



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**

**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE CELLULAIRE ET**

**MOLECULAIRE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique**

**Filière : Sciences Biologiques**

**Spécialité : Biochimie appliquée**

**THEME**

**Synthèse de bioplastique à partir de l'amidon (Synthèse bibliographique)**

**Présenté par:**

**BOUKERKOUR Zohir**

**Devant le jury composé de :**

<b>Président : LAOUFI Hayat</b>	<b>(MAA)</b>	<b>Université d'El Oued.</b>
<b>Examinatrice :</b>	<b>(MAA)</b>	<b>Université d'El Oued.</b>
<b>Promoteur : GUEMMOUDA Messaouda</b>	<b>(MCA)</b>	<b>Université d'El Oued.</b>

**- Année universitaire: 2021/2022 -**



# Remerciement

Nous tenons, tout d'abord, à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi, la volonté et le courage afin d'arriver à réaliser ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier et à exprimer nos profondes gratitudes, nos reconnaissances et nos vifs remerciements à notre encadreur **Dr. GUEMOUDA**

**Messaouda** d'avoir accepté de diriger notre travail et pour toutes les informations et les conseils qu'elle nous a donnés, les précieux conseils et l'attention soutenue qu'elle a consacré au bon déroulement de ce travail.

Nos vifs remerciements vont aussi à nos enseignants qui nous ont accompagnés durant notre parcours universitaire.

Nous remercions également tous les membres du jury qui ont accepté de lire ce modeste travail de recherche et de l'évaluer.

Nous ne manquerions sincèrement pas de remercier nos chers parents

Nous remercions nos chers parents pour leur patience, conseils et encouragements quand fatigue et désespoir nous ont prise au piège.

Merci également à tous ceux qui, de près ou de loin, ont collaboré autant à la réussite de nos parcours universitaires qu'à l'élaboration de ce mémoire de

recherche.

## Dédicace

*Je tiens à dédier ce travail*

*A ma famille qui ma soutenu durant toutes mes années de scolarité*

*Précisément à ma mère **Fatima**, ma source de vie et d'espoir*

*A mon père **Nacer Eddine**, ma source de force et de motivation.*

*A mes sœurs, mes sources d'encouragement et de tendresse.*

*A mes frères, mes sources de courage et de bien vaillance.*

*A mes enfants **Alla&Luqman**, sources d'espoir*

*A mes deux épouses **M & Y** sources de patience.*

*A mon ami et patron **SAKER Imad Eddine** qui m'a donne*

*l'opportunité de réétudier.*

*Merci à tous.*

**ZOHIR.B**



# Résumé

Cette étude nous a permis de déterminer les différentes sources d'Amidon utilisé dans la fabrication des bioplastiques, où les travaux discutés dans cette recherche bibliographique montre que l'amidon le plus utilisé est de la pomme de terre, du maïs. L'élaboration des films composites a été réalisée par la méthode de casting dans des conditions simples à partir de l'amidon, avec plastification de l'amidon et renforcement. L'amidon plastifier par l'eau, ou le glycérol, le diéthylephtalate, et peut renforcer par l'argile, les fibres longues de paille de blé, de chanvre et de l'inter de coton et des fibres moyennes de cellulose, des charges minérales synthétiques de zéolithe Beta et de beidellite sodique. En fin les produits obtenus ont été caractérisés par leurs propriétés mécaniques (en flexion), physico-chimiques et morphologiques. Les bioplastiques fabriqués par l'amidon d'origine végétale sont caractérisés par la biodégradabilité, la disponibles en grande quantité, donc à relativement faible coût, leur fabrication nécessite peu d'énergie. La température de dégradation se situe autour de 250°C, en présence d'eau, sont très sensibles à la température et l'humidité, le renforcement avec l'argile améliore certaines propriétés surtout thermiques avec l'augmentation de la cristallinité qui prévoie une amélioration des propriétés mécaniques (augmentation de la plasticité), la présence d'argile accroît la résistance à la décomposition thermique, la présence de plastifiant en grand quantité induit la diminution de la résistants à l'eau et la résistance mécanique. En fin ont conclure que les bioplastiques biodégradables constituent une alternative pour remplacer les plastiques synthétiques conventionnels.

Mots clé : Bioplastiques, Amidon, Pomme De Terre, Maïs, Manioc, Plastifiant, Renforçant.

## ملخص

أتاحت لنا هذه الدراسة تحديد المصادر المختلفة للنشا المستخدم في صناعة البلاستيك الحيوي ، حيث أظهر العمل المذكور في هذا البحث البيليوغرافي أن النشا الأكثر استخدامًا هو نشاء البطاطس والذرة. تم تصنيع الأغشية المركبة بطريقة الصب تحت ظروف بسيطة من النشا ، مع تليدين النشا والتقوية. تليدين النشا بالماء ، أو الجلوسرين ، ثنائي إيثيلالفتالات ، ويمكن تقويتها بالطين ، والألياف الطويلة من قش القمح والقنب وألياف جني القطن والألياف المتوسطة من السليلوز ، والحشوات المعدنية الاصطناعية بيتا زيوليت وصوديوم بيديلايت. أخيرًا ، تميزت المنتجات التي تم الحصول عليها بخصائصها الميكانيكية (في الانحناء) والفيزيائية والكيميائية والمورفولوجية. تتميز اللدائن الحيوية المصنوعة من نشا من أصل نباتي بالتحلل البيولوجي ، وتوافرها بكميات كبيرة ، وبالتالي بتكلفة منخفضة نسبيًا ، يتطلب تصنيعها القليل من الطاقة. تبلغ درجة حرارة التحلل حوالي 250 درجة مئوية ، في وجود الماء ، فهي حساسة جدًا لدرجة الحرارة والرطوبة ، ويسمح التسليح بالطين ببعض الخصائص ، خاصة الحرارية ، مع زيادة التبلور مما يوفر تحسين الخواص الميكانيكية (زيادة اللدونة) ، فإن وجود الطين يزيد من مقاومة التحلل الحراري ، ووجود الملدنات بكميات كبيرة يؤدي إلى تقليل مقاومة الماء والمقاومة الميكانيكية. في النهاية خلص إلى أن اللدائن الحيوية القابلة للتحلل الحيوي تشكل بديلاً لتحل محل اللدائن الاصطناعية التقليدية.

الكلمات المفتاحية: بلاستيك حيوي ، نشا ، بطاطس ، ذرة ، كاسافا (البطاطا الحلوة) ، ملدن ،

مقوي.

# Sommaire

Introduction.....	11
-------------------	----

## Chapitre 01 : Généralités Sur Le Bioplastique

1 Définitions.....	14
2 Terminologie.....	15
2.1 Bioplastiques biodégradables.....	15
2.2 Bioplastiques compo stables .....	17
2.3 Bioplastiques biosourcés.....	18
3 Classification des bioplastiques .....	19
3.1 Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse.....	20
3.2 Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne .....	21
3.3 . Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables .....	21
3.4 Bioplastiques pétrochimiques biodégradables .....	21
4 Capacités mondiale de production des bioplastiques .....	22
5 Générations de bioplastiques bio sources .....	22
5.1 Première génération.....	22
5.2 Deuxième génération de plastiques biosourcés.....	23
6 Applications de bioplastiques .....	23
7 Avantages et inconvénients des bioplastiques .....	24
7.1 Avantages.....	24
7.2 Inconvénients .....	25
8 Plastiques à base d'amidon.....	25

## Chapitre 02: Généralités Sur L'Amidon

1 Présentation de l'amidon.....	27
2 Composition de l'amidon et structure de base .....	28
2.1 Amylose.....	31
2.2 Amylopectine .....	31

3	Cristallinité d'amidon.....	32
4	Plastification d'amidon.....	33
5	Transformations hydro thermiques de l'amidon .....	33
6	Différents types d'amidons et leurs utilisations .....	34
7	Types de <b>bioplastiques</b> à base d'amidon .....	35
	❖ <b>Les mélanges de polymères</b> .....	35
8	Applications de plastiques à base d'amidon .....	36

### **Chapitre 03 : Synthèse Des Bioplastiques**

1	Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de pomme de terre.....	38
1.1	Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles ..	38
1.2	Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon.....	39
2	Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de maïs.....	40
2.1	Nanocristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites .....	40
2.2	Fabrication et caractérisation thermique d'un film biodégradable à base d'amidon de maïs.....	41
3	Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de Manioc .....	43
3.1	Films composites amidon de manioc-kaolinite.....	43
3.2	Élaboration et caractérisation des bio films à base d'amidon de Manioc.....	44

### **Conclusion générale**

Conclusion.....	47
-----------------	----

### **Liste Des Références**

Liste des références .....	50
----------------------------	----

## Liste des figures

Figure 1:Matrice des bioplastiques ( <b>TIRE DE PREVENTPACK, 2012</b> ).....	15
Figure 2:Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique ( <b>TIRE DE RECYC-QUEBEC, 2007</b> ).....	16
Figure 3:Cycle du carbone ( <b>TIRE DE YEZZA, 2012A</b> ) .....	19
Figure 4:Différents classes de bioplastiques biodégradables ( <b>LAPINTE, 2012</b> ) ..	20
Figure 5:Capacités de production mondiale de bioplastiques par type de matériau ( <b>EUROPEAN BIOPLASTICS, 2014</b> ). .....	22
Figure 6:Formes et tailles des granules d'amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement $\times 280$ ) d'après <b>ATKIN, CHENG, ABEYSEKERA ET ROBARDS (1999)</b> .....	28
Figure 7:Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après <b>LEVEQUE, HAYE ET BELARBI (2000)</b> .....	29
Figure 8:Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après <b>GALLANT, BOUCHET et BALDWIN, (1997)</b> . .....	30
Figure 9:Structure moléculaire de l'amylose ( <b>JEAN-LUC et al., 2016</b> ).....	31
Figure 10:Structure moléculaire de l'amylopectine ( <b>JEAN-LUC et al., 2016</b> ).....	32
Figure 11:Diagramme de diffraction des rayons X d'amidon natifs de type A et B ( <b>SAHORE, 2011</b> ). .....	33
Figure 12:Schéma présentant les différents types d'amidons en fonction des traitements ( <b>CHENE, 2004</b> ).....	35

## Liste des tableaux

Tableau 1: Différentes classes de polymères issus des plantes ( <b>RABETAFIKA et al., 2006</b> ).....	21
Tableau 2: Principales macromolécules des grandes cultures amylacées ( <b>GRAEME et VENTUS, 2010</b> ).....	23
Tableau 3: Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques ( <b>WERTZ, 2011</b> ). .....	31

### Introduction

Dans un contexte international où le développement durable apparaît comme une priorité majeure, la mise au point de matériaux biodégradables, fabriqués à partir d'agro ressources, représente un enjeu majeur qui offre une alternative aux polymères synthétiques issus de la pétrochimie. Dans le domaine de l'emballage, cette perspective est d'autant plus attractive que les produits ont un cycle de vie souvent court et se retrouvent en grande quantité dans les ordures ménagères. Depuis 1975, la production d'ordures ménagères par habitant a quasiment doublé passant de 217 kg à 373 kg par an en 2004. De plus, la réutilisation de matières plastiques en tant qu'emballage alimentaire n'est pas sans risque pour le consommateur (STANOJLOVIC-DAVIDOVIC, 2006).

Les bioplastiques proviennent en grande majorité de ressources renouvelables et plusieurs d'entre eux se biodégradent, deux caractéristiques utilisées comme arguments promotionnels d'un point de vue environnemental. Pour les bioplastiques qui utilisent des ressources renouvelables, par exemple le maïs ou la canne à sucre, une moins grande dépendance au pétrole comparativement aux plastiques traditionnels est un avantage important pour les fabricants en termes d'approvisionnement et de stabilité des coûts de la matière première (LAPOINTE, 2012).

Depuis quelques années, un intérêt croissant est porté aux matériaux polymères renforcés par des particules rigides ayant une dimension de l'ordre du nanomètre : les "nanocomposites". Les nanoparticules les plus utilisées sont des dérivés des produits pétroliers (noir de carbone) ou des minéraux (silice, argiles). Ces différentes charges présentent l'inconvénient de ne pas être renouvelables ou biodégradables. Depuis quelques années, l'équipe "Structure et Propriétés des glyco-matériaux" du CERMAV (Centre de Recherche sur les Macromolécules Végétales) travaille sur l'utilisation de whiskers de cellulose ou de chitine comme charge de renfort dans une matrice polymère. Dans ce contexte de valorisation de la biomasse et de développement de nouvelles charges biodégradables, des études ont été conduites sur un autre polysaccharide très abondant sur Terre : l'amidon (ANGELLIER, 2005).

L'amidon est l'organe de réserve d'énergie des végétaux supérieurs et se présente sous la forme d'une poudre blanche constituée de grains micrométriques et est une matière première abondante, renouvelable, biodégradable, et bon marché. L'une des voies de valorisation est son utilisation en tant que matériau thermoplastique. L'amidon

## **Introduction**

---

thermoplastique, obtenu par chauffage de grains natifs en présence d'un plastifiant, est un matériau biodégradable ayant des propriétés mécaniques comparables à celles du Polyéthylène basse densité (**HAMADOUCHE et BOUARAB, 2017**).

Dans cette étude bibliographique nous avons montrés l'importance des bio-ressources naturelles dans la synthèse de bioplastique en particulièrement l'amidon.

La première partie de cette étude est comprend des informations sur le bioplastique, ses composants, ses caractéristiques, sa fabrication. Et la deuxième est consacrée pour montrer le protocole de préparation de l'amidon et son importance dans la fabrication de bioplastique. Et enfin la troisième partie présente les différents résultats trouvés dans des études effectué récemment avec leur discussion.

# **Chapitre 01 : Généralités sur le bioplastique**

## 1 Définitions

Les bioplastiques peuvent être définis comme les matériaux qui sont biosourcés et/ou biodégradables (TONUK et al., 2016).

Les bioplastiques sont des nouveaux matériaux, d'un grand intérêt du 21ème siècle, leurs productions et leurs consommations sont en développement à travers le monde. Ces matériaux nécessitent d'être soigneusement évalués pour la gestion des déchets et la durabilité. Généralement, les «bioplastiques» sont fabriqués à partir de ressources renouvelables telles que le maïs, les sucres, les pommes de terre, etc.

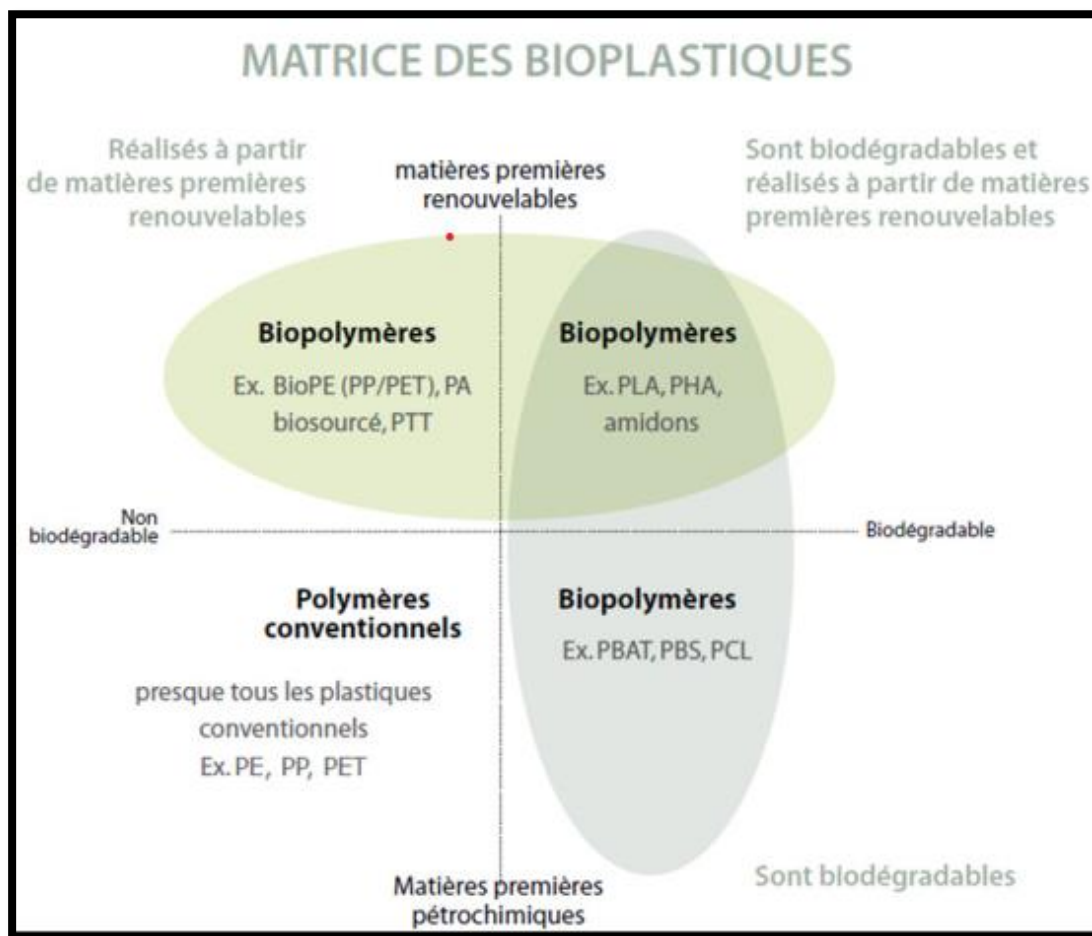
Il convient de rappeler que les plastiques biosourcés ne sont pas toujours biodégradables, et les plastiques biodégradables ne sont pas toujours biosourcés (ASHTER, 2016).

L'examen de l'utilisation du terme bioplastique au cours des dernières années permet de constater que son emploi n'est pas uniforme. Le même constat a été fait par la revue Sciences et Avenir qui définit les bioplastiques comme étant : « un néologisme formé de toutes pièces par les industriels et qui recouvre des plastiques à la composition et à l'intérêt écologique très variables » (MULOT, 2007).

Plusieurs exemples illustrent cette disparité. L'emploi du terme dans des ouvrages scientifiques réfère parfois aux polymères biodégradables (SMITH, 2005) et à certains moments, il réfère plutôt aux polymères biodégradables et bio-sources (YU, 2009). Le Sustainable Biomatériaux Collaborative (SBC) qui est une organisation américaine qui promeut l'utilisation des produits bio-sources, définit par ailleurs les bioplastiques comme étant des plastiques dérivés à 100 % de carbone provenant de l'agriculture, des forêts ou d'autres sources renouvelables (SBC, 2012a). La définition plutôt proposée et retenue pour ce travail est plus large que les exemples donnés précédemment et suit la tendance actuelle dans l'industrie. Le terme bioplastique est utilisé pour désigner deux réalités distinctes : l'origine de la ressource (bio-source) et la gestion de la fin de vie (biodégradable et compo-stable). Il englobe donc les plastiques des trois catégories suivantes qui sont représentées à la figure 1 :

- Biodégradables et issus de ressources renouvelables;
- Biodégradables et issus de ressources non renouvelables (origine fossile);
- Non biodégradables et issus de ressources renouvelables.

Plusieurs exemples provenant d'organisations importantes et renommées viennent confirmer cette propension dans l'usage du terme. L'européen Bio-plastics qui défend les intérêts de l'industrie des bioplastiques en Europe et Métabolix, un important fabricant de bioplastiques, ont adopté cette définition (**EUROPEAN BIOPLASTICS, 2011 ; METABOLIX, 2012b**). Il en est de même pour Smithers Pira, un important groupe de consultants, a ont défini les bioplastiques de la même manière dans une étude de marché récente (**PIERCE, 2011**).



**Figure 1:**Matrice des bioplastiques (**TIRE DE PREVENTPACK, 2012**).

## 2 Terminologie

### 2.1 Bioplastiques biodégradables

La biodégradabilité des plastiques est définie par des standards et l'utilisation du terme est donc bien encadrée. Selon la norme ASTM D6400, un plastique biodégradable : «*Se dit d'un plastique dégradable dont la dégradation résulte de l'action de microorganismes*

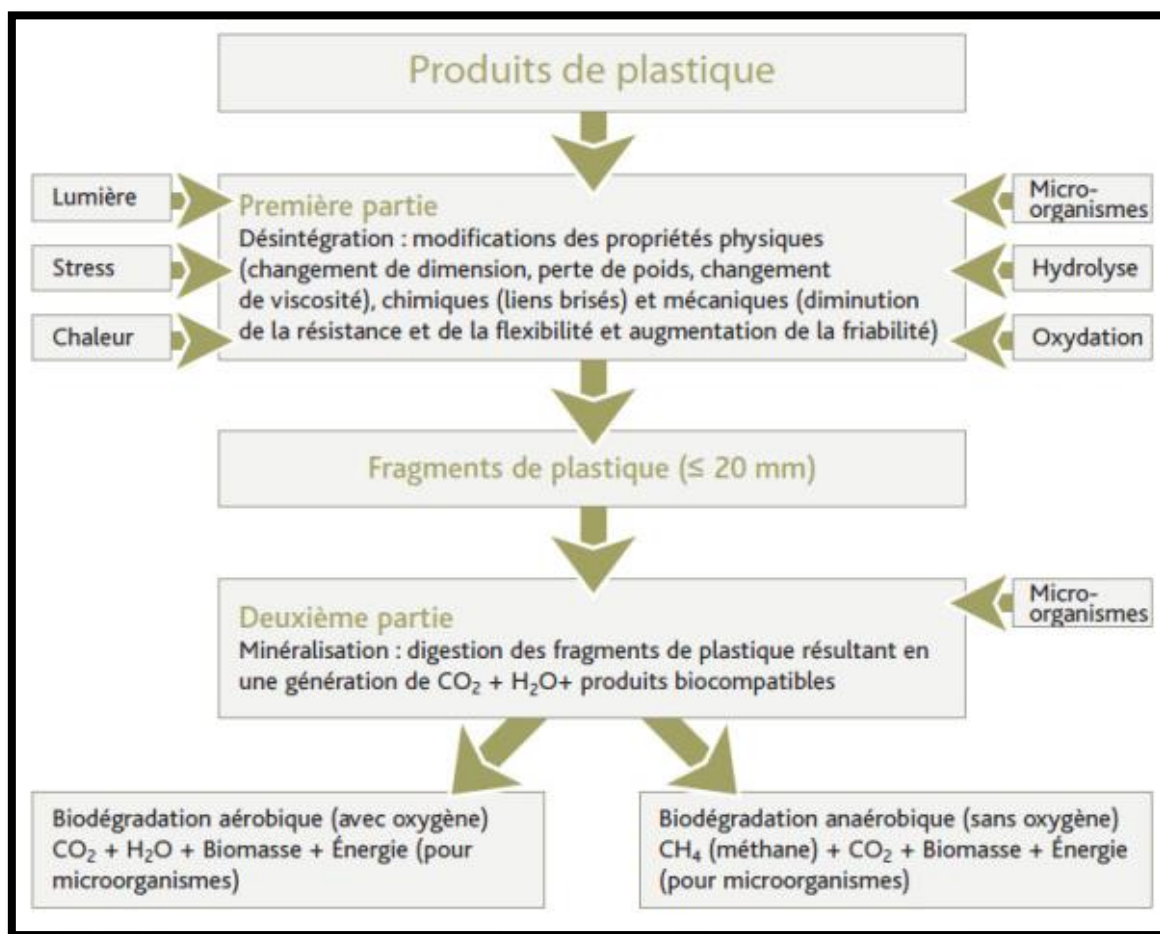
naturellement présents dans le milieu tels que les bactéries, les mycètes ou les algues»(ASTM, 2012).

Lorsque le processus se déroule en présence d'oxygène, les résidus de cette biodégradation sont du gaz carbonique, de l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse (RECYCQUEBEC, 2007). Un point important à retenir est que le terme biodégradable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique.

Il y a plusieurs mécanismes de dégradation, mais les bioplastiques biodégradables se dégradent généralement en deux phases présentées à la figure 2 et énumérées ci-dessous (SMITH, 2005).

- La dégradation primaire où les chaînes moléculaires se scindent en plus petits fragments par hydrolyse ou oxydation;

- La biodégradation ultime ou l'assimilation par les microorganismes.



**Figure 2:**Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique (TIRE DE RECYC-QUEBEC, 2007).

La biodégradation d'un bioplastique dépend de facteurs environnementaux spécifiques (température, humidité, oxygène, ph) et de la structure chimique même du polymère (**KALEET et al., 2007**). Sa dégradation biologique peut donc être excessivement lente si les conditions du milieu ne sont pas optimales. Les variables temps et environnement sont d'une importance majeure et sont prises en considération lorsqu'on fait référence à la compo-stabilité.

Finalement, il faut rappeler que la dégradation des bioplastiques biodégradables est une dégradation biologique par les microorganismes. Cette dégradation est différente de celle qu'applique aux plastiques de type « oxo-dégradables » ou « oxo-biodégradables ». Ces produits sont des plastiques traditionnels auxquels on a ajouté des additifs qui contiennent des métaux de transition tel le cobalt, le manganèse ou le fer. Ces additifs provoquent la fragmentation des plastiques par oxydation chimique générant des résidus invisibles à l'œil nu (**EUROPEANBIOPLASTICS, 2009**).

La biodégradation ultime ou l'assimilation de ces fragments par les microorganismes, représentée par la deuxième phase de la figure 2, n'a pas été démontrée (**MULOT, 2007; EUROPEANBIOPLASTICS, 2009**). Il y a ainsi un risque substantiel d'accumulation de substances persistantes dans l'environnement. Contrairement à ce phénomène d'« oxo-dégradation », la biodégradation ne laisse quant à elle aucun résidu et conduit à la disparition complète des fragments du matériau qui sont digérés par les microorganismes.

## 2.2 Bioplastiques compo-stables

La compo stabilité des plastiques est aussi définie par des standards. Selon la norme ASTM D6400, un plastique compo-stable :«*Se dit d'un plastique qui subit une dégradation par un processus biologique pendant le compostage, produisant du CO<sub>2</sub>, de l'eau, des composés organiques et de la biomasse à un rythme comparable à celui d'autres matières compo-stables connues, et ne générant aucun résidu toxique, visible ou reconnaissable*» (**RECYC-QUEBEC, 2005**).

Le facteur temps contrairement à la notion de biodégradation est pris en considération. Un bioplastique biodégradable n'est donc pas nécessairement toujours compo-stable. Un bioplastique compo stable est par contre toujours biodégradable! Plusieurs programmes de certification décrits afin de certifier et d'identifier un bioplastique comme étant compo-stable. Par exemple, les caractéristiques qu'un matériau doit présenter pour être

compo-stable sont les suivantes selon la norme européenne *EN 13432 Exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation* (KALEET *et al.*, 2007) :

- La composition : la norme fixe la composition en matière organique (au moins 50 %) et la concentration maximum pour 11 métaux lourds (Zinc, Cuivre, Nickel, Cadmium, Sélénium, Fer, Plomb, Mercure, Chrome, Molybdène, Arsenic);

- La biodégradation des matériaux dans un délai déterminé : le seuil acceptable de biodégradabilité est de 90 % sur une période maximale de 6 mois;

- La désintégration ou l'aptitude du matériau à se fragmenter (absence de pollution visuelle): la désintégration est évaluée par compostage en essai pilote. La masse de fragments retenus sur un tamis de 2 mm ne doit pas dépasser les 10 % de la masse initiale du matériau après 12 semaines;

- La qualité du compost : cette dernière caractéristique est évaluée par la mesure des paramètres physico-chimiques (masse volumique, teneur en solides, teneur en matières volatiles, teneur en sels, pH...) et des tests d'écotoxicité. Finalement, tout comme le terme biodégradable, le terme compo-stable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique.

### 2.3 Bioplastiques bio-sources

L'usage du terme bio-source dans le milieu scientifique et dans l'industrie est assez uniforme. La définition de « bioplastique bio-source » qui englobe la majorité des emplois actuels du terme et qui est utilisée dans ce travail est : bioplastique issu entièrement ou en grande partie de ressources renouvelables. Cette définition est similaire à celle de l'*Européen Bioplastiques* qui associe le terme bio-source à une proportion significative de carbone dans le bioplastique qui provient de ressources renouvelables (EUROPEAN BIOPLASTICS, S. D.). Le *US Département of Agriculture* définit quant à lui les plastiques bio-sources comme des biens commerciaux ou industriels (autres que les denrées alimentaires et les aliments pour animaux) composés en tout ou en grande partie de produits biologiques, de produits forestiers ou de ressources agricoles intérieures et renouvelables, incluant les plantes, les animaux ou les produits marins (ÁLVAREZCHAVEZ *et al.*, 2012). Finalement, la norme ASTM définit un matériau bio-source comme étant un matériau qui contient des composés carbonés dont le carbone provient de sources biologiques contemporaines (non-fossiles) (ASTM, 2004).

Contrairement aux termes biodégradables et compo-stable qui font référence à la gestion de fin de vie, le terme bio-source est plutôt en lien avec l'origine de la ressource du

bioplastique. Un des arguments promotionnels reliés aux bioplastiques bio-sources est la maîtrise des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Contrairement au carbone fossile, le cycle du carbone « jeune » ou « contemporain » présent dans les bioplastiques bio-sources est court. Ce cycle est représenté par la figure 3 le CO<sub>2</sub> qui est libéré en fin de vie du bioplastique par incinération ou en se biodégradant correspond au CO<sub>2</sub> qui a été absorbé par les végétaux dont ce biomatériau est issu (AIB VINÇOTTE, 2012d).

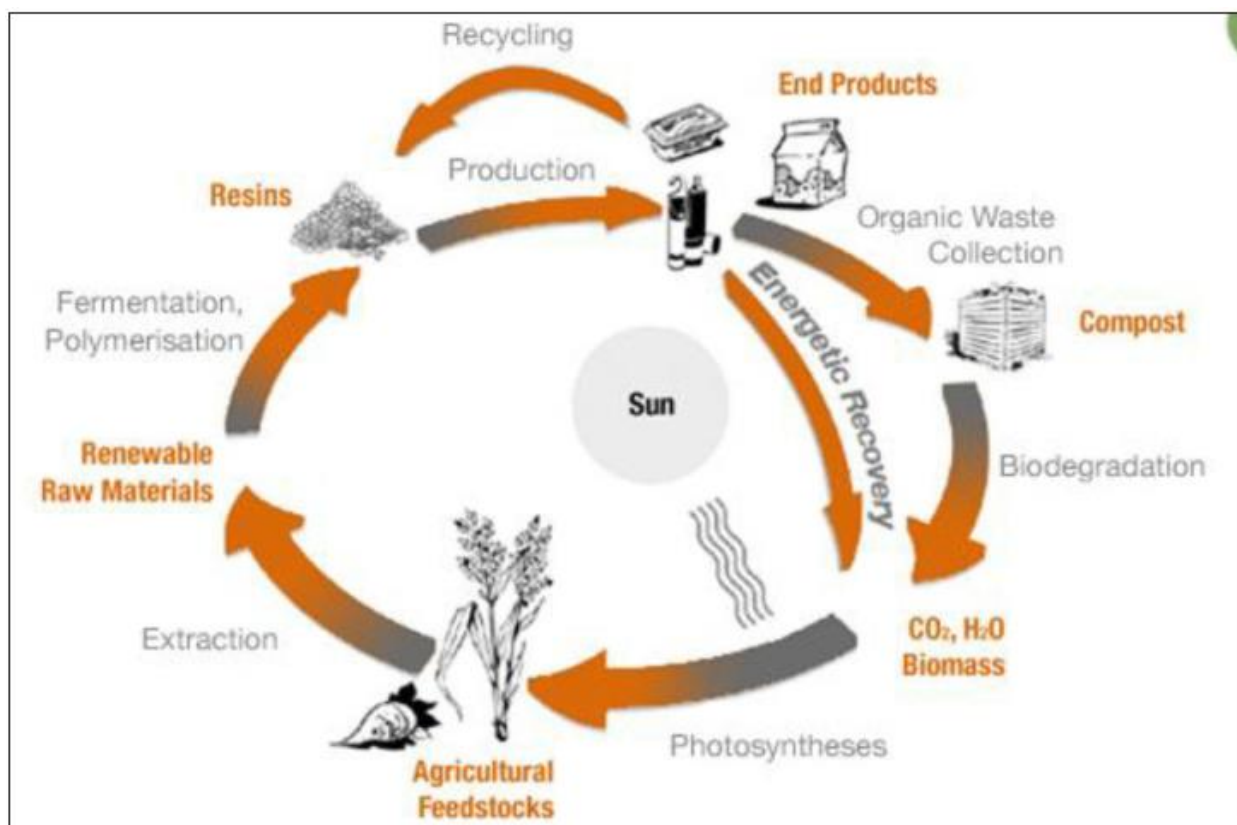


Figure 3: Cycle du carbone (TIRE DE YEZZA, 2012A)

### 3 Classification des bioplastiques

Les bioplastiques peuvent être classifiés selon leurs compositions chimiques, leurs méthodes de synthèse, leurs procédés de fabrication, leurs importances économiques ou leurs applications. La (figure 4) ci-dessous représente les quatre groupes des plastiques biodégradables (LAPOINTE, 2012).

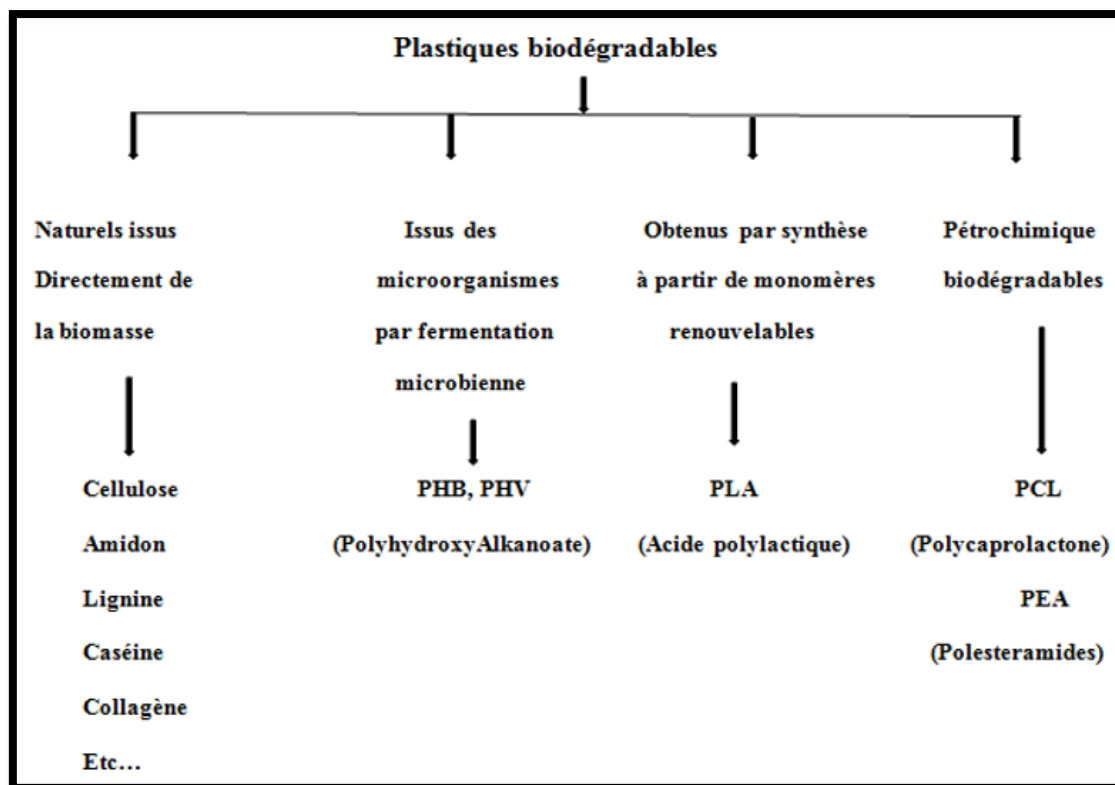


Figure 4: Différents classes de bioplastiques biodégradables (LAPOINTE, 2012).

### 3.1 Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse

Les bioplastiques naturels issus directement de la biomasse constituent les parois cellulaires des végétaux comme la cellulose et la lignine. On peut citer le cas de l'amidon. Ces polymères sont extraits directement à partir des plantes. Des monomères simples peuvent être également obtenus à partir des plantes après transformations chimiques et/ou enzymatiques par polymérisation de ces monomères. Les différentes classes de polymères issus des plantes sont présentées dans le tableau.1 (RABETAFIKA *et al.*, 2006).

Tableau 1: Différentes classes de polymères issus des plantes (**RABETAFIKA *et al.*, 2006**)

Différentes classe de polymères issus de plantes					
Polysaccharides (plantes /algue)	Polysaccharides (par fermentation microbienne)	protéines	Poly-phénols	polyesters	Autres polymères
Amidon, Cellulose, Agar, Alginate, Carraghénane, Pectine, Gommages, Konjac	Xanthane, Dextrane, Gellane, Curdlan, Pullulane, Elsinane	Zéine, Gluten, Polyacides aminés	Lignines, Tannins, Acides humiques	Polymères d'acides lactiques (PLA), Polyhydroxyalcanoates	Polymères synthétisés à partir d'huile (nylon), Polyisoprènes (caoutchouc)

### 3.2 Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne

Ce groupe de bioplastiques est constitué de la famille des poly-hydroxyalcanoates (PHA), dont le poly-hydroxybutyrate (PHB) et le poly-hydroxybutyrate-valérate (PHBV) qui sont les plus communs. Ces polyesters proviennent du mécanisme de survie de certains microorganismes qui les conservent et les accumulent comme source d'énergie et de carbone (**LAPORTE, 2012**).

### 3.3 . Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables

Ces bio-polymères sont transformés par synthèse chimique à partir des monomères issus de matières premières agricoles. On les appelle également bio-polyesters car ils ont de nombreuses caractéristiques communes avec les polyesters courants. Le principal groupe de bio-polyesters inclut les poly-lactides (PLA), produits par synthèse chimique de l'acide lactique qui est extrait des produits agricoles ou bien de déchets de l'industrie alimentaire (**VERONIQUE et THEO, 2012**).

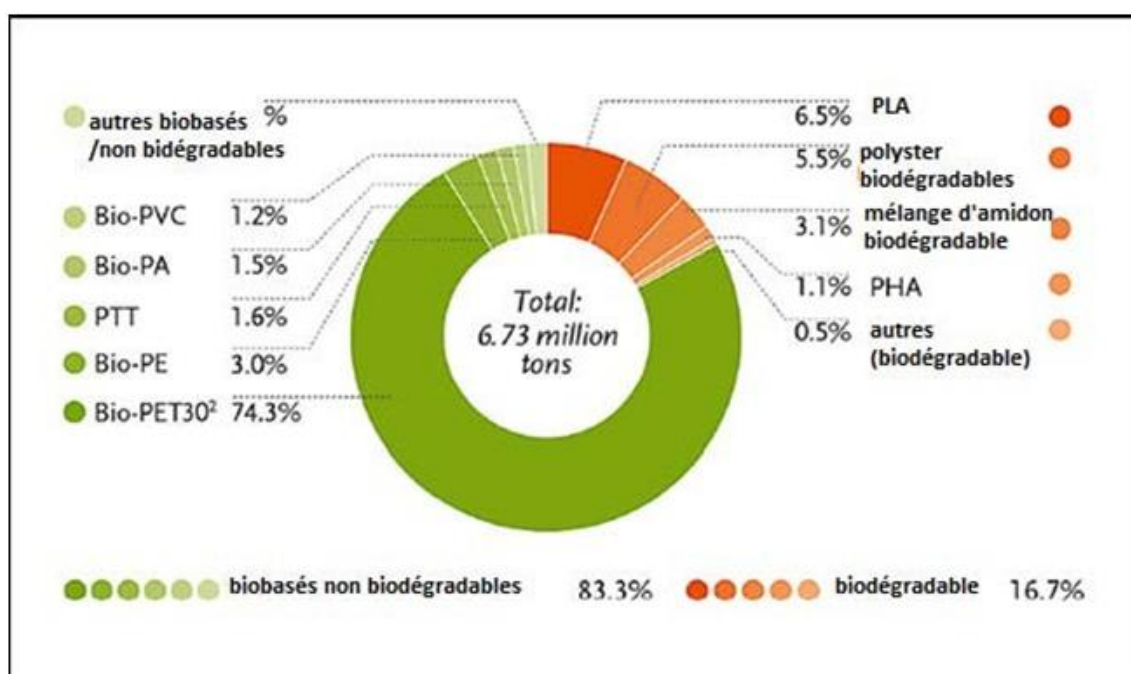
### 3.4 Bioplastiques pétrochimiques biodégradables

De nombreux bioplastiques biodégradables peuvent être obtenus à partir de ressources fossiles. Les premiers développements de ces matériaux datent du début des années 70. Il s'agissait de développer des polymères combinant les bonnes propriétés d'usages des

polymères conventionnels et la propriété d'être dégradée par les micro-organismes (FEUILLOLEY *et al.*, 2005)

#### 4 Capacités mondiale de production des bioplastiques

La figure 5 montre les capacités de production mondiale des bioplastiques par type de matériau. Il existe des matériaux qui ont été ou sont commercialisés, y compris le nylon, le polypropylène, le polystyrène, le polycarbonate, le polychlorure de vinyle (PVC) et de nombreux autres plastiques traditionnels. L'Europe possède le plus grand marché mondial de bioplastiques; cependant, les capacités de production de l'Asie et de l'Amérique du Sud se développent rapidement (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2014).



**Figure 5:** Capacités de production mondiale de bioplastiques par type de matériau (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2014).

#### 5 Générations de bioplastiques bio sources

##### 5.1 Première génération

Elle provient principalement de matières premières agricoles alimentaires telles que le maïs, le blé, les pommes de terre et d'autres glucides (ASHTER, 2016).

###### 5.1.1. Plantes amylacées

\*Les céréales

Ces cultures sont riches en amidon et en alpha-polysaccharides qui comprennent les manomères de D-glucose sous deux formes : l'amylose et l'amylopectine. Parmi lesquelles nous avons : le blé, l'orge, le maïs, le manioc et le sorgho (ALLNANTES, 2015 ; GRAEME, 2010).

- Les plantes amidonnées

Elle repose globalement sur la pomme de terre, riche en amidon et qui est disponible durant toute la période de l'année. Le tableau 2 exprime la composition chimique des différentes cultures amylicées (GRAEME et VENTUS, 2010).

**Tableau 2:** Principales macromolécules des grandes cultures amylicées (GRAEME et VENTUS, 2010).

Constituant %	Mais	Blé	Orge	Sorgho	Manioc	Pomme de terre
Amidon	65-72	57-70	52-64	55-65	65-82	14-24
Sucre	2,2	-	-	0.25	0,25	1,5
Protéines	9-12	12-14	10-11	2-3	2-3	0,6-3,5
Lipides	4,5	3	2,5-3	0,8	0,8	0,1

## 5.2 Deuxième génération de plastiques bio-sources

En raison des progrès réalisés en biotechnologie, La deuxième génération de plastiques bio-sources s'est éloignée des ressources alimentaires. Essentiellement, les polymères bio-sources similaires aux polymères biodégradables sont produits par des procédés de fermentation bactérienne en synthétisant à partir de ressources renouvelables, y compris la biomasse ligne cellulosique comme l'amidon, la cellulose, les acides gras et les déchets organiques (ménagers) ou les micro-algues (ASHTER, 2016).

## 6 Applications de bioplastiques

Les bioplastiques montrent une grande demande sur le marché. L'industrie représente le plus grand champ d'application de ces matériaux, et parmi ces applications on a (ASHTER, 2016). :

- L'emballage

- L'automobile
- L'installation électrique et électronique
- L'industrie biomédicale.
- Le bâtiment et la construction.
- Les textiles
- L'agriculture et l'horticulture

## 7 Avantages et inconvénients des bioplastiques

### 7.1 Avantages

Les bioplastiques présentent plusieurs avantages, parmi eux on cite les suivants :

- Les bioplastiques sont renouvelables, Compo-stables et contribuent à réduire la pollution de l'environnement.
- Réduction de l'empreinte carbone.
- Les bioplastiques génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre et ne contiennent pas de toxines.
- Les bioplastiques tels que le polyéthylène téréphtalate bio-source (bio-PET) sont similaires aux plastiques à base de fossiles et peuvent être recyclés de la même manière que les plastiques classiques.
- Les bioplastiques bio-sources à la fin de leur vie, lorsque le recyclage n'est plus une option, ces matériaux peuvent être brûlés pour produire des énergies renouvelables et / ou être utilisés pour fabriquer des biocarburants.
- Les bioplastiques contribuent à l'augmentation de la fertilité des sols, la faible accumulation de matières plastiques dans l'environnement et la réduction du coût des déchets générés (CHEN 2014; ASHTER, 2016).

## 7.2 Inconvénients

Problèmes de recyclage : Le matériau bioplastique pourrait contaminer le processus de recyclage. Par exemple, en travaillant avec les rayons infrarouges en système de séparation des déchets, les bioplastiques ne peuvent être séparés, d'où ils seront contaminés en présence des matières plastiques conventionnelles.

- Réduction des matières premières: les bioplastiques produits à partir de sources renouvelables pourraient réduire les réserves de matières premières. En outre, afin de réduire la consommation d'énergie lors de la production de bioplastiques et la concurrence potentielle avec les ressources agricoles pour les aliments et aussi pour fournir des sources supplémentaires de matières premières, l'exploitation des sous-produits alimentaires est également la tendance actuelle (**ARIKAN et OZSOY, 2015**).

## 8 Plastiques à base d'amidon

Une classe importante de matières plastiques est représentée par des matières plastiques à base d'amidon. À partir du début des années 1990, les développements de recherche et de technologie ont permis de compléter des polymères naturels comme l'amidon (de maïs, pommes de terre, etc.) avec des macromolécules biodégradables afin d'obtenir des matériaux innovants thermoplastiques et biodégradables à l'échelle industrielle (**RAZZA et INNOCENTI, 2012**).

Les plastiques d'amidon peuvent être transformés en produits finis sur des machines à résines thermoplastiques standard légèrement modifiées. Les technologies de conversion utilisées comprennent le soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le moulage par injection, le moussage et le revêtement par extrusion. La majorité des matières plastiques d'amidon sont produites par modification chimique et extrusion / mélange d'amidon natif et de ses dérivés (**SAJID et al., 2015**).

## **Chapitre 02: Généralités sur l'Amidon**

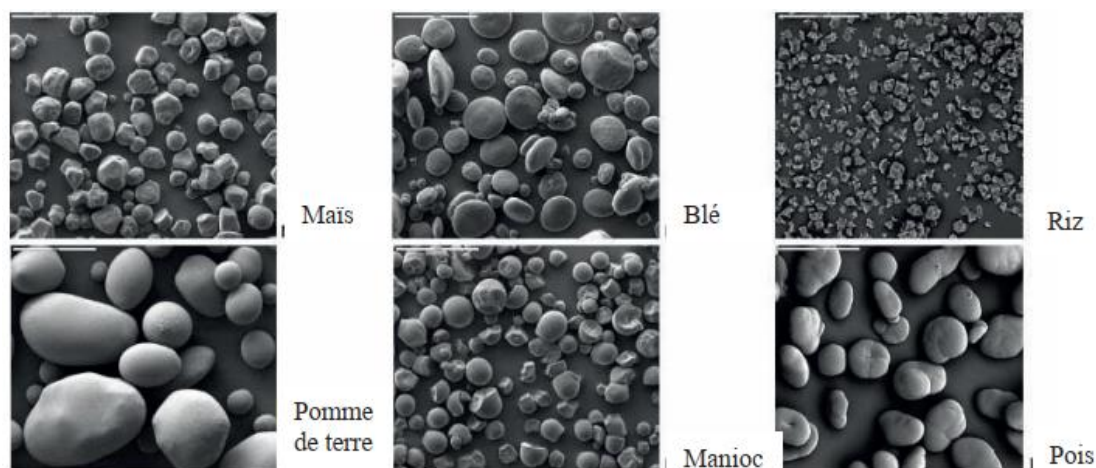
## 1 Présentation de l'amidon

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose  $C_6H_{12}O_6$ . Il est l'un des meilleurs polymères biodégradables. C'est une molécule de réserve pour les plantes supérieures et un constituant essentiel de l'alimentation humaine. L'amidon représente une fraction pondérale importante des matières premières agricoles. On le trouve stocké dans les organes de réserve de plantes:

- les graines, en particulier les céréales (maïs, blé, riz)
- Les légumineuses
- les racines (manioc)
- les tubercules (pomme de terre) et rhizomes (**JEAN-LUC et al., 2016**).

L'amidon se trouve dans les organes des plantes sous forme semi-cristalline en granulés relativement denses, insolubles dans l'eau froide et ayant une taille variant de 1 à 100  $\mu m$  selon l'origine botanique (**FABIEN, 2011**)

L'amidon est bio-synthétisé sous forme de grains dont la taille, la forme et la structure cristalline dépendent de son origine botanique (figure 6) (**BULEON, COLONNA, PLANCHOT et BALL, 1998**). Il représente une fraction pondérale importante dans un grand nombre de matières premières agricoles comme les céréales (30% à 70%), les tubercules (60% à 90%) et les légumineuses (25% à 50%). 50% de l'amidon produit industriellement sont destinés à l'alimentation humaine. C'est un nutriment abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d'empois d'amidon granulaire. Sous forme hydrolysée, l'amidon est utilisé comme matière sucrante, liante ; il fait partie des additifs alimentaires (**SINGH, KAUR et MC CARTHY, 2007**).

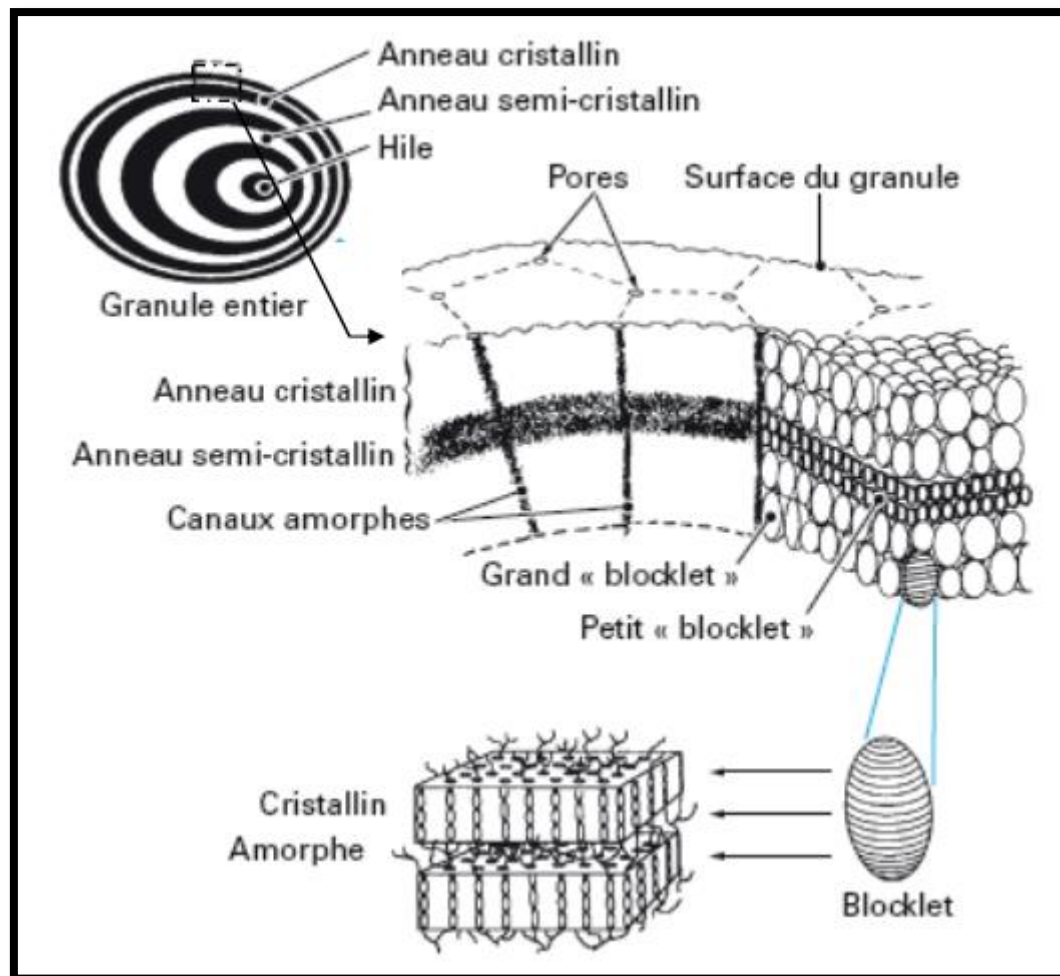


**Figure 6:** Formes et tailles des granules d'amidon de maïs, blé, riz, pomme de terre, manioc et de pois (MEB grossissement  $\times 280$ ) d'après **ATKIN, CHENG, ABEYSEKERA ET ROBARDS (1999)**

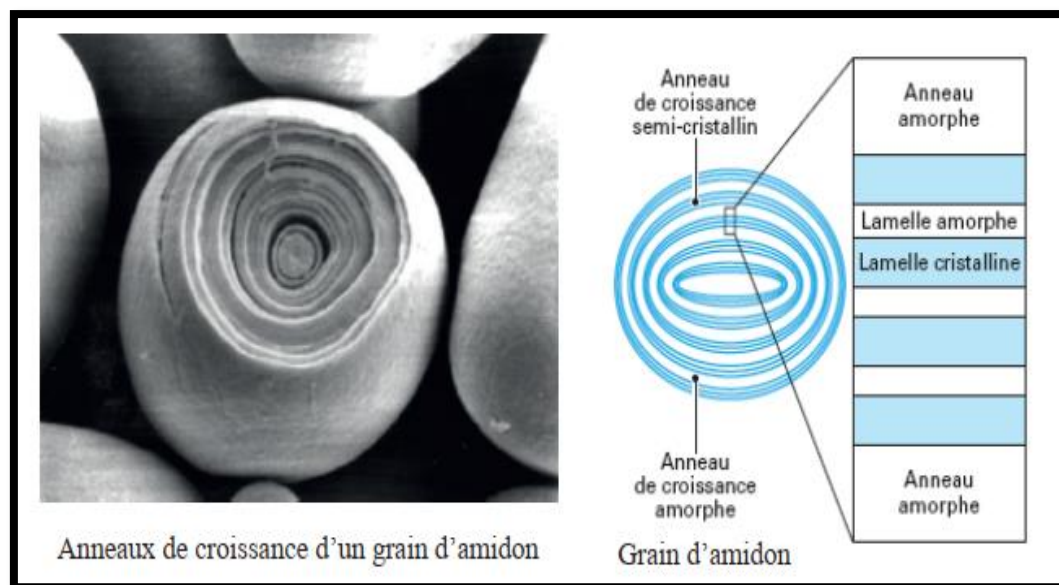
## 2 Composition de l'amidon et structure de base

L'amidon, après extraction à partir des organes de réserve des végétaux supérieurs et purification se présente sous la forme d'une poudre blanche insoluble dans l'eau froide. Cette poudre est constituée d'entités microscopiques de 2 à 100 $\mu\text{m}$  de diamètre selon l'origine botanique, nommées grains d'amidon. Les grains d'amidon ont une structure sphéroïdique avec une orientation moyenne radiale de leurs deux constituants macromoléculaires majeurs : l'amylose et l'amylopectine. Cette structure des grains d'amidon est faite de couches concentriques alternativement claires et sombres entourant un centre plus foncé appelé « hile » qui est le centre initial de croissance du grain (figures 7 et 8). Ces stries correspondent

à une succession de zones dites « amorphes », peu résistantes à l'hydrolyse, et de zones présentant une structure semi-cristalline comportant une alternance de lamelles cristallines. Ces lamelles cristallines sont composées des chaînes courtes (Shot) S de Degré de Polymérisation (DP) d'environ 15, de l'amylopectine et de lamelles amorphes composées en majorité des points de jonction des molécules d'amylopectine et éventuellement d'amylose (**BOURSIER, 2005**).



**Figure 7:** Structure et ultra structure d'un grain d'amidon classique d'après LEVEQUE, HAYE ET BELARBI (2000)



**Figure 8:** Photographie et représentation schématique d'un grain d'amidon d'après **GALLANT, BOUCHET et BALDWIN, (1997)**.

L'empilement des lamelles cristallines et amorphes forme des ensembles appelés *block let* d'une taille comprise entre 300 et 500nm qui s'assembleraient pour constituer les couches cristallines (figure 8) (**GALLANT, BOUCHET et BALDWIN, 1997**). La grosseur, la forme et la structure des grains varient selon la plante d'où provient l'amidon (**LEVEQUE et al., 2000**).

En lumière polarisée, les granules d'amidon ont la forme d'une croix noire dite « croix de Malte ». Ce phénomène de biréfringence positive vient confirmer l'organisation semi cristalline de ces granules. Les zones amorphes pourraient contenir des ensembles cristallins composés d'amylopectine de structure identique mais de taille réduite, de 50 à **70nm** (**BULEON, 2001**). Ces ensembles dispersés dans l'amylose constitueraient avec les complexes amylose-lipides les parties dites « amorphes » du granule. Le développement limité des *block let* 's pourrait être lié à la présence de l'amylose (**GALLANT et al., 1997**). L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que l'amidon est un poly-mèrese mi-cristallin (**WALISZEWSKI, APARICIO, BELLO et MONROY, 2003**).

Généralement, l'amidon contient 20-25% d'amylase et 75-80% d'amylopectine (**SAJID et al., 2015**). La teneur en chacun des constituants est différente suivant l'origine de l'amidon (tableau 3) (**WERTZ, 2011**).

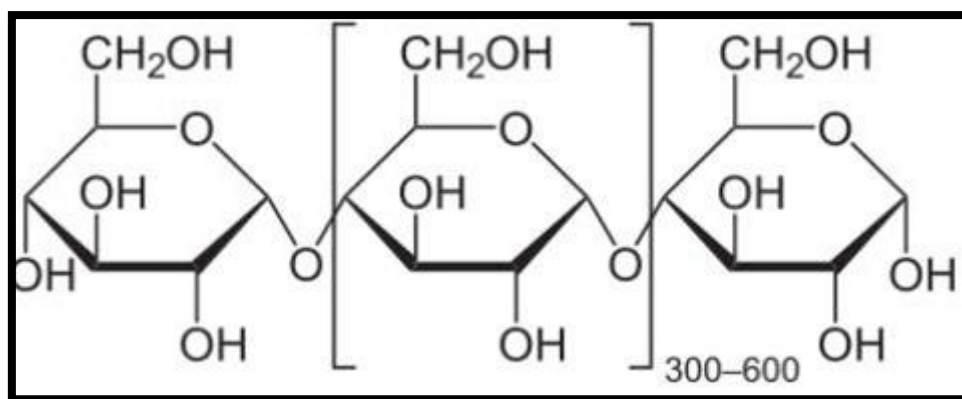
**Tableau 3:** Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques (WERTZ, 2011).

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

### 2.1 Amylose

L'amylose (Figure 9) est un polymère linéaire formé d'environ 600 molécules de glucose liées par des liaisons  $\alpha$  (1-4). Il constitue généralement 20 à 30 % de l'amidon. Sa masse moléculaire varie entre 105 et 106 g/mol. Il est présent de 20 à 30% dans le blé et la pomme de terre (EL HADJI BABACAR, 2008).

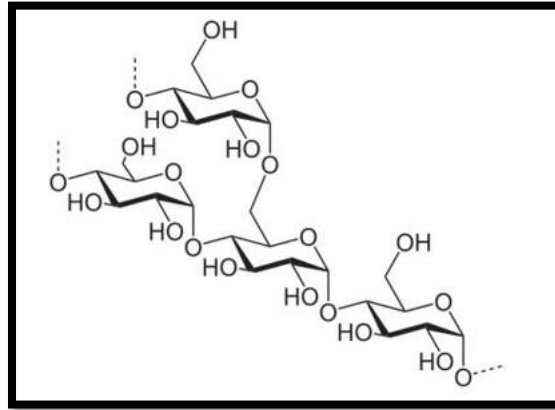
Le degré de polymérisation (DP) varie entre 100 et 10000. Chaque macromolécule est terminée par une unité réductrice et un non réducteur [20]. En général, plus il y a d'amylose, plus il y a de zones cristallines (JEAN-LUC *et al.*, 2016).

**Figure 9:** Structure moléculaire de l'amylose (JEAN-LUC *et al.*, 2016).

### 2.2 Amylopectine

Les molécules de glucose (jusqu'à 2 millions de résidus) forment une chaîne linéaire, elles sont reliées entre elles par des liaisons  $\alpha$ -1,4-glycosidiques (comme dans l'amylose). La chaîne est ramifiée par des liaisons  $\alpha$ -1,6 glycosidiques donnant à l'amylopectine une

structure arborescente (Figure 10) (JEAN-LUC *et al.*, 2016). La molécule d'amylopectine possède des masses molaires de l'ordre de plusieurs millions ( $M_w = 10^8$  g. mole<sup>-1</sup>), soit nettement plus élevées que l'amylose (JEAN-LUC *et al.*, 2016), ce qui fait d'elle la plus grosse macromolécule connue à ce jour (EL HADJI BABACAR, 2008).

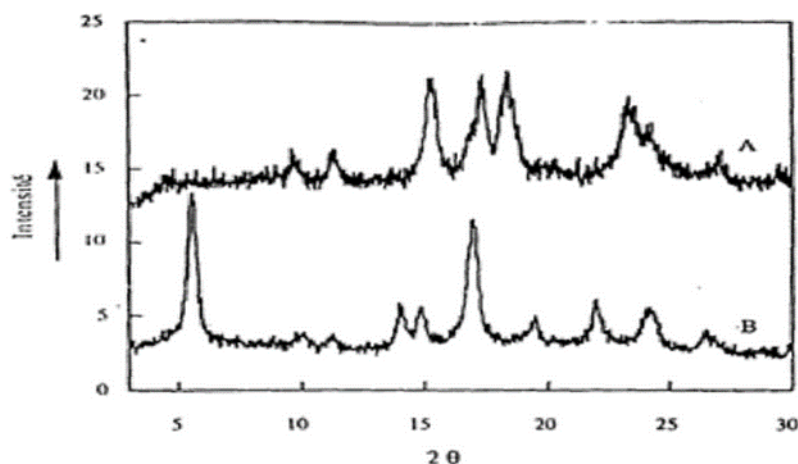


**Figure 10:** Structure moléculaire de l'amylopectine (JEAN-LUC *et al.*, 2016).

### 3 Cristallinité d'amidon

La nature semi-cristalline des amidons natifs a été mise en évidence par diffraction des rayons X à poudre. Les amidons natifs peuvent être classés en trois groupes selon leur diagramme de diffraction (SAHORE, 2011). :

- **Le type A** : Caractérise des amidons de céréales, le spectre de diffraction des rayons X présente des pics pour  $2\theta$  égal à 9,9 ; 11,2 ; 15 ; 17 ; 18.1 et 23°.
- **Le type B** : Caractérise des amidons de tubercule et de céréales riches en amylose, le spectre de diffraction des rayons X présente les pics pour  $2\theta$  égal à 5,9; 15; 17 ; 22 et 24°.
- **Le type C**: Caractérise des amidons de légumineuses. Il correspond à un mélange des deux types cristallins A et B.



**Figure 11:** Diagramme de diffraction des rayons X d'amidon natifs de type A et B (SAHORE, 2011).

#### 4 Plastification d'amidon

L'amidon sous forme de granulé, ne trouve que très peu d'applications dans l'industrie (ITCMI (2010)). En raison de nombreuses liaisons hydrogène intermoléculaires existant entre les chaînes, la température de fusion ( $T_m$ ) de l'amidon est supérieure à sa température de dégradation. Par conséquent, pour élaborer un matériau en matière plastique, il est nécessaire d'introduire une teneur élevée en eau et / ou certains plastifiants non volatils (glycérol, sorbitol, ...) qui diminuent la température de transition vitreuse ( $T_g$ ) et la température de fusion ( $T_m$ ), l'amidon et les plastifiants sont mélangés sous traitement thermomécanique. Ces matières plastifiées sont actuellement appelées «amidon thermoplastique» ou «amidon plastifié» (AVEROUS, 2012)

#### 5 Transformations hydro-thermiques de l'amidon

**Phénomène de Sorption :** Le phénomène de sorption s'explique par la fixation de molécules d'eau, par l'intermédiaire de liaisons hydrogènes, sur les groupements hydroxyles de l'amidon. Dès le commencement de l'adsorption, les molécules d'eau rompent les liaisons existantes entre les groupes hydroxyles présents sur les chaînes d'amidon, établissant ainsi un pontage par des liaisons hydrogènes ayant pour effet une dilatation du réseau macromoléculaire.

**Processus de gélatinisation :** Est un terme employé pour décrire les changements irréversibles qui accompagnent la destruction de la structure du granulé d'amidon. Plusieurs étapes pour le phénomène de gélatinisation sont décrites:

\* **La diffusion du plastifiant** : en présence de cisaillement et de chauffage, le plastifiant entre dans les granulés, occupant les espaces vides et les zones peu denses (amorphes), sans casser les liaisons hydrogènes entre couches.

\* **L'amylose s'infiltré dans le plastifiant** : les chaînes d'amylose commencent à bouger et s'extirpent du granulé par diffusion.

\* **Le gonflement du grain** : après la migration des chaînes d'amylose dans le plastifiant, le granulé commence à gonfler et à perdre la biréfringence. Cela va entraîner la création d'espace nécessaire pour la fusion de la partie cristalline et l'augmentation de l'entropie du système.

\* **La fusion de la cristallinité** : les doubles hélices de l'amylopectine se déenroulent, évoluant d'une structure semi-cristalline à une structure amorphe analogue à celle de l'amylose.

\* **La plastification ou gélation** : les chaînes libérées d'amylose ou d'amylopectine commencent à former de nouvelles liaisons hydrogènes, formant un nouveau réseau de polymère (OGGIER, 2007)

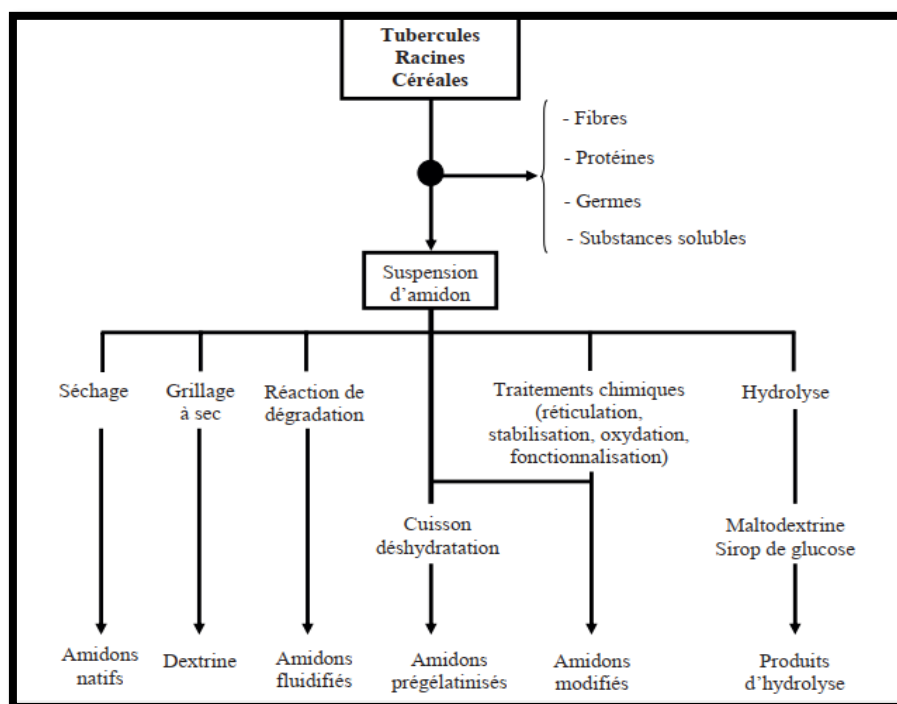
L'état final est appelé empois d'amidon. L'obtention d'empois d'amidon est donc une déstructuration irréversible du grain conduisant à une solution comprenant des granules gonflés et des macromolécules solubilisées (WERTZ, 2011).

## 6 Différents types d'amidons et leurs utilisations

Après extraction, la suspension d'amidon peut être séchée, précuite ou soumise à des traitements chimiques, ce qui aboutit à différents types d'amidons (figure 11). Ces amidons ont des utilisations multiples. Leur choix prend en compte la compatibilité avec le milieu, les traitements thermiques et mécaniques, les propriétés recherchées, mais aussi la législation en vigueur (DOUBLIER, 2001).

C'est ainsi que les amidons réticulés sont utilisés dans les sauces épaisses telles que le ketchup. Le niveau d'épaississement souhaité est obtenu en jouant sur le degré de réticulation en fonction du pH, des contraintes de process (traitement thermique et cisaillement). Dans le cas des sauces émulsionnées, l'octénylsuccinate d'amidon est utilisé pour ses propriétés hydrophiles et hydrophobes. Les amidons natifs (féculé de pommes) sont utilisés en charcuterie, les amidons réticulés aussi pour améliorer la texture, la rétention d'eau et la

stabilité du produit fini. L'amidon pré gélatinisé est utilisé dans les produits tels que les snacks extrudés pour favoriser l'expansion, la conservation de la forme et la croustillance. L'amidon pré gélatinisé sert aussi dans les préparations instantanées. L'amidon fluidifié pour sa part est plus sollicité en confiserie pour assurer la texture de la gomme et sa stabilité (CHENE, 2004).



**Figure 12:** Schéma présentant les différents types d'amidons en fonction des Traitements (CHENE, 2004).

## 7 Types de bioplastiques à base d'amidon

### ❖ Amidon thermoplastique

En plasturgie, l'amidon peut être utilisé de deux manières, soit (1) comme amidon déstructuré, en entrant dans la composition de mélanges, soit (2) comme polymère de grande masse moléculaire, en modifiant sa structure moléculaire à l'aide d'un plastifiant. Dans le deuxième cas, les termes « *Thermo plastic Starch* » (TPS) ou « *Platicized Starch* » (PLS) sont employés pour désigner cette utilisation. Cette section traite le deuxième cas, c'est-à-dire l'utilisation directe de l'amidon en tant que polymère pouvant constituer un thermoplastique bio-source (ARIKAN et OZSOY, 2015).

#### • Les mélanges de polymères

Le mélange de polymères s'est révélé être une méthode alternative importante et

utile dans l'optique de développer de nouveaux matériaux ayant des propriétés améliorées (FABIEN, 2011). Le mélange de l'amidon thermoplastique (TPS) avec d'autres polymères se fait souvent en utilisant une extrusion à double vis à des températures élevées. Le TPS lorsqu'il est mélangé avec d'autres polymères biodégradables, tels que le PVA ou les polyesters aliphatiques comme l'acide polylactique (PLA), le poly-carprolactone (PCL) et le poly (3- hydroxybutyrate) (PHB), produit un mélange de polymères complètement biodégradable (ASHTER, 2016).

### **8 Applications de plastiques à base d'amidon**

Différents types de sacs tels que les sacs à ordures, les sacs à provisions et les sacs de compost sont fabriqués à partir de polymères à base d'amidon. Il a également été utilisé dans des applications d'emballage souples telles que des sacs extrudés et des filets pour les fruits et les légumes frais. Les applications d'emballage rigides comprennent des plateaux thermoformés pour l'emballage des aliments frais et de produits alimentaires de qualité. Les plastiques à base d'amidon trouvent d'autres applications dans l'agriculture et l'horticulture y compris, le paillis, le film couvrant et les pots de plantes (ASHTER, 2016).

**Chapitre 03**  
**Synthèse des bioplastiques à**  
**base de l'Amidon**

## 1 Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de pomme de terre

### 1.1 Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles

Ce projet a été réalisé par STANOJLOVIC-DAVIDOVIC (2006) pour un objectif de développer un matériau biodégradable susceptible de se substituer au polystyrène expansé (PSE) dans le domaine de l'emballage alimentaire (barquette). Afin d'assurer les différentes fonctionnalités, la démarche adoptée consiste à associer différents types d'agro matériaux et à fabriquer un système multicouche à base de l'amidon de pomme de terre. L'auteur utilise l'eau comme plastifiant et agent d'expansion de la couche interne qui constitue de l'amidon de pomme de terre. Le talc et l'hydrocerol ont été utilisés comme agents nucléants. Pour renforcer la couche interne, des fibres longues de paille de blé, de chanvre et de linter de coton et des fibres moyennes de cellulose, ont été choisies. Pour la couche externe, il a retenu le polycaprolactone (PCL). Les différentes couches du système ont été caractérisées principalement par leurs propriétés mécaniques et par leurs sensibilités à l'eau. Le système multicouche a été caractérisé de la même façon que les différentes couches internes.

La couche interne d'amidon expansé renforcé ou non par des fibres, en présence des deux agents nucléants a été mise en forme par le procédé d'extrusion. Et le système multicouche a été mis en forme par le procédé de laminage-couchage. En fin les produits obtenus ont été caractérisés par leurs propriétés mécaniques(en flexion), physico-chimiques et morphologiques.

Les résultats des essais mécaniques pour la couche interne montrent une amélioration des performances mécaniques de la matrice avec l'ajout de fibres avec une diminution des propriétés mécaniques lorsque le taux d'humidité relative augmente (de 33 à 75%). Ceci montre que les échantillons ont une certaine sensibilité à l'eau. Cependant, les résultats obtenus pour l'absorption d'eau montrent une diminution de la quantité d'eau absorbée avec l'ajout de renfort. La diminution de la masse volumique et l'augmentation de l'indice d'expansion se produit avec l'ajout de renfort. On obtient, donc une couche interne moins sensible à l'eau et plus légère avec l'ajout de renfort.

Les résultats trouvés révèle une dégradation importante des fibres longues au cours de la mise en forme a été mise en évidence. L'étude de la microstructure a révélé des morphologies variables pour les différents types de composites. Une taille de cellules et une épaisseur de parois plus faibles ont été mises en évidence pour les composites qui contiennent les fibres et l'hydrocerol. Les systèmes multicouches obtenus à partir de couches internes

renforcées par les fibres de cellulose, de linter de coton, de chanvre et de paille de blé ont été caractérisés de la même façon que les différentes formulations de la couche. De plus, leur tenue aux chocs, résistance aux liquides et biodégradabilité ont été évaluées.

Une masse volumique et des propriétés mécaniques du système multicouche supérieures par rapport à la couche interne ont été mises en évidence. La résistance au choc des systèmes multicouches élaborés est supérieure à celle de la barquette en PSE. Une résistance aux liquides faible et une dégradation importante des propriétés mécaniques en présence du liquide a été notée pour l'ensemble des composites multicouches. Un taux de biodégradation important et une cinétique de dégradation variable des systèmes multicouches ont été mis en évidence à partir des tests de biodégradation.

## **1.2 Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon**

Le travail a été réalisé par **BOUDJELLA&LAHRECH en 2017**. L'objectif de ce travail était donc de valoriser un déchet issu d'une biomasse ligno-cellulosique pour la production du bioplastique.

Les auteurs ont réalisés une étape préliminaire de caractérisation de l'amidon extrait où ils ont utilisé une analyse diffracto-métrique (diffraction des rayons X) afin d'identifier les phases cristallisées dans un système catalytique. Par la suite, une autre étape a été faite pour l'évaluation de la qualité du produit formulé, à savoir le bioplastique en effectuant la microscopie électronique à balayage (MEB) pour caractériser la morphologie des films. Par la suite, ils eu recours à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour voir la miscibilité des polymères. Et en fin l'étude rhéologique réalisée pour étudier la viscoélasticité et l'écoulement du gel. Dans ce travail les auteurs ont fait un test de biodégradabilité dans un environnement de compost et l'absorption d'eau ont été utilisées pour examiner la dégradation et la résistance d'eau des films.

Les résultats obtenus, montrent que les plastifiants tels que le glycérol et le diéthylephtalate jouent le rôle important puisqu'ils se mettent entre les molécules d'amidon et facilitent donc leur mobilité les uns par rapport aux autres. Et les différents films obtenus sont transparents et caractérisés par une faible résistance à l'eau et une forte biodégradabilité. L'observation par microscopie à balayage a montré que l'ajout de plastifiant a amélioré les propriétés des films préparés.

## 2 Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de maïs

### 2.1 Nano-cristaux d'amidon de maïs cireux pour applications composites

ANGELLIER (2005), les deux objectifs principaux de ce travail étaient d'optimiser la préparation de nano-cristaux d'amidon de maïs cireux et de les utiliser comme charge de renfort dans une matrice polymère.

Le premier objectif a été atteint de façon très satisfaisante. La mise en place d'un plan d'expériences a en effet permis de réduire la durée de la préparation de 40 jours à 5 jours et d'augmenter le rendement massique de 0,5 % à 15,7 %. L'utilisation combinée de l'analyse enzymatique et de la chromatographie par échange d'ions a mis en évidence la complexité de la structure moléculaire des nano-cristaux obtenus dans les conditions optimales. Dans cette partie l'auteur a montré que la moitié des chaînes constituant les nano-cristaux étaient des chaînes branchées et que 2/5 d'entre elles étaient résistantes aux enzymes de débranchement.

Le deuxième objectif a :

Dans un premier temps, des nano-composites caoutchouc naturel nano-cristaux d'amidon ont été mis en œuvre par casting. Il a montré que les propriétés barrière et renforçantes étaient dues à leur morphologie plaquettaire et à la formation d'un réseau percolant grâce à l'établissement de liaisons hydrogène lors de l'évaporation des films. Le seuil de percolation des nano-cristaux dans le caoutchouc naturel est estimé à 6,7 vol%.

Dans un deuxième temps, les nano-cristaux d'amidon ont été utilisés comme charge de renfort dans l'amidon thermoplastique de maïs cireux plastifié avec 25% de glycérol. L'auteur a vu qu'ils permettaient de diminuer la sensibilité à l'eau des matériaux amyliques et d'améliorer leurs propriétés mécaniques, même après vieillissement. Ce renforcement a été attribué à l'établissement d'interactions non seulement entre les nano-cristaux, mais également entre la charge et la matrice, contrairement au caoutchouc naturel, et à une éventuelle cristallisation à l'interface charge/matrice.

ANGELLIER (2005), il conclure que ce travail en présentant les limites et les avantages de l'utilisation des nano-cristaux d'amidon comme charge de renfort dans une matrice polymère. Les limites sont les suivantes :

- Les nano-cristaux d'amidon, en présence d'eau, sont très sensibles à la température. Dès lors que le solvant de mise en œuvre est l'eau, nous sommes contraints de travailler à des

températures inférieures ou égales à 40°C. De ce fait, la mise en œuvre de nanocomposites amidon thermoplastique/nano-cristaux d'amidon est difficilement réalisable par extrusion.

- La température de dégradation se situe autour de 250°C. La stabilité thermique des matériaux composites est limitée par cet aspect.

Les nano-cristaux sont sensibles à l'humidité, ce qui induit leur gonflement et une réduction de leurs propriétés mécaniques.

- Les nano-cristaux d'amidon ont une forte tendance à flocculer. Comme pour de nombreuses nanoparticules, nous sommes confrontés à la difficulté de parvenir à bien les disperser dans une matrice hydrophobe.

- Les interactions nano-cristaux d'amidon/matrice hydrophobe (caoutchouc naturel) sont très faibles. Cet aspect peut être vu comme un avantage car il en résulte une augmentation de la contrainte à la rupture sans une chute drastique de l'élasticité des matériaux.

- Les nano-cristaux sont issus d'une matière première renouvelable, concurrençant ainsi les charges minérales et celles dérivées des ressources fossiles.

- Ils sont biodégradables.

- Ils sont disponibles en grande quantité, donc à relativement faible coût.

- Leur fabrication nécessite peu d'énergie.

## **2.2 Fabrication et caractérisation thermique d'un film biodégradable à base d'amidon de maïs**

**HAMADOUCHE et BOUARAB en 2017** ont décelé que, les bioplastiques biodégradables constituent une alternative pour remplacer les plastiques synthétiques conventionnels. Cependant, les propriétés en général se retrouvent beaucoup plus médiocres d'où l'idée de les renforcer avec des renforts pouvant apporter les propriétés manquantes tout en préservant, en partie, le caractère biodégradable.

Les auteurs ont réalisés ce travail pour un objectif d'élaboration la caractérisation thermique des films plastique à base d'amidon, renforcés par l'argile. Les films obtenus au cours de ce travail sont généralement homogène ayant une bonne cohésion, mines et ductiles. Les analyses effectuées (la spectroscopie infrarouge (FT-IR), l'analyse thermogravimétrique

(TGA), la diffraction des rayons x(DRX) et l'analyse calorimétrique (DSC) ont montré surtout des améliorations apportées par l'utilisation de différents taux de l'argile sur les propriétés thermiques par l'augmentation des températures de transition vitreuse et de dégradation avec le taux de renfort. L'établissement de réticulation entre la matrice et le renfort a été confirmé par la FT-IR et la DRX a montré l'augmentation de la cristallinité avec l'incorporation de l'argile et avec son taux.

L'objectif majeur de ce travail étant d'étudier l'influence du taux de l'argile bentonite sur la stabilité thermique des films biodégradables à base d'amidon de maïs. L'élaboration des films composites a été réalisée au niveau du laboratoire par la méthode de casting dans des conditions simples. Deux types d'amidon ont été utilisés pour la réalisation de la matrice thermoplastique : L'amidon de maïs et l'amidon de pomme de terre. Les films plastiques ont été facilement démoulés des plaques de verre. Ils sont transparents ductiles et résistants.

Différentes analyses ont été réalisées sur les différents échantillons pour l'évaluation des propriétés obtenus : D'abord les analyses par le MEB ont été effectuées pour l'étude de la morphologie des films. Ces derniers apparaissent généralement homogènes avec un léger assemblage des renforts dans certains endroits.

L'analyse par la spectroscopie FT-IR prouve surtout l'établissement de la réticulation entre la matrice et le renfort à travers l'apparition du pic caractéristique au groupement Si-O.

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre l'augmentation de la partie cristalline avec le taux de renfort : la nano-argile.

La stabilité thermique a été étudiée et montrée une amélioration notable à travers les analyses des propriétés thermiques :

- Les analyses thermogravimétriques (TGA) ont montré qu'il y a eu augmentation de la température de dégradation avec le type de renfort.

- Les analyses par calorimétrie différentielle à balayage (DSC), montrent une augmentation de la température de transition vitreuse.

Les résultats obtenus sont similaires pour les deux d'amidon avec une meilleure amélioration pour l'amidon de pomme de terre. En fin, les auteurs ont conclu que le renforcement avec l'argile a amélioré certaines propriétés surtout thermiques avec l'augmentation de la cristallinité qui prévoit une amélioration des propriétés mécaniques.

### 3 Synthèse d'un bioplastique à base de l'Amidon de Manioc

#### 3.1 Films composites amidon de manioc-kaolinite

**MBEY (2013)**, dans cette étude le chercheur a identifié l'influence de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films composites à base d'amidon de manioc plastifié au glycérol et d'une argile kaolinique, comme charge minérale.

L'étude des propriétés macroscopiques des films composites permet d'établir que les interactions à l'interface argile-amidon jouent un rôle majeur. L'argile apporte un effet plastifiant qui s'explique raisonnablement par les deux mécanismes proposés : d'une part, l'accroissement de la miscibilité argile/amidon par le biais d'une infiltration facilitée du glycérol transporté à l'interface par les particules d'argile et d'autre part, l'orientation des chaînes de macromolécules par les particules d'argile dont les interactions avec le polysaccharide interfèrent sur les interactions inter-chaîne au sein de l'amidon. L'ensemble des résultats obtenus est cohérent avec ces mécanismes. Les faits observés sont les suivants :

- La présence d'argile induit une augmentation de la plasticité qui se traduit par une diminution de la  $T_g$  et une augmentation de l'allongement à la rupture. Ces évolutions sont associées à l'orientation des chaînes du polymère par les particules d'argile qui, de plus, permettent une diffusion du plastifiant (Glycérol) à l'interface. Et du fait des interactions argile amidon faibles, la mobilité des chaînes de polymères est facilitée. La variation des interactions inter-chaînes de l'amidon est observée en analyse infrarouge par la modification des positions des bandes de vibrations des liaisons O-H, C-OH et C-H. Ces modifications sont conformes avec une diminution des interactions chaîne-chaîne, sur lesquelles interfèrent les interactions argile-amidon faibles. L'effet induit par la kaolinite intercalée au DMSO (diméthylsulfoxyde) est plus important du fait de sa dispersion plus fine.

Il en résulte un plus grand volume d'interface argile-amidon qui induit plus de liberté de mobilité et sert de chemin à l'infiltration au plastifiant dont les interactions hydrogène faibles avec l'amidon participent à l'augmentation de la plasticité des films.

L'augmentation de la dose d'argile au-delà de 10 % en masse par rapport à la masse d'amidon entraîne une coagulation de la phase argileuse qui induit une diminution de l'effet plastifiant apporté par l'argile.

•La diminution de la cristallinité, observé en diffraction X, de la matrice d'amidon avec l'ajout de kaolinite est globalement conforme avec l'effet plastifiant décrit ci-dessus, dû à l'interférence des interactions argile-amidon sur les interactions chaîne-chaîne. En revanche, la morphologie des particules pourrait expliquer que les particules de l'argile brute diminuent plus fortement la cristallinité que les particules dé laminée. Ces dernières, parce que plus fines, pourraient être à l'origine d'un ordre local d'organisation des macromolécules qui se traduirait par une cristallinité plus élevée mesurée dans les films.

•Les observations en microscopie optique et électronique révèlent une relative homogénéité des films, avec une bonne distribution de la charge minérale.

•Les analyses thermiques par DSC et CRTA montrent que la présence d'argile accroît la résistance à la décomposition thermique et, étant donné que l'épaisseur de la barrière détermine l'effet barrière, ces analyses corroborent la dispersion plus fine de la kaolinite préalablement intercalée au DMSO

•La prise d'eau confirme la dispersion fine de la kaolinite intercalée et met en évidence, à forte humidité relative, que les interactions amidon-argile sont faibles car leur rupture à forte humidité relative explique l'augmentation de la prise d'eau par la condensation à l'interface et la contribution de la charge argileuse.

•L'effet barrière aux UV-visibles est significatif dès 2 % en argile et une conservation significative de la transparence est observable jusqu'à 6 % en argile. La diminution de la transparence rend également compte de la dispersion de la charge et confirme une dispersion plus fine lorsque l'argile intercalée est utilisée

### 3.2 Élaboration et caractérisation des bio-films à base d'amidon de Manioc

**BELIBI (2013).** Des films composites ont été élaborés par la méthode du *casting* à partir d'amidon natif de manioc. Ils ont été plastifiés par le glycérol et renforcés par des charges minérales synthétiques de zéolithe Beta et de beidellite sodique.

Le principal objectif était d'utiliser des matériaux issus de la biomasse, en l'occurrence l'amidon de manioc, pour élaborer de nouveaux matériaux plus respectueux de l'environnement de sorte qu'après leur utilisation, ils se dégradent rapidement de façon

naturelle. Les principaux inconvénients des matériaux amylicés sont leur caractère hydrophile et leurs faibles propriétés mécaniques.

Ce travail montre que les valeurs de la solubilité dans l'eau et de la perméabilité à la vapeur d'eau des échantillons renforcés par des nano-cristaux de zéolithe Beta lyophilisés sont plus grandes que celles du film de contrôle. Une augmentation significative des propriétés mécaniques, en particulier le module d'Young de ces films a aussi été observé. Une amélioration de la perméabilité à la vapeur d'eau des films composites contenant des cristaux de beidellite sodique et des films nano composites contenant des nano-cristaux de zéolithe Beta a été trouvée. Tous les films ont été caractérisés par diffraction de rayons X.

- les films sont moins résistants à l'eau lorsqu'ils contiennent plus de plastifiant dans la mesure où la teneur en eau, la solubilité dans l'eau et la perméabilité à la vapeur des bio-films augmentent avec l'augmentation de la concentration du plastifiant. Le glycérol s'insère facilement entre les chaînes d'amidon et agit comme agent de rétention d'eau et empêche aussi la recristallisation de la matrice d'amidon d'où l'augmentation de la teneur en eau et de la solubilité dans l'eau des films. De plus, les propriétés mécaniques des bios films sont fortement influencées par la concentration du glycérol. En effet, l'augmentation de la concentration du glycérol dans les bios films entraîne la diminution de la résistance mécanique de ces derniers.

## **Conclusion Générale**

### Conclusion

Cette étude nous a permis de déterminer les différentes sources biologique (végétale) d'extraction d'Amidon, où les travaux discutés dans cette recherche bibliographique montre que les végétaux les plus utilisés dans la fabrication des biomatériaux tels que les bioplastiques sont la pomme de terre suivi de la maïs et la manioc qui sont très riche en amidon. Les bioplastiques résulte de la plastification de l'amidon sont biodégradable et utilisable dans le domaine alimentaire.

L'élaboration des films composites a été réalisée par la méthode de casting dans des conditions simples à partir de l'amidon, avec plastification de l'amidon et renforcement. L'amidon peut plastifier par l'eau, le glycérol et le diéthylephtalate, et de renforcer par l'argile, les fibres longues de paille de blé, de chanvre et de linter de coton et des fibres moyennes de cellulose, des charges minérales synthétiques de zéolithe Beta et de beidellite sodique. En fin les produits obtenus ont été caractérisés par leurs propriétés mécaniques (en flexion), physico-chimiques et morphologiques.

Les résultats obtenus, montrent que les plastifiants tels que le glycérol et le diéthylephtalate jouent le rôle important puisqu'ils se mettent entre les molécules d'amidon et facilitent donc leur mobilité les unes par rapport aux autres. Et les différents films obtenus sont transparents et caractérisés par une faible résistance à l'eau et une forte biodégradabilité. L'observation par microscopie à balayage a montré que l'ajout de plastifiant a amélioré les propriétés des films préparés.

Les films de bioplastique fabriqués par l'amidon d'origine végétale sont caractérisés par suivant :

- Ils sont biodégradables.
- Ils sont disponibles en grande quantité, donc à relativement faible coût.
- Leur fabrication nécessite peu d'énergie.
- Les analyses thermogravimétriques (TGA) ont montré qu'il y a eu augmentation de la température de dégradation avec le type de renfort.
- Les analyses par calorimétrie différentielle à balayage (DSC), montrent une augmentation de la température de transition vitreuse.

- La température de dégradation se situe autour de 250°C.
- Les nano-cristaux d'amidon, en présence d'eau, sont très sensibles à la température.
- Sont sensibles à l'humidité, ce qui induit leur gonflement et une réduction de leurs propriétés mécaniques.
- Le renforcement avec l'argile a amélioré certaines propriétés surtout thermiques avec l'augmentation de la cristallinité qui prévoit une amélioration des propriétés mécaniques.
- La présence d'argile induit une augmentation de la plasticité
- Les analyses thermiques par DSC et CRTA montrent que la présence d'argile accroît la résistance à la décomposition thermique et, étant donné que l'épaisseur de la barrière détermine l'effet barrière,
- Les films sont moins résistants à l'eau lorsqu'ils contiennent plus de plastifiant dans la mesure où la teneur en eau, la solubilité dans l'eau et la perméabilité à la vapeur des bio-films augmentent avec l'augmentation de la concentration du plastifiant.
- L'augmentation de la concentration du glycérol dans les bios films entraîne la diminution de la résistance mécanique de ces derniers.

En fin ont conclure que les bioplastiques biodégradables constituent une alternative pour remplacer les plastiques synthétiques conventionnels. Cependant, les propriétés en général se retrouvent beaucoup plus médiocres d'où l'idée de les renforcer avec des renforts pouvant apporter les propriétés manquantes tout en préservant, en partie, le caractère biodégradable.

## **Liste Des Références**

- “LE MAIS, SON ORIGINE ET SES CARACTERISTIQUES”. Disponible sur [www.pedagogie.org](http://www.pedagogie.org).
- **AIB VINÇOTTE (2012D)**. Signification de OK biobased. In AIB Vinçotte. *Site de l’AIB*
- **ALLNANTES VOL23 (2015)**, “La canne à sucre”, services espaces verts et environnement.
- **ÁLVAREZ-CHÁVEZ, C.R., EDWARDS, S., MOURE-ERASO, R. AND GESER, K. (2012)**. Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement. *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, no 1, p. 47-56.
- **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) (2004)**. *Standard Practice for Evaluating and Reporting Environmental Performance of Bio based Products*. West Conshohocken, ASTM International, 9p. (D7075-4).
- **American Society for Testing and Materials (ASTM) (2012)**. *Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities*. West Conshohocken, ASTM International, 3p. (D6400-12).
- **ANGELLIER H., 2005**. Nano-cristaux d’amidon de maïs cireux pour applications composites. *Thèse pour obtenir le grade de docteur en Sciences et Génie des Matériaux de l’Université Joseph Fourier*, 299p.
- **ARIKAN, E. B., & OZSOY, H. D. (2015)**. A Review: Investigation of Bioplastics. *J. Civil Eng. Arch*, 9, 188-192. page 191.
- **ASHTER, S. A. (2016)**. *Introduction to Bioplastics Engineering*. William Andrew.
- **BELIBI P. C., 2013**. Élaboration et caractérisation des bios films à base d’amidon de Manioc renforcés par des charges minérales bi et tridimensionnelles. *Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur /Ph D en Physique de l’Université de Yaoundé I*. 156p.
- **BIOPLASTICS E-BOOK**. « Durable Bioplastics ».
- **BIOPLASTICS. IN SBC**. *Site du Sustainable Biomaterials Collaborative* [En ligne]. <http://www.sustainablebiomaterials.org/criteria.guidelines.overview.php> (Page consultée le 9 août 2012).
- **BOUDJELLAS.LAHRECH N-E., 2017**. Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon. *Mémoire de mémoire en vue de l’obtention du diplôme de master en génie des procédés, UNIVERSITÉ de BLIDA I*. 64p.

- **BULÉON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V., BALL, S. 1998a** Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* 23(2), 855–112.
- **CAVALIER-SMITH, T. (1998).** *A revised six-kingdom system of life.* Biological Reviews. 73(3): p. 203-266.
- **CHEN, Y. J. (2014).** Bioplastics and their role in achieving global sustainability. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(1), 226-231. page 228.
- **EL HADJI BABACAR LY. (2008).** Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose. *Matériaux.* Institut National Polytechnique de Grenoble INPG.
- **EUROPEAN BIOPLASTICS (2009).** Position paper – **July 2009** – "Oxo-biodegradable" plastics. *In European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. [http://en.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2011/04/pp/Oxo\\_Positions\\_Paper.pdf](http://en.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2011/04/pp/Oxo_Positions_Paper.pdf)(Pageconsultée le 5 août 2012).
- **EUROPEAN BIOPLASTICS (2011).** Fact sheet-What are bioplastics? *In European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. [http://en.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2011/04/fs/Bioplastics\\_eng.pdf](http://en.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2011/04/fs/Bioplastics_eng.pdf) (Page consultée le 31 juillet 2012).
- **EUROPEAN BIOPLASTICS (S. D.).**Bioplastics - What differentiates bioplastics from conventional plastics? *In European Bioplastics. Site de l'European Bioplastics*, [En ligne]. <http://en.european-bioplastics.org/bioplastics/> (Page consultée le 10 août 2012).
- **EUROPEAN BIOPLASTICS, (2014).** Institute for Bioplastics and Biocomposites, Nova Institute
- **FABIEN, T.( 2011)** Formulation et morphologies de mélanges de polymères thermoplastiques à base d'amidon. Autre. INSA de Lyon, Page15-23.
- **FEUILLOLEY P., CESAR G., BENGUIGUI L., GROHENS Y., PILLIN H., BEWA S., JAMAL M., (2005).**Degradation of polyethyleneused for agricultural purposes, *J. Polym. Environ.*13: 349- 355, page 24.
- Graeme M. Walker ‘‘Bio ethanol: Science and technology of fuel alcohol’’ Graeme M .Walker & Ventus Publishing, ApS 2010, Vol 114 page 9-75.
- **HAMADOUCHE H., BOUARAB N., 2017.** Fabrication et caractérisation thermique d'un film biodégradable à base d'amidon de maïs renforcé par une organoargile. *Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme MASTER en Matériaux polymère, Université m'hamed Bougara–Boumerdes*, 57p.
- **ITCMI (2010).** ‘‘Fiche technique valorisée des cultures maraîchères et industriels’’, vol 10.
- **JEAN-LUC, W. CECILE H, DU PR. AURORE R ET DU PR. PATRICK G.**

- (2016). Polymères biobasés : amidon, PLA, PHA, PE et PET. Val Biom. Page13.
- **KALE, G., KIJCHAVENGKUL, T., AURAS, R., RUBINO, M., SELKE, S.E. AND SINGH, S.P. (2007).** Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Journals*, vol. 7, no 3, p. 255-277.
  - **L. AVEROUS, E. POLLET. BIODEGRADABLE POLYMERS. (2012).** Green Energy and Technology, DOI. Vol 14-39. Page18.
  - **LAPOINTE R., 2012.** Bioplastiques biodégradables, composables et bio sources pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles mais significatives. *Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en Environnement (M. Env.)*, 89p.
  - **LAPOINTE, R. (2012).** Bioplastiques biodégradables, compo-stables et bio-sources pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles mais significatives (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.) .page 13 et 27.
  - **MBEY J. A., 2013.** Films composites amidon de manioc-kaolinite: Influence de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films. *Thèse présentée à L'Université de Lorraine Pour l'obtention du titre de Docteur en Géosciences*.156p.
  - **MBOUGUENG P.D., 2009.** Influence des amidons natifs ou acétyles de manioc et de pomme d'éternelle sur les propriétés physico-chimiques et texturales de la pâte de bœuf (*bosindicus*). *Thèse Présentée à l'Université de N'Gaoundéré Pour obtenir le grade de Docteur de l'INPL et Docteur Ph D. de l'Université de N'Gaoundéré Spécialité : Procédés Biotechnologiques et Alimentaires*. 192p.
  - **METABOLIX (2012B).** Glossary of terms. In Metabolix. *Site de Metabolix*, [En ligne]. <http://www.metabolix.com/knowledge/default.aspx?ID=772> (Page consultée le 31 juillet 2012).
  - **MULOT, R. (2007).** La vérité sur les plastiques biodégradables. *Sciences et avenir*, no 725, p. 8-17.
  - **PIERCE, L.M. (2011).** PHA and bio-derived PE to drive bioplastic packaging market to 2020: study. In Packaging Digest. *Site de Packaging Digest*, [En ligne]. [http://www.packagingdigest.com/article/517396-PHA\\_and\\_bio\\_derived\\_PE\\_to\\_drive\\_bioplastic\\_packaging\\_market\\_to\\_2020\\_study.php](http://www.packagingdigest.com/article/517396-PHA_and_bio_derived_PE_to_drive_bioplastic_packaging_market_to_2020_study.php) (Page consultée le 31 juillet 2012).
  - **RABETAFIKA, H. N., PAQUOT, M., et DUBOIS, P. (2006).** Les polymères issus du végétal: matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 10(3), page186.
  - **RAZZA, F., & INNOCENTI, F. D. (2012).** Bioplastics from renewable resources: the benefits of biodegradability. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7(S3).

- **RECYC-QUEBEC (2005).** Sacs dégradables-Propriétés et allégations environnementales. *In* Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. [http://www.recycquebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzSacs\\_d915.pdf](http://www.recycquebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/zzSacs_d915.pdf) (Page consultée le 1 août 2012).
- **RECYC-QUEBEC (2007).** Avis sur les sacs d'emplettes-Évaluation de leur impact environnemental. *In* Recyc-Québec. *Site de Recyc-Québec*, [En ligne]. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/MICI/Avis-SacsEmplettes-RQ-2007.pdf> (Page consultée le 31 juillet 2012).
- **SAHORE, A. (2011).** Propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des tubercules et des amidons d'igname (*Dioscorea*). Editions Publi book.
- **SAJID ALAVI, PHD, SABU THOMAS, PHD, K. P. SANDEEP, PHD, NANDAKUMARKALARIKKAL, PHD, JINIVARGHESE, AND SRINIVASARAOYARAGALLA. (2015).** polymers for packaging applications. International Standard Book Number-13: 978-1-4822- 2455-9 (ebook -PDF).
- **SMITH, R. (2005).***Biodegradable polymers for industrial applications*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 531p.
- **STANOJLOVIC-DAVIDOVIC A. 2006.** Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles - Application à l'emballage alimentaire. *Thèse de doctorat en Physicochimie des Polymères, Ecole doctorale de l'Université du Sud Toulon-Var*, 201p.
- **SUSTAINABLE BIOMATERIALS COLLABORATIVE (SBC) (2012A).** Guidelines for Sustainable
- **TONUK, D., SHOVE, E., & SUCHMAN, L. (2016).** Making bioplastics: an investigation of material-product relationships (Doctoral dissertation, Lancaster University). Page8.
- **VERONIQUE. VAN HOOFF ET THEO GEERKEN. (2012).** Bioplastiques : Définitions, normes, possibilités d'application, impact sur l'environnement. Page21
- **VINÇOTTE,** [En ligne]. <http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-30f-a-Signification-de-OK-biobased.pdf> (Page consultée le 5 août 2012).
- **WERTZ, J. L. (2011).** L'amidon et le PLA: deux bio-polymères sur le marché. Note de synthèse. Document FARR-Wal.
- **YU, L. (2009).***Biodegradable Polymers Blends and Composites from Renewable resources*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 487p.