

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعية والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de

L'Univers

Département de Biologie

Laboratoire de Lamaabe

MÉMOIRE

Présenté par

Mme HADJOU DJ Khadidja

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER en Sciences biologiques

Option : Microbiologie et contrôle de qualité

Thème

**Etude de la biodégradabilité du plastique par les champignons
tellurique des grottes d'Ain fezza**

Soutenue le 20/06/2024, devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me} TABTI Leila	MCA	Université de Tlemcen
Encadrante	M ^{me} BRAHIMI KHOLKHAL Wahiba	MCA	Université de Tlemcen
Examinatrice	M ^{me} MKEDDER Ilham	MCA	Université de Tlemcen

Année Universitaire 2023-2024



Remerciements

Avant toute chose, on remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

J'exprime mes remerciements à Mme Brahimi Khokhal Wahiba (Maitre de Conférences Classe A au département de Biologie, Université Abou bekr Belkaid-Tlemcen) ,pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'elle m'a accordée m'ont permis de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier Mme Tabti leila (Maitre de conférences classe A à l'université de Tlemcen) pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury, Qu'il trouve ici mes sincères impressions de gratitude et de respect.

Mme Mkedder Ilham Maitre (de conférences Classe A au département de Biologie, université Abou bekr Belkaid –Tlemcen) d'avoir ménagé son temps pour juger et critiquer ce travail, qu'elle trouve ici toutes mes expressions respectueuses.

Mes remerciements vont aussi à Mlle GHANEMI F.Z Maitre de conférences classe A à l'université de Tlemcen), d'avoir donnée le courage de réaliser ce travail.

Résumé

La pollution par le plastique constitue un problème majeur de santé publique et de l'environnement ; dont lequel les champignons confèrent une biodégradation des plastiques ce qui aide à diminuer ce problème.

Le présent travail consiste à être inventorié les champignons telluriques pouvant dégrader le plastique. L'échantillonnage est réalisé sur des sols de la grotte de « **Ghar Sokhrane** » de la région de « **Ain Fezza** » de la wilaya de **Tlemcen**.

Pour réaliser le test de biodégradation on a ensemencé cinq flacons contenant le milieu Czapek par 1 ml de la suspension de solution mère de chaque échantillon du sol pendant 70 jours ; La mise en évidence de la dégradation des morceaux de plastique se fait par l'observation de la croissance des champignons autour des morceaux de plastique.

Ensuite, pour réaliser l'isolement de ces champignons, on a ensemencé les morceaux de plastique attaqués par les particules du sol dans des boîtes de pétri contenant le milieu PDA additionné du Rose Bengal pendant 7 jours ; l'identification macroscopique et microscopique par la technique de microculture et la méthode de scotch nous a permis de rapprocher la souche E2-2 à l'espèce *Beauveria felina* et la souche E3-2 au genre *Aspergillus*.

Mots clés : Champignons telluriques, plastique, pollution, *Beauveria felina*, *Aspergillus*, biodégradation

:Abstract:

Plastic pollution is a major public health and environmental problem; which fungi give biodegradation of plastics which helps to reduce this problem.

The present work consists in inventorying the telluric fungi that can degrade the plastic. Sampling is carried out on cave soils of the GharSokhrane of the Ain Fezza region of the Tlemcenwilaya.

To perform the biodegradation test, five vials containing the Czapek medium per 1 ml of the stock solution suspension from each soil sample were seeded for 70 days; The evidence of the degradation of the pieces of plastic is made by observing the growth of fungi around the pieces of plastic.

Then, to achieve the isolation of these mushrooms, the pieces of plastic attacked by the particles of the soil were seeded in petri dishes containing the PDA medium added to the Rose Bengal for 7 days; the macroscopic and microscopic identification by the microculture technique and the scotch method allowed us to compare the strain E2-2 to the species *Beauveria felina* and the strain E3-2 to the genus *Aspergillus* .

Keywords: Telluric mushrooms, plastic, pollution, *Beauveria felina*, *Aspergillus* , ,biodegradation

الملخص

التلوث البلاستيكي مشكلة صحية وبيئية رئيسية ؛ التي تعطي الفطريات التحلل الحيوي للبلاستيك مما يساعد على تقليل هذه المشكلة. يتمثل العمل الحالي في جرد الفطريات التيلورية التي يمكن أن تحلل البلاستيك. ويجري أخذ العينات على تربة كهوف غار سخران في منطقة عين فزة في ولاية تلمسان.

ولإجراء اختبار التحلل الأحيائي، تم زرع خمس قوارير تحتوي على متوسط تشابكس لكل 1 مل من معلق محلول المخزون من كل عينة من عينات التربة لمدة 70 يوماً ؛ يتم تقديم الدليل على تدهور قطع البلاستيك من خلال ملاحظة نمو الفطريات حول قطع البلاستيك.

بعد ذلك، لتحقيق عزل هذه الفطر، تم زرع قطع البلاستيك التي هاجمتها جزيئات التربة في أطباق بتري تحتوي على وسط المساعد الرقمي الشخصي المضاف إلى روز البنغال لمدة 7 أيام ؛ سمح لنا التحديد العياني والمجهري من خلال تقنية الزراعة الدقيقة وطريقة السكوتش بمقارنة السلالة E2-2 بالأنواع *Beauveria felina* والسلالة E3-2 بجنس الرشاشيات.

الكلمات الرئيسية: الفطر التيلوري، البلاستيك، التلوث، بوفيريا فيلينا، الرشاشيات، التحلل البيولوجي

Table des matières

Introduction	1
--------------------	---

CHAPITRE 01 : La pollution par Le plastique

1 Généralités sur le plastique	4
2 La pollution par le plastique.....	5
3 Effets de la pollution plastique	5
3.1 Effet sur la faune tellurique	6
3.2 Effet sur la flore tellurique.....	6
3.3 Effets sur la santé humaine	6
4 Sources de la pollution.....	6
5 La pollution par le plastique en Algérie.....	7

CHAPITRE 02 : Biodégradation du plastique

1 Définition	9
2 Le plastique biodégradable :	10
3 Les micro-organismes responsables de la biodégradation du plastique	10
4 Facteur qui influence sur la biodégradation	11
4.1 Le champignon	11
4.2 Les enzymes	12
4.3 Les paramètres abiotiques	12
4.4 Les paramètres intrinsèques.....	13
5 Mécanismes de la biodégradation	
6 Biodégradation du plastique par les champignons.....	14

CHAPITRE 03 : Les champignons

1 Généralité.....	16
2 Classification des champignons	16
3 Caractéristiques des champignons	17
4 Mode de vie des champignons	17
4.1 Les saprophytes	17
4.2 Les parasites	18
4.3 Les symbiotiques	18
5 Les champignons telluriques.....	18

Matériel et méthodes

1	Echantillonnage.....	20
2	Tests de biodégradation du plastique par les champignons	21
2.1	Préparation du milieu de culture.....	21
2.2	La mise en culture	22
3	Isolement et identification des champignons	22
3.1	Isolement des champignons.....	22
3.2	Identification.....	23
3.2.1	Les caractères cultureux	23
3.2.2	Les caractères morphologiques	23

Résultats et discussion

1	Résultats du test de biodégradation sur milieu liquide	Erreur ! Signet non défini.
2	Résultat d'isolement des champignons	25
3	Résultats d'identification	26
3.1	Identification macroscopique	26
3.2	Identification Microscopique :.....	27
4	Discussion	30
	Conclusion	34
	Références Bibliographiques	36
	Annexes	42

Liste des abréviations

PE : Polyéthylène

PET : poly (éthylène téréphtalate)

PP : polypropylène

PS : polystyrène

PVC : chlorure de polyvinyle

UF : urée-formaldéhyde

PDA : Potatoes Dextrose Agar

PEHD : polyéthylène à haute densité

PEBD(LDPE) : polyéthylène à basse densité

Liste des figures

Figure 1:Accumulation des déchets plastiques	5
Figure 2 :Schéma de la biodégradation de polymère en conditions aérobies et anaérobies	9
Figure 3:Situation de la station de prélèvement (S : Ghar Sokhrane).....	20
Figure 4:Station de prélèvement	20
Figure 5:les flacons de milieu de culture.	21
Figure 6:Préparation de la solution mère des échantillons.....	22
Figure 7 :Résultats d'essai de biodégradation de plastique sur milieu liquide.	25
Figure 8:Résultats d'isolement des champignons	26
Figure 9:Aspect macroscopique de l'espèce <i>Beauveria felina</i>	28
Figure 10:Aspect microscopique de l'espèce <i>Beauveria felina</i>	28
Figure 11:Aspect macroscopique d' <i>Aspergillus</i>	29
Figure 12:Aspect microscopique d' <i>Aspergillus</i> :	29
Figure 13:Aspect microscopique et macroscopique du témoin.	30

Liste des tableaux

Tableau 1:Nom, abréviation et formule chimique des principaux plastiques retrouvés dans l'environnement	4
Tableau 2 :Liste des microorganismes liés avec les polymères de biodégradation	11
Tableau 3:Classification actuelle des champignons est présentée dans le tableau	16
Tableau 4: Echantillons de sol prélevés	21
Tableau 5: Résultats d'isolement des moisissures	27

Introduction

Les matières plastiques ont des caractéristiques diverses selon leur composition chimique, ce qui les rend intéressants pour de nombreuses applications dans tous les secteurs d'activité (**Christophe, 2002**).

Ces dernières années, elles sont devenues indispensables dans de nombreux domaines de haute technologie. (**Amriout, 2018**)

Les déchets plastiques dont la durée de vie peut atteindre plusieurs siècles constituent une menace pour la santé humaine et l'ensemble des écosystèmes. (**Djeffal et al.2016**).

Bien que la matière plastique ait des avantages, mais elle possède aussi des inconvénients, dont sa résistance à la biodégradation est l'inconvénient majeur(**Amriout, 2018**).

Actuellement, il existe diverses méthodes physiques et chimiques disponibles pour l'élimination et la dégradation de divers polluants plastiques, parmi toutes les méthodes utilisées nous nous sommes intéressés à la bioremédiation car elle est la méthode la plus économique et la plus respectueuse de l'environnement. Par conséquent, la mycoremediation peut être une stratégie efficace pour s'attaquer au problème toujours croissant de la pollution des sols ou de l'eau en raison de ses multiples avantages.

Certains chercheurs ont sélectionné des champignons qui arrivent à se coller à la surface du plastique grâce aux protéines spéciales qu'ils génèrent(**NAWA, 2024**)

Les champignons peuvent pousser dans les grottes comme sur le sol de la forêt .ils absorbent la matière organique (déchet végétaux, cadavres, guano).

Ces grottes constituent pour certain, si on dit pas la plupart, l'abri des créatures et des monstres, le cible des chasseurs d'Or, et même pour les biologistes ce milieu était un laboratoire d'étude de l'évolution des espèces et le facteur d'adaptation.

L'objectif de notre travail est la recherche des champignons telluriques pouvant dégrader le plastique de type **LDPE(PEBD)**. Afin d'accomplir ce but, notre programme de travail était le suivant :

- ✓ Choisir le site de prélèvement
- ✓ Effectuer des prélèvements à partir de cinq points différents du Ghar Sokhrane
- ✓ Mettre en évidence la biodégradation du plastique par les champignons telluriques
- ✓ Faire des isolements sur le milieu PDA
- ✓ Identification macroscopique et microscopique des souches fongiques

Ce manuscrit est divisé en synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres en plus du résumé et l'introduction, dont le premier présente une synthèse résumant la définition du plastique et leurs différents types et la pollution plastique ; le deuxième chapitre est consacré à la biodégradation du plastique et enfin le troisième chapitre donne l'essentiel sur les champignons.

La deuxième partie est consacrée aux matériel et méthodes utilisés lors de la réalisation de ce travail suivie par les résultats et la discussion.

On termine notre étude par une conclusion, les références bibliographiques et annexe.

CHAPITRE 01 : la pollution par le plastique

1 Généralités sur le plastique

Le plastique est connu comme un matériau synthétique, constitué de macromolécules obtenues par polymérisation ou polycondensation qui peuvent être formées (**Laurent, 2013**).

En chimie des définitions partielles sont données: toute les matières qui peuvent être Chauffée, façonnée et maintenue en forme une fois refroidie est un plastique (**Ikhlef et al. 2018**).

Les plastiques hydrophobes sont des polymères organiques synthétiques, de longues chaînes de molécules, inertes et de poids moléculaire élevé (monomères) qui sont liées par des liaisons covalentes. Ils sont généralement constitués de différents polymères (mélanges) et d'additifs de faibles masses molaires (par exemple : plastifiants, colorants, antioxydants, etc.) (**Brigham et al. 2020**).

Le polymère, lui-même, peut contenir différents éléments structuraux (co-polymères) et ceux-distribués alternativement (co-polymères alternés).

Tableau 1: Nom, abréviation et formule chimique des principaux plastiques retrouvés dans l'environnement (Abbou, 2009).

Nom	Abréviation	Formule chimique
Polyéthylène	PE	$-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$
Polypropylène	PP	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}})_n-$
Polystyrène	PS	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}})_n-$
Poly(téréphtalate d'éthylène)	PET	$-\left[\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\right]_n-$
Polychlorure de vinyle	PVC	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}})_n-$

2 La pollution par le plastique

La consommation du plastique s'accroît à mesure qu'augmente la production de nos sociétés pour ces matériaux. Il est au cœur du quotidien de tous les ménages par le monde. Son faible coût, sa polyvalence sa légèreté et sa résistance ont augmenté d'une manière substantielle sa consommation (**Fig.01**).



Figure 1:Accumulation des déchets plastiques (Arnaud, 2019).

Cette surconsommation rend de plus en plus difficile à faire face aux énormes quantités de déchets plastiques générés. On estime la production mondiale annuelle des déchets plastiques à 2,01 milliards de tonnes (BANQUE MONDIALE -2018). Cependant seul 9 % de ces déchets plastiques sont recyclés (**Onu, 2015**)

3 Effets de la pollution plastique

La pollution plastique est un problème mondial qui affecte la biodiversité, la santé humaine et le climat. La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables et ils peuvent persister dans l'environnement pendant des siècles(**Djeffal et al.2016**).

Le plastique pose non seulement un immense problème de pollution, mais il aggrave également le changement climatique. Le rapport CIEL avertit que les émissions de gaz à effet

de serre du plastique compromettent notre capacité à maintenir la hausse de la température mondiale en dessous de 1,5 ° C, si la production de plastique reste sur sa trajectoire actuelle, d'ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre du plastique pourraient atteindre 1,34 milliard de tonnes par an, soit l'équivalent des émissions produites par 300 nouvelles centrales au charbon de 500 MW (**Idowu et al. 2021**).

3.1 Effet sur la faune tellurique

Les micros plastiques peuvent affectés la faune tellurique, tels les nématodes les mammifères et les vers de terre (**Defu et al. 2018**).

Or, ces derniers ont la capacité de retenir les particules de plastique dont ils ont des effets presque mortels sur leur croissance, leur biomasse et leur système immunitaire (**Iwanga et al. 2016**).

3.2 Effet sur la flore tellurique

Il est peu probable que les micros plastiques soient absorbés par les plantes en raison de la taille des particules de plastique (**Ee- Lingnet al. 2017**).

Les microplastiques dans les écosystèmes agricoles peuvent affecter la santé des plantes c'est à dire le processus de cycle des éléments nutritifs des plantes dans le sol (**Horton et al. 2017 ; De Souza et al. 2018**).

Ce qui peut avoir un effet indirect sur la germination et la croissance des graines de plantes. Les microplastiques qui restent dans le sol pendant un période prolongé sont susceptibles de former des nanoplastiques (**Ng et al. 2018**).

3.3 Effets sur la santé humaine

L'action toxique essentielle du plomb contenu dans les adjuvants plastiques est laperturbation de la biosynthèse de l'hémoglobine entrainant une légère anémie et une augmentationde la plombémie. Le plomb a un tropisme particulier pour la cellule nerveuse. Les dommagescausés par le Pb ne dépendent pas seulement de la durée et de la sévérité de l'exposition maissurtout de l'âge auquel elle survient (**Suzanne et Deoux, 1993**).

4 Sources de la pollution

IL existe de nombreuses sources de plastique impliquées dans la pollution du sol, ils comprennent:

- Les eaux usées ménagères qui contiennent des déchets plastiques fins de divers produits,

- Des fibres de vêtement, déchets ménagers et industriels contenant des résidus de plastique. Ces derniers pénètrent dans le sol et s'installe sur la surface et dans les sous –sol (les étages inférieurs).

Les particules fines (micro plastiques) sont susceptibles d'être ingérées par les organismes du sol, entraînant des effets nocifs (**Penget *al.* 2017**), et modifier les propriétés chimiques du sol (**Yooeun *et al.* 2018**).

5 La pollution par le plastique en Algérie

L'Algérie se place au peu enviable rang de cinquième plus gros consommateur au monde de sacs en plastique, après les Etats-Unis d' Amérique, la France et l'Australie.

Prés de 7,7 milliards de sacs en plastique sont utilisés annuellement en Algérie et une moyenne de 200 sachets est utiliséeannuellement par chaque citoyen (**El moudjahid , 2023**).

CHAPITRE 02 : Biodégradation du plastique

1 Définition

La biodégradation est un processus dû à une activité biologique qui entraîne des modifications de la structure chimique du matériau, menant à des composés métaboliques naturels (**Amoura , 2014**).

La biodégradation par les micro-organismes est un moyen accessible de nettoyer les déchets plastiques (**Sivan ,2011**).

Elle dépend également de plusieurs facteurs, notamment la présence d'oxygène ou non dont le fait de passer des conditions aérobies à l'anaérobie va changer la microflore responsable de la dégradation (**Gu, 2003**).

Par ailleurs, le processus aérobie est plus efficace que celui d'anaérobie en ce qui concerne la production d'énergie, car elle est moindre dans cette dernière en raison de l'absence d'O₂, qui sert d'accepteur d'électrons (**Gu, 2003**).

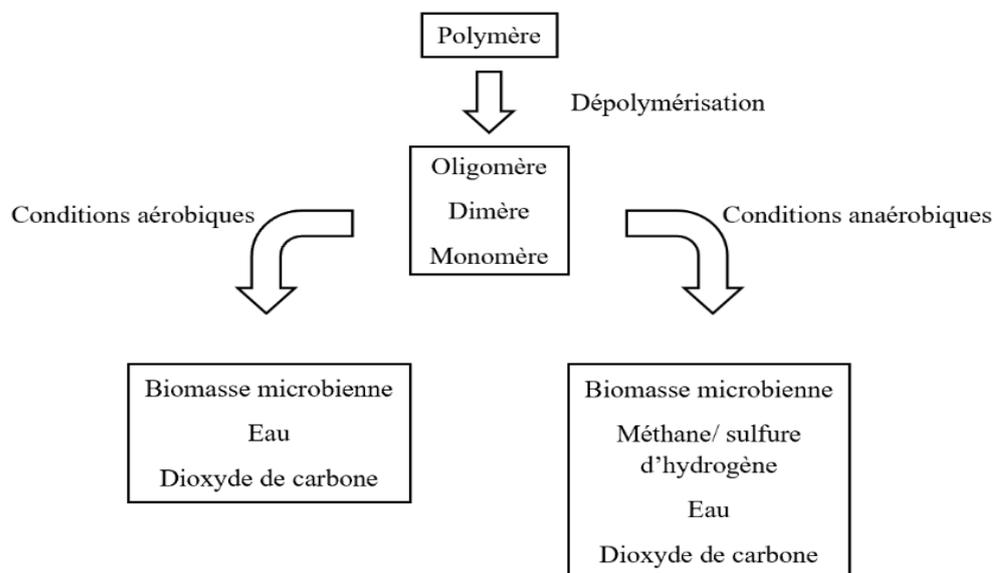


Figure 2 :Schéma de la biodégradation de polymère en conditions aérobies et anaérobies (Gu, 2003)

Dans le cas d'un matériau polymère, cette perte de propriétés peut se produire en raison de modifications physico-chimiques dans l'assemblage des macromolécules qui forment le matériau et/ou suite à une rupture de ces macromolécules.

Toutefois, il existe plusieurs situations qu'il est nécessaire de distinguer en terme de dégradation :

- ✓ Le matériau est dégradé partiellement, ce qui aboutit à la formation de fragments macromoléculaires qui peuvent être plus petits mais très semblables au matériau d'origine

d'un point de vue chimique.

- ✓ Le matériau est dégradé ainsi que les macromolécules, ce qui se traduit par la rupture des chaînes macromoléculaires provoquée par un procédé chimique comme une hydrolyse ou une oxydation, ou par des agents biologiques tels que les micro-organismes ou l'action d'enzymes, ou encore les deux conjugués (**Vert et al. 1992**).

2 Le plastique biodégradable :

Les polymères biodégradables sont devenus très populaires mais la définition de ce terme n'est pas toujours claire et donne lieu à de nombreuses interprétations : la détérioration ou la perte d'intégrité physique.

Beaucoup de polymères dits "biodégradables" sont en fait "biodégradables", "hydro-dégradables", "photodégradables", etc.

L'emploi du terme "biodégradable" pour qualifier certains plastiques a conduit les différents organismes de normalisation (ISO, ASTM, DIN, JPBS) à établir des définitions sur la notion de plastique biodégradable

Les définitions de « biodégradation » et de « biodégradabilité » concernant les plastiques peuvent être qualifiées respectivement de « procédé induit par une activité biologique qui conduit à un changement de la structure chimique du matériau en produits métaboliques naturels » et « un plastique est biodégradable si tous ses constituants organiques sont sujets à une dégradation biologique complète » (**Muller et al. 1994**).

3 Les micro-organismes responsables dans la biodégradation du plastique

En effet, les bactéries : *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Micrococque*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, et *Rhodococcus* sont impliqués dans la biodégradation des plastiques (**Pathak et al. 2017**).

Par ailleurs, les Champignons tels que *Aspergillus*, *Clonostachys*, *Fusarium*, *Doratomyces*, *Lecanicillium*, *Cladosporium*, *Thermomyces*, *Verticillium*, *Penicillium* sont impliqués dans la biodégradation des polymères.

La biomasse fongique est sans doute très variable suivant les cas, mais on peut l'évaluer entre 120 kg/ha et plus d'une tonne dans les sols normaux (**Dommergues et Mangenot, 1970**).

Leurs activités métaboliques sont multiples et fondamentales à l'équilibre écologique des sols. De nombreux travaux indiquent la prédominance des genres :

Mucor, Trichoderma, Aspergillus, Rhizopus, Fusarium, Zygorhynchus, Cephalosporium, Cladosporium et Verticillium (Noumeur, 2008).

Selon Selim (2021), l'espèce fongique *Aspergillus tubingensis* joue un rôle déterminant dans la biodégradation des polymères naturels et synthétiques; elle est capable de catalyser des réactions enzymatiques sur un polymère, afin d'initier le processus de fragmentation et de minéralisation.

La biodégradation est donc causée par une activité biologique, plus particulièrement une action enzymatique aboutissant à une modification significative de la structure chimique du matériau (dussault, 2016)

Tableau 2: La liste des microorganismes liés avec les polymères de biodégradation (Pathak et Navneet ;2017)

Type des polymères	Les champignons
Polyéthylène	<i>Aspergillus niger, Fusarium redolens,</i>
Polyuréthane	<i>Fusarium solani, Cladosporium sp., Trichoderma DIA-T spp.</i>
Poly (3-hydroxybutyrate)	<i>Aspergillus fumigatus, Penicillium spp, Penicillium funiculosum</i>
Polycaprolactone	<i>Fusarium solani, Aspergillus flavus</i>
Acide polylactique	<i>Penicillium roquefort, Rhizopus delemar</i>

4 Facteur qui influence sur la biodégradation

4.1 Le champignon

Les micro-organismes jouent un rôle majeur dans l'organisation, le fonctionnement et l'évolution de la plupart des écosystèmes. (Hadda et al. 2018).

Ils ne sont pas chlorophylliens, donc ils sont incapables de photosynthèse et doivent rechercher leur carbone dans les composés organiques.

Ils sont soit symbiotiques et se développent en association avec d'autres organismes avec tolérance ou bénéfique pour les deux partenaires, soit parasites et provoquent chez l'hôte des maladies. De même, ils peuvent être saprophytes et vivent essentiellement sur des organismes morts (Kirk et al. 2004).

Ceux-ci se développent aux dépens de la matière organique d'origine animale ou végétale en décomposition. On distingue les saprotrophes ligninolytiques communément appelés champignons de pourriture blanche en raison de leur capacité à dégrader la lignine. (Lahna, 2018)

4.2 Les enzymes

Les enzymes sont des catalyseurs biologiques. Elles induisent des augmentations très importantes des vitesses de réaction dans un environnement qui, sans elles, ne serait pas favorable à ces réactions biochimiques. Elles sont produites par les cellules (animales, végétales ou microbiennes) (Grima, 2002).

Deux types d'enzymes :

- ✚ **Les exo-enzymes** : hydrolysent spécifiquement les liaisons ester situées en bout de chaîne libérant ainsi des monomères; la masse molaire moyenne du polymère varie lentement avec une perte de masse globale.
- ✚ **Les endo enzymes** : provoquent entre autres la rupture des liaisons ester de la chaîne carbonée du polyester libérant ainsi des polymères de masse molaire plus faible; cela se traduit par une diminution significative de la masse molaire moyenne du polymère résiduel. Les polymères restent relativement peu sensibles aux attaques microbiennes lorsque leur masse molaire est élevée (Ameret *al.* 2007).

4.3 Les paramètres abiotiques

Parallèlement au processus de biodégradation, des processus abiotiques peuvent également intervenir dans la dégradation des polymères. Ces processus abiotiques incluent l'hydrolyse chimique, la dégradation thermique et l'oxydation ou la scission de chaînes polymères par irradiation (photo dégradation). Pour certains matériaux polymères, ces effets sont utilisés directement pour induire le processus de biodégradation (Weilandet *al.* 1995; Chielliniet *al.* 2003 ; Kaczmareket *al.* 2004).

L'exposition des polymères dans le milieu naturel à de tels facteurs doit également être prise en considération dans les mécanismes de biodégradation.

Lors de la coexistence des processus biotiques et abiotiques, les mécanismes de dégradation des polymères peuvent être aussi désignés sous le nom de « dégradation environnementale ».

4.4 Les paramètres intrinsèques

Un paramètre intervenant également dans la biodégradation des matières plastiques est la complexité de leurs structures chimiques et de leurs formulations.

La présence de longs blocs de chaque structure polymère (co-polymères à blocs) ou la formation de réseaux (polymères réticulés) est également possible. Pour une même composition globale, ces différentes structures de polymères peuvent influencer directement l'accessibilité des chaînes polymères au clivage enzymatique.

Tous les facteurs décrits ci-dessus influent sur les résultats et doivent être pris en compte lors des mesures de biodégradation des matériaux plastiques. Ainsi, l'analyse de la biodégradabilité des matières plastiques implique différentes approches scientifiques.

5 Mécanismes de la biodégradation

Tous les matériaux polymères sont exposés aux conditions naturelles environnementales et leur surface est recouverte par des micro-organismes, excepté dans le cas de pièces stériles (Gu, 2003). Ces micro-organismes sont capables de dégrader une large gamme de polymères naturels et synthétiques.

Les micro-organismes décomposent les composés en une forme plus simple par transformation biochimique. La biodégradation d'un polymère est décrite comme toute altération des propriétés du polymère, telles que la digestion par les enzymes microbiennes, la réduction du poids moléculaire, la perte de la résistance mécanique et des propriétés de surface, en d'autres termes, la décomposition de la matière en fragments par digestion microbienne. Les particules dégradées sont redistribuées et probablement non toxiques pour l'environnement. Dans la nature, les micro-organismes forment des enzymes catalytiques pour la biodégradation (Hadad et al. 2005).

Cette approche est efficace pour la gestion des déchets environnementaux, et les microorganismes impliqués dans ce processus d'oxydation constituent un mode alternatif tangible pour maintenir un environnement sain (Singh et Sharma, 2008). Le processus de dégradation est accompli par les microorganismes par le biais de différentes activités enzymatiques et le clivage des liaisons. Cette dégradation se produit en plusieurs étapes séquentielles :

- a) La bio-détérioration (altération des propriétés chimiques et physiques du polymère).
- b) La bio-fragmentation (décomposition du polymère en une forme plus simple via un clivage enzymatique)
- c) L'assimilation (absorption de molécules par des micro-organismes).

- d) La minéralisation (production de métabolites oxydés (CO₂, CH₄, H₂O) après dégradation).

Par ailleurs, la Minéralisation des polymères a lieu dans des conditions aérobies et anaérobies. Dans les conditions aérobies, le CO₂ et H₂O sont formés, tandis que dans des conditions anaérobies, CH₄, CO₂ et H₂O sont produits (**Singh et Sharma, 2008**).

6 Biodégradation de plastique par les champignons

Avec plus de 10.000 millions de tonnes de plastique produites par l'homme, la gestion de ces déchets qui peuvent mettre des siècles à se décomposer est aujourd'hui l'un des grands défis de l'environnement. Cependant, une équipe scientifique a peut-être trouvé dans la nature un remède durable et efficace : une espèce de champignon trouvée dans une décharge au Pakistan, capable de dégrader le plastique en quelques semaines.

À l'horizon se profile l'utilisation à grande échelle de ces champignons dans les usines de traitement des déchets ou sur des terres déjà contaminées par des plastiques qui peuvent mettre des centaines voire des milliers d'années à disparaître.

Les espèces fongiques utilisées en matière de biodégradation possèdent un potentiel métabolique incroyable. (**Saadi, 2008**).

Il a également été suggéré que plusieurs enzymes excrétés par les champignons sont capables de diminuer la longueur des chaînes polymères PE (**Sanchez, 2019**).

L'oxydation ou l'hydrolyse par l'enzyme crée des groupes fonctionnels qui améliorent l'hydrophilie des polymères, et par conséquent dégradent le polymère à haut poids moléculaire en un polymère de faible poids moléculaire. Cela conduit à la dégradation des plastiques en quelques jours.

Les espèces fongiques bien connues qui montrent une dégradation efficace du plastique sont *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus nomius*, *Penicillium griseofulvum*, *Bjerkandera adusta*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Cladosporium cladosporioides*, etc., et certains autres champignons saprophytes, tels que *Pleurotus abalones*, *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* et *Pleurotus eryngii* qui contribue également à la dégradation des plastiques en poussant sur eux.

Chapitre 03 :Généralités sur les champignons

1 Généralités

Les champignons, mycètes, ou fungi, sont des organismes nucléés eucaryotes, constituent l'un des cinq règnes de la vie (**Heitman et al. 2017**). Bien qu'elles aient longtemps été classées comme plantes ou algues, elles diffèrent du règne végétal à bien des égards, notamment en l'absence de chloroplastes (**Romagnesi, 1970**).

Les champignons occupent un rôle essentiel, dans le fonctionnement des écosystèmes. Ils vivent en symbiose avec 85 % des plantes terrestres, surtout des arbres, mais aussi les orchidées (Laurent, 2010). Ils sont tous dépourvus de chlorophylle, ce qui les condamne à une hétérotrophie totale vis-à-vis du carbone : il se rangent parmi les consommateurs à l'instar des animaux (**Bouchet et al. 2005**).

Ils sont caractérisés par une paroi constituée de chitine. Ils ont un appareil végétatif très simple, le thalle, qui peut être filamenteux ou levuriforme, et se reproduisent par des spores issues de reproduction sexuées et/ou asexuées (**Dussault, 2016**).

2 Classification des champignons

Les champignons sont classés selon leurs caractéristiques de reproductions (spores flagellés, spores non flagellées et dicaryotes).

Tableau 3: La classification actuelle des champignons est présentée dans le tableau (Naranjo-Ortiz et Gabaldon, 2019)

Les champignons	les Opisthosporidia
	les Chytridiomycota
	Les Neocallimastigomycota
	les Blastocladiomycota
	les Zoopagomycota
	les Mucoromycota
	Les Glomeromycota
	les Basidiomycota
	les Ascomycota

Aujourd'hui, selon « The Catalogue of Life », une base de données taxonomique, 146 154 espèces de champignons sont décrites (COL | The Catalogue of Life, 2022). Cependant, les estimations récentes estiment que le règne fongique pourrait contenir entre 2,2 et 3,8 millions d'espèces différentes. Ces chiffres sont basés sur des études du ratio entre le nombre d'espèces de champignons par rapport aux nombres d'espèces de plantes dans des zones peu étudiées mycologiquement (**Hawksworth, 1991; Hawksworth et Lucking, 2017**).

3 Caractéristiques des champignons

Les champignons sont caractérisés par un appareil végétatif appelé mycélium qui est formé d'un enchevêtrement de filaments plus ou moins ramifiés et dont la fonction sera déterminée selon les besoins de l'individu. La reproduction chez les champignons est soit par production des spores (reproduction sexuée) ou des conidies (reproduction asexuée).

Une spore, dans des conditions favorables, va germer et donner le premier filament du nouvel individu.

Les champignons sont des organismes eucaryotes. Par conséquent, ils possèdent un noyau qui protège leurs chromosomes. Ils possèdent aussi des organites qui divisent l'espace intracellulaire (mitochondries, réticulum endoplasmique, ...). Le noyau des cellules fongiques est cependant plus petit que celui des plantes car la taille du génome des champignons est plus faible (par exemple : 12 Mpb (Millions de paires de bases) pour *S. cerevisiae* ; 33,26 pour *P. canescens* ATCC 10419 contre 5000 Mpb pour *Zea mays*, le maïs ou encore 119 Mpb pour *Arabidopsis thaliana*). (**Bouchet et al. 2005**).

4 Mode de vie des champignons

Les champignons sont des organismes hétérotrophes, ils sont répartis en trois catégories selon leur mode de vie ; les saprophytes, les parasites, et les symbiotiques.

4.1 Les saprophytes

Les champignons saprophytes se nourrissent en dégradant les matières organiques mortes d'origine végétale ou animale, ils représentent la majorité des macromycètes (**Senn Irlet et al. 2012**).

Selon le substrat qu'ils décomposent, il existe plusieurs types de champignons saprophytes par exemple : humicoles (décomposant la matière organique du sol), fongicoles vivant sur d'autres champignons (**Moreau et al. 2002**).

4.2 Les parasites

Les champignons parasites se nourrissent à partir de la matière vivante animale ou végétale, environ de 20% des espèces des champignons connus sont capables de parasitisme. Selon le substrat parasité, on distingue les parasites bio-trophés survivant sur des organismes vivants et les parasites nécrotrophes survivant en saprophytes sur l'hôte parasité après sa mort (**Sicard et Lamoureux, 2006**).

4.3 Les symbiotiques

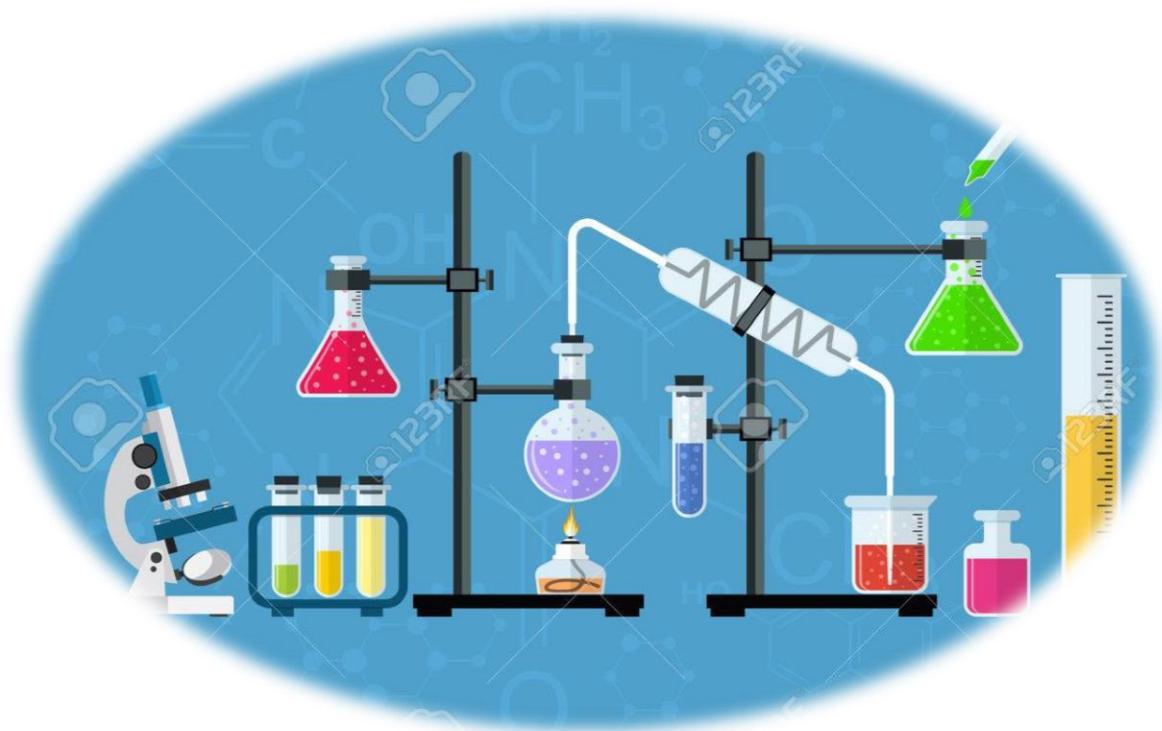
Les champignons symbiotiques établissent des associations à bénéfice réciproque avec d'autres organismes qui peuvent être soit des végétaux supérieurs (mycorhizes), des insectes, des algues ou des cyanobactéries appelées lichens (**Smith et Read, 1997**).

5 Les champignons telluriques

Les champignons du sol qui interviennent dans les mécanismes indispensables pour les cultivateurs sont aussi invisibles que les bactéries et nécessitent un microscope pour être vus. Même les mycéliums, pourtant très longs, sont dissimulés dans la matière organique en décomposition (**Sicard et Lamoureux, 2006**).

La quasi totalité des champignons vivent en saprophytes dans le sol, sur des plantes mortes ou vivantes, mais uniquement à leur surface et sans leur causer de lésions. Les analyses de sols courantes ne peuvent pas dénombrer les espèces et les variétés de champignons présents (**Senn Irlet et al. 2012**).

Matériel et méthodes



1 Echantillonnage

Ce travail porte sur des champignons présents dans quelques sols. Le village Aïn Fezza, le lieu de nos prélèvements, se situe à 12 Km à l'est du centre ville de Tlemcen, à altitude 860 m par rapport au niveau de mer. Son ancien nom Ifri désigne sa nature montagneux et qui englobe plusieurs grottes et cours d'eau (Anonyme 3, 2006).

Les échantillons du sol sont prélevés à partir de 5 zones différentes de la région

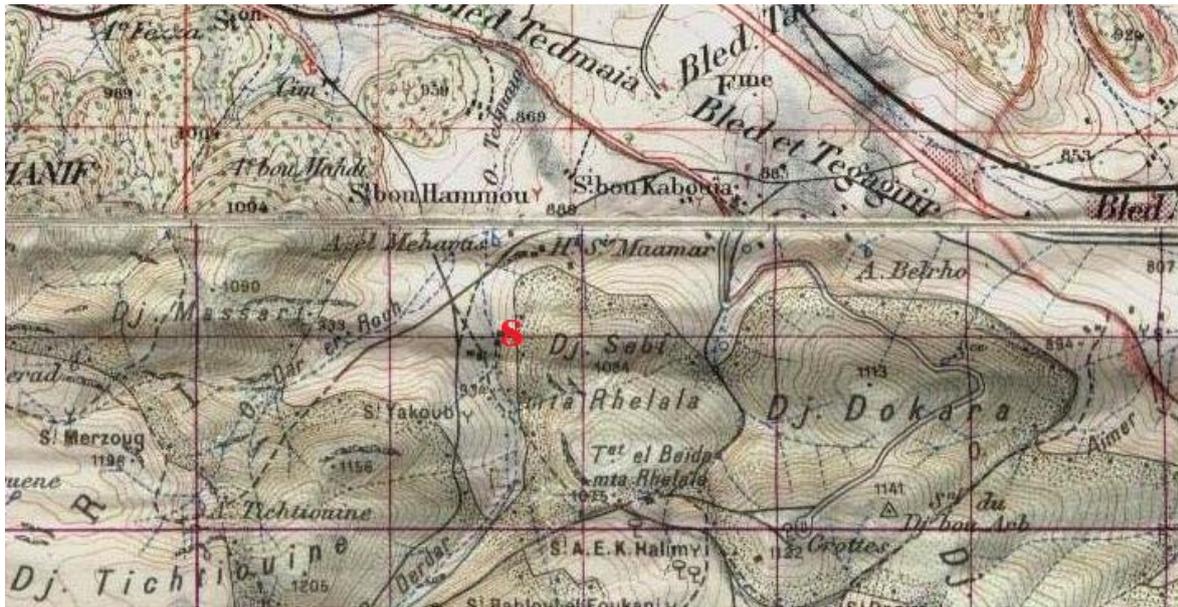


Figure 3: Situation de la station de prélèvement (S : Ghar Sokhrane).

Carte d'état major : Terny

Echelle : 1/50000

Source : Parc National de Tlemcen.

Les échantillons du sol ont été prélevés en 2004 et conservés à partir de 5 point différent du Ghar Sokhrane (Fig.4 et tableau 4).



Figure 4: La station de prélèvement (Ghar Sokhrane).

Tableau 4: Les échantillons de sol prélevés

Les échantillons du sol				
E1	E2	E3	E4	E5
				

2 Tests de biodégradation du plastique par les champignons

Afin de réaliser ce test, on a utilisé le protocole expérimental d'*Anudurga et al. (2016)* et *Saenz et al., 2019* avec des modifications.

2.1 Préparation du milieu de culture

Afin de réaliser ce test, des sachets en plastique commercial (sachets de congélation) ont été utilisés. Selon la bibliographie, ils sont de type **LDPE**.

On a utilisé comme milieu de culture le milieu liquide crapeks. Après sa préparation, on l'a réparti en six flacons de 250 ml à raison de 100 ml par flacon.

Ensuite, on a coupé des petits morceaux de plastique commercialisé (2 cm²). Ensuite, 5 morceaux ont été placés dans chaque flacon.

Enfin, l'ensemble a subi une stérilisation de à l'autoclave pendant 20 min à 120°C (**Fig.5**)



Figure 5 : les flacons de milieu de culture.

2.2 La mise en culture

Cette partie a été réalisée selon les étapes suivantes :

- ✓ 1 g de chaque échantillon de sol a été additionné à 9 ml d'eau physiologique, ensuite a été homogénéisé, pendant 30 s à l'aide d'un vortex (Fig .6)



Figure 6: Préparation de solution mère des échantillons

- ✓ Ensemencement des cinq flacons par 1 ml de la suspension de chaque échantillon. Le sixième flacon a été utilisé comme témoin
- ✓ Les flacons ont été recouverts par papier Aluminium afin d'éviter la photodégradation du plastique.
- ✓ L'incubation a été réalisée dans une étuve à 25°C pendant 70 jours.

3 Isolement et identification des champignons

3.1 Isolement des champignons

Afin de réaliser l'isolement de la microflore dégradant le plastique, on a utilisé le milieu PDA (Potatoes Dextrose Agar) additionné du Rose Bengal.

Ensuite, On a coulé les boîtes de Pétri (deux par échantillons). Après solidification du milieu, on a déposé les morceaux de plastiques attaqués par les particules de sol sur surface à l'aide d'une pincettes.

L'incubation a été effectuée à 25°C pendant 7 jours (**Botton et al. 1990**)

3.2 L'identification

Les souches isolées ont été caractérisées par, leurs aspects cultureux et morphologiques.

3.2.1 Les caractères cultureux

Ils ont été déterminés par le diamètre des colonies, la couleur, la forme et la sécrétion des pigments diffusible.

3.2.2 Les caractères morphologiques

Ils ont été déterminés par deux méthodes :

✚ **La technique macroscopique** : Observation au microscope binoculaire des champignons isolées ; l'observation se fait directement à grossissement $\times 40$

✚ **La technique de Scotch** : C'est une technique simple consiste à prélever la souche cultivée sur la boîte à l'aide d'un morceau de scotch transparent et le coller directement sur une lame stérile puis on réalise un examen microscopique ; ensuite l'observation se fait directement sur la lame à l'objectif $\times 10$ et $\times 40$

Résultats et discussion



1 Résultats du test de biodégradation sur milieu liquide

Après 70 jours d'incubation, une croissance des souches a été observée au niveau de tous les flacons contenant le milieu Czapek, par rapport au contrôle positif (**fig.7**)

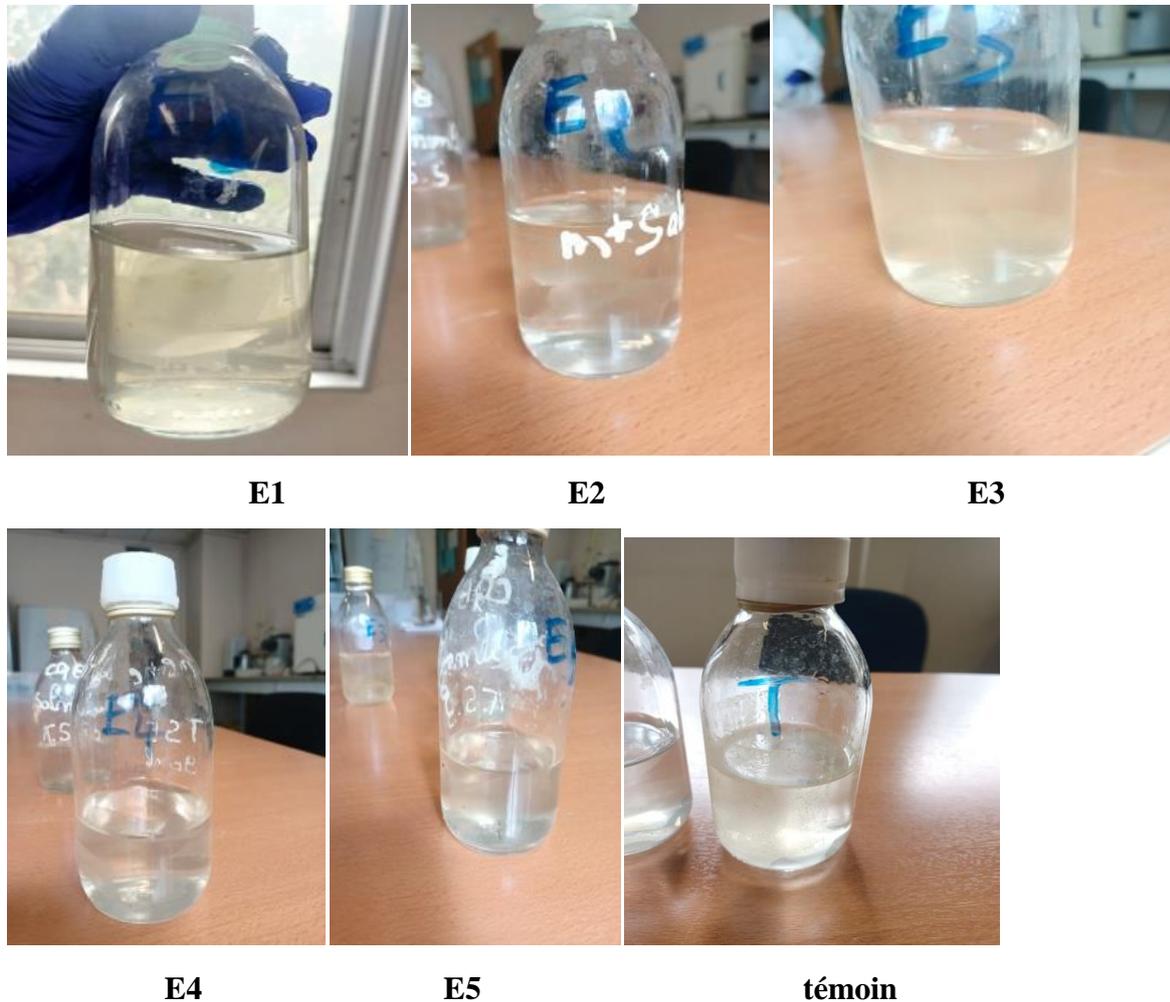
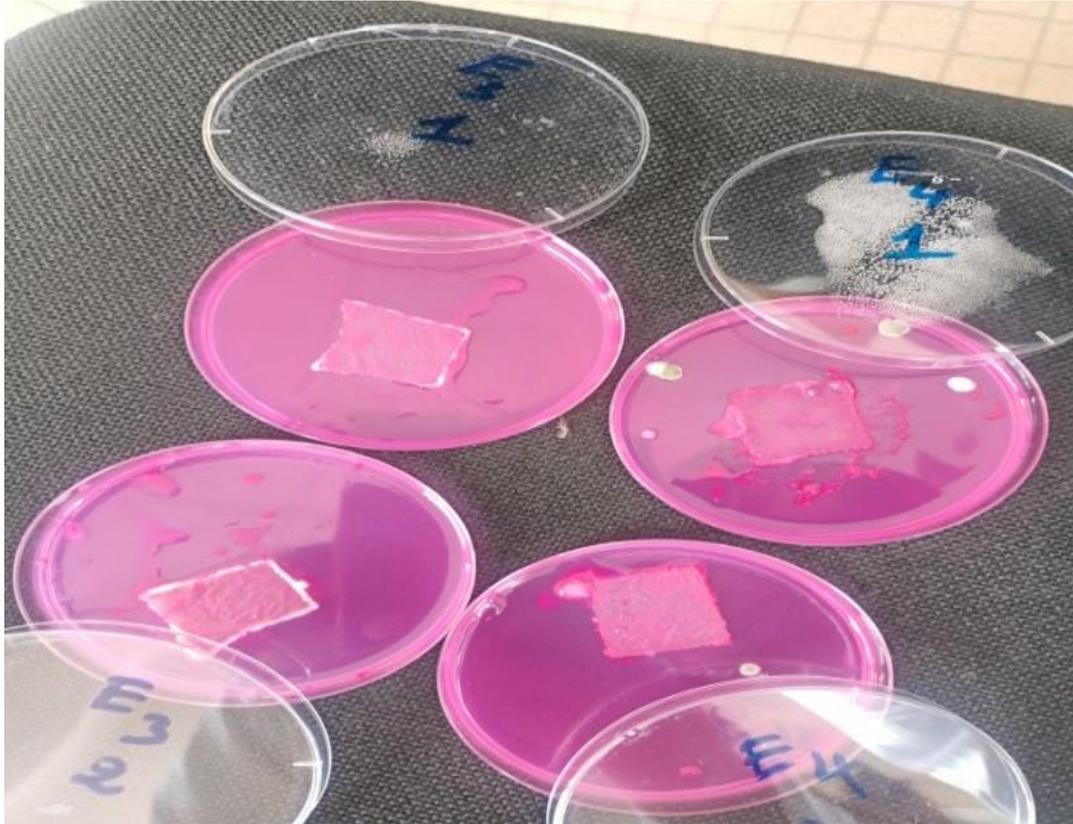


Figure :Résultats d'essai de biodégradation de plastique sur milieu liquide.

2 Résultat d'isolement des champignons

Les résultats d'isollements des échantillons prélevés à partir des morceaux de plastiques attaquées par les particules du sol sur des boites après 7 jours. On a révélé le développement des champignons sur les boites E3_1 ; E3_2 ; E4_1 ; E4_2 (**Fig.08**)



E3_1 ;E3_2 ;E4_1 ;E4_2

Figure 7:Résultats d'isolement des champignons

3 Résultats d'identification

L'identification des souches de champignons s'est basée sur l'étude macroscopique et microscopique. L'identification de ces souches étant basée essentiellement sur les clés de détermination des genres à savoir les caractères cultureux et la morphologie microscopique selon **Botton (1990)** ; **Guiraud (1998)** ainsi que celles de **Chabasse et al. (2002)**.

3.1 Identification macroscopique

D'après **Pitt (1991)**, l'examen macroscopique est basé sur une détermination des diamètres de la prolifération des colonies, la couleur, la forme, la sécrétion des pigments diffusibles et la vitesse de croissance des colonies. Ces observations se font à l'oeil nu (**tableau 5**).

Tableau 5: Les résultats d'isolement des moisissures

Échantillons	Nombre de colonies	la souche	Couleur de la colonie	Présence de pigments
E1	-	-	-	-
E2	2 colonies	E2-2	Rose crémeuse	absence
E3	3 colonies	E3-2	vert	absence
E4	-	-	-	-
E5	-	-	-	-

3.2 Identification Microscopique :

Cette technique, nous a permis de rapprocher la souche E2-2 à l'espèce *Beauveria felina* et la souche E3-2 au genre *Aspergillus*.

✚ L'espèce *Beauveria felina*

Cette espèce appartient à la famille des « Stilbaceae », caractérisée par l'association des conidiophores en un synnemata, ordre des « Moniliales », classe des « Hyphomycetes », groupe « Deuteromycotina », Division 3 des champignons « Amastigomycota » (**Barnett et Barry, 1972**).

D'après De **Hoog (1972)**; les colonies in vitro atteignant un diamètre de 8 à 14 mm en 8 jours, formant dans des isolats frais une colonie dense feutre, à partir duquel naissent plusieurs synnémates blancs positivement phototrophes, jusqu'à 70 mm de haut et constamment 1 mm de large, cylindrique, tomenteux, généralement non ramifié, ou parfois ramifiées à l'apex, chez les souches anciennes paraissant lanuses à floquées; d'abord blanc devenant ensuite jaunâtre à brun jaune.

Excudat rarement produit, odeur absente. hyphes hyalins immergés à parois lisses de 1 à 3 µm de large. Hyphes du mycélium aérien hyalin, à parois lisses, de 1 à 4,5 µm de large, rampant, ascendant ou fasciculées, portant des cellules conidiogènes orthotropes, solitaires ou en petites groupes; parfois 1 à 2 cellules conidiogènes sont soutenues par une tige légèrement renflée. Conidiogène cellules non allongées constituées d'une forme gonflée, en forme de flacon gonflée, en forme de flacon ou courbée, parfois allongée partie basale, principalement 3-8,5 X 2-2,5 µm, et une partie conidiifère courte et irrégulière principalement comprenant 2 à 4 denticules; avec l'âge, un court rachis genouillé peut se

former.conidies hyalines ,lisse,subgloobuleuse, ellipsoïdale ou ovoïde,(2,5)3-4(-4-5)X(-2) 2,5-3 (-3,5)µm.Aucune chlamydospore n'a été observée.

Mycélium sur substrat naturel formant une fine couche d'hyphes hyalins,à partir de laquelle plusieurs synnémates blancs et dressés apparaissent, atteignant 80mmde haut et constamment 0,5 à 1mm large, généralement non ramifié.

Les résultats d'identification macroscopique de la souche E2-2 sont représentés en **figure 9**

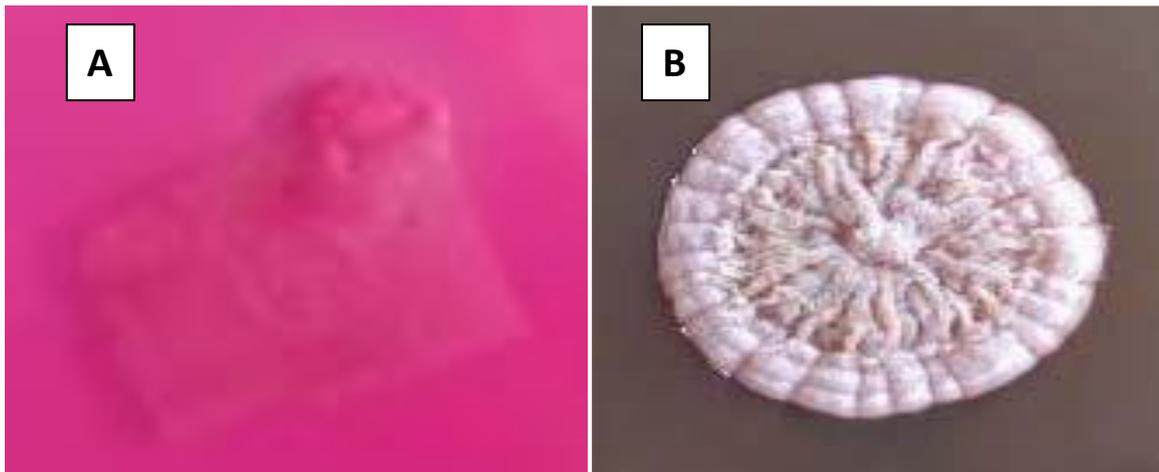


Figure 8:Aspect macroscopique de l'espèce *Beauveria felina*. A : Résultat personnel, B : Kholkhal (2006).

Les résultats d'identification microscopique de la souche E 3-2 sont représentés en figure10

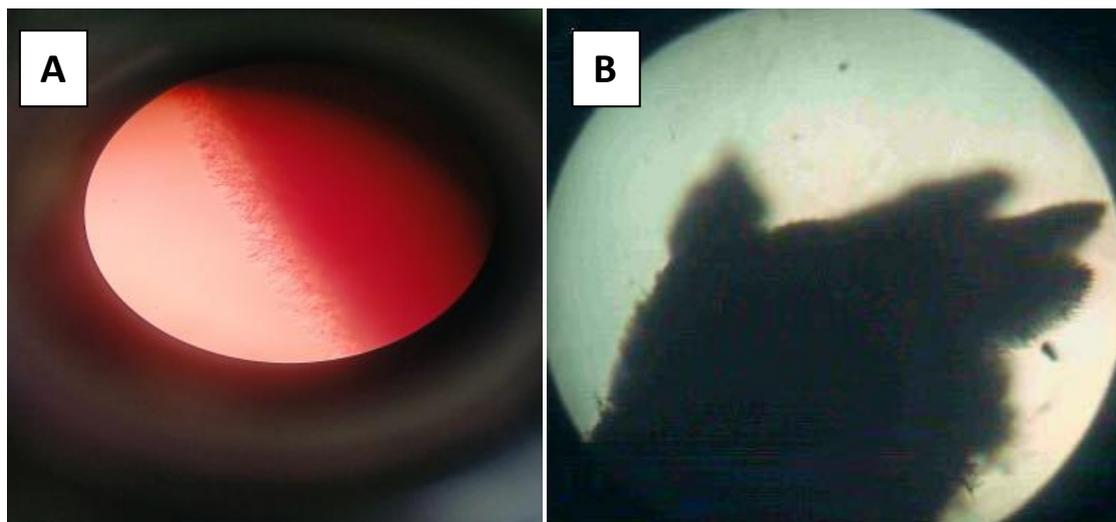


Figure 9:Aspect microscopique de l'espèce *Beauveria felina*. A : Résultat personnel, B :Kholkhal (2006)

✚ Le genre *Aspergillus*

Aspergillus signifie « aspersoir » à cause de la forme de ses têtes aspergillaires (Galinas, 1995) (Fig.7). Ce sont des moisissures à filaments cloisonnés hyalins, appartenant à la famille des Aspergillaceae, et à la classe des Ascomycètes (Anonyme, 2011).

Les *Aspergillus* sont des contaminants très communs, ce genre comprend de 180 à 250 espèces selon les auteurs dont seules *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. terreus*, et *A. niger* sont considérées comme thermotolérantes (Rebouxet al. 2010)

Les *Aspergillus* peuvent évoluer rapidement et se transforment de saprophytes en parasites et entraînent une baisse importante de la faculté germinative sur les semences (Champion, 1997).

La figure 11 représente les résultats d'identification macroscopique de la souche E3-2

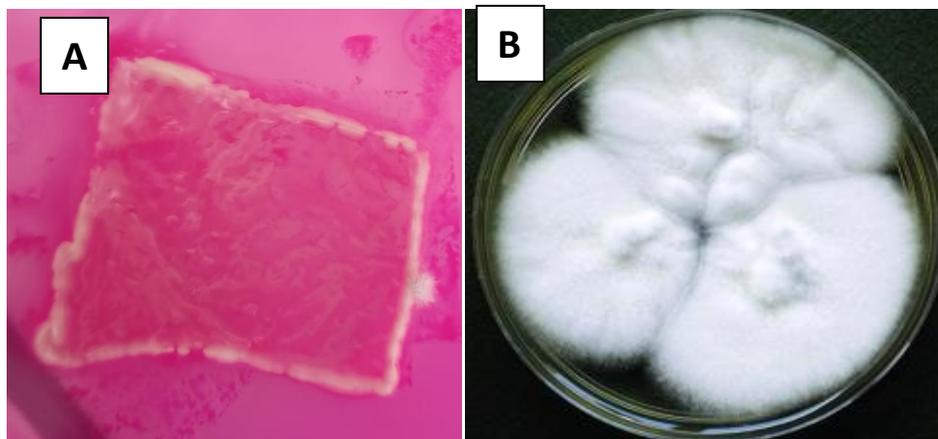


Figure 10: Aspect macroscopique d'*Aspergillus* . : A : Résultat personnel, B : (site 2)

La figure 12 montre les résultats d'identification microscopique de la souche E3-2

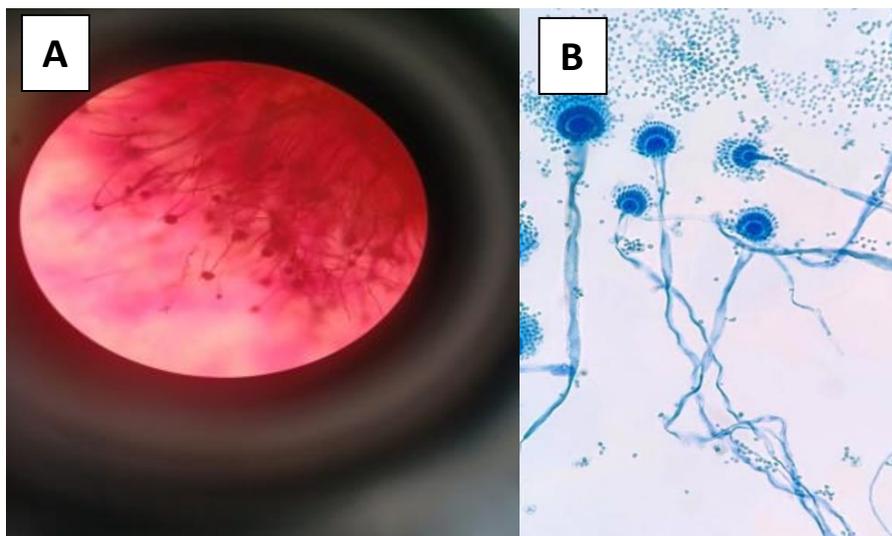


Figure 11: Aspect microscopique d'*Aspergillus* : A : Résultat personnel, B (site 2)

Résultats d'isolement des champignons du témoin :

D'après la figure, on a remarqué qu'il n'y a aucune croissance fongique sur le morceau de plastique (aspect macroscopique) .

La même chose a été constatée après l'observation au microscopique au binoculaire. Le plastique a resté intact.

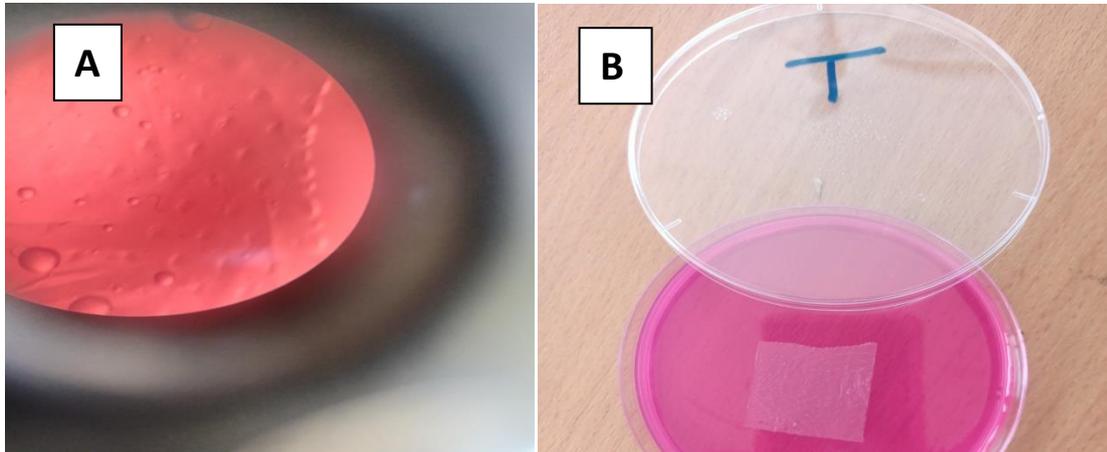


Figure 12:Aspect microscopique (A) et macroscopique (B) du témoin.

4 Discussion

Les populations microbiennes variées selon la région d'échantillonnage, les facteurs qui influencent cette diversité sont : les matières organiques du sol, la texture du sol, le pH, l'humidité, la température, l'aération et d'autres facteurs (**Ruark et Zarnoch, 1992 ; Madiganet al.1997 ; Subler et Kirsch, 1998 ; Smith et al. 2000**).

En outre les champignons ont poussé beaucoup plus vite que les bactéries dans le sol, selon tous les climats et sous toutes les latitudes (**Florent, 1993 ; Tachenon, 1999**).

Les résultats de biodégradation du plastique en milieu de culture pauvre en nutriment par les champignons telluriques des grottes est toute à fait normal pour plusieurs raisons .

Premièrement les grottes sont des milieux extrêmes qui peuvent sélectionner des microorganismes à hautes capacités de dégradation.

En effet, les grottes sont en général des biotopes pauvres en éléments nutritifs avec des températures relativement stables et basses avec des concentrations élevées de minéraux. Par conséquent, les grottes peuvent être considérées comme des environnements extrêmes à vie et

fournir des niches écologiques pour des microorganismes hautement spécialisés(**Schaberriter et al. 2003 ; Martin et al.2011**).

Ils sont souvent limités en ressources en raison de l'absence de lumière qui empêche la production primaire de matière organique par les plantes (**Northup et kathleen , 2001**).

Les résultats d'isolement des champignons à partir des morceaux de plastiques (LDPE) ont montré que seul deux souche ont été cultivées.

Ce résultat est peut être du à la non cultivabilité de certain champignons.

Par ailleurs, selon **Seneviratne et al. (2006)**les champignons étaient considérés comme ayant la plus grande capacité de dégradation du LDPE parce qu'ils sécrètent des protéines hydrophobes et se lient à la surface du polymère.

Les résultats d'identification selon les caractéristiques macroscopiques et microscopiques étaient la base de l'identification des espèces fongiques (**Peterson, 2006**).

D'après **Botton et al. (1990)**. L'identification reste l'opération la plus difficile dans le domaine de la mycologie, elle a pour but de classer les souches fongiques par genres et espèces selon les critères d'identification. Elle est basée sur les deux aspects : microscopiques et macroscopiques. Dont l'aspect macroscopique permet de connaître : les caractères culturels, la couleur des colonies, la présence ou l'absence de l'exsudat et d'une odeur. Alors que l'aspect microscopique révèle les organes de fructification et la couleur des spores.

La réalisation des étapes d'analyses des échantillons de sol permet d'obtenir des Champignons : le genre *Aspergillus* et l'espèce *Beauveria felina*

L'isolement de l'espèce *Beauveria felina* à partir des échantillons est en accord avec les travaux de **Kholkhal (2006)**

Les travaux réalisés sur cette espèce sont basés seulement sur son activité insecticide et antibactérien, mais on a aucun travail sur la dégradation du plastique.

A propos de genre *Aspergillus*, nos résultats corroborent avec ceux de **Anudurga et al. (2016)**, la souche d'*Aspergillus clavatus* a montré une dégradation localisée du PEBD. Elle a été trouvée pour dégrader le LDPE même sans prétraitement.

Dans une autre étude menée par **Esmacili et al(2013)**, après incubation du LDPE avec *Aspergillus niger* pendant 126 jours, il y avait la formation de cavités à la surface, ce qui suggère que le champignon a pénétré dans la matrice du LDPE pendant la période d'incubation.

D'après **Munir et al.(2018)** la biodégradation du LDPE a été évaluée sur la base de la perte de poids et de la réduction de la résistance à la traction de film traité par rapport au film non traité. La croissance des isolats fongiques a été observée sur la surface du film de LDPE ; ils ont supposé que les champignons ont modifié le film en sécrétant des enzymes de dégradation et utilisé le polyéthylène pour leur croissance.

Conclusion

La résistance du plastique à la biodégradation constitue un problème important pour l'écosystème. Les plastiques synthétiques constituent environ 80 % de l'utilisation mondiale totale de plastique. Dans les matrices environnementales, la dégradation de ces plastiques synthétiques est très lente. Cette résistance à la dégradation peut être contournée par des facteurs environnementaux physico-chimiques et des capacités microbiennes.

L'objectif de notre travail est la mise en évidence de la capacité des champignons provenant des grottes de Ain Fezza (station **Ghar Sokhran**) à dégrader les polymères plastiques.

Après l'identification macroscopique et microscopique nous avons isolé le genre *Aspergillus* et l'espèce *Beauveria felina*.

Les résultats obtenus par le test de biodégradation ont été confirmés par une culture dans des boîtes de pétri contenant le milieu PDA et les morceaux de plastique.

En effet, les deux souches de champignons isolés *Aspergillus* et *Beauveria felina* ont montré une croissance que ce soit au niveau des boîtes de pétri contenant le milieu PDA et les morceaux de plastiques ou bien au niveau des flacons contenant le milieu Czapek, ce qui confirme la capacité de ces espèces à dégrader le plastique de type LDPE.

Les résultats obtenus dans cette analyse, nous ont poussés à suggérer que les champignons dont quelques espèces seulement peuvent être une solution partielle de rémediation de cette douleur mondiale planétaire. De plus, il vaut mieux de commencer à prendre des mesures pour arrêter la pollution plastique sont nécessaires maintenant plus que jamais.

Références Bibliographiques

- **Addou A.,(2009)**Traitement des déchets : valorisation, élimination, éd. Ellipses.p56.
- **Amoura S. et Manser A. (2001)**. Etude de la biodégradation deux polymères biodégradables (PLA et PCL) et de leurs mélanges binaires en absence et en présence de la cloisite .
- **Anonyme 3 (2006)**. Parc National de Tlemcen. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar.
- **Anonyme (2012)**. *Aspergillus flavus* et autres moisissures productrices d'aflatoxines, ANSES, 3p.
- **Barnett HL et Barry B.Hunter (1972)**. Illustrated genera of imperfect fungi.3^{ème} Ed. Burgess Publishing Company, 160p.
- **Botton B, Breton A, Fevre M, Gauthier S, Guy PH, Larpent JP, Reymond P, Sanglier JJ, Vayssier Y et Veau P (1990)**. Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle. 2^{me}Ed. Masson. 426p
- **Botton B, Breton A, Fevre M, Gauthier S, Guy PH, Larpent JP, Reymond P, Sanglier JJ, Vayssier Y et Veau P (1990)**. Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle. 2^{ième} Ed. Masson. 426p
- **Bouchet, P., Guignard, J.-L., Pouchus, Y.-F., and Villard, J. (2005).***Les champignons – Mycologie fondamentale et appliquée*. 2e édition. , ed. Elsevier / Masson Paris
- **BOUCHET,P.,GUIRNARD,J.-L ,POUCHUS,Y.F ,VILLARD.J.(2005).**les champignons Mycologie fondamentale et appliquée(2^e édition.,p191,p1-33) Belgique :MASSON.
- **Chabasse D., Bouchara J.P., De Gentile L., Brun S., Cimon B., & Penn P.(2002)**. Les moisissures d'intérêt médical. Cahier N°25 de formation de biologie médicale, 157p.
- **Champion R. (1997)**. Identifier les champignons transmis par les semences.
- **Champion R. (1997)**. Identifier les champignons transmis par les semences. Ed.EditionsQuae, France, 398 p.
- **Chiellini E., Corti A., Swift G., (2003)** . Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes, Polymer degradation and stability 81:341-351.
- **De Hoog GS (1972)**. The genera *Beauveria*, *Isaria*, *Tritirachium* and *Acrodontium* gen. nov. Studies in Mycology. 1 : 40.

-
- **Djeffal M., Hamza M., Younes ch.(2016).** Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable.
 - **Dommergues Y. et Mangenot F. (1970).** écologie microbienne du sol ,Masson et Cie, paris , pp :9-72.
 - **Dubos, B. (1986).** L'utilisation des Trichoderma comme agent de lutte biologique à l'égard de deux parasites aériens : *Chondrostereum purpureum*(Pers. Ex Fr.) Pouzar(Plomb des arbres fruitiers) et *Botrytis cinerea*Pers. (Pourriture grise de la vigne). P 35- 49. In :L'emploi d'ennemis naturels dans la production des cultures. Versailles, 10 janvier1985. Ed. INRA (les colloques de l'INRA, n°34 Ed.EditionsQuae, France, 398 p.
 - **El moudjahid (juin 2023).** Journée mondiale de l'environnement- pollution plastique : le défi de l'économie circulaire
 - **Esmaeili A, Pourbabaee AA, Alikhani HA, Shabani F and Esmaeili E.(2013)** PloS ONE.
 - **Europicillium species,** Rev. IberoamMicol., 23(3), 134-8.
 - **Florent J (1993).** Microbiologie industrielle, les microorganismes d'intérêts industriels. Éd. Lavoisier Tec et Doc. 612 p.
 - **Gams W. et Bisset J. (1998).** Morphology and identification of Trichoderma. Pp : 1-33. Trichoderma and Gliocladium Vol. 1. Edited by Kubicek C. P., and Harman, G.E., Taylor & Francis. London.
 - **Grima S.(2002).** Biodégradation de matériaux polymères à usage agricole.16-décember
 - **Gu, J.-D. (2003)** 'Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52(2), pp. 69–91. doi:10.1016/S0964-8305(02)00177-4.
 - **Guy C., Emmanuelle G.,(2018).** Biodégradation-biodégradabilité polymères rapidement biodégradables.10 janvier 2018.
 - **Hadda k., bellahmer l., ikhlef N.(2018).** La biodégradation de plastique par les bactéries.
 - **Hawksworth, D. L. (1991).** The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycol Res* 95, 641–655. doi: 10.1016/S0953-7562(09)80810-1.

-
- **Hawksworth, D. L., and Lucking, R. (2017).** Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiol Spectr* 5. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
 - **Kaczmarek H., Świątek M., Kamińska A., (2004).** Modification of polystyrene and poly(vinyl chloride) for the purpose of obtaining packaging materials degradable in the natural environment, *Polymer degradation and stability* 83 (1).35-45.
 - **Kale SK, Deshmukh AG, Dudhare MS, Patil VB (2015)** Microbial degradation of plastic: a review. *J Biochem Technol* 6(2):952–961
 - **Larpent J-P. et Larpent-Gouraud M. (1990).** *Mémento technique de microbiologie* : Lavoisier, Paris, 417p.
 - **Laurent G. (2013).** *Plastiques biosourcés : étude de leur performance environnementale comparativement aux plastiques pétrochimiques* Par Laurent Gélinas. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement Sous la direction de monsieur.
 - **Laurent, Patrick (2010).** *Les champignons - Les reconnaître et les trouver*. Sainte-Étienne : Sud Ouest (Editions), 127p.
 - **Mascket, P. (2005).** *pollution atmosphérique ; causes, conséquences, solutions,*
 - **Moreau P. A., Daillant O., Corriol G., Gueidan C. et Courtecuisse R. (2002).** *Renecofor -Inventaire des champignons supérieurs et des lichens sur 12 placettes du réseau et dans un site atelier de l'INRA/GIP ECOFOR –Résultats d'un projet pilote (1996-1998)*. Office National des Forêts, Fontainebleau, France, 142 p.
 - **Munir, E.; Harefa, R.; Priyani, N.; Suryanto, D.** *Plastic Degrading Fungi Trichoderma viride and Aspergillus nomius Isolated from Local Landfill Soil in Medan;* IOP Publishing: Bristol, UK, 2018; Volume 126, p. 01 2145.
 - **Noumeur S. (2008).** *Biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le microorganisme tellurique de la région de Hamla (Batna)*, Th doctorat : Biologie université Mentour constantine,
 - **Northup E D, Kathleen H. (2001).** *Geomicrobiology Journal*, 18:199–222, *Geomicrobiology of Caves: A Review*
 - **Pathak, V.M., Navnet, (2017).** *Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach*. *Bioresour. Bioprocess* 4, 15 perspectives. Éd ELLIPES.

-
- **Peterson S.W. (2006).**Multilocus sequence analysis of *Penicillium* and polyethylene, *Polymer degradation and stability* 48 (2), p. 275-289.
 - **Reboux G., Bellanger A., Roussel S., Grenouillet F. et Million L.(2010)-** Pollution *Revue française d'allergologie* 50 : 611–620.
 - **Reboux G., Bellanger A., Roussel S., Grenouillet F. et Million L.(2010)-** Pollution *Revue française d'allergologie* 50 : 611–620.
 - **Romagnesi, H. (1971).** Petit atlas des champignons (2e éd., Vol. 1971). Bordas.
 - **Samuels G. J., Chaverri P., Faar D. F. et Mc Cray E. B. (2006).** *Trichoderma* : systematics, the sexual state, and ecology *phytopathology*; 96:195-206.
 - **Sanchez, C., (2019).** Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: an overview of macro- and microplastics biodegradation. *Biotechnol. Adv.* 107501.
 - **Sanchez, C., 2019.** Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: an overview of macro- and microplastics biodegradation. *Biotechnol. Adv.* 1075
 - **Schabereitertgurtner C, Senzjimenez C, Pinar G., Lubitz W, Rolleke S.(2003).** Phylogenetic diversity of bacteria associated with Paleolithic paintings and surrounding rock in two Spanish caves (Llonin and la Garma). *Microbiology ecology* 47 (2004), pp235-247
 - **Schink B, Janssen PH, Frings J (1992)** Microbial degradation of natural and of new synthetic polymers. *FEMS Microbiol Rev* 103(2/4):311–316
 - **Seneviratne G, Tennkoon NS, Weerasekara MLMAW and Nandasena KA(2006)** *Curr Sci*.
 - **Senn-Irlet B., Egli S., Boujon C., Kuchler H., Küffer N., Neukom H-P., Roth J. J.(2012).** Protéger et favoriser les champignons. Notice pour le praticien (49), Birmensdorf, Suisse, 12p
 - **Shimao M (2001)** Biodegradation of plastics. *Curr Opin Biotechnol* 12(3):242-247
 - **Sicard M., Lamoureux Y. (2006).** Connaître, cueillir et cuisiner les champignons sauvages du Québec. Ed. Fides, Québec, 365 p. *degradation. Polym. Degrad. Stab.* 93, 561–584. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008
 - **Sivan A (2011)** New perspectives in plastic biodegradation. *Curr Opin Biotechnol* 22:422–426
 - **Smith S. E., Read D. J. (1997).** *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, Cambridge, 605 p.

-
- **SUZANNE et DEOUX, (1993).**
 - **Weiland M., Daro A., David C.(1995).** Biodegradation of thermally oxidized
 - **Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., YamajiH.,Maeda Y.,(2016).** A bacterium that degrades and assimilates PET,Science.Vol. 351:1196-1199;

Site web:

- Site internet 1 : www.adama.com
- Site internet 2 : [www. Agronomie. Info.](http://www.Agronomie.Info)

Annexes

Annexe1

Composition de milieu **Czapek**

NaNO ₃	3 g
MgSO ₄	0,5 g
<u>KH₂PO₄</u>	1,5 g
<u>FeSO₄</u>	0,05 g
KCl	0,5 g
Sucrose	30 g
Agar	15 g

Annexe 2

Composition de milieu PDA : **Potatoes Dextrose Agar.**

- Poudre 39g.
- Eau distillée 1000ml.

Mode d'emploi

Préparation de milieu PDA

Préparé 39g de poudre PDA dans 1000 ml d'eau distillée, chauffer et bien mélanger avec l'agitation, après cela, nous remplissons 4 flacons de 250ml avec ce mélange obtenu, les milieux seront portés à l'autoclave pour une stérilisation à température 120°C pendant 20min.

Annexe 3

Préparation du Rose Bengal

Mode d'emploi

1g du poudre de Rose Bengal dans 100 ml d'eau distillé, bien mélanger avec l'agitation .Nous remplissons dans des tubes seront portés à l'autoclave pour une stérilisation à température 120°C pendant 20min.

Après ,on ajoute au flacon (2 ml de solution Rose Bengal) au milieuPDA