

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

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDÉS



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie de  
l'environnement

### **Etude de la biodégradation du polyéthylène par un consortium microbien**

Soutenu le 20/06/2023

Réalisé par :

- Malak ZEBARDI
- Sameh ZAOUALI
- Nada BOUHALAIS

Encadré par :

Pr. Nadjla CHAIB

Année Universitaire 2022- 2023

## *Dédicace*

Je dédie ce travail :

*A ma chère mère,*

Qui n'a jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

*A la mémoire de mon cher père*

*A ma sœur et mon frère,*

Qui m'ont toujours encouragé et soutenu et cru en moi durant toutes mes années  
d'études

*A mon mari,*

Qui ne cesse de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes  
objectifs.

*A toute ma famille*

*A toutes mes amies*

*Zebardi Malak*

## *Dédicace*

Je dédie ce mémoire :

*A ma chère mère,*

*A mon cher père,*

*A mon cher mari,*

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières pour mon égard, de me soutenu et de me soutenir afin que je puisse atteindre mes objectifs.

*A mes chers frères et sœurs*

Qui m'ont encouragé, soutenu et cru en moi toutes ces années d'école

*A ma grand-mère et mon grand-père*

*A toute ma famille*

*A tous mes ami(e)s*

*Zaouali Sameh*

## *Dédicace*

Je dédie ce mémoire :

**A mes chers parents ma mère et mon père** pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard.

**A mes chers frères.**

**A mes chères cousines.**

Qui ne cessent de me soutenir pour que je puisse atteindre mes objectifs.

**A ma grand-mère et mon grand-père**

**A toutes ma famille**

**A tous mes *ami(e)s***

*Bouhalais Nada*

# Remerciements

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études pour en arriver là.

Nous tenons dans un premier temps à adresser un remerciement particulier à notre encadreur Pr. Nadjla CHAIB. Nous l'exprimons notre immense gratitude pour nous avoir fait bénéficier de sa patience, son expérience et connaissance scientifique ainsi que pour la confiance qu'elle nous a témoignée, son précieux conseils et son soutien tout au long de cette année. Merci d'avoir cru et eu confiance en nous.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail et d'apporter leurs critiques objectives et tant constructives.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude aux ingénieurs des laboratoires pédagogiques de l'université de Skikda.

Nous remercions aussi à tous les enseignants du département de génie des procédés qui ont contribué à notre formation.

Enfin nous tiens à exprimer nos reconnaissances à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral et matériel...

# Sommaire

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
Listes d'abréviations .....	
Introduction générale .....	1

## Chapitre I

### Généralités sur le polyéthylène

I.1. Introduction .....	4
I.2. Définition du polyéthylène .....	4
I.3. Différents types de polyéthylènes .....	5
I.3.1. Le polyéthylène basse densité (PEBD) : .....	5
I.3.2. Le polyéthylène haute densité (PEHD) : .....	6
I.4. Utilisation du polyéthylène .....	6
I.5. Caractéristiques de polyéthylène .....	7
I.5.1. Les propriétés .....	7
I.5.1.1. Propriétés physiques .....	8
I.5.1.2. Propriétés mécaniques .....	8
I.5.1.3. Propriété thermiques .....	8
I.5.1.4. Propriétés électriques .....	9
I.5.1.5. Propriétés chimiques .....	9
I.5.2. Production .....	9
I.5.3. Voies de dégradations .....	9
I.6. Impacts des déchets de PE sur l'environnement et l'homme .....	10
I.7. Les micro-plastiques .....	10
I.7.1. Microplastiques primaires .....	11
I.7.2. Microplastiques secondaires .....	13
I.9. Impact du microplastique sur l'environnement .....	13
I.9. Statistiques du MP de recensement dans le monde et en Algérie .....	14
I.10. Conclusion .....	15

## Chapitre II

### Synthèse bibliographique sur la biodégradation du polyéthylène

II.1. Introduction :	17
II.2. Définition de la biodégradation.....	17
II.3. Méthode de mesure et d'évaluation de la biodégradabilité .....	18
II.4. Biodégradation du polyéthylène.....	19
II.4.a. Mécanisme de la biodégradation du polyéthylène .....	23
II.5. Paramètres influençant la biodégradation.....	24
II.5.1. Les micro-organismes ayant un rôle dans la dégradation du polyéthylène.....	24
II.5.1.a. Bactéries .....	24
II.5.1.b. Champignons :.....	26
II.6.2. Paramètres physico chimiques.....	27
II.6.2.a. pH.....	28
II.6.2.b. Température.....	28
II.6.2.c. Teneur en oxygène .....	28
II.6.2.d. Concentration en nutriments.....	28
II.6.2.e. Concentration en composés organiques .....	28
II.7. Méthode d'estimation de la dégradation d'un matériau polymère .....	28
II.7.1. Paramètres de mesure :.....	29
II.7.1.a. La quantité de dioxygène consommée : .....	29
II.7.1.b. La quantité de gaz produite : .....	29
II.7.1.c. La perte de masse : .....	30
II.7.1.d. La composition chimique : .....	30
II.7.1.e. La quantité de dioxyde de carbone produite :.....	30
II.7.2. Respirométrie .....	31
II.8. Conclusion .....	31

## Chapitre III

### Matériels et méthode

III.1. Introduction.....	33
III.2. Photo-oxydation du PET par l'acide nitrique.....	33
III.2.1. Procédure.....	33
III.3. Préparation du milieu Bold Basal .....	35
III.3.1. Composition du milieu Bold Basal .....	35
III.3.1.1. Préparation du milieu solide.....	36
III.3.1.2. Tween 80.....	37
III.3.2. Procédure de la préparation du milieu .....	38
III.4. Biodégradation du polyéthylène en milieu Bold Basal .....	40
III.4.1. Les souches utilisées .....	41
III.4.1.1. <i>Aspergillus niger</i> .....	41
III.4.1.2. <i>Penicillium sp</i> .....	42
III.4.2. Procédures.....	44
Conclusion.....	46

## Chapitre IV

### Résultats et discussions

IV.1. Introduction .....	48
IV.2. La photo-dégradation .....	48
IV.2.1. Rendement de la photo-dégradation .....	48
IV.2.2. Interprétation .....	49
IV.3. Biodégradation par des champignons .....	50
IV.3.1. Evaluation du rendement de la biodégradation .....	52
IV.3.2. Interprétation .....	53
IV.3.3. Commentaire .....	53
IV.4. Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	55
Références bibliographiques .....	57

## Résumé

L'élimination du polyéthylène de l'environnement est très difficile, elle nécessite l'intervention de différents facteurs. Dans ce mémoire on étudie la dégradation (photo-dégradation et biodégradation) du polyéthylène par l'acide nitrique et des souches fongiques. En premier méthode on met des morceaux de plastique dans l'acide nitrique est on les expose a la lumière du soleil pendant 36 jours puis on calcul le rendement lorsque on les enlève pour savoir l'efficacité de cette opération et facilité le travail de la 2ème méthode (biodégradation). On concernant la biodégradation on prépare un milieu Bold Basal et on le met dans des boites de pétri et on place les morceaux de plastique sur la surface du milieu avec notre deux souche dans des boite on met l'*Aspergillus niger* seule et dans d'autre boite on met le *Penicillium sp* seule et on fait un mélange entre les deux champignons dans les dernier boites, Après l'incubation pendant 21 jours on calcul le rendement qui nous montre que l'*Aspergillus niger* et le meilleur dégradant.

Mots clé : Polyéthylène, Biodégradation, photo-dégradation, Bold basal, souche fongique.

# Abstract

The elimination of polyethylene from the environment is very difficult; it requires the intervention of different factors. In this thesis we study the degradation (photo-degradation and biodegradation) of polyethylene by nitric acid and fungal strains. In the first method we put pieces of plastic in nitric acid and we expose them to sunlight for 36 days then we calculate the yield when we remove them to know the efficiency of this operation and facilitate the work of the 2nd. method (biodegradation). Regarding biodegradation, we prepare a Bold Basal medium and we put it in petri dishes and we place the pieces of plastic on the surface of the medium with our two strains in boxes we put the *Aspergillus niger* alone and in other box we put the *Penicillium* sp alone and we make a mixture between the two mushrooms in the last boxes, After incubation for 21 days we calculate the yield which shows us that *Aspergillus niger* is the best degrader.

**Key words:** Polyethylene, Biodegradation, photo-degradation, Bold basal, fungal strain.

## ملخص

يعد التخلص من البولي إيثيلين من البيئة أمرًا صعبًا للغاية، ويتطلب تدخل عوامل مختلفة. في هذه الرسالة قمنا بدراسة التحلل البيولوجي (التحلل الضوئي والتحلل الحيوي) للبولي إيثيلين بواسطة حمض النيتريك والسلالات الفطرية. في الطريقة الأولى نضع قطعًا من البلاستيك في حمض النيتريك ونعرضها لأشعة الشمس لمدة 36 يومًا ثم نحسب العائد عند إزالتها لمعرفة كفاءة هذه العملية وتسهيل عمل الطريقة الثانية (التحلل الحيوي). فيما يتعلق بالتحلل البيولوجي، نقوم بإعداد وسط Bold Basal ونضعه في علب بتريية ونضع قطع البلاستيك على سطح الوسط مع سلالتين في علب نضع *Aspergillus niger* بمفرده وفي علب أخرى نضع *Penicillium sp* بمفردنا ونصنع خليطًا بين الفطرين في العلب الأخيرة، وبعد فترة الحضانة لمدة 21 يومًا نحسب المحصول مما يوضح لنا أن *Aspergillus niger* هو أفضل مذيب.

**الكلمات المفتاحية:** البولي إيثيلين، التحلل الحيوي، التحلل الضوئي، السلالة القاعدية الجريئة، السلالة الفطرية.

## Liste des figures

Figure I.1. Molécule de polyéthylène ramifiée .....	4
Figure I.2. Polyéthylène granulé .....	5
Figure I.3. Polyéthylène à basse densité .....	6
Figure I.4. Polyéthylène à haute densité. ....	6
Figures I.5 à I.10 Description exemple. ....	12
Figure I.11. La production mondiale du plastique. ....	15
Figure II.1. Voies de dégradation des polymères dans l'environnement .....	18
Figure II.2. Mécanismes de biodégradation de polyéthylène ( <i>Wyart et al.,2000</i> ) .....	24
Figure II.3. <i>Pseudomonas sp.</i> Vue au MEB .....	25
Figure II.5. <i>Enterobacter asburiae</i> vue au microscope optique .....	26
Figure II.6. <i>Phanerochaete chrysosporium</i> .....	26
Figure II.7. <i>Trichoderma reesei</i> .....	27
Figure II.8. <i>Pleurotus ostreatu</i> .....	27
Figure II.9. Cycle de vie d'un biopolymère .....	29
Figure III.1. Premier jour de photo-dégradation du plastique. ....	34
Figure III.2. Après 36 jours de photo-dégradation Figure 16.....	34
Figure III.3. Séchage de plastique des deux récipients. ....	35
Figure III.4. FAgar agar .....	37
Figure III.5. Flacon de Tween 80. ....	37
Figure III.6. L'agitation des produits dans l'Erlenmeyer. ....	38
Figure III.7. Le versement du milieu Bold Basal dans les bouteilles stérilisées.....	39
Figure III.8. Les bouteilles avant être mettez dans l'autoclave. ....	39
Figure III.9. <i>Aspergillus niger</i> sur PDA culture .....	41
Figure III.10. <i>Aspergillus niger</i> sous microscope. ....	42
Figure III.11. <i>Penicillium sp</i> sur milieu solide. ....	43
Figure III.12. <i>Penicillium sp</i> sous microscope. ....	43
Figure III.13. Le milieu Bold Basal dans les boites de pétri avec le morceau de PET. ....	45
Figure III.14. Placement des souches de champignons sur le milieu Bold Basal.....	45
Figure III.15. Boite de pétri finale avec le PET et les souches de champignons. ....	46
Figure IV.1. Boite de pétri après 4 jours finale .....	50
Figure IV.2. Boites de pétri après 8 jours .....	51
Figure IV.4. Boite de pétri après 16 jours .....	51
Figure IV.5. Boites de pétri après 21 jours.....	52
Figure IV.6. L'enlèvement des morceaux de plastique.....	52

## Liste des tableaux

Tableau I.1 Principales caractéristiques du polyéthylène.....	7
Tableau I.2. Classement par taille des particules de plastique ( <i>De Witte et al, 2017</i> ). ....	11
TableauII.1:Revue des travaux relatifs à la biodégradation du polyéthylène par les microorganismes. ( <i>Ammala et al.,2011</i> ).....	22
Tableau III.1 : Réactifs du milieu de culture "Bold Basal" .....	36
Tableau IV.1. Résultats après 4 jours .....	50
Tableau IV.2. Résultats après 8 jours .....	50
Tableau IV.3. Résultats après 12 jours.....	51
Tableau IV.4. Résultats après 16 jours.....	51
Tableau IV.5. Résultats de la biodégradation.....	52

## Liste d'abréviations

- **PET** : Polyéthylène.
- **PEBD** : Polyéthylène a basse densité.
- **PEHD** : Polyéthylène a haute densité.
- **OCDE** : l'Organisation de coopération et de développement économiques

# *Introduction générale*

## Introduction générale

L'étude de la biodégradation du polyéthylène par un consortium microbien est un domaine de recherche qui cherche à comprendre comment les micro-organismes peuvent dégrader le polyéthylène, l'un des plastiques les plus couramment utilisés dans notre société. Le polyéthylène présente une durabilité élevée et une résistance à la dégradation, ce qui en fait un défi pour la gestion des déchets plastiques. Les micro-organismes, tels que les bactéries et les champignons, sont capables de dégrader naturellement de nombreux composés organiques présents dans l'environnement. Au cours des dernières décennies, des études ont révélé que certains de ces micro-organismes sont également capables de dégrader le polyéthylène.

L'aggravation des problèmes de pollution dus aux déchets de polymères synthétiques non-biodégradables a encouragé le développement et l'utilisation des polymères biodégradables, qui sous l'action des organismes vivants (bactéries, champignons, levures, insectes, ...) ou de leurs produits de sécrétions vont se décomposer et disparaître

Cependant, la biodégradation du polyéthylène est un processus complexe qui nécessite généralement l'action d'un consortium microbien, c'est-à-dire une communauté de différents types de micro-organismes travaillant de manière synergique. Ces consortiums microbiens peuvent inclure des bactéries qui sécrètent des enzymes capables de dégrader les chaînes de polyéthylène, ainsi que d'autres micro-organismes qui peuvent utiliser les produits de dégradation du polyéthylène comme source de carbone et d'énergie.

Cette recherche revêt une grande importance, car elle pourrait contribuer au développement de solutions durables pour la gestion des déchets plastiques. La biodégradation du polyéthylène par un consortium microbien offre la possibilité de réduire l'accumulation de déchets plastiques dans

L'environnement et de diminuer ainsi les effets néfastes sur les écosystèmes terrestres et aquatiques.

En conséquent, l'étude de la biodégradation du polyéthylène par un consortium microbien représente une approche prometteuse pour lutter contre la pollution plastique. Comprendre les mécanismes et les micro-organismes impliqués dans ce processus complexe ouvre la voie à de nouvelles perspectives en matière de gestion des déchets et de préservation de l'environnement.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente une généralité sur le polyéthylène et leurs différents types. IL aborde l'utilisation et caractéristiques du polyéthylène, et un rappel sur l'impact des déchets de PE et leur statistique dans le monde et en Algérie.
- Le deuxième chapitre décrit une synthèse bibliographique sur la biodégradation du polyéthylène, méthode de mesure, mécanismes de la biodégradation et leurs paramètres influençant. Il entame aussi la méthode d'estimation de la dégradation d'un matériau polymère, les paramètres de mesure et à la fin la respirométrie.
- Le troisième chapitre présente les matériels et méthodes utilisés dans l'élaboration du travail.
- Le quatrième chapitre nous avons discuté des résultats que nous avons obtenus.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale qui parle de l'objectif visé par notre étude.

# **Chapitre I**

# **Généralités sur**

# **le polyéthylène**

### I.1. Introduction

L'état actuel de la pollution est une préoccupation majeure en raison de l'accumulation de déchets plastiques dans le monde. Les plastiques synthétiques sont présents dans la fabrication d'emballages dans de nombreux secteurs industriels tels que l'alimentation, la pharmacie, la cosmétique, la détergence et d'autres secteurs chimiques. Inutile de dire que les propriétés physiques et chimiques des plastiques font de ce matériau la norme utilisée dans d'innombrables domaines. Des propriétés telles que la dureté, la résistance à l'eau et diverses dégradations sont des critères qui intéressent les industriels. Le polyéthylène (PE basse, moyenne ou haute densité) est le polymère plastique le plus couramment utilisé pour tous les types d'emballages.

La pollution du milieu marin par les micro-plastiques et macro-plastiques perturbe fortement l'équilibre des écosystèmes et provoque des perturbations, notamment lors de l'ingestion par les organismes. Pour réduire cette contamination, différentes méthodes sont utilisées. En ce sens, de nombreux microorganismes ont été étudiés pour intervenir dans la biodégradation des polymères plastiques. Entre autres, le rôle de différentes bactéries et champignons a été souligné.

### I.2. Définition du polyéthylène

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique polymérisé à partir d'éthylène  $C_2H_4$ . Les molécules de polyéthylène se présentent sous la forme de chaînes d'atomes de carbone, comme indiqué. Les valences libres des atomes de carbone sont occupées par des atomes d'hydrogène. (**Figure I.1**). La chaîne contient 1000 à 20000 monomères. La masse volumique du polyéthylène amorphe est de  $0,855 \text{ g/cm}^3$ . Sa température de transition vitreuse est de  $8^\circ\text{C}$ .

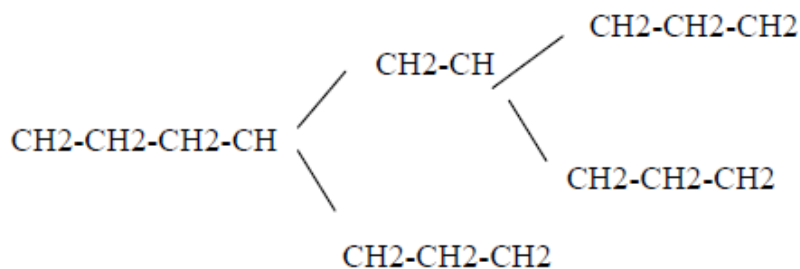


Figure I.1. Molécule de polyéthylène ramifiée

## Chapitre I

---

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale de matières synthétiques et la moitié des emballages plastiques. Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manipuler et résistant au froid. Le polyéthylène a généralement une bonne rigidité diélectrique, est relativement inerte chimiquement, est léger et facile à former (**Figure I.2**).



Figure I.2. Polyéthylène granulé

### **I.3. Différents types de polyéthylènes.**

Il existe différents polyéthylènes classés selon leur densité. Cela dépend du nombre et de la longueur des branches dans le matériau. Il en existe deux grandes familles : le Polyéthylène Basse Densité (PEBD) et le Polyéthylène Haute Densité (PEHD).

#### **I.3.1. Le polyéthylène basse densité (PEBD) :**

Il est obtenu par polymérisation radicalaire à température et pression élevées (150 à 300°C sous une pression allant de 1200 à 2500 bars). Ce mode d'élaboration lui confère une structure irrégulière et ramifiée. Il est souple, même à très basse température (-50°C) et il est doux au toucher.

Il est utilisé dans des domaines très divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau. Il présente une bonne résistance chimique. Il est transparent et il peut être facilement transformé, de plus il se prête très bien au soudage.

Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien.



Figure I.3. Polyéthylène à basse densité

### I.3.2. Le polyéthylène haute densité (PEHD) :

De même formule théorique que le PEBD, il est obtenu par polymérisation radicalaire à température modérée sous faible pression (50 à 100°C sous une pression allant de 20 à 50 Bars). Sa structure est plus régulière que celle du PEBD, il est plus rigide et plus résistant à la chaleur (jusqu'à 120°C).



Figure I.4. Polyéthylène à haute densité.

### I.4. Utilisation du polyéthylène.



Le polyéthylène est utilisé comme isolant dans les câbles à haute fréquence (coaxiaux) et les câbles à haute tension jusqu'à 200 KV. Le PEHD est également utilisé pour la fabrication d'objets plastiques rigides.

Selon la configuration des chaînes du polymère, le polyéthylène est classifié en deux groupes dont les caractéristiques principales sont énoncées dans le **tableau (I.1)**.

## Chapitre I

Le polyéthylène à basse densité (PEBD) est produit sous haute pression et il est très ramifié. Le polyéthylène à haute densité (PEHD) est fabriqué sous une pression inférieure. Il est dit "linéaire" car peu ramifié, il est plus rigide que le PEBD.

Tableau I.1 Principales caractéristiques du polyéthylène.

	PEBD	PEHD
Structure	Ramifiée	Linéaire
Aperçu		
Masse volumique	0.915-0.935	0.945-0.96
Taux de cristallinité	55%-70%	65%-80%
Température ma.de service	70°C	80°C
Température de fusion	110-120°C	128-135°C
Transition vitreuse	Env. -110°C	Env. -110°C
Indice de réfraction	1.51	1.54
Permittivité à 1MHZ	2.2-2.35	2.3-2.4
Résistivité ( $\Omega.cm$ )	$10^{15}-10^{18}$	$10^{15}-10^{18}$

### I.5.Caractéristiques de polyéthylène

#### I.5.1. Les propriétés

Le polyéthylène est un plastique d'origine pétrochimique de formule moléculaire  $C_nH_{2n}$  sous forme de chaînes hydrocarbonées linéaires (polyoléfines). Il existe deux types de polyéthylène classés selon leur densité (faible ou élevée). Ceux-ci sont largement utilisés dans l'industrie de l'emballage/de l'emballage. Son efficacité, sa polyvalence, sa portabilité, son prix et sa facilité d'utilisation dans l'artisanat font de ce matériau l'un des plus utilisés aujourd'hui (*Ojha et al., 2017*).

Le polyéthylène est un matériau semi-cristallin et comprend donc des régions amorphes et cristallines (*Restrepo-Florez et al., 2014*). Le polyéthylène basse densité (PEBD) a un pourcentage de cristallinité d'environ 25 à 50 % (*Jordan et al., 2016*). L'hydrophobie se caractérise par un angle de contact supérieur à  $99^\circ$ , caractéristique d'une surface hydrophobe. La température de fusion est d'environ  $110^\circ C$  (*Roy et al., 2008*). La densité de PEBD est

comprise entre 0,915 et 0,940 g/cm<sup>3</sup> (*Yang et al., 2014*). Le poids moléculaire peut atteindre des dizaines de milliers (*Gyung Yoon et al., 2012*).

### **I.5.1.1. Propriétés physiques**

Le PE est plus difficile à cristalliser lorsque la macromolécule contient un grand nombre de ramifications à chaîne courte ou longue. Leur cristallinité augmente avec la densité de 40% à 90%. Ce taux, associé au poids moléculaire, détermine les propriétés physiques. Le matériau PE est opaque en grande épaisseur et transparent sous forme de film. Ils sont peu perméables à la vapeur d'eau (le PEHD est dix fois moins perméable que le PVC), mais sont perméables aux hydrocarbures, alcools et gaz. Cette perméabilité diminue lorsque la cristallinité augmente (*Doyer et al., 1995*).

### **I.5.1.2. Propriétés mécaniques**

Le thermoplastique semi-rigide, le PE est à la fois fin et flexible, et la grande section ne se déforme pas facilement. Les propriétés mécaniques dépendent de la configuration de la molécule. Ils fonctionnent mieux lorsque les macromolécules sont orientées (que ce soit par extrusion ou étirage) et que le degré de polymérisation est élevé. Deux exemples peuvent être cités (*Doyer et al., 1995*) :

- La rigidité et la résistance à la rupture augmentent avec l'augmentation de la cristallinité et du poids moléculaire.
- La résistance aux chocs et la résistance à la déchirure diminuent avec l'augmentation de la cristallinité, mais augmentent avec l'augmentation du poids moléculaire.

### **I.5.1.3. Propriété thermiques**

Déterminer la fusion du PE (entre 110 et 135 °C). Plus la densité est élevée, plus la température de fusion est élevée. Le PE est inflammable et libère essentiellement du dioxyde de carbone et de l'eau. Ils brûlent et "dégouttent" avec une flamme bleue. Ils sont classés M4 - Résistance au feu - Test de rayonnement. Sans restriction, le PEHD a la capacité de résister à des températures allant de 110 à 120°C. Cependant, cette température peut diminuer en cas de contrainte et augmenter avec la réticulation. Le point auquel les transitions vitreuses (-110°C) se produit avec moins de sensibilité à mesure que le pourcentage de cristallinité dans le PE augmente (*Doyer et al., 1995*).

### **I.5.1.4. Propriétés électriques**

Le PE est un excellent isolant électrique. Ils ont une résistivité et une rigidité diélectrique élevée ( $\geq 65$  kV/mm à 0,4 mm d'épaisseur) (*Doyer et al. 1995*).

### **I.5.1.5. Propriétés chimiques**

Les propriétés chimiques du PE sont assez fixes. A 60°C, ils sont presque insolubles. Ils sont insensibles aux acides (à l'exception des agents oxydants), aux alcalis et aux solutions salines. Ils sont insolubles dans l'eau et sont connus pour être utiles dans les applications alimentaires. Le PE est sensible à la fissuration sous contrainte en présence de savon, d'alcool, de détergents, etc. Le PE à l'état naturel est sensible à l'action de la lumière ultraviolette en existence d'oxygène. Pour pallier cette lacune, ils sont généralement surchargés de toner ou de photo-stabilisants (*Doyer et al., 1995*).

### **I.5.2. Production**

Il existe différentes méthodes pour acquérir du polyéthylène pendant la production. La technique principale consiste à lier des unités d'éthylène, également appelées monomères, par un processus de polymérisation. Si le polymère résultant est composé uniquement d'unités d'éthylène, il est appelé homopolymère. En revanche, s'il contient une combinaison de différents monomères, on parle de copolymère. Pour aider à réguler la densité finale du polymère, le 1-hexène est souvent utilisé comme comonomère. Ces réactions peuvent se produire dans des réacteurs en phase liquide ou gazeuse de différents types (*Kong et al., 2017*).

### **I.5.3. Voies de dégradations**

Les plastiques ont la propriété d'être persistants dans l'environnement. Selon leur poids moléculaire, ces substances peuvent mettre plus de 1 000 ans à se diminuer. La dégradation est caractérisée par tout changement physique ou chimique au sein du polymère causé par des paramètres environnementaux (lumière, chaleur, humidité, conditions chimiques ou biologiques) (*Shah et al., 2008*).

Différents mécanismes provoquent la dégradation des plastiques. Ils sont de nature chimique, thermique, photooxydante ou biologique (*Alshehrei, 2017*). La dégradation implique des changements dans les propriétés des polymères plastiques. Sa fonction est affectée par les réactions chimiques, physiques et biologiques qu'elle initie. Ces réactions résultent de la rupture de liaison, de la formation de nouveaux groupes fonctionnels et des transformations chimiques qui en résultent (*Shah et al. 2008*).

### I.6. Impacts des déchets de PE sur l'environnement et l'homme

- **Des dégâts pour la vie marine :** La biodiversité marine est l'une des victimes les plus immédiates de la pollution plastique. Par étouffement, enchevêtrement ou blessures en tous genres liés aux débris flottants, ce sont plus de 1,5 millions d'animaux marins qui périssent chaque année.
- **Un risque pour la santé humaine :** Des études ont mis en évidence la présence de micro-plastiques dans des échantillons d'eau potable prélevés un peu partout à travers le monde. Des microparticules qui se frayent également un chemin jusqu'à nos assiettes par le biais des animaux que nous consommons ou des produits chimiques utilisés lors de la fabrication de nos emballages. Et bien évidemment, si le plastique est toxique pour la faune et la flore, il est également nocif pour l'Homme.
- **Une aggravation du réchauffement climatique :** Fabriqué majoritairement à partir d'énergies fossiles, le plastique pourrait représenter environ 20% de la consommation de pétrole d'ici 2050. Sa production et son transport émettent d'importantes quantités de gaz à effet de serre tout comme sa fin de vie, qu'il s'agisse d'incinération ou de dégradation dans les décharges à ciel ouvert.
- **Une pollution des sols :** Le plastique abandonné dans les décharges, soumis aux aléas météorologiques, interagit avec l'eau et laisse ses produits chimiques s'infiltrer dans le sous-sol. A terme, une possible aggravation de la pollution des sols et une altération de la qualité de l'eau potable.

### I.7. Les micro-plastiques

À l'heure actuelle, il n'existe aucune explication mondialement acceptée du terme. Les micro-plastiques sont généralement décrits comme de minuscules fragments de plastique mesurant entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 5 mm de diamètre (*De Witte et al, 2017*).

Tableau I.2. Classement par taille des particules de plastique (De Witte et al, 2017).

	Diamètre des particules
Macro-plastique	> 25 mm
Mésoplastique	5-25 mm
Micro-plastique	0.1 µm-5 mm
Nano-plastique	0.001-0.1 µm

Les fibres sont l'une des diverses formes sous lesquelles les micro-plastiques peuvent exister. Prendre diverses formes telles que des fragments, des sphéroïdes, des granulés, des pastilles et des billes selon la classification de l'EFSA en 2016. Ces minuscules particules de plastique sont considérées comme des micro-plastiques. La taille de l'objet peut être de nature principalement intentionnelle ou secondaire. Pour être plus précis, c'est le résultat de la décomposition des macro- ou méso-plastiques.

### **I.7.1. Micro-plastiques primaires**

Création de micro-plastiques primaires de diamètre inférieur à 5 mm Ceci est intentionnel par l'industrie du plastique (Auta et al., 2017). Cette petite taille permet contrôler, entre autres, la viscosité, la stabilité et les aspects physiques du produit, même A un effet abrasif (ECHA, 2017). Micro-plastiques primaires Trouvé dans de nombreux cosmétiques, produits de nettoyage sur la pelouse Artificiel, filets de pêche... (Commission européenne, 2017).



Figure I.5. Gazon artificiel (Hann et al., 2018)



Figure I.6. Peinture de route  
(<https://pixabay.com/en/road-marking-road-roads-462621/>)



Figure I.7. Produits cosmétiques (European Commission, 2017)



Figure I.8. Fibres de vêtements synthétiques  
(<http://www.juniorwaterprize.fr/pollution-coursdeau-oceans-fibres-synthetiques/>)



Figure I.9. Pellets de plastique (European Commission, 2017)



Figure I.10. Micro-plastiques provenant de l'usure de pneus (<https://www.boomerangalliance.org.au/>)

### Figures I.5 à I.10 Description exemple de micro-plastique.

Il est possible que des micro-plastiques primaires se retrouvent par inadvertance dans des produits industriels. Cependant, le résultat est le même : la prolifération des micro-plastiques dans l'environnement **Hann et al.(2018)** Ont identifié les quatre principaux responsables de la pollution micro-plastique. Ces sources sont, par ordre décroissant, les pneus de voiture, les marquages à base de peinture, les résines plastiques et les vêtements synthétiques sous forme de fibres synthétiques. Le frottement des pneus de voiture contre les

routes lors de l'accélération, du freinage et même sur des routes très abrasives peut entraîner l'usure des pneus. Lorsque cela se produit, les micro-plastiques entrant dans la composition du pneu se détachent et finissent sur la route, où ils peuvent être emportés par l'eau de pluie et entraînés dans les égouts. Malheureusement, les systèmes de purification ne sont pas conçus pour retenir ces petites particules, elles finissent donc par être rejetées dans l'environnement.

### **I.7.2. Micro-plastiques secondaires**

Le plastique est affronté dans l'environnement et particulièrement dans l'océan par des Forces mécaniques, physiques et biologiques. En réalité, suite à l'oxydation par les rayons UV, Les faibles températures et l'abrasion mécanique des vagues et du sable, le plastique est Dégradé et réduit à des débris. Les micro-plastiques secondaires sont aussi issus de la Fragmentation des macro-plastiques (*Andrady, 2011 ;Auta et al., 2017*). Il a été estimé en 2015 que plus de 150 millions de tonnes de plastique étaient rassemblées dans les océans et 11 que 4.6-12.7 millions de tonnes étaient ajoutées chaque année (*Jambeck et al., 2015*). Tous Ces déchets sont la grande source pour la formation de micro-plastiques secondaires.

### **I.9. Impact du micro-plastique sur l'environnement**

Des micro-plastiques ont été trouvés dans diverses formes d'eau, y compris les eaux de surface et les sédiments. Plusieurs études ont été menées sur les effets des microplastiques sur les organismes estuariens et marins (*Li et al., 2016 ; Turner et Rawling, 2000 ; Zeng et al., 2008*). Ces études ont mis en évidence les conséquences néfastes des microplastiques sur les algues, les moules, les poissons et autres organismes (*Green et al., 2017 ; Lagarde et al., 2016Setälä et al., 2014 ; Von Moos et al., 2012*). Les grands organismes filtreurs, tels que les baleines et le zooplancton, ont du mal à faire la distinction entre les microplastiques et les aliments réels (*Fossi et al., 2014 ; Cole et al., 2013*), ce qui a conduit à l'ingestion par inadvertance de microplastiques contenant d'autres polluants, entraînant empoisonnement (*Cole et al., 2011; Chua et al., 2014*). De plus, il a été découvert que les oiseaux avaient des retardateurs de flamme (produits chimiques dérivés du plastique) dans leurs systèmes (*Tanaka et al., 2013*), et que les baleines et les requins filtreurs contenaient des phtalates (*Fossi et al., 2014*). Les microplastiques peuvent affecter la croissance et la reproduction chez des daphnies (*Besseling et al., 2014*).

Alimba et Faggio ont observé des effets de MP sur les vertébrés et les invertébrés marins, notamment: asphyxie par noyade, limitation de l'alimentation et augmentation de la famine, écorchures cutanées et blessures au squelette (qui sont à la base des lésions de la muqueuse intestinale, de la morbidité et de la mortalité), stress oxydatif, altération des réponses immunologiques, de l'instabilité génomique, de la perturbation du système endocrinien, de la neurotoxicité, des anomalies de la reproduction, de l'embryotoxicité et de la toxicité transgénérationnelle (*Alimba et Faggio, 2019*).

Présents dans un environnement, les MP ont la capacité d'imiter les sources alimentaires naturelles des espèces vivantes (*Lambert et al., 2014*). 135 espèces de vertébrés marins et huit (8) espèces d'invertébrés susceptibles de s'emmêler, et 111 espèces d'oiseaux de mer ont été identifiées, entre autres, parmi les espèces qui ingèrent des objets en plastique (*Laist, 1987*). D'autres études ont montré que les boucles d'emballage de MP étaient une menace pour les otaries en Californie et les otaries à fourrure en Australie, respectivement (*Hanni and Pyle (2000) et Page et al., 2004*). Les sacs en plastique ont été identifiés comme le principal type de débris ingérés par les tortues marines (*Bugoni et al., 2001*).

### **I.9. Statistiques du MP de recensement dans le monde et en Algérie**

Il est difficile d'obtenir des statistiques précises sur la quantité de micro-plastiques dans le monde et en Algérie, car leur présence est souvent difficile à détecter et à mesurer de manière faible.

Cependant, certaines études ont été menées pour estimer la quantité de micro-plastiques dans l'environnement. Par exemple, une étude de 2018 publiée dans la revue *Environmental Science and Technology* estime qu'il y a environ 5,25 billions de micro-plastiques flottant à la surface des océans du monde entier. Une autre étude de 2019 publiée dans la même revue suggère qu'il y a environ 8,3 billions de micro-plastiques dans les eaux douces du monde entiers.

En ce qui concerne l'Algérie, il n'y a pas beaucoup de données disponibles sur la quantité de MP présents dans l'environnement. Cependant, une étude menée en 2020 par des chercheurs de l'Université de Batna a révélé la présence de micro-plastiques dans les sédiments côtiers de la région d'Annaba en Algérie. Les résultats ont montré que la concentration de micro-plastiques dans les échantillons de sédiments variait de 0,001 à 1,498 mg/kg.



Figure I.11. La production mondiale du plastique.

### I.10. Conclusion

Malgré les nombreux avantages du plastique (le polyéthylène précisément) qui se représente dans son faible coût et les différentes formes et caractéristiques du PE très utiles pour de nombreuses applications dans notre vie ; on trouve qu'il est très dangereux pour l'environnement et la vie humaine et marine puisqu'il prend beaucoup de temps, voire des dizaines d'années pour être dégradé.

**Chapitre II**  
**Synthèse**  
**Bibliographique**  
**sur la**  
**Biodégradation**  
**du polyéthylène**

### II.1. Introduction

Ce deuxième chapitre définit la biodégradation du polyéthylène qui est un sujet d'intérêt croissant en raison de la quantité croissante de déchets plastiques qui polluent notre environnement. Le polyéthylène est un polymère thermoplastique largement utilisé dans les emballages, les sacs, les bouteilles et autres produits en plastique. Le processus de biodégradation implique la dégradation des polymères en molécules plus petites qui peuvent être métabolisées par des micro-organismes présents dans l'environnement. Cependant, le polyéthylène est considéré comme non biodégradable car il est extrêmement résistant à la dégradation par les micro-organismes (Leklou et al., 2008).

### II.2. Définition de la biodégradation

Dans la nature, un matériau peut subir une biodégradation et être donc considéré comme 'biodégradable', sans lui avoir définitivement disparu du milieu.

**La figure (II.1)** présente les différentes voies de dégradation des polymères. Ces derniers peuvent subir une dégradation par des facteurs conduisant à la modification de la structure moléculaire et par conséquent à la détérioration des propriétés macroscopiques, on parlera d'une dégradation chimique (oxydation, hydrolyse), physiques (photo-dégradation, thermo-dégradation) ou biologique qui implique une action enzymatique et/ou une décomposition chimique causée par les organismes vivants (bactéries, champignons, levures, insectes, ...) ou par leurs produits de sécrétions (**Harrats et al., 2006 ; Zou et al., 2009**).

De multiples recherches scientifiques ont montré que certains micro-organismes, tels que les bactéries, les champignons et les moisissures, peuvent dégrader le polyéthylène, mais ce processus est très lent. De plus, les conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la présence d'oxygène peuvent avoir un impact significatif sur la vitesse de biodégradation.

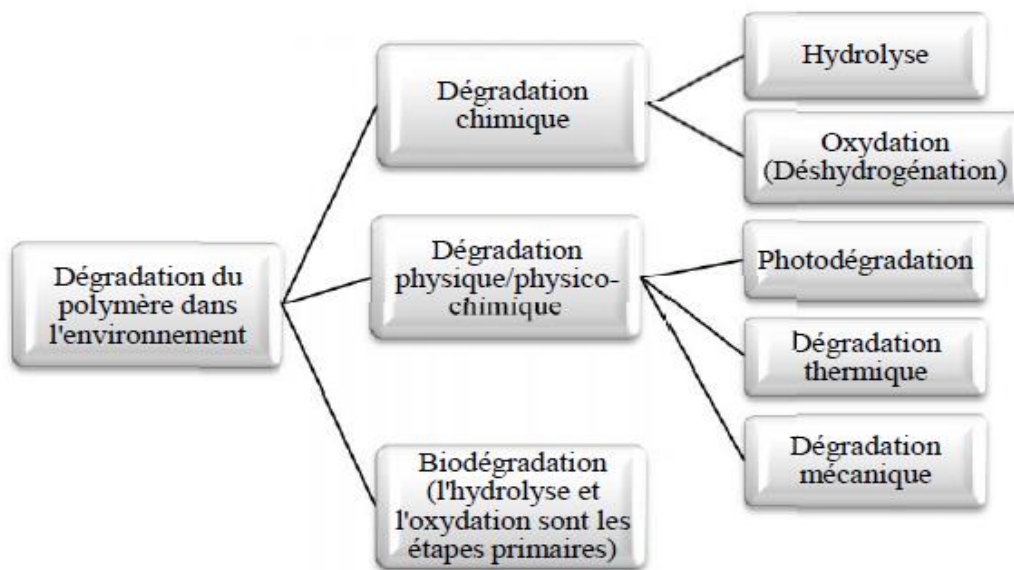


Figure II.1. Voies de dégradation des polymères dans l'environnement

(Smith et al., 2005).

### II.3. Méthode de mesure et d'évaluation de la biodégradabilité

Plusieurs méthodes ont été proposées pour accélérer le processus de biodégradation de polyéthylène, telles que l'utilisation de catalyseurs, de rayonnement UV, de chaleur et de micro-organismes spécifiquement conçus pour dégrader le polymère (Leklou et al., 2008).

La biodégradabilité fait référence à la capacité des matériaux à se décomposer naturellement en éléments simples et non nocifs pour l'environnement. Les méthodes de mesure et d'évaluation de la biodégradabilité sont importantes pour évaluer l'impact environnemental des produits et matériaux.

Voici quelques méthodes couramment utilisées pour mesurer la biodégradabilité:

- **La méthode de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) 301** : Cette méthode consiste à mesurer la quantité de gaz carbonique produite par la dégradation d'un échantillon plastique sous des conditions spécifiques, généralement pendant une période de 28 jours. Cette méthode est largement utilisée pour évaluer la biodégradabilité des produits chimiques

- **La méthode de l'OCDE 302** : Cette méthode mesure la dégradation d'un polymère en utilisant un mélange de microorganismes provenant de différents environnements tels que l'eau douce, l'eau salée ou les sols. Cette méthode est souvent utilisée pour évaluer la biodégradabilité Des produits de soins personnels, tels que les cosmétiques.
- **La méthode de l'ASTM D6400** : Cette méthode est utilisée pour évaluer la biodégradabilité des plastiques composables. Elle mesure la quantité de gaz carbonique produite par la dégradation de l'échantillon dans des conditions spécifiques de température, d'humidité et d'aération, pendant une période de 180 jours.
- **La méthode de la mesure du taux de dégradation anaérobie (AMPTS)** : Cette méthode mesure la production de méthane lors de la dégradation d'un échantillon de matière organique en utilisant des microorganismes anaérobies. Elle est souvent utilisée pour évaluer la biodégradabilité des déchets organiques (*Allen et al.,2006*)(*Tsai et al.,2003*).
- Les méthodes d'évaluation de la biodégradabilité concernent principalement des mesures de perte de masses (tests de désintégration), de la quantité d'oxygène (O<sub>2</sub>) consommée (DBO), du carbone organique dissous (COD), ou de la quantité de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) émis (tests de biodégradabilité).
- Des analyses supplémentaires peuvent être effectuées telles que la spectroscopie infrarouge (IR), la spectroscopie ultraviolet (UV)- visible, la résonance magnétique nucléaire (RMN), la chromatographie par perméation de gel (pour déterminer la distribution des masses moléculaires), les propriétés mécaniques, et l'analyse de surface par microscopie électronique (*Allen et al., 2006 ; Tsai et al., 2003*). Il est important de noter que chaque méthode a ses avantages et ses limites et que le choix de la méthode dépendra du type de matériau à évaluer.

### II.4. Biodégradation du polyéthylène

Actuellement, l'élimination de polyéthylène usagé reste un problème d'ampleur vu la pollution qui en découle. Les techniques chimiques ou physiques utilisées actuellement sont non seulement coûteuses, mais également productrices de composés toxiques tels que les polluants organiques persistants (POP tels que les furanes et les dioxines). Ceux-ci ont montré un danger non seulement pour l'homme, mais plus globalement pour les différents écosystèmes de la planète (Ojha et al., 2017).

## Chapitre II

---

Deux grandes voies sont prises en compte dans la dégradation du polyéthylène, selon leurs origines, elles sont classées en abiotique ou biotique.

- La première est représentée par des facteurs environnementaux tels que les rayons UV, la température ou encore l'oxygène.
- La seconde est prise en charge par les microorganismes qui entraînent une biodégradation des polymères en modifiant et/ou consommant ceux-ci.

Les propriétés des polymères tels que la cristallinité, l'hydrophobicité, la topographie ou la composition chimique s'en retrouvent modifiées. Il est évident que ces deux classes de dégradation se retrouvent presque toujours simultanément lors d'une dégradation naturelle. Que ce soit l'intervention de rayons UV ou l'action d'une enzyme, une étape d'oxydation est requise pour entraîner une dégradation du polyéthylène (*Restrepo-Florez et al., 2014*).

Un grand nombre de micro-organismes possède la capacité de s'attaquer aux polymères plastiques. Cependant, la longue durée et le faible degré de dégradation limite leur usage industriellement. Il y aurait plus de 90 genres de bactéries, de champignons et d'actinomycètes qui ont la capacité de dégrader le plastique (*Mahdiyah& Mukti et al., 2013*). Selon le type de biodégradation, différents produits peuvent être retrouvés. Si la réaction est aérobie, du dioxyde de carbone et de l'eau seront présents. Si la dégradation est anaérobie, il y aura présence de dioxyde de carbone, d'eau et de méthane (*Gu et al., 2003*).

Différentes étapes se succèdent au niveau de la dégradation. Lorsque les enzymes secrétées par les micro-organismes entraînent la coupure des polymères de longue chaîne en plus petites unités (en oligomères, dimères et/ou monomères), ceux-ci deviennent alors assimilables au sein d'une bactérie (membrane semi-perméable).

Ils peuvent dès lors être utilisés en tant que source de carbone et d'énergie. Cette étape est la « **dépolymérisation** ». Si les produits obtenus après ces étapes sont le dioxyde de carbone, l'eau et le méthane, c'est une « minéralisation » (*Shah et al., 2008*).

Il est à noter qu'une biodégradation du polyéthylène par l'intermédiaire de micro-organismes est tout de même amorcée par une photo-dégradation chimique et une dégradation chimique (*Shah et al., 2008*). Les bactéries peuvent également entamer la formation d'un bio-film afin de fragiliser le polymère (*Bonhomme et al., 2003*).

Le polyéthylène étant constitué de chaînes aliphatiques linéaires, le mécanisme d'action des familles d'enzymes suspectées de participer à sa biodégradation, telles que la laccase ou une alcane hydroxylase, résulte en une étape d'oxydation (*Santo et al., 2012 ; Restrepo-Florez et al., 2014*).

D'autres types d'enzymes telles les lipases, les estérases ou les cutinases ont été soulignées pour leurs rôles dans la dégradation de divers plastiques et sont également d'intérêt pour le polyéthylène (*Mueller et al., 2006; Ojha et al., 2017*).

Une étude récente a montré que certaines bactéries du sol, telles que « **Ideonella Sakaiensis** », sont capables de dégrader le polyéthylène en utilisant des enzymes spécifiques. Cette découverte pourrait ouvrir la voie à des solutions pour la gestion des déchets en plastique à l'avenir (*Yoshida et al., 2016*).

Une revue des études concernant la biodégradation du polyéthylène en présence de consortium microbien présent dans l'environnement ou en utilisant des microorganismes sélectionnés, dans un milieu bien défini et sous des conditions de laboratoire contrôlées est représentée dans le **tableau (II.1)**.

Tableau II.1: Revue des travaux relatifs à labiodégradation du polyéthylène par les microorganismes (Ammala et al., 2011).

Source des Microorganismes	Echantillon	Microorganismes
Collection de cultures	PEBD avec prétraitement(chaleur et /ou UV)	<i>Gliocladium virens</i> ATCC9645 <i>Aspergillus niger</i> ATCC9642 <i>Penicillium pinophilum</i> ATCC11797 <i>Phanerochaete chrysosporium</i> H289
Collection de cultures	PEBDL/6% amidon/prooxydant	<i>Streptomyces viridosporous</i> ATCC39115 <i>Phanerochaete chrysosporium</i> ME446
Collection de cultures	Prétraitement UV/chaleur	<i>Streptomyces badius</i> ATCC39117 <i>Streptomyces setonii</i> ATCC39116
Collection de cultures	PEBD,PEBDL/prooxydant /prétraitement thermique	<i>Aspergillus niger</i> ATCC 6275 <i>Gliocladium virens</i> ATCC9645 <i>Paecilomyces variotii</i> 10121 <i>Penicillium funiculosum</i> ATCC19010 <i>Streptomyces strain</i>
Collection de cultures	PEBD/prooxydant	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Collection de cultures	PEHD	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>
Collection de cultures	PEBD Fe prooxydant TDPA@prooxydants	<i>Cladosporium cladosporioides</i> ATCC20251 <i>Rhodococcus rhodochroust</i> ATCC29672
Collection de cultures	PE/6% amidon (prétraitement thermique)	<i>Mucor rouxii</i> 1835 <i>Aspergillus flavus</i> <i>Streptomyces sp</i>
Paraffine dégradée	PEBD/amidon/Festearate /prétraitement thermique PEBD/amidon, Mnstearate/ styrenbutadiene copolymer/prétraitement thermique	<i>Arthrobacter paraffineus</i>
Sol	PEBD/photo sensibilisateur	<i>Rhodococcus rubber</i>

	UV/prétraitement thermique	
Sol	PEBD/photo sensibilisateur prétraitement thermique/UV	<i>Brevibacillus borstelensis</i>
Sol	PEHD/prétraitement thermique +UV/traitement avec acide nitrique	<i>Penicillium simplicissimum</i> YK
Sol	PEBD/60% Bionella	<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium funiculosum</i>
Sol	PEBD/cobaltstearate	<i>Bacillus pumilus</i>
Mer	PEBDetPEHDavec etsan samidon/avec etsans Prétraitement thermique	<i>Bacillus sphaericus</i> GC subgroup IV <i>Bacillus cereus</i> sub group A
Laboratoire	PEBD/pré traitement thermique	<i>Rhodococcus ruber</i>

#### II.4.a. Mécanisme de la biodégradation du polyéthylène

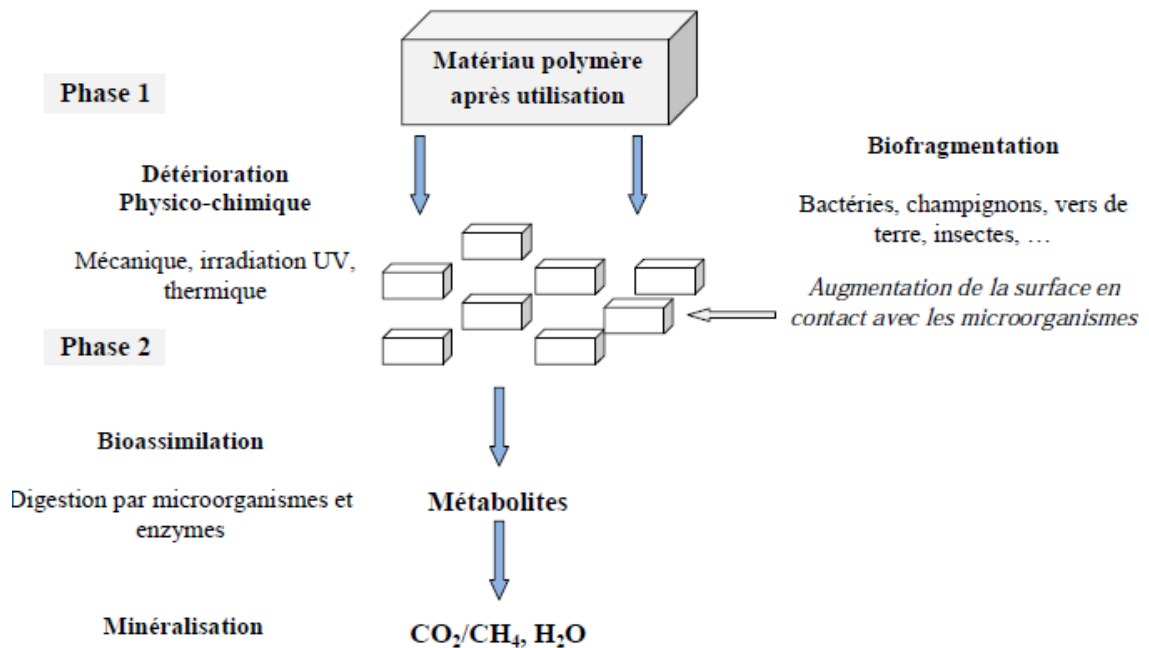
Le mécanisme de la biodégradation du polyéthylène implique la dégradation enzymatique des liaisons carbone-carbone dans la chaîne polymère par des microorganismes. Les microorganismes utilisent des enzymes appelées hydrolases pour couper les liaisons ester ou amide qui maintiennent ensemble les unités répétitives de la chaîne polymère.

Plusieurs microorganismes ont été identifiés comme étant capables de dégrader le polyéthylène (**Tableau II.1**), notamment les bactéries, les champignons et les algues. Les microorganismes produisent des enzymes qui hydrolysent les liaisons carbone-carbone du polyéthylène, ce qui entraîne une fragmentation progressive de la chaîne polymère.

Les produits de dégradation résultant de la biodégradation du polyéthylène peuvent être des composés plus simples tels que des acides gras, des esters et des alcools. Ces produits peuvent être assimilés par les microorganismes pour produire de l'énergie ou utilisés pour la synthèse de nouvelles molécules.

Cependant, il est important de noter que la biodégradation du polyéthylène est un processus lent et peut prendre des années, voire des décennies, en fonction des conditions

environnementales. De plus, la biodégradation du polyéthylène peut produire des sous-produits nocifs pour l'environnement, tels que des microplastiques et des produits chimiques toxiques.



**Figure II.2.** Mécanismes de biodégradation de polyéthylène. (D. Wyart et al., 2000)

## II.5. Paramètres influençant la biodégradation

Les paramètres qui influencent la biodégradation peuvent varier en fonction de la matière organique et des organismes impliqués dans le processus. Cependant, voici quelques paramètres généraux qui peuvent influencer la biodégradation.

### II.5.1. Les micro-organismes ayant un rôle dans la dégradation du polyéthylène

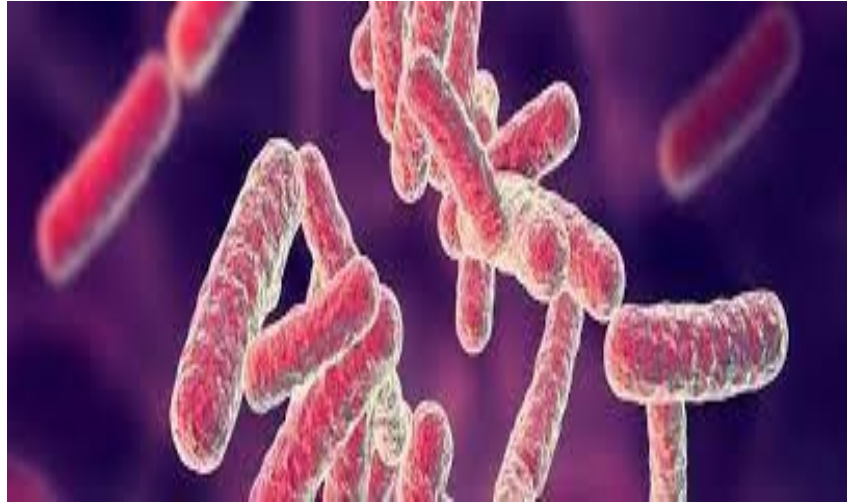
Le polyéthylène (PE) est un matériau synthétique à longue durée de vie qui est considéré comme non biodégradable en raison de sa structure chimique stable. Cependant, au cours des dernières années, des études ont montré que certains microorganismes peuvent jouer un rôle dans la dégradation du PE.

Parmi ces microorganismes, on peut citer :

#### II.5.1.a. Bactéries

Les bactéries sont les principaux microorganismes impliqués dans la dégradation du PE. Voici quelques exemples de bactéries impliquées dans la dégradation du PE :

- ***Pseudomonas sp.*** : Cette bactérie a été isolée à partir d'un sol contaminé par des déchets plastiques et est capable de dégrader le PE en présence d'oxygène. (***Ryngaert et al., 2017***).



**Figure II.3.** *Pseudomonas sp.* Vue au MEB

- ***Bacillus sp.*** : Cette bactérie a été trouvée dans des sols contaminés par des déchets plastiques et est capable de dégrader le PE en présence d'oxygène. (Yang et al., 2014)



**Figure II.4.** *Bacillus sp.* vue au microscope optique

- ***Rhodococcus ruber*** : Cette bactérie est capable de dégrader le PE en présence d'oxygène et de conditions environnementales spécifiques, telles que la température et l'humidité. (***Shah et al., 2013***).

➤ *Entero bacterasburiae* : Cette bactérie a été isolée à partir d'un sol contaminé par des déchets plastiques et est capable de dégrader le PE en présence d'oxygène (Wei et al., 2016).

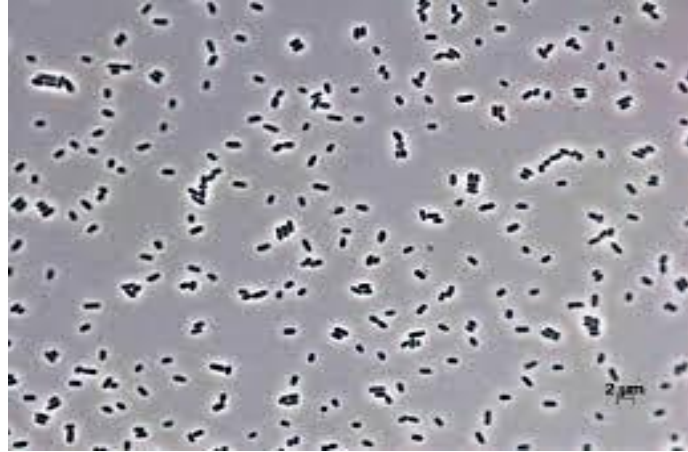


Figure II.5. *Entero bacterasburiae* vue au microscope optique

### II.6.1.b. Champignons :

Les champignons sont des organismes importants dans la biodégradation des matériaux organiques, y compris les polymères. Voici quelques exemples de champignons impliqués dans la biodégradation :

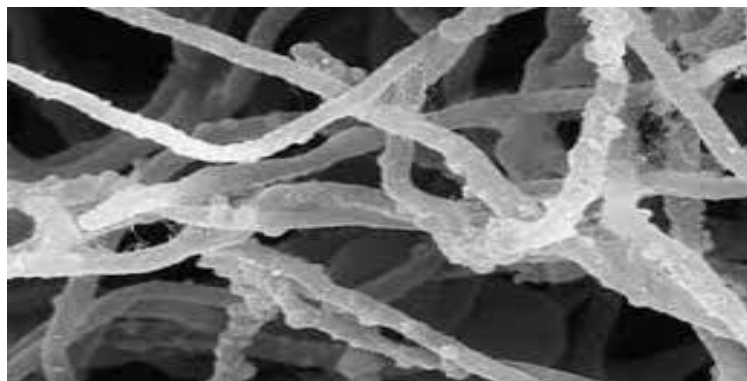


Figure II.6. *Phanerochaetechryso sporium*

➤ *Phanerochaetechryso sporium* : Ce champignon est capable de décomposer les polymères complexes tels que la lignine et la cellulose. Il produit des enzymes qui dégradent les liaisons chimiques du matériau.

➤ ***Trichoderma reesei*** : Ce champignon est souvent utilisé pour la production d'enzymes industrielles, mais il est également capable de dégrader les polymères. Il produit des enzymes cellulolytiques qui décomposent la cellulose.

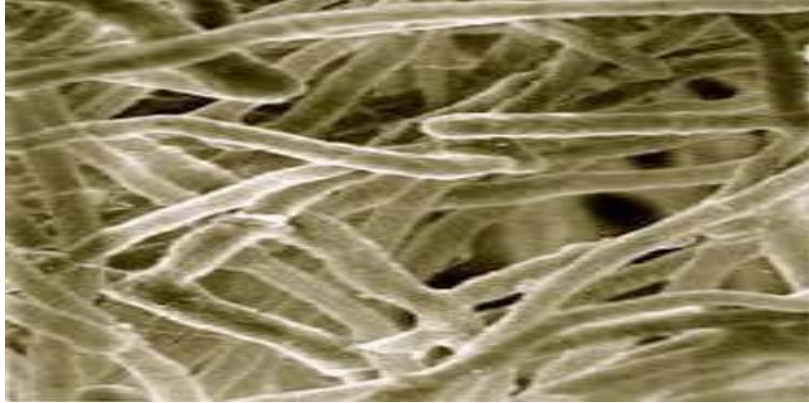


Figure II.7. *Trichoderma reesei*

➤ ***Pleurotus ostreatus*** : Ce champignon est capable de décomposer les polymères tels que le polystyrène. Il produit des enzymes qui dégradent le matériau.



Figure II.8. *Pleurotus ostreatus*

### II.6.2. Paramètres physico chimiques

La biodégradation est un processus physico-chimique complexe qui implique l'interaction de micro-organismes avec des composés organiques. Les paramètres physico-chimiques suivants peuvent influencer la biodégradation :

### **II.6.2.a. pH**

Le pH est un paramètre important car il peut affecter la croissance des micro-organismes et leur activité enzymatique. Des études ont montré que la plupart des micro-organismes préfèrent un pH neutre compris entre 6,5 et 7,5 pour une dégradation efficace. (*Li et al., 2018*).

### **II.6.2.b. Température**

La température est un autre paramètre important car elle peut affecter la croissance et l'activité enzymatique des micro-organismes. Des études ont montré que la biodégradation est plus efficace à des températures comprises entre 25°C et 35°C pour la plupart des micro-organismes. (*Lu et al., 2020*).

### **II.6.2.c. Teneur en oxygène**

La teneur en oxygène est un paramètre important pour la biodégradation des composés organiques. Les micro-organismes aérobies ont besoin d'oxygène pour leur métabolisme, tandis que les micro-organismes anaérobies n'en ont pas besoin. Des études ont montré que la biodégradation est plus efficace en présence d'oxygène. (*Chen et al., 2019*).

### **II.6.2.d. Concentration en nutriments**

Les nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium sont essentiels pour la croissance des micro-organismes. Des études ont montré que la biodégradation est plus efficace en présence de nutriments suffisants (*Zhang et al., 2021*).

### **II.6.2.e. Concentration en composés organiques**

La concentration en composés organiques est un paramètre important car elle peut affecter la capacité des micro-organismes à dégrader les composés organiques. Des études ont montré que la biodégradation est plus efficace à des concentrations de composés organiques faibles à modérées (*Zhang et al., 2021*).

## **II.7. Méthode d'estimation de la dégradation d'un matériau polymère**

La méthode d'estimation de la dégradation d'un matériau polymère est une approche pour évaluer la capacité d'un matériau à se décomposer en présence de micro-organisme

## Chapitre II

Cette méthode peut inclure des tests en laboratoire et des études sur le terrain pour évaluer la dégradation du matériau dans des conditions naturelles

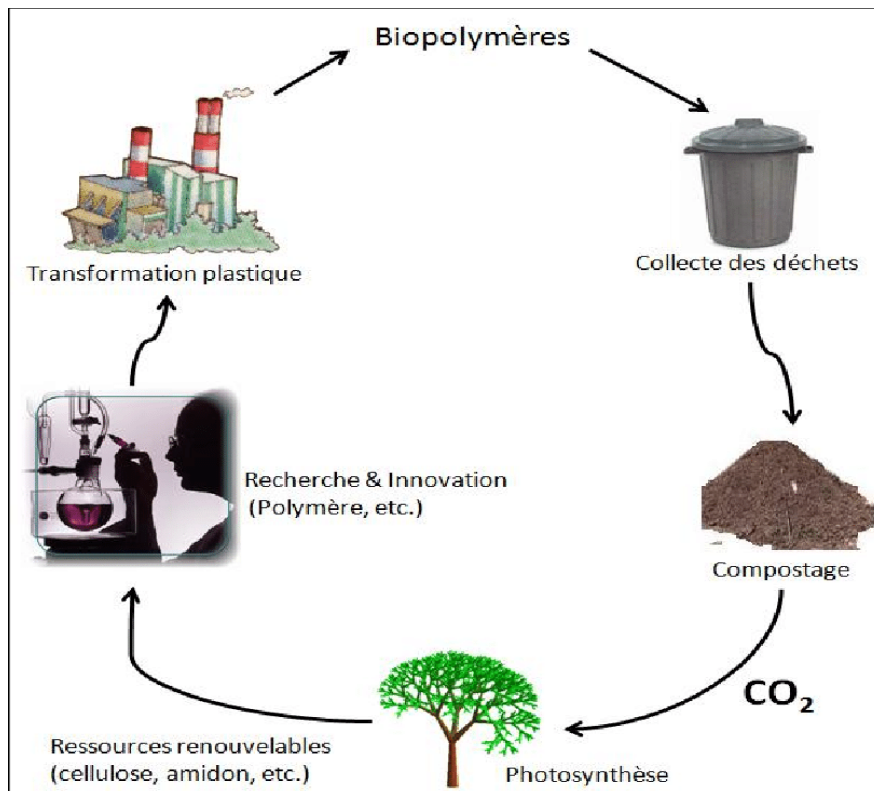


Figure II.9. Cycle de vie d'un biopolymère

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la biodégradabilité des polymères, notamment :

### II.7.1. Paramètres de mesure :

La méthode d'estimation de la dégradation d'un matériau polymère peut inclure plusieurs paramètres de mesure pour évaluer la dégradation du matériau. Voici quelques-uns des paramètres les plus couramment utilisés.

#### II.7.1.a. La quantité de dioxygène consommée :

Ce paramètre est mesuré dans le cadre de la méthode de la respirométrie. Il mesure la quantité de dioxygène consommée par les micro-organismes pendant la dégradation du polymère. Cette mesure peut être utilisée pour calculer le taux de biodégradation du matériau.

#### II.7.1.b. La quantité de gaz produite :

Ce paramètre est mesuré dans le cadre de la méthode de la production de gaz. Il mesure la quantité de gaz produite par les micro-organismes pendant la dégradation du polymère. Cette mesure peut être utilisée pour évaluer le taux de biodégradation et le

potentiel de production de gaz à effet de serre du matériau.

La quantité de gaz produite peut être évaluée de différentes manières, selon le type de gaz spécifique et le contexte de mesure. Voici quelques exemples de paramètres couramment utilisés pour mesurer la quantité de gaz produite :

- **Volume:** Il s'agit de la mesure de la quantité de gaz en termes de volume occupé, généralement exprimé en unités de volume standard telles que mètres cubes (m<sup>3</sup>) ou litres (L).
- **Masse :** Ce paramètre mesure la quantité de gaz produite en termes de poids, exprimé en unités de masse telles que kilogrammes (kg) ou tonnes (t).
- **Concentration :** Lorsque le gaz produit est mélangé à d'autres composants, la concentration peut être utilisée pour quantifier la proportion de gaz spécifique dans le mélange. Elle est généralement exprimée en pourcentage (%), en parties par million (ppm) ou en parties par milliard (ppb).
- **Débit :** Le débit mesure la quantité de gaz produite par unité de temps. Il peut être exprimé en unités de débit standard, telles que mètres cubes par seconde (m<sup>3</sup>/s) ou litres par minute (L/min).

#### **II.7.1.c. La perte de masse :**

C

e paramètre est mesuré dans le cadre de la méthode de la perte de masse. Il mesure la diminution de masse du polymère au fil du temps. Cette mesure peut être utilisée pour évaluer le taux de biodégradation du matériau.

#### **II.7.1.d. La composition chimique :**

Ce paramètre est mesuré dans le cadre de la méthode de la spectrométrie de masse. Il permet de suivre les changements dans la composition chimique du polymère pendant la dégradation. Cette mesure peut être utilisée pour déterminer les produits de dégradation du matériau

#### **II.7.1.e. La quantité de dioxyde de carbone produite :**

Ce paramètre est mesuré dans le cadre de la méthode de l'analyse de la production de CO<sub>2</sub>. Il mesure la quantité de dioxyde de carbone produite pendant la dégradation du polymère. Cette mesure peut être utilisée pour évaluer le taux de biodégradation du matériau.

### II.7.2. Respirométrie

La méthode de la respirométrie est une technique courante utilisée pour mesurer la biodégradabilité des matériaux polymères. Elle consiste à mesurer la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de la dégradation du matériau.

Les paramètres clés utilisés pour l'évaluation de la biodégradabilité des polymères par respirométrie incluent :

- **La consommation d'oxygène (OC)** : mesure la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de la dégradation du matériau.
- **La respiration spécifique (RS)** : mesure la quantité d'oxygène consommée par unité de masse du matériau.
- **La respiration cumulative (RC)** : mesure la quantité totale d'oxygène consommée pendant toute la période de test.
- **La cinétique de dégradation** : mesure la vitesse à laquelle le matériau se dégrade.

### II.8. Conclusion

En conclusion, la biodégradabilité du polyéthylène est un sujet complexe et controversé. Le polyéthylène est un polymère synthétique très utilisé dans l'industrie, mais il est également connu pour sa très faible biodégradabilité, ce qui pose des problèmes environnementaux importants. Des études ont montré que certains micro-organismes, notamment des champignons, peuvent jouer un rôle dans la dégradation du polyéthylène, mais les mécanismes exacts impliqués dans ce processus doivent encore être étudiés en détail. Cependant, il est important de noter que la biodégradation ne signifie pas nécessairement que le matériau disparaîtra complètement de l'environnement. En effet, la biodégradation peut conduire à la production de fragments plus petits qui peuvent être encore plus difficiles à éliminer et peuvent avoir des effets négatifs sur la faune et la flore environnantes. Par conséquent, pour résoudre le problème de la pollution causée par le polyéthylène, une approche holistique et durable est nécessaire, qui inclut non seulement la recherche de micro-organismes capables de dégrader le polyéthylène, mais également la réduction de la production de plastiques à usage unique, l'amélioration de la collecte et du recyclage des déchets plastiques, et l'adoption de pratiques de consommation plus durables.

# **Chapitre III**

## **Matériels et**

### **méthode**

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude, en détaillant les protocoles de biodégradation du polyéthylène commenceront par la photodégradation de plastique et préparer le milieu de culture, et la myco-dégradation. Des analyses physiques, chimiques, bactériologiques et toutes les analyses expérimentales ont été effectuées dans les laboratoires pédagogiques du département de Génie des Procédés de l'université 20 août 1955, Skikda.

### III.2. Photo-oxydation du PET par l'acide nitrique

La photodégradation du plastique par l'acide nitrique sous l'action de la lumière du soleil est une méthode qui utilise une combinaison d'agents chimiques et d'énergie solaire pour décomposer les plastiques.

Cependant, il est important de noter que cette première méthode est importante pour notre travail. Par ce que le PET peut prendre beaucoup de temps pour être dégradé alors on utilise cette méthode avant la biodégradation pour accélérer l'opération de dégradation.

#### III.2.1. Procédure

- Nous nous sommes assurés de mener cette expérience dans un endroit bien ventilé ou sous une hotte aspirante pour éviter les vapeurs d'acide nitrique.
- Nous portons un équipement de protection individuelle, notamment des gants et une blouse de laboratoire.
- Nous plaçons le plastique que nous voulons décomposer dans deux récipients en verre résistant aux acides, après les avoir coupés en petits morceaux de deux tailles identiques. Le poids d'échantillonnage du premier nombre est  $m=0.0188g$  et le poids d'échantillonnage du deuxième chiffre est  $m=0.0232g$ .
- Nous avons ajouté de l'acide nitrique concentré dans les deux récipients à raison de 50 ml d'acide nitrique et 50 ml d'eau distillée dans chaque récipient.
- La quantité d'acide nitrique nécessaire dépendra de la quantité de plastique utilisée, mais il est important de travailler avec précaution avec de petites quantités d'acide nitrique à la fois.

Nous avons bien mélangé le plastique et l'acide nitrique pour assurer une répartition uniforme de l'acide sur toute la surface du plastique.

## Chapitre III

---

- Nous mettons les pots au soleil à l'extérieur, dans un endroit ensoleillé.
- Nous avons laissé les pots au soleil pendant un moment. 36 jours .
- Nous avons observé attentivement le processus de dégradation. Des changements visibles tels que la décoloration, la fragilité ou l'écaillage du plastique peuvent indiquer une détérioration continue
- Après exposition, nous avons nettoyé les pièces en plastique avec de l'eau et les avons bien séchées. Nous avons manipulé le mélange avec précaution, car il peut contenir des résidus d'acide nitrique corrosif.

Nous éliminons les déchets conformément aux réglementations locales en matière de sécurité et d'environnement



Figure III.1. Premier jour de photo-dégradation chimique du plastique.



Figure III.2. Après 36 jours de photo-dégradation chimique



Figure III.3. Séchage de plastique des deux récipients.

### III.3. Préparation du milieu Bold Basal

Le milieu Bold Basal est un milieu de culture d'enrichissement pratiqué pour tester la capacité des micro-organismes à se dégrader et à utiliser des sources de carbone et d'azote comme substrats pour la production de biomasse.

Nous avons utilisé ce milieu pour la croissance des souches de champignons (*Penicillium sp*, *Aspergillus niger*) que nous avons utilisée dans notre expérience de biodégradation, en présence de morceau de PET pré-pesé.

#### III.3.1. Composition du milieu Bold Basal

Dans cette biodégradation le milieu Bold Basal est utilisé pour fournir aux micro-organismes impliqués dans la biodégradation des nutriments essentiels tels que les sels minéraux, les vitamines et les oligo-éléments. Ces nutriments sont nécessaires à la croissance des micro-organismes et à leur capacité à dégrader le PET présent dans le milieu.

Tableau III.1 : Réactifs du milieu de culture "Bold Basal"

Produit	Formule chimique	Les poids (g)
Dipotassium hydrogen phosphate	$K_2HPO_4$	6,4
Phosphate de monopotassium	$KH_2PO_4$	0,8
Ammonium sulfate	$(NH_4)_2SO_4$	0,4
Sulfate de magnésium	$MgSO_4$	0,16
Chlorure de sodium	$NaCl$	0,08
Sulfate de fer(II)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,016
Sulfate de Cuivre (II)	$CuSO_4$	0,0004
Sulfate de zinc	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,22
Carbonate de calcium	$CaCO_3$	0,4

### III.3.1.1. Préparation du milieu solide

Afin de préparer un milieu gélosé pour la culture de nos souches fongiques afin de favoriser la biodégradation du PET en milieu solide nous avons ajouté à la formule de Basal Médium décrit ci-dessus de l'Agar-agar.

Il s'agit d'une algue comestible obtenue à partir d'algues rouges, mais pas n'importe lesquelles : les Liliacées et les Gracilariacées, une substance mucilagineuse transparente se compose de deux glucides (polysaccharides). C'est un gélifiant végétal naturel utilisé en bactériologie comme milieu de culture, dans l'industrie comme produit d'encollage, et en cuisine pour la préparation des gelées.

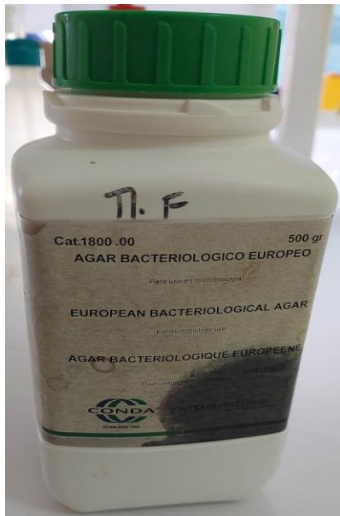


Figure III.4. Agar agar

### III.3.1.2. Tween 80

Il s'agit d'une solution d'agent tensioactif non ionique utilisée en tant que supplément dans divers milieux de culture, dans une configuration de laboratoire et pour l'extraction sélective de protéine, il est connu sous le nom "polysorbate 80". Le tween 80 est un liquide jaune visqueux et soluble dans l'eau et l'alcool.

- Masse volumique : 1,06 g/cm<sup>3</sup>
- Masse molaire : 1 310 g/mol
- Formule : C<sub>64</sub>H<sub>124</sub>O<sub>26</sub>



Figure III.5. Flacon de Tween 80.

### III.3.2. Procédure de la préparation du milieu

- Nous avons utilisé une balance de précision pour peser nos substances.
- Ces dernières sont dissoutes dans 400 ml d'eau distillé dans un Erlenmeyer d'une Capacité de 1 litre sous agitation moyenne, ainsi que la chaleur à 45 °C.
- Une fois que toutes les substances soient dissoutes ; nous mesurons le pH de la Solution et l'ajustons entre 5,5 et 6.
- Après cela nous ajoutons 3 gouttes de tween 80.
- Puis 20 g d'Agar agar qui joue le rôle de gélifiant.
- On complète avec de l'eau distillé stérile jusqu'à avoir 1 litre.
- Faire chauffer le milieu jusqu'à l'obtention d'une dilution complète et d'une ébullition.
- A l'aide des gants isothermes, on verse la solution obtenue dans des bouteilles en verre de 100 ml doit supporter les hautes températures à l'autoclave après les avoir lavés et désinfectés.
- Le milieu est ensuite mis dans l'autoclave pendant 15 min à 121 °C.

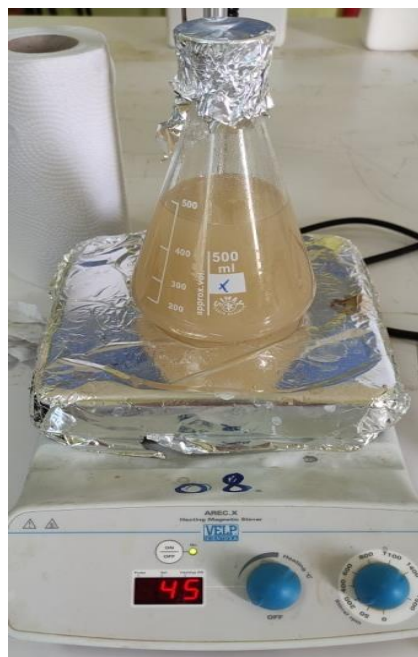


Figure III.6. L'agitation des produits dans l'Erlenmeyer.



**Figure III.7.** Le versement du milieu Bold Basal dans les bouteilles stérilisées.



**Figure III.8.** Les bouteilles avant être mettez dans l'autoclave

### **III.4. Biodégradation du polyéthylène en milieu Bold Basal**

On a utilisé la biodégradation (myco-dégradation) après la photodégradation pour dégrader le polyéthylène car ces deux processus offrent des avantages complémentaires. La photodégradation dégrade le polyéthylène sous l'effet de la lumière solaire ou d'autres sources de lumière. L'exposition aux rayons UV provoque la rupture des chaînes polymères, ce qui entraîne une fragmentation du PET en morceaux plus petits. Cependant, la photodégradation ne transforme pas complètement le PET. Les morceaux de PET résultants sont appelés microplastiques. C'est là que la biodégradation entre en jeu comme deuxième étape. La biodégradation est le processus par lequel des micro-organismes, tels que des bactéries ou des champignons, dégradent les substances organiques en éléments naturels plus simples, tels que le dioxyde de carbone, l'eau et la biomasse. Lorsque les micro plastiques photo dégradés sont ensuite exposés à des micro-organismes capables de les décomposer, ils peuvent être dégradés davantage et finalement convertis en composés inoffensifs.

### III.4.1. Les souches utilisées

#### III.4.1.1. *Aspergillus niger*

*Aspergillus niger* est un champignon filamenteux appartenant au genre *Aspergillus*. Il est largement répandu dans l'environnement et peut être trouvé dans le sol, les végétaux en décomposition, les aliments et les débris organiques. Il est également connu pour sa capacité à coloniser les environnements intérieurs tels que les bâtiments et les systèmes de ventilation.

Ce champignon présente une morphologie caractéristique avec des hyphes (filaments) qui forment une structure en forme de brosse, appelée conidiospore, à l'extrémité de laquelle se forment des spores de reproduction appelées conidies. Les conidies d'*Aspergillus niger* sont généralement noires, d'où le nom spécifique « niger » qui signifie noir en latin.

*Aspergillus niger* est connu pour sa capacité à produire diverses enzymes et métabolites secondaires. *Aspergillus niger* peut poser des problèmes de santé publique. Il est associé à des infections fongiques chez les individus immunodéprimés, en particulier ceux atteints de mucoviscidose ou de troubles pulmonaires sous-jacents. Il peut provoquer une aspergillose, une infection fongique qui peut affecter les poumons, les sinus et d'autres parties du corps.



Figure III.9. *Aspergillus niger* sur PDA culture

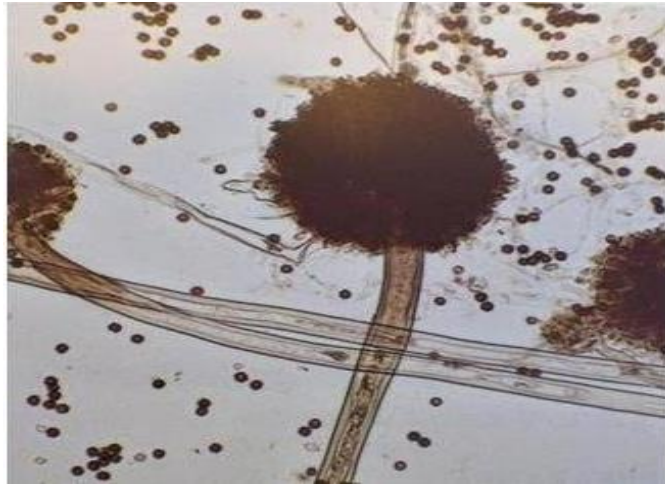


Figure III.10. *Aspergillus niger* sous microscope.

### III.4.1.2. *Penicillium* sp

*Penicillium sp.* est un genre de champignons filamenteux (ascomycètes) de la famille des Trichocomaceae, appartenant à l'ordre des Eurotiales. Le genre *Penicillium* comprend de nombreuses espèces différentes, qui sont largement répandues dans l'environnement.

La caractéristique principale des espèces de *Penicillium* est leur capacité à produire des structures de reproduction spécialisées appelées conidies. Ces conidies sont en forme de bâtonnets ou de chaînes de cellules et sont souvent portées par des structures en forme de pinceau appelées phialides. Les conidies sont libérées dans l'environnement et peuvent être transportées par le vent, les insectes ou d'autres vecteurs, ce qui facilite la dispersion et la propagation des champignons.

*Penicillium sp.* est un genre de champignons largement répandu, capable de produire des conidies et jouant des rôles importants dans les domaines médical, industriel et alimentaire, tout en pouvant également poser des problèmes de contamination et de moisissure dans certains contextes.



Figure III.11. *Penicillium sp* sur milieu solide.

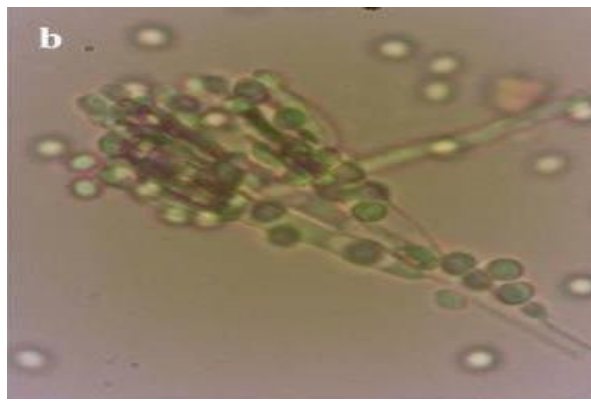


Figure III.12. *Penicillium sp* sous microscope.

On a choisi d'utiliser l'*Aspergillus niger* et le *Penicillium sp.* dans la biodégradation du polyéthylène pour les raisons suivantes :

- Capacité à produire des enzymes spécifiques : Ces champignons sont capables de produire un large éventail d'enzymes qui peuvent dégrader le PET. Leurs enzymes, telles que les estérases, les oxydases et les hydrolytases, sont capables de casser les liaisons chimiques dans le PET et de les décomposer en fragments plus petits.
- Large tolérance environnementale : L'*Aspergillus niger* et le *Penicillium sp.* Peuvent survivre et fonctionner efficacement dans divers environnements. Ils sont adaptés à une large gamme de conditions de pH, de température et de disponibilité des nutriments, ce qui les rend plus polyvalents dans la dégradation de PET dans différents milieux.
- Disponibilité et facilité de culture : Ces micro-organismes sont couramment utilisés en laboratoire et sont relativement faciles à cultiver. Ils peuvent être obtenus à partir de

## Chapitre III

---

- sources naturelles, isolés de l'environnement ou cultivés à partir de souches conservées en laboratoires.
- Études de recherche préliminaires : L'*Aspergillus niger* et le *Penicillium sp.* Ont fait l'objet de nombreuses études de recherche sur leur potentiel de dégradation de PET. Leurs capacités enzymatiques et leur aptitude à dégrader certains types de polymères ont été documentées, ce qui a suscité l'intérêt des scientifiques pour les utiliser dans la biodégradation de PET.

### III.4.2. Procédures

Dans cette expérience, la biodégradation du polyéthylène en milieu Bold Basal se réalise pour les conditions idéales de la croissance du champignon et la dégradation du plastique.

- Nous avons allumé le bec Bunsen pour la stérilisation et on met les boîtes de pétri à une distance de 15 à 20 cm autour du bec.
- Après avoir pris tout le protocole de précaution dans le laboratoire pour éviter la contamination, on fait verser le milieu Basal dans les boîtes pétri.
- Laisser les boîtes entrouvertes jusqu'à ce qu'elles soient solidifiées.
- On creuse un petit puits à l'aide de l'anse de platine puis, on dépose un petit morceau de plastique pré-pesé de taille différente dans chaque boîte.
- A la fin, on dépose un petit carré (2mm/2mm) de notre souche de champignon sur la partie creusée à côté du morceau de plastique.
- On fait la répétition 6 fois (2 avec l'*Aspergillus*, 2 avec le *Penicillium* et 2 avec les deux souches de champignon).



Figure III.13. Le milieu Bold Basal dans les boites de pétri avec le morceau de PET.



Figure III.14. Placement des souches de champignons sur le milieu Bold Basal

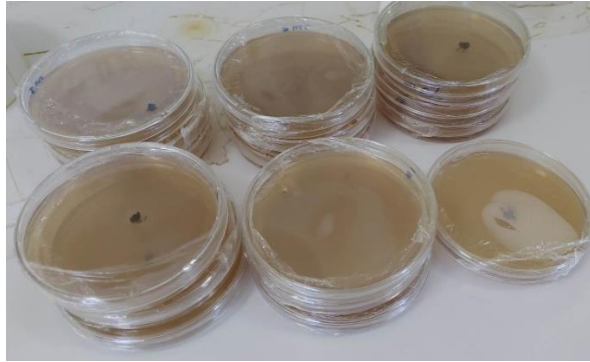


Figure III.15. Boîte de pétri finale avec le PET et les souches de champignons.

### **Conclusion**

Après voir dans ce chapitre la façon de faire la photo-dégradation chimique, préparer le milieu Bold Basal et présenté et définir les souches utilisées dans la biodégradation on laisse les morceaux de plastique (polyéthylène) se dégrade avec observation pour obtenir les résultats.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et**

### **discussion**

### IV.1. Introduction

Cette partie est consacrée essentiellement à l'interprétation et à la discussion des différents résultats obtenus. D'abord on commencera par le rendement de la photo-dégradation chimique du polyéthylène puis par les résultats de l'étude de la biodégradation du PET en milieu Bold Basal par les souches utilisées (*Aspergillus niger* et *Penicillium sp*), afin de savoir de ceux deux méthodes.

### IV.2. La photo-dégradation chimique

#### IV.2.1. Rendement de la photo-dégradation chimique

Le rendement de la photo-dégradation chimique fait référence à l'efficacité avec laquelle ce processus parvient à dégrader ou à décomposer le polyéthylène sous l'effet de la lumière. Il est généralement mesuré en pourcentage et représente la quantité de substance dégradée par rapport à la quantité initiale de cette substance.

Le rendement peut être affecté par divers facteurs, tels que :

- Intensité lumineuse : Une intensité lumineuse plus élevée peut généralement favoriser une photo-dégradation chimique plus efficace. Cela signifie que plus la source de lumière est puissante, plus le rendement est élevé.
- Longueur d'onde de la lumière : La photo-dégradation chimique dépend également de la longueur d'onde de la lumière utilisée. Certaines substances peuvent être plus sensibles à certaines longueurs d'onde spécifiques, ce qui peut augmenter le rendement lorsqu'elles sont exposées à ces longueurs d'onde.
- Durée d'exposition : Une exposition plus longue peut permettre une photo-dégradation plus complète de la substance cible.
- Propriétés chimiques de la substance : Les propriétés chimiques de la substance telles que sa structure moléculaire, sa stabilité, sa réactivité à la lumière, jouent un rôle important dans le rendement de la photo-dégradation.

Le calcul du rendement de photo-dégradation chimique se fait avec la formule générale suivante :

$$R\% = \frac{\text{Masse initiale} - \text{Masse finale}}{\text{Masse initiale}} \times 100$$

## Chapitre IV

Voici les résultats de la masse de Cinq (5) morceaux de plastique de chaque récipient avant et après la photo-dégradation chimique et le rendement des résultats.

### ➤ Avant la photo-dégradation chimique

Récipient 1					Récipient 2				
1	2	3	4	5	A	B	C	D	E
17 mg	19 mg	19 mg	19 mg	20 mg	21 mg	23 mg	23 mg	23 mg	26 mg
Masse moyenne = 18,8 mg					Masse moyenne = 23,2 mg				

### ➤ Après la photo-dégradation

Récipient 1					Récipient 2				
1	2	3	4	5	A	B	C	D	E
15 mg	16 mg	17 mg	17 mg	20 mg	19 mg	20 mg	20 mg	22 mg	24 mg
Masse moyenne = 17 mg					M <sub>moyenne</sub> = 21 mg				
Rendement = 9,57 %					Rendement = 11,76 %				

### IV.2.2. Interprétation

Après 36 jours, nous avons remarqué d'après les résultats du rendement de la photo-dégradation chimique de polyéthylène pour les deux récipients, on a obtenu un rendement de 11,76 % pour le premier récipient qu'on peut dire que c'est une meilleure valeur par rapport au deuxième récipient qui a une valeur de 9,57%.

Nous concluons que la photo-dégradation chimique a donné des résultats acceptables au bout de 36 jours, ce qui engendre par estimation annuelle en période d'exposition aux fortes températures (4 mois d'été) un rendement variant de 38,28% à 47,04%.

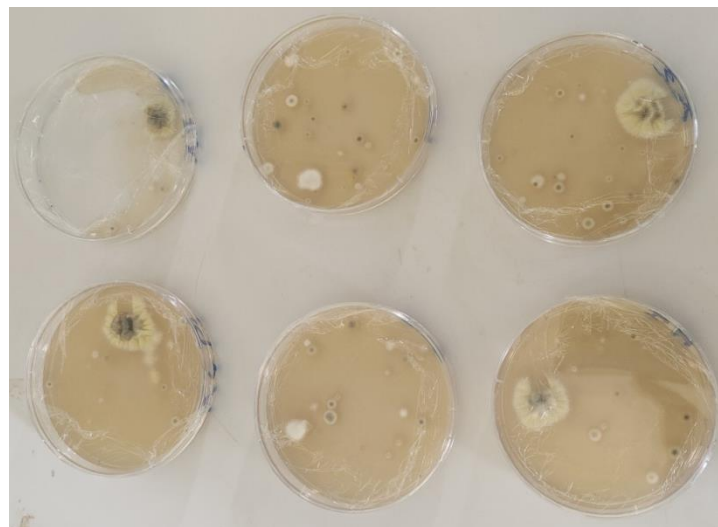
Dans le but d'accélérer la dégradation du PET, il est indispensable de faire recours à la microflore indigène du sol, champignons filamenteux dans notre cas, pour compléter ce processus de biodégradation du PET et estimer le rendement.

### IV.3. Biodégradation par des fungus

Après avoir faire l'incubation dans de *Penicillium sp* et *Aspergillus niger* séparément et en consortium dans le milieu Basal Medium dans des boites de Pétri en présence de morceaux de PET ayant subi une photodégradation, nous avons réalisé un suivi chaque 4 jours pendant 21 jours notant le nombre des colonies développées et le diamètre de la colonie le nombre des colonies dégradante le PET:

**Tableau IV.1. Résultats après 4 jours**

Boites	1	2	3	4	5	6
Souche s	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>
D de souche (cm)	2,4	2,5	1	1,2	2,3	2,5



**Figure IV.1. Boite de pétri après 4 jours**

**Tableau IV.2. Résultats après 8 jours**

Boites	1	2	3	4	5	6
Souches	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>
D de souche (cm)	5,5	5	3	4	3,5	8

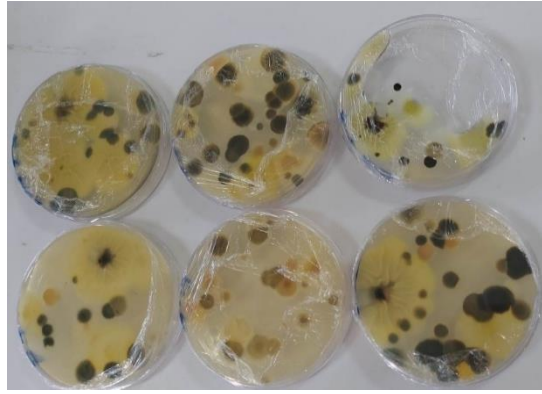


Figure IV.2. Boites de Pétri après 8 jours

Tableau IV.3. Résultats après 12 jours

Boites	1	2	3	4	5	6
Souches	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>
D des souches (cm)	6,5	5,9	3,5	4	3,5	8

Tableau IV.4. Résultats après 16 jours

Boites	1	2	3	4	5	6
Souches	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Penicillium sp</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>	<i>Aspergillus</i> + <i>Penicillium</i>
D de souches (cm)	6,8	6	3,6	3	3,5	8

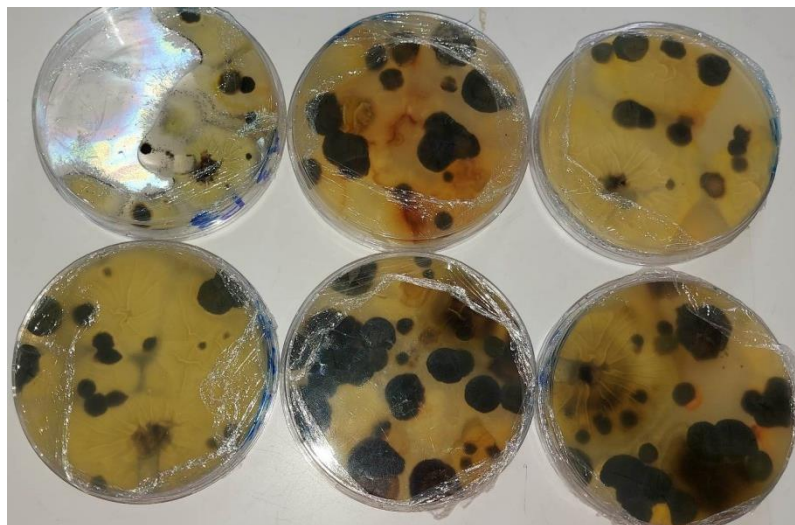


Figure IV.4. Boite de pétri après 16 jours

### IV.3.1. Evaluation du rendement de la biodégradation

L'évaluation de l'efficacité de la biodégradation fongique des morceaux de PET a été réalisée en calculant le rendement de biodégradation pour chaque souche séparément et en consortium (Tableau IV.5). Les résultats de la biodégradation sont présentés dans les figures (Figures IV.5, 6).

Tableau IV.5. Résultats de la biodégradation

Boîtes	1	2	3	4	5	6
Poids avant (mg)	19	23	16	22	17	23
Poids après (mg)	17	19	16	21	16	22
Rendement	10 %	17 %	0 %	4,5 %	5,8 %	4,3 %

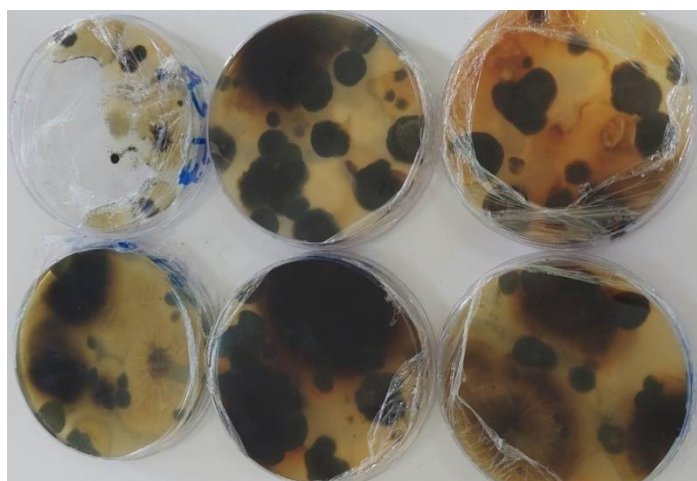


Figure IV.5. Boîtes de pétri après 21 jours

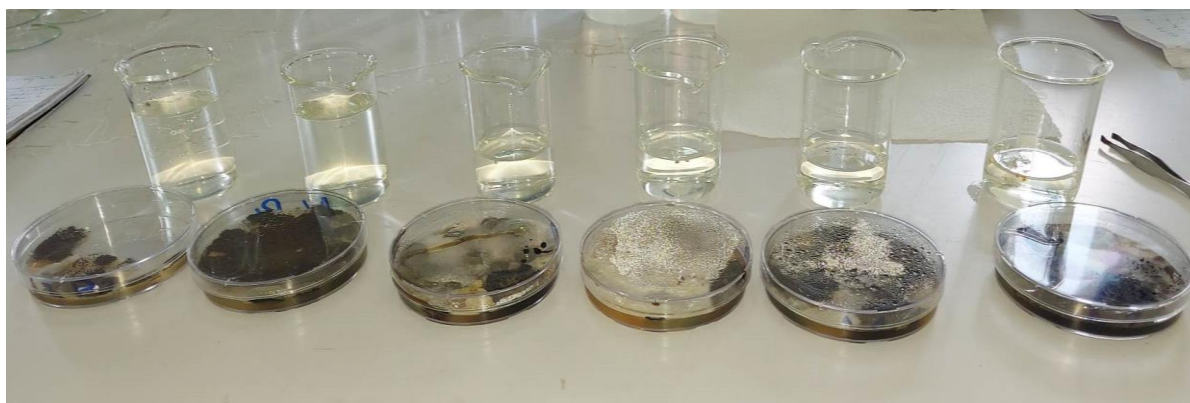


Figure IV.6. Récupération des morceaux de plastique

### IV.3.2. Interprétation

Après observations des boîtes de pétri chaque 4 jours pendant 21 jours on remarque au début que les colonies vert et jaune se forment, avec le temps elles commencent à grandir jusqu'à couvrir tout le milieu de culture Bold Basal.

Quand on enlève les morceaux de plastique après 21 jours de dégradation on remarque que l'*Aspergillus niger* est plus efficace avec un rendement de 10 % et 17 % que le *Penicillium sp* qui a un rendement de 0 % et 4,5 % dans la dégradation d'un morceau de 1 cm<sup>2</sup> de PET. Lorsqu'on utilise les deux souches ensemble au même temps, on trouve que l'*Aspergillus niger* influence positivement l'opération, mais le rendement qui a la valeur de 5,8 % et 4,3 % reste faible par rapport à ses résultats seuls.

On trouve que le temps est un facteur essentiel dans cette méthode, afin d'obtenir de mieux résultats il faut prolonger la durée d'incubation.

### IV.3.3. Commentaire

Comme on sait l'*Aspergillus niger* et le *Penicillium sp* ne sont pas exclusive dans la biodégradation du PET, il y a des souches fongiques qui ont montré une grande efficacité dans cette méthode que les deux champignons précédents comme l'*Acremonium sp*.

## IV.4. Conclusion

D'après nos résultats et observation on trouve que le polyéthylène est un polymère difficile à dégrader, il prend des années pour être décomposée complètement, mais on a obtenu des résultats raisonnables avec l'*Aspergillus niger* dans une période de 21 jours.

---

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Le but de cette étude était de valider la question de savoir si les champignons ont la capacité de dégrader les biopolymères.

La première partie de notre travail de recherche a consisté à préparer le polyéthylène à analyser biologiquement en prenant un flacon en plastique et en le découpant en deux formes égales, la première forme est carrée et la seconde forme est rectangulaire.

Ensuite, stérilise-les et mettait dans une solution d'acide nitrique et expose-les au soleil pendant une certaine période après avoir pesé cinq échantillons de plastique de chaque forme avec le poids total.

La deuxième partie de notre travail est liée à la préparation du milieu de culture basal bold avec des produits chimiques en plus de l'agar-agar pour obtenir un milieu solide qui est préparé et placé dans 6 boîtes de Pétri. La troisième partie de notre travail est liée aux première et deuxième parties, en plaçant 6 morceaux de plastique des deux formes au milieu dans des boîtes de Pétri après les avoir stérilisées et séchées, puis en y ajoutant des champignons *Aspergillus Niger* et *Penicillium sp* et *Aspergillus niger* et *Penicillium sp* ensemble. Les résultats obtenus dans ce travail sont très concluants, car ils montrent l'efficacité des champignons sur la biodégradation chimique des polymères. Pour la photodégradation, on peut conclure qu'elle n'est pas efficace pour la décomposition du polyéthylène. Le milieu dans lequel se trouve l'*Aspergillus Niger* provoque une biodégradation, mais c'est dans un très faible pourcentage. Pour un milieu qui contient *Aspergillus Niger* et *Penicillium sp* ensemble, il y aura un petit pourcentage de décomposition, mais il est moindre par rapport au milieu qui ne contient qu'*Aspergillus niger*. Le milieu dans lequel *Penicillium sp* a une biodégradation est absent

Nous pouvons résumer en :

Le champignon qui a donné les meilleures performances de biodégradation a montré qu'*Aspergillus niger* était plus efficace avec un rendement de *Penicillium sp.*, qui a un rendement nul dans la décomposition des parcelles b et w. Et lorsque les deux souches sont utilisées ensemble en même temps, on constate que

*Aspergillus niger* affecte favorablement le processus, mais le rendement encore faible par rapport à leurs seuls résultats

A travers les résultats obtenus, il convient d'approfondir davantage cette étude et cette recherche afin d'obtenir de meilleurs résultats à travers :

- 
- Recherche sur la biodégradation des polymères par d'autres souches fongiques.
  - Etude de la biodégradation dans un autre milieu de culture.
  - Tests de biodégradabilité des autres polyéthylènes. Etude de la biodégradation sur une plus longue période.

# Références bibliographiques

---

## Chapitre I

- Alshehrei F (2017) Biodegradation of Synthetic and Natural Plastic by Microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, **5**, 8–19.
- Bombelli P, Howe CJ, Bertocchini F (2017) Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, **27**, R292–R293.
- Bonhomme S, Cuer A, Delort AM, Lemaire J, Sancelme M, Scott G (2003) Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, **81**, 441–452.
- Esmaili A, Pourbabae AA, Alikhani HA, Shabani F, Esmaili E (2013) Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by Mixed Culture of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Aspergillus niger* in Soil. *PLoS ONE*, **8**.
- Gu JD (2003) Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: Recent research advances. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **52**, 69–91.
- Gyung Yoon M, Jeong Jeon H, Nam Kim M (2012) Biodegradation of Polyethylene by a Soil Bacterium and AlkB Cloned Recombinant Cell. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, **03**.
- Hans-Henning Kansch, Nicole Heymans, Christopher John Plummer Pierre Decroly «Matériaux polymères : propriétés mécaniques et physiques». *Traité des matériaux*, presses polytechniques et universitaires de Romandes. ISBN 2-88074-415-6, 2001.
- Huerta Lwanga E, Thapa B, Yang X, Gertsen H, Salánki T, Geissen V, Garbeva P (2018) Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: A potential for soil restoration. *Science of the Total Environment*, **624**, 753–757.
- Kong S, Application F, Data P (2017) United States Patent. **2**, 12–15.
- Koutny M, Amato P, Muchova M, Ruzicka J, Delort AM (2009) Soil bacterial strains able to grow on the surface of oxidized polyethylene film containing prooxidant additives. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **63**, 354–357.
- Mahdiyah D, Mukti BH (2013) Isolation of Polyethylene Plastic Degrading Bacteria. *Biosciences International*, **2**, 29–32

- Mueller RJ (2006) Biological degradation of synthetic polyesters-Enzymes as potential catalysts for polyester recycling. *Process Biochemistry*, **41**, 2124–2128.  
Ojha N, Pradhan N, Singh S et al. (2017) Evaluation of HDPE and LDPE degradation by fungus, implemented by statistical optimization. *Scientific Reports*, **7**, 1–13
- Philippe. Robert «Traité d'électricité : Matériaux d'électrotechnique».  
Restrepo-Flórez JM, Bassi A, Thompson MR (2014) Microbial degradation and deterioration of polyethylene – A review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **88**, 83–90.
- Roy PK, Titus S, Surekha P, Tulsi E, Deshmukh C, Rajagopal C (2008) Degradation of abiotically aged LDPE films containing pro-oxidant by bacterial consortium. *Polymer Degradation and Stability*, **93**, 1917–1922.
- Santo M, Weitsman R, Sivan A (2012) The role of the copper-binding enzyme - laccase - in the biodegradation of polyethylene by the actinomycete *Rhodococcus ruber*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **84**, 204–210.
- Shah AA, Hasan F, Hameed A, Ahmed S (2008) Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Bibliographie 66 Biotechnology Advances*, **26**, 246–265.
- Skariyachan S, Manjunatha V, Sultana S, Jois C, Bai V, Vasist KS (2016) Novel bacterial consortia isolated from plastic garbage processing areas demonstrated enhanced degradation for low density polyethylene. *Environmental Science and Pollution Research*, **23**, 18307–18319.
- Skariyachan S, Patil AA, Shankar A, Manjunath M, Bachappanavar N, Kiran S (2018) Enhanced polymer degradation of polyethylene and polypropylene by novel thermophilic consortia of *Brevibacillus* spp. and *Aneurinibacillus* sp. screened from waste management landfills and sewage treatment plants. *Polymer Degradation and Stability*, **149**, 52–68.
- Doyer V. (1995) «Greffage de polyorganophosphazenes sur polymers organiques. Application au greffage sur copolymere ethylene-alcool vinyliques et sur polyéthylène hautedensité». Thèse de Doctorat. Université des sciences et technologies de Lille ..
- Yang J, Yang Y, Wu WM, Zhao J, Jiang L (2014) Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental Science and Technologie*, **48**, 13776–13784.

- Yang Y, Yang J, Wu WM et al. (2015) Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science and Technology*, **49**, 12087–12093.
- Yoshida S, Hiraga K, Takanaha T et al. (2016) A bacterium that degrades and assimilates poly(ethyleneterephthalate). *Science*, **351**, 1196–1199.

## **Chapitre II**

- ASTM D5338-15, Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions. Cette norme spécifie les méthodes d'essai pour mesurer la biodégradabilité des polymères en utilisant la respirométrie et la production de CO<sub>2</sub>.
- Chen, Y., Liu, M., Wang, D., & Tao, X. (2019). Effect of dissolved oxygen concentration on the biodegradation of phenol by *Pseudomonas putida*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 336-344.
- EN 14046:2003, Plastics -- Evaluation of compostability -- Test scheme and specifications. Cette norme spécifie les méthodes d'essai pour évaluer la compostabilité des polymères en utilisant la perte de masse et la production de gaz.
- Hofrichter, Martin, et al. "Fungal biodegradation of lignocelluloses." In *Industrial Applications*, pp. 319-340. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. Ce livre examine l'utilisation des champignons pour la dégradation de la lignocellulose dans les applications industrielles.
- Hu, Xianli, et al. "Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by white rot fungi alone and in combination with a nonionic surfactant." *Journal of Hazardous Materials* 195 (2011): 81-87. Cette étude examine l'utilisation des champignons de la pourriture blanche pour la dégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- ISO 14855-2:2018, Plastics -- Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved -- Part 2: Gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory-scale test. Cette norme spécifie une méthode d'essai pour mesurer la biodégradabilité des polymères en utilisant la respirométrie et la gravimétrie.

- Li, X., Lin, J., & Sun, X. (2018). Effects of pH on the degradation of lignocellulosic biomass during microbial fermentation: A review. *Bioresource Technology*, 256, 428-436.
- Lu, Q., Jiang, Y., Luo, X., & Wang, Y. (2020). The effect of temperature on the anaerobic biodegradation of organic pollutants: A review. *Science of the Total Environment*, 745, 140992.
- Palmieri, Giovanna, et al. "White-rot fungi for the treatment of contaminated soils and waters." *Applied Microbiology and Biotechnology* 87, no 3 (2010): 813-823. Cette revue examine l'utilisation des champignons de la pourriture blanche pour la dégradation de contaminants organiques dans les sols et les eaux.
- Pointing, Stephen B. "Feasibility of bioremediation by white-rot fungi." *Applied Microbiology and Biotechnology* 57, no 1-2 (2001): 20-33. Cette revue examine l'utilisation des champignons de la pourriture blanche pour la biodégradation des polluants organiques.
- Ragaert, K., Delva, L., Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58.
- Sánchez, Carmen. "Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi." *Biotechnology Advances* 27, no 2 : 185-194. Cette revue examine l'utilisation des champignons pour la dégradation de la lignocellulose.
- Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S. (2013). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1207-1222.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Environmental Fate of Biodegradable Plastics. Ce document fournit des informations sur les méthodes d'essai pour mesurer la biodégradabilité des polymères, y compris la respirométrie, la production de CO<sub>2</sub> et la perte de masse.
- Wei, R., Zimmermann, W. (2017). Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we?. *Microbial Biotechnology*, 10(6), 1308 "The Human Microbiome: The Undiscovered Country" de Peter J. Turnbaugh et al. (*Science*, 2007) : Cette étude a été l'une des premières à explorer le microbiome humain et à mettre en évidence l'importance des microorganismes qui habitent notre corps

- 
- Yang, J., Yang, Y., Wu, W.M., Zhao, J., Jiang, L. (2014). Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental Science and Technology*, 48(23), 13776-13784.
  - Zhang, L., Sun, X., Huang, T., & Liu, Y. (2021). Effects of nutrient concentration and C/N ratio on the biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soils: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124381.

### **Chapitre III**

- Fleming, A. (1929). On the antibacterial action of cultures of a penicillium, with special reference to their use in the isolation of *B. influenzae*. *British Journal of Experimental Pathology*, 10(3), 226-236.
- Samson RA, Visagie CM, Houbraken J, et al. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Stud Mycol.* 2014 ;78 :141-173. Doi :10.1016/j.simyco.2014.07.004

