

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département de biologie
Laboratoire lamaabe



MÉMOIRE

Présenté par
BELAIDOUNI Abdessamed et HAMEURLAINE Ali
En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Microbiologie et contrôle de qualité (Préciser la spécialité)

Thème

Les champignons qui dégradent le plastique dans les
décharges publiques

Soutenu le 04/07/2021, devant le jury composé de :

Président	M ^{elle} Bouali Waffa	MCA	Université Tlemcen
Encadrant	M ^{me} Brahimi KholkhalWahiba	MCB	Université Tlemcen
Examineur	M ^{me} BensalahFatéma	MCB	Université Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

*Avant tout, je remercie **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir donné la force et la patience afin de réaliser ce travail.*

*Mes premières remerciements vont à Mme maitre de conférences **B,Brahimi KholkhalWahiba**Département de biologie, Faculté des sciences de la nature et de la vie et Sciences de la terre et de l'univers, université AboubekrBelkaide de Tlemcen, d'avoir accepté d'encadrer et de diriger ce travail avec une grande rigueur scientifique, pour ses encouragements et ses conseils judicieux tout le long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie également les membres de jury **DrBouali Wafaâ N. Maître de conférence de classe A et Dr. BensalahFatéma. Maître de conférence de classe B** au département de Biologie, université de Tlemcen d'avoir accepté de juger ce modeste travail.*

Mes remerciements à tous mes professeurs qui m'ont transmis leur savoir faire durant mon cursus universitaire.

A toutes les personnes dont les noms ne sont pas cités mais qui se reconnaîtront, je leur adresse un hommage pour tout son encouragement

ABDESSAMED

Avant toute chose je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la force et la santé afin de pouvoir réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements mon encadrante Madame Wahiba KHOLKHAL pour ses conseils, ses encouragements et de m'avoir guidée et épaulée tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie, notamment, les membres du jury Mme Bensalah fatéma et Melle Bouali Wafaa d'avoir accepta évaluer mon travail.

Je remercie tout particulièrement ABDESSAMED, mon partenaire de mémoire, mon binôme, mon ami... sans qui rien n'aurait été pareil. Cette année fut riche en émotions et je tiens à le remercier pour son soutien et ce lien tout particulier qui s'est créé entre nous
...

Je remercie, également, toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Je remercie aussi mes parents qui ont consacré leur jeunesse pour mon auspice. Aussi je remercie mon cher frère et mes sœurs. Pour finir, je remercie mes amis pour leur écoute, leur présence et leurs nombreux encouragements.

ALI

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille, et en particulier, à ma mère pour tout ce qu'elle a fait durant mes années d'étude que j'honore ce succès, et à mon père pour son soutien ربي یرحمه

À tous mes amis et les étudiants de la promotion de master Microbiologie et contrôle de qualité (2020-2021)

ABDESSAMED

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leur soutiens tout au long mes étude.

À mon frère et mes sœurs

À tous mes amis et les étudiants de la promotion de master Microbiologie et contrôle de qualité (2020-2021).

ALI

الملخص :

التحلل الفعال لـ LDPE بواسطة العزلة A. Clavatus أثناء التعرض لمدة 90 يومًا. إنه مؤهل كمرشح مناسب لتدهور البولي إيثيلين منخفض الكثافة. نظرًا لأن تراكم إـLDPE في البيئة يشكل تهديدًا خطيرًا ، فإن هذه العزلة ستكون ذات فائدة كبيرة في التدهور.

الأنواع الفطرية المعزولة لديها القدرة على تحلل أغشية البولي إيثيلين المنخفض الكثافة في غضون 90 يومًا من الحضانه. أظهرت الملاحظات من المجهر الضوئي وجود مستعمرات فطرية يشير إلى تآكل السطح وتشققات وثنيات وتعلق قوي بالفطريات. كما أظهرت الصور التي تم الحصول عليها من التحليل الطيفي FTIR أن عملية التحلل الأولي بدأت على أغشية LDPE المعالجة ، وتم التعرف على العزلات الفطرية على أنها Fusarium sp. عزل PS3 و Aspergillus عزل PS2. Niger وعزلة PS2 من Penicillium sp. ، من خلال تحليل تسلسل ITS، من المرشحين المحتملين لتحليل LDPE.

الكلمات المفتاحية :

لفطريات ، البلاستيك ، التلوث ، التحلل البيولوجي ، المعالجة الحيوية ، إعادة التدوير

Résumé ;

La dégradation efficace du LDPE par l'isolat *A. clavatus* pendant une durée de 90 jours exposition. Il se qualifie comme un candidat approprié pour la dégradation du LDPE. Comme l'accumulation de LDPE dans l'environnement constitue une menace sérieuse, cet isolat sera d'une grande utilité dans la dégradation.

Les espèces fongiques isolées ont la capacité de dégrader les films LDPE en 90 jours d'incubation. A partir des observations au microscope optique ont montré la présence d'une colonisation fongique indiquant une érosion de la surface, les fissures, les plis et l'attachement ferme des champignons. Les images obtenues à partir de la spectroscopie FTIR ont également montré que le processus de dégradation initial a commencé sur les films LDPE traités. Les isolats fongiques ont été identifiés comme étant l'isolat PS3 de *Fusarium sp.*, l'isolat PS2 d'*Aspergillus niger* et l'isolat PS2 de *Penicillium sp.*, en analysant le séquençage de la région ITS, sont des candidats potentiels pour dégrader le PEBD.

Mots clés :

Champignons, plastique, pollution, biodégradation, Bioremédiation, recyclage

Abstract :

The effective degradation of LDPE by *A. clavatus* isolate over a 90-day exposure. It qualifies as a suitable candidate for the degradation of LDPE. As the accumulation of LDPE in the environment is a serious threat, this isolate will be of big use in the degradation. (Anudurga et al., 2016)

The isolated fungal species have the ability to degrade LDPE films in a period of 90 days of incubation. From the optical microscopic observations showed the presence of fungal colonisation indicating surface erosion, cracks, creases and firm attachment of fungi.

FTIR spectroscopy also showed that the initial degradation process had started on the treated LDPE films. The fungal isolates were identified as *Fusarium* sp. isolate PS3, *Aspergillus* sp. isolate PS2, *Aspergillus niger* isolate PS2 and *Penicillium* sp. isolate PS2, by analysing the sequencing of the ITS region, are potential candidates to degrade LDPE. (Anuradha De Silva et al. 2019).

Keywords :

Fungi, plastic, pollution, biodégradation, bioremediation, recycling.

Table de matière

Remerciements	i
Dédicaces	iii
Résumé ;	v
Table de matière	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTES DES FIGURES	xi
LISTE DES ABREVIATIONS	xiii
Introduction générale.....	1
CHAPITRE 01 : Les champignons	2
1. Généralités :	5
2. Classifications des champignons :	6
3. La morphologie des champignons :	7
4. Organisation cellulaire :	8
5. Croissance des champignons :	9
6. Mode de vie des champignons :	10
6.1. Saprophytisme :	10
6.2. Parasitisme :	11
6.3. Symbiotique :	11
7. La reproduction chez les champignons :	12
7.1. Reproduction asexuée :	12
7.2. Reproduction sexuée :	12
CHAPITRE 02 : Bioremédiation	14
1. Le plastique :	15
1.1. Définitions :	15
1.2. L'évolution de plastique :	15
1.3. Le plastique biodégradable :	16
1.4. La typologie de plastique et leurs usages :	17
1.4.1. Les thermoplastiques :	17
1.4.2. Les thermodurcissables :	18
1.4.3. Les élastomères :	18
2. La pollution par le plastique :	18
2.1. Introduction :	18
2.2. La pollution du plastique en Algérie :	20
2.3. Le recyclage :	20

2.3.1. Définition :	20
3. Bioremédiation :	22
3.1. Définition :	22
3.2. Les procédés de Bioremédiation :	22
3.2.2. Labiostimulation:	23
3.2.3. Bioaugmentation :	24
CHAPITRE 03 : Décharges publiques	25
1. Décharges publiques :	26
1.1. Définitions :	26
1.2. Traitement de la décharge publique :	27
1.2.1 La précollecte :	27
1.2.2. La collecte :	27
1.2.3. Transport :	28
1.2.4. Tri des déchets :	28
1.2.5. La valorisation des déchets :	28
1.2.6. L'élimination des déchets :	29
1.2.7.L'enfouissement des déchets :	29
1.2.8. Le compostage :	30
2. Les champignons du compostage :	30
PARTIE pratique	32
1. Les produits chimiques :	34
2. Origine des champignons :	34
2.1. Prélèvement :	34
2.2. Isolement :	34
2.3. Screening des Champignons dégradant le polyéthylène :	34
2.4. Taxonomie des champignons :	35
3. Les tests de Biodégradations :	35
3.1. La détermination de la masse de LDPE résiduaire :	35
3.2. L'évolution du CO ₂ :	36
3.3. Analyse spectroscopique :	36
3.3.1. Microscopie à force atomique (MFA) :	36
3.3.2. Microscopie électronique à balayage (MEB) :	37
3.3.3. Microscope électronique :	37
Résultats et discussions	38
1. Isolement et Identification de la souche dégradant le LDPE :	39

2. Etudes de biodégradation :	40
2.1. Réduction du poids :	40
2.2. Évolution du CO ₂ :	41
2.3. Analyse FTIR :	41
2.4. Analyse MFA :	44
2.5. Analyse par microscopie électronique à balayage :	44
Références Bibliographiques.....	Erreur ! Signet non défini.
Les annexes	Erreur ! Signet non défini.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques des différentes classes des champignons (Goyal et <i>al.</i> , 2016).....	6
Tableau 2. Les principaux thermoplastiques (François, 2019)	17
Tableau 3. Les principaux thermodurcissables (François, 2019).....	18
Tableau 4. Quelques microorganismes utilisés dans les études de bioaugmentation (Madhurankhetal.2018).....	24
Tableau 5. Filières de traitement des déchets (Emmanuel et Émile, 2006)	29
Tableau 6. Identité des isolats fongiques de dégradation du LDPE (Anuradha De Silva <i>etal.</i> 2019).....	39

LISTES DES FIGURES

Figure 1. Les différentes structures des hyphes fongiques (Tikour,2018)	7
Figure 2. Structure d'un mycélium(source : vapco).....	8
Figure 3. Ultrastructure de la cellule fongique et catégories d'hyphes présentes chez les espèces filamenteuses (Antoine, 2013)	9
Figure 4. Organisation schématique de l'apex d'un filament en période de croissance active. (Bouchet et <i>al.</i> , 2005).....	10
Figure 5. Schéma d'une symbiose mycorhizienne (Gobat et <i>al.</i> 2010).....	12
Figure 6. La reproduction chez les champignons (Tikour, .2018).	13
Figure 7. A Volumes de production annuelle de matières plastiques dans le monde 1950-2018 (SAPEA, 2020).....	16
Figure 8. Processus de biodégradation du plastique (Lagneta et <i>al.</i> 2020).	17
Figure 9. Accumulation des déchets plastiques (source: ahqse)	18
Figure 10. Les types de plastiques les plus consommables (Rachid, 2016).....	19
Figure 11. Interactions microorganismes-polluant (Paul, 2010).	23
Figure 12. Les différents types des déchets (REDJAL, 2005)	26
Figure 13. Principe d'organisation entre les types et les modes de collectes (Christelle, 2015).	27
Figure 14. Camion à collecte (source : brangeon).....	28
Figure 15. Le compost au jardin (franceabris)	30
Figure 16. Le pourcentage de perte de poids des films LDPE incubés avec <i>Aspergillus clavatus</i> JASK1 (Anudurga et <i>al.</i> 2016).....	40
Figure 17. Spectre FTIR de la biodégradation du film LDPE après 90 jours d'incubation. La présence de groupes fonctionnels soutenant le changement de conformation à la surface du polymère (Anudurga et <i>al.</i> 2016).	42
Figure 18. Spectre FTIR du film LDPE dégradé après 90 jours (A) sans aucune inoculation ; (B) avec inoculation de l'isolat PS3 de <i>Fusarium</i> sp (Anuradha De Silva et <i>al.</i> 2019).....	43
Figure 19. Micrographies AFM révélant les changements de surface des films LDPE après 90 jours d'incubation avec <i>Aspergillus clavatus</i> (Anudurga et <i>al.</i> 2016).	45
Figure 20. Microscopie électronique à balayage d' <i>Aspergillus clavatus</i> JASK1 se développant sur la surface de films LDPE après 90 jours d'incubation montrant la faiblesse physique, les fissures et les rides mineures sur la surface des films LDPE(Anudurga et <i>al.</i> ,2016).	45

Figure 21. Observation au microscope optique de films LDPE. (A) témoin ; (B) *Aspergillus niger* isolat PS3 ; (C) *Penicillium sp.* Isolat PS2 ; (D) *Fusariumsp.* Isolat PS3 film LDPE traité ; les flèches indiquent les fractions de surface sur les films LDPE traités par les champignons (10x40) (Anuradha De Silva *etal.* 2019)..... 46

Figure 22. Images SEM de films LDPE de l'isolat PS2 de *Penicillium sp.* traité (en haut à gauche), de l'échantillon témoin (en haut à droite) et de l'isolat PS3 de *Fusariumsp.* Traité (en haut à gauche et en haut à droite) (10,00 K x) (Anuradha De Silva *etal.* 2019) 47

LISTE DES ABREVIATIONS

°C	:	Degré Celsius
DSM	:	Déchets Solides Ménagers
EDTA	:	Acide éthylène diamine tétra-acétique
FTIR	:	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
HDPE	:	Le polyéthylène haut densité
LDPE	:	Low densitypolyethylene
LES	:	Lieu d'enfouissement sanitaire
MEB	:	Microscopie électronique à balayage
MFA	:	Microscopie à force atomique
PCR	:	Polymerase Chain Reaction
PDA	:	La gélose dextrosée à la pomme de terre
PE	:	Polyéthylène
PET	:	Polytéréphtalate d'éthylène
PP	:	Polypropylène
PS	:	Polystyrène
PUR	:	Le polyuréthane
PVC	:	polyvinylchloride
RPM	:	Rounds per minute
SDS	:	dodécylsulfate de sodium
VIT	:	Vellore Institute of Technology

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Depuis plusieurs décennies, les activités humaines engendrent une production de plus en plus importante de produits chimiques, potentiellement toxiques, pouvant être déversés accidentellement ou non dans l'environnement. Ainsi, les risques pour la santé publique et le bon fonctionnement des écosystèmes sont de plus en plus importants et préoccupants.

La base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents ; exploitée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable, a recensé en France et à l'étranger les événements accidentels qui ont ou auraient pu porter atteinte à la santé, à la sécurité publique, à l'agriculture et à l'environnement. Depuis 1992, ces accidents, essentiellement dûs aux activités industrielles et agricoles, aux transports de matières dangereuses, auraient touchés plus de 32 000 sites. Sur l'ensemble de ces accidents, 40 % d'entre-eux auraient entraîné la contamination de sites terrestres ou aquatiques. Notons que le recensement de ces accidents et incidents français ou étrangers ne peut être considéré comme exhaustif.

Afin de restaurer ces sites pollués, un arsenal de procédures a été développé. Ces techniques emploient des procédés mécaniques, physiques et/ou chimiques afin d'éliminer les contaminations. Grâce à ces méthodes, les polluants sont immobilisés, extraits et/ou détruits afin de réduire leurs impacts sur la santé et sur l'environnement

Afin d'optimiser ces techniques de bioremédiation, il est nécessaire d'améliorer les connaissances sur les communautés microbiennes impliquées dans la dégradation des polluants et de surveiller leur évolution durant ces procédés. Cependant, dans la plupart des écosystèmes naturels, ces études se révèlent être de véritables challenges tant les communautés microbiennes sont denses et diversifiées

Durant la dernière décennie, l'utilisation de ces nouvelles techniques a connu un essor considérable, représentant une alternative puissante à l'identification des microorganismes par des approches culturales

Afin de participer à l'amélioration des connaissances sur les communautés des microorganismes et plus particulièrement sur les champignons impliqués dans les phénomènes de décontamination naturelle des sols pollués, les objectifs de cette thèse ont été les suivants. Tout d'abord, nous avons souhaité décrire la complexité de la diversité des microorganismes et réaliser une synthèse regroupant tous les outils cultureux et moléculaires, récemment développés, permettant l'isolement et l'identification des microorganismes. En fonction des contraintes associées à notre projet. Ces travaux de recherche ont été réalisés

INTRODUCTION GENERALE

dans le but de caractériser la dynamique des champignons suite à la présence et à la disparition des polluants afin d'identifier les champignons potentiellement impliqués dans ces phénomènes de biodégradation.

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.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE 01 :
Les champignons

CHAPITRE 01 : Les champignons

1. Généralités :

Selon Olivier (2010), la science qui étudie les champignons est nommée mycologie, le mot (Myco) dérive du grec (mukes) qui veut dire champignon. Le règne des fungi se distingue nettement des animaux, des végétaux et des bactéries (Oie et *al.*, 2005). Le terme de « moisissure », fait référence aux champignons filamenteux (mucorales, ascomycètes et deutéromycètes) et aux levures appartenant aux ascomycètes et aux basidiomycètes. Selon les auteurs, le nombre d'espèces identifiées varie de 60 000 à 100 000. La plupart provient de l'environnement extérieur, via la colonisation des végétaux (Salpin et *al.*, 2020).

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).

Un champignon est un organisme qui ingère de la matière organique vivante ou morte, (Henning et Petersen, 2005), tous sont des eucaryotes ; ils s'opposent ainsi aux procaryotes (Archées, Eubactéries) et tous sont 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).

CHAPITRE 01 : Les champignons

2. Classifications des champignons :

La classification actuelle des champignons est présentée dans le tableau 1

Tableau 1.Caractéristiques des différentes classes des champignons (Goyal et *al.*, 2016)

Classes	Caractéristiques
Basidiomycètes	Cette division contient les champignons comestibles et les champignons vénéneux. Divisée en 3 subphyla : <i>Agaricomycotina</i> , <i>Ustilaginomycotina</i> , <i>Pucciniomycotina</i> Les spores sont produites sur une cellule caractéristique appelée baside.
Ascomycètes	Trois subphyla : <i>Taphrinomycotina</i> , <i>Saccharomycotina</i> , <i>Pezizomycotina</i> . C'est dans ce groupe que l'on trouve le plus grand nombre d'espèces. Les spores sont produites dans une structure semblable à un sac structure appelée asque.
Zygomycètes	Espèces majoritairement microscopiques, avec des hyphes cœnocytiqes.
Oomycètes	Les Oomycètes comprennent les moisissures aquatiques et certains agents pathogènes importants tels que le mildiou de la pomme de terre. Beaucoup produisent des spores mobiles pendant leur cycle de vie qui peut nager. Ce groupe est maintenant classé avec les algues brunes.
Deutéromycètes : Champignons imparfaits	Espèces pour lesquelles la reproduction sexuelle n'est pas connue comme les moisissures (<i>Alternaria</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>).
Microsporidiomycètes	Parasites unicellulaires sporulés

CHAPITRE 01 : Les champignons

3. La morphologie des champignons :

La plupart des champignons sont filamenteux, beaucoup se développent sous forme unicellulaires dont les levures et certains champignons primitifs, comme les *Chytridiomycètes*, se développent sous forme de cellules isolées arrondies ou en chaînes de cellules ramifiées dichotomiques avec des rhizoïdes pour la fixation. Les morphologies brutes des macrochampignons et microchampignons sont incroyablement variés (Kavanagh, 2005).

Les champignons filamenteux sont composés de longs fils ramifiés agrégés appelés hyphes, dont la plupart sont séparés par des cloisons ou septum. Pour certains, les filaments sont non septés dont ils sont formés par des cellules longues et continues avec plusieurs noyaux. Ils sont appelés coenocytiques (Fig.1). Ces filaments servent comme un support de spores sexuées et asexuées (Tortora et al., 2003).

Par ailleurs, les hyphes s'étendent et se ramifient à l'intérieur du substrat sous forme d'un réseau, appelé mycélium, à partir duquel les hyphes à croissance apicale recherchent, exploitent et transloquent les nutriments disponibles. Ils ont généralement un diamètre relativement constant allant de 1 à 30 μm ou plus et de longueur de 0,1 mm et 0,01 mm d'épaisseur, selon l'espèce et les conditions de croissance (Henning et Petersen, 2005).

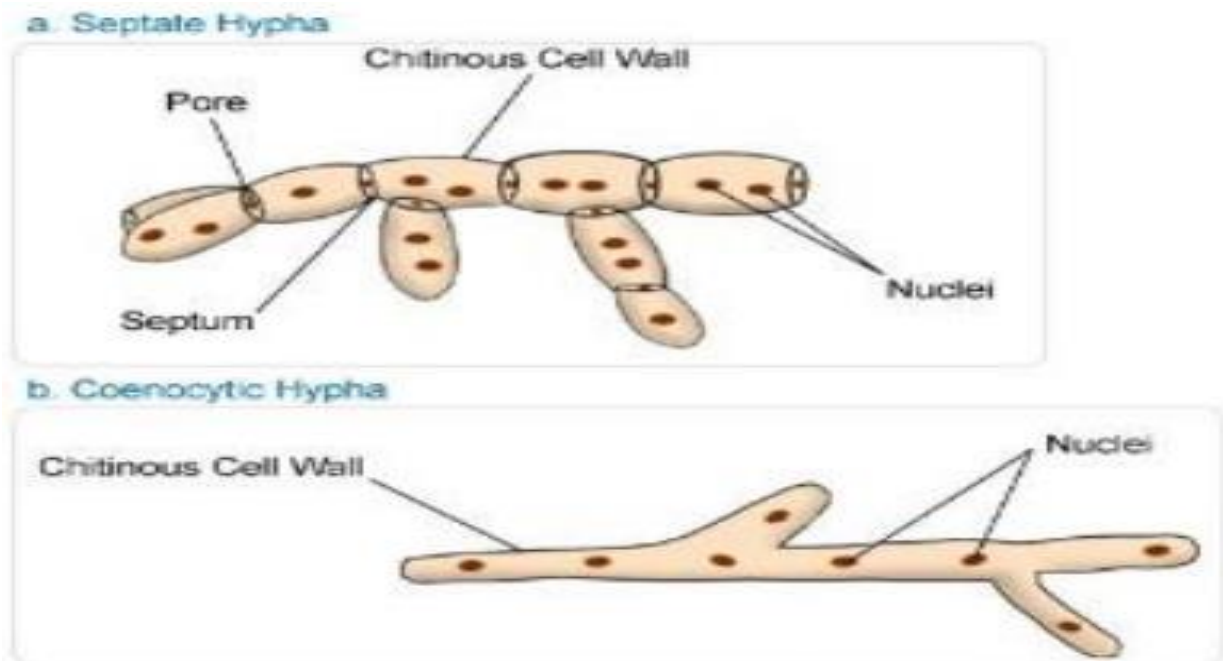


Figure 1. Les différentes structures des hyphes fongiques (Tikour, 2018)

Le mycélium n'est cependant pas une entité qui s'étend de manière homogène, mais présente une plasticité développementale considérable (Fig.2). Différentes régions interconnectées du mycélium, peuvent se développer, se ramifier, s'anastomoser (fusionner), vieillir, mourir, sporuler et présenter des activités physiologiques et biochimiques variables à

CHAPITRE 01 : Les champignons

différents moments ou même simultanément, en fonction des conditions micro-environnementales locales (Kavanagh, 2005).

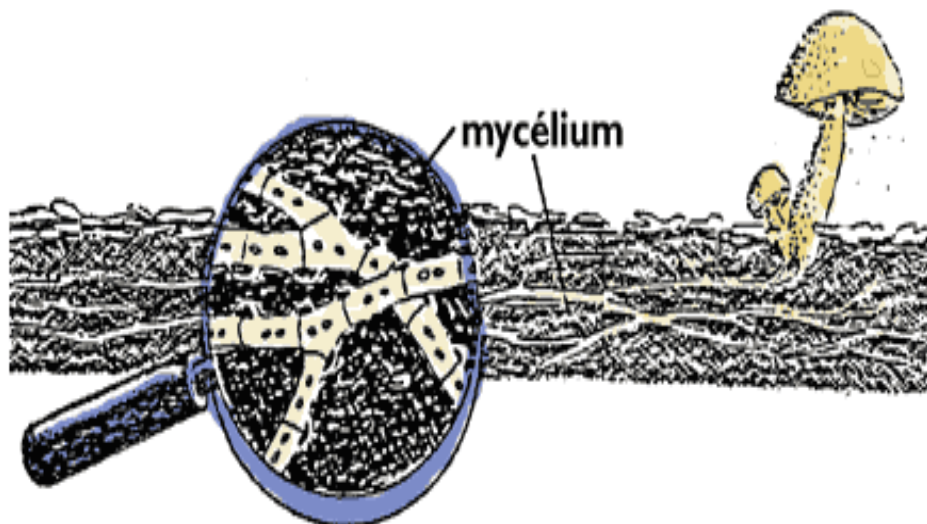


Figure 2. Structure d'un mycélium (source : vapco)

4. Organisation cellulaire :

Comme tous les eucaryotes, les chromosomes des champignons sont disposés en un noyau, avec un système membranaire interne (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, etc.) et un squelette interne d'actine et de tubuline. Cependant, les corps de Golgi ne se distinguent pas des mononucléosomes typiques : ils sont remplacés par des couches réticulaires (Bouchet et *al.*, 2005).

La faible différenciation des champignons se traduit au niveau du génome comme autant de paires de bases (10^7), ce qui est nettement inférieur à celui des plantes et des animaux (10^{10}) (1000 fois moins), et toujours 10 fois supérieur à celui des bactéries. En plus de leurs chromosomes, certaines espèces possèdent également des plasmides et de petits ADN circulaires comparables à ceux trouvés dans les bactéries. Ils codent souvent pour les métabolites secondaires (Bouchet et *al.*, 2005).

Les réserves carbonées se présentent sous forme de gouttelettes lipidiques (oléosomes) ou sous forme de glycogène disposé en rosette (Bouchet et *al.*, 2005).

La paroi glucidique est constituée d'une seule strate de microfibrille, comme dans la paroi primaire des végétaux supérieurs. Alors, chez les champignons les microfibrilles sont constituées de chitine dispersée dans une matrice de glucanes (Bouchet et *al.*, 2005).

CHAPITRE 01 : Les champignons

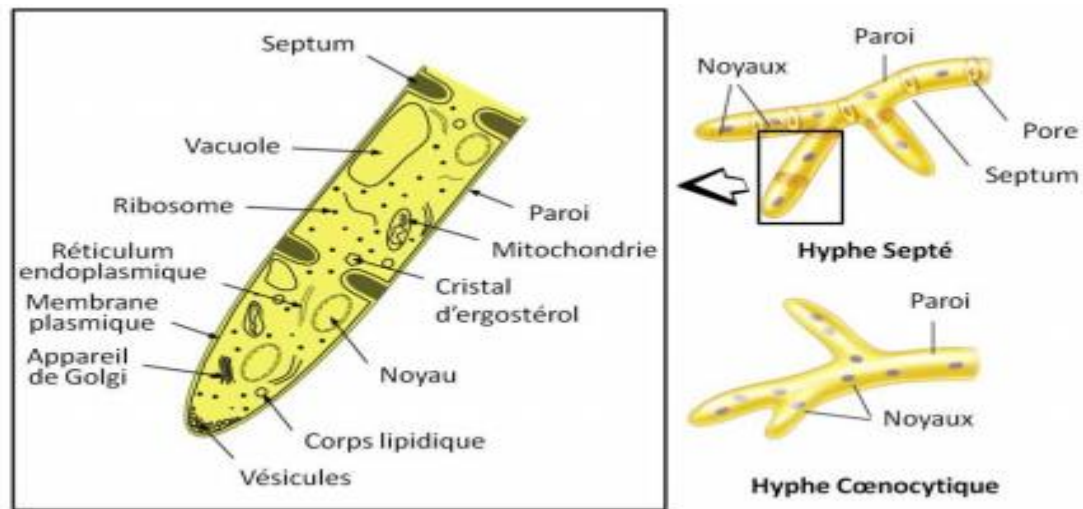


Figure 3. Ultrastructure de la cellule fongique et catégories d'hyphes présentes chez les espèces filamenteuses (Antoine, 2013)

5. Croissance des champignons :

La croissance des champignons mycéliens est assurée par des hyphes qui sont constitués de cellules hétérocaryotiques (*Ascomycètes* et *Basidiomycètes*) ou coenocytiques (*Zygomycètes* et *Glomeromycètes*). Leur extension est restreinte à l'apex. Après division, la partie apicale nouvellement formée peut se séparer du reste du mycélium par une cloison (mycélium septé) ou non (mycélium siphonné). Les hyphes vont se brancher en réseau, déterminant en partie la morphologie macroscopique du thalle. La croissance et la nutrition vont se faire de façon concomitante ; la croissance sera réalisée par une extension de la paroi à l'apex (Fig.4). Par un apport continu de chitine. Dans le même temps, au niveau de l'apex également, des enzymes hydrolytiques seront déversées dans le milieu extérieur (Thomas, 2009).

CHAPITRE 01 : Les champignons

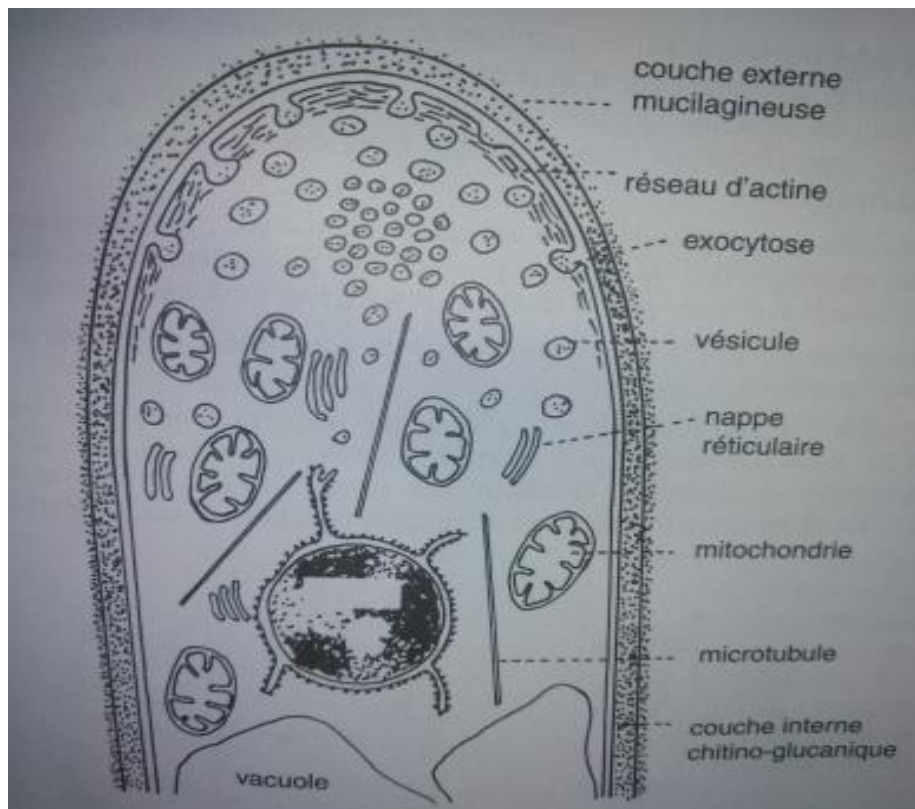


Figure 4. Organisation schématique de l'apex d'un filament en période de croissance active. (Bouchet et *al.*, 2005).

6. Mode de vie des champignons :

Les champignons étant hétérotrophes vis-à-vis du carbone, il ne leur reste que le choix de puiser des matières organiques préformées dans leur environnement. Plusieurs stratégies ont été mises en place pour répondre à ce besoin de « nourriture ». On peut classer simplement leur mode de nutrition en trois grands groupes. Les champignons vivent aux dépens de la matière organique en décomposition : ce sont des saprophytes (du grec *sapros*, pourriture et *phyton*, plante). Certains vivent aux dépens d'autres êtres vivants : ce sont des parasites (du grec *parasitos*, à côté et *sitos*, aliment). Leurs hôtes sont le plus souvent des végétaux : Arbres, arbustes, herbes (maladies cryptogamiques). Autres champignons sont des parasites des animaux et des humains (Mycoses). Aussi, un troisième mode de vie, symbiotique, et également très répandu (Bouchet et *al.*, 2005).

6.1. Saprophytisme :

Les champignons ont un rôle très important dans le recyclage de la matière organique sur terre. Leur capacité d'exploration par extension mycélienne et leur capacité à libérer des enzymes hydrolytiques, ont permis une colonisation d'une grande variété de substrat. Dans le

CHAPITRE 01 : Les champignons

sol, les champignons participent au cycle de l'azote par la dégradation de l'humus. Ils ont la capacité de consommer de la cellulose et de la lignine, et sont considérés comme les principaux recycleurs de matière organique à partir de matériels végétaux (Thomas, 2009).

6.2. Parasitisme :

Une relation de parasitisme signifie qu'un organisme vit aux dépens d'un autre, y puise sa nourriture et peut parfois entraîner sa déchéance et même sa mort. Ce mode de vie est différent du commensalisme qui consiste en la combinaison de deux organismes vivants dont l'un se nourrit des déchets de l'autre, sans pour autant lui nuire. Les plantes, les animaux (incluant les mammifères et donc les humains), les insectes et les nématodes peuvent être attaqués par les champignons parasites (Després, 2012)

6.3. Symbiotique :

Les champignons mutualistes ou symbiotiques établissent des associations bénéfiques réciproques avec d'autres organismes qui peuvent être soit des végétaux supérieurs (mycorhizes), des algues (lichens) (Fatima, 2014).

a. Les mycorhizes :

Les mycorhizes sont des associations étroites entre champignons et végétaux supérieurs. Les champignons concernés sont regroupés dans le phylum *Glomeromycota* et distribués sur l'ensemble des écosystèmes (Fig.5). Aux avantages bien connus des mycorhizes sur la croissance végétale, s'ajoutent plusieurs bénéfices, notamment pour la survie des plantes, leur biodiversité, l'impact sur la microflore du sol et le potentiel d'agent de réduction des stress tant abiotiques que biotiques (Dalpé, 2005).

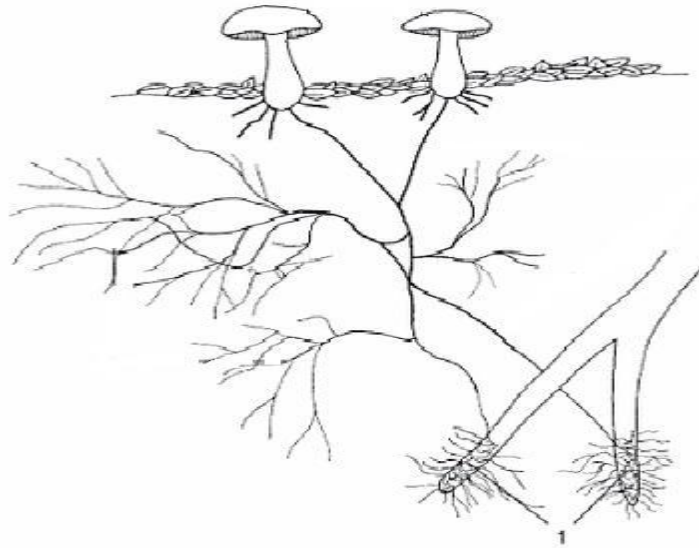


Figure 5.Schéma d'une symbiose mycorhizienne (Gobat et *al.*2010).

b. Les lichens :

Les lichens résultent de l'union d'une algue (cyanobactérie) et d'un champignon, seule une vingtaine de genre d'algues participe à la formation des lichens. Un millier d'espèces de champignons lichénisés appartenant essentiellement aux *Ascomycotina*, sont inconnus à l'état libre : ils ne peuvent vivre qu'en association avec des algues et leur présence à l'état saprophyte reste relativement délicate (Bouchet et *al.*, 2005).

7. La reproduction chez les champignons :

La reproduction des champignons peut être sexuée ou asexuée (Fig.6), même si certains champignons peuvent alterner entre les deux types de reproduction (Nester et *al.*, 1998).

7.1. Reproduction asexuée :

La reproduction asexuée se caractérise par l'absence de fusion des gamètes. C'est un mode de reproduction commun à presque tous les champignons. Il y a plusieurs modes de reproduction asexuée chez les champignons, elle peut se faire par fission binaire, bourgeonnement, fragmentation, ou par formation de spores (Alexopoulos et *al.*, 1996).

7.2. Reproduction sexuée :

La présence de deux noyaux haploïde capable de s'accoupler, ou un seul noyau diploïde, est nécessaire pour que la reproduction sexuée s'effectue. Les deux noyaux haploïdes doivent d'abord s'accoupler pour donner un noyau diploïde qui subit ensuite une méiose. Cette méiose

CHAPITRE 01 : Les champignons

est la cause de la variation au sein de la progéniture fongique. Ces opérations sont suivies par la formation de spores (les ascospores, les basidiospores et les zygospores)(Deacon, 2005).

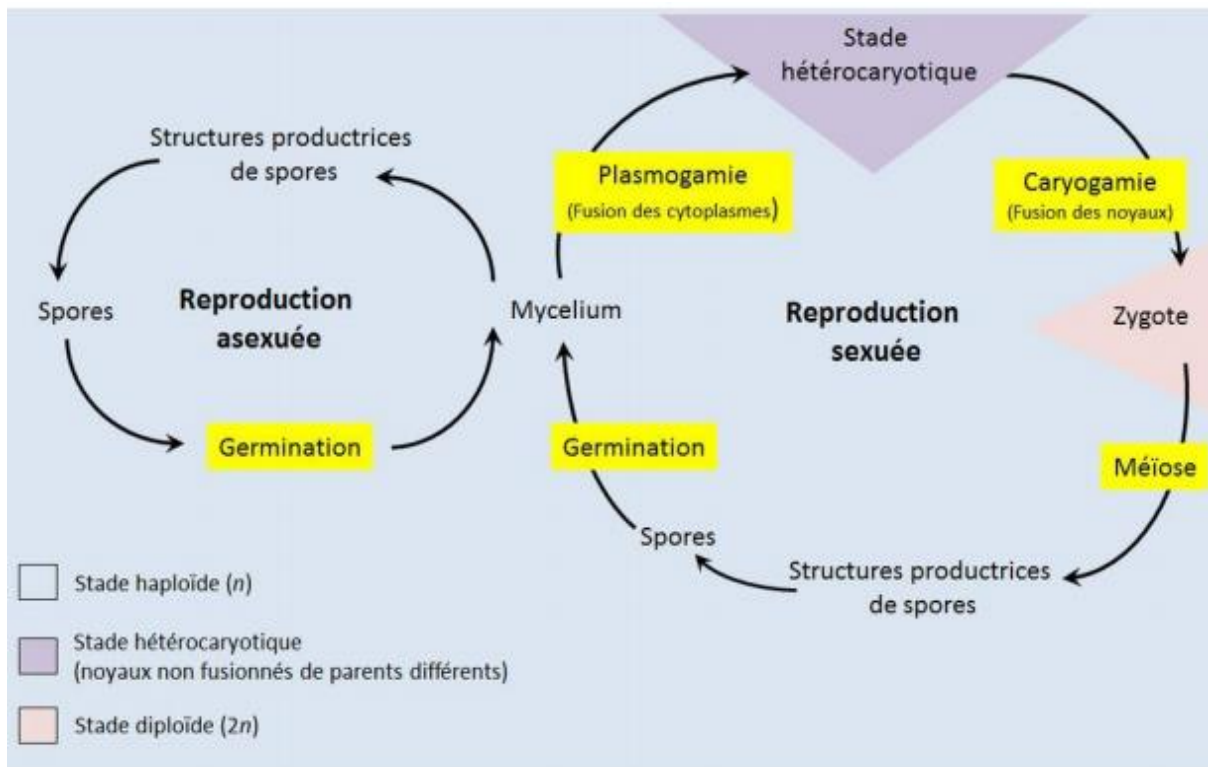


Figure 6.La reproduction chez les champignons (Tikour, .2018).



CHAPITRE 02 :
Bioremédiation

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

1. Le plastique :

1.1. Définitions :

Le plastique est une matière synthétique composée de polymères, qui a la propriété d'être moulée ou modelée facilement après chauffage et qui peut être souple ou rigide. Un polymère est une macromolécule composée d'unités de base (monomères) reliées par des liaisons covalentes. La majorité des plastiques (99%) utilisée dans le monde est fabriquée à partir de pétrole et de gaz naturel (Traore, 2018).

Le plastique est un matériau relativement moderne. Il a été synthétisé pour la première fois par Alexander Parkes en 1862 pour produire des substituts d'ivoire pour les boules de billard. La parkésine (nitrocellulose) a été le premier polymère synthétisé en laboratoire (Colin, 2018).

1.2. L'évolution de plastique :

Les avancées de la recherche ont permis la découverte de nouvelles matières plastiques aux propriétés remarquables. Mais, elles sont aussi porteuses d'une mauvaise image, qui provient de la problématique de gestion de leur fin de vie liée à leur difficile dégradation et à ses conséquences associées : pollution des sols, des océans, lacs... (Gaelle, 2018)

Les plastiques biodégradables ne représentent actuellement qu'un faible volume du marché total des plastiques. En 2019, la capacité de production mondiale de polymères biodégradables a été rapportée à 1,174 million de tonnes, ce qui correspond à seulement environ 0,3 % de la capacité totale de production de plastique d'environ 360 millions de tonnes (Plastics Europe, 2019). Cependant, il est généralement prévu que la part de marché des plastiques biodégradables augmentera dans les prochaines années (soit 1,334 million de tonnes d'ici 2024), poursuivant une tendance qui a été observée au cours des dernières années (SAPEA, 2020).

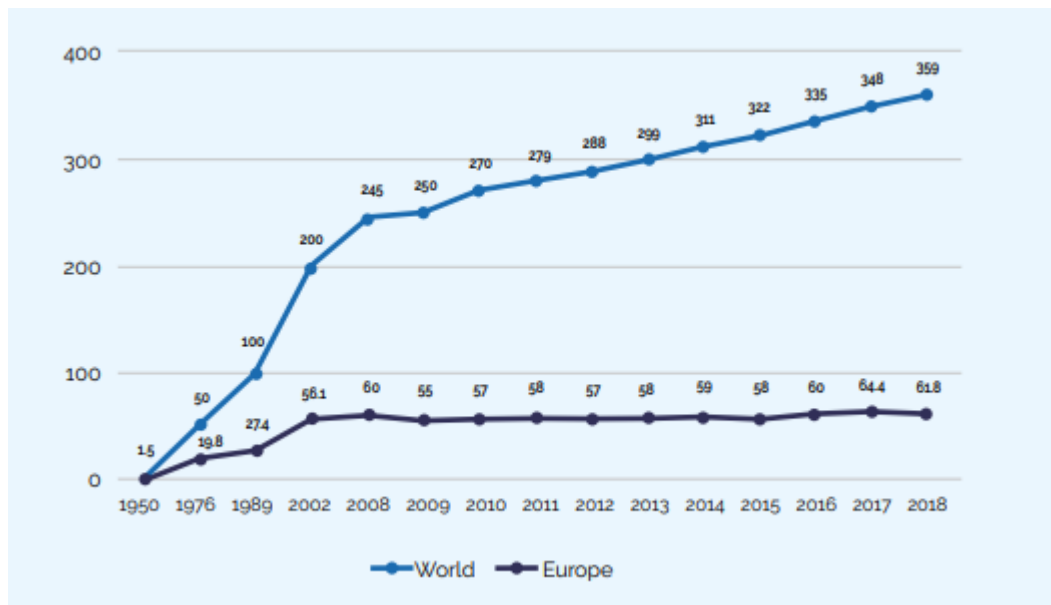


Figure 7. AVolumes de production annuelle de matières plastiques dans le monde 1950-2018 (SAPEA, 2020).

1.3. Le plastique biodégradable :

Le préfixe « bio- » indique la prédominance de l'activité biologique, sans que puissent être négligées les contributions abiotiques. Alors que la biodégradation peut donc passer par une étape intermédiaire de fragmentation ou désintégration du matériau. Il est prouvé que la désintégration d'un plastique permet d'augmenter la surface accessible et ainsi d'accélérer la biodégradation si elle doit avoir lieu. Ce peut donc être une étape de la biodégradation sous réserve. A noter que certains matériaux se fragmentent sans qu'il n'y ait de biodégradation c'est le cas des oxobiodégradables ou oxobiodégradables (Lagnetaetal.2020).

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

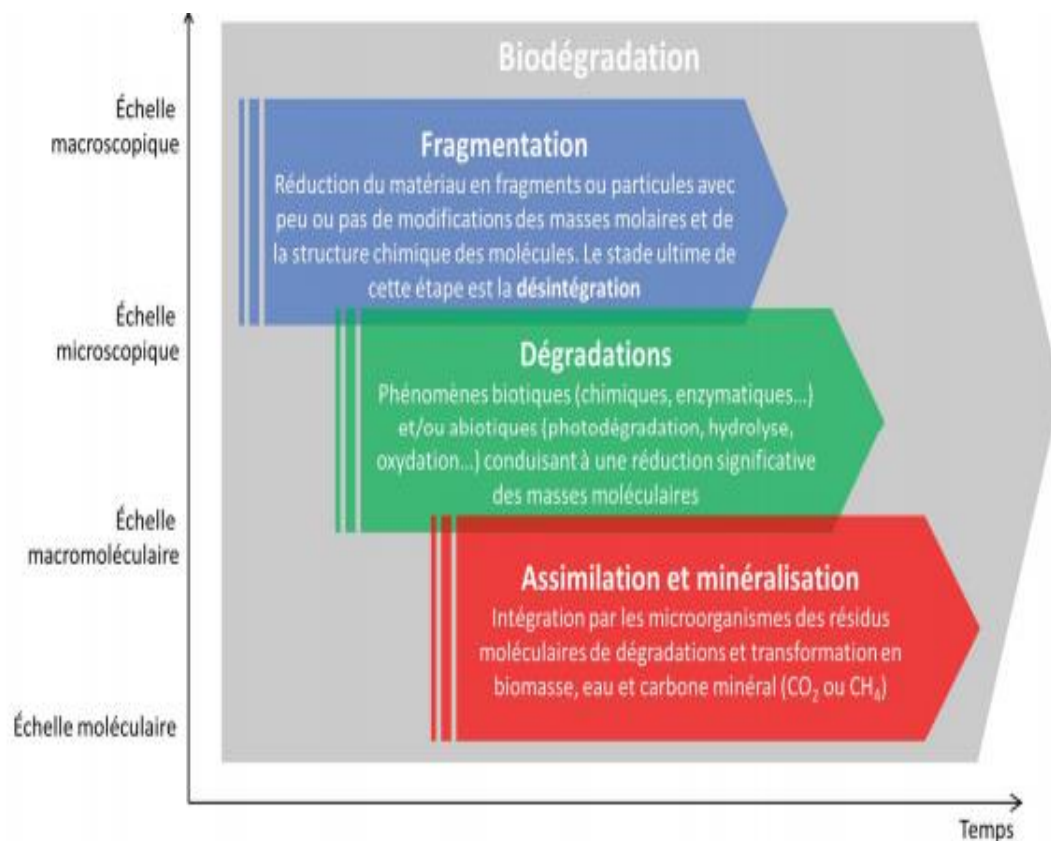


Figure 8.Processus de biodégradation du plastique (Lagneta et *al.*2020).

1.4. La typologie de plastique et leurs usages :

1.4.1. Les thermoplastiques :

Sous l'action de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois ; les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables (Epusaka., 2019).

Tableau 2.Les principaux thermoplastiques (François, 2019)

PE - 29,8%	Principalement des emballages, films pour l'agriculture...
PP - 19,3%	Pièces automobiles, films d'emballage, bouteilles rigides...
PVC - 10%	Fenêtres, revêtements sol et mur, canalisations, isolations de câbles...
PET - 7.4 %	Bouteilles d'eau et de soda, fibres textiles
PS - 6.7 %	Verres de lunettes, boîtes de CD, bac à douche, emballages...

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

1.4.2. Les thermodurcissables :

Une matière thermodurcissable est un polymère qui durcit sous l'action de la chaleur. Les molécules constituant (monomères) se lient les unes aux autres pour le rendre plus rigide en formant un réseau tridimensionnel. Sa forme après le moulage est irréversible (la forme ne peut plus être modifiée) (Traore, 2018).

Tableau 3. Les principaux thermodurcissables (François, 2019)

PUR - 7,5%	Fibres d'isolation, matelas et oreillers, isolant frigidaire...
Autres	(PMMA) écrans tactiles, (MF), mobilier, liant, (PF) produits technologiques...

1.4.3. Les élastomères :

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale), et sont obtenus à partir de polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles (Traore, 2018).

2. La pollution par le plastique :

2.1. Introduction :

La consommation du plastique s'accroît à mesure qu'augmente la production de nos sociétés industrielles pour ces matériaux. Dans le même temps, la quantité de déchets plastiques générés chaque année continue d'augmenter (Fig.09). Au fil du temps, ces déchets s'accumuleront dans l'environnement et présentent des risques (Mikaël, 2017).



Figure 9. Accumulation des déchets plastiques (source:ahqse)

La diversité de la pollution plastique est principalement déterminée par une grande variété de produits en plastique. Des milliers de produits en plastique sont demandés sur le marché de

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

la consommation dans notre vie quotidienne. Par exemple, les plastiques les plus utilisés sur le marché sont les suivants : PE (polyéthylène), PP (polypropylène), PVC (polychlorure de vinyle), PET (polyéthylène téréphtalate) et PS (polystyrène) (Fig. 04).

Malgré les différents types de plastiques, leurs applications dans la vie quotidienne étaient des mélanges, toujours composés de monomères, d'oligomères et d'additifs. En outre, les sources de contamination plastique sont également complexes, provenant principalement de diverses activités anthropiques. (Li *et al.*, 2020).

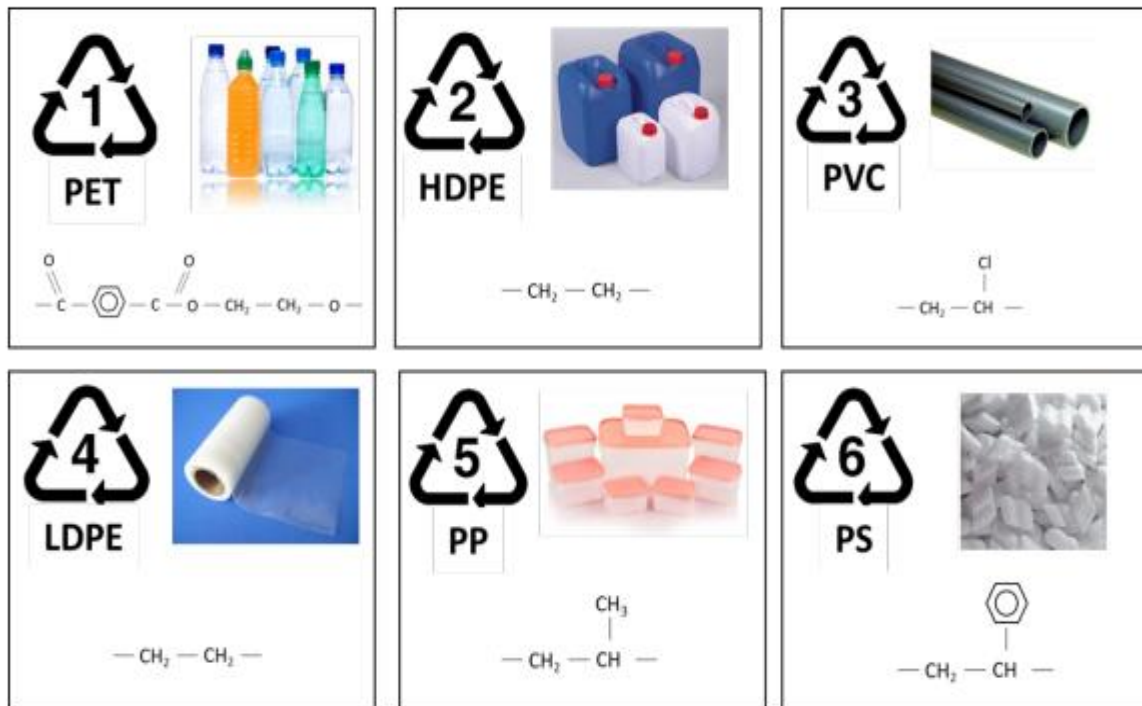


Figure 10. Les types de plastiques les plus consommables (Rachid, 2016).

La vie d'un objet en plastique est supposée être un cycle fermé grâce au recyclage ou un parcours linéaire de la production à la mise en décharge ou à des processus d'élimination comme l'incinération. Cependant, malgré les systèmes de gestion des déchets existants, les débris plastiques peuvent être observés dans les environnements du monde entier, qu'ils soient marins ou continentaux. Révélant ainsi la présence de diverses fuites au cours du cycle de vie des matières plastiques. Si la question de la pollution plastique a été soulevée pour répondre à des préoccupations d'ordre esthétique, ses implications s'étendent désormais à des effets écologiques ou toxicologiques potentiellement dangereux (Richard, 2016).

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

2.2. La pollution du plastique en Algérie :

L'Algérie continue d'accorder une importance particulière à l'industrie du plastique en développant d'importants projets de pétrochimie et de production de polymères en partenariat. La capacité de transformation du plastique en Algérie est faible. Elle est de l'ordre de 60 000 T/an, partagée entre 20 unités de production situées dans le nord. Alors que, la demande est estimée à 300 000 T/ an, toutes applications confondues. La consommation par personne se situerait entre 8 et 10 kg/an (Smail, 2015).

L'accumulation de débris plastiques de petite et grande taille est un problème dans toutes les mers et sur toutes les côtes du monde. Le golfe d'Arzew est une côte importante du sud-ouest de la Méditerranée qui reçoit des rejets de nombreuses sources. L'abondance et les tailles des débris plastiques. L'abondance des débris plastiques pourrait être associée aux centres urbains côtiers et à leurs activités anthropiques (rejet de déchets). La forte présence constatée peut également s'expliquer par le transport de débris plastiques via la circulation des eaux de surface (Bouchentouf, 2013).

2.3. Le recyclage :

2.3.1. Définition :

Le recyclage correspond à la réutilisation des résidus par le producteur. Il peut être court lorsque ces derniers sont recyclés directement par l'agent ou le transféré à un autre producteur de la même branche d'activités .il s'agit donc d'une diminution de production que l'on observe dans les aciéries ou papeteries, par exemple. Il peut être long lorsqu'ils empruntent des filières de collecte et de prétraitement assuré par des professionnels de la récupération c'est le cas de déchet industriels et commerciaux (Nouria, 2007). Aussi seulement 2 à 3 % soit 0.23 Mt/an sont réutilisés, 133 000 t sont valorisés en énergie, 7 000 t effectivement recyclés (Belaïb, 2012).

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

2.3.2. Les différents modes de recyclage ou valorisation :

Il existe deux types de valorisation à savoir : la valorisation énergétique et la valorisation matière.

2.3.2.1. La valorisation énergétique :

La valorisation énergétique consiste à utiliser les matières plastiques comme combustibles et à récupérer ainsi l'énergie dégagée. Cette opération se déroule dans une unité d'incinération de déchets de matières plastiques. Compte tenu du pouvoir calorifique élevé des polymères, le recyclage énergétique est très efficace pour des déchets plastiques souillés ou non triés qui ne sont donc pas réutilisables (Nouria, 2007).

2.3.2.2. La valorisation matière :

a. Le recyclage chimique ou thermique :

Ces processus consistent à transformer les résidus plastiques soit en monomères, soit en pétrole. Au contact de certains produits chimiques (le méthanol ou le glycol d'éthylène).le procédé porte le nom de dépolymérisation et s'applique surtout au polyéthylène téréphtalate (PET) (Nouria, 2007).

8. Recyclage mécanique :

Le Recyclage des plastiques par voie fondue est une méthode simple, peu dommageable pour l'environnement et demandant peu d'investissements par rapport au recyclage chimique. Elle a pour but l'utilisation des matières plastiques usagées dans la production d'un nouvel objet. Le procédé du recyclage mécanique consiste à identifier les différentes sources de déchets du plastique à recycler, à les collecter et à les trier. L'inconvénient majeur du recyclage mécanique du plastique est la présence d'eau et de contaminants dans le matériau pendant la mise en œuvre, qui comme nous l'avant décrit auparavant engendre ou catalyse les réactions de dégradation responsables de la diminution de la masse molaire de la résine recyclée (Bouchentouf, 2013).

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

3. Bioremédiation :

3.1. Définition :

Le terme de bioremédiation a été composé de deux parties : "bios" signifie vie et se réfère aux organismes vivants et "rémediation" qui signifie résoudre un problème. La "bioremédiation" consiste à utiliser des organismes biologiques pour résoudre un problème environnemental tel qu'un sol ou une eau souterraine contaminés (Sardod, et al.2012).

La bioremédiation est l'utilisation des organismes supérieurs et des micro-organismes vivants (bactéries, algues, champignons) pour dégrader les polluants environnementaux ou pour prévenir la pollution. En d'autres termes, il s'agit d'une technologie permettant d'éliminer les polluants de l'environnement, ce qui permet de restaurer le milieu naturel d'origine et de prévenir toute nouvelle pollution (Sardod et al.2012).

3.2. Les procédés de Bioremédiation :

Les procédés de Bioremédiation sont envisagés comme d'intéressantes alternatives aux techniques classiques de dépollution. En effet, ils offrent la possibilité de réaliser une décontamination d'environnements pollués en diminuant les impacts sur les écosystèmes traités (Fig.11). Afin d'améliorer encore ces procédés de dépollution. Cette bioremédiation peut être réalisée sous différentes formes : l'atténuation naturelle, la biostimulation et la Bioaugmentation (Militon, 2007).

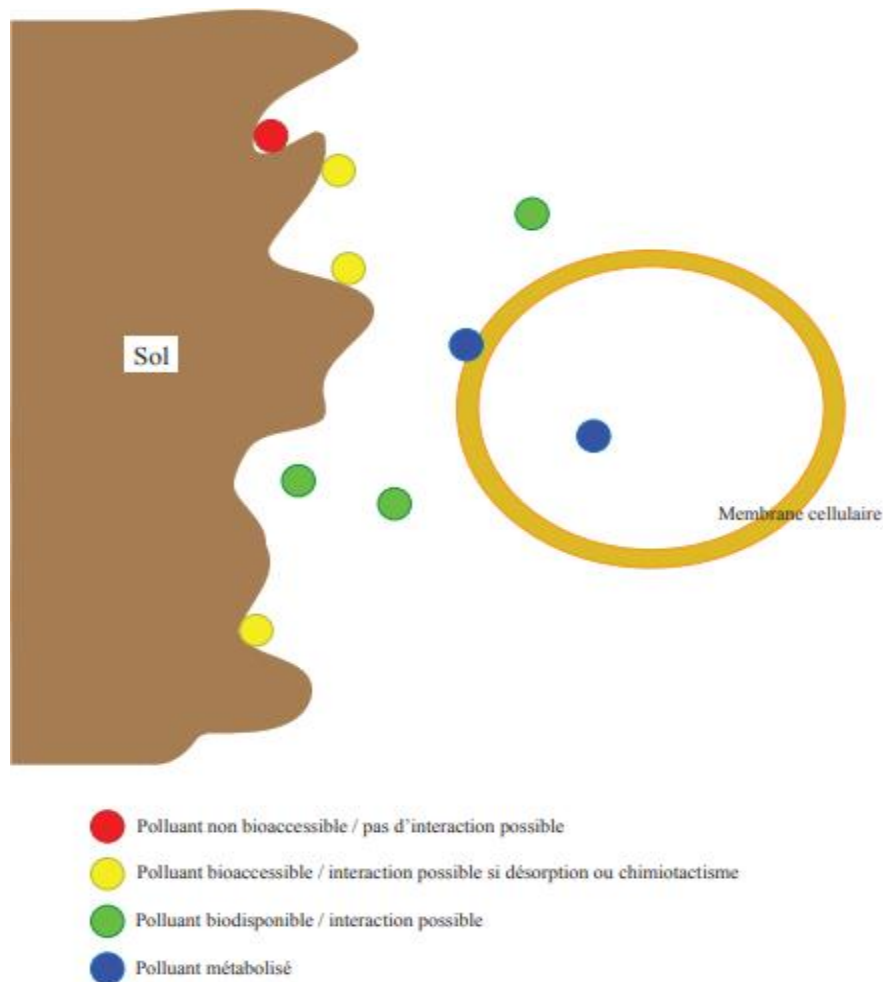


Figure 11. Interactions microorganismes-polluant (Paul, 2010).

3.2.1. L'atténuation naturelle :

L'atténuation naturelle est un processus qui utilise les capacités épuratrices des microorganismes qui se trouve au niveau des écosystèmes pollués. Même si cette technique de décontamination ne nécessite pas théoriquement l'intervention humaine, il est toutefois nécessaire d'éliminer ou de neutraliser la source de pollution et de surveiller en permanence le site jusqu'à la fin du traitement (Milton, 2007).

3.2.2. Labiostimulation:

La « biostimulation » Ce qui comprend l'ajout aux boues activées des additifs non-vivants en s'attendant à une meilleure performance de la biomasse qui y est déjà présente (Samer, 2014).

CHAPITRE 02 : Bioremédiation

On peut apporter des nutriments (source de carbone, accepteur final d'électron) au milieu afin de favoriser la croissance des microorganismes et augmenter ainsi la capacité de dépollution du système (Paul, 2010).

3.2.3. Bioaugmentation :

La bioaugmentation est la méthode d'application de micro-organismes autochtones ou allochtones, de type sauvage ou génétiquement modifiés, sur des sites de déchets dangereux pollués afin d'accélérer l'élimination des composés indésirables (Madhuranth et al. 2018).

Les microorganismes sont sélectionnés sur la base de leur aptitude à dégrader les composés organiques présents dans le site à dépolluer. Labioaugmentation est principalement utilisée dans les environnements contaminés par le pétrole comme une stratégie alternative à la biorémédiation (Madhuranth et al. 2018).

Tableau 4. Quelques microorganismes utilisés dans les études de bioaugmentation (Madhuranth et al. 2018).

Microorganisme utilisé	Polluants dégradés
<i>Pseudomonas putida</i> PaW340/pDH5	Acide 4-chlorobenzoïque
<i>Cupriavidus necator</i> RW112	Chlorobenzoate
<i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 (ohb)	Arochlor 1221 et 1232 Arochlor 1242 ⁹⁵
<i>Pseudomonas fluorescens</i> RE	2,4-dinitrotoluène
<i>Pseudomonas fluorescens</i> MP	2,4-dinitrotoluène
<i>Pseudomonas putida</i> KT2442	Naphtalène

3.3. Mycobio-remédiation :

La bio-remédiation fongique se révèle également prometteuse, Ces microorganismes représentent environ 75% de la biomasse des sols et peuvent former des réseaux mycéliens sur des centaines d'hectares de terre. Les champignons jouent des rôles très importants dans les grands cycles biogéochimiques. Ce règne du vivant renferme ainsi des capacités enzymatiques très diverses, y compris la possibilité de dégrader les composants de la lignine du bois à la structure polyaromatique complexe. Ces capacités restent largement à étudier puisque moins de 10% des espèces ont été décrites sur les 1,5 millions estimées (Antoine, 2013).



CHAPITRE 03 :
Décharges publiques

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

1. Décharges publiques :

1.1. Définitions :

Dans le langage courant, le terme déchet désigne les ordures ou tout autre résidu rejeté car ils ne sont plus consommables ou utilisables et n'ont donc plus de valeur. (Hamza., 2014).

Selon Brahim (2012), les déchets au sens de la réglementation algérienne comprennent trois grandes catégories (Fig.12):

- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services,...).
- Les déchets inertes (béton, tuiles et briques, vitrage)

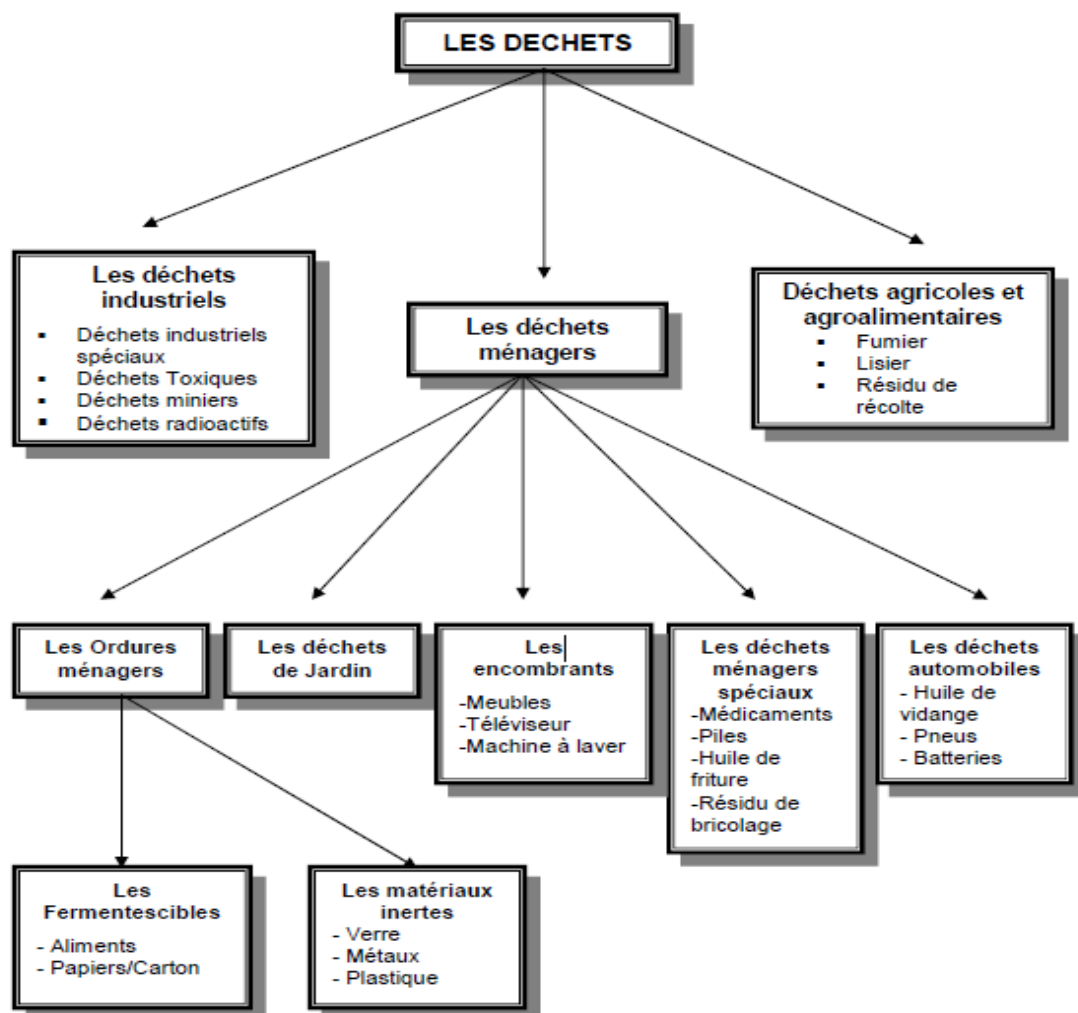


Figure 12. Les différents types des déchets (REDJAL, 2005)

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

1.2. Traitement de la décharge publique :

1.2.1 La précollecte :

C'est une étape intermédiaire entre la production des ordures dans les ménages et les bacs de regroupement. Elle se déroule ainsi au niveau de plusieurs habitations, voire d'un quartier en fonction de la taille de ceux-ci (Melhyas, 2015).

1.2.2. La collecte :

L'opération de la collecte est située au cœur du processus de la gestion des déchets. C'est une opération d'ordre public qui rentre dans le cadre de la protection de la santé des populations ainsi que pour assurer une meilleure qualité de vie. Elle consiste en le ramassage et le regroupement des déchets en vue de leur transport (Fig.13) (Brahim, 2012).

Les modes de collecte établis sont fonction de la nature des déchets et surtout dépendent des modes de traitement existants en aval. En effet, ce sont des moyens techniques de traitement qui déterminent toute la chaîne de gestion et par conséquent les modes de collecte (Christelle, 2015).

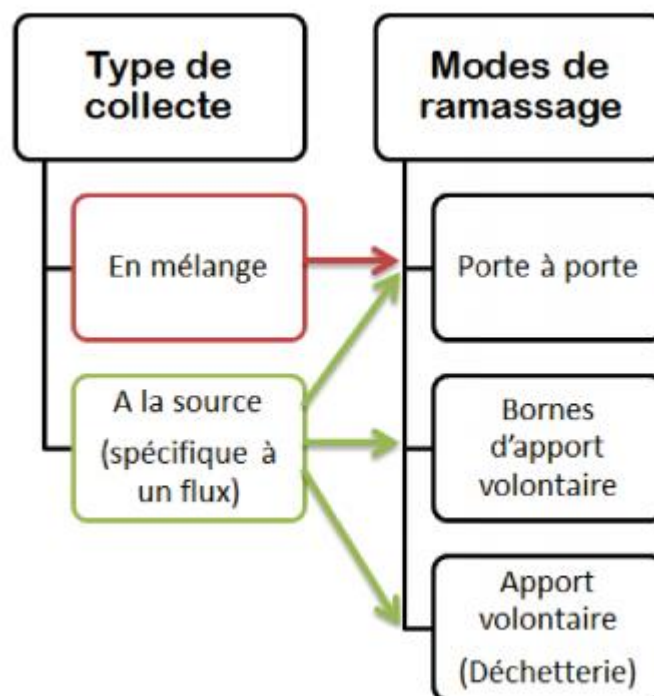


Figure 13. Principe d'organisation entre les types et les modes de collectes (Christelle, 2015).

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

1.2.3. Transport :

Après collecte, les déchets sont évacués vers des sites de traitement et de stockage. Il existe une grande variété de véhicules de collecte(Fig.14) et d'options sur les équipements de transport(Rahmani etTayebi, 2016).



Figure 14.Camion à collecte (source : brangeon)

1.2.4. Tri des déchets :

C'est une étape très importante pour une bonne gestion des déchets. Compte tenu du caractère hétérogène des DSM, une bonne valorisation dépend de la qualité du tri effectué. Ainsi, dans la logique de la présente étude, le tri doit être effectué au minimum en trois catégories : les Matières organiques (fermentescibles), autres combustibles (papiers, carton, plastiques, ...) et les inertes et incombustibles (déchets de génie civil, les graviers, le sable, le métal, le verre, ...) (Melhyas, 2015).

1.2.5. La valorisation des déchets :

Il est possible de valoriser, c'est-à-dire récupérer et de réutiliser de nombreux matériaux que l'on trouve dans les déchets pour fabriquer des nouveaux produits du même type ou d'un type différent (Tableau 5) (Brahim, 2012).

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

Tableau 5. Filières de traitement des déchets (Emmanuel et Émile, 2006)

Objectifs	Numéro	Filière de traitement
Valorisation énergétique	1	Combustion (avec valorisation de la chaleur produite)
	2	Elaboration de combustibles dérivés par des procédés mécaniques (broyage, tri, séchage, etc.)
	3	Elaboration de combustibles dérivés par des procédés thermiques (pyrolyse, gazéification, etc.)
	4	Elaboration de combustibles dérivés par des procédés biologiques (méthanisation, fermentation alcoolique)
Valorisation matière première	5	Matières premières organiques (naturelles et de synthèse)
	6	Matières premières minérales métalliques et non métalliques
	7	Liants hydrauliques et matériaux de structure
Valorisation en sciences des matériaux	8	Verre et céramique
	9	Matières plastiques et caoutchouc
	10	Fibres cellulosiques de récupération
	11	Autres matériaux
Valorisation en agriculture	12	Elaboration d'amendements organiques
	13	Elaboration d'amendements minéraux
	14	Alimentation animale

1.2.6. L'élimination des déchets :

En matière de gestion des déchets, la Suisse a veillé ces dernières décennies à assurer une élimination qui soit la plus respectueuse de l'environnement possible. Cela s'est traduit par un changement concret : les déchets ne sont plus mis en décharge mais incinérés (Corinne et *al.*, 2016).

Il faut cependant préciser que le terme élimination couramment utilisé dans le langage commun, porte à croire qu'il est possible de faire disparaître les déchets, ce qui est faux. L'idée de l'élimination est un mythe car il est évident qu'en enfouissant des déchets pêle-mêle ou en les brûlant, rien n'est éliminé en réalité. La matière subit plutôt une transformation (Françoise, 2007).

1.2.7. L'enfouissement des déchets :

Dans un lieu d'enfouissement sanitaire (LES), les matières résiduelles sont compactées mécaniquement en couches successives et recouvertes quotidiennement de matériaux de

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

recouvrement afin de réduire les impacts sur l'environnement et sur le voisinage. Ce sont les conséquences de la décomposition de la matière organique qui sont la source principale de pollution engendrée par un site d'enfouissement (Françoise, 2007).

1.2.8. Le compostage :

Le compostage est un processus biologique dans lequel les déchets organiques sont transformés par les microorganismes du sol en un produit stable et hygiénique appelé compost (Fig.15) (Brahim, 2012).



Figure 15.Le compost au jardin (franceabris)

2. Les champignons du compostage :

A la fin du processus de compostage, les composts mûrs renferment une communauté importante et diversifiée de microorganismes mésophiles. Ainsi, l'amendement d'un sol par le compost ne signifie pas uniquement un apport de matières humifères contenant des composés minéraux, mais aussi un apport de microorganismes vivants.

Parmi ces microorganismes, les champignons ont la particularité de dégrader plusieurs sources de carbone, surtout les polymères complexes lignocellulosiques, les composés polys aromatiques et le plastique (Mouria et *al*, 2012).

Ils sont de plus en plus appliqués aux sols contaminés par une large gamme de polluants. Ils sont principalement responsables de la maturation du compost et représentent un taux d'environ 2 : 1 par rapport à la totalité des procaryotes d'un compost (Mouria *et al*, 2012).

CHAPITRE 03 : Décharges publiques

Parmi ces champignons, certains ont la particularité de croître à des températures élevées, ils sont dits thermophiles ou thermotolérants. Une attention particulière sera accordée à ce groupe d'espèces, et en particulier à *Aspergillus fumigatus*, qui est l'exemple le plus éminent, dans la mesure où il est capable de croître dans une gamme de température allant de 12 à 57°C (Mouria *et al.*, 2012).

PARTIE PRATIQUE



**Protocole
expérimentale**

PROTOCOLE EXPERIMENTALE

1. Les produits chimiques :

Anudurga et *al.* (2016) ont utilisé des Produits chimiques commercialisés par Sigma Aldrich. Cependant, ils ont réalisé les tests de dégradation sur le polyéthylène (LDPE) d'origine les magasins de Vellore dont le diamètre des sacs est de 20 μ m. Ils étaient coupés en petits morceaux ensuite, ils étaient passés à la stérilisation par l'éthanol (70%).

Cependant, Anuradha De Silva *etal.*(2019) ont utilisé du LDPE d'un diamètre de 20 μ m(PolystarMachinery (Pvt.) and India).

2. Origine des champignons :

2.1. Prélèvement :

Anudurga et *al.* (2016) ont effectué des prélèvements du sol à partir du Vellore Institute of Technology (VIT), Tamil Nadu, India. Par ailleurs, Anuradha De Silva *etal.*(2019) ont collecté du LDPE à partir des décharges de polyéthylène de Kaduwela et Homagama (Sri Lanka). Concernant les tests de Biodégradations, ils ont coupé le polyéthylène acheté en petits fragments de 2cm x 2cm. Ils ont stérilisé ensuite ces morceaux dans l'éthanol (70%) pour enfin les mettre dans une boîte stérile

2.2. Isolement :

Anudurga et *al.* (2016) ont passé les échantillons au tamis pour débarrasser des gravies. Ensuite, ils ont mélangé 1 g de sol avec 99 ml d'eau double distillée. Puis, ils ont préparé de différentes dilutions à partir de la solution mère. Après ensemencement de différentes dilutions sur PDA, les boîtes ont été incubées pendant 48 heures à 25°C. Les colonies isolées ont été purifiées par repiquage successifs sur le même milieu de culture (PDA). Ensuite ils étaient conservés à 4 °C pour les tests ultérieurs.

Ainsi, Anuradha De Silva *etal.* (2019) ont placé les morceaux de polyéthylène dans des boîtes de PDA (avec la streptomycine). Après incubation pendant 48 heures à 37°C à la position inverse, les colonies isolées ont été purifiées.

2.3. Screening des Champignons dégradant le polyéthylène :

Anudurga et *al.* (2016) ont utilisé les techniques d'enrichissements. Premièrement, ils ont mélangé 100 ml du milieu M1 avec 0.5 g de plastique (2 cm x 2cm). Ensuite, ils ont ajouté 1 ml des cultures fongiques isolées et incubées sous agitation (120 rpm) pendant 15 jours. Après trois cycles d'enrichissement, 1 ml de la culture était dilué et ensemencé sur milieu de

PROTOCOLE EXPERIMENTALE

PDA. Les champignons isolés ont été identifiés par observation microscopique en utilisant le Bleu Cotton.

2.4. Taxonomie des champignons :

Anudurga et *al.* (2016) ont identifié les champignons isolés par l'analyse des séquences de RNA_r(18s). L'ADN génomique était extrait. Ensuite, ils ont amplifié les gènes par la technique de PCR.

Selon Anuradha De Silva et *al.* (2019), les mycéliums cultivés (1,0 g) ont été collectés en grattant les mycéliums et mis dans 300µl de tampon d'extraction [200mM Tris- HCl (pH 8,3), 20mM NaCl, 25mM EDTA (pH 8,3) et 1 % SDS] contenant un tube Eppendorf et les échantillons ont été incubés à température ambiante pendant 72 heures. Les mycéliums ont été écrasés à l'aide d'un embout de pipette émoussé et stérilisé. Tous les échantillons d'ADN ont été centrifugés à 12000 rpm pendant 5 minutes. Un volume de 150 µl d'acétate de sodium a été ajouté. Après cela, les échantillons ont été centrifugés à 10000 rpm pendant 5 minutes.

Par ailleurs, le surnageant a été pipeté dans un nouveau tube contenant 500µl d'isopropanol glacé. Les échantillons ont été centrifugés à 4 °C à 12000 rpm pendant 1 minute. Puis le surnageant a été jeté et le culot a été séché à l'air pendant 30- 45 minutes. Ensuite, le culot a été dissous dans 50 µl de tampon TE (10mM Tris-HCl, 1mM EDTA à pH 8.0).

Donc, la technique de PCR a été réalisée pour amplifier la région de l'espaceur transcrit interne (ITS) de l'ADN extrait, en utilisant les amorces ITS 1 et ITS 4 dans les conditions suivantes : 94 °C pendant 5 min, suivi de 35 cycles de 94 °C pendant 30 s, 54 °C pendant 1 min, 72 °C pendant 2 min, et extension finale à 72 °C pendant 7 min.

3. Les tests de Biodégradations :

Anudurga et *al.* (2016) ont utilisé plusieurs techniques :

3.1. La détermination de la masse de LDPE résiduaire :

Anudurga et *al.* (2016) ont recouvert les morceaux de LDPE par le milieu de dégradation, ensuite ils étaient lavés successivement par le SDS et l'eau distillée (Gilan et al. 2004). Après une nuit de séchage à 60°C, le résidu obtenu était pesé et le pourcentage de masse était calculé selon la formule suivante (Kyaw et al. 2012).

Perte de poids (%) = $(\text{Poids initial} - \text{poids final} / \text{Poids initial}) \times 100$

Concernant l'étude d'Anuradha De Silva et *al.* (2019), Un LDPE 20 microns carré de 3,5 cm x 3,5 cm (lavé avec de l'alcool à 90 %) a été placé sur une plaque de PDA à 25 % traitée à

PROTOCOLE EXPERIMENTALE

la streptomycine. Trois espèces fongiques abondantes ($0,1 \text{ ml}$ de 1×10^3 spores/ml) ont été inoculées sur une plaque de PDA et un polyéthylène stérilisé dans des conditions aseptiques. Les cinquante répliques ont été placés en position inversée pour une période d'incubation de 90 jours à $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Ils ont mesurés le poids sec du LDPE résiduel. Ensuite, les films LDPE traités ont été récupérés du milieu de dégradation et ils ont été lavés avec une solution de dodécylsulfate de sodium (SDS) à 2 % (v/v), puis rincés avec de l'eau distillée puis séché pendant une nuit à $40 \text{ }^\circ\text{C}$ avant d'être pesé et le pourcentage de perte de poids a été déterminé.

3.2. L'évolution du CO_2 :

Selon Anudurga et *al.* (2016), le CO_2 dégagé lors de la dégradation du LDPE a été déterminé par gravimétrie par le test de Strum. Les morceaux de LDPE ont été ajoutés au flacon d'essai contenant 100 ml de milieu d'enrichissement. Le LDPE a été incubé avec *Aspergillus clavatus* qui a servi de test. Les deux flacons ont été incubés à température ambiante pendant 4 semaines.

La solution de chlorure de baryum ($0,1 \text{ M}$) a été ajoutée au flacon contenant le KOH. Le CO_2 produit a été calculé par gravimétrie en mesurant la quantité de CO_2 dégagé par l'ajout de BaCl_2 . Les changements par rapport à ceux du contrôle ont été enregistrés.

3.3. Analyse spectroscopique :

Selon Anudurga et *al.* (2016), les modifications des liaisons polymères dues à la biodégradation de la souche JASK1 ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre FTIR. Le film LDPE exposé aux isolats a été analysé après 90 jours d'incubation en utilisant deux type de microscopie.

3.3.1. Microscopie à force atomique (MFA) :

Anudurga et *al.* (2016) ont suivi les modifications de la topographie de la surface du film LDPE traité et non traité en les examinant par MFA. Les échantillons de film LDPE dégradé ainsi que le film LDPE témoin ont été analysés à une vitesse de balayage de $1,0 \text{ Hz}$ et une résolution de 512×512 pixels. Pour les études AFM les films de polyéthylène ont été récupérés sur les supports respectifs et les films ont été lavés avec du SDS à 2 % afin d'éliminer les microbes adhérents. Ensuite, le film a été séché à l'air pendant une nuit pour l'analyser (Tribedi et Sil 2013).

PROTOCOLE EXPERIMENTALE

3.3.2. Microscopie électronique à balayage (MEB) :

D'après Anudurga et *al.* (2016), les échantillons traités après 90 jours d'incubation avec *A.clavatus* ont été soumis à une analyse MEB après avoir été lavés avec 2 % (v/v) de SDS aqueux et d'eau distillée pendant quelques minutes et rincés avec de l'éthanol à 70 % pour éliminer les cellules.

L'échantillon a été collé sur le stub d'analyse MEB à l'aide d'un tube de carbone et recouvert d'or pendant 40 s puis analysé au microscope électronique à balayage haute résolution .

Selon Anuradha De Silva et *al.* (2019), les échantillons traités après 90 jours d'incubation avec les isolats fongiques nommés UY1, UB1 et UY2 ont été soumis à une analyse SEM après avoir été lavés avec du SDS aqueux à 2 % (v/v) suivi d'eau distillée pendant quelques minutes et essuyés avec de l'éthanol à 70 % pour enlever les cellules adhérentes.

Les modifications de la liaison polymère du film LDPE ont été déterminées à l'aide du spectrophotomètre FTIR.

3.3.3. Microscope électronique :

Après incubation Anuradha De Silva et *al.* (2019) ont placé la lamelle couvre-objet sur une lame de verre contenant une goutte d'eau avec l'indicateur bleu de coton et le lactophéno

A decorative horizontal scroll graphic with a black outline and rounded ends. The scroll is unrolled in the center, revealing the text. The left and right ends of the scroll are curled up, and there are small grey circular accents at the top and bottom of these curls.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

RSULTATS ET DISCUSSION

1. Isolement et Identification de la souche dégradant le LDPE :

Selon Anudurga et *al.* (2016), tous les isolats fongiques provenant du sol de la décharge ont été examinés pour leur capacité à dégrader le LDPE après 8 à 10 jours d'incubation à 25-30°C dans un milieu d'enrichissement. Sur la base de ce dépistage, JASK1 a été sélectionnée pour les études de dégradation du LDPE. La séquence nucléotidique de l'ARNr 18S de la souche JASK1 a été déposée dans le NCBI et la banque de gènes et le numéro d'accèsion KT148627 a été obtenu. Les séquences présentant la plus grande similarité de séquences partielles d'ARNr 18S ont été sélectionnées et comparées par CLUSTAL WEST. Les analyses phylogénétiques et d'évolution moléculaire ont été réalisées par le logiciel MEGA 4.0 avec le modèle à 2 paramètres de Kimura et l'algorithme de jonction des voisins. Le site d'alignement de ces séquences avec d'autres séquences trouvées dans la base de données a montré une similarité de 99 % avec la séquence de la souche *A. clavatus* JASK1.

D'après Anuradha De Silva *etal.* (2019), les isolats fongiques utilisés pour la dégradation du LDPE ont été identifiés en analysant les séquences de la région ITS de chaque isolat fongique. Les séquences présentant une identité maximale et une couverture de la requête ont été prises en compte lors de l'identification des échantillons inconnus. L'identification des isolats fongiques inconnus et les numéros d'accèsion obtenus du NCBI sont présentés dans le tableau 06.

Tableau 6. Identité des isolats fongiques de dégradation du LDPE (Anuradha De Silva *etal.* 2019).

Code échantillon inconnu	Identification avec BLAST	Numéro d'accèsion
UY1	<i>Aspergillus niger</i> isolate PS3	MN 235833
UB1	<i>Penicillium</i> sp. isolate PS 2	MN 148618
UY2	<i>Fusarium</i> sp. isolate PS3	MN 238763

RESULTATS ET DISCUSSION

2. Etudes de biodégradation :

D'après Anudurga et *al.* (2016), après une incubation de 90 jours, la capacité de dégradation de la souche JASK1 a été analysée à l'aide de différents paramètres et les résultats ont été interprétés.

2.1. Réduction du poids :

D'après, Anudurga et *al.* (2016) un moyen simple et rapide de mesurer la biodégradation des polymères est de déterminer la perte de poids. Les microbes qui se développent en utilisant le polymère conduisent à une augmentation du poids en raison de l'adhérence des microbes, tandis qu'une perte de polymère entraîne une augmentation du poids. La biodégradation est généralement initiée à la surface du polymère. Après la période de dégradation, les films LDPE ont été traités avec du SDS comme tensioactif. Qui dénature les cellules et les fait disparaître complètement de la surface. La réduction du poids a été observée après la biodégradation du LDPE.

Dans cette étude, une perte de poids de 35 % des films LDPE a été observée après 90 jours d'incubation avec la souche JASK1 d'*A. clavatus.*, alors que dans le flacon de contrôle, il n'y a pas de perte de poids des films LDPE (fig16).

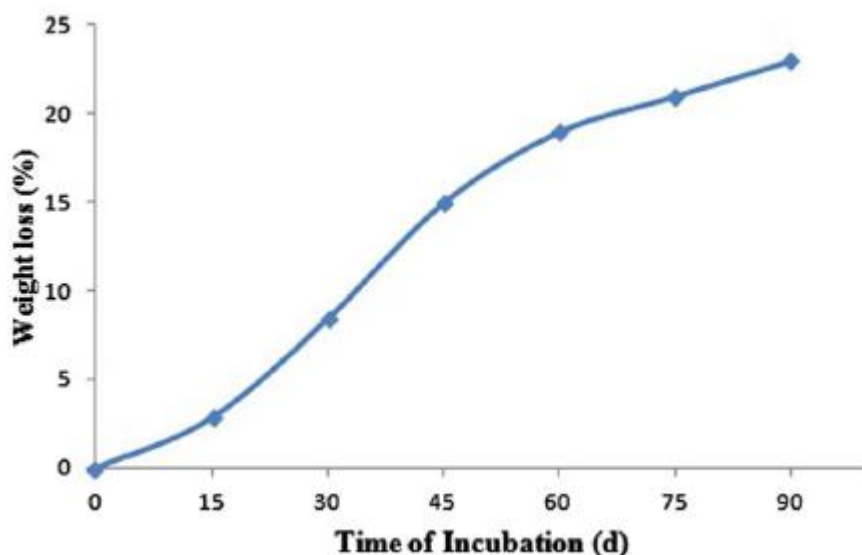


Figure 16. Le pourcentage de perte de poids des films LDPE incubés avec *Aspergillus clavatus* JASK1 (Anudurga et *al.* 2016)

RSULTATS ET DISCUSSION

Mais d'après Anuradha De Silva *et al.* (2019), une façon simple et rapide de mesurer la biodégradation des polymères est la perte de poids. Les micro-organismes utilisent le polymère et ce processus conduit à la dégradation de l'intégrité du polymère. La réduction de la perte de poids du LDPE a été observée après 90 jours de période d'incubation car la biodégradation est généralement proportionnelle à la perte de poids du polymère. L'isolat fongique *Fusariumsp.* Isolat PS3 a montré 0,59 %, *Penicillium sp.* Isolat PS2 a montré 0,36 % et l'autre *Aspergillus niger* isolat PS3 a montré 0,35 % de perte de poids après 90 jours de période d'incubation tandis que le contrôle n'a montré aucune perte de poids.

Mais dans cette étude, les mesures de perte de poids n'étaient pas un paramètre suffisant pour évaluer la dégradation fongique par rapport aux études précédentes.

2.2. Évolution du CO₂ :

D'après Anudurga *et al.* (2016), le test de Strum a été suivi pour évaluer la dégradation du dioxyde de carbone métabolique dégagé pendant la période de croissance. Le LDPE a été incubé pendant 4 semaines. Ainsi que avec *A. clavatussp.* Ce qui entraîne une production de 2,32 g l⁻¹ de CO₂. Les résultats sont similaires à ceux des travaux de Shah *et al.* (2009). qui a rapporté une évolution de 1,85 g⁻¹ CO₂ après une période de 30 jours d'incubation avec souche fongique de *Fusariumsp.* Sur des films LDPE. Des résultats similaires ont également été enregistrés par Das *et Kumar* (2014) avec les produits suivants CO₂, CH₄ et H₂O en tant que produits finaux du polyéthylène dégradé par la souche *Fusarium*.

2.3. Analyse FTIR :

Selon Anudurga *et al.* (2016), l'analyse structurelle est un paramètre important pour identifier les changements structurels qui apparaissent au cours de la dégradation responsables de la perte de poids. L'IRTF est sensible à l'environnement moléculaire local et par conséquent, a été largement appliquée pour étudier les interactions entre les macromolécules pendant la dégradation du LDPE.

Par ailleurs, l'analyse FTIR des films LDPE dégradés permet de voir de près l'étirement N-H du groupe aldéhyde à 3334,92 et 3228,84 cm⁻¹, le C-C=C symétrique du cycle aromatique à 1639,49 cm⁻¹ étirement C=O du groupe aldéhyde à 1735,93 cm⁻¹, pic à la courbure N=O qui correspond à 1365,60 cm⁻¹, étirement C-O du groupe éther à 1217,08 et 1078,21 cm⁻¹. Les changements structurels les plus importants ont été observés dans l'échantillon de LDPE dégradé par la souche JASK1 (fig17).

RESULTATS ET DISCUSSION

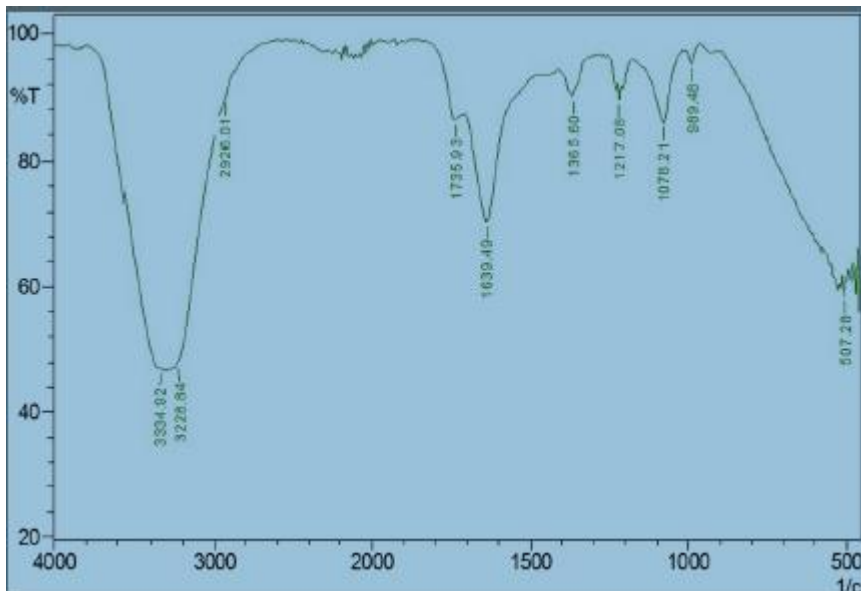


Figure 17. Spectre FTIR de la biodégradation du film LDPE après 90 jours d'incubation. La présence de groupes fonctionnels soutenant le changement de conformation à la surface du polymère (Anudurga *et al.* 2016).

D'après Anuradha De Silva *et al.* (2019) L'analyse FTIR des films LDPE de l'isolat PS3 de *Fusarium* sp. Traité a permis de voir de près les groupes alcane à étirement C-H à 2919,4 et 2849,4 cm^{-1} , les groupes carboxyliques O-H à 2511,1 cm^{-1} , le groupe anhydride C=O à 1794,8 cm^{-1} , la liaison CH₃ en flexion à 1429,2 cm^{-1} , le groupe aromatique en flexion hors du plan à 875,2 cm^{-1} , le groupe alcène en flexion hors du plan à 714,5 cm^{-1} et les bandes d'absorption de carbonyle en plus d'une bande d'ammonium à 2363,9 cm^{-1} . La bande attribuée au groupe carboxylique O-H et les bandes d'absorption du carbonyle en plus d'une bande d'ammonium étaient légèrement présentes. Cependant, l'échantillon témoin ne présentait que des groupes alcane à étirement C-H à 2917,9 et 2848,9 cm^{-1} , une liaison CH₃ à 1430,3 cm^{-1} , un groupe aromatique à flexion hors plan à 875,5 cm^{-1} et un groupe alcène à flexion hors plan à 716,3 cm^{-1} . Cette analyse FTIR a révélé que l'isolat PS3 de *Fusarium* sp. a le potentiel pour initier la dégradation du film LDPE

RESULTATS ET DISCUSSION

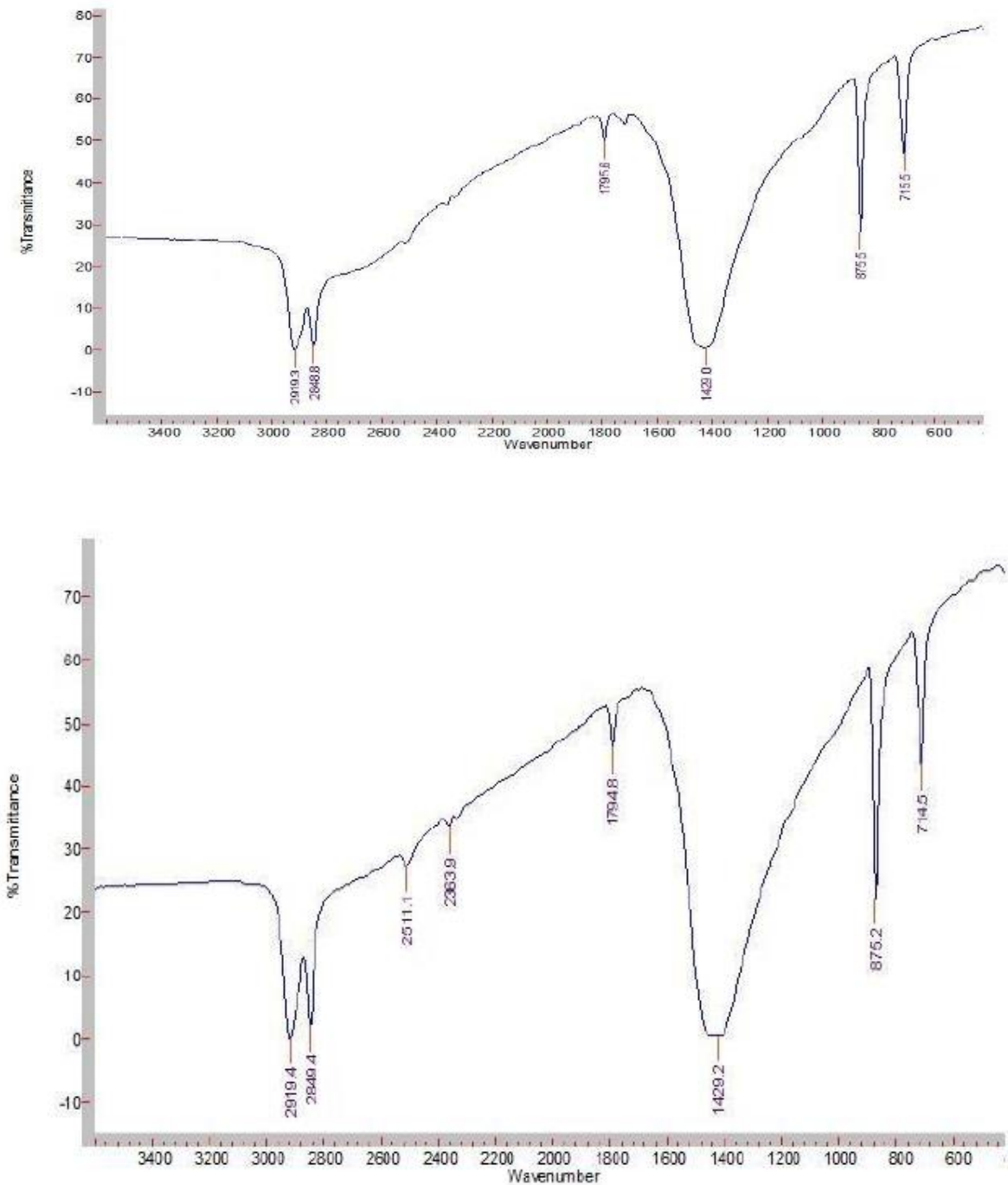


Figure 18. Spectre FTIR du film LDPE dégradé après 90 jours (A) sans aucune inoculation ; (B) avec inoculation de l'isolat PS3 de *Fusarium* sp (Anuradha De Silva *et al.* 2019)

RESULTATS ET DISCUSSION

2.4. Analyse MFA :

Selon Anudurga et *al.* (2016), les micrographies AFM montrent une dégradation localisée du PEBD en présence de la souche JASK1 de *A. clavatus*, ce qui entraîne la formation de rainures, de fractures et d'une légère dégradation (fig03). La souche JASK1 de l'isolat *A. clavatus* a été trouvée pour dégrader le LDPE même sans prétraitement. Dans une étude menée par Esmaeili et *al.* (2013), après incubation du LDPE avec *A. niger* pendant 126 jours, il y a eu formation de champignons, 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.

2.5. Analyse par microscopie électronique à balayage :

D'après Anudurga et *al.* (2016), l'analyse MEB est utilisée pour confirmer que la surface du LDPE devient physiquement faible après le traitement biologique. Après 90 jours d'incubation, la colonisation fongique a été observée à la surface du LDPE par MEB. L'expérience MEB a montré la présence d'un champignon à la surface du LDPE. LDPE exposés à la souche JASK1 de *A. clavatus* ont présenté une érosion de surface, des fissures, des plis et une colonisation fongique (fig19).

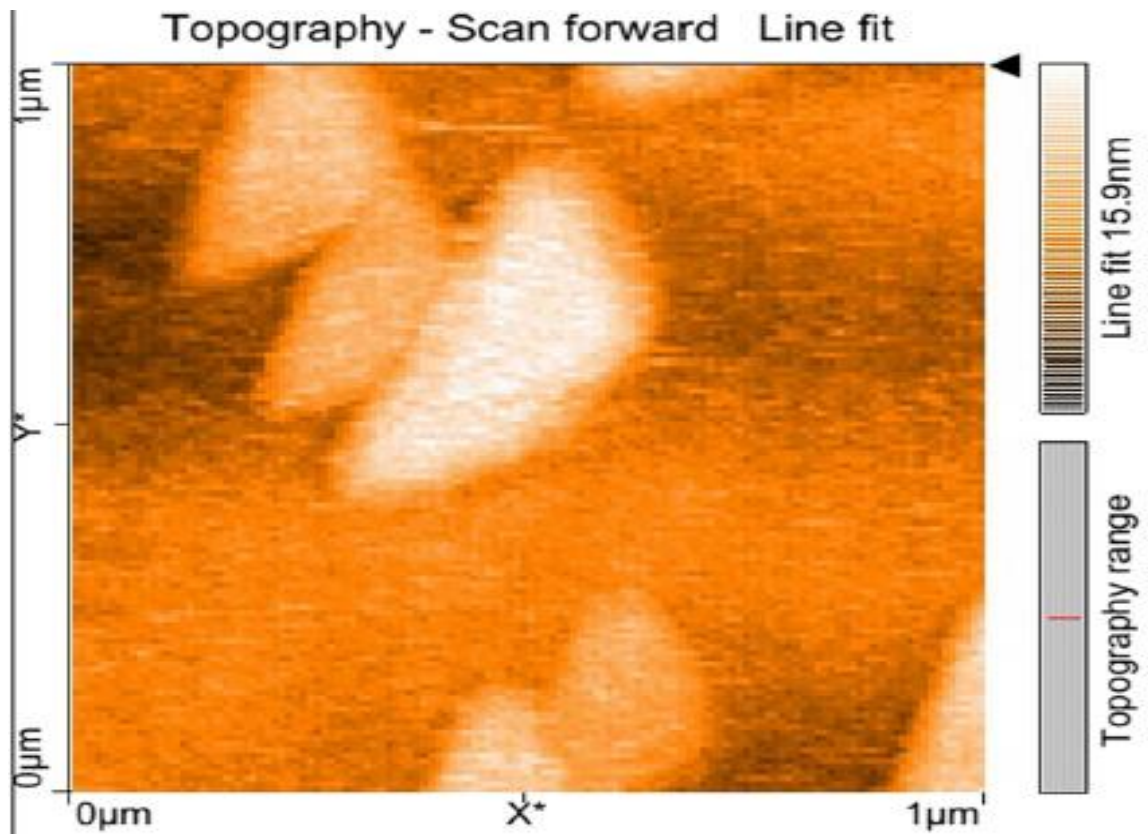


Figure 19. Micrographies AFM révélant les changements de surface des films LDPE après 90 jours d'incubation avec *Aspergillus clavatus* (Anudurga et al. 2016).

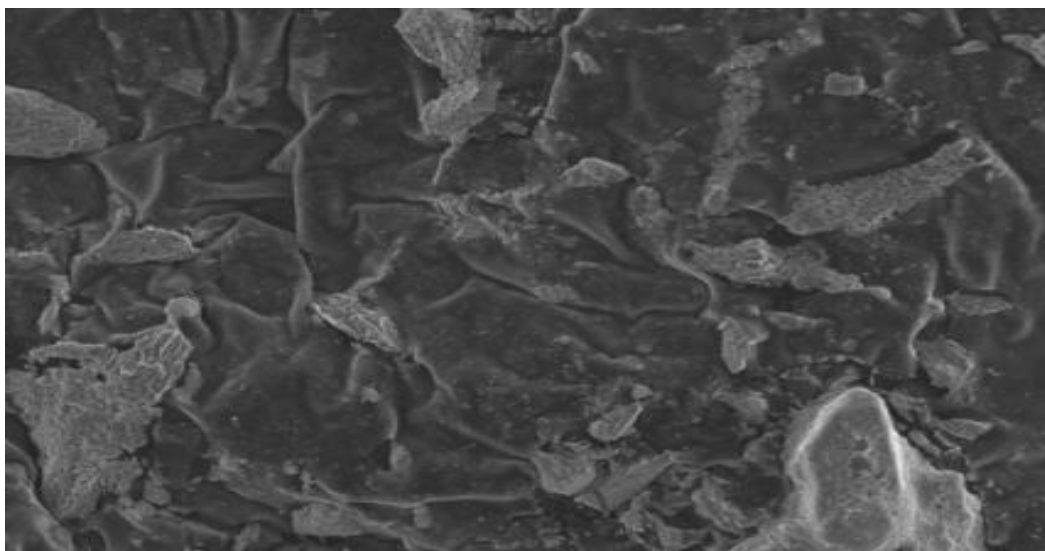


Figure 20. Microscopie électronique à balayage d'*Aspergillus clavatus* JASK1 se développant sur la surface de films LDPE après 90 jours d'incubation montrant la faiblesse physique, les fissures et les rides mineures sur la surface des films LDPE (Anudurga et al., 2016).

RESULTATS ET DISCUSSION

Selon Anuradha De Silva *et al.* (2019), après la dégradation initiale, des sphérolites cristallins sont apparus à la surface des films de LDPE qui ont peut être observés au microscope optique (fig21). Cela peut s'expliquer par une dégradation préférentielle de la fraction amorphe du polymère, qui élimine du matériau les parties cristallines qui se dégradent plus lentement.

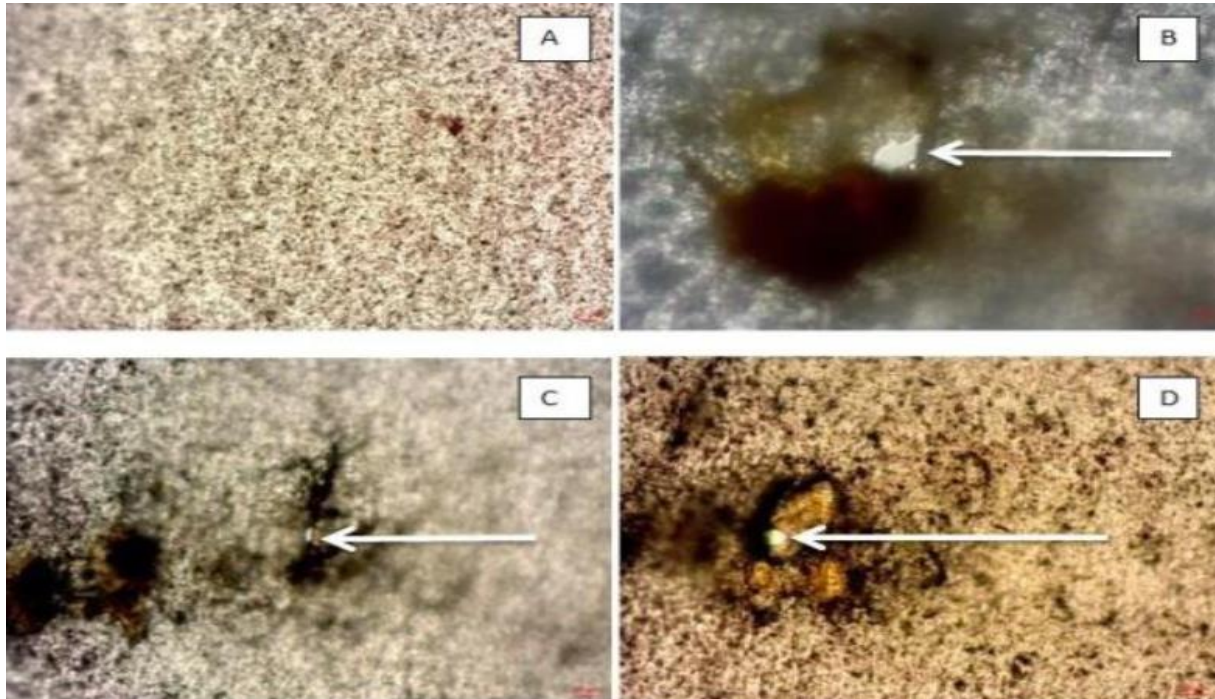


Figure 21. Observation au microscope optique de films LDPE. (A) témoin ; (B) *Aspergillus niger* isolat PS3 ; (C) *Penicillium sp.* Isolat PS2 ; (D) *Fusarium sp.* Isolat PS3 film LDPE traité ; les flèches indiquent les fractions de surface sur les films LDPE traités par les champignons (10x40) (Anuradha De Silva *et al.* 2019)

L'analyse MEB a été utilisée pour confirmer que la surface du LDPE devient physiquement faible après le traitement biologique. La colonisation fongique a été observée sur la surface du LDPE par MEB après 90 jours d'incubation (Figure 6). Les films LDPE exposés à l'isolat PS3 de *Fusarium sp.*, à l'isolat PS3 d'*Aspergillus niger* et à l'isolat PS2 de *Penicillium sp.* Présentaient une érosion de surface, des fissures, des plis et une colonisation fongique (Figure 22).

RESULTATS ET DISCUSSION

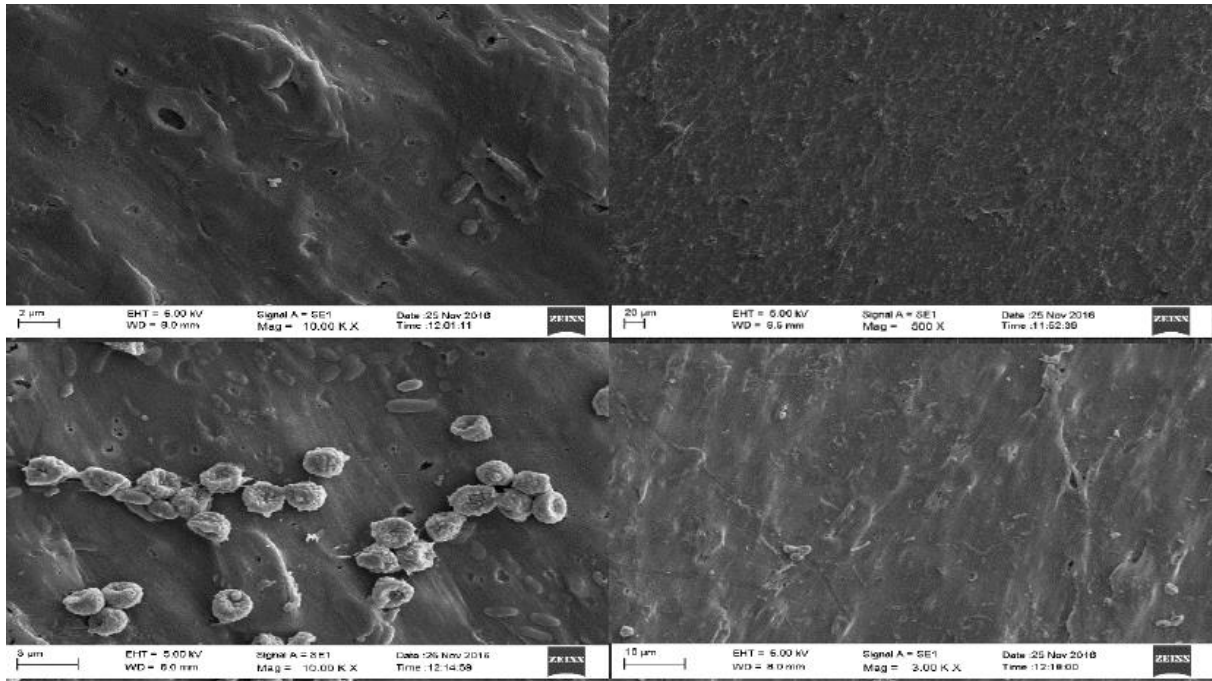


Figure 22. Images SEM de films LDPE de l'isolat PS2 de *Penicillium* sp. traité (en haut à gauche), de l'échantillon témoin (en haut à droite) et de l'isolat PS3 de *Fusarium* sp. traité (en haut à gauche et en haut à droite) (10,00 K x) (Anuradha De Silva *et al.* 2019)

CONCLUSION

CONCLUSION

Concernant, l'étude d'Anudurga et *al.* (2016) la dégradation efficace du LDPE par l'isolat *A. clavatus* pendant une durée de 90 jours exposition. A leur connaissance, il n'y a pas d'articles de recherche soutenant la dégradation du polyéthylène par *A. clavatus*. Donc il se qualifie comme un candidat approprié pour la dégradation du LDPE. Comme l'accumulation de LDPE dans l'environnement constitue une menace sérieuse, cet isolat sera d'une grande utilité dans la dégradation. Bien qu'il existe de nombreux travaux sur la dégradation du LDPE il n'y a pas d'explication détaillée sur le mécanisme moléculaire de la dégradation qui aiderait à mettre en œuvre la biodégradation du LDPE.

L'étude d'Anuradha De Silva *et al.* (2019) avait comme objectif d'identifier les dégradateurs fongiques potentiels dans la région de Kaduwela, au Sri Lanka, et suppose que les espèces fongiques isolées ont la capacité de dégrader les films LDPE en 90 jours d'incubation. Les valeurs moyennes du contrôle et des traitements fongiques étaient significativement différentes. Des images au microscope électronique à balayage et des observations au microscope optique ont montré la présence d'une colonisation fongique indiquant une érosion de la surface, les fissures, les plis et l'attachement ferme des champignons. Les images obtenues à partir de la spectroscopie FTIR ont également montré que le processus de dégradation initial a commencé sur les films LDPE traités. Les isolats fongiques ont été identifiés comme étant l'isolat PS3 de *Fusarium sp.*, l'isolat PS2 d'*Aspergillus niger* et l'isolat PS2 de *Penicillium sp.* en analysant le séquençage de la région ITS. A leur connaissance, il n'y avait pas d'articles de référence concernant l'isolat PS3 de *Fusarium sp.* Et l'isolat PS2 de *Penicillium sp.* sur la dégradation du LDPE. Alors, les espèces fongiques *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.* et *Penicillium sp.* sont des candidats potentiels pour dégrader le PEBD

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANTOINE Fayeulle. (2013).** Étude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'applications en bioremédiation fongique de sols pollués. Thèse de doctorat. Université du Littoral Côte d'Opale, 2013. France. P11
- ALEXOPOULOS, C. J., MIMS, C. W., & BLACKWELL, M. (1996).** Introductory mycology (No. Ed. 4). John Wiley and Sons.
- 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.
- BRAHIM Djemaci.(2012).** La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité. Thèse *de doctorat*. Université de Rouen. Français. Pc-p46
- CARLILE M.J., WATKINSON S.C. (1994).** The Fungi. (Academic Presseds).
- CHANG, S. T. (2006).** The world mushroom industry: trends and technological development. International Journal of Medicinal Mushrooms, 8(4).
- COLIN Jacob-Vaillancourt. (2018).** Caractérisation avancée et valorisation des plastiques mélangés post consommation. Mémoire fin d'étude. Université Laval. Québec, Canada. P1
- CAMILLE Lagneta, FLORIAN Monlaur, CLAIRE Jacqueta, AUDREY Lallementa, GUILLAUME Cazaudehorea, GUY Césarb, EMMANUELLE Gastaldib, FRANÇOIS Touchaleaumb, DALYALCopinb, MORGANE Deroineb. (2020).** Revue des normes sur la biodégradabilité des plastiques – rapport. 111p.
- CECILE Militon, (2007).** Caractérisation des communautés procaryotiques impliquées dans la bioremédiation d'un sol pollué par des hydrocarbures et développement d'outils d'analyse à haut débit. Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. France. p. 23
- CHENITI, Hamza. (2014).** La gestion des déchets urbains solides : cas de la ville d'Annaba. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie. p. 20

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HATIK. (2015).** Proposition de scénarios de gestion raisonnée des déchets en vue de leur valorisation énergétique. Thèse de doctorat. Université de La Réunion. France. p. 58-59
- Corinne Wälti, Foodways Consulting GmbH João Almeida, VereinRefiller.(2016).** Élimination des déchets. p. 46. p. 29. Berne. Publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).
- DESPRÈS J, (2012).** Nutritional value of mushrooms, presses of the University of Montreal, 376 p.
- DALPE, Y. (2005).** Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86(1), 53. doi:10.7202/011715ar
- DEACON, J. (2005).** Fungias plant pathogens. *Fungal Biology*, 279-308.
- EPUSAKA ipasesanavale.(2019).** Étude sur les facteurs de la non-performance du recyclage des déchets plastiques à Kinshasa. Approche par l'analyse de la chaîne de valeur. Mémoire fin d'étude diplôme licence. Faculté des sciences économiques et de gestion. Kinshasa. Kongo. p. 12
- EMMANUEL ngnikam, émiletanawa.(2006).** Les villes d'Afrique face à leurs déchets. 288p. p20. © Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, ISBN : 978-2-914279-32-1.
- FATIMA, M. (2014).** Étude biologique et taxonomique des champignons forestiers et morphologie des ectomycorhizes du chêne vert dans la wilaya de Relizane. p10
- FRANÇOIS-MICHEL Lambert. (2019).** STOP aux pollutions plastiques Stratégie politique pour un usage soutenable des plastiques. Rapport. p. 84. p. 6-7
- GOYAL, S., RAMAWAT, K. G., & MERILLON, J. M. (2016).** Different Shades of Fungal Metabolites: An Overview. *Fungal Metabolites*, 1–29. DOI : 10.1007/978-3-319-19456-1_34-1. page 4
- Gobat J.M., Aragno M. et Matthey W., (2010).** Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols, 3eme édition. Suisse, p819
- Gaëlle Bissagou Koumba.(2018).** Fragmentations chimique et physique de plastiques et microplastiques en eau douce sous irradiation uv-visible. thèse de doctorat université clermont auvergne. france. p22

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hawksworth, D.L., (2001).** Mushrooms: the extent of the unexplored potential, *Int. J. Med. Mushrooms*, 3, 333–337.
- Henning. K. et Petersen.H.(2005).** Les champignons dans la nature (5^e,312, p6, p184). Paris : Delachaux et Nestlé.
- kavanagh, K. (Ed.).(2005).** Fungi: biology and applications, p25-26. doi:10.1002/0470015330.p2,3,52
- Laurent, Patrick (2010).** Les champignons - Les reconnaître et les trouver. Saint-Étienne : Sud-Ouest (Éditions), 127p.
- Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., & Zhang, H. (2020).** Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. doi:10.1007/s00128-020-02820-1. p2
- MIKAËL Kedzierski. (2017).** Pollutions du milieu littoral par les microplastiques : Méthodes d'évaluation. Thèse de doctorat. Université Bretagne Sud. Bretagne. P48
- Madhurankhi Goswami, 1Poulomi Chakraborty,2 Koushik Mukherjee,3 Garbita Mitra,4 Purnita Bhattacharyya,1 Samrat Dey,5 Prosun Tribedi1. (2018).** Bioaugmentation and biostimulation: a potential strategy for environmental remediation. (9),224-225
- Martin Pépin AINA. (2006).** Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED : contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat. Université de Limoges. France. p. 13
- MELHYAS Kple. (2015).** Étude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin cas de la ville d'Abomey-calavi. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. France. p. 165
- MOURIA Ibtissam, OUAZZANI-TOUHAMI Amina, DOUIRA Allal.** Isolement et identification de la mycoflore du compost des déchets urbains solides. p. 16. p. 13-14. https://www.univchlef.dz/revuenatec/issue_09_art_c_02.pdf.
- NESTER EW, Roberts CE, Pearsall NN, ANDERSON DG, NESTER MT (1998).** *Microbiology: A Human Perspective*. 2nd ed. WBC/McGraw-Hill, New York, USA, pp. 415, 434-435.
- OLIVIER L. (2010).** Le monde des Champignons. Volume 32 p.p06.institutklorane .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OEI P et NIEUWENHUIJZEN B V, (2005). La culture des champignons à petite échelle, pleurotes, shiitakes et auriculaires. 1ère édition, Agrodod40, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen Editeur Janna de Feijter . 87pp

PAUL Bois. (2010). Développement d'un procédé de traitement de matrices d'origine viticole polluées par des herbicides par couplage bioaugmentation/phytoremédiation : sélection d'un triplet « bactéries-sorbant- plante » testé en microcosme. Thèse de doctorat. Université de Haute Alsace – Mulhouse. France. p. 39-40.

Redecker D. 2002. New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil. *Research in Microbiology*. 153 : 125-130.

REDJAL Omar. (2005). Vers un développement urbain durable...phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème : Exemple de Constantine. Mémoire fin d'étude. Université Mentouri. Algérie. p. 17

RAHMANI ABDRAHI, TAYEBI HACHEMI. (2016). Gestion et valorisation énergétique des déchets organiques. Mémoire fin d'étude. Université Ahmed raia adrar. Algérie. p. 86.

[Site web] <https://vapko.ch/fr/protection-des-champignons/l-ecologie-des-champignons>.

SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2020). Biodegradability of plastics in the open environment. Berlin: SAPEA. doi:10.26356/biodegradability plastics. p18.

[Site web] <https://iapc.sn/en/le-theme-de-la-journee-mondiale-des-droits-des-consommateurs-2021-lutter-contre-la-pollution-plastique/>

SARDROOD, B. P., GOLTAPPEH, E. M., &Varma, A. (2012). An Introduction to Bioremediation. *Fungi as Bioremediators*, 3–27. doi:10.1007/978-3-642-33811-3_1. p.5.

SAMER Semrany. (2014). Bioaugmentation fongique des boues activées : Élimination de la carbamazépine persistante dans l'eau. Thèse de doctorat. Université de rennes 1. France. p. 90.

[Site web] <https://www.brangon.fr/transports-logistique/transports/transport-dechets>.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- THOMAS. Le, C, .2009.** Diversité et fonctions écologiques des Champignons en écosystème hydrothermal marin profond. Thèse de doctorat d'état, Université de Rennes 1 / CNRS, France, page 10-11.
- TIKOUR, S, (2018).** Biodiversité fongique de la moule *Mytilusgalloprovincialis* (Lamarck, 1819) élevée dans deux fermes conchylicoles de l'Ouest Algérien Kristel et Stidia. Mémoire de fin d'étude master. La faculté SNV, Université de Mostaganem. Page 11
- TRAORE, B., (2018).**Élaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés) : Amélioration de la résistance par des charges en argiles. Thèse de doctorat. Université Félix Houphouët-Boigny. France. p.3, p.11.



Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil

Anudurga Gajendiran¹ · Sharmila Krishnamoorthy¹ · Jayanthi Abraham¹Received: 4 August 2015 / Accepted: 21 November 2015
© The Author(s) 2016. This article is published with open access at Springerlink.com

Abstract Polythene and plastic waste are found to accumulate in the environment, posing a major ecological threat. They are found to be considered non-degradable, once it enters the environment it has been found to remain there indefinitely. However, significant attention has been placed on biodegradable polymer, identification of microbes with degradative potential on plastic material. The aim of the present investigation was to biodegrade low-density polyethylene (LDPE) using potential fungi isolated from landfill soil. Based on 18S rRNA analyses the isolated strain was identified as *Aspergillus clavatus*. LDPE degradation by *A. clavatus* was monitored for 90 days of incubation in aqueous medium. The degradation was confirmed by changes in polyethylene weight, CO₂ evolution by Strum test, infrared spectra and morphological changes by SEM and AFM analysis.

Keywords Microbial degradation · LDPE films · Strain JASK1 · Strum test · FTIR · SEM

Introduction

During the past decade polyethylene materials have gained widespread use in various fields and have become indispensable. They offer a number of advantages over other materials being versatile, light weight, low cost, strong and potentially transparent and are ideally suited

for a variety of applications. However, plastic materials have several disadvantages, the most important criterion is its long-term persistence in the environment and their resistance to degradation. A general estimate of worldwide plastic waste generation is about 57 million tons (Kumar et al. 2007). Polyethylene is the one of the most abundant commercially produced synthetic polymers. LDPE accounts for 60 % of the total plastics production of plastic bags and most commonly found solid waste. Polyethylene is very resistant to biodegradation due to its high hydrophobicity and its long carbon chains (Contar-Rodrigo and Ribes Greus 2002). Under normal condition, it takes more than 10 decades to mineralize the polymer (Ohtake et al. 1998). Several cities in Brazil have prohibited the distribution of plastic bags by supermarkets and other commercial establishments because they are made of various chemicals which are toxic to the health and the environment. An estimated one million birds and ten thousands marine animals die each year as a result of ingestion of plastics (Palmasano and Penigrew 1992). Intensive research is being carried by scientist in the development of degradable plastics to enhance biodegradability of plastic products in landfills and composts. Degradable plastic is a plastic designed to undergo significant changes in its chemical structure under specific environmental conditions resulting in loss of some of its properties (Albeutsson et al. 1987). Polymeric characteristics such as molecular weight, crystallinity, functional groups, mobility, substituent present in the structure and the additives added to the polymers play a significant role in its degradation (Gu et al. 2000). The fate of these organic polymers in the environment and the time required for their total mineralization to CO₂ have yet to be fully understood. To relieve the abnormal circulation, there are two ways, one is to develop the latent ability of

✉ Jayanthi Abraham
jayanthi.abraham@gmail.com

¹ Microbial Biotechnology Laboratory, School of Biosciences and Technology, VIT University, Vellore, Tamil Nadu 632014, India

L'article : 02

JSc EUSL (2019) Vol. 10 No. 2, p 1-10

DOI: <http://doi.org/10.4038/jsc.v10i2.20>

Print- ISSN: 1391-586X, E-ISSN: 2602-9030, Copyright © 2019 by Faculty of Science, Eastern University, Sri Lanka.

IDENTIFICATION OF POTENTIAL FUNGAL DEGRADERS OF LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)

J. K. Amuradha De Silva *, G.A.U Jayasekera., and C.M Nanayakkara


Department of Plant Sciences, Faculty of Science, University of Colombo, Sri Lanka

ABSTRACT

*Low Density Polyethylene (LDPE) is one of the most important constituents of waste generated, since the time taken for its natural degradation is long. Therefore, this study mainly focused on identifying efficient fungal degraders of LDPE. Partially degraded polyethylene was collected from different places in Kaduwela area, Sri Lanka to isolate the abundant fungi in degrading polyethylene. For biodegradation studies, these fungal isolates were inoculated on streptomycin incorporated potato dextrose agar (PDA) medium which comprised 20-micron LDPE film. After 90 days of incubation, gravimetric analysis, light microscopy, Fourier- Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) were conducted to determine the potent of these fungal isolates in degrading LDPE. These fungal isolates were identified by sequencing internal transcribed spacer region (ITS). Multiple alignments of partial sequences were performed by CLUSTAL W and the phylogeny was analyzed using MEGA 6.0 software. According to the one-way Analysis of Variance, the mean values of weight loss of control and *Aspergillus niger* isolate PS3. ($P=0.000$), control and *Fusarium* sp. isolate PS3 ($P=0.031$) and control and *Penicillium* sp. isolate PS2 ($P=0.010$) were significantly different. Scanning electron microscope images and light microscopic observations showed the presence of fungal colonization and surface erosion, cracks, folding and firm fungal attachment. The FTIR spectroscopy images of *Fusarium* sp. isolate PS3 treated LDPE films showed the early stage of degradation by initiating bonds such as carboxylic bonds and aldehyde bonds. The fungal isolates were identified as *Fusarium* sp. isolate PS3, *Penicillium* sp isolate PS2 and *Aspergillus niger* isolate PS3 by analyzing the ITS region sequencing. Therefore, it can be concluded that the fungal species, *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp. are capable of colonizing on LDPE films and has the potential to be developed into an inoculum for expedited LDPE degradation.*

Keywords: Biodegradation, Low Density Polyethylene, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*

*Corresponding author: sachanu.desilva@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8643-3912>