



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

– جامعة محمد الصديق بن يحي – جيجل

Université Mohammed Seddik Ben Yahia - JIJEL –

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie Appliquée et Sciences
Alimentaires

قسم الميكروبيولوجيا تطبيقية والعلوم التغذوية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Biologie

Option : Microbiologie Appliquée

Thème :

Capacité des différentes espèces du genre *Penicillium* à dégrader des déchets culinaires

Membres du Jury :

Présidente : Dr. AMIRA S.

Promotrice : Dr. AKROUM S.

Examinatrice : Mme BENHAMADA W.

Réalisé par :

M^{elle} AFFANE Nesrine

M^{elle} CHELGHAM Roumaissa

Année Universitaire : 2019/2020.

Remerciements :

Nous remercions tout d'abord Allah de nous avoir donné la force, la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du Jury ;

Au Dr. Akroum qui a accepté de diriger notre travail. Grâce à ses conseils, ses encouragements et ses orientations, nous avons pu mener à bien cette étude et découvrir le monde de champignons.

Au Dr. Amira qui nous fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de mémoire.

A Mme Benhamada pour avoir accepté d'examiner notre travail et nous apporter ses précieux conseils.

Au Dr. vétérinaire Sédira B. pour avoir accepté de collaborer avec nous et nous avoir accueillies dans son cabinet vétérinaire afin de réaliser l'isolement et l'identification des moisissures.

Dédicace :

Nous dédions ce travail à nos chers parents, nos sœurs, nos

frères et nos belle- famille qui nous ont tous beaucoup

aidées et soutenues tout au long de ce travail.

Remerciements**Dédicace****Sommaire****Liste des Figures et des tableaux****Liste des abréviations**

1. Introduction	1
2. Synthèse bibliographique	4
2.1. Définition du genre <i>Penicillium</i>	4
2.1.1. Aspect microscopique	4
2.1.2. Aspect macroscopique des mycéliums	6
2.1.3. Exigences de croissance	7
2.3. Dégradation de la matière végétale	8
2.4. Le compostage	10
2.4.1. Définition du compost	10
2.4.2 Les phases du compostage	11
2.4.3 Les types de compostage	12
2.4.4 Les méthodes de compostages	13
2.4.4.1 Compostage à petite échelle	13
2.4.4.2 Compostage à grande échelle	15
2.4.2. Intérêts du compost	16
3. Matériel et méthodes	17
Objectif du travail	17
Réalisation du travail	17

3.1. Matériel	17
3.2. Optimisation des espèces	18
3.3. Compostage naturel	18
3.4. Isolement et identification des espèces présentes dans le sol après le compostage	20
3.5. Compostage en utilisant les espèces du genre <i>Penicillium</i>	20
3.6. Isolement et identification des espèces présentes dans le sol après le compostage en utilisant les espèces de <i>Penicillium</i>	21
3.7. Comparaison des deux compostages	21
4. Résultats et discussions	22
4.1. Compostage naturel	22
4.2. Les moisissures apparues dans le compostage naturel	22
4.3. Identification des moisissures apparues lors du compostage naturel	23
4.3.1. Moisissure 1	24
4.3.2. Moisissure 2	25
4.3.3. Moisissure 3	25
4.3.4. Moisissure 4	26
4.3.5. Moisissure 5	27
4.3.6. Moisissure 6	27
4.3.7. Moisissure 7	28
4.4. Les moisissures apparues dans le compostage enrichi avec les espèces de <i>Penicillium</i>	31

4.5. Identification des moisissures apparues lors du compostage enrichi avec les espèces de <i>Penicillium</i>	35
4.5.1. Moisissure a	35
4.5.2. Moisissure b	35
4.5.3. Moisissure c	36
4.5.4. Moisissure d	37
4.5.5. Moisissure e	37
4.5.6. Moisissure f	38
4.6. Comparaison des deux compostages	39
5. Conclusion	41
6. Références bibliographiques	42

Liste des figures

Figure 1 : La structure du pénicille	4
Figure 2 : Les types de pénicilles	5
Figure 3 : Aspect d'une souche de <i>Penicillium</i> sur différents milieux, donnant ainsi différents aspects	6
Figure 4 : Aspect d'une souche de <i>Penicillium</i> présentant un mycélium aplati, duveteux et avec des gouttelettes d'exsudat non coloré	7
Figure 5 : Préparation des boîtes avant l'utilisation	18
Figure 6 : Les déchets utilisés pour la dégradation	19
Figure 7 : Les déchets découpés avant d'être mélangés au sol	19
Figure 8 : Les boîtes contenant le les déchets culinaires et le sol	20
Figure 9 : Aspect du compost tout au long de la dégradation	22
Figure 10 : Les moisissures apparues lors du compostage naturel	23
Figure 11 : Observation microscopique de la moisissure 1 au grossissement x 10	24
Figure 12 : Observation microscopique de la moisissure 1 au grossissement x 40	24
Figure 13 : Observation microscopique de la moisissure 2 au grossissement x 40	25
Figure 14 : Observation microscopique de la moisissure 3 au grossissement x 40	26
Figure 15 : Observation microscopique de la moisissure 4 au grossissement x 40	26
Figure 16 : Observation microscopique de la moisissure 5 au grossissement x 40	27
Figure 17 : Observation microscopique de la moisissure 6 au grossissement x 40	28
Figure 18 : Observation microscopique de la moisissure 7 au grossissement x 40	28
Figure 19 : Les moisissures apparues lors du compostage enrichi avec <i>Penicillium</i>	31
Figure 20 : Croissance de <i>Penicillium</i> tout en limitant la croissance des autres moisissures	32
Figure 21 : Croissance des <i>Penicillium</i> ajoutées sur les autres moisissures apparues	33

Figure 22 : Observation microscopique de la moisissure a au grossissement x 40 35

Figure 23 : Observation microscopique de la moisissure b au grossissement x 40 36

Figure 24 : Observation microscopique de la moisissure c au grossissement x 40 36

Figure 25 : Observation microscopique de la moisissure d au grossissement x 40 37

Figure 26 : Observation microscopique de la moisissure e au grossissement x 40 37

Figure 27 : Observation microscopique de la moisissure f au grossissement x 40 38

Liste des tableaux

Tableau 1 : représente les microorganismes de dégradation..... 11

Liste des abréviations

PAF : Protein anti-fungal.

PAFB : Protein anti-fungal de type B.

PCPS : Polysaccharide de *Penicillium chrysogenum*.

1. Introduction

Les déchets de cuisine représentent les déchets organiques les plus répons dans le monde, en particulier les épluchures des fruits et légumes (Zhao *et al.* 2017). Ces derniers constituent un problème permanent pouvant causer des conséquences néfastes sur l'environnement ; et ce en raison de leur teneur élevée en matière organique qui peut causer de fortes pollutions dans l'environnement (JI *et al.* 2017 ; Zhao *et al.* 2017). Les déchets culinaires peuvent néanmoins être exploités comme source de nutriments grâce à une multitude de techniques (Mahmood *et al.* 2019). Le compostage demeure la méthode la plus dominante et la plus efficace. Elle offre la possibilité d'avoir des microorganismes phyto-bénéfiques, fonctionnels et actifs, qui peuvent avoir plusieurs avantages pour les cultures et dans la nature (Mahmood *et al.* 2019). Cette méthode a comme principe la dégradation des déchets par une fermentation aérobie effectuée par des microorganismes. Les différentes matières organiques présentes dans le compost sont transformées alors en composés plus stables et donnent une grande richesse de matière minérale (Sanchez *et al.* 2017).

La dégradation des déchets organiques se fait aussi naturellement dans l'environnement, comme celle des déchets animaux (les cadavres, les plumes, les excréments, etc.) et végétaux (les feuilles mortes, les tiges, etc.). Pour se faire, elle exige plusieurs étapes distinctes, habituellement effectuées par des microorganismes différents, les plus fréquents sont les champignons qui représentent le groupe dominant présent dans le sol et qui sont considérés comme un agent important de la décomposition. Ils dégradent les matières organiques qui contiennent des éléments essentiels, en composé organique simple ainsi qu'en molécules inorganiques : le carbone, l'azote, le soufre et le phosphore (Lansing *et al.* 2018).

Les activités microbiennes réalisées lors de la dégradation des déchets sont indispensables pour les cycles biogéochimiques. Elles permettent la minéralisation de la matière organique et offrent de ce fait aux organismes synthétiques le CO₂, l'azote, le soufre et tous les autres minéraux nécessaires à leur survie et développement. Le carbone est issu de la dégradation complète de la matière organique via le processus de respiration aérobie ou anaérobie en libérant du CO₂, dans le cycle du carbone, tandis que l'azote, est produit par ammonification de la matière organique, en transformant l'azote organique en azote inorganique par la destruction de la liaison amine en ammoniac. De plus le soufre est produit par sulfhydrisation de la matière organique en H₂S, y compris le phosphore qui est généré par la minéralisation de la matière organique (Lansing *et al.* 2018).

Les moisissures sont les principaux microorganismes qui entrent dans le processus de minéralisation. Leurs exigences de croissances sont facilement comblées dans le sol où elles vivent et se développent naturellement (Al-Enazi *et al.* 2018).

Penicillium est l'un des genres de champignons les plus courants dans les différents environnements tels que le sol et l'air. Il est également associé à des plantes et à des produits alimentaires spécifiques où il joue un rôle important dans divers processus naturels. Pour toutes ces raisons, il est largement utilisé dans diverses applications environnementales, industrielles et biotechnologiques (Yadav *et al.* 2018).

Lors de la biodégradation des déchets culinaires, certaines espèces pathogènes pour les plantes peuvent survenir et persister dans les sols. Elles causent par la suite de graves détériorations de la qualité des végétaux (arbres, fruits et légumes sur les champs ou cueillis, etc.) et une perte de leur rendement. Parmi les espèces redoutées nous avons *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* et *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* et *Phytophthora infestans* (Ma *et al.* 2020 ; Yu *et al.* 2020). L'utilisation des engrais et des pesticides dans les pratiques agricoles pour lutter contre ces pathogènes devient alors inévitable. Mais ces produits, qui sont pour la majorité chimiques ou synthétiques, provoquent une dégradation de la fertilité des sols et des pollutions environnementales importantes qui peuvent atteindre la santé de l'homme et des animaux (Kumar *et al.* 2018).

Les chercheurs se sont donc mis à élaborer des moyens biologiques et écologiques plus sûrs et durables pour la production agricole, en se basant sur l'utilisation des microorganismes qui favorisent la croissance des plantes et améliorent leur croissance en régulant les hormones végétales, en facilitant l'acquisition de la nutrition, de la production de sidérophores et en améliorant le système antioxydant (Kumar *et al.* 2018).

La lutte biologique connaît aussi un très grand ressort par l'utilisation des métabolites secondaires microbiens qui sont utilisés comme une source précieuse de composés antifongiques contre les maladies des plantes, tel que la lucensomycine produite par *Streptomyces plumbeus*. Ou bien des microorganismes eux-mêmes sont utilisés comme agents de lutte, comme la moisissure *Beuveria bassiana* qui est utilisée comme insecticide, *Bacillus subtilis* et *Trichoderma sp.*, sont aussi utilisées contre *Fusarium oxysporum* et les levures épiphytes contre *Alternaria alternata* (Prendes *et al.* 2018 ; Sun *et al.* 2019 ; Cucu *et al.* 2020 ; Do kim *et al.* 2020).

Le compost sert aussi comme substitut de la tourbe pour l'amendement du sol. Il est efficace pour réduire les maladies foliaires, ce qui explique qu'il affecte systématiquement la croissance de la plante (Segarra *et al.* 2013).

De même, l'amendement avec du biochar constitue aussi un moyen innovant d'inactivation des agents pathogènes d'origine alimentaire dans le sol (Gurtler 2017). Les déchets végétaux peuvent être une biomasse vitale pour produire du biochar, immobiliser les minéraux, et augmenter les communautés microbiennes et l'activité enzymatique dans les sols (Igalavithana *et al.* 2017). Sans oublier pour autant que les microorganismes jouent également un rôle clé en tant qu'ingénieurs écologiques pour résoudre les problèmes de stress environnemental (Kumar *et al.* 2018).

Dans cette étude, nous sommes intéressées particulièrement à la dégradation de quelques déchets culinaires par la méthode du compostage. Nous avons essayé de comparer une dégradation naturelle sans aucune influence extérieure avec une deuxième qui était enrichie avec des espèces du genre *Penicillium*. Nous avons de ce fait utilisé des espèces faciles à cultiver, qui étaient naturellement présentes dans le sol et qui étaient connues pour avoir un bon pouvoir de dégradation.

2. Synthèse bibliogra- phique

2.1. Définition du genre *Penicillium*

Penicillium c'est un genre de champignons imparfaits appartient au phylum des ascomycètes, ils sont très généralement retrouvés dans le sol, l'air ainsi sur les végétaux et produits alimentaires spécifiques, le compost, le bois, les produits alimentaires secs, les épices, les céréales, les fruits frais, les légumes, etc, joue un rôle important dans divers processus naturels (Yadav *et al.* 2018).

2.1.1. Aspect microscopique

Les *Penicillium* sont des champignon imparfaites (Deutéromycètes) mettant en vedette par la présence de conidiophores dressés, plus ou moins ramifiés, terminés des phialides.

Les phialides sont disposées directement sur les verticilles ou par l'intermédiaire d'une ou de deux rangées de métules comme le représente la Figure 1. Elles sont toujours bien coincées les unes contre les autres. L'ensemble de ces structures rappelle celui d'un pinceau. Il est dit : pénicille (Labbé *et al.* 2013).

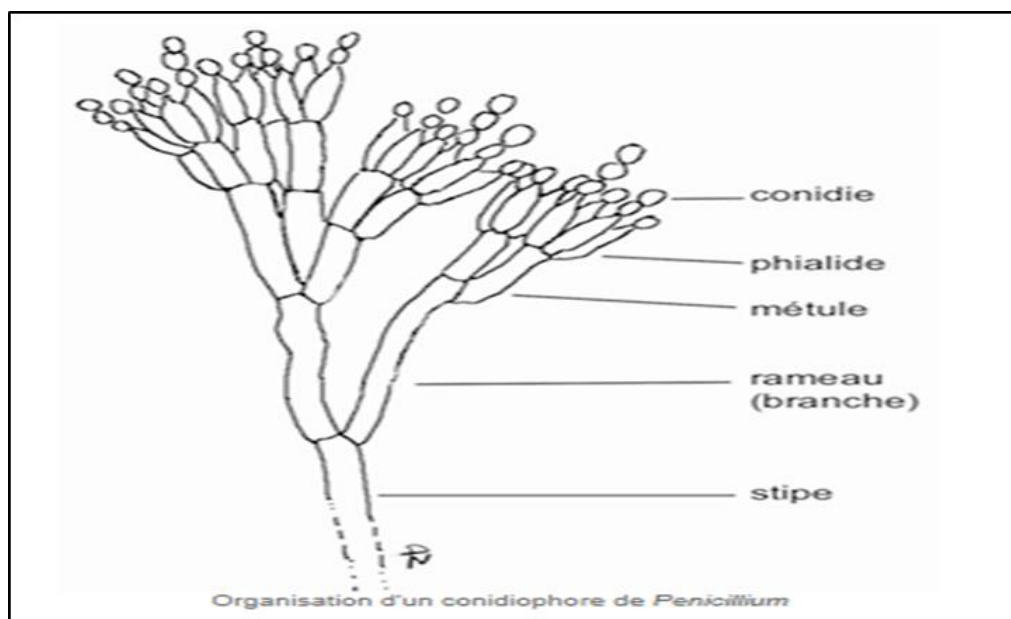


Figure 1 : La structure du pénicille (Visagie *et al.* 2014).

Ces derniers peuvent être monoverticillés, c'est-à-dire formés par une seule cellule, ou biverticillés quand ils contiennent deux cellules, triverticillés quand ils ont trois cellules en Y ou quaterverticillés quand ils sont formés par une cellule qui porte trois autres comme le représente la Figure 2.

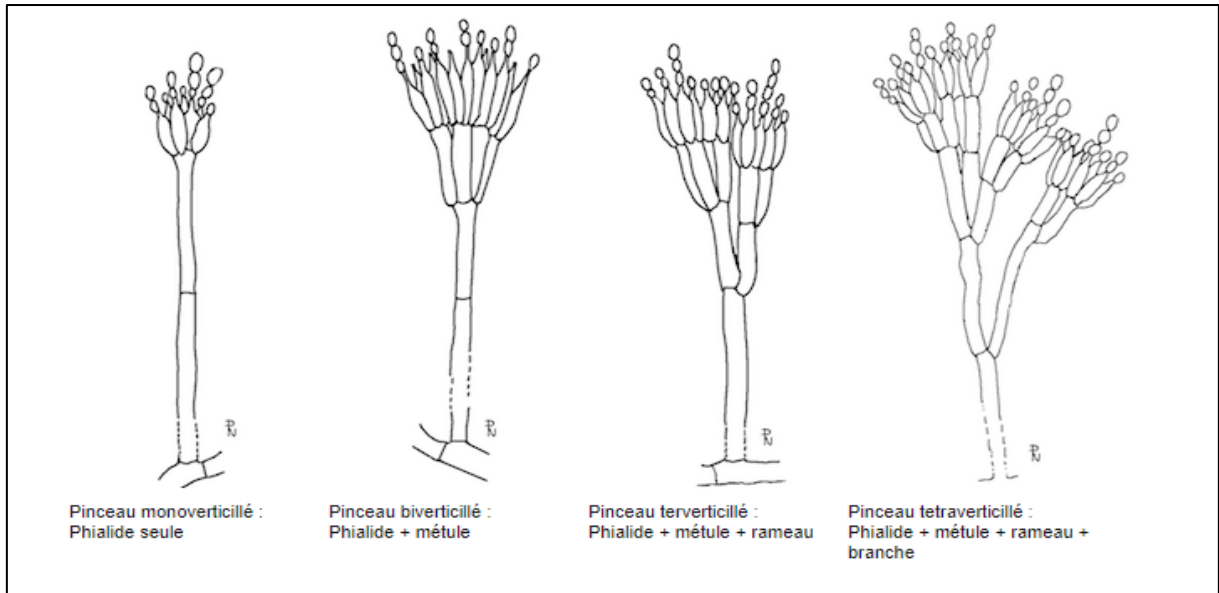


Figure 2 : Les types de pénicilles (Visagie *et al.* 2014).

Les conidies, qui sont produites en grand nombre par les phialides, sont disposées en chaînettes plus ou moins longues tout dépend les espèces.

Elles sont souvent sphériques ou ellipsoïdes, rarement cylindriques. Elles sont petites, de 2,5-4 μm , hyalines ou légèrement verdâtres et à paroi lisse.

Les phialides sont souvent en forme de bouteille et consiste soit d'une cellule à base cylindrique avec un cou distinct, soit d'une cellule lancéolée, c'est-à-dire à base étroite effilée se terminant en un apex légèrement pointu (Labbé *et al.* 2013).

2.1.2. Aspect macroscopique des mycéliums

Les mycéliums ont généralement une croissance rapide. Ils poussent facilement sur des milieux de culture standards comme les milieux Sabouraud (S), Malt Agar Extract (MEA), Czapek Yesat Agar (CYA), ...etc. les espèces peuvent avoir des couleurs changeantes d'un milieu à un autre ; ce caractère est indispensable pour leur identification (Figure 3).



Figure 3 : Aspect d'une souche de *Penicillium* sur différents milieux, donnant ainsi différents aspects (Visagie *et al.* 2014).

En haut, de gauche à droite : sur le milieu CYA, sur le milieu YES, sur le milieu DG18, sur le milieu MEA.

En bas, de gauche à droite : le revers des mycéliums sur les mêmes milieux.

Mycéliums plats et leur texture est souvent veloutée ou duveteuse (Figure 4). Les couleurs les plus rencontrées chez ces moisissures sont le bleu, vert, gris, jaune, olive, blanchâtre ou même rosâtre.

La surface des mycéliums présente souvent quelques gouttes d'exsudat, coloré ou non (Figure 4) ; et des pigments. Le revers peut être de blanc à jaunâtre, voir beige (Kachkouch *et al.* 2012).



Figure 4 : Aspect d'une souche de *Penicillium* présentant un mycélium aplati, duveteux et avec des gouttelettes d'exsudat non coloré (Kim *et al.* 2007).

2.1.3. Exigences de croissance

Le genre *Penicillium* est peu exigeant pour sa croissance. Il supporte une température de croissance entre 5 au 37°C, même si la majorité des espèces prolifèrent de façon optimale entre 20 et 30°C. Il préfère des pH légèrement acides, allant de 5 à 6. L'activité de l'eau doit être entre 0,78-0,88, et l'humidité modérée à élever. Comme la majorité des champignons, les espèces de ce genre sont des aérobies facultatifs. Leur culture, de même que leur distribution dans la nature est conditionnée par ce facteur.

Le genre *Penicillium* peut se nourrir de plusieurs types de nutriments, ce qui le rend ubiquiste. Il est capable de dégrader la cellulose, absorber le calcium dans les fromages et dégrader un grand nombre de matières organiques présentes dans les fruits et les légumes. Il est de ce fait souvent la première cause de leur bio-détérioration (Samson *et al.* 2004).

2.3. Dégradation de la matière végétale

Les végétaux constituent la principale source de carbone organique dans les sols. Dans la nature, les champignons jouent un rôle majeur dans la dégradation de cette source, en raison de leur capacité à produire des quantités abondantes de cellulases et d'hémicellulases pour décomposer les polymères structurels des végétaux, qui sont secrétées dans le milieu, principalement les Ascomycètes, les Deutéromycètes et les Basidiomycètes qui ont une forte activité ligno-cellulosique (Godoy *et al.* 2018).

Cependant, la nature des enzymes secrétées par les moisissures pour dégrader la biomasse végétale dépend de l'environnement dans lequel se trouvent ces microorganismes. L'hydrolyse de la biomasse par des champignons filamenteux se produit selon les étapes suivantes :

- La détection des nutriments.
- La transmission et la modulation des signaux.
- L'activation des facteurs de transcription.
- L'induction de la transcription des gènes de dégradation.
- Traduction et obtention des enzymes hydrolytiques.

(Ogunmolu *et al.* 2018).

Les principales enzymes hydrolytiques produites pour la décomposition et la dégradation des matières végétales sont :

Endoglucanases : Les endoglucanases sont la classe la plus ample, Ils possèdent des fentes ouvertes de sites actifs qui peuvent se lier à tout site accessible le long d'une chaîne cellulosique. Ces enzymes font un ou quelques clivages autour de leur site de liaison puis se dissocient (Wilson, 2015).

Cellobiohydrolases : Les cellobiohydrolases (CBH) sont des enzymes processives qui hydrolysent la cellulose à partir des extrémités de chaîne constituent le principal de nombreux cocktails cellulolytiques de champignon. Les enzymes ont des sites actifs semblables à des tunnels et elles coupent les unités cellobiose des extrémités des chaînes de cellulose. De nombreux CBH fongiques sont associés à des modules de liaison aux glucides de type 1 (CBM1), et ceux-ci peuvent aider le noyau catalytique avec la processivité (Hobdey *et al.* 2015 ; Teter *et al.* 2014).

Bêta-glucosidases : La bêta-glucosidase (bG) (ou cellobiase) catalyse la conversion du cellobiose et d'autres glucooligomères solubles en glucose. De nombreux champignons cellulolytiques produisent un ou plusieurs bG, mais fréquemment la protéine totale n'est pas généralement abondante, elle représente moins de 1% de la protéine sécrétée totale dans la plupart des sécrétomes de type sauvage (Teter *et al.* 2014).

Hémicellulases : Hémicellulases comprennent un groupe d'enzymes impliquées dans l'hydrolyse et la décomposition de arabanes, galactanes, les mannanes, et les xylanes. L'un des principaux composants enzymatiques hémicellulolytiques est l'endoxyylanase, qui hydrolyse les β -liaisons xylano pyranosyle de xylane pour former des xylo-oligosaccharides (Meena *et al.* 2018).

Selon le modèle de synergie « endo-exo », les enzymes citées coopèrent de la manière suivante :

Les cellobiohydrolases (CBH) agissent comme des exo-enzymes en libérant la cellobiose comme produit principal, puis les endoglucanases (EG) agissent de manière au hasard le long de la chaîne en produisant de nouveaux sites d'attaque pour les cellobiohydrolases, et les β -glucosidases complètent le processus par l'hydrolyse du cellobiose et d'autres oligosaccharides courts en glucose (Martins *et al.* 2008). L'importance des β -glucosidases n'est pas limitée à leur rôle dans la production du produit final, elle empêche également l'inhibition des cellulases par la cellobiose, et augmentant ainsi l'efficacité globale de la dégradation de la cellulose (Naraian et Gautam 2018).

Cependant, les enzymes par les champignons produites diffèrent d'une espèce à une autre, et d'une source de carbone à une autre source. Par exemple, *Trichoderma reesei* possède un ensemble d'enzymes très efficaces dans la dégradation de la cellulose, alors que les espèces d'*Aspergillus* produisent de nombreuses enzymes pour dégrader la pectine. Il est très important de noter que les espèces de *Penicillium* ont des systèmes enzymatiques plus performants que *T. reesei* et *A. niger* (Martins *et al.* 2008).

Parmi les espèces de *Penicillium* qui sont impliquées dans la dégradation des déchets de plantes, nous pouvons citer :

- *Penicillium expansum* : souvent responsable de la dégradation des déchets de fraises, poires, pommes et tomates (Errampali *et al.* 2014).

- *Penicillium digitatum* : très active pour la dégradation des téguments des agrumes, notamment les oranges et les pamplemousses (Palou *et al.* 2014).

- *Penicillium italicum* : cette moisissure bleue est aussi très rencontrée sur les déchets des agrumes. Elle peut dégrader une grande variété de ces derniers : orange, mandarine, clémentine, pamplemousse, pomelo, citron jaune et citron vert (EL-otmani *et al.* 2011).

- *Penicillium citrinum* : Il s'agit d'une moisissure qui contamine couramment les céréales, le riz, l'orge, et les denrées alimentaires (Patial *et al.* 2018).

- *Penicillium notatum*, *Penicillium brevicompactum*, *Penicillium cyaneofulvum*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium puberulum* et *Penicillium italicum* : ces espèces sont parfois rencontrées sur les épiluchures de tomates (Patial *et al.* 2018).

2.4. Le compostage

2.4.1. Définition du compost

On appelle « compost » le produit du compostage de certains déchets. C'est-à-dire le produit de la fermentation des déchets organiques qu'ils soient agricoles ou urbains en présence d'oxygène et sous l'action combinées de bactéries, de champignons et autres micro-organismes. L'objectif étant de récupérer un mélange d'éléments riches en minéraux et matières organiques qui permettent une bonne croissance des végétaux. Le compost mûr est prêt à l'emploi ressemble à du terreau. Sa couleur est alors sombre, il devient léger et son odeur est celle d'un sous-bois (Sanchez *et al.* 2017).

Parmi les champignons qui entrent dans la biodégradation des déchets, nous pouvons citer une multitude d'espèces :

Genre	Espèces
<i>Aspergillus</i>	- <i>Aspergillus flavus</i> - <i>Aspergillus fumigatu</i> - <i>Aspergillus nidularis</i> - <i>Aspergillus niger</i> - <i>Aspergillus tamarii</i>
<i>Botrydiplodia</i>	- <i>Botrydiplodia sp.</i>
<i>Chaonephora</i>	- <i>Chaonephora sp.</i>
<i>Cladosporium</i>	- <i>Cladosporium sp.</i>
<i>Cryptomonas</i>	- <i>Cryptomonas sp.</i>
<i>Cryptococcus</i>	- <i>Cryptococcus sp.</i>

<i>Fusarium</i>	- <i>Fusarium solani</i> - <i>Fusarium oxsporium</i> - <i>Fusarium chlamydosporum</i>
<i>Helminthosporium</i>	- <i>Helminthosporium sp.</i>
<i>Alternaria</i>	- <i>Alternaria chlamydospora</i>
<i>Pythium</i>	- <i>Pythium nayoroense</i>
<i>Phoma</i>	- <i>Phoma glomerata</i>
<i>Mucor</i>	- <i>Mucor ramosissimus</i> - <i>Mucor racemosus</i> - <i>Mucor mucedo</i>
<i>Mycospherella</i>	- <i>Mycospherella fijiesis</i> - <i>Mycospherella musicola</i> - <i>Mycospherella fijiesis</i> - <i>Mycospherella spherella</i>
<i>Spryiplicora</i>	- <i>Spryiplicora sp.</i>
<i>Penicillium</i>	- <i>Penicillium cyclopium</i> - <i>Penicillium melinii</i> - <i>Penicillium italicum</i> - <i>Penicillium oxalicum</i> - <i>Penicillium chrysogenum</i> - <i>Penicillium roqueforti.</i>
<i>Rhodicillium</i>	- <i>Rhodicillium sp.</i>
<i>Sclerococcus</i>	- <i>Sclerococcus sprubsi</i>
<i>Trichoderma</i>	- <i>Trichoderma viridi</i>
<i>Rhizopus</i>	- <i>Rhizopus azygosporus</i>

Tbleau 1 : Les microorganismes de dégradation (Enuneku *et al.* 2020).

2.4.2 Les phases du compostage

La phase mésophile (25–40 ° C)

C'est la première phase ce qu'on appelle la phase de départ durant laquelle les composés riches en énergie et abondants sont facilement dégradables comme les sucres et les protéines par le biais des champignons, les actinobactéries et les bactéries, qui sont généralement appelés les décomposeurs primaires (Insam *et al.* 2007).

La phase thermophile (35–65 ° C)

Lors de cette phase les microorganismes mésophiles persistaient auparavant meurent et sont dégradés par les microorganismes thermophiles suivants, avec le substrat restant.

La décomposition continue d'être rapide et s'accélère jusqu'à température devienne environ 62 ° C. Les champignons thermophiles ont un maximum de croissance entre 35 et 55 ° C, tandis qu'une température plus élevée inhibe généralement la croissance fongique, alors que les bactéries et actinobactéries thermotolérantes et thermophiles persistes au-delà de cette température et sont connues pour restent actifs même à des températures plus élevées (Insam *et al.*2007).

La phase de refroidissement (deuxième phase mésophile)

Dans cette phase la température commence à diminuer car l'activité des organismes thermophiles cesse en raison de l'épuisement des substrats. Les microorganismes mésophiles recolonisent le substrat, soit par propagation à partir de microniches protégées, ou par inoculation externe, ou bien à partir de spores survivantes, qui dégradent l'amidon ou la cellulose. Parmi ces microorganismes il existe à la fois des bactéries et des champignons (Insam *et al.*2007).

La phase de maturation

Au cours de cette phase la qualité du substrat diminue et la communauté microbienne est entièrement modifiée en plusieurs étapes successives. Le plus souvent la proportion des champignons augmente, tandis que le nombre de bactéries diminue.

Des composés qui ne sont pas dégradables, se forment et deviennent prédominants, tels que les complexes lignine – humus (Insam *et al.*2007).

2.4.3 Les types de compostage

Le compostage peut être divisé en deux catégories selon la nature du processus de décomposition :

Le compostage anaérobie

Lors du ce type de compostage le processus de décomposition se déroule lorsque l'oxygène présent en quantité limitée ou en absence totale de ce dernier et à basse température, il nécessite le plus souvent un longtems. Les microorganismes dominants sont les

microorganismes anaérobies qui élaborent des composés intermédiaires comme le méthane, les acides organiques, le sulfure d'hydrogène et d'autres substances (Misra *et al.* 2005).

Le compostage aérobie

Ce type du compostage s'effectue en présence d'une grande quantité d'oxygène par le biais des microorganismes aérobies qui décomposent la matière organique en gaz carbonique (CO₂), de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur et de l'humus, qui est le produit organique final relativement stable. La chaleur générée au cours de ce processus accélère la décomposition des protéines, les graisses et les sucres complexes tels que la cellulose et l'hémicellulose et réduit la durée du processus, en plus il détruit plusieurs microorganismes pathogènes pour l'homme et les plantes (Misra *et al.* 2005).

2.4.4 Les méthodes de compostages

2.4.4.1 Compostage à petite échelle

Les méthodes traditionnelles

- Compostage anaérobie : tel que la méthode indienne Bangalore :

Cette méthode de compostage a été mise au point à Bangalore (Inde) en 1939. Elle est recommandée quand des matières fécales et les déchets sont utilisés pour préparer du compost, elle est appropriée à des zones caractérisées par de faibles précipitations. Elle nécessite une protection du tas de compost car les conditions climatiques défavorables causent la perte des éléments nutritifs causées par les vents et un soleil fort, et l'exigence de retournement fréquent est fortement recommandé et les gênes dues aux mouches. Cependant, la dégradation dure longtemps.

Il existe d'autres méthodes comme : Préparation de la fosse, remplissage de la fosse et le compostage passif des tas de fumier (Misra *et al.* 2005).

- Le compostage aérobie avec une aération passive : tel que la méthode indienne Coimbatore :

Cette méthode implique à creuser une fosse de 360 cm de long × 180 cm de large × 90 cm de profondeur dans une zone ombragée la longueur varier selon le volume et le type de déchets disponibles par exemple les déchets de l'exploitation agricole tels que la paille, et les restes de légumes et les feuilles sont étalés sur une épaisseur de 15-20 cm alors que les excréments humides des animaux sont étalés sur une couche d'environ 5 cm, le mélange est

humidifier par l'eau jusqu'à ce que l'ensemble atteigne une hauteur de 60 cm au-dessus du sol, le tas est alors recouvert de boue après avoir retournée tout la masse, at la décomposition anaérobie commence alors.

Comme il y a d'autre méthodes qui sont : la méthode indienne Indore en fosse, la méthode indienne Indore en tas Site et taille du tas, la méthode rurale chinoise de compostage en fosse (Misra *et al.*2005).

Les méthodes rapides

- Compostage aérobie à température élevée : tel que la méthode rurale chinoise de compostage à température élevée :

Ce compost est constitué essentiellement à partir de la matières fécales, d'eaux usées, d'excréments d'animaux, d'urine, et de résidus de plantes. Les matériaux sont amoncelés en couches successives. Lorsque le tas prêt, il est entouré d'une couche de boue d'environ 3 cm d'épaisseur. Durent quatre à cinq jours, la température s'augmente jusqu'à 60-70°C et les trous sont fermés à leur tour, et après trois semaines le premier retournement s'effectue. Au bout de deux mois le compost est prêt à l'emploi.

Compostage à la ferme en Équateur, la méthode de compostage rapide Berkley – déchiquetage et retournement fréquent, la méthode de compostage à chaud de l'université de l'état du Dakota du Nord – utilisation d'un activateur à base d'azote minéral, et le compostage des matières organiques ayant une teneur élevée en lignine– traitement à la chaux sont d'autres méthodes utilisées en compostage aérobie a température élevée (Misra *et al.*2005).

- Compostage aérobie à température élevée avec inoculation : tel que le compostage rapide basé sur les micro-organismes efficaces :

Cette méthode basée sur l'utilisation des microorganismes efficaces qui sont des aérobie et anaérobies communs et de qualité alimentaire : bactéries photosynthétiques, lactobacilles, Streptomyces, actinomycètes, levures, etc. Depuis 1999, sept petites unités d'engrais organiques au Myanmar utilisent le processus de production rapide basé sur les microorganismes efficaces.

Une unité est composée de neuf fosses mesurant environ 180 cm (longueur) × 120 cm (largeur) × 90 cm (profondeur). Les fosses sont entourées par des murs de petite taille et sont recouvertes d'un toit.

Compostage rapide de l'IBS, le compostage des matières organiques ayant une teneur importante en lignine – la bourre de noix de coco et le compostage des adventices sont d'autres méthodes utilisées (Misra *et al.*2005).

Enrichissement du compost

Cette méthode induit à enrichi le composte pauvre en phosphore pour rendre le compost plus équilibré, et fournir les éléments nutritifs aux microorganismes afin de favoriser leur multiplication et accélérer la décomposition et réduit également les pertes azotées. Le compost peut être enrichi par :

- l'application de superphosphate, de farine d'os ou de phosphate naturel.
- l'utilisation d'os d'animaux.
- solubilisation du phosphore par l'action des microorganismes fixateurs d'azote additionnés.

(Misra *et al.*2005).

2.4.4.2 Compostage à grande échelle

Compostage en andain

Le compostage en andain consiste à placer un mélange de matières à dégrader dans de longs tas étroits appelés andains qui sont remués ou tournés d'une façon régulière. Cette méthode divisée en deux types : andains retournés et andains aérés passivement (Misra *et al.*2005).

Compostage en récipient clos

Le compostage en récipient consiste à confiner les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient.

Cette méthode utilise l'aération forcée et les techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage.

Cette dernière inclut une gamme de système de compostage : le compostage en casier, le compostage en casier passivement aéré des déchets municipaux de Phnom Penh, les lits rectangulaires remués, les silos, les tambours rotatifs et les conteneurs transportables (Misra *et al.*2005).

2.4.5. Intérêts du compost

- Le compost est un excellent remplaçant pour les engrais chimiques qui polluent le sol et les nappes aquifères. Il est de ce fait un très bon facteur pour le développement durable.

- Le compost représente une alimentation entièrement naturelle et de qualité pour les plantes et les herbes. En effet le composte renferme un grand nombre de minéraux et en quantité abondante. Ces derniers résultent du métabolisme hétérotrophe des microorganismes qui le produisent. De même, le composte contient de la matière organique et des facteurs de croissance nécessaires pour accélérer la culture et le développement des végétaux.

- Produire du compost permet de réduire considérablement les déchets biodégradables jetés dans les ordures, ceci limite les pollutions qu'ils engendrent.

- Le compostage nécessite un faible de coût et donne de ce fait un bon rendement pour la création et l'entretien des espaces verts.

- Dans la nature, une telle dégradation des déchets est à la base des cycles géochimiques qui permettent un retour à la minéralisation.

- Le compostage est aussi un acte civique et respectueux de l'environnement ; car recycler ses déchets, c'est réduire les frais de collecte et d'incinération à charge de la communauté. C'est donc aussi réduire les émissions de CO₂ produites par ce transport et cette destruction.

- Le compostage est un processus facile à réaliser et n'est pas exigeant. Il peut se faire à domicile, de préférence dans un jardin (Dhamodharan *et al.* 2019 ; Cortés *et al.* 2020).

3. Matériel et méthodes

Objectif du travail

Dans ce travail, nous avons proposé de comparer la dégradation des déchets culinaires par voie naturelle et par d'addition de quelques moisissures du genre *Penicillium*. Ces dernières étant connues pour avoir un bon pouvoir de dégradation et de production des substances de défense.

Notre objectif était d'observer si les *Penicillium* accélèrent le processus de dégradation des déchets et s'ils empêchaient l'installation des moisissures nuisibles pour les plantes dans le sol ; autrement dit, s'ils permettaient d'avoir un compost plus sain pour les plantes.

Réalisation du travail

La préparation des moisissures s'est faite à l'université de Jijel avant le confinement. Le compostage a été réalisé dans le jardin familial de Mesdemoiselles Chelagham Roumaïssa et Affane Nesrine, puis l'isolement et l'identification des moisissures ont été réalisés dans le cabinet vétérinaire du Dr. Sédira Bachir (à Bab Essor, commune de Jijel).

3.1 . Matériel

- Boîtes en plastique transparentes.
- Lames bistouris (à la place du couteau, pour couper les légumes).
- Sol récolté du jardin familial.
- Suspensions de *Penicillium expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum*.
- Déchets culinaires : Marc de café, épluchures des oranges, des courgettes, et des pommes de terre.
- Boîtes de Pétri.
- Pipettes Pasteur.
- Gélose Sabouraud.
- Anse de platine.
- Pulvérisateur manuel.
- Seringues de 5 ml.
- Balance.
- Verre à montre.
- Eau distillée.

- Spatule.

3.2 . Optimisation des espèces

Les espèces de *Penicillium* utilisées proviennent du laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire (Université de Jijel). Dans ce travail, des suspensions de spores de concentration de 10x5 UFC/ml ont été utilisées.

Avant l'application sur les déchets culinaires, les suspensions de spores ont été incubées à 25°C pendant 48 H, afin de les optimiser (Botton *et al.* 1990).

3.3. Compostage naturel

Nous avons utilisé dans ce travail des boîtes en plastiques transparentes de 1 litre. Trois répétitions ont été effectuées (soit trois boîtes utilisées).

Des trous ont été réalisés sur toute la surface des boîtes et même sur les couvercles à l'aide d'une aiguille pointue (Figure 5). Ceci afin d'assurer une bonne aération du sol et des déchets : ce paramètre est primordial pour le bon développement des moisissures et donc pour la dégradation des déchets (Mengistu *et al.* 2018).



Figure 5 : Préparation des boîtes avant l'utilisation.

Nous avons mélangé 100g de déchets culinaires avec 100 g de sol récolté du jardin familial. Les déchets culinaires qui ont été utilisés étaient :

- Les épluchures d'oranges : 20g.

- Les épluchures des pommes de terre : 20g.
- Les épluchures des courgettes : 20g.
- Les épluchures des carottes : 20g.
- Le marc de café : 20g.

Nous avons choisi le sol du jardin car pour le compostage il est important d'utiliser un sol fertile qui contient déjà une bonne flore microbienne (Vijayakumari et Hiranmai 2012).

Les épluchures des fruits et légumes (Figure 6) ont été découpées en petits morceaux inférieurs à 1 cm à l'aide d'une lame bistouri, pour faciliter la dégradation (Figure 7).



Figure 6 : Les déchets utilisés pour la dégradation.



Figure 7 : Les déchets découpés avant d'être mélangés au sol.

Le sol a été mis au fond des boîtes, il a été arrosé avec 10 ml d'eau distillée par boîte, puis les déchets culinaires ont été déposés à la surface du sol (Figure 8). Nous avons effectué un léger mélange à l'aide d'une spatule, puis les trois boîtes ont été placées, entre-ouvertes, à l'abri de la lumière et à température ambiante jusqu'à la dégradation (Mengistu *et al.* 2018).



Figure 8 : Les boîtes contenant le les déchets culinaires et le sol.

3.4. Isolement et identification des espèces présentes dans le sol après le compostage

Les moisissures apparues tout au long du processus de dégradation ont été isolées à l'aide d'une anse de platine, puisensemencées par touches sur des boîtes de Pétri contenant la gélose Sabouraud. Les boîtes ont été laissées à température ambiante et à l'abri de la lumière, pendant trois jours.

La purification des moisissures s'est faite par des repiquages successifs sur le même milieu (Meena *et al.* 2017).

Pour chaque moisissure, nous avons réalisé une observation microscopique en déposant le mycélium entre lame et lamelle. La caractérisation des thalles s'est faite au grossissement x10 puis x40 (Hmouni *et al.* 2003 ; Peterson 2006).

3.5. Compostage en utilisant les espèces du genre *Penicillium*

La méthode de compostage décrite auparavant a été répétée dans cette étape, en respectant les mêmes quantités de déchets et du sol, les mêmes conditions et le même protocole. Puis nous avons prélevé à l'aide de seringues stériles 2 ml de chaque suspension fongique qui étaient *P.expasum*, *P.italicum* et *P.chrysogenum*, et nous les avons placés dans des pulvérisateurs manuels. Après avoir mélangé légèrement le sol et les déchets, nous avons aspergé la surface avec les suspensions de moisissures, puis placé les boîtes entre-ouvertes, à l'abri de la lumière (Mengistu *et al.* 2018).

3.6. Isolement et identification des espèces présentes dans le sol après le compostage en utilisant les espèces de *Penicillium*

Les moisissures de dégradation qui étaient apparues tout au long du processus de dégradation ont été isolées, purifiées et identifiées comme décrit auparavant (sous-titre 3.4.).

3.7. Comparaison des deux compostages

Une comparaison entre le compostage naturel et le compostage en ajoutant les *Penicillium* a été réalisée. Elle portait sur :

- La vitesse de dégradation des déchets.
- Le temps de disparition des moisissures après la dégradation.
- Le nombre de moisissures apparues lors de la dégradation.

4. Résultats et discussions

4.1. Compostage naturel

La dégradation était progressive. Au premier jour, les morceaux de fruits et de légumes étaient de diamètre 1 cm (Figure 9.A), puis ils ont commencé à diminuer de taille au fur et à mesure jusqu'à la disparition complète.



Figure 9 : Aspect du compost tout au long de la dégradation.

A : au 1^{er} jour ; B : au 7^e jour ; au 25^e jour.

Avant 10 jours, le mélange contenait des morceaux qui n'étaient pas encore totalement transformés, et plusieurs couleurs de moisissures étaient apparues (noir, vert foncé, vert clair, gris, jeune, blanchâtre) (Figure 9.B).

Au 20^e jour, il y avait une disparition complète des morceaux, mais aussi des moisissures. Aucun mycélium n'était visible (Figure 9.C). Ceci indiquait que la dégradation elle était terminée.

Des études réalisées sur le compostage ont démontré que les moisissures responsables de la dégradation se répartissaient sur les déchets afin de les coloniser, puis commençaient à produire leurs enzymes de dégradation. La répartition des moisissures lors de ce phénomène dépendait des constituants des déchets principalement la kératine, qui était déterminée comme étant le facteur le plus limitant, de même que la quantité de la lignocellulose présente dans les déchets (Bohacz et Kornilowicz-Kowalska 2019 ; Tahir *et al.* 2019).

4.2. Les moisissures apparues dans le compostage naturel

Les moisissures apparues lors du compostage naturel étaient au nombre de sept (Figure 10).

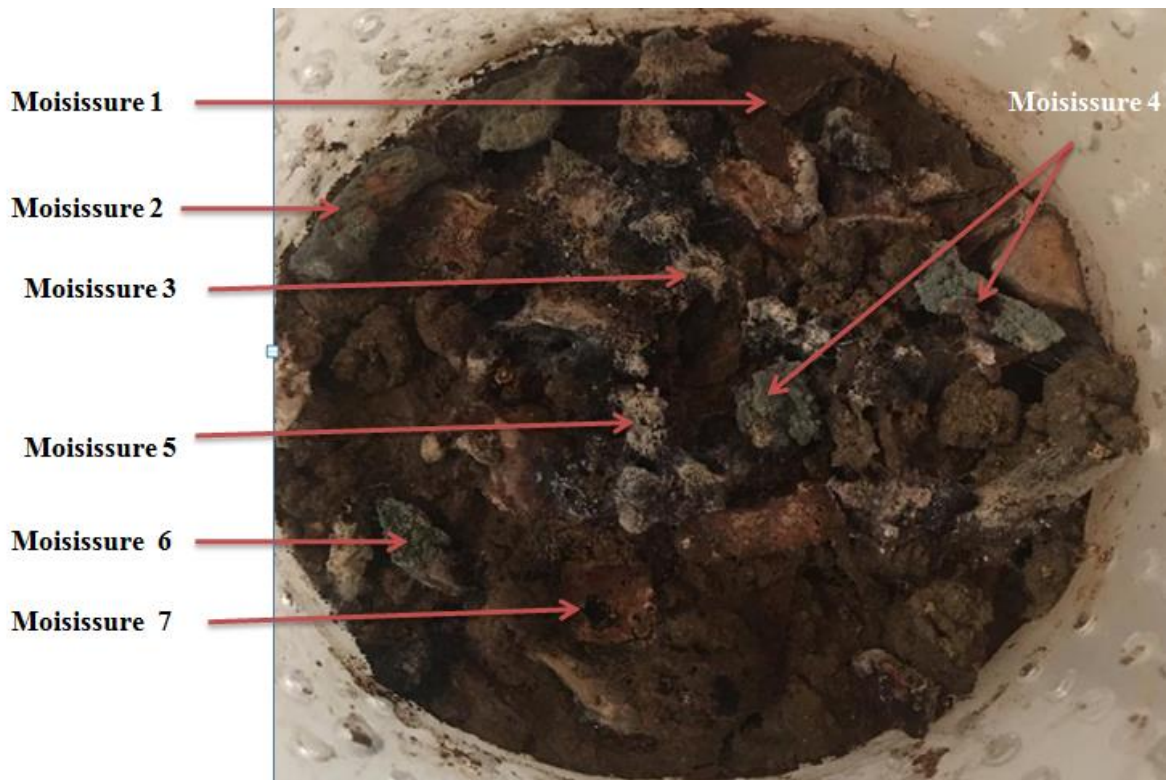


Figure 10 : Les moisissures apparues lors du compostage naturel.

Moisissure 1 : Elle avait un mycélium aplati, noir, poudreux et dense.

Moisissure 2 : Cette moisissure était de couleur verte, aplatie, très compacte et d'aspect duveteux.

Moisissure 3 : Cette moisissure avait un mycélium beige, peu dense et floconneux.

Moisissure 4 : Elle avait un mycilium dense de couleur grise, à vert focé.

Moisissure 5 : La moisissure 5 était de couleur grise, avec un aspect flonneux du mycélium.

Moisissure 6 : Cette moisissure avait une couleur bleu-vert. Elle était peu dense, plate et de texture poudreuse.

Moisissure 7 : Elle avait une couleur noire et était plate, duveteuse et plutôt compacte.

4.3. Identification des moisissures apparues lors du compostage naturel

4.3.1. Moisissure 1

Cette moisissure avait une tête aspergillaire de couleur brun foncé à noir (Figure 11). A l'intérieur du sporocyste il y avait une columelle arrondie de couleur plus foncée. Le sporophore était brunâtre à la partie supérieure, les conidies étaient brunes, globuleuse et ornementées, disposées en chaînettes. Le mycélium était hyalin, septé et plus fin que le sporophore (Figure 12).

Les caractéristiques de cette moisissure correspondaient à *Aspergillus niger*.

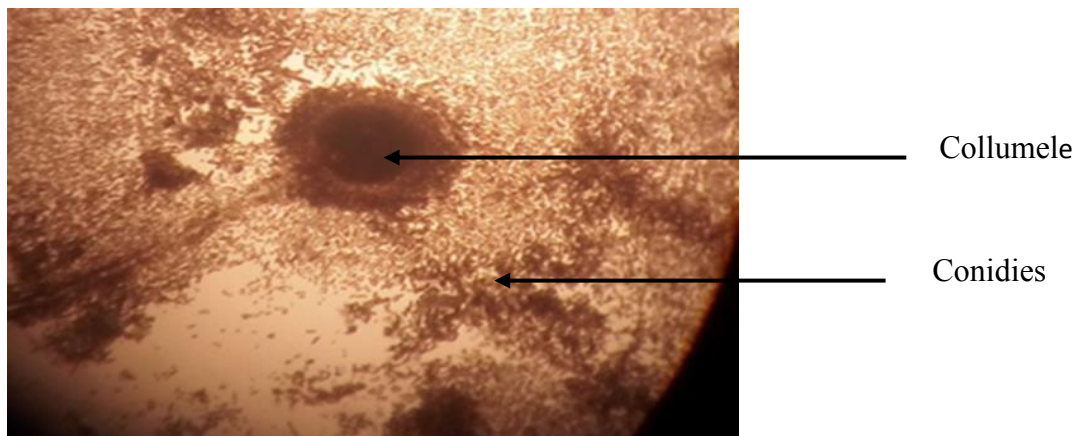


Figure 11 : Observation microscopique de la moisissure 1 au grossissement x 10.

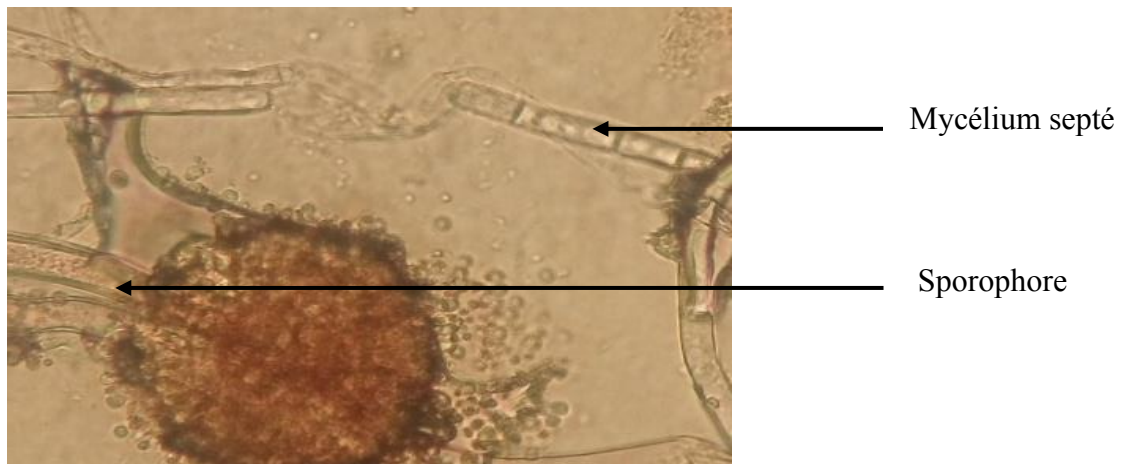


Figure 12 : Observation microscopique de la moisissure 1 au grossissement x 40.

4.3.2. Moisissure 2

La moisissure sous le microscope avait un mycélium siphonné, ramifié et blanchâtre à brun clair. Les spores étaient elliptiques, de même couleur que le mycélium. Elles étaient produites par bourgeonnement du sporophore et étaient disposées en touffes aux endroits de leur apparition sur ce dernier (Figure 13).

Cette espèce était *Botrytis cinerea*.

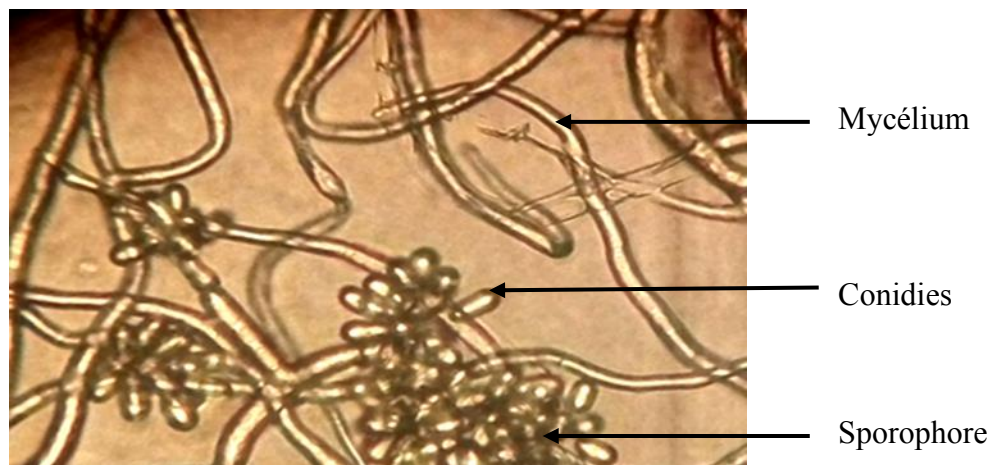


Figure 13 : Observation microscopique de la moisissure 2 au grossissement x 40.

4.3.3. Moisissure 3

Cette moisissure avait des macroconidies légèrement arquées, pointues aux deux extrémités avec 3 à 5 cloisons. Elle était de couleur brun-gris et était formée par un mycélium cloisonné et fortement ramifié, ainsi que d'un sporophore enchevêtré, plus fin que le mycélium (Figure 14).

Cette moisissure avait les caractéristiques de *Fusarium oxysporum*.

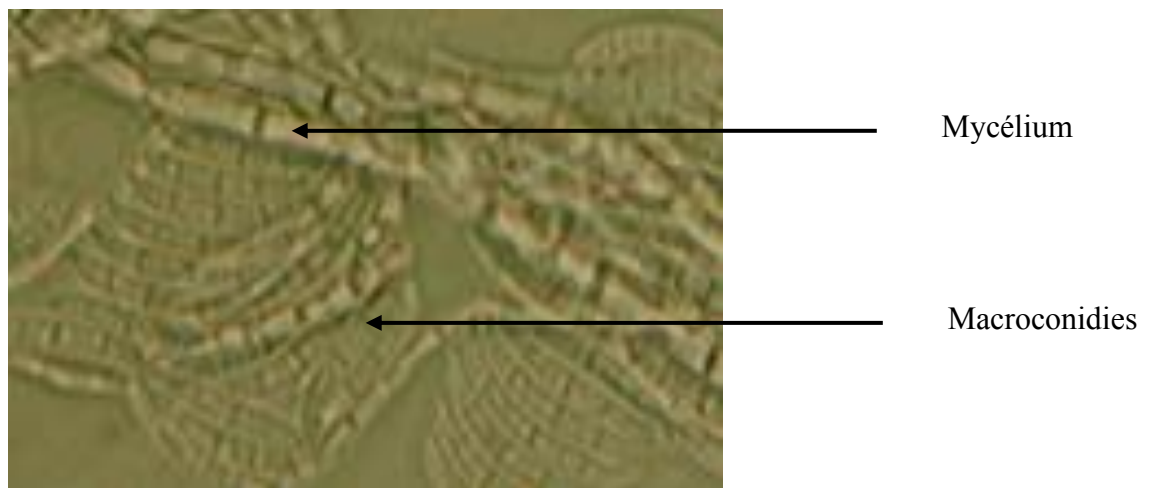


Figure 14 : Observation microscopique de la moisissure 3 au grossissement x 40.

4.3.4. Moisissure 4

Cette espèce avait un mycélium lisse, de couleur verdâtre, cloisonné. Elle portait des pénicilles terverticillés, formés par des phialides elliptiques qui étaient portées sur des métules de couleur plus foncé (Figure 15). Les conidies étaient disposées en chaînettes ; elles étaient cylindriques ou ellipsoïdales, lisses et de couleur verte.

Cette moisissure était donc *Penicillium chrysogenum*.

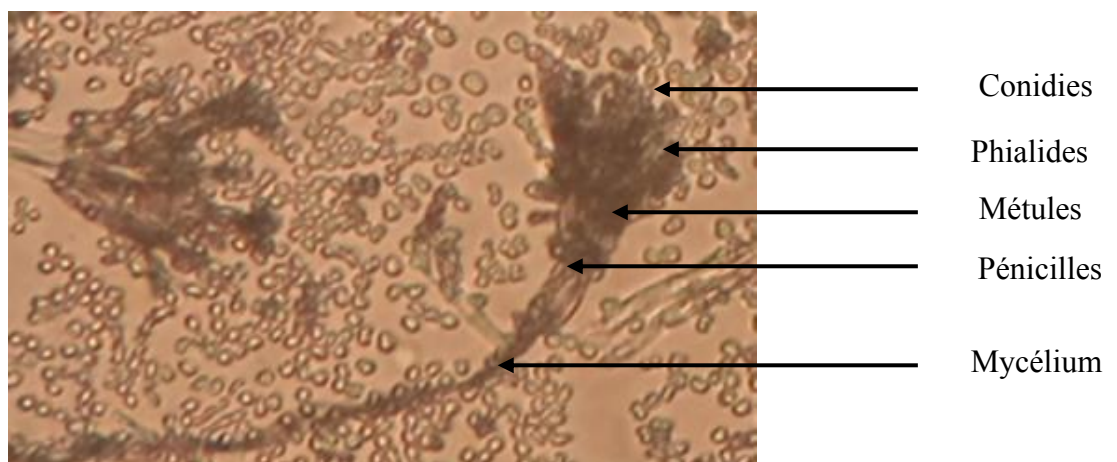


Figure 15 : Observation microscopique de la moisissure 4 au grossissement x 40.

4.3.5. Moisissure 5

La moisissure 5 avait un mycélium cloisonné, lisse, ramifié et de couleur blanchâtre. Elle avait aussi des thallospores produites par desarticulation du thalle. Elles étaient pour la majorité cubiques ou rectangulaires (Figure 16). La moisissure était lisse, avec des parois très fines.

Les propriétés de cette moisissure indiquaient l'espèce *Geotrichum candidum*.

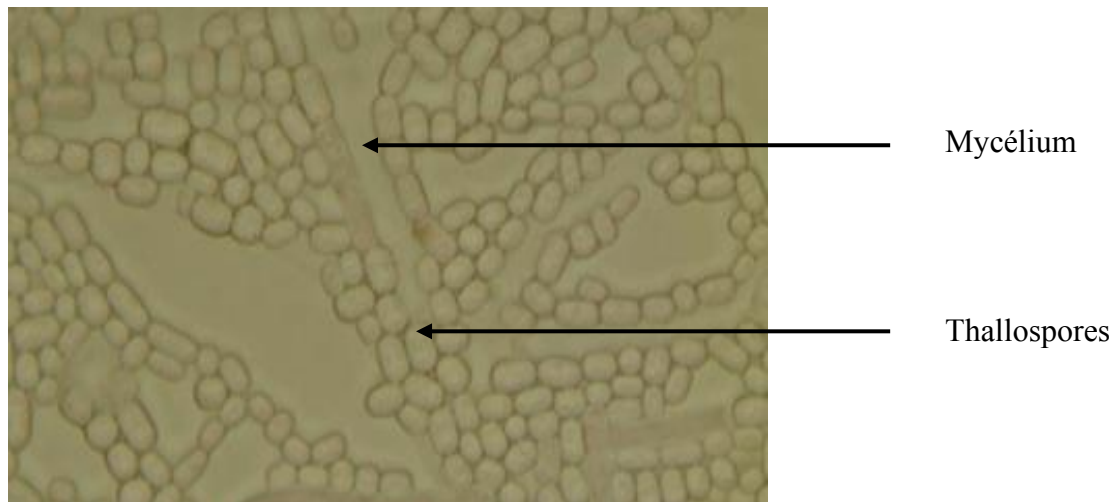


Figure 16 : Observation microscopique de la moisissure 5 au grossissement x 40.

4.3.6. Moisissure 6

Cette moisissure avait un mycélium septé, lisse et avec différentes nuances du vert. Il portait des pénicilles triverticillés, de couleur vert-bleu à l'état jeune puis vert-gris à l'état adulte. Ces derniers étaient formés par des phialides elliptiques ou cylindriques, de couleur vert olivâtre et portées par des métules cylindriques de couleur vert-bleu. Les conidies étaient globuleuses ou elliptiques, lisses et disposées en courtes chaînettes (Figure 17).

Ces caractéristiques correspondaient à *Penicillium griseum*.

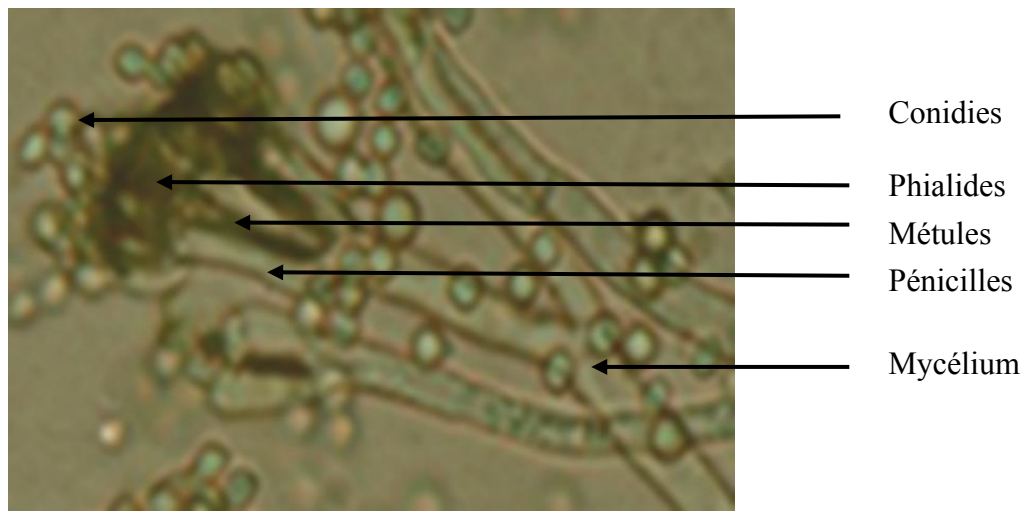


Figure 17 : Observation microscopique de la moisissure 6 au grossissement x 40.

4.3.7. Moisissure 7

Cette moisissure avait un mycélium septé ramifié, de couleur marron. Il formait des dictyospores cloisonnées horizontalement et/ou longitudinalement, elles sont de couleur brun plus foncé que le mycélium. Elles étaient muriformes à l'état jeune, puis allongée à l'état adulte. Elles avaient une paroi lisse, épaisse et ornementée (Figure 18).

Cette espèce correspondait à *Alternaria alternata*.

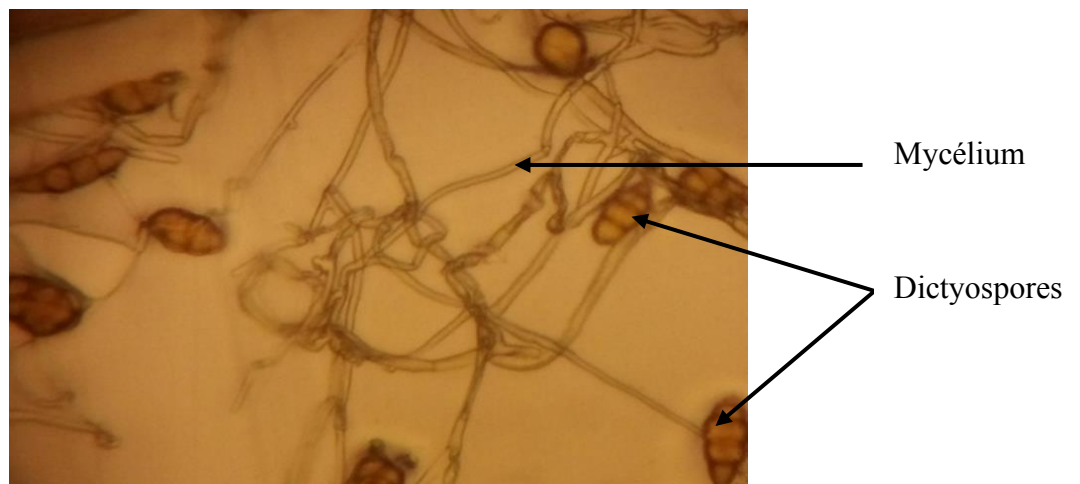


Figure 18 : Observation microscopique de la moisissure 7 au grossissement x 40.

Les moisissures observées lors du compostage naturel étaient donc : *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium chrysogenum*, *Geotrichum candidum*, *Penicillium griseum* et *Alternaria alternata*.

D'après les recherches déjà réalisées, le type et la diversité des champignons qui apparaissaient lors du compostage dépendaient de la quantité de la lignocellulose présente dans les déchets (Tahir *et al.* 2019).

D'après Surapuram et ses collaborateurs (2014), *Aspergillus niger* était responsable de la dégradation et l'altération de nombreux fruits et légumes tels que les raisins, les oignons, les arachides et les pommes de terre. Aussi, Wang *et al.* (2020) ont démontré que cette moisissure était dominante lors du compostage, de plus elle persistait même quand les températures devenaient élevées.

Selon les études de Zhang et ses collaborateurs (2020), *Botrytis cinerea* était l'une des principales causes qui provoquait l'altération et la dégradation des fruits et des légumes. Les principales cités par ces chercheurs étaient les tomates, les courgettes et les fraises. Néanmoins, *Botrytis cinerea* pouvait être rencontrée sur plusieurs autres types de végétaux. La biodégradation qu'elle causait était due à des phytotoxines et des enzymes de dégradation de la paroi cellulaire des végétaux (Castillo *et al.* 2017).

Fusarium oxysporum est une moisissure qui vit naturellement dans le sol, ce qui expliquait sa présence dans notre compost. Les études de Markakis *et al.* (2016) ont démontré que cette espèce pouvait dégrader un large éventail de végétaux, ce qui faisait d'elle un excellent agent de compostage. Selon certaines investigations, la persistance de cette moisissure dans le sol pouvant engendrer le flétrissement fusarien qui entraînait une perte considérable dans la production des fruits et légumes. *F. oxysporum* était donc un phyto-pathogène contre lequel les agriculteurs luttent (Mohamed *et al.* 2020).

Ces derniers avaient recours à la lutte biologique contre cette moisissure en utilisant des agents microbiens tels que *Bacillus subtilis* et *Trichoderma sp.*, ainsi le compost qui contenait des bactéries et des champignons, principalement des *Penicillium*, afin d'éliminer cet agent pathogène (Cucu *et al.* 2020).

G. candidum et *A. alternata* étaient considérées comme étant des agents tout aussi dangereux une fois présents dans le sol ou des végétaux sont cultivées. Liu *et al.* (2018)

considérait que *Geotrichum candidum* était d'origine terrestre et appartenait à la communauté fongique thermo-tolérante où elle participait aux dernières étapes du compostage, lorsque la température était élevée. Pavlov et ses collaborateurs (2018) désignaient cette moisissure comme une base de production des enzymes qui dégradent le xylène et la cellulose. Nous remarquons ainsi que nos résultats étaient en accord avec ces études. Ces dernières expliquaient en effet la présence de l'espèce dans le compost naturel.

Alternaria alternata faisait aussi partie des champignons dominants au cours des dernières étapes du compostage. Elle était à l'origine de la dégradation et du compostage de nombreux végétaux. Sa production du mancozèbe et du difénoconazol faisait qu'elle causait aussi des pathologies très importantes chez les plantes. Selon les certaines datas, ces deux toxines étaient très actives pour détruire et dégrader la paroi d'une large gamme de fruits et légumes, qu'ils aient été en champs (toujours en culture), cueillis, stockés ou épluchés et jetés (Landschoot *et al.* 2017 ; Yang *et al.* 2019).

Du fait du danger sérieux que représentent les *Alternaria* ; dont principalement *Alternaria alternata* ; pour les végétaux, plusieurs recherches se sont lancées pour trouver un moyen de lutter contre ces espèces : certaines ont testé l'utilisation des levures épiphytes comme agents de lutte biologique contre les alternarioses, tandis que d'autres ont testé l'efficacité de l'acide ursolique et le méthyl p- coumarate comme fongicide pour lutter contre les *Alternaria*. Ces produits chimiques causaient la destruction membranaire et un stress oxydatif chez le pathogène (Li *et al.* 2018 ; Prendes *et al.* 2018 ; Shu *et al.* 2019).

Ces informations indiquaient clairement que la présence *F. oxysporum*, *G. candidum* et *A. alternata* lors du compostage était naturelle, mais que ces trois espèces étaient néfastes pour les cultures.

Nos résultats étaient en accord avec ceux de Sanchez et ses collaborateurs (2017) qui indiquaient la présence naturelle de *P. chrysogenum* dans le compost. Et ce, grâce à son rôle essentiel dans la décomposition de la matière végétale. D'un autre côté, Delgado *et al.* (2019) considéraient cette espèce comme un agent protecteur qui produisait des protéines antifongiques utilisées pour la lutte biologique contre plusieurs pathogènes. Ceci justifiait son utilisation comme bio-inoculant dans le sol (Delgado *et al.* 2019).

Les études antérieures démontraient aussi que *P. chrysogenum* avait de grandes performances pour produire l'acide férulique estérase qui était responsable de la dés-estérification des légumes tel que la betterave à sucre (Phuengmaung *et al.* 2019).

4.4. Les moisissures apparues dans le compostage enrichi avec les espèces de *Penicillium*

La dégradation était complète après 15 jours seulement. Ce qui indiquait que les espèces utilisées jouaient un rôle important dans accélération du compostage.

Les moisissures apparues étaient au nombre de six, dont les *Penicillium* utilisés avaient toutes une couleur verte (la confirmation s'est faite par la suite après l'identification microscopique), mais avec différentes nuances. Dès le début de la dégradation, les espèces utilisées avaient une dominance sur les autres moisissures apparues (Figure 19).

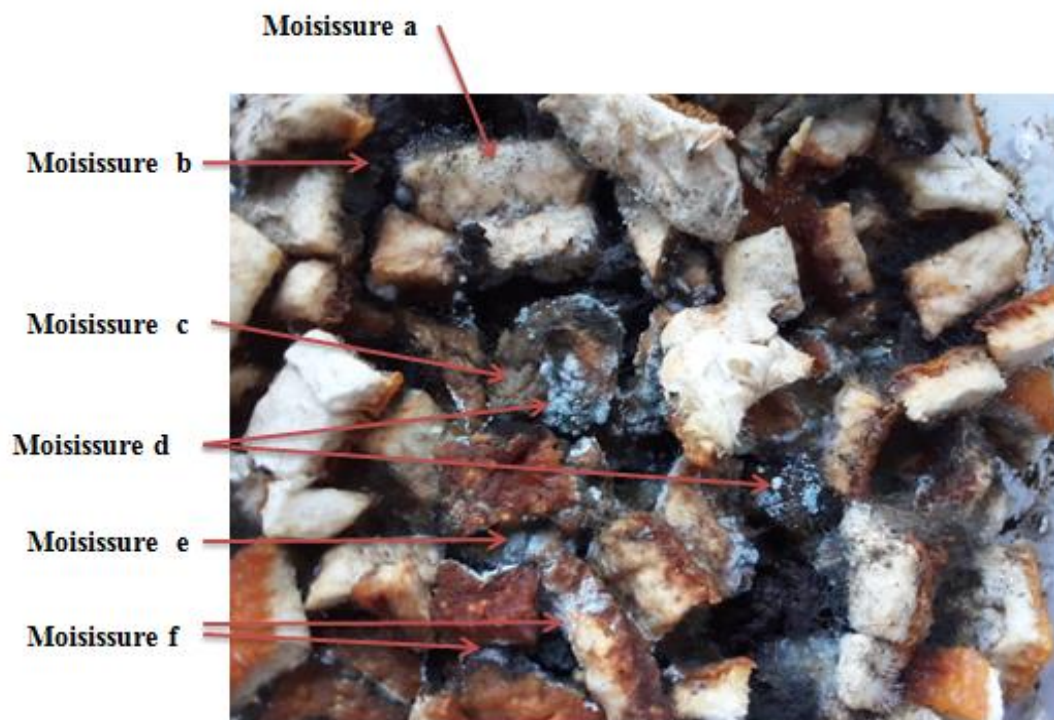


Figure 19 : Les moisissures apparues lors du compostage enrichi avec *Penicillium*.

Selon leur aspect, les moisissures étaient différenciées comme suit :

Moisissure a : Elle avait un mycélium aplati, noir, poudreux et dense.

Moisissure b : Cette moisissure elle avait un mycélium laineux, étouffée de couleur noire.

Moisissure c : Cette moisissure était de couleur verte, aplatie, très compacte et d'aspect duveteux.

Moisissure d : Cette moisissure était de couleur vert à gris, elle était de texture veloutée à granuleuse.

Moisissure e : Elle avait un mycélium dense, de couleur grise à vert focé.

Moisissure f : Cette moisissure avait un mycélium granulé, aplati, de couleur blanche et devint ensuite grise.

La croissance des espèces de *Penicillium* ajoutées était plus importante que celle des autres moisissures. Après trois jours seulement, elles enveloppaient un grand nombre des morceaux de déchets. Cette répartition importante causait une diminution de la croissance des autres espèces (Figure 20).



Figure 20 : Croissance de *Penicillium* tout en limitant la croissance des autres moisissures (au 3^e jour de la dégradation).

Après une semaine de dégradation, nous avons aussi remarqué que les espèces de *Penicillium* utilisées croissaient sur les autres moisissures afin de les inhiber (Figure 21). Ceci augmentait encore leur prolifération et leur dominance sur le compost.



Figure 21 : Croissance des *Penicillium* ajoutées sur les autres moisissures apparues. Les flèches indiquaient les *Penicillium* qui se développaient sur les autres mycéliums.

Cette répartition importante pouvait s'expliquer par la capacité des espèces utilisées à produire des molécules qui inhibaient les microorganismes compétiteurs.

D'après les recherches effectuées par Tannous et ses collaborateurs (2018), l'espèce *P. expansum* était connue pour sa capacité à produire des métabolites secondaires de défense très actifs. Les principaux étant les mycotoxines, dont la patuline qui a fait l'objet de plusieurs expériences. Cette dernière était définie par les chercheurs comme étant une polykétide de lactone ayant un très fort pouvoir antimicrobien. *P. expansum*, de par son métabolisme particulièrement diversifié et rapide a déjà été isolée de plusieurs végétaux en décomposition ce qui était en accord avec nos résultats. Néanmoins, cette moisissure était aussi identifiée dans

des infections de pommes et de quelques rares végétaux (Zhong *et al.* 2018 ; Saleh et Goktepe 2019). Ceci attirait l'attention que cette espèce pouvait être utilisée pour accélérer le compostage, mais pas dans un sol où on projette de planter des pommiers ou des plantes de la même famille.

P. italicum était aussi considérée par les chercheurs comme productrice des nanoparticules d'argent qui avaient diverses activités antimicrobiennes contre les pathogènes multi-résistants aux antibiotiques et antifongiques (Nayak *et al.* 2018). Cette espèce était aussi qualifiée d'excellent agent de dégradation des déchets végétaux ; elle était particulièrement rencontrée chez les agrumes où elle causait la moisissure bleu-vert sur les téguments et les épiluchures (Chen *et al.* 2020).

Selon les travaux de Huber *et al.* (2020), l'espèce *P. chrysogenum* était responsable de la sécrétion des protéines antimicrobiennes riches en cystéine : la PAF (proteine anti-fungal) et la PAFB (proteine anti-fungal de type B). Ces deux protéines inhibaient efficacement la croissance des champignons qui lui étaient compétiteurs, et avait aussi un potentiel antiviral. Ces molécules avaient un spectre d'action lié à leur propriété physico-chimique. De plus, les études de Fu *et al.* (2020) ont démontré que cette moisissure produisait le PCPS (polysaccharide de *Penicillium chrysogenum*) qui était un polysaccharide avec une gamme d'activités antivirales et antioxydantes. Ceci validait leur applicabilité dans la protection des plantes. Mais, *P. chrysogenum* était avant tout définie comme étant le producteur incontournable de la pénicilline, un antibiotique qui avait un effet antibactérien incontesté sur les bactéries présentes dans sans entourage. Ces dernières en s'installant sur les déchets des végétaux pouvaient rendre le milieu favorable pour un grand nombre d'autres microorganismes (Ziemons *et al.* 2017).

4.5. Identification des moisissures apparues lors le compostage enrichi avec les espèces de *Penicillium*

4.5.1. Moisissure a

Cette moisissure était déjà apparue dans le compost naturel. Elle avait les mêmes caractéristiques que la moisissure 1 et correspondaient donc à *Aspergillus niger* (Figure 22).

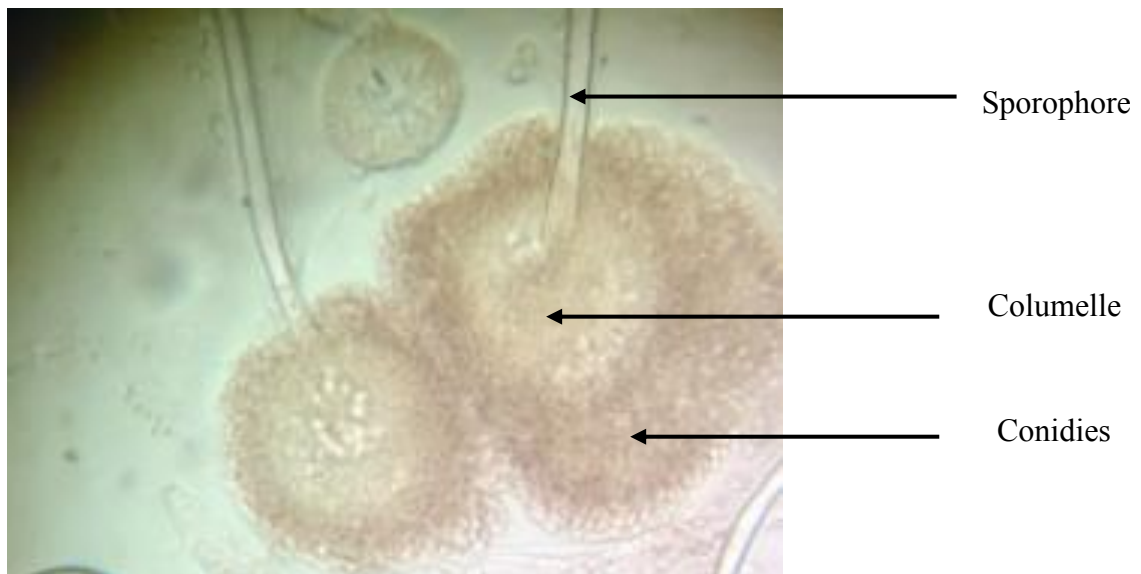


Figure 22 : Observation microscopique de la moisissure a au grossissement x 40.

4.5.2. Moisissure b

Cette moisissure avait un mycélium siphonné, brun et non ramifié (Figure 23.B2). Le sporangiophore portait des sporanges globuleux, de couleur brune à noire. Les spores étaient emprisonnées et compactées dans le sporange à l'état jeune ; puis à l'état adulte, le sporange s'éclatait et libérait des spores de forme irrégulière, marron, lisse, avec une paroi très épaisse (Figure 23.B1).

Les caractéristiques de cette moisissure indiquaient *Rhizopus nigricans*.

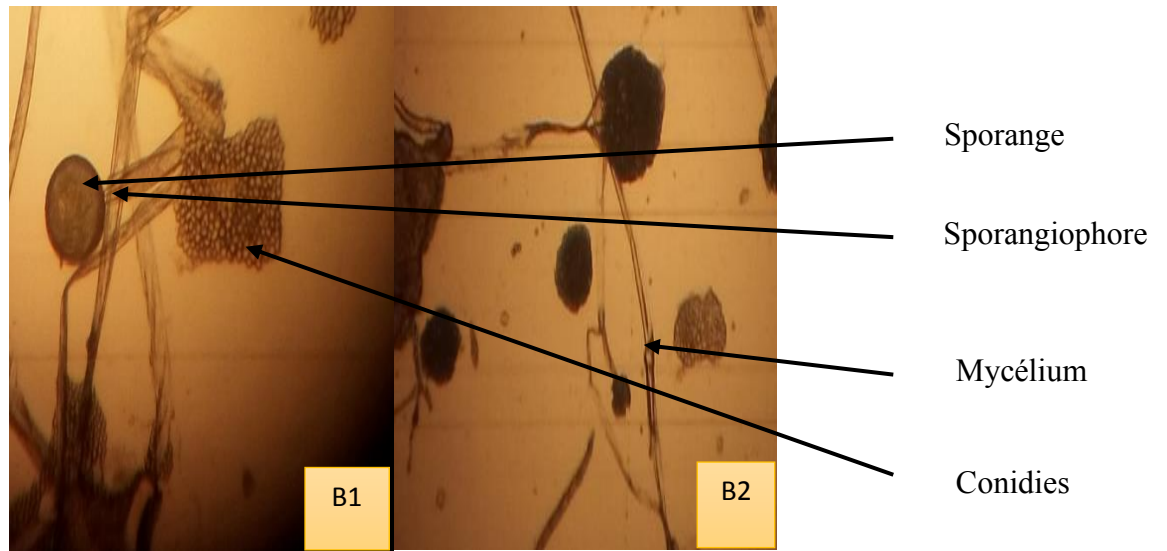


Figure 23 : Observation microscopique de la moisissure b au grossissement x 40.

4.5.3. Moisissure c

Cette moisissure était identique à la moisissure 2 décrite dans le compostage naturel. Elle correspondait à *Botrytis cinerea* (Figure 24).

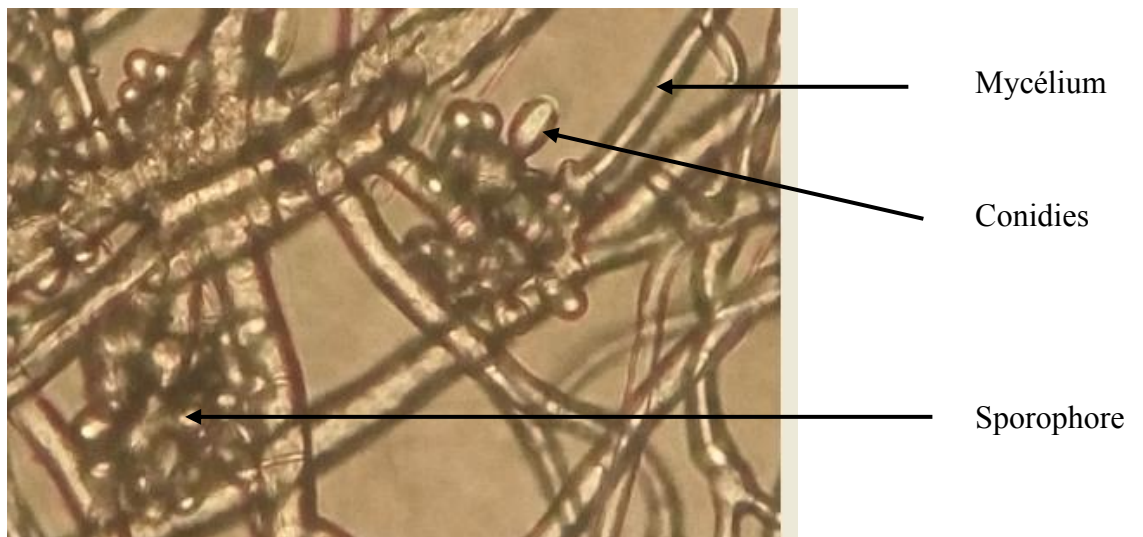


Figure 24 : Observation microscopique de la moisissure c au grossissement x 40.

4.5.4. Moisissure d

Cette moisissure avait un mycélium septé, ramifié et vert. Il portait des pénicilles triverticillés. Les phialides étaient cylindriques et se terminaient par un col court. Elles étaient positionnées sur des métules cylindriques, de couleur plus claire. Les conidies étaient ellipsoïdes ou arrondies et disposées en chaînettes (Figure 25).

Cette moisissure était *Penicillium expansum*.

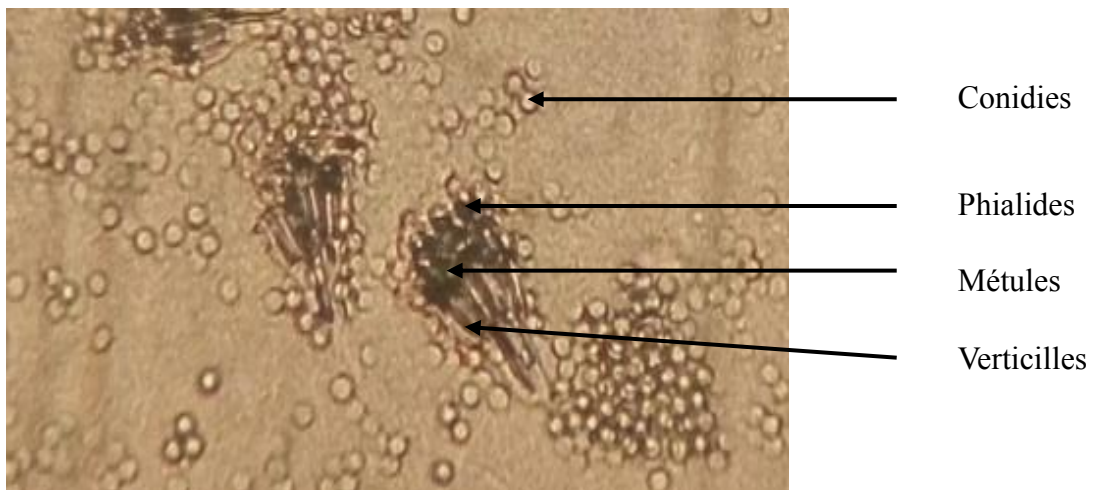


Figure 25 : Observation microscopique de moisissure d au grossissement x 40.

4.5.5. Moisissure e

L'observation microscopique de cette moisissure a permis de remarquer qu'elle était identique à la moisissure 4. Elle correspondait donc à *Penicillium chrysogenum* (Figure 26).

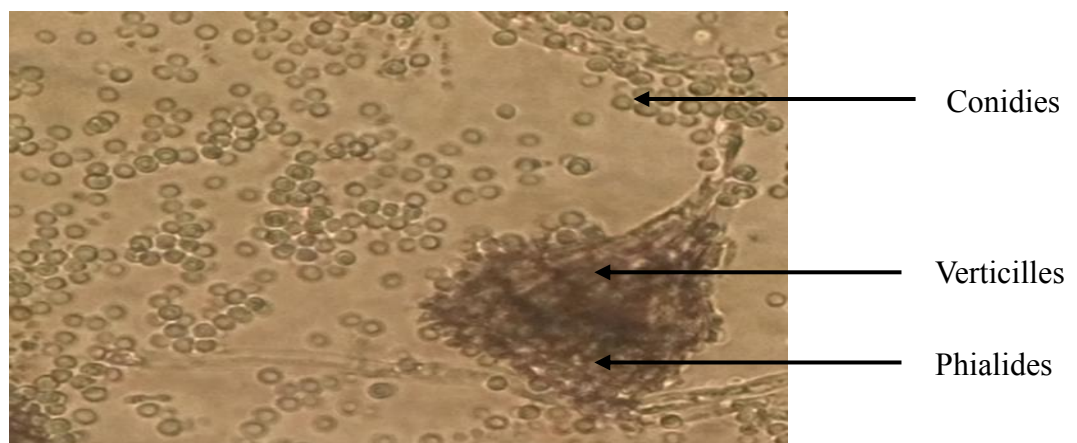


Figure 26 : Observation microscopique de la moisissure e au grossissement x 40.

4.5.6. Moisissure f

Le mycélium de cette moisissure était septé, vert et ramifié. Les pénicilles étaient triverticillés. Ils portaient des métules plus ou moins cylindriques et des phialides plus minces, de même forme ou légèrement allongées dans la partie supérieure. Les conidies étaient disposées en longues chaînettes. Elles étaient de forme cylindrique et à paroi lisse (Figure 27).

Ces caractéristiques désignaient l'espèce *Penicillium italicum*.



Figure 27 : Observation microscopique de la moisissure f au grossissement x 40.

Nous avons remarqué après l'identification des espèces fongiques qu'*Aspergillus niger* et *Botrytis cinerea* étaient des moisissures communes aux deux composts. Par contre *R. nigricans* n'était apparue que dans le deuxième.

Selon les études de Surapuram et ses collaborateurs (2014), cette dernière était fréquemment trouvée dans l'environnement, mais notamment dans les endroits humides. Elle était aussi isolée à partir du compost et du sol riche en déchets biodégradables. Selon ces chercheurs, *R. nigricans* ne causait aucune pathologie aux cultures, mais était connue pour les altérations molles qu'elle causait sur de nombreuses variétés de fruits et légumes cueillis causant ainsi leur perte. De même, qu'elle dégradait les déchets de ces derniers (téguments, pépins, etc.). Les principaux végétaux sur lesquels l'espèce a été rencontrée étaient les fraises, les tomates, les carottes et les patates. Ceci démontrait qu'il était tout à fait naturel d'isoler cette espèce à partir de notre compost.

4.6. Comparaison des deux compostages

La vitesse de dégradation des déchets était rapide dans le compostage enrichi avec les espèces de *Penicillium*, elle a duré 15 jours. Alors que le compostage naturel a duré 21 jours. Ceci indiquait que l'ajout de *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum* a accéléré la dégradation.

Selon les études antérieures ces résultats étaient très importants si nous prenions en compte que la rapidité du compostage était une sérieuse préoccupation pour les agriculteurs. Afin de l'accélérer, ces derniers avaient recours à la maîtrise de la température et du pH ; ce qui n'était pas évident quand le compostage se déroulait en plein nature ou était produit en grande quantité. Le compostage dans des endroits chauds était fortement encouragé car la température élevée améliorait le processus de la biodégradation et raccourcissait la période du compostage, de même que le pH du sol quand il était un peu élevé et l'humidité relativement importante (Wang *et al.* 2020 ; Liu *et al.* 2018 ; Yang *et al.* 2019). Notre travail démontrait que ces paramètres pouvaient être remplacés par l'ajout dans le sol de *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum*.

D'un autre côté, nous avons observé d'après nos résultats que le nombre de moisissures apparues dans les deux compostages était différent : dans le composte naturel, sept moisissures ont été isolées : *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium chrysogenum*, *Geotrichum candidum*, *Penicillium griseum* et *Alternaria alternata*.

Alors que dans le deuxième compostage, six espèces ont été différenciées, soit seulement trois de plus que les espèces de *Penicillium* utilisées. Elles étaient identifiées comme étant : *Aspergillus niger*, *Rhizopus nigricans* et *Botrytis cinerea*.

En comparant les deux compostages, nous avons remarqué que trois espèces étaient communes : *B. cinerea*, *A. niger* et *P. chrysogenum*. L'apparition de cette dernière était spontanée dans le compostage naturel et provoqué par pulvérisation dans le compostage enrichi par les *Penicillium*.

Nous pouvions donc déduire que l'ajout des *Penicillium* a inhibé la croissance d'*A. alternata*, *F. oxysporum*, *P. griseum*, et *G. candidum* qui étaient des espèces pathogènes pour les plantes. Cette inhibition était due plus précisément à *P. expansum* et *P. italicum*, car *P. chrysogenum* était commune aux deux procédés de compostages. Et possible que l'apparition

de *R.nigricans* était provoquée par ces dernières car ils empêchaient l'installation des espèces pathogènes qui inhibe la croissance de *R.nigricans*.

Le mode d'action des espèces de *Penicillium* pour bloquer la croissance et le développement des autres microorganismes n'est toujours pas identifié à ce jour.

Aussi, nous avons remarqué dans le deuxième compostage (avec l'addition des espèces de *Penicillium*), que ces dernières croissaient carrément sur les autres moisissures afin de les inhiber (Figure 21). Ceci prouvait l'efficacité de *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum* pour lutter contre certaines moisissures et donc pour déterminer les espèces que les agriculteurs pourraient éviter dans leurs cultures en utilisant ces espèces de *Penicillium*. Ces résultats étaient importants, car ils suggéreraient que nos espèces pourraient être envisagées pour une utilisation en tant qu'engrais afin de déterminer la flore microbienne d'un sol. De plus que des investigations antérieures déjà ont rapporté que le compost qui contenait des bactéries et des champignons, principalement des *Penicillium*, était très efficace pour éliminer les agents pathogènes des plantes (Delgado *et al.* 2019 ; Cucu *et al.* 2020).

Tous les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis de constater que l'utilisation des *Penicillium* pour la dégradation des déchets était fortement recommandée, ceci pour la rapidité du processus de compostage et pour l'élimination de quelques moisissures phytopathogènes du sol. D'autres études recommandaient aussi l'utilisation des *Penicillium* en tant que bio-inoculants, car ils avaient un rôle essentiel dans l'amélioration de la fertilité du sol et la productivité des cultures. En effet, ces études considéraient que ce genre était déterminant pour enrichir le sol en phosphore et en azote, ce qui favorisait la croissance des plantes (Altaf *et al.* 2018 ; Ceci *et al.* 2018 ; Oses-pedraza *et al.* 2020).

5. Conclusion

La dégradation des déchets sans l'ajout des *Penicillium* a duré 21 jours. Au bout de cette durée, plus aucun morceau n'était décelable ; ce qui traduisait une dégradation totale des déchets culinaires utilisés. Les moisissures apparues lors du compostage étaient au nombre de sept : *A. niger*, *F. oxysparum*, *B. cinerea*, *P. chrysogenum*, *P. griseum*, *G. candidum*, et *A. alternata*.

D'un autre côté, le compostage enrichi par les espèces de *Penicillium* a duré 15 jours seulement. Ceci indiquait que les espèces utilisées pouvaient accélérer la dégradation des déchets. Les espèces identifiées étaient : *A. niger*, *B. cinerea* et *R. nigricans*.

Lors de ce compostage, nous avons remarqué que *A.alternata*, *F. oxysparum*, *P. griseum* et *G. candidum* n'étaient pas présentes. Elles étaient donc inhibées par les moisissures nouvellement apparues, à savoir *P. expansum*, *P. italicum* et *R. nigricans*.

La dégradation des déchets en utilisant *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum* a montré que ces dernières avaient une croissance dominante par rapport aux autres espèces. En effet, les espèces de *Penicillium* limitaient la croissance d'*A. niger*, *B. cinerea* et *R. nigricans* en croissant directement sur elles ou en affichant une forte dissémination afin d'occuper la surface des déchets.

En comparant les deux types de compostage, nous avons conclu que celui qui était enrichi avec les espèces de *Penicillium* était meilleur de par la durée de dégradation et aussi parce qu'il permettait l'inhibition de certaines espèces hautement pathogènes pour les plantes.

Cette étude nous a aussi démontré que la durée de la dégradation variait en fonction des espèces de moisissures présentes.

6. Références bibliographiques

~A~

- Al-Enazi, N. M., Awaad, A. S., Al-Othman, M. R., Al-Anazi, N. K., & Alqasoumi, S. I.** (2018). Isolation, identification and anti-candidal activity of filamentous fungi from Saudi Arabia soil. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(2), 253-257.
- Altaf, M. M., Imran, M., Abulreesh, H. H., Khan, M. S., & Ahmad, I.** (2018). Diversity and applications of *Penicillium spp.* in plant-growth promotion. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Ed. Elsevier, p: 261-276.

~B~

- Bohacz, J., & Kornilowicz-Kowalska, T.** (2019). Fungal diversity and keratinolytic activity of fungi from lignocellulosic composts with chicken feathers. *Process Biochemistry*, 80, 119-128.
- Botton, B., Breton, A., Fèvre, M., Guy, P. H., Larpent, J. P., & Veau, P.** (1990). Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle.

~C~

- Castillo, L., Plaza, V., Larrondo, L. F., & Canessa, P.** (2017). Recent advances in the study of the plant pathogenic fungus *Botrytis cinerea* and its interaction with the environment. *Current Protein and Peptide Science*, 18(10), 976-989.
- Ceci, A., Pinzari, F., Russo, F., Maggi, O., & Persiani, A. M.** (2018). Saprotrophic soil fungi to improve phosphorus solubilisation and release: In vitro abilities of several species. *Ambio*, 47(1), 30-40.
- Chen, C., Wan, C., Peng, X., & Chen, J.** (2020). A flavonone pinocembroside inhibits *Penicillium italicum* growth and blue mold development in 'Newhall' navel oranges by targeting membrane damage mechanism. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 165, 104505.
- Cortés, A., Silva, L. F. O., Ferrari, V., Taffarel, S. R., Feijoo, G., & Moreira, M. T.** (2020). Environmental assessment of viticulture waste valorisation through

composting as a biofertilisation strategy for cereal and fruit crops. *Environmental Pollution*, 114794.

Cucu, M. A., Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2020). An assessment of the modulation of the population dynamics of pathogenic *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* in the tomato rhizosphere by means of the application of *Bacillus subtilis* QST 713, *Trichoderma sp.* TW2 and two composts. *Biological Control*, 142, 104158.

~D~

Delgado, J., Ballester, Ak. R., Núñez, F., & González-Candelas, L. (2019). Evaluation of the activity of the antifungal PgAFP protein and its produce mould against *Penicillium spp* post harvest pathogens of citrus and pome fruits. *Food Microbiology*, 84, 103266.

Dhamodharan, K., Varma, V. S., Veluchamy, C. (2019). Emission de composés organiques volatils provenant du compostage : un examen de l'évaluation, du traitement et des perspectives. *Science de l'Environnement Total*, 695, 133-725.

Do Kim, J., Kang, J. E., & Kim, B. S. (2020). Postharvest disease control efficacy of the polyene macrolide lucensomycin produced by *Streptomyces plumbeus* strain CA5 against gray mold on grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 162, 111115.

~E~

El-Otmani, M., Ait-Oubahou, A., & Zacarías, L. (2011). *Citrus spp.*: orange, mandarin, tangerine, clementine, grapefruit, pomelo, lemon and lime. In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Ed. Woodhead Publishing, p: 437-516e.

Enuneku, A. A., Abhulimen, P. I., Isibor, P. O., Asemota, C. O., Okpara, B., Imoobe, T. O., & Ezemonye, L. I. (2020). Interactions of trace metals with bacteria and fungi in selected agricultural soils of Egbema Kingdom, Warri North, Delta state, Nigeria. *Heliyon*, 6(7), e04477.

Errampalli, D. (2014). *Penicillium expansum* (bluemold). In *Postharvest decay* Ed. Academic Press, p: 189-231.

~F~

Fu, J., Zhang, S., Wu, J., Chen, Y., Zhong, Y., Zhou, Y., ... & Chen, S. (2020). Structural characterization of a polysaccharide from dry mycelium of *Penicillium chrysogenum* that induces resistance to Tobacco mosaic virus in tobacco plants. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156(1), 67-79.

~G~

Godoy, M. G., Amorim, G. M., Barreto, M. S., & Freire, D. M. (2018). Agricultural residues as animal feed: protein enrichment and detoxification using solid-state fermentation. In *Current developments in biotechnology and bioengineering*. Ed. Elsevier, p: 235-256.

Gurtler, J. B. (2017). Pathogen decontamination of food crop soil: a review. *Journal of Food Protection*, 80(9), 1461-1470.

~H~

Hmouni, A., Oihabi, L., Badoc, A., & Douira, A. (2003). Étude de la résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles, dicarboximides et dithiocarbamates dans les cultures abritées de tomate de la région du Gharb (Maroc). *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142(1-4), 79-100.

Hobdey, S. E., Donohoe, B. S., Brunecky, R., Himmel, M. E., & Bomble, Y. J. (2015). New insights into microbial strategies for biomass conversion. In *Direct Microbial Conversion of Biomass to Advanced Biofuels*. Ed. Elsevier, p: 111-127.

Huber, A., Galgóczy, L., Váradi, G., Holzknicht, J., Kakar, A., Malanovic, N., ... & Tóth, G. K. (2020). Two small, cysteine-rich and cationic antifungal proteins from *Penicillium chrysogenum* : A comparative study of PAF and PAFB. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 183246.

~I~

Igalavithana, A. D., Lee, S. E., Lee, Y. H., Tsang, D. C., Rinklebe, J., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils. *Chemosphere*, 174, 593-603.

Insam, H., & De Bertoldi, M. (2007). Microbiology of the composting process. *Compost science and technology*, 8(1), 25-48.

~J~

Ji, C., Kong, C. X., Mei, Z. L., & Li, J. (2017). A review of the anaerobic digestion of fruit and vegetablewaste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 183(3), 906-922.

~K~

Kachkouch, W., Touhami, A. O., Benkirane, R., & Douira, A. (2012). Identification de la mycoflore de l'espece ornementale, erythrinacaffra, au maroc. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 19, 88-101.

Kim, W. K., Sang, H. K., Woo, S. K., Park, M. S., Paul, N. C., & Yu, S. H. (2007). Six species of *Penicillium* associated with blue mold of grape. *Mycobiology*, 35(4), 180-185.

Kumar, A., & Verma, J. P. (2018). Does plant—microbe interaction confer stress tolerance in plants: areview?. *Microbiological Research*, 207, 41-52.

~L~

Labbé, F., Babchia, S., Evreux, F., & Chenal, P. (2013). Isolement de *Geosmithia argillacea* chez un enfant atteint de mucoviscidose. *Journal de mycologie médicale*, 23(3), 176-178.

Landschoot S, Vandecasteele M, De Baets B, Höfte M, Audenaert K, & Haesaert G. (2017). Identification of a. arborescens, A. grandis, and A. protenta as new members of the European *Alternaria* population on potato. *Fungal Biology* 121(2); 172-188.

Lansing M. P, Joanne M. W, Linda M. S, & Cristopher J. W. (2018). Microbiologie de Prescott. 5^e edition De Boeck Supérieur, p : 586-977.

Li, W., Yuan, S., Li, Q., Sang, W., Cao, J., & Jiang, W. (2018). Methyl p-coumarate inhibits black spot rot on jujube fruit through membrane damage and oxidative stress against *Alternaria alternata*. *Postharvest Biology and Technology*, 145, 230-238.

Liu, H., De Souza, F. Z. R., Liu, L., & Chen, B. S. (2018). Immobilized and free cells of *Geotrichum candidum* for asymmetric reduction of ketones: stability and recyclability. *Molecules*, 23(9), 2144.

~M~

Ma, D., Cui, X., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., Tian, S., & Chen, T. (2020). Honokiol suppresses mycelial growth and reduces virulence of *Botrytis cinerea* by inducing autophagic activities and apoptosis. *Food Microbiology*, 88, 103411.

Mahmood, A., Iguchi, R., & Kataoka, R. (2019). Multifunctional food waste fertilizer having the capability of *Fusarium*-growth inhibition and phosphate solubility: A new horizon of food waste recycle using microorganisms. *Waste Management*, 94, 77-84.

Martins, L. F., Kolling, D., Camassola, M., Dillon, A. J. P., & Ramos, L. P. (2008). Comparison of *Penicillium echinulatum* and *Trichoderma reesei* cellulases in relation to their activity against various cellulosic substrates. *Bioresource Technology*, 99(5), 1417-1424.

Markakis, E. A., Fountoulakis, M. S., Daskalakis, G. C., Kokkinis, M., & Ligoxiakakis, E. K. (2016). The suppressive effect of compost amendments on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* in cucumber and *Verticillium dahliae* in eggplant. *Crop Protection*, 79, 70-79.

Meena, M., Swapnil, P., & Upadhyay, R. S. (2017). Isolation, characterization and toxicological potential of *Alternaria*-mycotoxins (TeA, AOH and AME) in different *Alternaria* species from various regions of India. *Scientific Reports*, 7(1), 1-19.

Meena, M., Zehra, A., Dubey, M. K., Aamir, M., & Upadhyay, R. S. (2018). *Penicillium* enzymes for the food industries. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Ed. Elsevier, p: 167-186.

Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B., & Yadav, H. (2018). Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation and sanitization of municipal organic solid wastes and dried faecal sludge mixtures. *Environmental Systems Research*, 6(1), 5.

Misra, R. V., Roy, R. N., & Hiraoka, H. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome.*

Mohamed, O. Z., Yassine, B., El Hassan, A., Abdellatif, H., & Rachid, B. (2020). Evaluation of compost quality and bioprotection potential against *Fusarium* wilt of date palm. *Waste Management, 113*, 12-19.

~**N**~

Naraian, R., & Gautam, R. L. (2018). *Penicillium* enzymes for the saccharification of lignocellulosic feed stocks. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Ed. Elsevier, p: 121-136.

Nayak, B. K., Nanda, A., & Prabhakar, V. (2018). Biogenic synthesis of silver nanoparticle from wasp nest soil fungus, *Penicillium italicum* and its analysis against multi drug resistance pathogens. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 16*, 412-418.

~**O**~

Ogunmolu, F. E., Kaur, I., Pasari, N., Gupta, M., & Yazdani, S. S. (2018). Quantitative multiplexed profiling of *Penicillium funiculosum* secretome grown on polymeric cellulase inducers and glucose. *Journal of Proteomics, 179*, 150-160.

Oses-Pedraza, R., Torres-Díaz, C., Lavín, P., Retamales-Molina, P., Atala, C., Gallardo-Cerda, J., ... & Molina-Montenegro, M. A. (2020). Root endophytic *Penicillium* promotes growth of Antarctic vascular plants by enhancing nitrogen mineralization. *Extremophiles, 1-12*.

~**P**~

Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum, Penicillium italicum* (green mold, bluemold). In *Postharvest Decay*. Ed. Academic Press, p: 45-102.

Patial, V., Asrani, R. K., & Thakur, M. (2018). Food-borne mycotoxicoses: Pathologies and public health impact. In *Foodborne Diseases*. Ed. Academic Press, p: 239-274.

- Pavlov, I. Y., Bobrov, K. S., Sumacheva, A. D., Masharsky, A. E., Polev, D. E., Zhurishkina, E. V., & Kulminskaya, A. A.** (2018). *Scytalidium candidum* 3C is a new name for the *Geotrichum candidum* Link 3C strain. *Journal of Basic Microbiology*, 58(10), 883-891.
- Peterson, S.W.** (2006). Multilocus sequence analysis of *Penicillium* and euro *penicillium* significance of mold species in Norwegian drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 12, 7586-7593.
- Phuengmaung, P., Sunagawa, Y., Makino, Y., Kusumoto, T., Handa, S., Sukhumsirichart, W., & Sakamoto, T.** (2019). Identification and characterization of ferulic acid esterase from *Penicillium chrysogenum* 31B: de-esterification of ferulic acid decorated with l-arabinofuranoses and d-galactopyranoses in sugar beet pectin. *Enzyme and Microbial Technology*, 131, 109380.
- Prendes, L. P., Merín, M. G., Fontana, A. R., Bottini, R. A., Ramirez, M. L., & de Ambrosini, V. I. M.** (2018). Isolation, identification and selection of antagonistic yeast against *Alternaria alternata* infection and tenuazonic acid production in winegrapes from Argentina. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 14-20.
- ~S~
- Saleh, I., & Goktepe, I.** (2019). The characteristics, occurrence, and toxicological effects of patulin. *Food and Chemical Toxicology*, 129, 301-311.
- Samson, R. A., Hoekstra, E. S., & Frisvad, J. C.** (2004). *Introduction to food-and airborne fungi*. 7e Ed. Utrecht : Centraalbureau voor Schimmelcultures.
- Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S.** (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste management*, 69, 136-153.
- Segarra, G., Elena, G., & Trillas, I.** (2013). Systemic resistance against *Botrytis cinerea* in *Arabidopsis* triggered by an olive marc compost substrate requires functional SA signalling. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 82, 46-50.

Shu, C., Zhao, H., Jiao, W., Liu, B., Cao, J., & Jiang, W. (2019). Antifungal efficacy of ursolic acid in control of *Alternaria alternata* causing black spot rot on apple fruit and possible mechanisms involved. *Scientia Horticulturae*, 256, 108636.

Sun, Z., Yang, L. M., Han, M., Han, Z. M., Yang, L., Cheng, L., ... & Lv, Z. L. (2019). Biological control ginseng grey mold and plant colonization by antagonistic bacteria isolated from rhizospheric soil of *Panax ginseng* Meyer. *Biological Control*, 138, 104048.

Surapuram, V., Setzer, W. N., McFeeters, R. L., & Mc Feeters, H. (2014). Antifungal activity of plant extracts against *Aspergillus niger* and *Rhizopus stolonifer*. *Natural Product Communications*, 9(11), 1603-1605.

~T~

Tahir, P. M., Lee, S. Y., Ang, A. F., Lee, S. H., Mohamed, R., & Halis, R. (2019). Diversity and characterization of lignocellulolytic fungi isolated from oil palm empty fruit bunch, and identification of influencing factors of natural composting process. *Waste Management*, 100, 128-137.

Tannous, J., Keller, N. P., Atoui, A., El Khoury, A., Lteif, R., Oswald, I. P., & Puel, O. (2018). Secondary metabolism in *Penicillium expansum*: emphasis on recent advances in patulin research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(12), 2082-2098.

Teter, S. A., Sutton, K. B., & Emme, B. (2014). Enzymatic processes and enzyme development in biorefining. In *Advances in Biorefineries*. Ed. Woodhead Publishing, p: 199-233.

~V~

Vijayakumari, B., & Hiranmai, Y. R. (2012). Influence of fresh, composted and vermin composted parthenium and poultry manure on the growth characters of sesame (*Sesamum indicum*). *Journal of Organic Systems*, 7(1), 14-19.

Visagie, C. M., Houbraken, J., Frisvad, J. C., Hong, S. B., Klaassen, C. H. W., Perrone, G., ... & Samson, R. A. (2014). Identification and nomenclature of the genus *Penicillium*. *Studies in mycology*, 78, 343-371.

~W~

- Wang, X., Kong, Z., Wang, Y., Wang, M., Liu, D., & Shen, Q.** (2020). Insights into the functionality of fungal community during the large scale aerobic co-composting process of swine manure and rice straw. *Journal of Environmental Management*, 270, 110958.
- Wilson, D. B.** (2015). Processive cellulases. In *Direct Microbial Conversion of Biomass to Advanced Biofuels*. Ed. Elsevier, p: 83-89.

~Y~

- Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N., ... & Saxena, A. K.** (2018). Biodiversity of the genus *Penicillium* in different habitats. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. Ed. Elsevier, p: 3-18.
- Yang, L. N., He, M. H., Ouyang, H. B., Zhu, W., Pan, Z. C., Sui, Q. J., ... & Zhan, J.** (2019). Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, 19(1), 205.
- Yu, L., Qiao, N., Zhao, J., Zhang, H., Tian, F., Zhai, Q., & Chen, W.** (2020). Postharvest control of *Penicillium expansum* in fruits: A review. *Food Bioscience*, 100633.

~Z~

- Zhang, Z., Zhao, P., Zhang, P., Su, L., Jia, H., Wei, X., ... & Jia, H.** (2020). Integrative transcriptomics and metabolomics data exploring the effect of chitosan on postharvest grape resistance to *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 167, 111248.
- Zhao, K., Xu, R., Zhang, Y., Tang, H., Zhou, C., Cao, A., ... & Guo, H.** (2017). Development of a novel compound microbial agent for degradation of kitchen waste. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(3), 442-450.
- Zhong, L., Carere, J., Lu, Z., Lu, F., & Zhou, T.** (2018). Patulin in apples and apple-based food products: the burdens and the mitigation strategies. *Toxins*, 10(11), 475.

Ziemons, S., Koutsantas, K., Becker, K., Dahmann, T., & Kück, U. (2017). Penicillin production in industrial strain *Penicillium chrysogenum* P2niaD18 is not dependent on the copy number of biosynthesis genes. *BMC Biotechnology*, 17(1), 16.

Réalisé par :
AFFANE Nessrine
CHELGHAM Roumaïssa

Promotrice : Dr. AKROUM S.

Capacité des différentes espèces du genre *Penicillium* à dégrader des déchets culinaires.

Résumé :

Les champignons ont un rôle très important dans le compostage et la minéralisation des sols. Néanmoins, certaines espèces fongiques sont pathogènes et causent beaucoup de dégâts aux cultures alors que d'autres protègent les plantes et favorisent leur croissance.

Dans ce travail nous avons comparé la dégradation des quelques déchets culinaires avec et sans ajout des espèces du genre *Penicillium*, plus précisément *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum*. Les résultats ont montré que la dégradation naturelle était plus lente et favorisait la croissance des champignons fortement pathogènes pour les plantes. Ces dernières étaient : *Fusarium oxysporum*, *Geotrichum candidum* et *Alternaria alternata*. D'un autre côté, la dégradation en ajoutant les espèces de *Penicillium* permettait de minimiser le temps de compostage et d'éviter l'apparition des espèces phytopathogènes. *Aspergillus niger* et *Botrytis cinerea* étaient apparues lors des deux dégradations indiquant qu'elles n'étaient affectées par l'ajout de *P. expansum*, *P. italicum* et *P. chrysogenum*. Par contre *Rhizopus nigricans* n'était présente que lors du deuxième compostage, elle était donc induite par les *Penicillium*.

Mots clés : Déchets culinaires, dégradation, moisissures, identification, *Penicillium*, compostage, comparaison.

Abstract:

Fungi have a very important role in composting and soil mineralization. However, some fungal species are pathogenic and cause a lot of damages to crops, while others protect plants and promote their growth.

In this work we compared the degradation of some culinary wastes with and without the addition of species of the genus *Penicillium*, more precisely *P. expansum*, *P. italicum* and *P. chrysogenum*. The results showed that natural degradation was slower and favored the growth of fungi that are highly pathogenic to plants. The latter were: *Fusarium oxysporum*, *Geotrichum candidum* and *Alternaria alternata*. On the other hand, the degradation by adding the species of *Penicillium* allowed to minimize the time of composting and to avoid the appearance of the phytopathogenic species. *Aspergillus niger* and *Botrytis cinerea* had appeared during the two degradations indicating that they were not affected by the addition of *P. expansum*, *P. italicum* and *P. chrysogenum*. On the other hand, *Rhizopus nigricans* was only present during the second composting, so it was induced by *Penicillium*.

Keywords: Culinary waste, degradation, mold, identification, *Penicillium*, composting, comparison.

المخلص:

للفطريات دور مهم في تسميد التربة وتمعدنها كما ان البعض منها يحمي النباتات ويحفز نموها، ومع ذلك فان أنواع أخرى قد تكون ممرضة وتسبب الكثير من الأمراض للمحاصيل.

في هذا العمل قمنا بمقارنة بعض نفايات الطهي مع وبدون إضافة أنواع من جنس *Penicillium* وبالتحديد: *P.expansum*, *P.italicum*, *P.chrysogenum*.

أظهرت النتائج أن التحلل الطبيعي كان ابدا كما انه حفز نمو الفطريات الممرضة للنباتات هذه الأخيرة تتمثل في: *Fusarium oxysporum*, *Geotrichum candidum*, *Alternaria alternata* ومن جهة أخرى فان التحلل بإضافة أنواع *Penicillium* سمح بتقلص زمن التحلل ومنع ظهور الأنواع الممرضة للنباتات. ظهور *Aspergillus niger* و *Botrytis cinerea* خلال التحلل يدل على انهما لم يتأثرا بإضافة: *P. expansum* *P. italicum* و *P. chrysogenum* على عكس ذلك فان *Rhizopus nigricans* لم يظهر الا في التحليل الثاني، ما يدل على ان *Penicillium* هو الذي أدى الى تحفيز ظهوره.

الكلمات المفتاحية: نفايات الطهي، التحلل، الفطريات، التعرف، *Penicillium*، التسميد، المقارنة.