



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences Biologiques

**Etude structurale de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre
(FTIR-RDX)**

Présenté par :

- ✓ Maamri Salima
- ✓ Haga Aicha

Devant le jury composé de :

Président : Dr.**Boukhari Dalale**. M.A.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued.

Examineur: Dr.**Ghahtar Abdelouahab** .M.C.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued.

Promoteur : Dr.**Alia Zeid**.M.C.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued.

- Année universitaire 2021/2022-



Dédicace

Louange à dieu, seigneur de monde

. Je dédie mes salutations à mes camarades respectables.

. À ma chère mère et mon cher père, mes frères, mes sœurs, surtout mon frère aîné qui m'ont encouragé et soutenu pour terminer mon cheminement d'études, un grand merci à lui, mais mon père est le plus merci à eux.

. Ma mère bien-aimée qui a goûté beaucoup de fatigue et douleur et ne s'est pas souciée de sa maladie pour que j'atteigne ce stade, maman je sais que mots je dis ne valent rien comparé à ce que tu as fait pour moi merci et merci pour ton soutien.

. Mon cher père, qui a fait tout le travail acharné pour répondre à tous mes besoins quotidiens, merci pour tout.

. Je dédie mes salutations à tous ceux qui me souhaitent succès et paiement.


MAAMRISALIMA





Dédicace

Enfin, je dédie ce travail à ma mère, mon père, mes frères et toute ma famille, mes amies et mes professeurs, Merci beaucoup pour tout ce que vous m'avez donné.



HAGA AICHA

Remerciements

Avant tout, nous voudrions remercier Dieu de nous avoir inspiré la volonté et le courage de faire cet humble travail.

*Nous tenons à remercier le Dr **Ghahtar Abdelouahab**, qui nous a aidés à choisir le sujet de ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre superviseur, Dr. **Alia Zeid**, qui a aimablement accepté la supervision de ce travail, et ne nous a pas épargné ses sages conseils et opinions.*

*Nous remercions également l'ancien doyen de notre collège, le Dr **Djahra ali Boutlelis**, et le nouveau doyen, le Dr **Zaatar Abdelmalek**.*

*Nous tenons à remercier le chef du département cellulaire et moléculaire, le Dr **Telili Mohammed laïd**, ainsi que l'ancien chef du département de biologie, le Dr **Touhami Ammar laïche**, d'être toujours à nos côtés.*

Nous remercions également le jury d'avoir accepté l'évaluation de ce travail, et nous en profitons pour lui exprimer toutes les considérations que nous voyons :

*Dr. : **Boukhari Dalale** : Président : M.A.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oue*

*Dr. : **Ghahtar Abdelouahab** : Examinatrice : M.C.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued*

*. Dr : **Alia Zeid** : Promoteur : M.C.A, Université Echahid Hamma Lakhdar D'EL-Oued*

Nous adressons nos sincères remerciements aux administrateurs, au personnel et aux travailleurs du Collège des sciences de la nature et de la vie.

Il a également remercié le doctorant et responsable du laboratoire en charge de "Ter'at Hafida" à la Faculté des sciences exactes pour son aide pendant la période de travail, et il a également remercié les questions de laboratoire à la Faculté des sciences naturelles et de la vie.

Nous n'oublions pas de remercier tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien ce travail, de près ou de loin, même avec le sourire.

Le cercle de remerciements s'étend également aux honorables professeurs et à tous les étudiants de la Master class 2022

Résumé

Résumé

Le plastique est devenu le matériau moderne de prédilection car il permet d'atteindre un équilibre entre les besoins d'aujourd'hui, car c'est le matériau le plus utilisé dans notre vie quotidienne. On le trouve partout, malgré son importance dans nos vies, mais il contient des produits chimiques qui causent de nombreuses maladies qui tuent les micro-organismes.

Il est donc nécessaire de rechercher des matériaux qui remplacent les plastiques chimiques, qui sont des bioplastiques. Les bioplastiques sont un nouveau matériau d'une grande importance depuis le 24^{ème} siècle, car ils n'ont pas de toxines et de points négatifs tels que des problèmes de recyclage. Ainsi, dans ce travail, nous avons utilisé des pommes de terre afin d'obtenir du plastique végétal, et le but de ce travail est :

Une étude structurale des bioplastiques fabriqués à partir d'amidon de pomme de terre. Fabriqués bioplastiques à partir de matières organiques. Où nous avons fait une étude générale sur les plastiques et les bioplastiques, et nous avons également fait une étude générale sur les différentes technologies plastiques Meb-DRX-FTIR, chacune différente de l'autre, mais ayant presque les mêmes résultats.

La pomme de terre est l'une des plantes les plus riches en amidon. Dans ce travail, nous avons extrait l'amidon des pommes de terre afin de fabriquer des bioplastiques. Après l'avoir extrait, nous y avons ajouté des matériaux et l'avons mis à haute température, puis nous l'avons mis au four, puis on obtient une matière plastique souple. Et puis nous avons fait une analyse spectroscopique infrarouge (FTIR/ATR) du plastique, où ce dernier nous montre les groupes fonctionnels qui déterminent leurs bandes de transmission.

Mots-clés : Plastique, bioplastique, pomme de terre, amidon,(**FTIR/ATR**).

ملخص

أصبحت المواد البلاستيكية هي المادة الحديثة المختارة لأنها تتيح تحقيق التوازن بين احتياجات اليوم، حيث تعتبر أكثر المواد استعمالاً في حياتنا اليومية فهي موجودة في كل مكان، بالرغم من أهميتها في حياتنا إلا أنها تحتوي على مواد كيميائية تسبب الكثير من الأمراض التي تقتل الكائنات الحية الدقيقة. لذا يجب البحث على مواد تعوض البلاستيك الكيميائي، وهو البلاستيك الحيوي. تعد المواد البلاستيكية الحيوية مواد جديدة ذات أهمية كبيرة منذ القرن الرابع والعشرون، حيث لا تحتوي على سموم ونقاط سلبية مثل مشاكل إعادة التدوير. لذا استعملنا في هذا العمل البطاطا من أجل الحصول على بلاستيك نباتي، والهدف من هذا العمل هو:

-عمل دراسة هيكلية للبلاستيك الحيوي المصنوع من نشاء البطاطا. -صناعة البلاستيك الحيوي من مادة عضوية. حيث قمنا بدراسة عامة على البلاستيك والبلاستيك الحيوي، وأيضاً قمنا بدراسة عامة على تقنيات البلاستيك المختلفة **Meb-DRX-FTIR** تختلف كل واحدة منها على الأخرى ولكن لها نفس النتائج تقريباً.

تعتبر البطاطا من أكثر النباتات الغنية بالنشاء، حيث قمنا في هذا العمل باستخلاص النشاء من البطاطا من أجل صناعة البلاستيك الحيوي وبعد استخلاصها أضفنا بعض المواد إليها ووضعها في درجات حرارة عالية ثم نضعها في الفرن، وبعدها نتحصل على مادة بلاستيك لينة. وبعدها قمنا بعمل تحليل طيفي للأشعة تحت الحمراء، حيث يظهر لنا هذا الأخير المجموعات الوظيفية التي تحدد نطاقاتها النفاذية.

كلمات المفتاحية: البلاستيك، البلاستيك الحيوي، البطاطس، النشاء، الأشعة تحت الحمراء الطيفية.

Abstract

Plastic has become the modern material of choice because it allows to achieve a balance between the needs of today, as it is the most used material in our daily life. It is found everywhere, despite its importance in our lives, but it contains chemicals that cause many diseases that kill microorganisms.

Therefore, it is necessary to look for materials that replace chemical plastics, which are bioplastics. Bioplastics have been a new material of great importance since the 24th century, since they do not have toxins and negative points such as recycling problems. So, in this work we used potatoes in order to obtain vegetable plastic, and the purpose of this work is:

A structural study of bioplastics made from potato starch. Make plastics from organic material. Where we did a general study on plastics and bioplastics, and we also did a general study on the different Sem-DRX-FTIR plastic technologies, each different from the other, but having almost the same results.

Potato is one of the most starch-rich plants. In this work, we extracted starch from potatoes in order to make bioplastics. After extracting it, we added materials to it and put it at high temperature, then we put it in the oven, and then a soft plastic material is obtained.

And then we did an infrared spectroscopic analysis (FTIR/ATR) of the plastic, where the latter shows us the functional groups that determine their transmission bands.

Key word: plastic, microorganisms, bioplastic, Potato, starch, infrared spectroscopic.

Liste des figures

N°	Titre des figures	Page
01	Bioplastiques constitués de plastiques biodégradables et bio-sources.	12
02	Différentes classes de bioplastiques biodégradables.	14
03	Description du microscope électronique à balayage.	18
04	Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB).	19
05	Schéma de MEB conventionnel JSM 6400	21
06	Schéma de fonctionnement de MEB.	22
07	Spectromètre ft-ir ftir-6000 series.	22
08	Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR	23
09	Monkque d'un appareil à transformée de Fourier	25
10	Chambre de diffraction.	26
11	Structure chimique de l'amylose.	33
12	Structure chimique de l'amylopectine.	34
13	Matériel pour l'extraction de l'amidon.	35
14	Extraction de l'amidon	36
15	Réactifs Utilisées	37
16	Fabrication de bioplastique.	38
17	Spectromètre infrarouge à trasfermée de fourier (ATR).	39
18	Spectre IR-TF du l'échantillon de plastique E1:(noir).	39
19	Spectre IR-FT du l'échantillon de platique E2 (rouge).	40

Liste des tableaux

N°	Titre des tableaux	Page
01	Différentes classes de polymère issu des plantes	14
02	Propriétés du glycérol utilisé	34

Table de Matière

Dédicaces
Remerciement
Résumé et mots-clés
Liste des figures
Liste des tableaux
Introduction
Première Partie Synthèse Bibliographique

CHAPITER 01 Généralité sur le plastique et le bioplastique

1-Définition de plastique	7
1-1-Histoire du plastique	7
1-2- Types des plastiques	10
1-3-Avantages des matières plastiques.....	10
1-4- Inconvénients des plastiques.....	11
1-5-Utilisation de déchets plastique recyclés	11
2-Définition de bioplastique	12
2-1- Historique de bioplastique	13
2-2- Différents types de bioplastique	13
2-3-Classification de bioplastique	13
2-4-Bioplastiques pétrochimiques biodégradables.....	15
2-5-Applications des bioplastiques.....	15
2-6-Avantages et Inconvénients des bioplastiques.....	15
2-6-1- Avantages	15
2-6-2- Inconvénients.....	16

CHAPITER 02 Etude sur les différentes outils de caractérisation de plastique

1-Microscope électronique a balayage	18
1-1- Définition de MEB.....	18

1-2-Principe de fonctionnement	20
2- Spectromètres FT-IR	22
2-1-Description de spectromètre FT-IR	23
2-2-Principe de fonctionnement du spectromètre FT-IR.....	23
2-3- Applications industrielles.....	25
3-Généralité La diffraction des rayons X	26
3-1- Définition diffraction des rayons X (DRX)	26
3-2- Principe	27
3-3-Objectifs	27
3-4-Caractéristiques.....	28
3-5-Applications	28
3-6-Applications de la DRX	28

Deuxième Partie: Etude expérimentale

Chapitre 01 Méthodologie de travail

1-Etude sur la pomme de terre.....	33
1-1-Origine de la pomme de terre	33
1-2- Pomme de terre (solanum tuberosum)	33
2- Amidon.....	33
2-1-structure de l'amidon	
2-1-1-Amylose.....	34
2-1-2-Amylopectine.....	34
3- glycérol (glycérine)	35
4-Acide vinaigre (CH ₃ COOH).....	35
5- Hydroxyde de sodium (NaOH)	
6- Matriéles et Méthodes	36
6-1-Extraction de l'amidon de Pomme de terre	36
6-1-1-Matriéles Utilisés.....	36

6-1-2-Méthode	36
6-2-Fabrication de bioplastique	37
6-2-1-Réactifs Utilisées	37
6-2-2- Méthode	38
7- Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier	39
8. Composition chimique.....	41
Conclusion	42
Références bibliographiques.....	45

Introduction

Au cours des dernières décennies, la production de matières en plastique en utilisant des intrants renouvelables, a suscité l'intérêt de la communauté scientifique (**Dionisi *et al.*, 2005 ; Koller ,2017; Dietrich *et al.*,2017; Ebnesajjad,2012**).

Les plastiques biodégradables sont fabriqués à partir d'une biomasse, une ressource entièrement renouvelable. Les plastiques biodégradables sont beaucoup mieux pour l'environnement, car les bioplastiques émettent moins de gaz à effet de serre et se dégradent beaucoup plus rapidement et leurs recyclages nécessitent moins d'énergie. Les plastiques biodégradables peuvent être réalisés de manière plus efficace, ce qui leur donne un avantage évident (**Rabetafikaet *al.*, 2006 ; TonuK *et al.*, 2016 ; Ashter *et al.*, La pointe,2012**).

Ces dernières années, la fabrication de plastiques à partir de ressources renouvelables s'est avérée être un nouvel enjeu économique. Celui - ci est lié à la prise de conscience de l'impact des matériaux plastiques qui connaissent un réel essor mais dont le caractère polluant dû à un mauvais recyclage présente un risque pour notre planète (**BADAoui, 2012**).

Le plastique est composé de plusieurs produits toxiques polluants pour les sols, l'air et l'eau en plus c'est un matériau à longue durée de vie (biodégradabilité très lente), ses déchets représentent un réel danger pour la vie urbaine avec ses répercussions sur la santé publique, la faune et la flore terrestre et marine. Son enfouissement signifierait la préservation des matières nocives pour toujours. Le Programme Environnemental des Nations Unies a estimé 2006 que chaque mile carré d'océan contient 46.000 morceaux de plastique flottants. Plus d'un million d'oiseaux de mer et environ 100.000 mammifères marins meurent chaque année après l'ingestion ou l'enchevêtrement dans les débris de plastique (**GOUASMI, 2013 ; kranklin, 1998 ; P.M. Suramaian, 2000 ; EPA, 2003 ; Yakowitz,1990 ; J.Goumans *et al.*, 1991**).

Depuis les années 1950, les plastiques sont devenus une industrie de premier plan, influençant notre façon de vivre. C'est ainsi que les plastiques issus de la chimie du pétrole ont transformé de nombreux aspects de la vie quotidienne. En effet, leurs applications s'étendent dans des domaines variés tels que l'emballage, la construction et l'automobile. Ces plastiques ont pour inconvénient majeur, d'être issus d'une ressource non renouvelable dont l'extraction et l'utilisation produisent des gaz à effet de serre tels que le CO₂ qui contribuent au réchauffement global. De plus, la consommation accrue des plastiques fabriqués à partir des polymères dérivés du pétrole, engendre d'importants tonnages de déchets non biodégradables et difficiles à gérer dans des sites d'enfouissement car ils ne sont pas compostables. L'incinération des plastiques issus du pétrole peut conduire au dégagement des

composés toxiques pour l'environnement (**Biofondation, 2006 ; Wilde, 2003 ; Industrie, 2011**).

En raison des conséquences catastrophiques de la production de plastique, de nouvelles méthodologies et technologies devraient être développées afin d'améliorer les pratiques actuelles et de promouvoir un monde durable. En relation avec ce changement, l'économie circulaire est apparue comme l'un des concepts qui propose une alternative bénéfique dans le but de minimiser à la fois l'utilisation des ressources naturelles et les pollutions. L'importance des plastiques en tant que cas de référence pour l'économie circulaire est soulignée par le rapport important sur la nouvelle économie des plastiques (**Fondation Ellen, 2017 ; Heinrich, 2020 ; McDonough et al., 2002 ; McCallum w,2018**).

Entre 1990 et 2005, le terme bioplastique a été utilisé pour définir les plastiques ayant la capacité de se biodégrader. On nomme un polymère biodégradable celui que

Les microorganismes (bactéries, champignons ou microalgues) seront capables de dégrader entièrement. Lors d'une activité biologique, les enzymes sécrétées par les microorganismes décomposent le matériel. (**El-Harache, 2015 ; Végétal, R, 2007 ; janvier,2007 ; Bio-plastiques, C,2007 ; Bioplastics ,2008**).

En 2010, les bioplastiques représentaient 0,10 % du marché mondial des plastiques, on estime que leur production annuelle pourra atteindre 1,5 million de tonnes en France. Selon Forissier, les bioplastiques devraient représenter 80000 T voire même 500000 T. Pour les plus optimistes, en 2007, 905 000 T de bioplastiques sont attendus avec un taux de pénétration au marché des plastiques traditionnels de 11,8% au lieu de 0,16 %. (**EPA Environmental Protection Agency, 2011**)

C'est pour, que les matériaux à base d'amidon ont été introduits sur le marché pour des applications dans l'emballage comme alternatif. Mais la plupart de ces matériaux d'origine naturelle ont de faibles propriétés mécaniques et sont sensibles à l'humidité (**Djetoui et Djerboua, 2012**).

L'amidon se trouve stocké dans l'orange de réserve des végétaux tels que les céréales, les tubercules et les légumineuses. C'est un composé nutritionnel abondant, renouvelable et peu coûteux. Une de ses propriétés naturelles est la possibilité de former des films, propriété intéressante que l'on peut améliorer chimiquement tout en assurant au produit formé, sa biodégradabilité originelle. L'amidon est également utilisé dans de nombreux secteurs industriels (**Andréa, 2006**).

Notre étude est basée sur la production de bioplastique à partir de pomme de terre et l'objectif principal de ce travail est de fabriquer des bioplastiques à partir des matières organiques.

Pour atteindre cet objectif, nous avons effectué un certain travail, le plan d'action de deux parties :

La première partie Synthèse Bibliographique divisée en deux chapitres, Le premier chapitre englobe une généralité sur le plastique et de bioplastique, où nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à connaître, définition, les types utilisations, les avantages et les inconvénients ...etc des plastique et bioplastique.

Le Deuxième Chapitre regroupe une étude sur les différentes techniques des bioplastiques, où nous avons abordé dans cette partie pour connaître, la définition, le principe et mode d'action, des techniques... etc. Alors que, la partie expérimentale englobe deux chapitres, l'une abordé les méthodes d'extraction de l'amidon de pomme de terre et la méthode de fabrication du bioplastique. Ainsi que, le deuxième chapitre englobe les résultats et discussions. Enfin, ont clôturé par une conclusion générale et perspective.

CHAPITRE 01 :
Généralité sur le
plastique et la
bioplastique

1-Définition de plastique

Les matériaux plastiques jouent un rôle très important dans notre vie quotidienne, leurs applications sont de plus en plus vastes, la demande mondiale de ces matières augmente d'une année à une autre. Une matière plastique est un matériau susceptible de se déformer sous l'action d'une Force extérieure et de conserver la forme ainsi acquise lorsqu'on interrompt celle-ci. Dire d'une matière qu'elle est plastique signifie qu'elle peut être moulée ou modelée à volonté dans des formes déterminées. Ce sont des matériaux organiques constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomère, elles sont produites par transformation des substances naturelles, ou par synthèse directe à partir de substance extraite d'un pétrole, du gaz naturel, de charbon ou d'autres matières minérales (ADJOUDJ *et al.*, 2017).

1-1-Histoire du plastique

Le plastique est une ingénieuse invention née en 1860, on la doit à Alexander Parkes. Aujourd'hui nous utilisons 24,7 t/an de ce matériau en Europe, car le plastique est LE matériau du XXI^{ème} siècle. Il est à présent partout et est utilisé dans de nombreux secteurs.

1496 : Christophe Colomb rapporte de son second voyage qu'il existe en Amérique un arbre produisant un suc laiteux appelé ça-hu-chu par les indiens dont ces derniers se servent pour fabriquer des balles d'une gomme élastique à usage ludique.

1838 : Le chimiste et physicien français Henri Victor Regnault synthétise pour la première fois du PVC. Mais le succès n'est pas immédiat.

1839 : Charles Goodyear, chimiste américain, invente le procédé de vulcanisation (du caoutchouc par le soufre).

1860 : Alexander Parkes met au point un matériau pouvant être solide, liquide, rigide, flexible, résistant à l'eau, opaque etc. : la Parkésine. Il le présente ensuite lors de l'Exposition International Exhibition de Londres en 1862.

1865 : Paul Schützenberger prépare un acétate de cellulose, mais il est difficile à dissoudre et n'est donc pas utilisé. Il présente néanmoins des avantages : il est ininflammable et conserve mieux sa transparence et ses couleurs.

1870 : John Wesley Hyatt et son frère Isaiah inventent le Celluloïd à l'occasion d'un concours lancé quelques années plus tôt par la société Phelan & Collender. En effet, la guerre de sécession empêche l'importation de l'ivoire d'éléphant dont la société a besoin pour la

fabrication des boules de billard. Elle promet alors une récompense de 10000 dollars à celui qui trouverait un matériau capable de remplacer l'ivoire.

1880 : Le PVC ou Polychlorure de Vinyle est inventé. Ce nouveau matériau est plus flexible que les anciens, facile à fabriquer et recyclable.

1889 : Jean-Jacques Trillat obtient de la galalithe en durcissant la caséine (protéine du lait).

1890 : les Anglais Cross et Bewan découvrent une matière très filable et de consistance très sirupeuse qu'ils appellent Viscose.

1907 : Le belge Léo Baekeland invente un plastique auquel il donne son nom : la Bakélite. Ce matériau présente des particularités, il est thermorésistant, isolant et thermodurcissable. Il est également léger et semi-transparent. C'est pourquoi il est beaucoup utilisé, aujourd'hui encore, comme isolant électrique.

1908 : Jacques Brandenberger, restaurateur et chimiste suisse cherche à inventer un matériau souple et imperméable afin d'éviter que ses clients ne tâchent les nappes en renversant du vin. Il réalise de nombreuses expériences et crée enfin en 1908 la Cellophane, un matériau utilisé à présent pour la conservation des aliments.

Après la Première Guerre mondiale (1918) : Le prix du pétrole diminue et il devient donc la matière première utilisée pour fabriquer le plastique. De plus, c'est le matériau le plus facile à transformer. C'est le début de la pétrochimie.

1930 : En Wallace Carothers invente le Polyamide et le Polystyrène. Ce dernier a de bonnes performances thermiques, est léger, facile à travailler, insensible à l'humidité et perméable à la vapeur d'eau.

1931 : Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ou Plexiglas est conçu par William Chalmers. Il sert à fabriquer des pièces industrielles, des prothèses dentaires, la fibre optique... car il est transparent et résistant.

1933 : Le polyéthylène basse densité (PEBD) est inventé par les ingénieurs anglais E.W. Fawcett et R.O. Gibson. Le nouveau plastique est translucide, chimiquement inerte, facile à manier et résistant au froid.

1937 : Otto Bayer découvre comment faire d'une réaction chimique un plastique utilisable : le polyuréthane. On peut donner aux polyuréthanes grand nombre de textures et de duretés différents. Ils ont ainsi de nombreuses applications et sont utilisés par beaucoup d'industries.

1938 : En cherchant à combiner les propriétés de composés de carbone avec celles de composés de silicium, un chercheur américain, J.F. Hyde invente le Silicone.

Le chimiste Roy J. Plunkett travaillant pour la société Du Pont de Nemours découvre par hasard un matériau qui offre une grande résistance à la corrosion et à la chaleur : le polytétrafluoroéthylène. Il est ensuite commercialisé sous différentes marques dont la plus connue est Teflon.

1941 : la mélamine est créée. Son succès n'est pas immédiat mais apparaît dans l'immédiat après-guerre grâce à ses propriétés exceptionnelles de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques, à l'abrasion et au feu.

Après la Seconde Guerre mondiale (1945) : Les PVC, nylon, formica, tergal arrivent sur le marché pour pouvoir tout reconstruire vite et remplacer les matériaux tels que le bois, le métal, le verre ou les tissus naturels.

1946 : L'ABS (Acrylonitrile butadiène styrène) est inventé.

L'alliage résine + élastomère donne une matière brillante, esthétique, facile à nettoyer qui est très résistant aux rayures. Il est utilisé en industrie pour des produits présentant une bonne tenue aux chocs, relativement rigides, légers et moulés et dans les salles de bain.

1953 : Le polyéthylène haute densité (PEHD) est synthétisé par le prix Nobel de chimie allemand Karl Ziegler.

1954 : Giulio Natta et Karl Rehn, deux chimistes respectivement italien et allemand, obtiennent, un polypropylène à structure géométrique cristalline régulière.

Aujourd'hui, les déchets plastiques constituent plus de 7% de la masse totale des ordures ménagères ; mais, malheureusement, ils ne sont pas biodégradables.

Ils sont incassables, imputrescibles et ne craignent ni le gel, ni l'assèchement. Ils sont donc une source durable de pollution. Ils rejettent lors de leur dégradation des produits toxiques pour notre environnement et notre santé.

Il est à présent urgent de résoudre ce problème et de réduire notre consommation de plastique (CESARFRANCK, 2013).

1-2- Types des plastiques

Il existe trois types : Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères, elles ont des propriétés différentes.

a) -**Thermoplastique** : Ils ont la propriété d'être malléables lorsqu'on les chauffe, Une fois refroidis, ce sont des plastiques durs. Les thermoplastiques conservent leurs propriétés. Ils sont réversibles et facilement recyclables. Dans les thermoplastiques, il existe entre autres : Polycarbonate (utilisé pour les fours à micro-ondes), polychlorure de vinyle (utilisé pour l'isolation, et les contours de fenêtres), Polyéthylène (utilisé pour les sacs plastiques) (**Dumaine et al., 2011**).

b) -**Thermodurcissables**: se sont de un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois. Ils sont insolubles et une fois durci, on ne peut pas changer sa forme. Sont des résines utilisées dans l'industrie, qui, après polymérisation (montée en chaleur) ne reviendront pas à leur état initial (liquide ou pâteux). Quelques exemples : le Polyimide (circuits imprimés), le Polyester insaturé (fibres textiles) (**Dumaine et al., 2011**).

c)-**Élastomères** : Ils ont les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc c'est-à-dire qu'ils supportent de très grandes déformations avant rupture. Ils ont une contrainte : ils peuvent se déformer. Ils ont une bonne élasticité, grâce à la vulcanisation qui consiste à cuire avec différents agents chimiques les molécules pour les rendre flexibles. Les élastomères les plus utilisés sont : •Le caoutchouc naturel issu du latex •Le poly isoprène synthétique •Le polybutadiène •Le styrène •Butadiène.

1-3- Avantages des matières plastiques

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent :

- Polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques.
- Un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport.
- Bonne sécurité d'hygiène pour les emballages alimentaire.
- Longévité et durabilité.
- Résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact.

- Excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique.
- Coût de production relativement bas.
- la capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs.
- Matériau de choix pour l'utilisation de tous les jours, style de vie humain et matière plastique son actuellement inséparables (EPA, 2003).

1-4- Inconvénients des plastiques

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Les PVC dans le passé ont été employés dans des jouets pour les enfants en bas âge et il y a eu des soucis que ces phtalates peuvent être libérés quand ces jouets sont sucés (contact avec la salive). Des évaluations des risques sur les effets des phtalates sur l'environnement sont actuellement menées. L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante (EPA, 2003).

1-5-Utilisation de déchets plastique recyclés

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets justes après leurs achats.

D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La Réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources.

Aux Etats-Unis, 80% des déchets plastiques post-consommation sont envoyés à la décharge, 8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés. En plus de la nécessité de réduire les

quantités des déchets en plastique par élimination, la réutilisation et la revalorisation du plastique peut avoir plusieurs autres avantages :

- Conservation des énergies fossiles non-renouvelables, la production en plastique utilise 8% de la production mondiale du pétrole dont 4% comme matière première et 4% au cours de la fabrication.
- Réduction de la consommation énergétique.
- Réduction des déchets solides mis en décharges.
- Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO2), L'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO2) (EPA, 2003).

2-Définition de bioplastique

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 *et al.*, 2016).

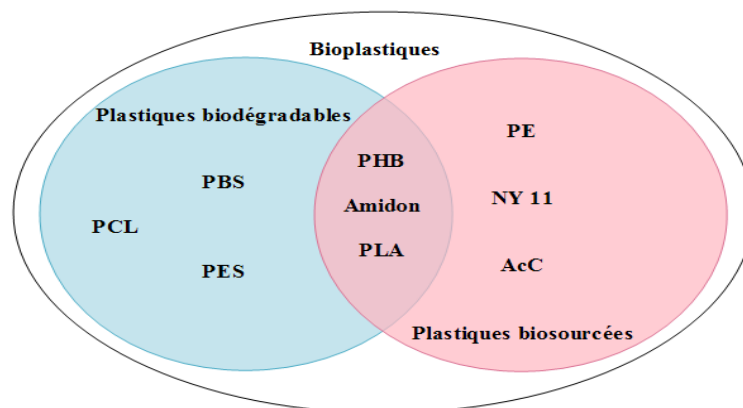


Figure 01 : Bioplastiques constitués de plastiques biodégradables et bio-plastique (international journal, 2014).

2-1- Historique de bioplastique

L'histoire de bioplastique a été décrite comme suite :

En 1941 : Henry Ford, a fabriqué les plastiques à partir de fèves de soja durant la seconde guerre mondiale qui a joué un rôle important dans le développement des bioplastiques.

En 1992 : Une société Metabolix, biosciences a fourni des solutions aux besoins des mondes pour les matières plastiques, les produits chimiques et de l'énergie.

En 2000 : La société Metabolix a lancé les programmes de recherche pour le développement des cultures industrielles d'ingénierie pour la production de bioplastiques.

En 2005 : Toyota a commencé à réaliser une usine pilote dans la ville de Toyota Hirose (Japon) pour tester la facilité de production de bioplastiques.

En 2006 : LONDON-NEC Corporation a mis au point un matériau bioplastique renforcé par les fibres, pour réduire l'impact environnemental des téléphones mobiles.

En 2010 : Cardia bioplastics CBMM fabrication (Malaisie) a développé la fabrication de produits bioplastiques (**Rajendran,N et al., 2012**).

2-2- Différents types de bioplastique

Il existe donc trois groupes de bioplastiques :

1- Les plastiques biosourcés non biodégradables, tels que les plastiques traditionnels : bio-PE, PA, TPU, TPE. De nouvelles matières sont en développement tel que les Bio PP et le PEF.

2- Les plastiques biosourcés et biodégradables, qui sont des polymères à structure innovante : PLA, PHA, PBS, compoûns base amidon) ;

3- Et les plastiques issus de ressources fossiles et biodégradables : PBAT, PCL).

2-3-Classification de bioplastique

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 (02) représente les quatre groupes des plastiques biodégradables (**La pointe,R, 2012**).

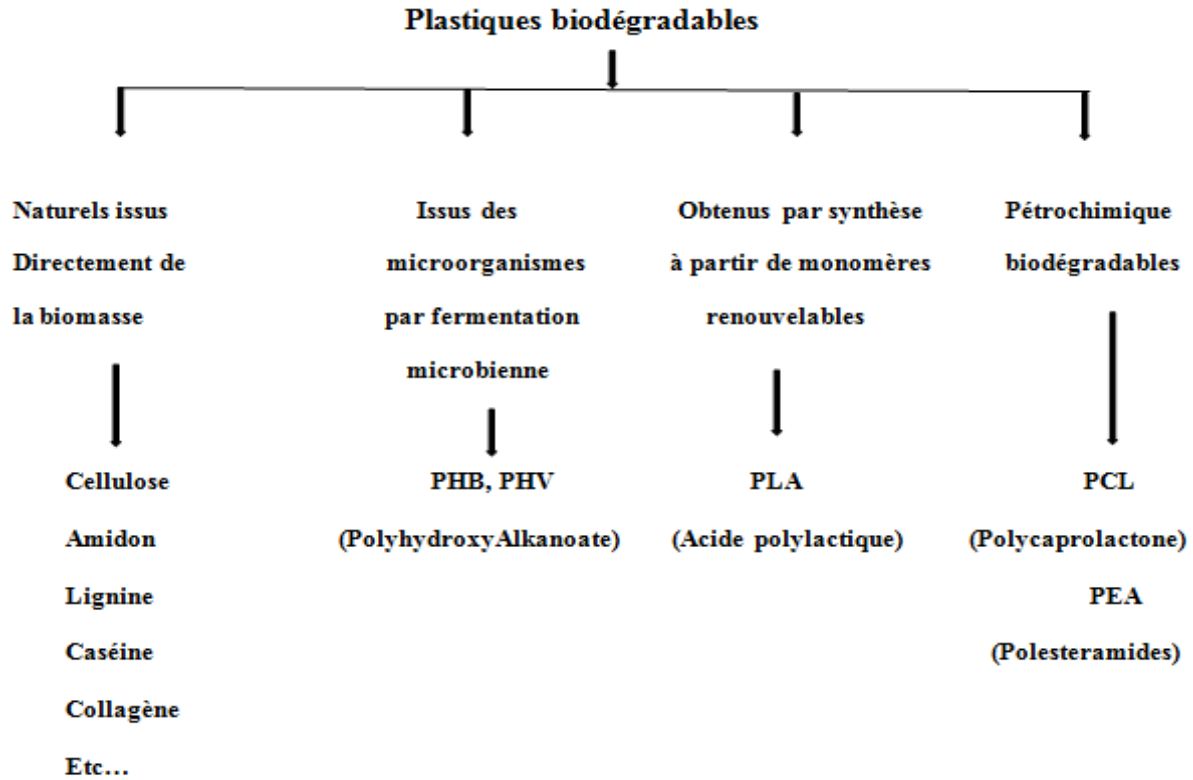


Figure02 : Différents classes de bioplastiques biodégradables (La pointe,R, 2012).

- 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 01 (Rabetafika *et al.*, 2006).

Tableau 01 : Différents classe de polymère issu des plantes (Rabetafika *et al.*, 2006).

Différentes classes de polymères issus des plantes					
Polysaccharides (plantes/algue)	Polysaccharides (par fermentation microbienne)	Protéines	Polyphénols	Polyesters	Autres polymères
Amidon, Cellulose, Agar, Alginate, Carraghénane, Pectine, Gommès, Konjac	Xanthane, Dextrane, Gellane, Curdlan, Pullulane, Elsinane	Zéine, Gluten, Polyacides aminés	Lignines, Tannins, Acides humiques	Polymères d’acides lactiques (PLA) Polyhydroxy alcanoates (PHA)	Polymères synthétisés à partir d’huile (nylon) Polyisoprènes : caoutchouc

- Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne :

Ce groupe de bioplastiques est constitué de la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA), dont le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxybutyrate-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 **(La pointe,R, 2012)**.

- Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables :

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

2-4-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'usage des polymères conventionnels et la propriété d'être dégradée par les microorganismes **(Feuilloy et al., 2005)**.

2-5- Applications des 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 :

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

2-6- Avantages et Inconvénients des bioplastiques

2-6-1- Avantages

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

- Les bioplastiques sont renouvelables, Compostables 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 biosourcé (bio-PET) sont similaires aux plastiques à base de fossiles et peuvent être recyclés de la même manière que les plastiques classiques.
 - Les bioplastiques biosourcés 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 (Ashter *et al.*, 2016).**

2-6-2- 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 al.*, 2015).

CHAPITER 02 :

Etude sur les différents

Outils de caractérisation de

plastique

1-Microscope électronique abalayage

1-1- Définition de MEB

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM pour Scanning Electron Microscopy en anglais) est une technique de microscopie basée sur le principe des interactions électrons matière (AGOUAR, 2013).

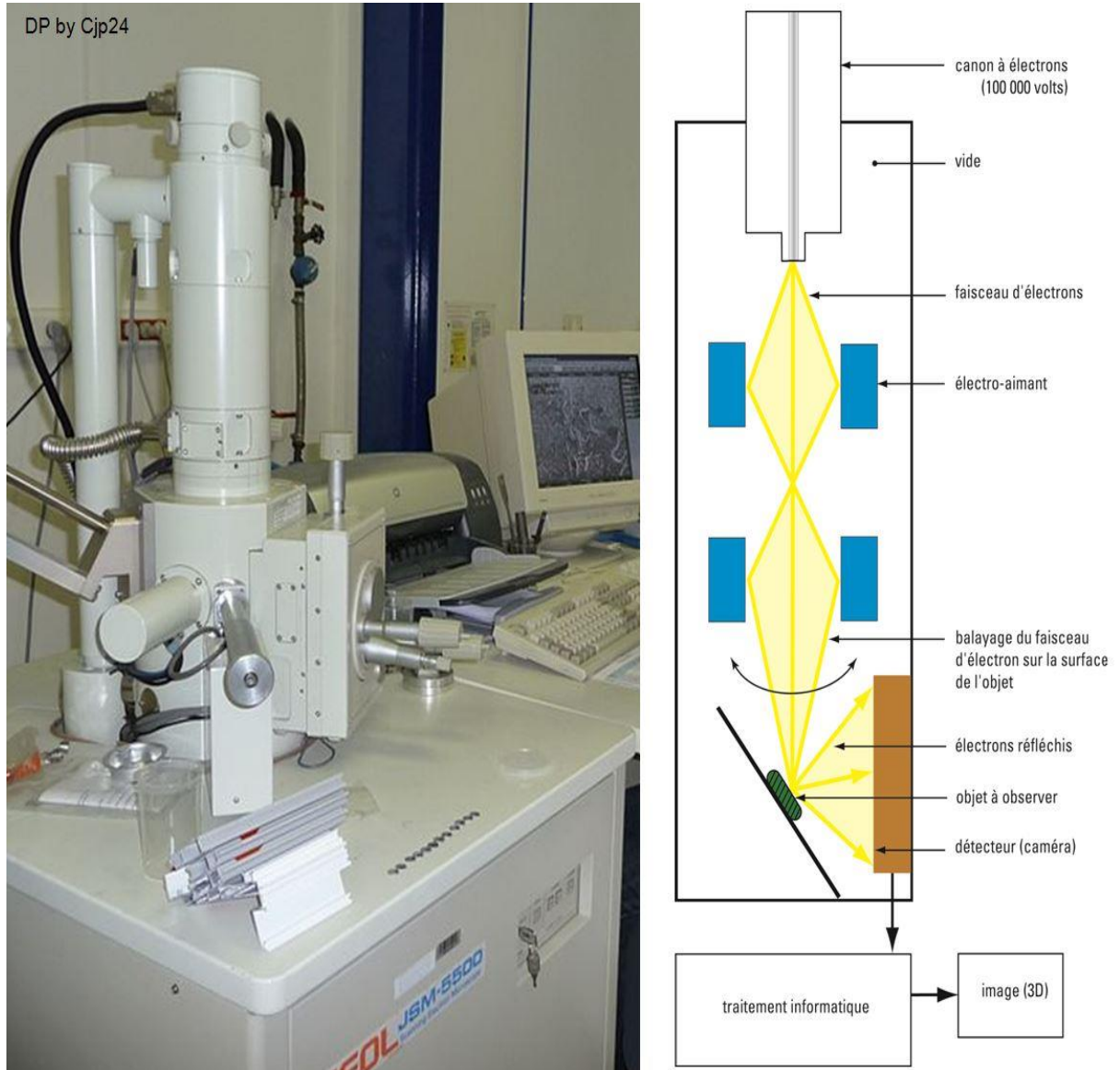


Figure 03 : Description du microscope électronique à balayage.

Constitution d'un microscope électronique à balayage (MEB). Montre les différentes parties constitutives du MEB et qui sont :

- Une colonne maintenue sous vide.

- Une source d'électrons.
- Un dispositif haute tension pour l'accélération des électrons.
- Un ensemble de lentilles électroniques pour former le pinceau fin et intense ;
- Un condenseur final (objectif) et un diaphragme de petit diamètre qui permet de focaliser le pinceau fin sur la surface à examiner ;
- Un dispositif de réflexion piloté par un générateur de balayage ;
- Un platine porte objet mobile ;
- Un détecteur d'électrons et un dispositif d'amplification du signal rapide et à faible bruit ;
- Un système de visualisation d'image ;
- Un détecteur d'électrons rétro diffusés et d'un détecteur de rayons X (AGOUAR, 2013).

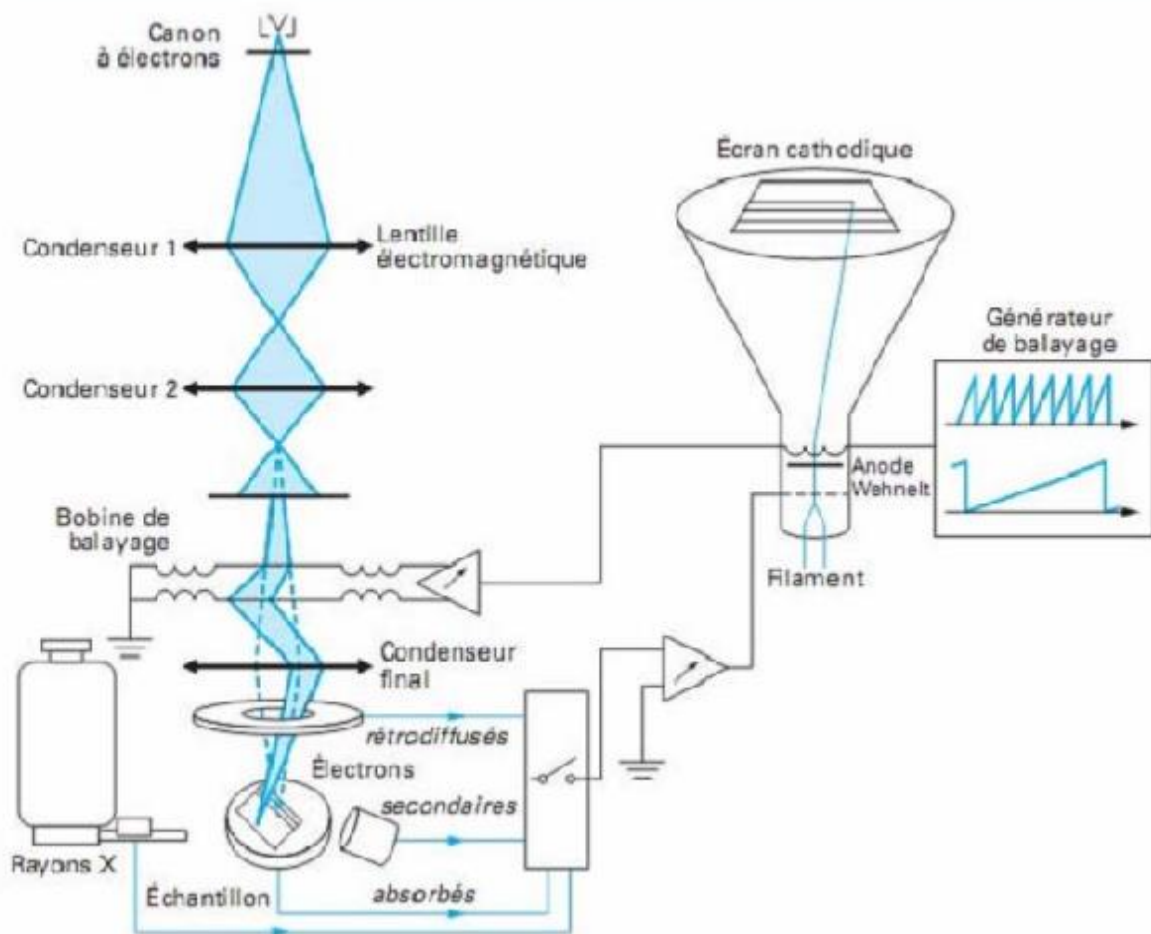


Figure 04 : Schéma de principe d'un microscope électronique à balayage (MEB).
(AGOUAR, 2013).

1-2-Principe de fonctionnement

Un microscope électronique à balayage fournit des informations sous forme d'images lumineuses, résultant de l'interaction d'un faisceau d'électrons avec un volume microscopique de l'échantillon étudié. Il est constitué d'une enceinte sous vide secondaire où un faisceau électronique est mis en forme par des lentilles électro-magnétiques pour exciter l'objet à étudier. Le faisceau d'électrons est focalisé sur la surface de l'échantillon sous forme d'une tache (spot), déplacée ligne par ligne de façon à balayer une surface rectangulaire. La source d'électrons est un filament de tungstène parcouru par un courant de chauffage. Le wehnelt, plaque percée d'un orifice et portée à une tension positive de quelques centaines de Volts, est placé à proximité de la pointe du filament. L'accélération des électrons est réalisée par une deuxième plaque percée également d'un orifice, et portée à un potentiel ajustable (pour le MEB de l'Ecole 0,5 à 30 kV). Le flux d'électrons est ensuite limité par les diaphragmes et focalisé sur l'échantillon à l'aide de différentes bobines électromagnétiques.

Des bobines défectrices en x et en y permettent de déplacer le pinceau électronique à la surface de l'échantillon.

Cet appareillage permet la détection d'élément dont le numéro atomique est supérieur à celui du béryllium ($Z = 4$) sur une profondeur d'environ 3 μ m et l'imprécision sur les compositions est de l'ordre de 1% pour les cas d'échantillons métalliques, polis. Des composés binaires sont utilisés comme étalons pour effectuer des corrections sur les valeurs quantitatives obtenues par EDS (**Bouchaala, 2017**).

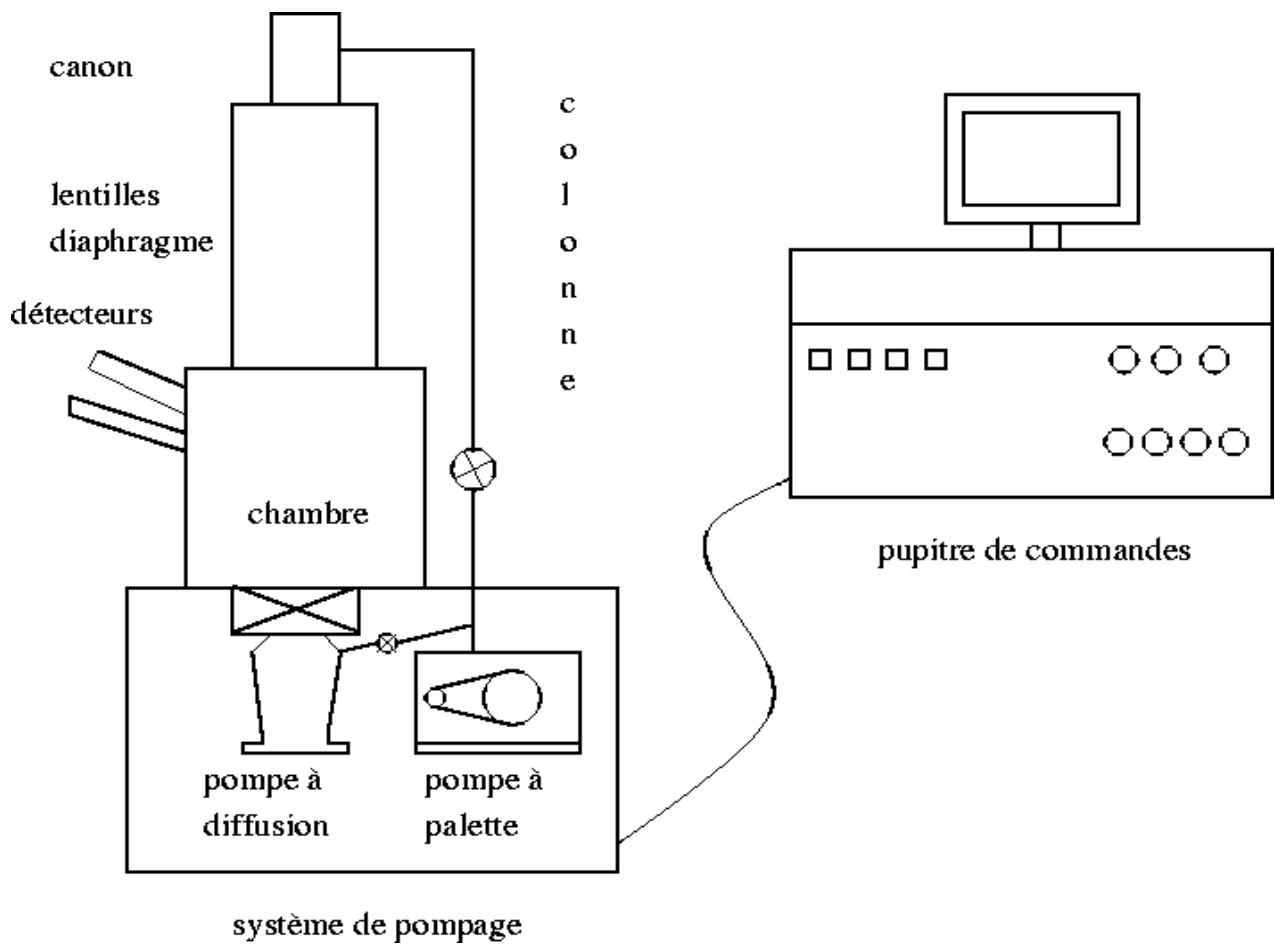


Figure 05 : Schéma de MEB conventionnel JSM 6400

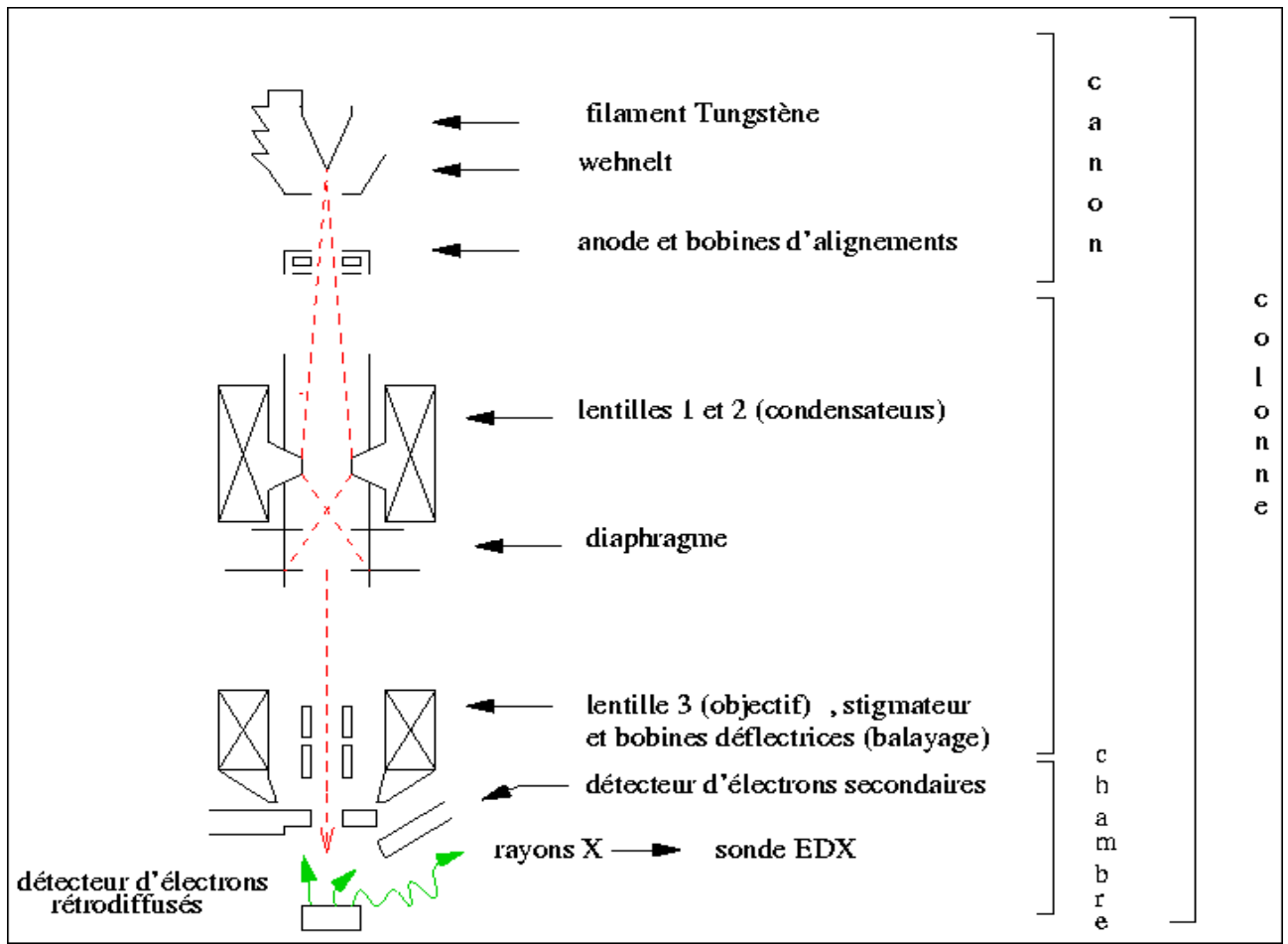


Figure06 : Schéma de fonctionnement de MEB (Bouchaala, 2017).

2-Spectromètres FT-IR

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) est une technique de mesure qui utilise l'interaction de lumière IR avec les vibrations moléculaires et permet l'acquisition de spectres Infrarouges. Le signal mesuré est un interférogramme. Le spectre IR est calculé en utilisant la transformée de fourrier (Batzias, 2007).



Figure 07 : Spectromètre FT-IR FTIR-6000 Series (Directindustry.FR, web).

2-1-Description de spectromètre FTIR

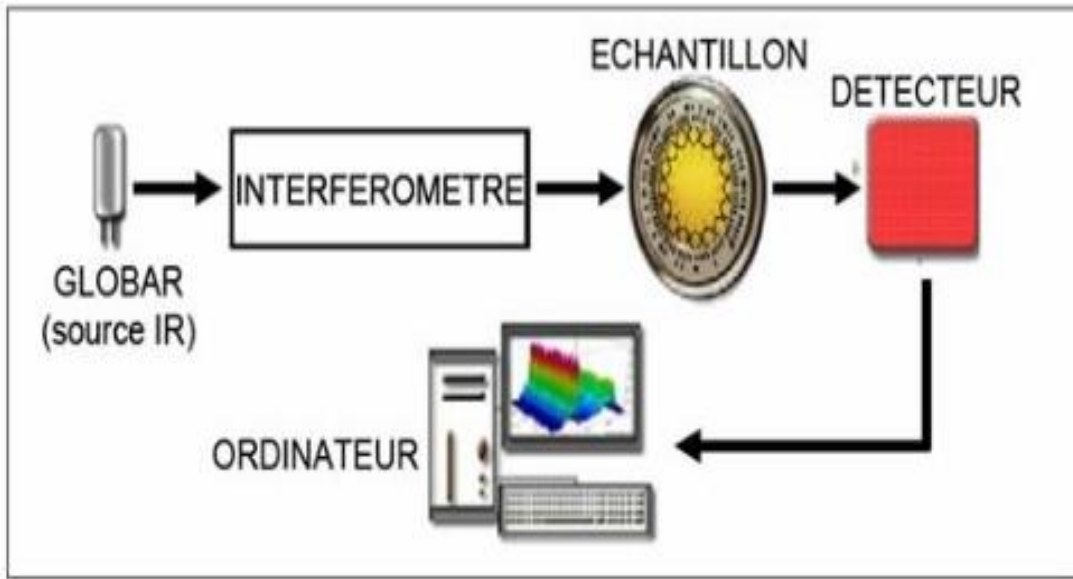


Figure 08 : schéma de principe d'un spectromètre FT-IR

Un spectromètre à transformée de Fourier comporte essentiellement cinq parties (Figure08) :

- Une source lumineuse,
- Un dispositif permettant de générer les interférences (l'interféromètre).
- Un compartiment d'échantillon qui permet d'accueillir plusieurs types d'accessoires dépendant du mode des mesures et de la nature de l'échantillon.
- Un détecteur ou capteur photosensible : les détecteurs les plus utilisés sont : les détecteurs (DTGS) et les détecteurs (MCT) à l'azote liquide.
- Le convertisseur qui transforme le signal analogique en un signal numérique (Pengthamkeerati, 2008).

2-2-Principe de fonctionnement du spectromètre FT-IR

Les spectromètres infrarouges à transformée de Fourier correspondent à un montage optique à simple faisceau qui comporte comme pièce essentielle un interféromètre- souvent de type Michelson -placé entre la source et l'échantillon.

Les radiations issues de la source polychromatique viennent frapper une séparatrice, constituée d'un film semi-transparent de germanium déposé sur une lame de KBr. Ce

dispositif permet de générer deux faisceaux dont l'un se dirige vers un miroir fixe et l'autre vers un miroir mobile dont on fait varier la distance à la séparatrice. Ces deux faisceaux, recombinaés ensuite sur le même trajet, traversent l'échantillon avant de venir frapper le détecteur qui reçoit l'intensité lumineuse globale. Le cœur de l'interféromètre de Michelson est le miroir mobile, seule pièce en mouvement, qui oscille au cours du temps entre deux positions extrêmes.

Lorsque sa position est telle que les chemins empruntés par les deux faisceaux ont même longueur, la composition de la lumière sortant de l'interféromètre est identique à la lumière qui y entre. Par contre, lorsque le miroir mobile quitte cette position particulière, la lumière sortante a une composition spectrale qui dépend du déphasage entre les deux voies :

Le signal transmis au cours du temps par le détecteur est traduit sous forme d'un interférogramme, $(Int. Totale) = f(\delta)$, δ représentant la différence de trajet optique entre les deux voies. La gestion du banc optique et l'acquisition des données est réalisée par une interface électronique spécifique. Pendant le déplacement du miroir, un convertisseur ADC échantillonne l'interférogramme sous forme de milliers de points. Chacune de ces valeurs correspond à une position du miroir et représente l'intensité globale qui a traversé l'échantillon. Il s'agit formellement du second membre d'une formidable équation linéaire dont les termes correspondent aux intensités des n différentes longueurs d'onde (choisies en nombre fini) pour la position considérée du miroir et après absorption par l'échantillon. A partir de ces milliers de valeurs, un microprocesseur spécialisé exécute, en moins de temps qu'il ne faut pour le dire, le calcul d'une matrice géante en suivant un algorithme particulier de transformée de Fourier rapide, dû à Cooley, pour conduire aux amplitudes de chaque longueur d'onde de la bande spectrale étudiée. Compte tenu d'un facteur de résolution imposé par la méthode de calcul, on obtient la représentation classique du spectre $I = f(\lambda)$ ou $I = f(\nu)$.

Selon le théorème de Nyquist, il faut au moins deux points par période pour retrouver, par calcul, une longueur d'onde donnée du spectre. Pour obtenir le spectre d'un échantillon, équivalent à celui obtenu avec un appareil double faisceau, on enregistre deux spectres des intensités transmises : le premier, sans échantillon (fond d'absorption, background en anglais) et le second, avec l'échantillon. Le spectre traditionnel, en % de T, est issu de la comparaison des deux spectres précédents (**Baghadad**).

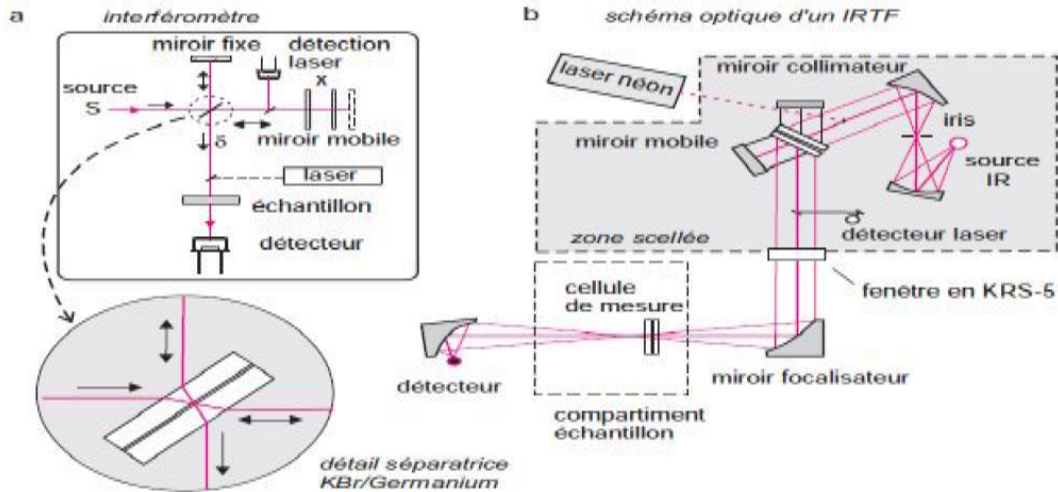


Figure 09 : Monnaie d'un appareil à transformée de Fourier (LAIDI, 2017).

Les informations tirées des spectres sont de deux sortes :

- Informations qualitatives : Les longueurs d'onde auxquelles l'échantillon absorbe, sont caractéristiques des groupes chimiques présents dans le matériau analysé. Des tables permettent d'attribuer les absorptions aux différents groupes chimiques présents.
- Informations quantitatives : L'intensité de l'absorption à la longueur d'onde caractéristique est reliée à la concentration du groupe chimique responsable de l'absorption.

En mesurant l'aire du signal caractéristique on peut, si on connaît l'épaisseur de la couche, comparer la proportion d'un groupement chimique donné dans plusieurs échantillons ou si on a une composition constante avoir une idée de l'épaisseur des films les uns par rapport aux autres (Baghadad).

2-3- Applications industrielles

La Spectroscopie FT-IR est largement utilisée en raison de sa fiabilité et sa polyvalence d'analyser de nombreux types des échantillons. Le spectromètre FT-IR est souvent le premier instrument utilisé pour identifier un polymère ou un composé organique inconnu. Dans les industries de raffinages et pétrochimiques, la spectroscopie FT-IR permet d'identifier les résines, les résidus, les aromatiques etc (Geo et al., 1994).

3-Généralité La diffraction des rayons X

3-1- Définition diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X ou DRX est une technique analytique basée sur la diffraction des rayons X par la matière notamment lorsque celle-ci est cristalline. Son objectif est d'étudier les différentes phases de la matière.

La diffraction des rayons X est une diffusion élastique. Ce terme désigne le fait que les photons ne perdent pas d'énergie, leur longueur ne change pas. Cela donne des interférences autant marquées que la matière est ordonnée. En ce qui concerne les matériaux cristallins, on parle de diffusion.

La diffraction des rayons X permet donc d'obtenir des informations quantitatives que l'on retrouve dans l'arrangement même des éléments d'un matériau. On retrouve également des informations qualitatives qui permettent d'identifier les différents composés cristallins d'un matériau et leurs formes cristallographiques.

L'appareil de mesure est appelé chambre de diffraction lorsqu'il est photographique et diffractomètre lorsqu'il comporte un système de comptage des photons. Les données obtenues forment un diagramme de diffraction ou diffractogramme.

Généralement, la technique de la diffraction des rayons X est utilisée dans les domaines de la céramique, de la géochimie, de la métallurgie, du médical etc (**analytice, web**).



Figure 10 : chambre de diffraction (LAIDI, 2017).

3-2- Principe

La diffractométrie de rayons X est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X par des plans réticulaires de la matière, distancés de (d). Elle consiste à bombarder l'échantillon en poudre avec des rayons X de longueur d'onde, et à analyser l'intensité des rayons X qui est diffusée selon la relation de Bragg : $2d \sin(\theta) = n\lambda$. Le diffractogramme enregistré représente l'intensité détectée en fonction de l'angle de déviation 2θ du faisceau.

La condition pour que les radiations soient en phase s'exprime par la loi de Bragg :

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

n : Nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction.

λ : Longueur d'onde du rayonnement utilisé (nm)

d_{hkl} : Distance entre les plans réticulaires d'une même famille désignée conventionnellement par les indices de Miller h, k, l.

θ : angle de diffraction.

La valeur de d_{hkl} dépend du paramètre de la maille et de mode de réseau.

La diffraction des rayons X est une méthode de caractérisation structurale dans le domaine des matériaux. Cette méthode de caractérisation ne s'applique qu'aux matériaux cristallisés (mono ou poly cristallins). Cette étude a pour but de préciser la structure des couches, de mesurer les paramètres de maille et la taille des cristallites.

Elle doit aussi permettre d'examiner l'état de contrainte des dépôts.

La diffraction des rayons X est une technique d'analyse non destructive pour l'identification et la détermination quantitative et qualitatives des différentes formes cristallines présentes dans un solide. L'appareil de mesure s'appelle un diffractomètre (Megdouda *et al.*, 2020).

3-3-Objectifs

- Caractérisation structurale des matériaux : identification des phases cristallines au sein d'un échantillon ;
- Structure du système analysé : paramètres de maille, positions atomiques ;
- Transitions de phases, ...

3-4- Caractéristiques

- Source : Radiation $K\alpha$ du cuivre ;
- Haute précision du goniomètre ;
- Vitesse de balayage 2 élevée du goniomètre et rapidité de la mesure ;
- Simplicité de préparation de l'expérience ;

L'appareil est piloté par le logiciel permettant l'acquisition et le traitement des données.

3-5- 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 ;
- pour le suivi de production dans une usine (contrôle de la qualité du produit) : dans les cimenteries, les fabriques de céramiques...
- 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).

3-6- Applications de la DRX

Identification de phases cristallines

Principes de l'identification des phases

L'idée d'utiliser la diffraction des rayons X pour identifier une phase fut développée au début du XXe siècle de manière indépendante par Albert Hull en 1919 d'une part, et par Peter Debye et Paul Scherrer d'autre part. En raison de la guerre, la publication et la diffusion des journaux scientifiques était difficile ; chronologiquement, c'est Hull qui publia le premier ses travaux, mais la méthode porte le nom de Debye et Scherrer.

Une poudre formée d'une phase cristalline donnée va toujours donner lieu à des pics de diffraction dans les mêmes directions, avec des hauteurs relatives à peu près constantes. Ce diagramme de diffraction forme ainsi une véritable signature de la phase cristalline. Il est donc possible de déterminer la nature de chaque phase cristalline au sein d'un mélange (mélange de poudre ou échantillon massif polyphasique), à condition d'avoir auparavant déterminé la signature de chaque phase.

La détermination de cette signature peut se faire soit de manière expérimentale (mesure d'un produit pur dans des conditions idéales), soit par simulation numérique à partir de la structure cristallographique connue - structure ayant elle-même pu être déterminée par diffraction X (cf. ci-dessous). Cette signature est consignée dans une fiche sous la forme d'une liste de pics ; la position en 2θ est convertie en distance interréticulaire d par la loi de Bragg, afin d'avoir une valeur indépendante de la longueur d'onde des rayons X (et donc du type de source de rayons X utilisée). L'intensité I de chaque pic est exprimée en pourcent %, parfois en pourmille ‰, 100 % (ou 1 000 ‰) étant la hauteur du pic le plus intense. Cette liste de pics est souvent désignée par le terme « liste de d - I ». On constitue ainsi des bases de données, et le diagramme mesuré sur le produit inconnu est comparé de manière informatique à toutes les fiches de la base de données. La base de données la plus complète à l'heure actuelle (2004) est la Powder diffraction file (PDF) de l'ICDD (ex-JCPDS : Joint committee on powder diffraction standards, ex- comité E4 de l'ASTM), avec plus de 150 000 fiches (dont cependant de nombreuses redondances).

L'intérêt de cette méthode est qu'elle permet de distinguer les différentes formes de cristallisation d'un même composé (par exemple pour la silice, distinguer le quartz de la cristobalite). Cependant, elle ne peut généralement pas permettre d'identifier des composés amorphes. Cette technique est donc complémentaire de l'analyse élémentaire.

La procédure d'identification des phases se fait en deux étapes : une étape de recherche dans une base (search), puis une confrontation des fiches probables avec ce qui est possible chimiquement (match) ; on parle donc fréquemment de search/match pour désigner cette procédure.

Au final, c'est l'utilisateur qui détermine si un produit est présent ou pas : en raison des possibilités de confusion (plusieurs produits très différents pouvant avoir des signatures très proches), un algorithme automatisé ne peut pas prendre seul la décision. C'est en dernier ressort la compétence de l'utilisateur, son habileté et sa connaissance de l'échantillon qui interviennent.

Dans certains domaines, on veut simplement savoir si l'on n'a que la ou les phases prévues et pas d'autre (notamment, problème des polymorphes) dans le suivi de la production pharmaceutique. Dans ce contexte, il suffit d'établir une liste de pics sur le diffractogramme du produit inconnu, que l'on compare à une liste de pics établie sur le diffractogramme d'un produit étalon (c'est-à-dire dont la composition chimique est maîtrisée) (**techno-science, wib**).

Deuxième partie



Etude expérimentale

Chapitre 01 :

Méthodologie de travail

1-Etude sur la pomme de terre

1-1-Origine de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante annuelle d'origine sud-américaine. Elle a été découverte au Pérou pour la première fois en 1533 par l'espagnol Pedro de Cierzac. Ainsi depuis les Andes péruviennes où les Incas l'employaient comme aliment, elle fut ramenée en Europe (Espagne) par les navigateurs espagnols en 1534, où elle est cultivée par les moines de Séville en 1573, sous le nom de Papa. Depuis lors, la pomme de terre va conquérir l'Europe, d'abord l'Espagne où elle prendra le nom de patata, puis l'Italie où elle est désignée tartaufle, l'Irlande (potato), l'Allemagne puis la France (**LAHOUEL, 2015**).

1-2- Pomme de terre (*Solanum tuberosum*)

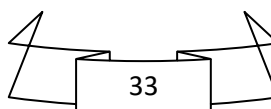
La pomme de terre se situe au 4^{ème} rang de l'ensemble des cultures vivrières dans le monde derrière le maïs, le blé et le riz (**Jean,2001**). Elle est la première culture non céréalière au monde d'origine de l'Amérique du sud. C'est une plante vivace de la famille solamacées de genre solanum tuberosum pouvant atteindre un mètre de hauteur. La pomme de terre est riche en amidon et en oligo-éléments comme le potassium, le phosphore, le Fer et le magnésium (**ITCMI, 2010**).

2- Amidon

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose $C_6H_{12}O_6$. Il est la principale substance glucidique de réserve des plantes supérieures. L'amidon représente une fraction pondérale importante des matières premières agricoles. On le trouve stocké dans les organes de réserve des végétaux tels que les céréales (30-70% de la matière sèche), les tubercules (60-90 %) et les légumineuses (25 à 50%). L'amidon constitue la principale source d'énergie pour la vie animale et la moitié de l'amidon produit industriellement est destinée à l'alimentation humaine. C'est un composé nutritionnel abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d'empois d'amidon granulaire et comme matières sucrantes, liantes, support lorsqu'il est utilisé sous forme hydrolysé. L'amidon est également utilisé dans de nombreux secteurs industriels non-alimentaires la production papetière, l'industrie pharmaceutique, cosmétique, textile etc (**site web**).

2-1-Structure de l'amidon :

L'amidon est un homopolymère du D-glucose. Il est formé de deux polymères de structures primaires différentes : l'amylose et l'amylopectine. L'amylose est une molécule quasi linéaire tandis que l'amylopectine est ramifiée. Il faut noter que l'amidon contient



également des composants mineurs (lipides, protéines et minéraux) dont les teneurs varient avec l'origine botanique et la technologie d'extraction. La teneur en amylose varie également avec l'origine botanique de l'amidon entre 13 % et 35 %. L'amidon se présente sous forme de granules de taille variant de 1 à 100 μm qui ont une structure semi cristalline qui résulte de l'organisation spatiale des macromolécules d'amylopectine et d'amylose (S Jenkins *et al.*, 1995).

2-1-1-Amylose

L'amylose est généralement décrite comme une macromolécule linéaire constituée de résidus D-anhydroglucopyranose associés entre eux par la liaison α [1-4], elle représente 20% de la molécule d'amidon.

Une extrémité de la chaîne porte le groupement pseudo-aldéhyde réducteur, l'autre, un résidu sans groupement réducteur.

Son degré de polymérisation (DP) varie entre 200 à 600 résidus anhydroglucopyranose suivant l'origine botanique (Alkins *et al.*, 1996).

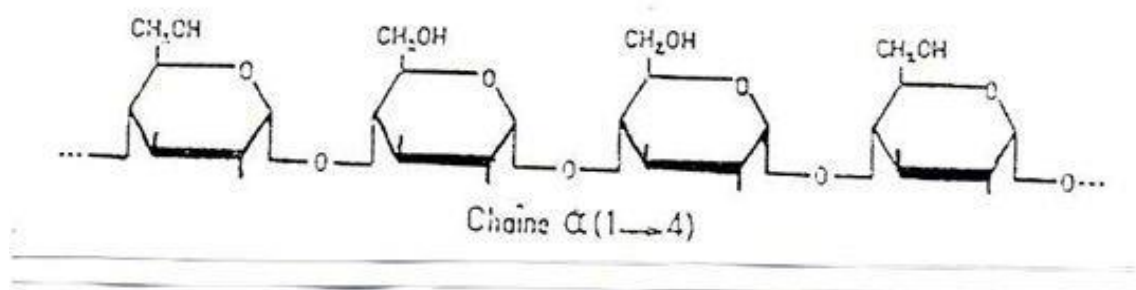


Figure11 : structure chimique de l'amylose.(Alkins et al., 1996).

2-2-1-Amylopectine

L'amylopectine est un polymère hétérogène de structure ramifiée. C'est une macromolécule dans laquelle les unités anhydroglucose sont liées entre elle par des liaisons α [1-4] en des chaînes non linéaires ou ramifications, greffés les autres par des liaisons α [1-6].

Le nombre de cette liaison α [1-6] représente 5 à 6% de l'ensemble de la liaison de l'amylopect (Bank *et al.*, 1975).

Cette macromolécule d'amylopectine est généralement considérée comme la plus volumineuse des molécules biologiques (Colonna *et al.*, 1986).

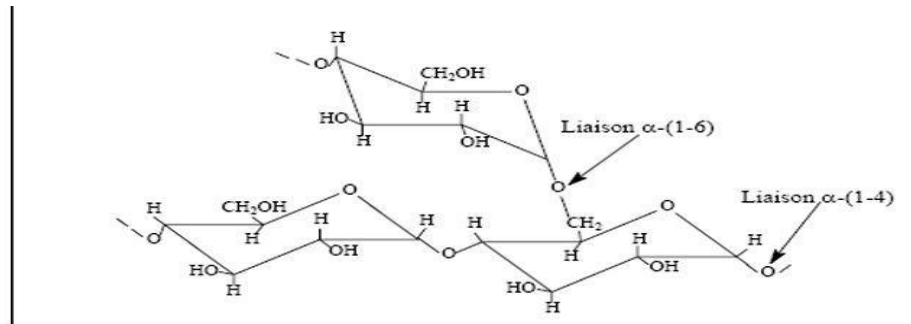


Figure 12 : structure chimique de l'amylopectine.(Colonna *et al.*, 1986).

3- glycérol (glycérine)

Dans cette étude, le glycérol est utilisé comme plastifiant, en plus de l'eau. Il a été pour chasser de chez VWR, PROLABO. C'est un liquide visqueux transparent et soluble dans l'eau (HAMADOUCHE *et al.*, 2017).

Tableau 02 : les propriétés du glycérol utilisé :

Produits	Propriétés
Glycérol	Formule chimique $C_3H_8O_3$ Mn : 92.09 g/mol Densité:1.25 g/mL (at 25°C) P.éb : 182°C P.f : 20°C Point d'éclair. 160°C

4-Acide vinaigre(CH_3COOH)

Le vinaigre est un produit fabriqué par fermentation acétique de vin ou d'alcool. Il est utilisé comme condiment ou comme agent de conservation en raison de son acidité (pH= 3). Dans la législation française, la dénomination « vinaigre » est réservée au produit obtenu par la fermentation acétique de boissons ou dilution alcoolique et renfermant au moins 6% d'acide acétique La fabrication du vinaigre est due aux bactéries (AMARA *et al.*, 2005).

5-Hydroxyde de sodium (NaOH)

L'hydroxyde de sodium (NaOH) sert à diminuer la viscosité du mélange et neutraliser ce dernier après l'ajout de HCL. Nous avons deux types d'hydroxyde de sodium. Le premier a été obtenu auprès BIOCHEM CHEMOPHARMA (du laboratoire) et la deuxième (de l'extérieur du laboratoire) (Hachani, 2019).

6- Matérielles et Méthodes

6-1-Extraction de l'amidon de Pomme de terre

6-1-1- Matérielles Utilisés

- Pomme de terre.
- un couteau.
- deux récipients.
- une râpe.
- un plaque chauffante.
- econome.
- une passoire.
- cuillère



Figure 13 : Matériel pour l'extraction de l'amidon.

6-1-2- Méthode

Pour l'extraction de l'amidon de pomme de terre :

- On nettoie les tubercules puis on épluche les pommes de terre à l'aide d'un éplucheur.
- Nous le râpons et mettons la pulpe dans un bol propre avec l'eau.
- Nettoyez le mélange avec 1mg de sel, mélangez bien avec une cuillère, puis laissez reposer. Pendant environ deux heures.

- Nous Filtrons le mélange à l'aide d'une passoire et laissons la solution précipiter, l'amidon se dépose au fond du récipient.

- Après environ une heure ou deux, on enlève l'eau avec une pipette.

-Nous avons lavé l'amidon avec de l'eau distillée trois fois, et on laisse sécher l'amidon précipité à l'aire libre pendant quelques jours, puis on extrait la poudre dans une bouteille.

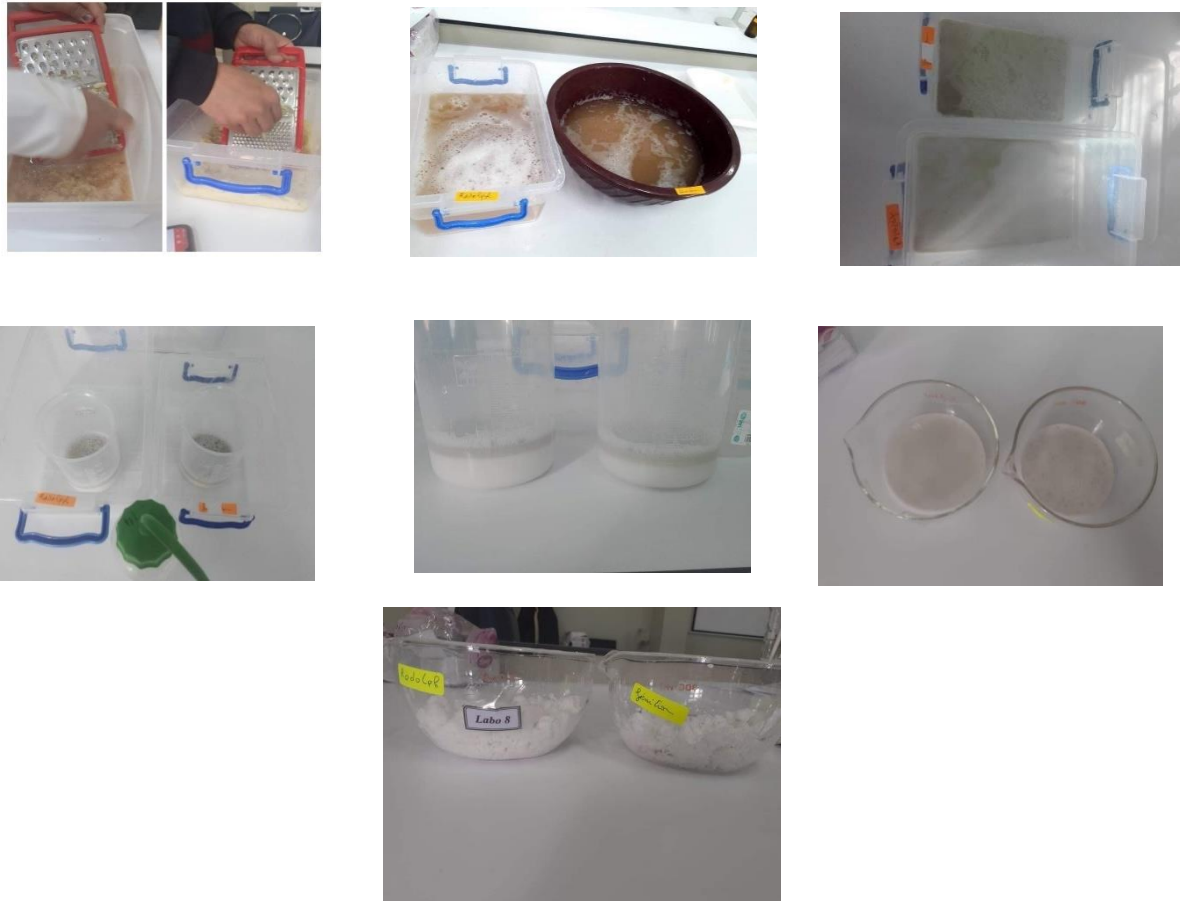


Figure 14 : Extraction de l'amidon

6-2-Fabrication de bioplastique

6-2-1- Réactifs Utilisées

1- 4 ml glycérides (glycérole).

- 5g d'amidon

2- 4 ml acide vinaigre (CH_3COOH)

-50ml Eau distillée (H_2O).

3- Hydroxyde de sodium (NaOH).

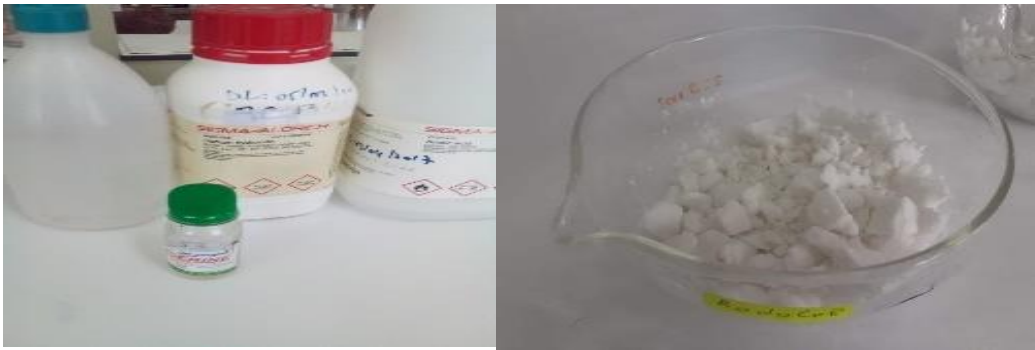


Figure 15 : Les réactifs Utilisées

6-2-2- Méthode

- pour fabriquer le bioplastique on mélange 5g d'amidon de pomme de terre qui a déjà été préparé avec 50ml d'eau distillée.
- On ajoute 4ml de glycérine et l'acide vinaigre on agite le mélange à l'aide d'une baguette en verre.
- Chauffer la solution sur la plaque chauffante à 100 °C pendant 15 à 20 min, en formant un mélange homogène très visqueux qui va progressivement se diluer légèrement.
- Nettoyer ensuite quelques gouttes de l'hydroxyde de sodium (NaOH).
- Enfin on ajoute quelques gouttes de colorant.
- Une fois le mélange est totalement reliquifié on verse le mélange sur la lame, et on laisse sécher à l'étuve à une température de 90 à 100 °C pendant une heure, puis on laisse sécher à l'air libre pour 3 à 4 jours.



Figure 16 : Fabrication de bioplastique (LE, Van, 2020)

7- Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier

L'analyse par IRTF est utilisée pour réaliser des analyses qualitative et quantitative d'une large gamme d'échantillons dans notre étude, une analyse qualitative et semi- qualitative du phénomène de migration en identifiant les espèces migrantes a été effectuée. Notre étude par IRTF a été effectuée au sein de la division laboratoire (ex CRD) (FERCASF *et al.*, Bertie *et al.*, 1985; Fahrenford, J, 1961; Grdadolink, J, *et al.*, 2001; Narrich *et al.*, 1967; Kauppinen, J, *et al.*, 1981; Mantsch, H, 1986.

Les appareils utilisés sont :

- spectromètre infrarouge à trasfermée de fourier de la marque thermo- scientific.
- un logiciel d'acquisition et de traitement des spectres infrarouge permettre de déterminer les surfaces des réaliser des analyses infrarouges par réflexion total atténuée (ATR) muni d'un cristal (figure17).
- on ordinateur connecté au spectrometre de la marque dell (FERCASF *et al.*, 2009).



Figure 17: spectromètre infrarouge à transformée de fourier (ATR) (FERCASF *et al.*, 2009).

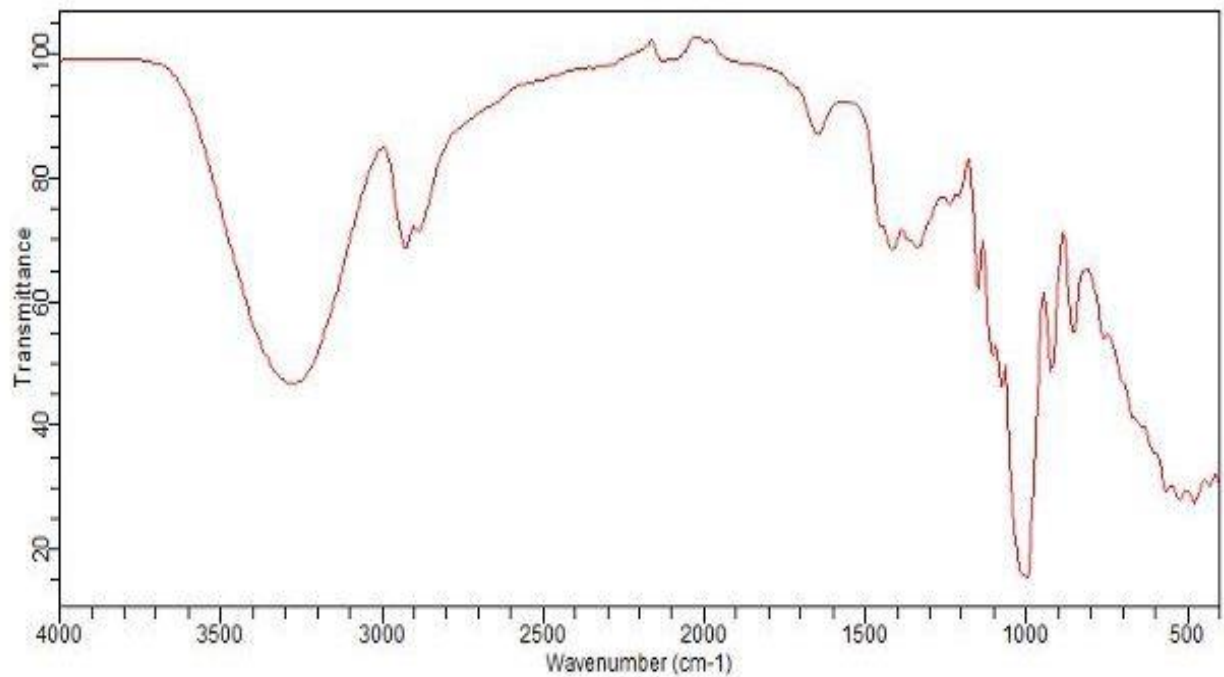


Figure18 : spectre IR-TF du l'échantillon de bio-plastique E1:(noir).

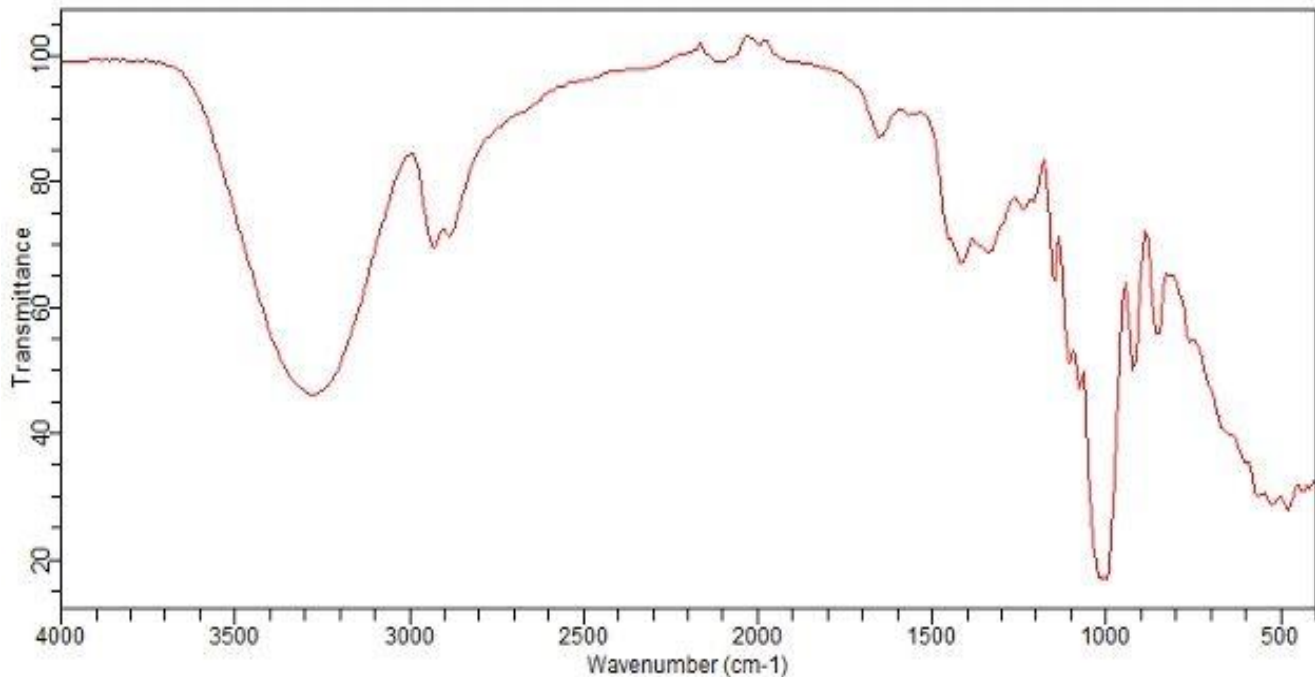


Figure 19 : spectre IR-FT du l'échantillon de bioplastique E2 (rouge).

8. Composition chimique

La spectroscopie IR-TF nous renseigne sur le groupement fonctionnel identifiant leurs bandes les transmittances.

On note dans tous les spectres des échantillons la présence d'un grand pic dans la gamme 3200- 3550 (cm^{-1}), ce qui indique le retour du groupement hydrolyse (O- H) vers le glycérol, et aussi l'apparition d'un pic dans le domaine 2850-2950 (cm^{-1}). Où il représente le groupe aliphatique (C- H).

Aussi, la présence d'un pic dans la gamme un groupe (C=C) aromatique, et aussi un pic dans la gamme 1250-1000 (cm^{-1}) indique un groupe(C-O-C) entre les unités, et un pic est apparu dans le champ 860-990(cm^{-1}) indiquant la présence de (C-H) aromatique, Où l'on note la différence et l'élargissement des pics selon chaque échantillon et les liens dans celui-ci.

Dans certains spectres d'échantillons fabriqués, nous remarquons une augmentation du pic (O-H) dans la gamme 3200-3350(cm^{-1}) et également une valeur dans la gamme 2850-2950(cm^{-1}), qui indique la présence de (C-H), car il est expliqué que l'augmentation de les pic (O-H) indique la glycérine, et on remarque aussi une diminution du pic 1300(cm^{-1}) qui est pour (C-O-C) entre les unités, cela indique le début de la décomposition de l'échantillon et leur effet sur la température du soleil (**Brown et al., 1996**).

Conclusion

Conclusion

Le plastique est l'un des matériaux industriels les plus courants, et il est le plus utilisé dans de nombreux domaines industriels, car il est largement utilisé dans l'industrie alimentaire dans les matériaux d'emballage, et il existe également des produits en plastique faciles à utiliser tels que des sacs en plastique qui sont devenus une partie importante de notre vie quotidienne, mais qui sait que nous pouvons porter entre nos mains ce qui menace nos vies et notre santé.

Les plastiques représentent un problème environnemental complexe en raison de leur stabilité et de leur résistance à la biodégradation, et certains types de plastiques peuvent émettre des gaz nocifs lorsqu'ils sont exposés aux rayons ultraviolets, ce qui affecte le reste des organismes vivants.

La production de plastiques traditionnels extraits du pétrole brut se heurte au problème de l'incapacité des micro-organismes présents dans la nature à le décomposer en composés simples, comme c'est le cas pour les déchets organiques, les fibres de cellulose, etc. l'environnement et la Terre. Avec tous ces inconvénients du plastique mais il présente de nombreux avantages, les bioplastiques présentent de nombreux avantages car ils ne produisent pas d'éléments toxiques et sont dégradables, et sont généralement recyclables.

Après avoir fabriqué des bioplastiques à partir de pomme de terre et après avoir obtenu les résultats qui s'y rapportent, nous concluons ce qui suit :

1- L'étude structurale du bioplastique obtenu à base d'amidon montre que la glycérine favorise le mouvement des matières, et l'utilisation de la glycérine rend le plastique plus résistant aux contraintes.

Quant à l'hydroxyde de sodium, il réduit la viscosité du mélange et le neutralise après son ajout.

2- Quant au test d'analyse spectrale, il est utilisé pour effectuer des analyses qualitatives et quantitatives d'échantillons, car il nous montre les groupes fonctionnels qui déterminent les bandes d'absorption et de transmission.

Enfin, nous pouvons tirer des conclusions : Compte tenu de l'importance de ces travaux, que ce soit pour l'environnement ou notre vie saine, et compte tenu de l'existence d'une alternative aux plastiques chimiques, ces travaux ont accordé une grande importance aux

bioplastiques fabriqués à partir de pomme de terre, nous demander un encouragement à fabriquer des bioplastiques à partir de matières organiques. Malgré l'importance de la technique de spectroscopie infrarouge en termes de résultats, nous n'avons pas obtenu les résultats escomptés, c'est-à-dire que nous avons un besoin urgent d'autres techniques similaires telles que Meb DRx. Certes, différentes, mais leurs résultats sont presque similaires.

Références bibliographique

- ✚ **ADJOUDJ Ferroudja, MOHAMMEDI Djamilia**, Etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC), Mémoire De fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de Master, Université Mouloud Mammeri De TIZI-OUZOU, 2017.
- ✚ **Adkins G. K. et Greenwood C. T.**,«Carbohydr. Res», Vol 81,(1996), p152.
- ✚ **AMARA samira BEN, YAMMA Zineb**, contribution à l'étude des caractéristiques physico_chimiques du vinaigre traditionnel de dattes (variété hmraya) de La cuvette de Ouaregla, En Vue de L'obtention du Diplôme d'étude supérieurs en Biologie Option Biochimie, Université de Ouaregla, 2005.
- ✚ **Andréa StanojlovicDavidovic. 2006.** Matériaux biodégradables à base d'amidon expansé renforcé de fibres naturelles - Application à l'emballage alimentaire. Mécanique [physics.med-ph]. Université du Sud Toulon Var, Français. fftel-00185801.
- ✚ **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. Willian Andrew.
- ✚ **BADAoui fouzia**, Comportement rhéologique de solution de biopolymères. Application au chitosane, au poly (Vinyle alcool) et à leurs mélanges mélanges, En vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2012.
- ✚ **Bank W. et Greenwood C. T.**, starch and its components», Edinburgh University Press,(1975).
- ✚ **Bio_plastiques, C.**, les bioplastiques d'origine végétale: Des produits renouvelable et biodégradables. 2007.
- ✚ **Biofondations.** 2006.«Biotechnologie industrielle: bioplastiques et biopolymères».
- ✚ **Bioplastics, E.**, Position paper _Life cycle assessment of bio plastics. In European Bioplastics.
- ✚ **BIOPLASTICS> e_book.**«Burable Bioplastics». WWW. INTERNECHPIRA. COM. Page 47.54.
- ✚ Bertie, J. E.; Eysel, H. H. Applied Spectroscopy 1985, 39, 392–401.
- ✚ **BOUDJELLA Souad, LAHRECH Nour El Houda**, Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon, Mémoire de **MASTER EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**, UNIVERSITÉ de BLIDA 1, 2017.

- ✚ **Brown, R, M, Jr.(1996).**«The bio synthesis of cellulose», 1.Macromol. Sci., Pure and Applied Chemistry, A33:1345-1373.
- ✚ **Chen, Y, J,(2014).** Bioplastics and their role in achieving global sustainability. Journal of chemical and pharmaceutical Research, 6(1), 226_231 page 228.
- ✚ **Colonna P. et Roua X.**« Industrie des céréales»,(1986), Vol 41,p7.
- ✚ **De wilde, B.** 2003.Plastiques biodégradables_emballages compostables: point de la situation. Coll.«Pack News» n 154,p. 27-33.
- ✚ **Dietrich K, Dumont M-J, Del Rio LF & Orsat V** (2017) producing PHAs in the bioeconomy_ Towards a sustainable bioplastic.sustainable production and consumption 9:58_70.
- ✚ **Dionisi, carucci G, Papini MP, Riccardi C, Majone M & carrasco F** (2005) Olive Oil mill effluents as a Feedstock for production of biodegradable polymers. Water research 39(10): 2076 _ 2084.
- ✚ **Ebnesajjad S,(2012)**Hanbook of biopolymers and biodegradable plastic: properties, processing and applications. William Andrew.
- ✚ **EPA, 2003,** Report on Plastic, USA.
- ✚ **EPA, United-States Environmental Protection Agency (EPA) Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States. Pdf 2011.:** Facts and Figures for In EPA. Site du United-States Environmental Protection Agency,[Enligne]. http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/msw_2010_rev_factsheet.pdf. Pdf 2011.
- ✚ **F.A. Batzias, D.K. Sidoras ***.Simulation of methylene blue adsorption by salts-treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems. Journal of Hazardous Materials 149 (2007) 8-17.
- ✚ **Fahrenford, J. Spectrochimica Acta** 1961, 17, 698.
- ✚ **FERCASF., MOUILLET V., BESSON S., BETTAGLTA V., PETITEAUC. et CUEFF. F.,(2009).**«Identification et dosage par spectroscopie infrarouge à transformée de des copolymères SBS.et EVA dans les liants bitumineux». Laboratoires des ponts et chaussées:n 71,15 pp.
- ✚ **Feuilloy P., Cesar G., Benguigui L., Grohens Y., Pillin H., Bewa S., Jamal M.** Dégradation of polyethylene used for agricultural purposes, J. Polym _ Environ.. 13:349_ 355,(2005). page 24.
- ✚ **Fiche technique Valorisée des cultures maîchères et industriels», ITCMI (2010)** Vol 10.

- ✚ **Fondation ELLEN Mac Arthur**,(2017), pour une nouvelle économie des plastiques, Rapport.
- ✚ **Geo, S ; Tonada S; Abde I; KIAGAWA. M; Matruba. J** Tanso 1994,163,138.
- ✚ **Grdadolnik, J.; Maréchal, Y.** Biopolymers (Biospectroscopy) 2001, 62, 54–67.
- ✚ **H.N. Rabetafika, M. Paquot – FUSAGx L. Janssens, A. Castiaux – FUNDPH.N. Rabetafika, Ph. Dubois – UMH.Janvier 2006.DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESSOURCES RENOUVELABLES.**par la Politique scientifique fédéraleRue de la Science 8 B-1000 Bruxelles Belgique.P 111.
- ✚ **Harrick, N. J.** Internal Reflection Spectroscopy; Interscience Publisher: New York London Sydney, 1967.
- ✚ **Hachani Halima Saadia**, Etude de dégradation d'un bioplastique renforcé Par une charge minérale, MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019..
- ✚ **HAMADOUCHE Hanane, BOUARAB Nacera**, FABRICATION ET CARACTERISATION THERMIQUE D'UN FILM BIODEGRADABLE A BASE D'AMIDON DE MAIS RENFORCE PAR UNE ORGANO ARGILE, Mémoire de fin d'étudesfin d'études En vue En devue l'obtentionde du l'obtention diplôme du MASTER , UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES, 2017.
- ✚ **Heinrich_BöLL_Stiftung Rabat** et Association Zéro Zbel.(2020). Atlas du plastique, rapport.
- ✚ **Industrie Canada.** 2001.«Plastiques profil industriel de insdustrie canadienne des produits en matière de plastique». En ligne <<http://www.ic.gc.ca/eic/site/plastics.plastique.nsf/Fra/pL0L383.html#comparaisons>>. Consulté le 8 mai 2011.
- ✚ **J. Goumans, H Van der Sloot, T, Albert.** 1991.Waste materials in constuction. In: Stdies in Environmental science, Vol. 48.El sevier science Publishing Company Inc., New York.
- ✚ **Jean. Claude la berche «Biologie végétale».** Dunod 3ème édition 2001 Vol 305 pages 15_16.
- ✚ **Kauppinen, J. K.; Moffatt, D. J.; Mantsch, H. H.; Cameron, D. G.** Appl. Spectrosc. 1981, 35, 1454.
- ✚ **KOLLer M** (2017) Advances in polyhydroxyal kano. ate (PHA) production.(production. (Multidisciplinary Digital Publishing Institut.

- ✚ **Kranklin Associates Ltd.**, 1998.Characterization of municipal solid Waste. Update (Prepared for the USEPA) Prairie Village, KS, USA.
- ✚ La classe de 3° A, 3eA_college_CESAR_FRANCK 91120 PALAISEAU, concours les plastiques en debat, Année scolaire 2012-2013
- ✚ **La pointe, R.**(2012). Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinction subtiles mais significatives (Doctoral dissertation, Université de sherbrooke). Page 13 et 27.
- ✚ **LAHOUEL ZEYNEBLAHOUEL ZEYNEB**, ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA FILIERE POMME DE TERRE DANS LA REGION DE TLEMCEM, Cas de deux fermes pilotes : Hamadouche et Belaidouni, MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D
- ✚ **LAIDI Laidia**, Etude de la régénération d'un charb on actif par la spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (ftir), Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem, 2017.
- ✚ **LE, Van.2020**. Bio-plastics production from starch.
- ✚ **Mantsch, H. H.; Casal, H. L.; Jones, R. N.** In Advances in Spectroscopy; Clark, R. J.; Hester, R. E. Eds.; John Wiley and Sons: Chichester New York Brisbane Toronto Singapore, 1986; Vol. 13; pp. 142.
- ✚ **McCallum W.**(2018). En finir avec le plastique, MARA BOUT.
- ✚ **McDonough, W.& Braungart, M.**(2002). Cradle to cradle, Remaking the Way we things. New York: North Point Presso.
- ✚ **Baghdad BENSTALI**. Méthode et techniques d'analyse physique
- ✚ **Mohamed Touhami GOUASMI**, Effets D'agrégats Legers A Base De Polyterephthalate D'éthylène Sur Les Propriétés Des Mortiers, MEMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Magister en Chimie, UNIVERSITÉ D'ORAN, 2013.
- ✚ **Nader Bouchaala**, Etude des propriétés structurale et physicochimique des systèmes Nd-Fe-Co, THÈSE DE DOCTORAT en Chimie, l'Université de Carthage, 2017.
- ✚ **Nternational journal** of life sciences biotechnology and pharma reserch. Vol. 3,N 2, April 2014.
- ✚ **P. M. Subramanian**, 2000.Plastics recycling and Waste management in the US. Resource, conservation and Recycling 28., 253_263.
- ✚ **P. Pentham keerati, T. satapanajaru, O, singchan.** Sorption of reactive dye forme aqueous solution on biomass Fly ash.(2008) 1149_1156.

- ✚ **Pengthamkeerati, T. Satapanajaru, O. Singchan** .Sorption of reactive dye from aqueous solution on biomass fly ash. *Journal of Hazardous Materials* 153 (2008) 1149–1156.
- ✚ **Rabetafika, H. N., Paquot, M.,& 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), page 186.
- ✚ **Rajendran, N. et al.**/Journal of pharmacy Research 2012, 5 (3), 1476_1479.
- ✚ **Redjem Megdouda, Litou Souaad**,Greffage Du Triethoxysilyl propanthiol Sur Une Montmorillonite Sodique Echangee Par Le Tetraethylammonium Hydroxide, Mémoire Présentée pour l'obtention du diplôme de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila ,2020.
- ✚ **S Jenkins et Donald**; the influence of amylose on strache granule structure, *International Journal of Biological Macromolecules*, 17(6), 315-321.1995.
- ✚ **Sanae El Harche**, Développement des méthodes d'extraction des bioplastique issues des boues et génie des matériaux lignocellulosique, Université du québec, 2015.
- ✚ **Tonuk, D., Shove, E.,& suchman, L.**(2016). Making bio plastics: an investigation of material _ productrelationships (Doctorale dissertation, Lancaster University). Page 8.
- ✚ **Végétal, R. d.c.d.p. s. L. c. d.**, Etude ALCIMED_ janvier 2007:Marché actuel des Bioproduits Energétiques et industriels et Evolutions prévisibles à échéance 2015/2030.2007.
- ✚ **Véronique, Van HooF et Theo Geerken (2012)**. Bioplastiques: Définitions, normes, possibilités d'application, impact sur l'environnement. Pages 21.
- ✚ **Y.AGOUARY. AGOUAR, A.HIDEUR, K. MOKRI**, Contribution à la caractérisation des polymères soumis à des décharges couronne, Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2013.
- ✚ **Yakowitz H.**, 1990.Incinération of municipal solid waste: scientific and technical evaluation of the state. of the art by en expert panel. *Resource, Conservation and recycling* 4,241_252.
- ✚ **Z. Djetoui et F Djerboua.2012**. PREPARATION D'UN POLYMERE THERMOPLASTIQUE BIODEGRADABLE A BASE D'AMIDON DE MAÏS. Laboratoire des Matériaux Polymériques Multiphasiques (LMPMP), Faculté de Technologie, Département de Génie des procédés. Université Ferhat Abbas, Sétif. 19000 –Algérie.p8

Site web

- ✚ Site de l'European Bioplastics.[En ligne]. [http://en.europeanbioplastics.org/Wpcontent/Uploads/2011/04/pp/LCA Positions Paper. pdf](http://en.europeanbioplastics.org/Wpcontent/Uploads/2011/04/pp/LCA%20Positions%20Paper.pdf), 2008.
- ✚ <https://www.canal-u.tv/chaines/sec/sciences-de-la-matiere-et-sciences-de-l-ingenieur/dans-l-oeil-du-microscop>
- ✚ <https://www.directindustry.fr/prod/jasco-europe/product-30625-1747766.htm>
- ✚ <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Diffractometrie-de-rayons-X.htm>
- ✚ <https://www.analytice.com/diffraction-des-rayons-x-drx-analyse-et-caracterisation-des>
- ✚ <https://www.polyvia.fr/fr/economie-circulaire/bioplastiques-production-mondiale>