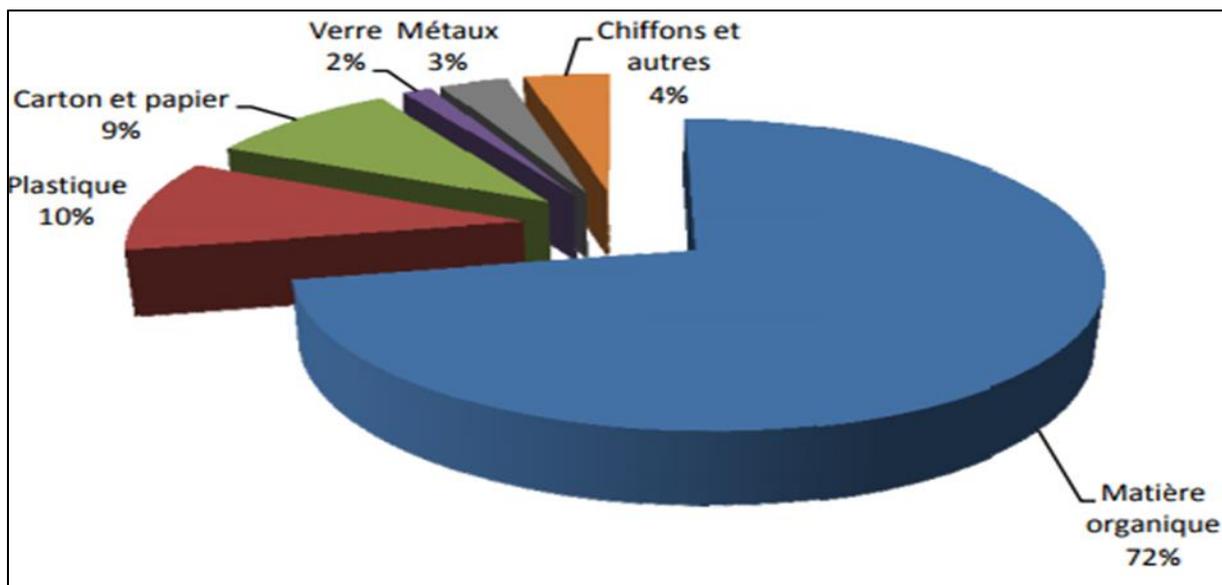
<sup>6</sup> Narinder Singh et al., « Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications », *Composites Part B: Engineering*, Composite lattices and multiscale innovative materials and structures, 115 (15 avril 2017): 409- 22, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>.

<sup>7</sup> Kimberly McCoy et al., « Nudging waste diversion at Western State Colorado University: application of behavioral insights », *International Journal of Sustainability in Higher Education* 19, n° 3 (9 janvier 2018): 608- 21, <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2017-0063>.

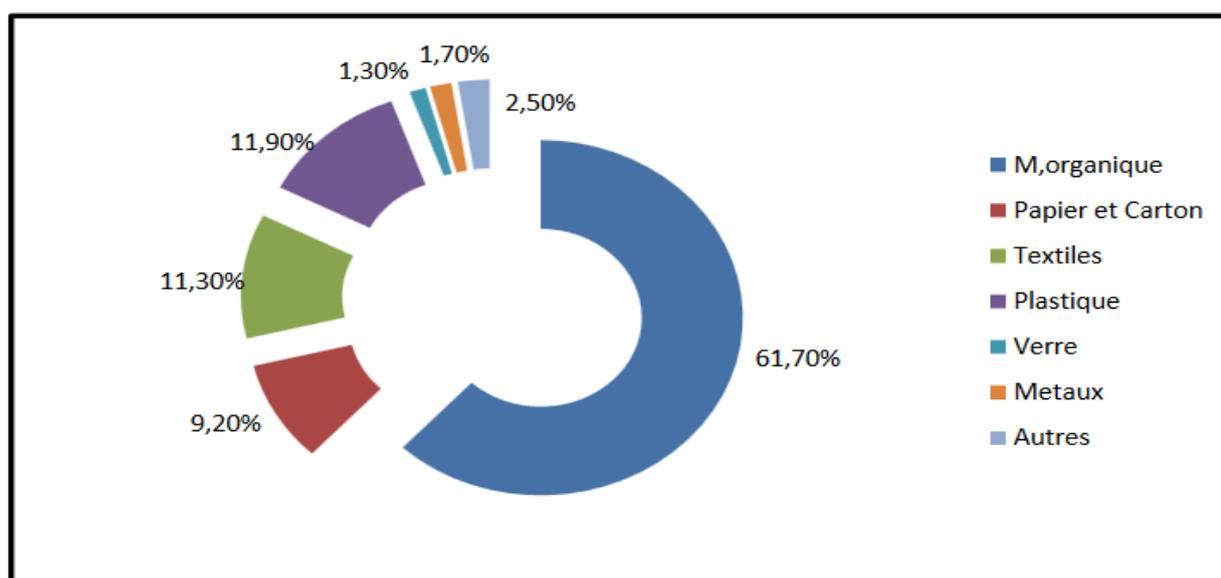
<b>Va au bac de récupération</b>	
<b>papier</b>	Papier journal Papier de bureau Carton ondulé Magazines Courrier indésirable Sacs en papier brun Caisses de céréales Boîtes à chaussures Cartons à œufs Contenants à lait et à jus Annuaire téléphonique
<b>Plastique</b>	Presque tout contenant/emballage de plastique avec un signe de recyclage 1, 2, 3, 4, 5,7 se recycle. Quelques régions au Québec n'acceptent pas le plastique Numéro 6 (polystyrène). Bouchons et couvercles Sacs et pellicules d'emballage
<b>verre</b>	Bouteilles et contenants alimentaires, peu importe La couleur (vin, jus, eau gazéifiée, huile, vinaigre pots pour aliments.....)
<b>métal</b>	Boîtes en aluminium Récipients alimentaires Bombe aérosol en ferraille Ferraille aluminium Fer Laiton Cuivre Boîtes métalliques et couvercles
<b>Résidus de jardin</b>	Garnitures végétales Feuilles d'herbe Coupures d'herbe Souches

**Tableau I.1 :** représente un résumé des différentes matières qui peuvent se recycler. <sup>[8]</sup>

<sup>8</sup> P. De Luca, I. Carbone, et J. B. Nagy, « Green building materials: a review of state of the art studies of innovative materials », *Journal of Green Building* 12, n° 4 (1 novembre 2017).



**Figure I.4 :** composition des déchets ménagers en Algérie 2004.



**Figure I.5 :** composition des déchets ménagers en Algérie 2013.<sup>[9]</sup>

#### IV. Le traitement :

Indépendamment de la méthode, une fois collectées, de nombreux produits recyclables ont besoin d'être triés et traités pour les préparer à la revente. Par exemple, le papier de bureau est trié pour enlever les couleurs de néon, le papier journal, les plastiques et autres contaminants.

<sup>9</sup> « Ms.Hyd.Mohammedi.PDF.pdf », <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/9143/1/Ms.Hyd.Mohammedi.PDF.pdf>.

Une fois triés ou calibrés, les matériaux sont souvent compactés, mis en ballots ou condensés d'autres façons pour un transport rentable vers les entreprises de seconde transformation. Le verre est habituellement broyé dans le calcin, et les métaux, le papier et les plastiques sont mis en balles. Le traitement élimine les contaminants qui peuvent réduire la qualité des produits recyclés ou endommager les équipements de fabrication. Une fois les matériaux traités, ils sont vendus à des fabricants qui peuvent les utiliser pour fabriquer de nouveaux produits.



**Figure I.6 :** *représente le verre en calcin*



**Figure I.7 :** *représente les bouteilles de plastique mis en ballots*

## **V. Fabrication avec des ressources recyclées :**

La prochaine étape du recyclage est la fabrication d'un nouveau produit et son achat par des particuliers, des entreprises et des gouvernements. Voici une brève description des procédés de fabrication de base pour les matériaux les plus couramment recyclés.

- **Le verre :**

Le verre est trié et débarrassé de ses impuretés par des traiteurs de verre pour devenir du calcin. Dans les usines verrières, le calcin est refondu par des verriers, pour produire des nouveaux emballages en verre. En effet chauffé à plus de 1500°C le verre prend toutes les formes qu'on lui demande et redevient un emballage. Les emballages en verre sont remplis

dans des usines d'embouteillage. Remis dans le circuit de distribution, ils rejoignent les magasins et les consommateurs.

Le recyclage du verre présente de grands avantages environnementaux: chaque tonne de verre refondue au Royaume-Uni permet d'économiser 314 kg de CO<sub>2</sub>. Cependant, l'année dernière, 280 000 tonnes de verre collectées pour le recyclage ne pouvaient pas être refondues.

- **Le papier:**

Dans un moulin, le papier est mélangé à de l'eau et chauffé dans des cuves pour former de la pâte. La pulpe est tamisée pour éliminer les contaminants tels que les trombones, les agrafes et le plastique. Il est ensuite traité par des nettoyeurs centrifuges et des lavages à l'eau. Ce lavage, avec le blanchiment et le désencrage, est nécessaire pour produire du papier blanc. La pulpe aqueuse est étalée sur des tamis rotatifs, pressée et séchée pour former du papier

- **le plastique :**

Le plastique est difficile à recycler car chacun des différents types de résine est chimiquement lié d'une manière différente. Pour le recycler véritablement une résine de plastique elle doit être fondue, convertie en gaz pétrochimique d'origine à partir duquel, elle a été créée et formée en un produit.

Pour éviter des résines dissemblables se contaminant la société de l'industrie du plastique (SPI) a mis au point un système de codage d'identification des résines en 1988 pour répondre aux besoins des recycleurs.

Ce sont des chiffres de 1 à 7 qui se trouvent sur le fond des récipients de plastique, le système de codification offre un moyen d'identifier les résines des bouteilles.

En 2011, seulement 8% du total des déchets plastiques générés ont été récupérés pour le recyclage. Parce que le plastique est bon marché à une faible densité et varie beaucoup dans la composition chimique, le recyclage des plastiques n'en est qu'à ses balbutiements. De plus, comme le plastique est poreux et retient les contaminants, il ne peut souvent pas être réutilisé dans le même but. Par exemple, le plastique des bouteilles de lait ne sera pas réutilisé pour fabriquer des bouteilles de lait. Les cruches à lait peuvent être déchiquetées, transformées en granules, mélangées avec d'autres plastiques et utilisées pour fabriquer d'autres produits tels que des pots de fleurs, des bandes de plastique pour l'expédition et de nouvelles bouteilles de détergent. Les bouteilles de soda sont expédiées en Caroline du Nord et utilisées

principalement pour les fibres de polyester, les fibres de rembourrage, les tapis, ou refaites dans des bouteilles en plastique. <sup>[10,11]</sup>

---

<sup>10</sup> « chapter\_4\_recycling\_processes.pdf », [https://fa.oregonstate.edu/sites/fa.oregonstate.edu/files/recycling/resources/MR\\_Class/chapter\\_4\\_recycling\\_processes.pdf](https://fa.oregonstate.edu/sites/fa.oregonstate.edu/files/recycling/resources/MR_Class/chapter_4_recycling_processes.pdf).

<sup>11</sup> Shazim Ali Memon, « Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31 (1 mars 2014),

## Classification des plastiques

SIGLE	NOM	UTILISATIONS
	<b>Polyéthylène Terephthalate (PET)</b>	Bouteilles d'eau, de boissons gazeuses, de jus de fruits, d'huile de cuisine... (transparent). Emballages jetables de toutes sortes, Sac de cuisson, barquette alimentaire, emballages de cosmétiques
	<b>Polyéthylène haute densité ou High Density Polyethylene (HDPE)</b>	Souvent utilisé pour les bouteilles de détergents, de jus de fruits, de lait (opaque), bouchons vissés, flacons pour cosmétiques, gels douches
	<b>Polychlorure de vinyle (PVC)</b>	Peu utilisé dans les emballages alimentaires si ce n'est pour emballer le fromage et la viande. Surtout utilisé dans la fabrication de jouets, de tuyaux en plastique, de rideaux de douche
	<b>Polyéthylène basse densité ou Low Density Polyethylene (LDPE).</b>	Sacs congélation, sacs poubelles, poches zipées alimentaires, films alimentaires, barquettes
	<b>Polypropylène (PP)</b>	Certaines tasses pour enfant, certaines gourdes souples réutilisables pour sportifs, récipients alimentaires réutilisables. Pots de yaourt, de margarine, de beurre, planches à découper en plastique
	<b>Polystyrène (PS)</b>	Barquettes alimentaires à emporter, barquettes de viandes et poisson, gobelets, couverts et verres en plastique jetables, pots de yaourts. Sous forme expansée, sert à l'emballage et à l'isolation.
	<b>Autres</b>	Cette catégorie comprend tous les types de plastique qui ne sont pas inclus dans les autres. Notamment le polycarbonate (PC) compose les biberons, les résines internes des boîtes de conserve, les bombonnes d'eau, les récipients pour micro-ondes mais aussi le petit électroménager

**Tableau I.2 :** représente un système de codage d'identification des bouteilles de plastique. <sup>[12,13]</sup>

<sup>12</sup> « Identification des plastiques », [http://www.plastiques-agriculture.com/cpa\\_produits6.html](http://www.plastiques-agriculture.com/cpa_produits6.html).

<sup>13</sup> « Oil sorbents from plastic wastes and polymers: A review - ScienceDirect », consulté le 24 mai 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417305885>.

## **VI. Pourquoi le recyclage ?**

### **1. Le recyclage permet d'économiser les matières premières :**

En utilisant des matériaux recyclés à la place des arbres, des minerais métalliques, des minéraux, de l'huile et d'autres matières premières récoltées sur la terre, la fabrication basée sur le recyclage préserve les ressources naturelles rares du monde. Cette conservation réduit la pression pour développer les opérations de coupe et d'exploitation minière des forêts.

Le niveau de notre consommation au Royaume-Uni a déjà un impact significatif sur l'environnement et les communautés à travers le monde, et nous consommons une quantité croissante de matières premières.

L'extraction de matériaux vierges est une cause clé de la perte de l'habitat mondial. Par exemple, la demande de papier et de carton menace les forêts anciennes. Les matériaux vierges doivent être affinés et transformés pour créer des produits nécessitant de grandes quantités d'énergie et l'utilisation de produits chimiques polluants causant en outre la destruction des habitats.

Par exemple, fabriquer une tonne d'aluminium nécessite 4 tonnes de produits chimiques et 8 tonnes de bauxite (le minerai), et il faut 95% moins d'énergie pour fabriquer une canette en aluminium recyclé que pour en fabriquer une à partir de matériaux vierges. En plus des matériaux nécessaires, la création de scories de déchets et les grandes surfaces de terrain nécessaires pour la fusion industrielle causer des problèmes environnementaux considérables.

### **2. Le recyclage réduit notre impact sur le changement climatique :**

Bien que le recyclage utilise de l'énergie, il réduit globalement les émissions climatiques, car le recyclage d'un matériau consomme généralement beaucoup moins d'énergie que la fabrication à partir de matériaux vierges. Par exemple, si vous recyclez les vieux papiers, vous économisez trois fois plus d'énergie que celle produite en les brûlant pour produire de l'énergie. Le recyclage du plastique permet d'économiser cinq fois plus d'énergie.

### **3. Le recyclage coûte moins cher :**

Les coûts de différentes techniques de gestion des déchets sont sujets à de nombreuses variables il est difficile de les distinguer en termes purement économiques. Cependant, lorsque l'on compare la mise en décharge, l'incinération et le recyclage, le recyclage présente des avantages économiques considérables. Le recyclage au lieu d'envoyer les déchets à la décharge évite le paiement de la taxe sur les décharges et les amendes potentielles LATS.

L'incinération est coûteuse - elle n'est pas une alternative à faible coût pour atteindre les cibles LATS.

#### **4. Le recyclage génère de l'argent :**

Après la collecte, les matières recyclables sont séparées et mises en balles dans des installations de recyclage de matériaux et envoyées à des entreprises de retraitement telles que des papeteries, des verreries ou des usines de retraitement des matières plastiques. Bien que les autorités locales aient besoin d'argent pour collecter le recyclage, les matériaux génèrent des revenus lorsqu'ils sont recyclés et vendus. Cet argent peut être réinjecté dans le budget de collecte des déchets.

#### **5. Le recyclage crée des emplois :**

Le processus de recyclage et de compostage, de la collecte, tri et Le traitement des matières recyclables, crée plus d'emplois que l'incinération et la mise en décharge.<sup>[14]</sup> Il existe encore un énorme potentiel de croissance dans le secteur du retraitement, en particulier dans les zones à forte industrie manufacturière.

Des études ont estimé (prudemment) que pour chaque tonne recyclés sont créés environ 4,9 d'emplois.

À l'heure actuelle, on estime que 15 à 20 millions de gaspilleurs gagnent leur vie en se débarrassant des déchets.<sup>[15]</sup>

#### **6. Le recyclage nous aide à vivre de façon durable :**

Pour les ménages, le recyclage est l'un des moyens les plus faciles de réduire leur impact sur l'environnement et c'est souvent la première action de ce type qu'ils entreprennent.

Il introduit une conscience "verte" dans la vie quotidienne.

Faire réfléchir les gens sur l'impact de leur consommation et de la production de déchets peut aider à nous encourager à prendre des décisions de style de vie pour réduire les déchets que nous créons et notre impact sur l'environnement. Le recyclage crée aussi un mode de vie

---

<sup>14</sup> Monica Pianosi, « Sustainable Waste | The 3rd R: Recycling », *Torino by Veg* (blog), 20 novembre 2012, <https://torinobyveg.wordpress.com/2012/11/20/sustainable-waste-the-3rd-r-recycling/>.

<sup>15</sup> Kate Bailey, « Zero Waste Creates Jobs », *Eco-Cycle*, <http://www.ecocycle.org/zerowaste/jobs..>

cyclique plutôt que le modèle linéaire actuel, et ce changement est essentiel pour réduire notre impact sur l'environnement dans son ensemble, et nous aidera à développer durablement.<sup>[16]</sup>

---

<sup>16</sup> Ying Liu, Michael Farnsworth, et Ashutosh Tiwari, « A review of optimisation techniques used in the composite recycling area: State-of-the-art and steps towards a research agenda », *Journal of Cleaner Production* 140 (1 janvier 2017): 1775- 81, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.038>.

## VII. Référence bibliographique :

1. Bailey, Kate. « Zero Waste Creates Jobs ». Eco-Cycle. Consulté le 27 janvier 2018. <http://www.ecocycle.org/zerowaste/jobs>.
2. Buekens, Alfons, et Jie Yang. « Recycling of WEEE Plastics: A Review ». *Journal of Material Cycles and Waste Management* 16, n° 3 (1 juillet 2014): 415-34. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0241-2>.
3. « chapter\_4\_recycling\_processes.pdf ». Consulté le 20 janvier 2018. [https://fa.oregonstate.edu/sites/fa.oregonstate.edu/files/recycling/resources/MR\\_Class/chapter\\_4\\_recycling\\_processes.pdf](https://fa.oregonstate.edu/sites/fa.oregonstate.edu/files/recycling/resources/MR_Class/chapter_4_recycling_processes.pdf).
4. CiprianCimpan, AnjaMaul, MichaelJansen. « Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling - ScienceDirect ». Elsevier, 1 juin 2015.
5. De Luca, P., I. Carbone, et J. B. Nagy. « Green building materials: a review of state of the art studies of innovative materials ». *Journal of Green Building* 12, n° 4 (1 novembre 2017): 141-61. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.12.4.141>.
6. « factsheet\_recycling.pdf ». Consulté le 20 janvier 2018. [https://www.in.gov/idem/files/factsheet\\_recycling.pdf](https://www.in.gov/idem/files/factsheet_recycling.pdf).
7. « Identification des plastiques ». Consulté le 21 janvier 2018. [http://www.plastiques-agriculture.com/cpa\\_produits6.html](http://www.plastiques-agriculture.com/cpa_produits6.html).
8. Liu, Ying, Michael Farnsworth, et Ashutosh Tiwari. « A review of optimisation techniques used in the composite recycling area: State-of-the-art and steps towards a research agenda ». *Journal of Cleaner Production* 140 (1 janvier 2017): 1775-81. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.038>.
9. McCoy, Kimberly, Justin J. Oliver, D. Scott Borden, et Scott I. Cohn. « Nudging waste diversion at Western State Colorado University: application of behavioral insights ». *International Journal of Sustainability in Higher Education* 19, n° 3 (9 janvier 2018): 608-21. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2017-0063>.
10. Memon, Shazim Ali. « Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31 (1 mars 2014): 870-906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.042>.
11. « Ms.Hyd.Mohammedi.PDF.pdf ». Consulté le 27 janvier 2018. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/9143/1/Ms.Hyd.Mohammedi.PDF.pdf>.
12. « Oil sorbents from plastic wastes and polymers: A review - ScienceDirect ». Consulté le 24 mai 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417305885>.
13. Pianosi, Monica. « Sustainable Waste | The 3rd R: Recycling ». *Torino by Veg* (blog), 20 novembre 2012. <https://torinobyveg.wordpress.com/2012/11/20/sustainable-waste-the-3rd-r-recycling/>.
14. Singh, Narinder, David Hui, Rupinder Singh, I. P. S. Ahuja, Luciano Feo, et Fernando Fraternali. « Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications ». *Composites Part B: Engineering*, Composite lattices and multiscale innovative materials and structures, 115 (15 avril 2017): 409-22. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>.
15. Worrell, Ernst, et Markus Reuter. *Handbook of Recycling: State-of-the-Art for Practitioners, Analysts, and Scientists*. Newnes, 2014.
16. Zaumanis, Martins, et Rajib B. Mallick. « Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art ». *International Journal of Pavement Engineering* 16, n° 1 (2 janvier 2015): 39-55. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893331>.

## SOMMAIRE

I.	Introduction :	23
	Définition :	23
II.	L'histoire de polymère :	24
III.	Classification des polymères :	26
	a. Les polymères naturels :	26
	b. Les polymères synthétiques :	27
IV.	Polymérisation :	29
	1. Polymérisation d'addition :	29
	2. Polymérisation par condensation:	29
V.	Les domaines d'application :	30
	1. Polymères et aliments.....	30
	a. Agriculture: .....	30
	b. Distribution:.....	30
	c. Vente au détail:.....	30
	d. Dans la cuisine: .....	30
	e. Dans la nourriture .....	30
	2. Polymères dans le sport.....	31
	3. Polymères dans les produits médicaux.....	32
	a. Lentilles de contact.....	32
	b. Les soins des plaies .....	32
	c. Polymères dentaires.....	33
VI.	Référence bibliographique :	34

## I. Introduction :

Dans ce chapitre on va voir brièvement la définition des polymères, ces classifications et ces applications

### Définition :

Les polymères forment une classe très importante de matériaux sans laquelle la vie semble très difficile. Ils sont partout autour de nous dans un usage quotidien; en caoutchouc, en plastique, en résines, et dans les adhésifs et les rubans adhésifs. Le mot polymère est dérivé de mots grecs, poly = beaucoup et mers = parties. <sup>[1]</sup>

Un polymère est une macro-molécule, organique ou non, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif ou monomère, tous reliés entre eux par des liaisons dites « covalentes ».

Le nombre d'unités monomères est habituellement grand et variable, chaque échantillon d'un polymère donné étant typiquement un mélange de molécules ayant des poids moléculaires différents. <sup>[2]</sup> Le carbone et l'hydrogène sont les atomes les plus communs dans les monomères, mais l'oxygène, l'azote, le chlore, le fluor, le silicium et le soufre peuvent également être présents. Pensez à un polymère comme une chaîne dans laquelle les monomères sont liés (polymérisés) ensemble pour faire une chaîne avec au moins 1000 atomes d'affilée. C'est cette caractéristique de grande taille qui donne aux polymères leurs propriétés spéciales.

Des macromolécules ou des polymères se trouvent dans le corps humain, les animaux, les plantes, les minéraux et produits manufacturés. Les substances comme les suivantes contiennent des polymères: diamant, béton, quartz, verre, nylon, plastique, ADN, pneus, coton, cheveux, pain et peinture.

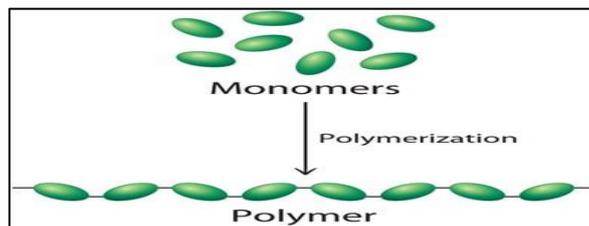
Les polymères naturels sont dans les animaux vivants et les plantes comme matériaux de construction, stockage substances et jouant un rôle dans les réactions biochimiques. La cellulose et la lignine donnent une structure aux plantes. La cellulose (amidon ou polysaccharide) est une macromolécule composée de molécules de sucre individuelles (glucose) qui sont liées ensemble pour donner des poids moléculaires dans les millions. Cellulose est la base pour les fibres de coton et de rayonne. L'amidon dans les plantes stocke le glucose et, par conséquent, l'énergie. Les protéines sont des polymères qui sont responsables des poils d'animaux et des fibres telles que la laine et la soie. ADN est un

---

<sup>1</sup> « a\_patel\_chapter-1.pdf », consulté le 28 janvier 2018, [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a\\_patel\\_chapter-1.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf).

<sup>2</sup> « BPOCchapter29.pdf », <https://authors.library.caltech.edu/25034/30/BPOCchapter29.pdf>.

polymère nécessaire pour les processus de vie chez les plantes et les animaux. [3,4]



**Figure II.1 :** Définition de polymère.

## II. L'histoire de polymère :

Ce n'est qu'au milieu du XXe siècle que nous avons commencé à comprendre la vraie nature des polymères. Cette compréhension est venue avec le développement des plastiques, qui sont de véritables matériaux synthétiques qui sont l'ultime hommage à la créativité et à l'ingéniosité de l'homme. Comme nous le verrons dans les discussions ultérieures, l'utilisation de matériaux polymères a imprégné toutes les facettes de nos vies. Il est difficile de visualiser le monde d'aujourd'hui avec tout son luxe et son confort sans matériaux polymères synthétiques. L'industrie des plastiques est reconnue comme ayant ses débuts en 1868 avec la synthèse du nitrate de cellulose. Tout a commencé avec la pénurie d'ivoire à partir de laquelle des boules de billard ont été faites. Le fabricant de ces balles, à la recherche d'une autre méthode de production, a parrainé un concours. John Wesley Hyatt (aux États-Unis) mélange de pyroxine à base de coton (un polymère naturel) et d'acide nitrique avec du camphre. Le résultat fut le nitrate de cellulose, qu'il appela celluloïd. Cependant, Alexander Parkes, cherchant un meilleur matériau isolant pour l'industrie électrique, avait en fait découvert que le camphre était un plastifiant efficace pour le nitrate de cellulose en 1862. Hyatt, dont la découverte indépendante du celluloïd est venue plus tard, fut le premier de prendre des brevets pour cette découverte. Le nitrate de cellulose est dérivé de la cellulose, un polymère naturel. Le premier plastique fabriqué par l'homme est apparu 41 ans plus tard (en 1909) lorsque Leo Hendrick Baekeland développa des plastiques phénol-formaldéhyde (phénoliques), des matériaux aussi divers que les poignées électriques, les meules, les meules et les prises électriques. Autres polymères - acétate de cellulose (brosses à dents, peignes, poignées de coutellerie, montures de lunettes); urée-formaldéhyde (boutons, accessoires électriques); poly (chlorure de vinyle) (revêtement de sol, rembourrage, isolation des fils et

<sup>3</sup> « Whatispolymer.pdf », <http://polymerambassadors.org/pdf/Whatispolymer.pdf>.

<sup>4</sup> « Introduction to Polymer Chemistry, Fourth Edition | Taylor & Francis Group », <https://www.taylorfrancis.com/books/9781498737852>.

câbles, rideaux de douche); et nylon (soies de brosse à dents, bas, sutures chirurgicales) - suivi dans les années 1920.

La première génération de polymères synthétiques est le résultat d'activités empiriques; l'accent principal était sur la composition chimique avec pratiquement aucune attention accordée à la structure. Cependant, au cours de la première moitié du XXe siècle, de vastes développements organiques et physiques ont conduit à la première compréhension du concept structurel des polymères - des chaînes longues ou un réseau de molécules liées de manière covalente. A cet égard, le travail classique du chimiste allemand Hermann Staudinger sur le polyoxyméthylène et le caoutchouc et des chimistes américains W. T. Carothers sur le nylon ressort clairement. Staudinger a d'abord proposé la théorie que les polymères étaient composés de molécules géantes, et il a inventé le mot macromolécule pour les décrire. Carothers a découvert le nylon, et ses recherches fondamentales (à travers lesquelles le nylon a été découvert) ont contribué considérablement à l'élucidation de la nature des polymères. Sa classification des polymères en tant que polymères de condensation ou d'addition persiste aujourd'hui. Après une meilleure compréhension de la nature des polymères, il y a eu une croissance phénoménale du nombre de produits polymériques qui ont connu un succès commercial entre 1925 et 1950. Dans les années 1930, les résines acryliques (signes et vitrages); le polystyrène (jouets, emballages et articles ménagers); et des résines de mélamine (vaisselle, comptoirs de cuisine, peintures) ont été introduites. La recherche de matériel pour aider à l'effort de défense pendant la Seconde Guerre mondiale a donné une impulsion profonde à la recherche de nouveaux plastiques. Le polyéthylène, aujourd'hui l'un des plastiques les plus importants au monde, a été développé en raison du besoin en temps de guerre de matériaux isolants de meilleure qualité pour des applications telles que le câble radar. Les résines polyester thermodurcissables (maintenant utilisées pour la construction navale) ont été développées pour un usage militaire. Le terpolymère acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), (combinés téléphoniques, bagages.....).

Aujourd'hui, cependant, ils ont déménagé dans des zones commerciales qui nécessitent leur capacité à fonctionner en continu à des températures élevées. Au cours des dernières années, grâce à une meilleure compréhension des relations structure-propriétés des polymères, à l'introduction de nouvelles techniques de polymérisation et à la disponibilité de nouveaux monomères à faible coût, le concept de polymère véritablement sur mesure est devenu réalité. Aujourd'hui, il est possible de créer des polymères à partir de différents éléments avec presque n'importe quelle qualité désirée dans un produit final. Certains polymères sont

similaires aux matériaux conventionnels existants, mais avec des valeurs économiques plus élevées, certains représentent des améliorations significatives par rapport aux matériaux existants, et certains ne peuvent être décrits que comme des matériaux uniques avec des caractéristiques différentes de celles connues auparavant. Les matériaux polymères peuvent être produits sous la forme de matières plastiques solides, de fibres, d'élastomères ou de mousses. Ils peuvent être durs ou mous ou peuvent être des films, des revêtements ou des adhésifs. [5,6]

### **III. Classification des polymères :**

La classification de base des polymères comprend deux groupes connus sous le nom de polymères naturels et de polymères synthétiques. Les polymères naturels sont des composés polymères que l'on peut trouver dans notre environnement. Les polymères synthétiques sont des composés polymères produits artificiellement. C'est la principale différence entre les polymères naturels et les polymères synthétiques.

#### **a. Les polymères naturels :**

Les polymères naturels sont des composés polymères que l'on peut trouver naturellement dans notre environnement. La plupart des composés chimiques dans les systèmes biologiques sont des composés polymères. Ces polymères naturels se trouvent principalement dans trois types tels que les polysaccharides, les polyamides et les polynucléotides.

Les polysaccharides comprennent des polymères qui sont composés d'unités monosaccharidiques. Les monosaccharides les plus communs sont le glucose, le fructose, le galactose, etc. Les polysaccharides peuvent être trouvés dans les animaux et les usines. Par exemple, l'amidon est un polysaccharide qui peut être trouvé dans les plantes en tant que glucide de stockage. Le glycogène est un polysaccharide que l'on peut trouver chez les animaux en tant que carbohydre de stockage.

Les protéines sont faites d'acides aminés. Par conséquent, les acides aminés sont les monomères des protéines. Les petites protéines sont également appelées polypeptides car il existe plusieurs liaisons peptidiques dans ces polymères. Les protéines sont les principaux composants structuraux des animaux et des plantes. Quelques exemples courants de protéines

---

<sup>5</sup> « history of polymer pdf

[https://www.google.fr/search?ei=1QRuWsHJJ8u8UcPYlqgJ&q=history+of+polymer+pdf&oq=history+of+polymer+pdf&gs\\_l=psy-ab.3...654.4908.0.5734.6.5.1.0.0.0.294.835.0j4j1.5.0...0...1c.1.64.psy-ab..0.5.718...0i19k1j0i22i30i19k1j0i22i30k1.0.ArH9laoOdSc](https://www.google.fr/search?ei=1QRuWsHJJ8u8UcPYlqgJ&q=history+of+polymer+pdf&oq=history+of+polymer+pdf&gs_l=psy-ab.3...654.4908.0.5734.6.5.1.0.0.0.294.835.0j4j1.5.0...0...1c.1.64.psy-ab..0.5.718...0i19k1j0i22i30i19k1j0i22i30k1.0.ArH9laoOdSc)

<sup>6</sup> Dusastre Vincent, *Materials For Sustainable Energy: A Collection Of Peer-Reviewed Research And Review Articles From Nature Publishing Group* (World Scientific, 2010).

comprennent la soie, la laine dans les plantes et les enzymes telles que l'amylase chez les animaux.

Les polynucléotides comprennent l'ADN et l'ARN. Ce sont des composés polymères faits de monomères appelés nucléotides. Ces nucléotides sont liés les uns aux autres par des liaisons covalentes, formant le polymère connu sous le nom de polynucléotides. L'ADN et l'ARN peuvent être trouvés dans tous les organismes vivants: plantes, animaux, bactéries, etc.

En dehors de cela, le caoutchouc naturel est un polymère très important qui peut être trouvé dans l'arbre à caoutchouc comme son latex. Par conséquent, c'est un polymère qui peut être trouvé dans les plantes.<sup>[7]</sup>



**Figure II.2 :** *Les toiles d'araignée sont fabriquées à partir d'une protéine.*<sup>[8]</sup>

### **b. Les polymères synthétiques :**

Les polymères synthétiques sont ceux qui sont des polymères fabriqués par l'homme. Le polymère qui a été synthétisé en laboratoire est connu sous le nom de polymère synthétique. Des exemples de tels polymères sont le polyvinyle alcool, polyéthylène, polystyrène, polysulfone, etc.<sup>[9]</sup>

Le polyéthylène est considéré comme l'un des polymères les plus simples, il a l'éthène ou

---

<sup>7</sup> Madhusha, « Difference Between Natural and Synthetic Polymers | Definition, Occurrence, Examples », Pediaa.Com, 16 octobre 2017, <http://pediaa.com/difference-between-natural-and-synthetic-polymers/>.

<sup>8</sup> « Barriere acustiche dalla tela di ragno - Focus.it », <https://www.focus.it/scienza/scienze/barriere-acustiche-dalla-tela-di-ragno>.

<sup>9</sup> « a\_patel\_chapter-1.pdf », consulté le 2 février 2018, [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a\\_patel\\_chapter-1.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf).

l'éthylène comme unité monomère alors que le polymère linéaire est connu comme le polyéthylène haute densité HDPE. La plupart des matériaux polymères ont des structures en forme de chaîne qui ressemblent à du polyéthylène.

Les polymères synthétiques sont parfois appelés "plastiques", dont les plus connus sont le nylon et le polyéthylène. Les polymères qui sont formés en liant des motifs monomères, sans aucun changement de matière, sont connus en tant que polymères d'addition ou également appelés polymères de croissance de chaîne. On dit que tous ces polymères sont synthétiques. [10,11]



**Figure II.3 :** *Billes en polyéthylène*



**Figure II.4 :** *exemple des polymères synthétiques (plastique)*

<sup>10</sup> « Synthetic Polymers | Types and Examples | Polymer Uses | Chemistry | Byjus », consulté le 2 février 2018, <https://byjus.com/chemistry/synthetic-polymers/>.

<sup>11</sup> Elbadawy A. Kamoun et al., « Crosslinked poly(vinyl alcohol) hydrogels for wound dressing applications: A review of remarkably blended polymers », *Arabian Journal of Chemistry* 8, n° 1 (1 janvier 2015): 1- 14, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.07.005>.

les polymères naturels sont des composés polymères que l'on peut trouver naturellement dans notre environnement	les polymères naturels sont des composés polymères produits artificiellement par l'homme
se produire naturellement	ne se produisent pas naturellement
produire à partir de processus biologiques	produire à partir de processus chimiques
la plupart des polymères sont facilement dégradés par des processus biologiques	la plupart des polymères sont difficiles à dégrader naturellement par des processus biologiques

**Tableau II.1 :** Comparaison entre les polymères naturels et synthétique.

#### **IV. Polymérisation :**

Procédé chimique par lequel les monomères sont liés pour former un polymère est appelé comme la polymérisation, il existe deux types.

1) Polymérisation d'addition

2) Polymérisation par condensation.

##### **1. Polymérisation d'addition :**

La polymérisation d'addition implique la liaison de molécules incorporant des composés chimiques doubles ou triples obligations. Ces insaturés monomères (les molécules identiques qui composent les polymères) ont extra, interne, les liaisons qui sont capables de rompre et de se lier avec d'autres monomères pour former la chaîne de répétition.

La polymérisation d'addition est impliquée dans la fabrication de polymères tels que le polyéthylène, le polypropylène et chlorure de polyvinyle (PVC). Un cas particulier de polymérisation par addition conduit à une polymérisation vivante. <sup>[12]</sup>

##### **2. Polymérisation par condensation:**

Le mécanisme chimique que les cellules utilisent pour fabriquer et briser les polymères sont fondamentalement les mêmes dans tous les cas. Les monomères sont connectés par une réaction dans laquelle deux molécules sont liées de manière covalente l'une à l'autre par la perte d'une molécule d'eau; cela s'appelle une polymérisation de condensation parce que le perdu la molécule est l'eau. Quand une liaison se forme entre deux monomères, chaque

<sup>12</sup> « Polymerisation.pdf », <https://www.ssag.sk/studovna/files/Polymerisation.pdf>.

monomère contribue une partie de la molécule d'eau qui est perdue, une molécule fournit un groupe hydroxyle, tandis que l'autre fournit de l'hydrogène.<sup>[13,14]</sup>

## V. Les domaines d'application :

### 1. Polymères et aliments

Les polymères sont très largement utilisés dans la production, la distribution, l'emballage et la préparation des aliments. Quelques exemples de ces utilisations sont énumérés ci-dessous.

#### a. Agriculture:

- Feuilles pour protéger les cultures
- Encapsulation de graines (gels et nutriments)
- Vêtements de protection pour les travailleurs agricoles.

#### b. Distribution:

- Emballage dans une atmosphère inerte
- Emballage sous vide
- Emballage isolé.

#### c. Vente au détail:

- Sacs de transport (maintenant biodégradables)
- Une variété de types d'emballage

46 Chimie inspirée

Indice 3.1.1 5 feuilles Index 3.1.2 8 feuilles Index 3.1.3 6 feuilles

- Afficher les unités.

#### d. Dans la cuisine:

- Stockage (contenants scellables, film étirable, machines d'emballage sous vide)
- Préparation des aliments (planches à découper en plastique, contenants transparents pour micro-ondes, ustensiles flexibles, techniques de cuisson dans le sac).

#### e. Dans la nourriture

- Gonflement de l'amidon - frites parfaites, pommes de terre rôties, risotto.
- Dénaturation des protéines et du tissu conjonctif - cuisson de la viande à basse température.

---

<sup>13</sup> « 1487916078\_24-02-2017.pdf »,

[http://www.ijritcc.org/download/conferences/ICEMTE\\_2017/Track\\_6\\_\(Others\)/1487916078\\_24-02-2017.pdf](http://www.ijritcc.org/download/conferences/ICEMTE_2017/Track_6_(Others)/1487916078_24-02-2017.pdf).

<sup>14</sup> Justin O. Zoppe et al., « Surface-Initiated Controlled Radical Polymerization: State-of-the-Art, Opportunities, and Challenges in Surface and Interface Engineering with Polymer Brushes », *Chemical Reviews* 117, n° 3 (8 février 2017): 1105- 1318, <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00314>.

- Épaississement de la soupe avec de l'amidon, de la gélatine (un hétéropolymère d'acides aminés) ou de l'insuline (un polysaccharide non digestible).



**Figure II.5 :** *exemple de polymère*

## 2. Polymères dans le sport

L'équipement sportif consiste souvent en différents types de polymères et peut être divisé en vêtements et chaussures, en équipement de protection et en matériel de jeu ou d'événement.

Baskets (chaussures de sport) Presque toutes les pièces d'un entraîneur moderne s'appuient sur des polymères, de la partie supérieure de la chaussure à la semelle.

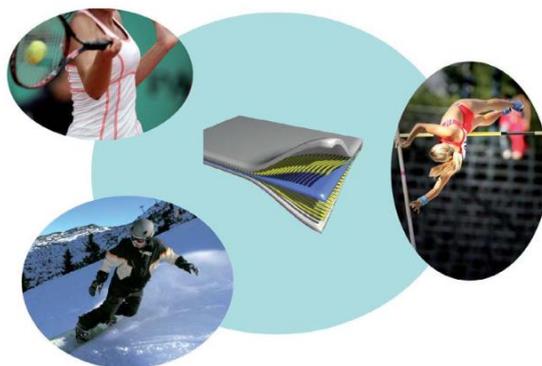
Une tige d'entraînement peut contenir des polymères dans les lacets, un rembourrage en mousse et une doublure non tissée. Nylon <sup>TM</sup> est souvent utilisé dans le tissu et le cuir synthétique est également un polymère.

Les semelles sont constituées d'une semelle extérieure, d'une semelle intermédiaire et d'une barre de stabilité. La semelle extérieure est en caoutchouc. Les semelles colorées sont en caoutchouc synthétique, tandis que les noires sont le matériau naturel. La semelle intermédiaire est conçue pour absorber l'énergie. Il se compose d'une mousse faite de polyuréthane à cellules ouvertes avec une réticulation physique qui donne un solide flexible poreux.

Équipement de protection Les équipements sportifs de protection doivent contenir à la fois des plaques dures pour répartir la charge d'un impact (ce sont souvent des polycarbonates ou des aramides, qui sont des polyamides aromatiques) et un rembourrage pour l'ajustement et le confort (mousses).

Les exemples sont les casques portés dans le cricket, le baseball, le football américain et le cyclisme.

Polymères dans des jeux ou des équipements d'événements Les polymères ont été utilisés pour améliorer la performance dans des événements tels que la perche et dans des jeux comme le golf.



**Figure II.6 :** *exemple des polymères dans le sport.* <sup>[15]</sup>

### 3. Polymères dans les produits médicaux

#### a. Lentilles de contact

Le matériau utilisé dans les lentilles de contact a été fabriqué à l'origine par polymérisation radicalaire en masse, qui a été effectuée très lentement pour minimiser le stress. Les tiges de polymère ont ensuite été découpées en boutons, qui ont été mis en forme sur un tour pour donner la forme optique correcte. De nos jours, le moulage par coulée avec initiation UV est la technique préférée.



**Figure II.7 :** *exemple de polymère dans le domaine médical*

#### b. Les soins des plaies

Il existe plusieurs types de polymères qui offrent une protection physique et biologique (c.-à-d. Agissent comme des mastics tissulaires):

- La colle de fibrine, qui est naturelle et qui se forme en mélangeant le fibrinogène et la thrombine
- Une protéine réticulée formée par mélange d'une protéine naturelle (albumine) avec un agent de réticulation synthétique, par exemple PEG (SS) 2 (PEG = polyéthylène glycol)

<sup>15</sup> « chimie\_sport\_\_195.pdf », [http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie\\_sport\\_\\_195.pdf](http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_sport__195.pdf).

### c. Polymères dentaires

L'amalgame argent / mercure utilisé pour les obturations dans le passé a été remplacé par des matériaux polymériques en raison des préoccupations concernant la nature toxique de la vapeur de mercure et parce que de plus grandes quantités de dents doivent être enlevées pour fournir une clé pour l'amalgame.

L'émail dentaire est l'hydroxyapatite. La dentine contient 40% de protéines et 60% d'hydroxyapatite.

Tout matériau utilisé pour remplir une dent doit être résistant à l'humidité, à la chaleur et au froid extrêmes, à l'abrasion, aux contraintes mécaniques, à la microflore bactérienne et aux contraintes de retrait et doit avoir un aspect acceptable.<sup>[16]</sup>

---

<sup>16</sup> Tapan K. Das et Smita Prusty, « Review on Conducting Polymers and Their Applications », *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 51, n° 14 (1 octobre 2012): 1487- 1500, <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.710697>.

## VI. Référence bibliographique :

1. « 1487916078\_24-02-2017.pdf ». [http://www.ijritcc.org/download/conferences/ICEMTE\\_2017/Track\\_6\\_\(Others\)/1487916078\\_24-02-2017.pdf](http://www.ijritcc.org/download/conferences/ICEMTE_2017/Track_6_(Others)/1487916078_24-02-2017.pdf).
2. « a\_patel\_chapter-1.pdf ». [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a\\_patel\\_chapter-1.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf).
3. « a\_patel\_chapter-1.pdf ». [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a\\_patel\\_chapter-1.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf).
4. « Barriere acustiche dalla tela di ragno - Focus.it ». <https://www.focus.it/scienza/scienze/barriere-acustiche-dalla-tela-di-ragno>.
5. « BPOCchapter29.pdf ». <https://authors.library.caltech.edu/25034/30/BPOCchapter29.pdf>.
6. « chimie\_sport\_\_195.pdf ». [http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie\\_sport\\_\\_195.pdf](http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_sport__195.pdf).
7. Das, Tapan K., et Smita Prusty. « Review on Conducting Polymers and Their Applications ». *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 51, n° 14 (1 octobre 2012): 1487- 1500. <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.710697>.
8. « history of polymer pdf ». [https://www.google.fr/search?ei=1QRuWsHJJ8u8UcPYlqgJ&q=history+of+polymer+pdf&oq=history+of+polymer+pdf&gs\\_l=psy-ab.3..654.4908.0.5734.6.5.1.0.0.0.294.835.0j4j1.5.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.5.718...0i19k1j0i22i30i19k1j0i22i30k1.0.ArH9IaoOdSc](https://www.google.fr/search?ei=1QRuWsHJJ8u8UcPYlqgJ&q=history+of+polymer+pdf&oq=history+of+polymer+pdf&gs_l=psy-ab.3..654.4908.0.5734.6.5.1.0.0.0.294.835.0j4j1.5.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.5.718...0i19k1j0i22i30i19k1j0i22i30k1.0.ArH9IaoOdSc).
9. « Introduction to Polymer Chemistry, Fourth Edition | Taylor & Francis Group ». <https://www.taylorfrancis.com/books/9781498737852>.
10. Kamoun, Elbadawy A., Xin Chen, Mohamed S. Mohy Eldin, et El-Refaie S. Kenawy. « Crosslinked poly(vinyl alcohol) hydrogels for wound dressing applications: A review of remarkably blended polymers ». *Arabian Journal of Chemistry* 8, n° 1 (1 janvier 2015): 1- 14. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.07.005>.
11. Madhusa. « Difference Between Natural and Synthetic Polymers | Definition, Occurrence, Examples ». Pediaa.Com, 16 octobre 2017. <http://pediaa.com/difference-between-natural-and-synthetic-polymers/>.
12. « Polymerisation.pdf ». <https://www.ssag.sk/studovna/files/Polymerisation.pdf>.
13. « Synthetic Polymers | Types and Examples | Polymer Uses | Chemistry | Byjus ». <https://byjus.com/chemistry/synthetic-polymers/>.
14. Vincent, Dusastre. *Materials For Sustainable Energy: A Collection Of Peer-Reviewed Research And Review Articles From Nature Publishing Group*. World Scientific, 2010.

15. « Whatispolymer.pdf ». <http://polymerambassadors.org/pdf/Whatispolymer.pdf>.
16. Zoppe, Justin O., Nariye Cavusoglu Ataman, Piotr Mocny, Jian Wang, John Moraes, et Harm-Anton Klok. « Surface-Initiated Controlled Radical Polymerization: State-of-the-Art, Opportunities, and Challenges in Surface and Interface Engineering with Polymer Brushes ». *Chemical Reviews* 117, n° 3 (8 février 2017): 1105-1318.  
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00314>.

## SOMMAIRE

I.	Introduction :	38
II.	Définition :	40
1.	À base de pomme de terre.....	41
2.	A base de maïs.....	41
III.	Histoire de bioplastique :	43
IV.	La situation actuelle et les perspectives d'évolution :	44
V.	Les procédés de fabrication les bioplastiques (plastiques végétales) :	46
VI.	Domaine d'application :	49
a.	Emballage .....	49
d.	Agriculture et Horticulture .....	50
e.	Film de paillis.....	50
f.	Protecteurs d'arbres et supports / piquets de plantes: .....	50
g.	Soins personnels et hygiène.....	50
h.	Électronique .....	51
i.	Automobiles .....	51
j.	Emballage alimentaire.....	52
k.	Enrobage.....	52
l.	Mélange.....	52
n.	Construction .....	53
VII.	Les avantages et les inconvénients :	54
a.	Les avantages :	54
b.	Les inconvénients :	55
VIII.	Conclusion :	57
IX.	Bibliographie :	58

## I. Introduction :

Il est difficile d'exagérer l'importance de l'environnement pour le développement durable. C'est la base sur laquelle repose notre existence. Tout schéma global de développement créé sans tenir compte de l'environnement sera en réalité une maison construite sur le sable. <sup>[1]</sup>

L'industrie du plastique dans ses premières étapes a promis d'être une aubaine pour l'humanité. Mais avec son utilisation au cours des années se transformant en une surutilisation a soumis son impact négatif sur la société. Les changements climatiques et les restrictions sur les ressources, en particulier pour les fossiles, ont donné un nouvel élan au développement des plantes pour la production durable d'un large éventail de produits chimiques et de matériaux dont l'humanité a besoin. Alors que l'accent est mis récemment sur l'utilisation de plantes pour les biocarburants, tels que le bioéthanol et le biodiesel, les plantes sont une source potentielle d'une gamme très diversifiée de produits chimiques et de biomatériaux utiles. Les biopolymères occupent actuellement une part très faible mais émergente du marché des polymères. Certains de ces matériaux ont des propriétés distinctives qui les rendent supérieurs aux polymères synthétiques, en particulier en médecine, où la biocompatibilité et la biodégradabilité sont de puissants atouts. Cependant, les biomatériaux manquent souvent de vertus désirées telles que la durabilité, la solidité et le faible prix requis pour leur utilisation dans les produits de grande consommation à faible valeur. Ainsi, à l'exception notable du caoutchouc naturel, de la cellulose et de la subérine (que l'on trouve dans le liège), seule une petite partie du marché potentiel des matériaux est actuellement couverte par des biomatériaux. Pour améliorer l'efficacité des biomatériaux, de nouveaux bio polymères et technologies de production sont nécessaires. <sup>[2]</sup>

Les polymères synthétiques (connus sous le nom de plastiques) sont devenus remarquables depuis les années 1940, et depuis lors ils remplacent le verre, le bois et d'autres matériaux de construction, et même les métaux dans de nombreuses applications industrielles, domestiques et environnementales <sup>[3]</sup>. Ces applications prévalentes ne sont pas seulement dues à leurs bonnes propriétés mécaniques et thermiques, mais principalement à la stabilité et à la

---

<sup>1</sup> Vanitha K. P, « IJMTER-2016, All Rights Reserved BIOPLASTICS -A REVIEW », [http://www.academia.edu/33617799/IJMTER-2016\\_All\\_rights\\_Reserved\\_BIOPLASTICS\\_-A\\_REVIEW](http://www.academia.edu/33617799/IJMTER-2016_All_rights_Reserved_BIOPLASTICS_-A_REVIEW).

<sup>2</sup> Daniel K. Y. Solaiman et al., « Conversion of Agricultural Feedstock and Coproducts into Poly(Hydroxyalkanoates) », *Applied Microbiology and Biotechnology* 71, n° 6 (1 août 2006): 783- 89, <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0451-1>.

<sup>3</sup> T. V. Ojumu, J. Yu, et B. O. Solomon, « Production of Polyhydroxyalkanoates, a Bacterial Biodegradable Polymer », *African Journal of Biotechnology* 3, n° 1 (31 janvier 2004): 18- 24, <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2004>.

durabilité. D'autre part, les plastiques jouent également un rôle important pour de nombreuses applications "à court terme" telles que l'emballage de déchets plastiques. En raison de leur persévérance dans notre environnement, plusieurs communautés sont maintenant plus sensibles à l'impact du plastique rejeté sur l'environnement, y compris les effets néfastes sur la faune, la vie marine et sur les qualités esthétiques des villes et des forêts. L'augmentation du coût de l'élimination des déchets solides ainsi que les menaces potentielles de l'incinération des déchets tels que l'émission de dioxines du PVC font du plastique synthétique, un problème de gestion des déchets. Par la suite, depuis deux décennies, l'utilisation et le développement des biopolymères (polymères biodégradables) suscitent de plus en plus d'intérêt public et scientifique en tant qu'alternative écologiquement valable aux plastiques, qui doivent conserver les propriétés physiques et chimiques souhaitées des plastiques synthétiques conventionnels. ; proposant ainsi une solution au problème grave actuel des déchets plastiques.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> C. S. K Reddy et al., « Polyhydroxyalkanoates: an overview », *Bioresource Technology* 87, n° 2 (1 avril 2003): 137- 46, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00212-2).

## II. Définition :

Les bioplastiques sont étroitement liés à l'histoire et au développement des plastiques – certains les premiers pionniers de l'industrie, y compris Henry Ford, ont développé des plastiques utilisant des ressources renouvelables. Aujourd'hui, les bioplastiques couvrent une large gamme de matériaux, mais ils sont tous partiellement ou entièrement biosourcés et / ou biodégradables.

Les bioplastiques de première génération proviennent des filières agricoles et renouvelables traditionnelles.

Des ressources telles que le maïs, la canne à sucre et le soja. Les sources de deuxième génération ont migré vers des sources renouvelables non alimentaires telles que les graminées, la sciure de bois, le chanvre, les graines de ricin, ainsi que les sous-produits de sources de première génération, notamment les pelures et les pelures. La recherche se poursuit sur le développement de nouvelles ressources pour les bioplastiques et la diversification des matières premières; les sources de troisième génération comprennent les algues et les méthanobactéries modifiées. <sup>[5]</sup>

Les matières bioplastiques peuvent être scindées en deux familles :

- un bioplastique bio source a une partie ou la totalité de son carbone produit à partir d'un plante (ou parfois animal) source. c'est à dire issus de ressources renouvelables, souvent de la matière végétale, telles que le blé, le maïs ou bien la pomme de terre par exemple.
- les plastiques biodégradables sont ceux qui se dégradent en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), l'eau (H<sub>2</sub>O) et la biomasse par l'action biologique dans un environnement et dans un délai défini. Ces environnements comprennent le compostage, la digestion anaérobie et les environnements de sol. Ceux-ci peuvent être issus aussi bien de la pétrochimie que de la biomasse. <sup>[6]</sup>

Un malentendu courant à propos des bioplastiques est que "biosourcé" et "Biodégradable" sont liés; ils ne le sont pas, car un bioplastique biosourcé n'est pas nécessairement

---

<sup>5</sup> « 2016PMWBioplasticsIA.pdf »,

<http://www.plasticsindustry.org/sites/plastics.dev/files/2016PMWBioplasticsIA.pdf>.

<sup>6</sup> « Les Bioplastiques », <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2119>.

biodégradable et un bioplastique biodégradable ne peut pas être bio source. Cette confusion est commune, et existe à l'intérieur et à l'extérieur de l'industrie des plastiques, de la chaîne de valeur, entre les marques et certainement avec les consommateurs.

« La plupart des consommateurs ont une faible compréhension des plastiques - oubliez les bioplastiques. Ils ne font pas comprendre ce que sont les plastiques, ce qu'ils font et comment ils fonctionnent. Avec des bioplastiques, il y a le même malentendu », selon Keith Edwards, directeur de la gestion des ventes chez Specialty Plastics, Amérique du Nord.

### **1. À base de pomme de terre.**

Commençons par la fécule de pomme de terre, l'amylose, qui a plusieurs qualités utiles à la fabrication du bioplastique. L'amylose est le sucre de base du monde végétal. Le plastique végétal est aussi bon et utile qu'un plastique normal, fait de pétrole. Le bioplastique qui est produit de la pomme de terre est renouvelable. Il peut être réutilisé plusieurs fois et ce n'est ni toxique ni polluant. Les bioplastiques qui sont fabriqués à base de fécule de pomme de terre se présentent sous la forme de petits grains comme le sucre. Ils seront ensuite transformés par l'industrie plastique pour créer de nouveaux produits de consommation. Ces produits sont 100% biodégradables, compostables, recyclables et réutilisables. Par exemple, un sac en bioplastique fait entièrement de matière végétale disparaît en moins de 180 jours, sans polluer l'environnement. Attention : certains sacs « biodégradables » sont faits à base de pétrole. Assurez-vous de prendre des sacs COMPOSTABLES, car ceux-ci sont faits entièrement de matière non toxique.

### **2. A base de maïs**

Le maïs est une plante à graines. Il existe toutes sortes de graines : maïs doux pour les humains et maïs fourrage pour les animaux. Le maïs est aussi utilisé en cosmétologie et en papèterie. Maintenant, les chercheurs ont découvert qu'on peut fabriquer du plastique biodégradable à partir du maïs qui est très polyvalent. Des films plastiques peuvent être ainsi produits pour des utilisations agricoles : cultures, plantations, etc. Dans ces situations, la biodégradabilité est essentielle. Plus étonnant encore, des chercheurs souhaitent pouvoir fabriquer, à partir de l'amidon de maïs, des pneus de voiture aux caractéristiques intéressantes pour le freinage, le bruit et la résistance à l'usure. Le maïs peut remplacer également des matériaux plastiques assez rigides.

Concernant le processus de fabrication, les plantes sont broyées et mélangées avec des plastifiants naturels (eau, amidon, etc.). Le produit final est obtenu sans purification des constituants et sans matières plastiques issues de la chimie pétrolière. Cela donne des plastiques plus rigides, mais à durée de vie limitée.

Les applications sont multiples : poignées rigides pour sacs papier, mais également des produits qui peuvent être utilisés ou dispersés à l'extérieur : tees de golf, bombes de feu d'artifice, tuteurs de végétaux. <sup>[7]</sup>

<b>Comparaison entre le bioplastique et le petro plastique</b>		
	<b>Bioplastique</b>	<b>Petro plastique</b>
<b>Renouvelable</b>	Oui ou partiel	Non
<b>Durable</b>	Oui	Non
<b>Environnement</b>	Biodégradable	certaines dégradables par l'oxydation du polymère
<b>Polymère</b>	limité mais en croissance	Extensif
<b>Utilisation de combustion fossile</b>	habituellement faible	relativement élevé
<b>Utilisation des terres arables</b>	actuellement faible	Aucun

**Tableau III.1 :** *Le tableau ci-dessus donne une brève comparaison de diverses propriétés des deux plastiques.* <sup>[8]</sup>

<sup>7</sup> « Journalautomne\_2016\_final.pdf », [http://www.scientifines.com/files/Journalautomne\\_2016\\_final.pdf](http://www.scientifines.com/files/Journalautomne_2016_final.pdf).

<sup>8</sup> « Carbohydrate Polymers | Vol 52, Issue 3, Pages 207-346 (May 2003) | ScienceDirect.com », <https://www.sciencedirect.com/journal/carbohydrate-polymers/vol/52/issue/3>.

### III. Histoire de bioplastique :

date de l'événement	l'événement
1 Janv 1862	<b>Le premier plastique synthétique (bioplastique):</b> Alexander Parkes (1813-1890), chimiste et inventeur, expose à la Great International Exhibition de Londres un matériau moulable en nitrate de cellulose et en wascalle appelé Parkesine. Parkesine a été accueilli avec un grand intérêt public, donc Parkes a commencé la société Parkesine à Hackney Wick, à Londres. Cependant, il n'a pas eu beaucoup de succès commercialement.
8 Aout 1869	<b>Réinvention :</b> Après la chute de la société Parkesine, un nouveau nom apparaît dans les bioplastiques. En 1869, John Wesley Hyatt, dans un effort pour trouver un nouveau matériau pour des boules de billard autres que l'ivoire, a inventé une machine pour la production de bioplastique stable. Il était capable de breveter le matériau comme Celluloid.
8 Mars 1907	<b>Découverte des plastiques conventionnels:</b> La découverte des plastiques pétroliers. Le début d'une longue route qui arrive à une impasse.
8 Sep 1928	<b>Ford va Bioplastique :</b> Dans les années 1920, Henry Ford, dans une tentative de trouver d'autres fins non alimentaires pour les excédents agricoles. Ford a commencé à fabriquer des bioplastiques pour la fabrication d'automobiles. Les bioplastiques ont été utilisés pour les volants, les garnitures intérieures et les tableaux de bord. Ford les utilise depuis.
12 Jun 1933	<b>La découverte du polyéthylène:</b> En 1933, deux chimistes, E.W. Fawcett et R.O. Gibson a découvert le polyéthylène par accident. Tout en expérimentant avec l'éthylène et le benzaldéhyde, la machine qu'ils utilisaient faisait jaillir une fuite et tout ce qui restait était du polyéthylène. Ils ont été crédités de la découverte du processus de polymérisation.
12 Aout 1941	<b>La première voiture bioplastique:</b>

	Henry Ford a dévoilé la première voiture en plastique en 1941. Cette voiture avait un corps bioplastique et des parties constituées de 14 bioplastiques différents. Il y avait beaucoup d'intérêt, mais peu de temps après, la Seconde Guerre mondiale a commencé et les attentions ont été détournées.
9 Aout 1990	Une société britannique, Imperial Chemical Industries, a développé un bioplastique, Biopol, qui est biodégradable. Ce fut le début de la révolution bioplastique.

[9]

#### IV. La situation actuelle et les perspectives d'évolution :

L'industrie des bioplastiques est un secteur jeune et innovant doté d'un énorme potentiel économique et écologique pour une bio économie circulaire à faible émission de carbone qui utilise les ressources plus efficacement. L'UE a commencé à reconnaître les nombreux avantages de l'économie fondée sur la bio économie et alloue maintenant des fonds et des ressources à la recherche et au développement dans ce secteur.

Le marché mondial des bioplastiques devrait connaître une croissance continue au cours des prochaines années.

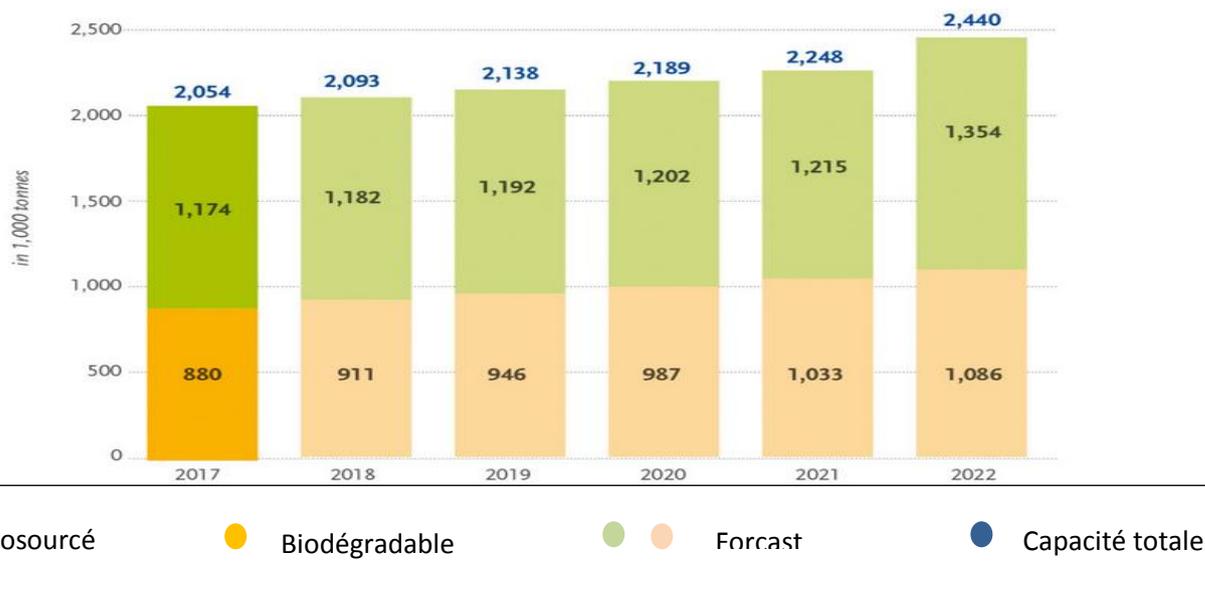
Selon une étude publiée par l'association professionnelle European Bioplastics, à l'orée 2017, les capacités de production mondiales de bioplastiques devraient passer d'environ 2,05 millions de tonnes en 2017 à environ 2,44 millions de tonnes en 2022. <sup>[10]</sup>

Par ailleurs, les applications des bioplastiques sont très diverses : de la simple bouteille en plastique, et plus généralement le marché de l'emballage, qui devrait rester le premier débouché en 2017, au clavier de l'industrie électronique. <sup>[11]</sup>

<sup>9</sup> Kiran Nehra, Pragati Jamdagni, et Priyanka Lathwal, « Bioplastics: A Sustainable Approach Toward Healthier Environment », in *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments* (Springer, Singapore, 2017), 297- 314, [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_15).

<sup>10</sup> « EUBP\_Facts\_and\_figures.pdf », [http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf).

<sup>11</sup> « Les Bioplastiques ».



**Figure III.1 :** Capacités de production globales de bioplastiques. <sup>[12]</sup>

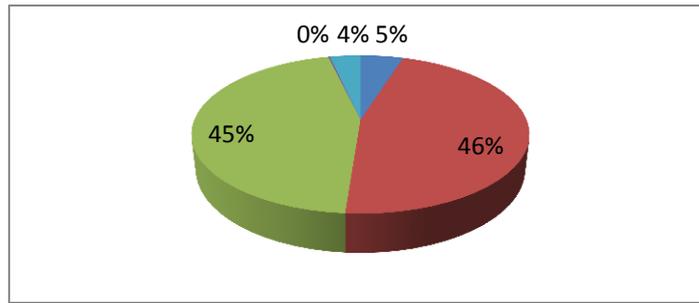
L'Europe est une plaque tournante majeure pour l'ensemble de l'industrie des bioplastiques; il se classe le plus haut dans le domaine de la recherche et du développement et est le plus grand marché de l'industrie dans le monde.

En vue de la production effective de bioplastiques et du développement des capacités régionales, l'Asie étend et étendra son rôle de centre de production majeur. En 2017, plus de 50% des bioplastiques ont été produits en Asie. Tandis que des régions telles que l'Asie, les États-Unis et l'Amérique latine mettent en œuvre des mesures proches du marché pour attirer des investissements et des pôles de production afin de promouvoir un développement plus rapide du marché. Le marché européen des bioplastiques est limité par l'absence de mesures économiques et politiques. Une augmentation à plus grande échelle des capacités de production en Europe.

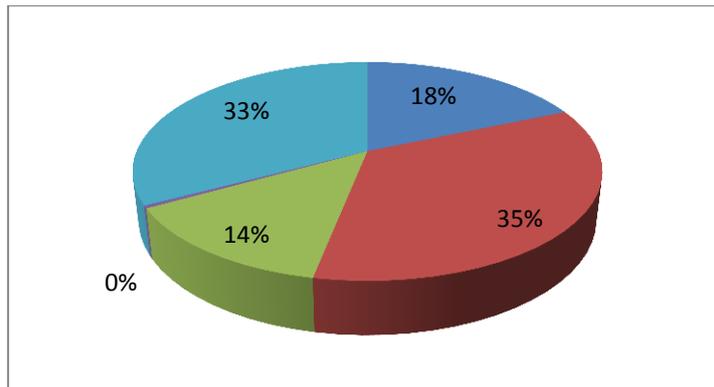
Dans ce contexte, la mise en œuvre d'un cadre politique européen garantissant l'égalité d'accès aux ressources biosourcées, la création de mesures facilitant l'entrée sur le marché des produits biosourcés et le rôle facilitateur des plastiques compostables pour une gestion efficace des déchets sont primordiaux importance.

<sup>12</sup> EUBIO\_Admin, « Market », *European Bioplastics e.V.* (blog), <https://www.european-bioplastics.org/market/>.

En 2011



En 2016



■ L'Europe   ■ Asia   ■ Amérique du Nord   ■ Australie   ■ Amérique du sud

**Figure III.2 :** Capacités de production globales de bioplastiques par régions. <sup>[13]</sup>

## V. Les procédés de fabrication les bioplastiques (plastiques végétales) :

La fabrication d'une matière plastique végétale est réalisée en 6 étapes :

1. Le cycle de production des matières plastiques végétales débute dans les champs avec les agriculteurs. Les matières plastiques végétales, sont fabriquées à partir de céréales ou par exemple dans le cas de la pomme de terre, épluchure de banane : des matières premières végétales et renouvelables. Les matières premières, sont sélectionnées selon les nombreux avantages qu'ils offrent dans la fabrication de matière plastique végétale de par leurs caractéristiques (variétés diverses, durabilité, etc.).
2. Ensuite, ce sont les amidonniers et féculiers qui interviennent. Pour cela, ils extraient l'amidon des graines de céréales. Amidon, également appelé fécule, qui sera l'élément

<sup>13</sup> « EUBP\_Facts\_and\_figures.pdf ».

de base de la production des matières plastiques végétales. Schématiquement, l'amidon peut être représenté par un long collier de perles dans lequel chaque perle est une molécule de glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), aussi appelé chaîne de polymère ou encore granulé.

3. Ensuite, les fabricants de résine des matières plastiques végétales, réorganisent ce collier de perles en un nouveau collier de perles qui formera la résine de la matière plastique végétale par des procédés industriels. Il existe plusieurs types de résine de la matière plastique végétale : base amidon, PHA, PLA ...

→ Le Polylactique Acide (PLA) et le Polyhydroxyalcanoates (PHA) sont des polymères biologiques, qui sont utilisés principalement par l'industrie agroalimentaire pour des emballages ou encore dans le domaine médical. Ils permettent de remplacer les emballages polluants (d'origine pétrolière) par des matériaux biodégradables.

4. Ainsi, les industriels de la plasturgie transforment les granulés de matières plastiques végétales en objets.

Pour cela, les granules de résine sont d'abord chauffées pour pouvoir être transformées selon différents procédés :

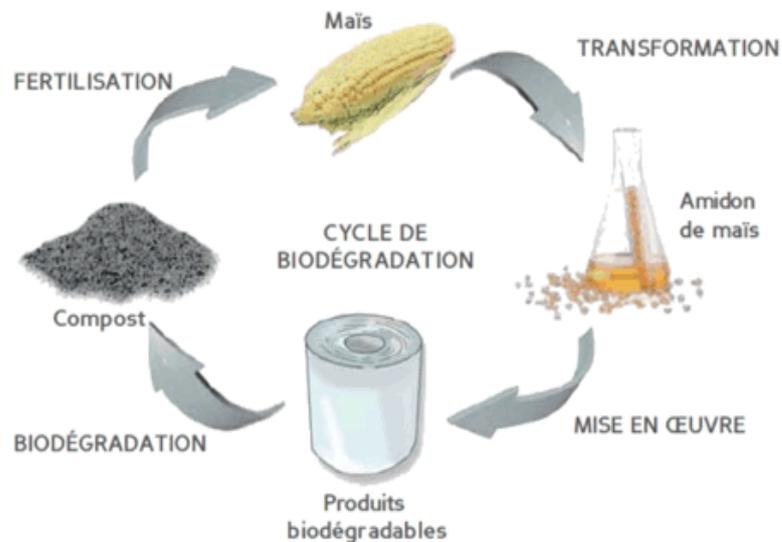
- L'extrusion par gonflage : la résine est étirée dans une filière, puis gonflée avec de l'air, la matière plastique végétale se dilate et devient un film (par exemple pour les sacs de caisse).
- L'injection soufflage : la résine est injectée dans un moule ferme, puis elle est soufflée (par exemple pour les bouteilles);
- Le thermoformage : la résine est transformée en une feuille qui épouse les contours d'un moule à la forme du produit fini (par exemple pour les pots de yaourt);
- L'injection : la résine est injectée dans un moule ferme à la forme de l'objet (par exemple pour les couverts).

5. Par la suite, les distributeurs de produits proposent des objets en matières plastiques végétales aux consommateurs, dans de nombreux domaines de consommation : emballage, produit à usage unique...

6. Enfin, une fois utilisés, les objets en matières plastiques végétales 100 % biodégradables, sont destinés aux compostages.

Ils sont pour cela identifiés par le logo « OK compost » qui attestent de la possibilité de les composter.

Le compost obtenu enrichit le sol en matière organique et sert d'engrais biologique pour l'agriculture. Il favorise ainsi la croissance des végétaux. <sup>[14,15]</sup>



**Figure III.3 :** Boucle de fabrication d'une matière bioplastique. <sup>[16]</sup>



**Figure III.4 :** Premier sacs de plastique en Inde 100% biodégradable a partir de déchets végétales

<sup>14</sup> « Matière plastique végétale », <http://lizinne.e-monsite.com/pages/matiere-plastique-vegetale-3.html>.

<sup>15</sup> Shristi Basnet, « Production of Polylactic Acid in Laboratory Scale, and Characterising the Thermal Properties. », 2016, <http://www.theseus.fi/handle/10024/113855>.

<sup>16</sup> « Matière plastique végétale ».

## **VI. Domaine d'application :**

### **a. Emballage**

Aujourd'hui, le biopackaging peut être trouvé dans de nombreux supermarchés européens. Sainsbury au Royaume-Uni peut être cité comme un pionnier - qui a d'abord reconnu les possibilités d'emballages plastiques compostables. De nombreuses chaînes de supermarchés comme Delhaize (Belgique), Iper (appartenant au groupe Carrefour, Italie), Albert Heijn (Pays-Bas) et Migros (Suisse) font activement confiance au biopackaging. L'année dernière, le plus grand détaillant mondial, Wal-Mart, a présenté sa première gamme de produits emballages en PLA à base de maïs à travers les Etats-Unis.

Pour les supermarchés, il est également très avantageux de pouvoir composter des produits alimentaires périmés et invendus avec leur emballage plutôt que de devoir séparer le contenu de l'emballage à un coût considérable. Les résidus alimentaires n'interfèrent pas du tout avec ce recyclage. La même chose s'applique aux services packs compostables, tels que plateaux, assiettes, tasses ou couverts. <sup>[17]</sup>

### **b. Des sacs**

Les préoccupations concernant les déchets sauvages, le gaspillage perçu d'un produit à usage unique et la gestion des bio déchets ont fait de ce secteur l'un des plus dynamiques pour les bioplastiques au début du XXIe siècle. Les bioplastiques constituent d'excellents remplacements pour les matériaux conventionnels à base d'huile dans ce secteur avec des caractéristiques de performance, une résistance, une bonne clarté de contact et une production à grande vitesse éprouvée.

### **c. Wraps**

Les bioplastiques peuvent être transformés en film imperméable et résistant aux graisses pour une grande variété d'éco-options d'emballage et d'emballage. Une grande sensation naturelle et une technologie barrière appropriée permettent à des produits comme le fromage de respirer sur le chemin du consommateur. Des matériaux flexibles avec des caractéristiques de pliage mortes semblables à du papier élargissent la gamme d'applications.

---

<sup>17</sup> « Bioplastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf », consulté le 31 mars 2018, [https://www.researchgate.net/profile/Shruti\\_Prasad/publication/272351686\\_Bioplastics-\\_utilization\\_of\\_waste\\_banana\\_peels\\_for\\_synthesis\\_of\\_polymeric\\_films/links/54e23cb90cf2966637962cd2/Bio-plastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shruti_Prasad/publication/272351686_Bioplastics-_utilization_of_waste_banana_peels_for_synthesis_of_polymeric_films/links/54e23cb90cf2966637962cd2/Bio-plastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf).

#### **d. Agriculture et Horticulture**

La propriété généralement inhérente de la biodégradabilité offre des avantages spécifiques dans l'agriculture et l'horticulture.

#### **e. Film de paillis**

Les bioplastiques peuvent être transformés en films entièrement opaques ou semi-transparents qui offrent un environnement de croissance idéal et qui peuvent être labourés dans le sol à la fin du cycle de croissance, apportant une nutrition au sol pour les saisons futures. Produire des aliments purs avec un minimum d'utilisation de pesticides est un argument de vente puissant dans la culture maraîchère ou biologique. Il est pratique de labourer les films de paillage après leur utilisation au lieu de les récolter sur le terrain, de les nettoyer et de les retourner pour les recycler, ce qui améliore l'économie de l'opération.

#### **f. Protecteurs d'arbres et supports / piquets de plantes:**

Les bioplastiques sont développés comme une réponse à la litière forestière, fournissant une protection qui permet aux jeunes arbres de prendre le meilleur départ possible. La protection contre la vermine et l'environnement hostile est assurée au début du cycle de croissance, mais le matériel se désintègre à mesure que l'arbre atteint la maturité. Les déchets disgracieux sont enlevés et les coûts de collecte sur les terres boisées aménagées sont éliminés.

Les horticulteurs choisissent maintenant les bioplastiques pour fabriquer des porte-plantes fonctionnels qui sont solides, résistants à l'eau, dans un choix de couleurs et qui ont la capacité de se décomposer naturellement en biomasse.

#### **g. Soins personnels et hygiène**

La plupart des articles de soins personnels comme les brosses à dents, les rasoirs, etc. peuvent être fabriqués à partir de bioplastiques. La finition mate des bioplastiques assure que le rasoir en plastique a une bonne adhérence et donne un rasage en douceur. Les caractéristiques de surface du matériau garantissent une bonne adhérence tout en fournissant un dispositif qui résistera à une utilisation quotidienne. Les essais de produits dans ce secteur ont démontré des performances thermiques, d'humidité et de fatigue appropriées.

Pendant ce temps, les bioplastiques peuvent être soufflés pour former des bouteilles opaques et douces pour les shampooings et les crèmes. Les capsules bioplastiques complémentaires peuvent être moulées par injection ou par compression.

Ces produits sont des produits à usage unique et à jeter, si les bioplastiques peuvent être utilisés ici, ils peuvent résoudre le problème du plastique en tant que déchet brut dans une large mesure.

#### **h. Électronique**

En 2009, la multinationale japonaise NEC a développé et mis en œuvre avec succès un bioplastique ignifuge qui peut être utilisé dans les appareils électroniques en raison de son haut pouvoir ignifuge et de son aptitude au traitement. Le nouveau bioplastique comprend plus de 75% de composants de biomasse et peut être produit en utilisant des procédés de fabrication et de moulage qui réduisent de moitié les émissions de CO<sub>2</sub> des procédés conventionnels utilisés pour fabriquer des plastiques ignifugés à base de pétrole. Le nouveau bioplastique de NEC est donc l'un des plastiques ignifuges les plus respectueux de l'environnement utilisés pour le boîtier des appareils électroniques dans le monde.

Dans un autre cas, Mitsubishi Plastics, Inc a déjà réussi à augmenter la résistance à la chaleur et la résistance de l'acide polylactique en l'associant à d'autres plastiques et charges biodégradables. Le résultat a été utilisé pour fabriquer le boîtier plastique d'une nouvelle version de Sony. Le Walkman. Mitsubishi Plastics avait précédemment envisagé le bioplastique comme un produit principalement utilisé dans la fabrication de boîtiers et d'enveloppes, mais l'entreprise est maintenant convaincue que ce matériau révolutionnaire est entré dans une nouvelle phase de développement dans laquelle des applications plus complexes seront trouvées.

#### **i. Automobiles**

Ford Motor Corp. a été le premier constructeur automobile au monde à utiliser les bioplastiques dans la fabrication de pièces automobiles dans les années 1920. Récemment, Toyota moteur corp. Les a employés dans la couverture pour le pneu de rechange dans le Raum, un nouveau modèle qui a été mis en vente ce mai. Le bioplastique utilisé ici est l'acide polylactique (PLA) est fabriqué à partir de plantes, telles que les patates douces et la canne à sucre.

Un porte-parole de la division des biotechnologies et afforestation de Toyota Motor exprime de grands espoirs pour l'avenir des bioplastiques: «L'intérieur d'une voiture devient très chaud et exposé aux chocs pendant que le véhicule fonctionne. , ils peuvent être utilisés dans les produits ménagers ordinaires ou ailleurs. »

#### **j. Emballage alimentaire**

Dans une nouvelle étude publiée le 6 juin 2013 dans la revue scientifique à comité de lecture Trends in Food Science and Technology, des chercheurs de l'Université de Gand examinent l'application des bioplastiques dans les emballages alimentaires (Peelman et al 2013). Les principaux bioplastiques sont le polylactide (PLA), l'amidon, les polyhydroxyalcanoates (PHA) et la cellulose. Le PLA est le bioplastique le plus largement utilisé avec des applications pour les aliments frais, les aliments secs tels que les pâtes et les croustilles, les boissons aux fruits, le yaourt et la viande. L'amidon a été utilisé comme alternative au polystyrène (PS) pour conditionner les tomates et le chocolat. La cellulose est utilisée pour emballer les aliments secs et les produits frais. Bien que tous ces matériaux soient biodégradables, leurs limitations fonctionnelles ont jusqu'à présent restreint leur application répandue dans les emballages alimentaires. Comme le soulignent Peelman et ses collègues, les principales limites des quatre matériaux sont leur fragilité, leur instabilité thermique, leur faible résistance à la fusion, leur thermoscellabilité, leur perméabilité élevée à la vapeur et à l'oxygène, leurs propriétés mécaniques médiocres, leur rigidité et leur faible résistance au choc.

Dans leur étude, Peelman et ses collègues examinent trois procédés qui peuvent être utilisés pour améliorer les propriétés des bioplastiques, à savoir le revêtement, les mélanges et les modifications chimiques / physiques.

#### **k. Enrobage**

Le revêtement comprend l'application d'une fine couche à base de bio ou non bio sur les bioplastiques. De tels revêtements peuvent réduire la perméabilité à l'oxygène et à la vapeur, augmenter la résistance à la traction et donner des propriétés élastiques plus élevées.

#### **l. Mélange**

Mélanger les bioplastiques est une autre approche pour améliorer la fonctionnalité. La cellulose et d'autres matériaux à base de bio peuvent être utilisés pour créer des mélanges

améliorés. La plupart des bioplastiques sont non miscibles; cependant, l'introduction de groupes fonctionnels, la modification chimique ou l'estérification peuvent améliorer la compatibilité. Le mélange peut réduire la fragilité, augmenter les propriétés de barrière à l'eau de vapeur, la flexibilité et la résistance à la traction.

### **m. Modification chimique et / ou physique**

La troisième approche pour améliorer la fonctionnalité est la modification chimique et / ou physique. Il peut être utilisé pour améliorer la compatibilité entre deux polymères ou pour améliorer les propriétés fonctionnelles directement. L'acide citrique ajouté aux films d'amidon améliore les propriétés de l'eau et de la vapeur (WVP). La réticulation de l'acétate de cellulose avec des phosphates améliore la résistance à la traction et ralentit l'absorption et la dégradation de l'eau. L'amidon modifié par l'épichlorhydrine a une résistance à la traction accrue et un allongement amélioré. Remplacer partiellement le gluten de blé par de la kératine hydrolysée ou par tremper un film de gluten de blé dans  $\text{CaCl}_2$  et de l'eau distillée améliore les propriétés de barrière à la vapeur d'eau et à l'oxygène d'un film dérivé de gluten de blé.

Peelman et ses collègues concluent que l'utilisation de revêtements, de mélanges et de modifications chimiques / physiques peut étendre l'utilisation des bioplastiques dans les emballages alimentaires à une grande variété d'aliments autres que les produits frais et les aliments secs.

### **n. Construction**

L'Institut des structures du bâtiment et de la conception structurelle (ITKE) de l'Université de Stuttgart (Allemagne) a travaillé sur les polymères renforcés par des fibres, la bionique et le développement de nouveaux matériaux de construction. L'architecte Carmen Köhler étudie l'applicabilité des biopolymères fibreux renforcés dans l'industrie de la construction. Contrairement aux polymères renforcés de fibre de verre, les polymères renforcés de fibres naturelles sont considérablement plus légers, stables aux émissions et respirant. "Les matériaux de construction qui respirent tout en empêchant l'humidité de pénétrer, sont également d'un intérêt majeur en termes architecturaux", a déclaré Carmen Köhler en expliquant qu'elle trouve le matériau approprié pour les façades et les isolations. Le groupe de chercheurs étudie actuellement le polylactide, l'acétate de cellulose et d'autres matériaux. Les critères de sélection sont le prix, la stabilité de la température et l'utilisation potentielle d'additifs pendant le traitement. "Nous espérons que le matériau sera classé comme matériau

de construction de classe B2 ou même B1", a déclaré Köhler expliquant que B1 et B2 se réfèrent au degré d'inflammabilité des matériaux, qui devrait être aussi faible que possible. [18,19]

## **VII. Les avantages et les inconvénients :**

### **a. Les avantages :**

#### **1. Réduction des émissions de carbone**

L'un des avantages liés à l'utilisation de plastiques biodégradables est l'émission minimale de carbone dans l'air pendant le processus de fabrication des bioplastiques. Contrairement à la fabrication normale de plastiques qui produisent quatre tonnes d'émissions, les bioplastiques émettent seulement environ 8 tonnes de carbone qui contribuent à l'effet de serre et au réchauffement climatique.

#### **2. Consomme moins d'énergie**

Le processus de fabrication de plastiques biodégradables nécessite moins d'énergie et n'a pas besoin de combustibles fossiles pour être recyclés. Inversement, les plastiques traditionnels demandent plus d'énergie dans la production et en même temps nécessitent la combustion de combustibles fossiles. Puisque moins d'énergie est nécessaire, plus de bioplastiques peuvent être produits alors qu'il y a moins de pollution dans l'environnement.

#### **3. Moins de zone d'enfouissement nécessaire**

Les plastiques qui ne sont pas biodégradables sont mis en décharge pour être jetés. Par conséquent, les superficies qui auraient pu être utilisées à des fins agricoles, résidentielles ou industrielles sont plutôt converties en décharges. Si des bioplastiques sont utilisés, il n'est pas nécessaire d'ajouter plus de décharges puisque ces plastiques peuvent être absorbés par le sol et être convertis en compost ou en humus.

#### **4. Recyclable**

---

<sup>18</sup> « Bioplastics- utilization of waste banana... (PDF Download Available) », [https://www.researchgate.net/publication/272351686\\_Bioplastics-utilization\\_of\\_waste\\_banana\\_peels\\_for\\_synthesis\\_of\\_polymeric\\_films](https://www.researchgate.net/publication/272351686_Bioplastics-utilization_of_waste_banana_peels_for_synthesis_of_polymeric_films).

<sup>19</sup> Joyce Y. Wong, Joseph D. Bronzino, et Donald R. Peterson, *Biomaterials: Principles and Practices* (CRC Press, 2012).

Les plastiques biodégradables peuvent être recyclés et ne sont pas toxiques puisqu'ils ne contiennent pas de produits chimiques ou de toxines par rapport à d'autres types de plastiques qui peuvent émettre des produits chimiques nocifs, surtout s'ils sont brûlés

## **b. Les inconvénients :**

### **1. Besoin de composteurs**

L'inconvénient de l'utilisation de plastiques biodégradables est que les composteurs industriels devront être transformés en composts et que la disponibilité de l'équipement dans certains pays peut poser problème. Mis à part le coût, tous les pays n'ont pas l'équipement approprié, surtout si ce n'est pas la priorité du gouvernement. En fin de compte, les bioplastiques qui doivent être traités ne seront pas jetés correctement.

### **2. Problèmes d'ingénierie**

Ces bioplastiques sont à base de plantes et cela signifie qu'ils proviennent de sources biologiques provenant de fermes telles que le soja et le maïs. Cependant, ces plantes organiques sont pulvérisées avec des pesticides qui contiennent des produits chimiques qui peuvent contaminer les cultures et être transférés ou inclus dans le produit fini.

### **3. Risque de contamination**

Les plastiques biodégradables ne doivent pas être mélangés à des plastiques non biodégradables lorsqu'ils sont jetés dans des poubelles. Le problème ici est que toutes les personnes ne savent pas comment séparer ou distinguer les bioplastiques des autres types de plastiques. Une fois ces deux types de plastiques mélangés, ces bioplastiques deviennent contaminés et ne peuvent plus être utilisés. Par conséquent, ces bioplastiques contaminés finiront dans les décharges et ajouteront au volume de thrash.

Les plastiques biodégradables deviennent de nos jours populaires en raison de la prise de conscience croissante sur le réchauffement climatique et les problèmes environnementaux. Malgré ses inconvénients, il aidera à mettre l'accent sur les avantages de l'utilisation des bioplastiques et à éduquer les gens sur son importance et ses effets à l'échelle mondiale. <sup>[20]</sup>

---

<sup>20</sup> connectusfundadmin, « 7 Advantages and Disadvantages of Biodegradable Plastics », *ConnectUS* (blog), 20 août 2016, <https://connectusfund.org/7-advantages-and-disadvantages-of-biodegradable-plastics>.

#### 4. Idées fausses

Même si l'on s'attend à ce que les plastiques biodégradables soient bons pour l'environnement, ils peuvent endommager la nature de certaines façons. L'émanation des gaz à effet de serre comme le méthane et le dioxyde de carbone, bien qu'ils se dégradent, est énorme dans les sites d'enfouissement. Cela peut être contrôlé en concevant des plastiques afin qu'ils puissent se désintégrer et se décomposer lentement ou en accumulant le méthane libéré et l'utiliser ailleurs comme combustible. Certains bioplastiques nécessitent des conditions spécifiques pour se dégrader, ces exigences peuvent ne pas être disponibles dans tous les sites d'enfouissement ou les consommateurs n'ont pas accès aux sites d'enfouissement, dans ce cas, il est essentiel de concevoir des bioplastiques biodégradables dans les conditions normales de compostage. [21,22]

#### 5. Impact environnemental

Les bioplastiques à base d'amidon sont généralement fabriqués à partir de plantes comme le maïs, les pommes de terre et ainsi de suite. Cela met une pression énorme sur les cultures agricoles car elles doivent satisfaire les besoins de la population toujours croissante. Pour fabriquer des bioplastiques, les cultures doivent être cultivées, ce qui pourrait entraîner la déforestation.

Les bioplastiques sont couramment produits à partir de cultures comme le maïs, les pommes de terre et le soja. Ces cultures sont souvent génétiquement modifiées pour développer leur résistance aux maladies, aux parasites, aux insectes, etc. et augmenter leur rendement. Cet exercice comporte toutefois un risque élevé pour l'environnement, car de telles cultures peuvent être toxiques pour les humains et pour les animaux. [23]

---

<sup>21</sup> A. K. Mohanty, M. Misra, et L. T. Drzal, « Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World », *Journal of Polymers and the Environment* 10, n° 1- 2 (1 avril 2002): 19- 26, <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>.

<sup>22</sup> Donglu Shi, *Introduction to Biomaterials* (清华大学出版社有限公司, 2006).

<sup>23</sup> « Biological degradation of plastics: A comprehensive review - ScienceDirect », consulté le 2 avril 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975008000141?via%3Dihub>.

## 6. Coût

Les bioplastiques sont une technologie innovante et nécessitent encore plus de recherche et de développement pour être vérifiés. Les bioplastiques ne sont donc pas, équivalents aux plastiques conventionnels, en matière de coûts.<sup>[24]</sup>

### VIII. Conclusion :

L'idée de réaliser cette étude était de mener une étude comparative mettant en évidence les avantages et les inconvénients des pétro-plastiques conventionnels par opposition aux plastiques biodégradables new age biodégradables. Environ 80% en poids de tous les produits chimiques fabriqués par l'industrie pétrochimique sont utilisés dans des matériaux polymères. La fabrication de ces ressources à partir de la biomasse au lieu des ressources fossiles subventionne donc de manière significative l'expansion de l'économie basée sur la biosynthèse. Une gestion inadéquate des déchets plastiques a même conduit à la raréfaction des ressources pétrolières, à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et à la perturbation de la vie aquatique. Les bioplastiques sont récemment apparus comme une alternative durable intégrée à la gestion des plastiques afin de réduire la dépendance au pétrole ainsi que de meilleurs moyens d'élimination des plastiques. L'idée fondamentale des plastiques bio-dérivés est de modifier la source même de la production de plastiques, c'est-à-dire que les sources pétrolières classiques ont été remplacées par une source plus abondante, accessible, renouvelable, économique et dégradable. A travers cette étude, les auteurs soulignent la nécessité d'opter pour un passage indispensable aux bioplastiques pour se transformer en un avenir durable, car les auteurs estiment que les bioplastiques sont une option beaucoup plus faisable, renouvelable et durable quand comparé aux pétro-plastiques conventionnels à haute consommation d'énergie. Ainsi, la recherche et le développement dans le domaine des bioplastiques sont indispensables et devraient donc être encouragés.<sup>[25]</sup>

---

<sup>24</sup> Ali S. Ayoub et Lucian A. Lucia, *Introduction to Renewable Biomaterials: First Principles and Concepts* (John Wiley & Sons, 2017).

<sup>25</sup> Swati Pathak, C. L. R. Sneha, et Blessy Baby Mathew, « Bioplastics: Its Timeline Based Scenario & Challenges », *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry, Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry* 2, n° 4 (23 janvier 2014): 84- 90, <https://doi.org/10.12691/jpbpc-2-4-5>.

## IX. Référence bibliographie :

1. « 2016PMWBioplasticsIA.pdf ». <http://www.plasticsindustry.org/sites/plastics.dev/files/2016PMWBioplasticsIA.pdf>.
2. Ayoub, Ali S., et Lucian A. Lucia. *Introduction to Renewable Biomaterials: First Principles and Concepts*. John Wiley & Sons, 2017.
3. Basnet, Shruti. « Production of Polylactic Acid in Laboratory Scale, and Characterising the Thermal Properties. », 2016. <http://www.theseus.fi/handle/10024/113855>.
4. « Biological degradation of plastics: A comprehensive review - ScienceDirect ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975008000141?via%3Dihub>.
5. « Bioplastics- utilization of waste banana... (PDF Download Available) ». [https://www.researchgate.net/publication/272351686\\_Bioplastics-utilization\\_of\\_waste\\_banana\\_peels\\_for\\_synthesis\\_of\\_polymeric\\_films](https://www.researchgate.net/publication/272351686_Bioplastics-utilization_of_waste_banana_peels_for_synthesis_of_polymeric_films).
6. « Bioplastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf ». [https://www.researchgate.net/profile/Shruti\\_Prasad/publication/272351686\\_Bioplastics-utilization\\_of\\_waste\\_banana\\_peels\\_for\\_synthesis\\_of\\_polymeric\\_films/links/54e23cb90cf2966637962cd2/Bioplastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shruti_Prasad/publication/272351686_Bioplastics-utilization_of_waste_banana_peels_for_synthesis_of_polymeric_films/links/54e23cb90cf2966637962cd2/Bioplastics-utilization-of-waste-banana-peels-for-synthesis-of-polymeric-films.pdf).
7. « Carbohydrate Polymers | Vol 52, Issue 3, Pages 207-346 (May 2003) | ScienceDirect.com ». <https://www.sciencedirect.com/journal/carbohydrate-polymers/vol/52/issue/3>.
8. connectusfundadmin. « 7 Advantages and Disadvantages of Biodegradable Plastics ». *ConnectUS* (blog), 20 août 2016. <https://connectusfund.org/7-advantages-and-disadvantages-of-biodegradable-plastics>.
9. EUBIO\_Admin. « Market ». *European Bioplastics e.V.* (blog). <https://www.european-bioplastics.org/market/>.
10. « EUBP\_Facts\_and\_figures.pdf ». [http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](http://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf).
11. « Journal\_automne\_2016\_final.pdf ». [http://www.scientifines.com/files/Journal\\_automne\\_2016\\_final.pdf](http://www.scientifines.com/files/Journal_automne_2016_final.pdf).
12. « Les Bioplastiques ». <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2119>.
13. « Matière plastique végétale ». <http://lizinne.e-monsite.com/pages/matiere-plastique-vegetale-3.html>.
14. Mohanty, A. K., M. Misra, et L. T. Drzal. « Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World ». *Journal of Polymers and the Environment* 10, n° 1- 2 (1 avril 2002): 19- 26. <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>.
15. Nehra, Kiran, Pragati Jamdagni, et Priyanka Lathwal. « Bioplastics: A Sustainable Approach Toward Healthier Environment ». In *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*, 297- 314. Springer, Singapore, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_15).
16. Ojumu, T. V., J. Yu, et B. O. Solomon. « Production of Polyhydroxyalkanoates, a Bacterial Biodegradable Polymer ». *African Journal of Biotechnology* 3, n° 1 (31 janvier 2004): 18- 24. <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2004>.
17. P, Vanitha K. « IJMTER-2016, All Rights Reserved BIOPLASTICS -A REVIEW ». [http://www.academia.edu/33617799/IJMTER-2016\\_All\\_rights\\_Reserved\\_BIOPLASTICS\\_-\\_A\\_REVIEW](http://www.academia.edu/33617799/IJMTER-2016_All_rights_Reserved_BIOPLASTICS_-_A_REVIEW).
18. Pathak, Swati, C. L. R. Sneha, et Blessy Baby Mathew. « Bioplastics: Its Timeline Based Scenario & Challenges ». *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry, Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry* 2, n° 4 (23 janvier 2014): 84- 90. <https://doi.org/10.12691/jpbpc-2-4-5>.

19. Reddy, C. S. K, R Ghai, Rashmi, et V. C Kalia. « Polyhydroxyalkanoates: an overview ». *Bioresource Technology* 87, n° 2 (1 avril 2003): 137- 46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00212-2).
20. Shi, Donglu. *Introduction to Biomaterials*. 清华大学出版社有限公司, 2006.
21. Solaiman, Daniel K. Y., Richard D. Ashby, Thomas A. Foglia, et William N. Marmer. « Conversion of Agricultural Feedstock and Coproducts into Poly(Hydroxyalkanoates) ». *Applied Microbiology and Biotechnology* 71, n° 6 (1 août 2006): 783-89. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0451-1>.
22. Wong, Joyce Y., Joseph D. Bronzino, et Donald R. Peterson. *Biomaterials: Principles and Practices*. CRC Press, 2012.

## SOMMAIRE

I. Introduction :	62
II. Procédés de caractérisation utilisés :	62
1. Caractérisation des échantillons par MEB :	62
a) Principe de fonctionnement :	62
b) Historique :	63
2. Caractérisation des échantillons par DRX :	64
a) Définition :	64
b) Historique :	64
c) Applications :	65
<b>PARTIE 1 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIO POLYMÈRE À PARTIR DES ÉPLUCHURES DE BANANES</b>	<b>66</b>
I Introduction :	66
II Procédures expérimentales :	66
1. L'organigramme de synthèse de polymère :	66
2. Préparation des épluchures de bananes :	67
3. Synthèse de biomatériaux :	67
III Caractérisation des échantillons :	70
III.1-Analyse FTIR:	70
III.2- Analyse DRX :	70
III.3-Caractérisation du bio polymère par MEB :	71
<b>PARTIE 2 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIO POLYMÈRE À PARTIR DE LAIT IMPROPRE À LA CONSOMMATION</b>	<b>72</b>
I Introduction :	72
II Procédures expérimentales :	73
1. Les matériaux :	73
2. L'organigramme de synthèse de polymère :	74
3. Préparation de la caséine :	75
4. Synthèse de polymère :	75
III Caractérisation des échantillons :	78
III.1 - Analyse FTIR:	78
III.2 - Analyse DRX:	78
III.3-caractérisation du bio polymère par MEB :	79
Référence bibliographique :	81

## **I. Introduction :**

Le dernier chapitre du projet vise à étudier des nouvelles méthodes de synthèse de bio polymère utilisant des épiluchures de banane et le lait impropre à la consommation pour obtenir un bioplastique biodégradable, économique et facile à fabriquer.

Ce travail fait à unité de recherche des matériaux et énergie renouvelable (URMER) à Tlemcen de 07/02/2018 jusqu'à 22/05/2018 et on a fait la caractérisation des échantillons par MEB, FTIR et DRX.

## **II. Procédés de caractérisation utilisés :**

On va faire des études sur les échantillons obtenu ces études voir des propriétés physiques (qui mesurent le comportement des matériaux soumis à l'action de la température, des champs électriques ou magnétiques), chimiques (qui caractérisent le comportement des matériaux soumis à un environnement plus ou moins agressif) et mécanique (qui reflètent le comportement des matériaux déformés par des systèmes de forces).

### **1. Caractérisation des échantillons par MEB :**

#### **a) Principe de fonctionnement :**

En microscopie électronique à balayage (SEM : Scanning Electron Microscopy), un fin faisceau d'électrons dont l'énergie peut varier de quelques centaines d'eV à 40 keV est focalisé à la surface de l'échantillon, qu'il balaye selon une trame de lignes parallèles. Sous l'impact de ce faisceau d'électrons, de diverses interactions électrons-matière résulte l'émission de différents signaux. Ces derniers sont collectés pour former une image de la surface de l'objet à observer, ou pour faire une analyse chimique de cette même surface. Les principaux signaux émis en SEM sont représentés à la Figure II-1 avec leur zone de provenance dans le volume d'interaction électrons-matière. Les trois signaux généralement collectés sont les électrons secondaires (SE :Secondary Electrons) qui ont une énergie de 0 à 50 eV (contraste essentiellement topographique), les électrons rétrodiffusés (BSE : Backscatterd Electrons) qui ont une énergie élevée voisine de l'énergie du faisceau incident (contraste topographique et/ou chimique), et les photons X caractéristiques de la chimie de l'échantillon (analyse chimique).<sup>[1]</sup>

---

<sup>1</sup> Joseph I. Goldstein et al., *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (Springer, 2017).

## **b) Historique :**

Le premier appareil doté d'un système de balayage a été conçu en 1935 par M. Knoll lors de travaux sur les tubes cathodiques de téléviseurs pour la Telefunken Company. Le grandissement atteint ne dépassait pas un facteur 10. Trois ans plus tard, M. Von Ardenne (1907-1997) équipe de bobines de balayage un microscope en transmission (STEM) ayant une taille de sonde sub-micronique, mais abandonne ses travaux dans ce domaine avec l'arrivée de la seconde guerre mondiale. Le premier microscope électronique à balayage pour échantillons massifs est développé en 1942 aux États-Unis (Laboratoire RCA) par V. Zvorykine (1889-1982), J. Hillier (1915-2007) et R.L. Snyder. Dans les premières versions, le balayage était obtenu par déplacement électro-mécanique de l'échantillon. Le canon à électrons est alors situé dans la partie basse et la chambre à échantillon à hauteur de travail, configuration qui sera abandonnée car elle présentait le risque de voir tomber l'échantillon dans la colonne ! Les résultats peu encourageants, contrairement à ceux obtenus en microscopie à transmission, font que la RCA n'a pas donné suite à ces projets. C'est grâce aux progrès successifs de l'optique électronique, de l'électronique, des techniques de visualisation et surtout de la détection des électrons de faible énergie (construction du détecteur d'électrons secondaires par deux étudiants de Cambridge, Everhart et Thornley en 1960), que le premier microscope électronique à balayage (Stereoscan Mark1, figure 5b) est commercialisé en 1965 par la Cambridge Instrument Company en Angleterre. Six mois plus tard, Jeol commercialise le JSM1 au Japon.

Bien que l'émission d'un rayonnement X par un matériau sous l'effet d'un bombardement d'électrons ait été découverte au tout début du vingtième siècle, la microanalyse doit son développement à l'utilisation du spectromètre à cristal courbé et aux travaux de thèse de R. Castaing (1921-1998) en 1951 à l'ONERA sur l'« Application des sondes électroniques à une méthode d'analyse ponctuelle chimique et cristallographique ». Il établit les règles de correction pour tenir compte des effets d'absorption et de fluorescence et montre ainsi qu'il est possible d'obtenir la concentration d'un élément dans un alliage en étalonnant l'appareil avec un échantillon massif contenant le même élément. La société française Cameca commercialise la première microsonde (MS85) en 1958, suivie rapidement par Hitachi, Jeol, Philips, ARL, etc.

## 2. Caractérisation des échantillons par DRX :

### a) Définition :

La découverte des rayons X était un évènement très important qui a bouleversé le sens des progressions scientifique, éventuellement dans le domaine de la cristallographie, car la diffraction des rayons X est une technique d'analyse non destructive pour l'identification et la détermination quantitative des différentes formes cristallines présentes dans un solide.

La diffraction des rayons X consiste à applique un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ( $0.1 < \lambda < 10\text{nm}$ ) sur un échantillon argileux orienté ou non. Le rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans les toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté. La condition pour que les radiations soient en phase s'exprime par la loi de Bragg.<sup>[2]</sup>

### b) Historique :

Les rayons X ont été découverts en 1895 par W. Röntgen à Würzburg en Allemagne, le symbole "X" venant de l'inconnue en Mathématiques. La faculté des rayons X à traverser des parois opaques et à révéler l'intérieur du corps humain lui a valu un grand retentissement populaire. Les premières applications ont été tournées vers l'étude des cristaux afin de mettre en évidence les atomes constitutifs des molécules et confirmer ainsi la justesse du nombre d'Avogadro. En 1912, le physicien Laüe a réussi à déterminer la longueur d'onde des rayons X grâce à un réseau cristallin. La plupart des scientifiques du début du siècle, comme par exemple Pasteur en biologie, utilisèrent les rayons X pour étudier les corps cristallisés. Les premières applications médicales ont été réalisées par Marie Curie lors de la 1ère Guerre Mondiale pour aider les chirurgiens présents sur le front.

La diffraction des rayons X est une méthode universellement utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés. Cette méthode ne s'applique qu'à des milieux cristallins (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, c'est-à-dire un arrangement des atomes constitutifs de façon périodique, ordonné et dans des plans réticulaires tridimensionnels.

---

<sup>2</sup> N. W. Marshall et al., « Technical Characterization of Five X-Ray Detectors for Paediatric Radiography Applications », *Physics in Medicine & Biology* 62, n° 24 (2017): N573, <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa9599>.

### c) Applications :

La technique est utilisée pour caractériser la matière. Cela concerne :

- la recherche : lorsque l'on crée un nouveau matériau (souvent des céramiques), que l'on veut connaître le résultat d'une réaction chimique ou physique (par exemple en métallurgie, pour reconnaître les produits de corrosion ou savoir quel type d'acier on a fabriqué), en géologie (géochimie) pour reconnaître la roche prélevée à un endroit, en biologie, pour étudier la structure des protéines par exemple ;
- pour le suivi de production dans une usine (contrôle de la qualité du produit) : dans les cimenteries, les fabriques de céramiques, etc. ;
- l'industrie pharmaceutique :
  - en recherche : les nouvelles molécules sont cristallisées, et les cristaux sont étudiés par diffractométrie de rayons X ;
  - en production : cela sert notamment à vérifier que l'on n'a pas fabriqué une autre molécule de même formule, mais de forme différente (on parle de polymorphisme).<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> « Review of recent progress in chemical stability of perovskite solar cells - Journal of Materials Chemistry A (RSC Publishing) », <http://pubs.rsc.org/-/content/articlelanding/2015/ta/c4ta04994b/unauth#!divAbstract>.

# PARTIE 1 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIO POLYMERES A PARTIE DES ÉPLUCHURES DE BANANES

## I Introduction :

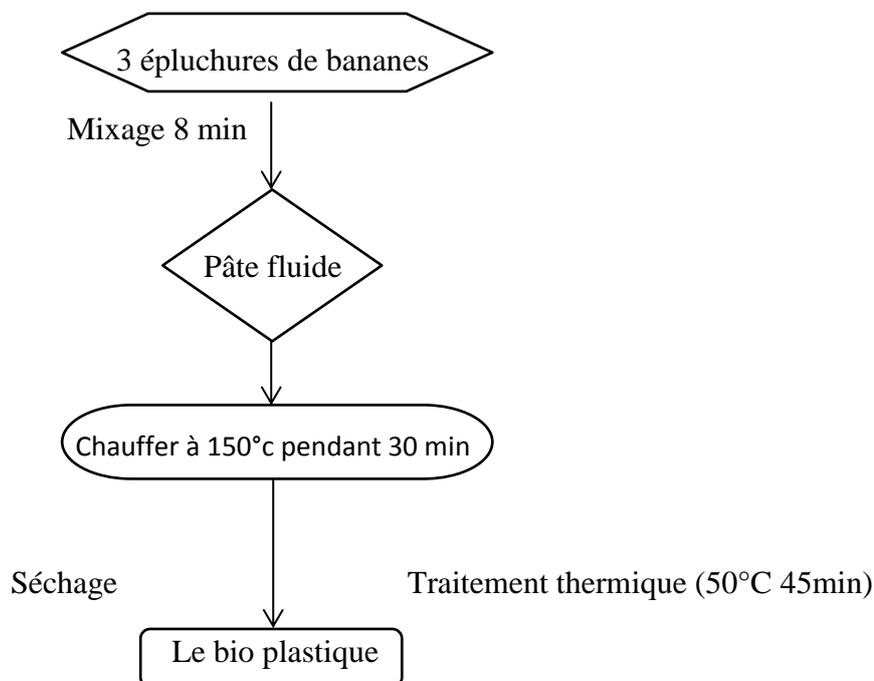
contenu	(g/100g de matière séché)
Protéine	8.6±0.1
Fat	13.1±0.2
Amidon	12.78±0.9
Cendre	15.25±0.1

**Tableau IV.1 :** composition des épluchures de bananes.

À l'heure actuelle, nous pourrions voir l'utilisation de plastique conventionnel dans tous les coins du monde, mais leur utilisation soulève de graves problèmes environnementaux et l'irritation du public en raison de leur nature non dégradables. Ici, aujourd'hui, il est indicatif d'avoir un matériau bioplastique potentiel en alternance sur les plastiques classiques. Le bioplastique à partir d'épluchure de banane obtenue sera respectueux de l'environnement, à la mode, facile à utiliser et dégradables.

## II Procédures expérimentales :

### 1. L'organigramme de synthèse de biomatériau :



**Figure IV.1 :** organigramme de synthèse de bioplastique à base d'épluchure de banane

## 2. Préparation des épluchures de bananes :

1. Les épluchures de banane sont bouillies dans l'eau environ 30 minutes
2. L'eau est décantée du béccher et les épluchures sont laissées à sécher sur du papier filtre environ 30 minutes
3. Une fois les épluchures séchées, elles sont placées dans un béccher et, à l'aide d'un mélangeur à main, les épluchures sont réduites en purée jusqu'à former d'une pâte uniforme.

## 3. Synthèse de biomatériau :

1. traiter la pâte fluide sur une plaque chauffante pendant 30 min
2. absorber l'excédent de l'eau de la pâte par des papiers absorbant
3. la pâte est placée sur la plaque chauffante à 50°C environ 45 minutes



**Figure IV.2 :** *découpage la peau de banane*



**Figure IV.3 :** *mixage des épluchures*

On a prend trois épluchures de bananes et nous avons enlevé les extrémités puis mixer les épluchures avec un mixeur pendant 8 minutes.



**Figure IV.4 :** *la pâte fluide*



**Figure IV.5 :** *traitement thermique*

On a obtenu une pâte fluide (figure IV.4) puis on a chauffé la pâte sur une plaque chauffante à 150°C pendant 30 minutes (figure IV.5).



**Figure IV.6 :** *séchage par papier*



**Figure IV.7 :** *chauffage de la pâte*

Après le traitement thermique, on a absorbé l'excédent d'eau grâce de papier absorbant ensuite on a posé la pâte sur la plaque chauffante pendant 45 minute (figure IV.7) pour bien sécher.

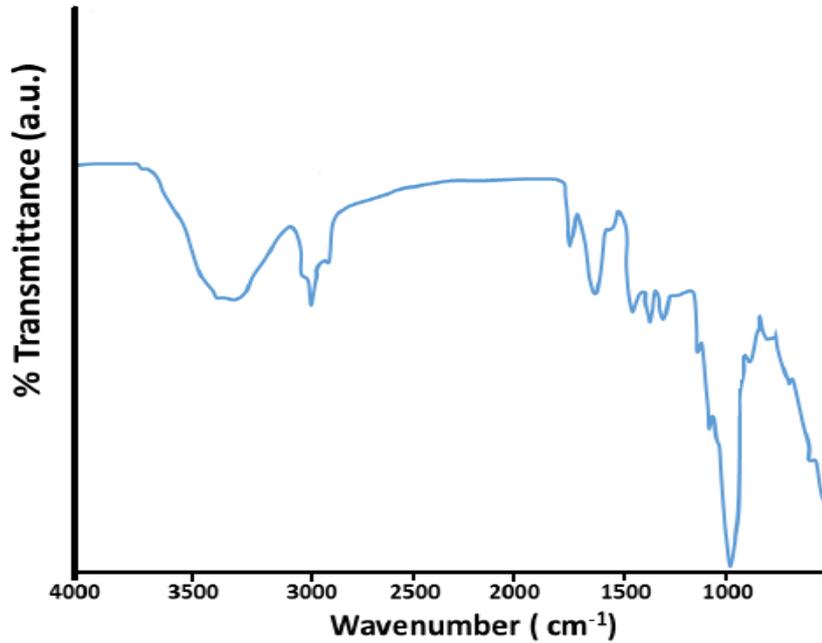


**Figure IV.8 :** *synthèse de biomatériaux*

Le résultat final de biomatériau obtenu à partir des épluchures de bananes (figure IV.8).

### III Caractérisation des échantillons :

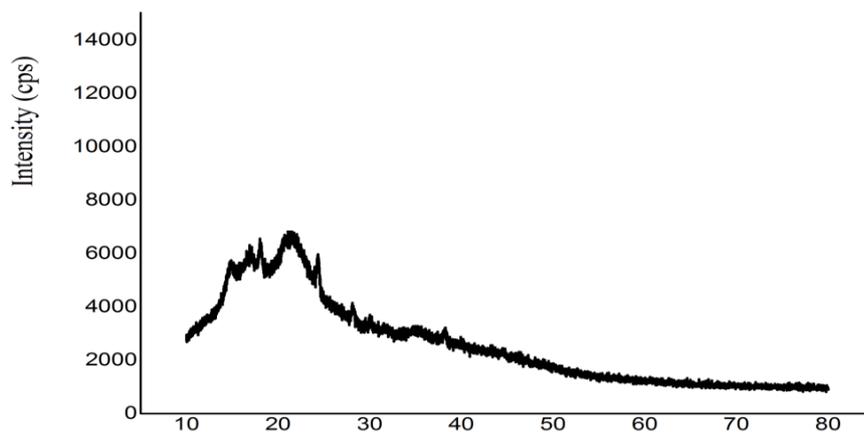
#### III.1-Analyse FTIR:



**Figure IV.9 :** *Analyse FTIR de polymère à base d'épluchures de banane.*

Les pics FTIR de notre échantillon de biomatériaux ont été observés à 2919, 1733, 1448, 1375, 1243, 1197 et 887  $\text{cm}^{-1}$  respectivement pour les vibrations des liaisons C-H, étirement des doubles liaisons C = O, déformation asymétrique des liaisons C-H<sub>3</sub>, On observe aussi une symétrie des liaisons C-H, Un étirement des liaisons C-O-C, et enfin, un étirement des liaisons C-CH<sub>3</sub>.

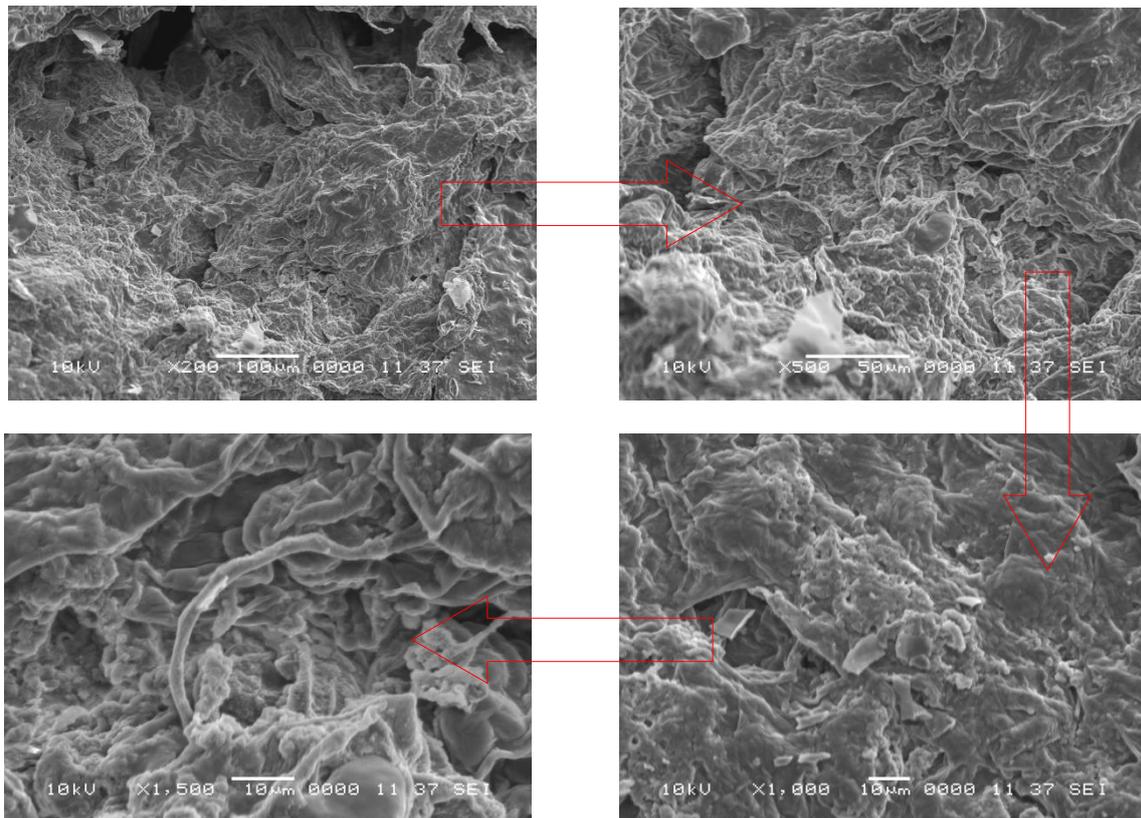
#### III.2– Analyse DRX :



**Figure IV.10 :** *Diagramme de diffraction des rayons X montrant la nature cristalline du matériau bio plastique.*

La figure IV.10 montre le diagramme de diffraction des rayons X du bioplastique préparé à partir de la peau de banane. La structure cristalline du biopolymères de pelure de banane était cristalline réduite lorsqu'elle était traitée à 180 °C, ce qui donnait des diagrammes de diffraction des rayons X similaires à ceux d'un matériau cristallin typique, qui confirme que le biopolymères est de nature cristalline.

### III.3-Caractérisation du bio polymère par MEB :



**Figure IV.11 :** MEB représentant les structures de d'échantillon de biopolymères à différentes résolutions.

Les images ci-dessus montrent la morphologie structurale des matériaux synthétisés pour différentes résolutions. On peut observer la nature fibreuse de la structures ainsi l'existence d'agrégats (des amas).

## PARTIE 2 : SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE BIO POLYMERES A PARTIR DE LAIT IMPROPRES A LA CONSOMMATION

### I Introduction :

Eau	89,2 g	Calcium	0,1 g
Lactose	4,7 g	Phosphore	0,1 g
Protéines	3,2 g	Autre	1,1 g
Lipides	1,6 g		

Tableau IV.2 : la composition de 100g lait. <sup>[4]</sup>

- La protéine la plus abondante est la caséine de 80% des protéines présentes dans le lait.
- La masse volumique du lait est de  $\rho=1,034\text{Kg.L}^{-1}$
- Le PH de lait est égale 6,5

La caséine est la protéine la plus abondante dans le lait et représente 82% des protéines totales. Après séparation des matières grasses du lait par centrifugation, la caséine peut être isolée par agglomération du lait écrémé. Dans l'antiquité, la caséine, utilisée pour ses propriétés liantes, entrait dans la confection de colles et de peintures. Des écrits datant du Moyen-Age (Le secret des Arts 1350) attestent de l'usage de la caséine pour la confection de ciment et de colle à bois. Il faut attendre le XIX<sup>e</sup> siècle pour que la caséine soit utilisée comme bioplastique. En 1870, un brevet décrit l'emploi de la caséine pour l'élaboration d'une matière malléable utilisée pour la fabrication d'objets. Les objets ainsi manufacturés présentaient un aspect dur et brillant semblable à la corne et à l'ivoire mais demeuraient très sensibles à l'eau. Il a fallu attendre 1888 et les travaux du chimiste français Alfred Trillat pour que la caséine soit rendue insoluble dans l'eau par le traitement au formol. Le formol a pour effet de créer des liaisons chimiques covalentes entre les molécules de caséine qui se réorganisent en réseau. La galalithe est le terme générique pour désigner la caséine formolée. Elle se présente sous forme d'une masse dure très résistante et brillante dont les propriétés

<sup>4</sup> « Effect of dietary fatty acid supplements, varying in fatty acid composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total fatty acids - Journal of Dairy Science », [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00730-9/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00730-9/fulltext).

mécaniques sont comparables à celles de la corne. La galalithe connaîtra un essor industriel important au début du XX<sup>e</sup> siècle. Son utilisation comme bioplastique sera progressivement abandonnée au profit de plastiques entièrement synthétiques.<sup>5</sup>

## II Procédures expérimentale :

### 1. Les matériaux :



Brique de lait



Acide acétique



Formol liquide



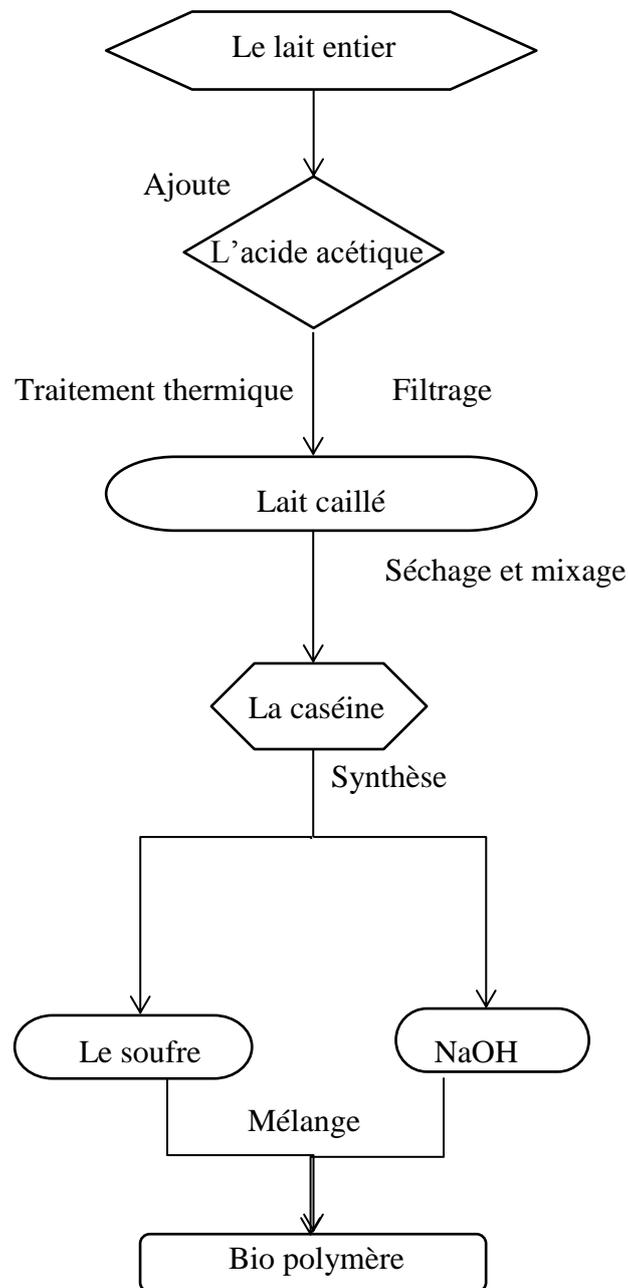
Hydroxyde de sodium



Le soufre (80%)

<sup>5</sup> « Bioplastics and food packaging: A review: Cogent Food & Agriculture: Vol 1, No 1 », <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311932.2015.1117749>.

2. L'organigramme de synthèse de polymère :



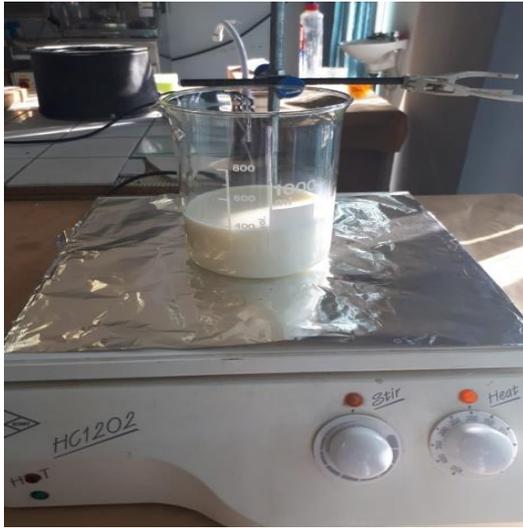
**Figure IV.12 :** *organigramme de synthèse de polymère à base de lait (la caséine)*

### 3. Préparation de la caséine :

1. Chauffer 400ml de lait dans un bécher
2. Ajoute 25ml de l'acide acétique
3. Mélange le lait chaud et l'acide acétique avec une cuillère quelque minutes
4. Ajoute le formol liquide à la solution
5. Avec un papier filtre, l'eau séparer de lait caillé
6. Pétrir le lait caillé avec les mains
7. Placée le lait caillé dans une boîte de pétrie et laisser sécher pour 3 jours
8. Après le séchage mix bien le lait caillé pour obtenir une poudre de la caséine

### 4. Synthèse de polymère :

1. 200ml de l'eau distillé dans un bécher
2. Ajoute 10g de NaOH
3. Ajoute 100g de la caséine et mix bien le mélange
4. Ajoute entre 10g et 30g de soufre

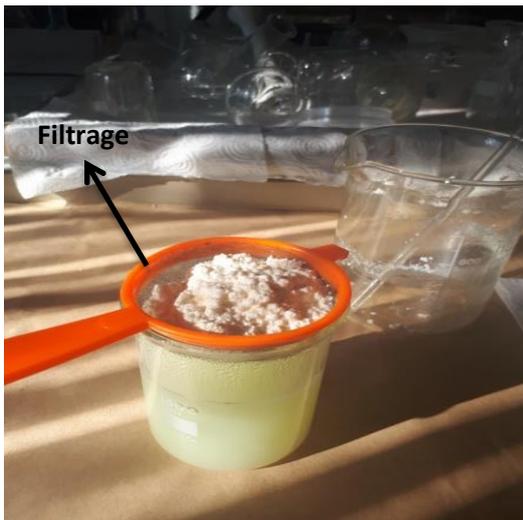


**Figure IV.13 :** *chauffage le lait*



**Figure IV.14 :** *l'acide acétique et le lait*

Dans un bécher, on a ajouté 400ml de lait et chauffer sur un plaque chauffante jusqu'à bouillir puis on a ajouté 25ml de l'acide acétique à le lait chaud (figure IV.14).

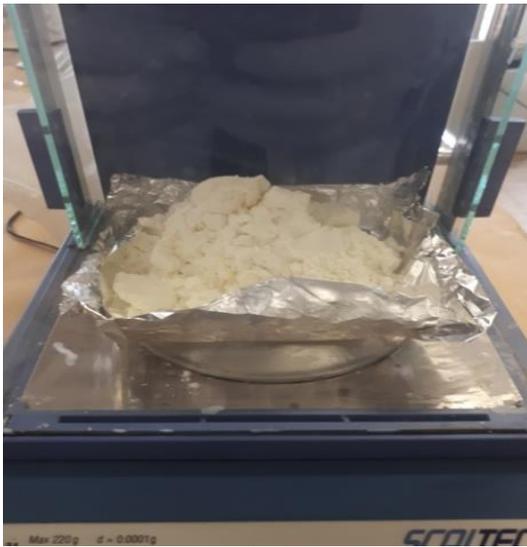


**Figure IV.15 :** *filtrage le lait caillé*



**Figure IV.16 :** *séchage par papier*

Dans un autre bécher on a filtré le lait caillé et l'accès ensuite avec des papiers on a séché bien la pâte obtenu et mis dans une boîte de pétririe et on a laissé de sécher pendant 3 jours



**Figure IV.17** : la caseine obtenue

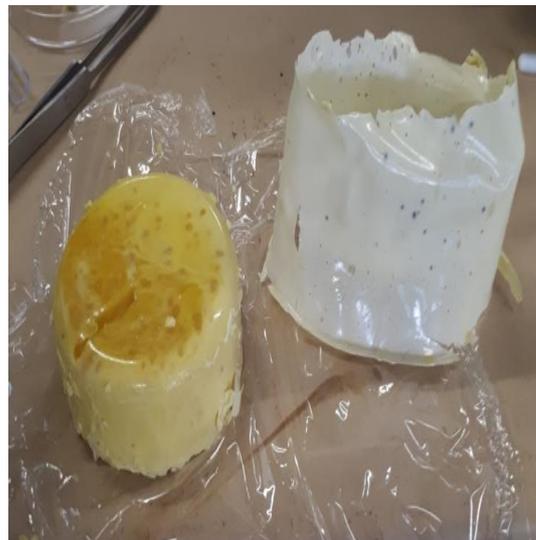


**Figure IV.18** : le soufre

Après le séchage de le lait caillé on a mixé bien la pâte pour obtenir la caseine (poudre).  
dans un bécher on a mélangé 100g de la caseine et 20g de soufre.



**Figure IV.19** : le NaOH

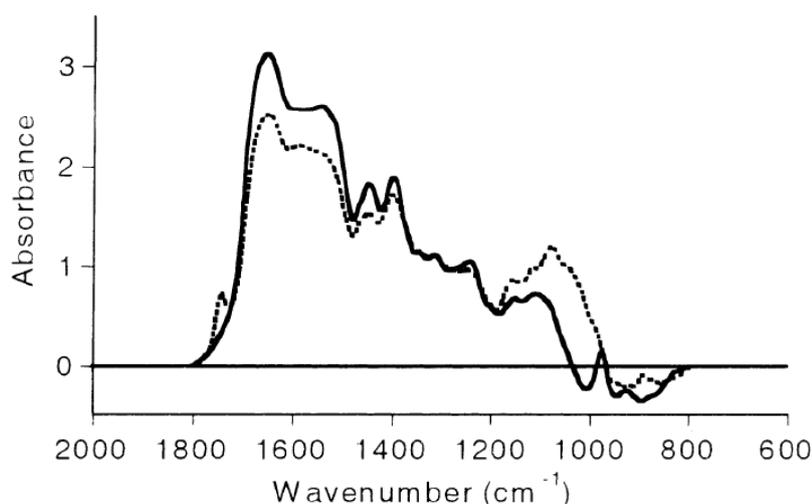


**Figure IV.20** : production de bio polymère

Ensuite on a ajouté 10g de NaOH à 200ml de l'eau distillé après ajouter le mélange de la caseine et le soufre pour obtenir un bio polymère après 3 jours (figure IV.20).

### III Caractérisation des échantillons :

#### III.1 - Analyse FTIR:



**Figure IV.21 :** Spectre FTIR de caséine et de petit lait obtenu expérimentalement.

Exemples de spectres FTIR (1800-800  $\text{cm}^{-1}$ ) représentant les différences dans les préparations laitières obtenues à partir des deux protéines sources.

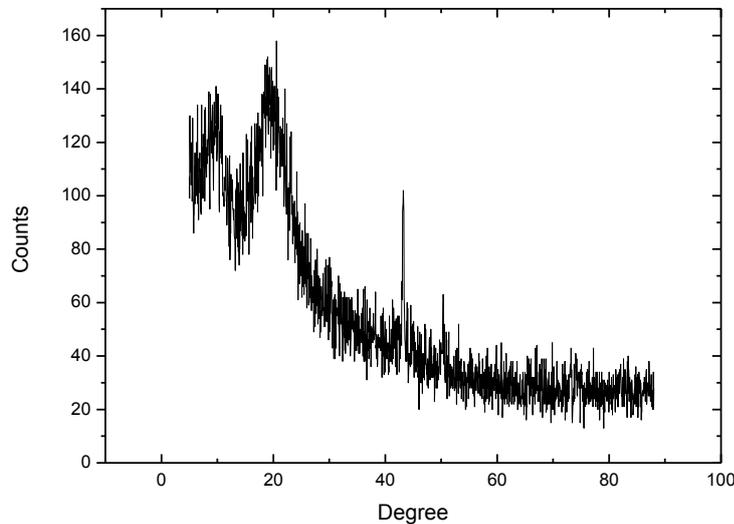
La figure montre les spectres de lactosérum et d'hydrolysats de caséine, en tant que représentants des hydrolysats fabriqués. Les spectres de lactosérum et hydrolysats de caséine ont révélé que les absorptions des hydrolysats de lactosérum comparés à ceux des hydrolysats de caséine sont inférieures dans la gamme de 1700-1485  $\text{cm}^{-1}$  et plus de 1170 à 980  $\text{cm}^{-1}$ . En outre, les spectres du lactosérum et hydrolysats de caséine diffèrent dans leurs absorptions autour de 1744  $\text{cm}^{-1}$ .

#### III.2 - Analyse DRX:

L'indexation est le processus de détermination des dimensions des cellules unitaires à partir des positions de pic. C'est la première étape de l'analyse des modèles de diffraction. Pour indexer un diagramme de diffraction de poudre (broyage du matériau obtenu par mortier), il est nécessaire d'affecter des indices de Miller ( $h\ k\ l$ ) à chaque pic. Malheureusement, il ne s'agit pas simplement de l'inverse du calcul des positions de pic à partir des dimensions de la cellule unitaire et de la longueur d'onde.

L'analyse DRX de l'échantillon préparé a été faite par (le D8 Advance de Brucker). Les données ont été prises pour la gamme  $2\theta$  de 10 à 80 degrés avec un pas de 0,02 degré. Les données pour une certaine plage de  $2\theta$  ont été mesurées. Le processus d'indexation du

diagramme de diffraction des poudres a été effectué et les indices de Miller (h k l) pour chaque pic.



**Figure IV.22 :** *Spectre DRX de biomatériau à base de lait*

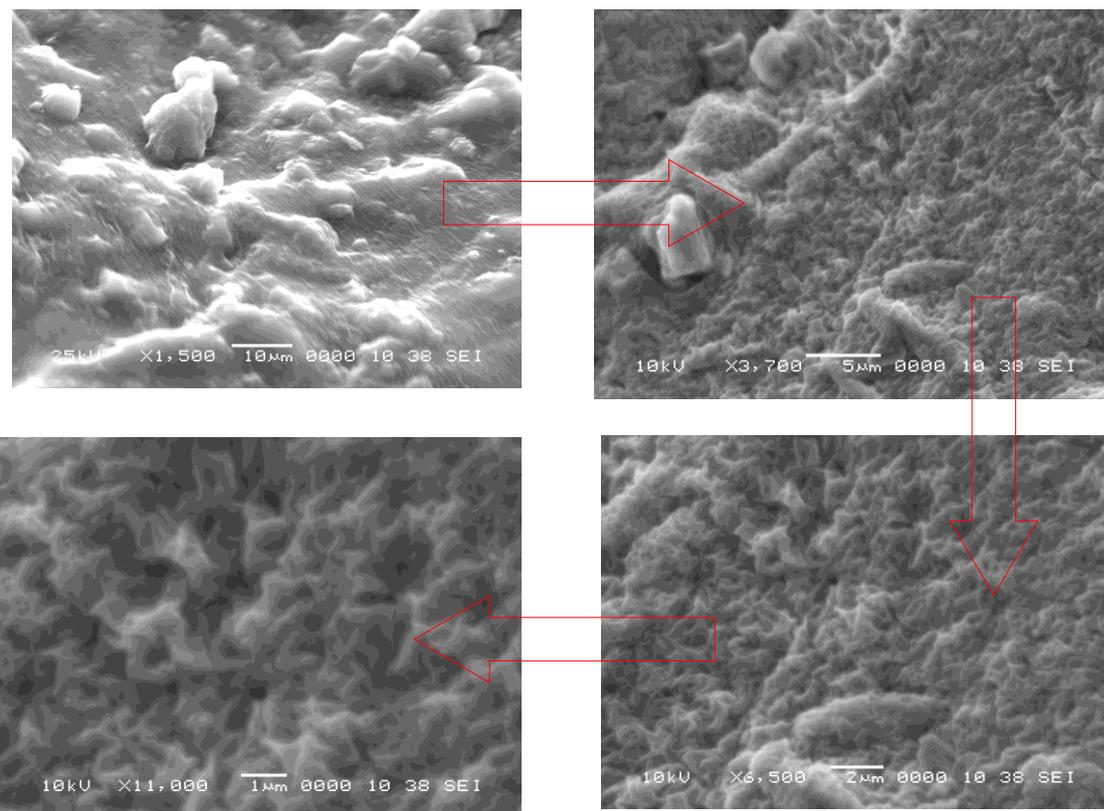
<b>Position du Pic (<math>2\theta</math>)</b>	<b>1000x <math>\sin^2(\theta)</math></b>	<b>1000x <math>\sin^2(\theta)/46</math></b>
56.6	210	3
75.8	271	4
84.4	436	8

**Tableau IV.3:** *Indexation des pics de l'échantillon de nanoparticules de Cuivre*

On observe que la structure synthétisé cristallise selon différentes configurations en fonction de des paramètres de granulométrie obtenue.

### **III.3-caractérisation du bio polymère par MEB :**

Les résultats des études morphologiques et nanostructurales MEB sont présentés sur la figure IV.23. Elles montrent que des structures de nos polymères sont de natures mono dispersives et hautement cristallines. Nous observons l'apparition de piques de différentes hauteurs. On constate des structures de type agglomérées, ceci est essentiellement dû à la technique utilisée pour l'obtention de la structure (compactage).



**Figure IV.23 :** *MEB* représentant les structures de d'échantillon de biopolymères à différentes résolutions.

### Référence bibliographique :

1. « Bioplastics and food packaging: A review: Cogent Food & Agriculture: Vol 1, No 1 ». <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23311932.2015.1117749>.
2. « Effect of dietary fatty acid supplements, varying in fatty acid composition, on milk fat secretion in dairy cattle fed diets supplemented to less than 3% total fatty acids - Journal of Dairy Science ». [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00730-9/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00730-9/fulltext).
3. Goldstein, Joseph I., Dale E. Newbury, Joseph R. Michael, Nicholas W. M. Ritchie, John Henry J. Scott, et David C. Joy. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer, 2017.
4. Marshall, N. W., M. Smet, M. Hofmans, H. Pauwels, T. De Clercq, et H. Bosmans. « Technical Characterization of Five X-Ray Detectors for Paediatric Radiography Applications ». *Physics in Medicine & Biology* 62, n° 24 (2017): N573. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa9599>.
5. « Review of recent progress in chemical stability of perovskite solar cells - Journal of Materials Chemistry A (RSC Publishing) ». <http://pubs.rsc.org/-/content/articlelanding/2015/ta/c4ta04994b/unauth#!divAbstract>.

## **Conclusion générale :**

L'objectif de notre travail était élaboration des biomatériaux à partir des déchets ménagers et agricoles nous avons travaillé avec les épiluchures de bananes et le lait impropre à la consommation.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons abordé des définitions et des notions sur le recyclage : le cycle de recyclage, le système de récupération des matériaux, fabrication des ressources recyclées, les avantages et les inconvénients des recyclages.

Dans le deuxième chapitre, nous avons défini brièvement les polymères, l'histoire des polymères, la classification des polymères (naturels et synthétiques), la polymérisation (polymérisation d'addition et polymérisation par condensation) et leur domaine d'applications dans l'agriculture, domaine du sport, les produits médicaux.

Dans le troisième chapitre, nous avons fait une définition sur les biomatériaux à base de pomme de terre et le maïs, l'histoire des bioplastiques, les procédés de fabrication des bioplastiques, les avantages et les inconvénients et nous avons vu les domaines d'applications des biomatériaux dans l'agriculture, l'électronique, automobile, emballage alimentaire et la construction.

Dans le quatrième chapitre, nous avons vu deux parties :

Dans la première partie, nous avons fait la synthèse de biomatériau à partir des épiluchures de bananes au niveau de labo URMER Tlemcen et nous avons fait la caractérisation des échantillons par microscopie électronique à balayage, Transformée de Fourier à Infra Rouge et Diffraction des rayons X

Dans la deuxième partie, nous avons fait la synthèse de bio polymère à partir de lait impropre à la consommation. A cet effet, nous avons extrait une protéine qui s'appelle la caséine c'est la matière première pour préparer le polymère). L'ensemble des échantillons ont été caractérisées par les méthodes citées ci-dessus.

Nous avons pu avoir des informations sur la morphologie et chimiques des structures obtenues. Ainsi, pour les biopolymères issues des épiluchures de bananes, Les pics FTIR de notre échantillon de biomatériaux ont été observés à 2919, 1733, 1448, 1375, 1243, 1197 et 887 cm<sup>-1</sup> respectivement pour les vibrations des liaisons C-H, étirement des doubles liaisons

C = O, déformation asymétrique des liaisons C-H<sub>3</sub>, On observe aussi une symétrie des liaisons C-H, Un étirement des liaisons C-O-C, et enfin, un étirement des liaisons C-CH<sub>3</sub>.

La figure IV.11 montre le diagramme de diffraction des rayons X du bioplastique préparé à partir de la peau de banane. La structure cristalline du biopolymères de pelure de banane était cristalline réduite lorsqu'elle était traitée à 180 °C, ce qui donnait des diagrammes de diffraction des rayons X similaires à ceux d'un matériau cristallin typique, qui confirme que le biopolymères est de nature cristalline.

Les images ci-dessus montrent la morphologie structurale des matériaux synthétisés pour différentes résolution. On peut observés la nature fibreuse de la structures ainsi l'existence d'agrégats (des amas).

En ce qui concerne le biomatériau à base de lait,

La figure montre les spectres de lactosérum et d'hydrolysats de caséine, en tant que représentants des hydrolysats fabriqués. Les spectres de lactosérum et hydrolysats de caséine ont révélé que les absorptions des hydrolysats de lactosérum comparés à ceux des hydrolysats de caséine sont inférieures dans la gamme de 1700-1485 cm<sup>-1</sup> et plus de 1170 à 980 cm<sup>-1</sup>. En outre, les spectres du lactosérum et hydrolysats de caséine diffèrent dans leurs absorptions autour de 1744 cm<sup>-1</sup>.

L'indexation est le processus de détermination des dimensions des cellules unitaires à partir des positions de pic. C'est la première étape de l'analyse des modèles de diffraction. Pour indexer un diagramme de diffraction de poudre (broyage du matériau obtenu par mortier), il est nécessaire d'affecter des indices de Miller (h k l) à chaque pic. Malheureusement, il ne s'agit pas simplement de l'inverse du calcul des positions de pic à partir des dimensions de la cellule unitaire et de la longueur d'onde.

L'analyse DRX de l'échantillon préparé de a été faite par (le D8 Advance de Brucker). Les données ont été prises pour la gamme 2θ de 10 à 80 degrés avec un pas de 0,02 degré. Les données pour une certaine plage de 2θ ont été mesurées. Le processus d'indexation du diagramme de diffraction des poudres a été effectué et les indices de Miller (h k l) pour chaque pic.

On observe que la structure synthétisé cristallise selon différentes configurations en fonction de des paramètres de granulométrie obtenue.

Les résultats des études morphologiques et nanostructurales MEB sont présentés sur la figure IV.23. Elles montrent que des structures de nos polymères sont de natures mono dispersives et hautement cristallines. Nous observons l'apparition de pics de différentes hauteurs. On constate des structures de type agglomérées, ceci est essentiellement dû à la technique utilisée pour l'obtention de la structure (compactage).

Comme perspectives, nous espérons approfondir nos connaissances sur les matériaux obtenus (Spectroscopie Raman) et avoir plus d'informations sur la nature poreuse des bio matériaux synthétiser à partir de lait (Analyse par adsorption).

Aussi, une utilisation de ces matériaux dans le domaine du développement durables (Isolation thermique, protection thermique) est envisagée.