

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى أسطمبولي

معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Laboratoire de Recherche sur les systèmes Biologiques et Géomatiques (LRSBG)

THESE de DOCTORAT de 3^{ème} cycle

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Phytopharmacie et protection des végétaux

Intitulée

**Influence de la qualité des composts et leur
extrait sur la protection des plantes contre les
maladies fongiques**

Présentée par : Mm Merah Fatima

Devant le jury :

Présidente :	Mme RIGHI Assia Fatiha	Professeur	Université M. S. de Mascara
Examineur :	Mme BOUNGEB Karima	Professeur	Université M. S. de Mascara
Examineur :	M. RIGHI Kada	MCA	Université M. S. de Mascara
Examineur :	M. MOUTASSEM Dahou	MCA	Univ. Bordj Bou Arreridj
Encadreur :	M.BELABID Lakhdar	Professeur	Université M. S. de Mascara
Co-Encadreur :	Mme LAZREG Fatiha	MCA	Université M. S. de Mascara

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciment

Cette thèse a été réalisée au Laboratoire de Recherche sur les systèmes Biologiques et Géomatiques (LRSBG) de l'Université de Mascara, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et toute ma gratitude au Mr Hamimed A. De m'avoir accueilli dans son laboratoire et d'avoir assuré mon encadrement. Qu'il trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères et celle de mon profond respect.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes sincères remerciements à mon directeur de thèse Mrs. Le Professeur Belabid Lakhdar, pour avoir assuré la direction scientifique de ce travail et de m'avoir fait profiter de ses connaissances scientifiques. J'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de ce travail doctoral. Il a toujours su me faire confiance et m'apporter l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral. Il m'est agréable de pouvoir lui adresser mes vifs remerciements et immenses reconnaissances.

Je remercie très vivement Madame Lazreg Fatiha, pour l'honneur qu'elle m'a fait en Co-encadreur de cette thèse; qu'elle veuille bien trouver ici l'assurance de ma profonde gratitude. Fatiha, merci beaucoup pour ta présence, ton écoute et ton enthousiasme au quotidien. Merci de m'avoir épaulée dans la rédaction de ce manuscrit, et également pour ton aide précieuse lors du décorticage des résultats, de la rédaction d'articles. Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail. Qu'ils trouvent, à travers ce travail, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements vont également à Madame la professeur Righi Assia Fatiha, la responsable de la spécialité de Phytopharmacie et protection des végétaux, merci pour la confiance, pour le soutien et pour la bonne humeur.

J'adresse de nombreux mercis à Mr le Professeur Jose Sanchez, Mr Eduardo Galigo et Mr Khosé Antonio d'avoir réalisé les analyses chimiques des composts au niveau du laboratoire de département de Botanique et Giologie de l'université d'Almeria, Espagne. Qu'ils veuillent bien agréer l'expression de mon profond dévouement.

Enfin, que tous ceux, de près ou de loin, dont l'assistance ou les conseils m'ont permis de mener à bien ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et de mes salutations les plus respectueuses.

Dedicace

Je dédie cette thèse, le fruit de plusieurs années d'études
et de Sacrifices,

D'abord A mes parents ; mon très cher père, mon adorable
mère

A tous ceux que j'aime et spécialement

A mon mari Gherbi amine et mes adorables enfants

Islam et Sirine, à mes sœur Saliha, Meriem, Fatima, mes
nouveaux Wail, Noureddine, Habibo et mes nièces

Kheirour, Farah et Ilham

Que Dieu vous garde et vous protège. Amène.

Sommaire

Remerciement.....	I
Dedicace	II
Sommaire.....	III
Liste des planches	VIII
Liste d'abréviation.....	IX
Résumé	X
Introduction Générale	1
Partie 01 : Synthèse bibliographique	4
1.1. Généralités sur le compostage	4
1.2.Effet du compost sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol	5
1.3. Paramètres de caractérisation de compost	6
1.4. Les Types de compostage.....	20
1.5. Importance du compost	21
1.6. Principales phases du compostage.....	22
1.6.1. La phase mésophile (A).....	23
1.6.2. La phase thermophile (réchauffement) (B)	23
1.6.3. La phase de refroidissement (C).....	23
1.6.4. La phase de maturation (D)	23
1.7. Utilisation des composts et leurs extraits en phytoprotection	24
1.7.1. Effet suppressif des composts sur les maladies telluriques	24
1.7.2. Effet suppressif des extraits des composts sur les maladies foliaires.....	25
1.2.Généralités sur la tomate	26
1.2.1.L'origine de la tomate.....	26
1.2.2.La position taxonomique	26
1.2.3.La description botanique.....	26
1.2.4.Valeur nutritionnelle.....	30
1.2.5.Importance économique	31
1.2.6. La culture de la tomate dans le monde	31
1.2.7. Les maladies de la tomate	31
1.2.7.1. Le genre <i>Fusarium</i>	33

1.2.7.1.1. Classification et reproduction du genre <i>Fusarium</i>	34
1.2.7.2. Le genre <i>Alternaria</i>	38
1.2.7.2.1. Classification et reproduction du genre d' <i>Alternaria</i>	38
Partie 02 : Matériels et méthodes	43
2.2. Matériel végétal	43
2.3. Matériel fongique	43
2.3.1. Agents pathogènes telluriques	43
2.3.2. Agent pathogène foliaire	43
2.3.2.2. L'identification macroscopique et microscopique	44
2.4. Production des composts	44
2.6. Extraction aqueuse	48
2.7. Analyse physicochimique et biologique des composts	48
2.7.1. Analyse mycologique des composts préparés	48
2.7.1.1. Détermination de la population microbienne	48
2.7.1.2. Identification et caractérisation morphologiques des Champignons	49
2.7.1.3. Conservation des isolats	49
2.8. Analyse physicochimique des différents composts	49
2.8.1. Mesure du pH aqueux, la salinité et la matière sèche	49
2.8.2. Détermination de la teneur en matière organique	50
2.8.3. Purification des composés humiques des composts	50
2.8.4. Analyse des métaux lourds	50
2.8.5. Détermination de la composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X	50
2.9. Effet des extraits des composts vis-à-vis les agents pathogènes testés (test in vitro) . .	51
2.9.1. Effet des milieux de culture à base d'extraits des composts sur la croissance mycélienne, la sporulation et la germination	51
2.9.1.1. Préparation des milieux de cultures	51
2.9.1.2. Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne	51
2.9.1.3. Effet sur la sporulation	51
2.9.1.4. Effet sur la germination des conidies	52
2.10.1. Test de phytotoxicité des composts choisis	52
2.10.1. Effet sur des maladies telluriques	53
2.10.1.1. Contamination du sol	53
2.10.2. Tests de suppression des maladies Foliaires	53
2.10.2.1. Préparation de l'inoculum	53

2.10.2.2. Test préventive :	54
II.8. Analyses statistiques	55
Partie 03 : Résultats et discussions	57
3.1. Analyse physico-chimiques et biologiques des composts préparés	57
3.1.1. Caractérisation physiques des composts	57
3.1.2. Analyse biologique des composts préparés	61
3.1.2.1. Détermination de la charge fongique des composts préparés	62
3.1.3. Analyse chimiques des composts	68
3.1.3.1 Taux des acides humiques et fulviques	72
3.1.3.2. Taux d'humidité	72
3.1.3.3. Détermination des métaux lourds	73
3.1.3.4. Détermination de la composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X (XRF)	74
3.2. Étude de l'effet des extraits des composts sur les caractères biologiques des agents pathogènes telluriques (<i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium acuminatum</i>) et foliaire (<i>Alternaria sp</i>) (Test in vitro)	86
3.2.1. Caractérisation des agents pathogènes	86
3.2.2. Effet des milieux de culture à base des extraits de composts sur la croissance mycélienne	89
3.2.3. Effet sur la sporulation	92
III.2.4. Effet sur la germination des conidies	95
3.3.1. Tests de suppression des maladies telluriques	100
3.3. Effet suppressif des extraits des cinq composts sur la maladie foliaire causé par <i>Alternaria sp</i>	104
Conclusion Générale et Perspectives	111
Référence bibliographique	114
Annexes	131

Liste des tableaux

Tableau 1: Micro-organismes contribuant au compostage (Mustin, 1987).....	7
Tableau 2 : Critères de qualité pour les amendements organiques d'origine déchets ménagers NFU 44051 (2006, France) (Charnay, 2005).	15
Tableau 3 : Limites normatives en métaux lourds (mg/Kg Ms) dans les composts (El fel, 2014).	16
Tableau 4: Teneurs en ETM (mg/kg MS) dans différents composts (Toundou, 2016).....	17
Tableau 5: Paramètres de stabilité et de maturité (en %) (Charnay, 2005).	22
Tableau 6. La valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de tomate crue (Bernardin, 1985).	30
Tableau 7. La production annuelle de tomate par pays en milliers de tonnes (FAO, 2014).	31
Tableau 8 :Les principales maladies fongiques de la tomate (Naika <i>et al.</i> ,2005).	32
Tableau 9: La charge fongique d'espèces apparues dans les différentes des composts.	64
Tableau 10: Le Fréquence d'isolement d'espèces apparues dans les différentes des composts	68
Tableau 11: Propriétés physico-chimiques des composts testés	71
Tableau 12: Les taux des acides humiques et fulviques des cinq composts.....	72
Tableau 13: Le taux d'humidité présentés dans les cinq composts.....	73
Tableau 14: Les métaux lourds présentant dans les cinq composts mg/Kg	74
Tableau 15: Composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X des 05 composts	75
Tableau 16: Effet des milieux de cultures à base d'extraits des composts sur la croissance mycélienne des isolats testés.	90
Tableau 17: L'effet des milieux de culture à base d'extraits des composts testés sur l'inhibition de la sporulation des isolats testés.	93
Tableau 18: L'effet de l'extrait de compost sur la germination des conidies.....	95
Tableau 19: Effet in vivo des cinq composts sur l'inhibition de l'incidence des maladies (IM) telluriques (<i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium acuminatum</i>).	101
Tableau 20: Effet in vivo des cinq extraits des composts sur l'inhibition de l'incidence des maladies (IM) vis-à-vis <i>Alternaria sp.</i>	104

Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique de l'influence des différents paramètres physico-chimiques du compostage (Lashermes, 2010).....	10
Figure 2: Variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).	11
Figure 3: Évolution de la température lors du processus de compostage (Noel, 2002).	12
Figure 4 : Besoins en oxygène pendant les étapes du compostage (Tahraoui, 2013).	14
Figure 5. Fractionnement de la matière organique du compost (Som, 2006).	19
Figure 6. Les différentes phases du compostage, A : phase mésophile; B : phase thermophile; C : phase de refroidissement; D : phase de maturation (Blackburn Lefebvr, 2010).....	24
Figure 7. Vue générale d'une plante de tomate arrivée à maturité.	28
Figure 8. Les feuilles de tomate.....	29
Figure 9. La fleur de tomate.	29
Figure 10. Les fruits de tomate	29
Figure 11. Les graines de tomate.....	29
Figure 12 : Jaunissement et flétrissement des feuilles basses de tomate causé par <i>F. solani</i> (Blancard, 2009).	37
Figure 13. Chancre brun foncé du collet causé par <i>F. solani</i> (Blancard, 2009).	37
Figure 14. Fonte de semis causé par <i>F. acuminatum</i> au niveau des racines de la tomate (Blancard, 2009).	37
Figure 15 : Représentation des différents stades de développement des spores et conidiophores d' <i>Alternaria sp</i> (Taralova <i>et al.</i> , 2011).	39
Figure 16 : Lésions sur les tiges de tomate.....	41
Figure 17 : Taches sur foliole de tomate.....	41
Figure 18 : Lésions sur fruit de tomate (Patriarca et Pinto, 2018).	41
Figure 19: Composition des différents composts testés	47

Liste des planches

Planche 1. Description des différents composts préparés.....	59
Planche 2. Description des différents composts fournis.....	60
Planche 3: Observation macroscopique et microscopiques des agents pathogènes testés telluriques et foliaire.	88
Planche 4 : Effet des cinq composts choisis sur l'incidence de la maladie (IM) et leur suppression contre les maladies telluriques.....	103
Planche 5. Effet des cinq extraits des composts testés sur l'incidence de la maladie (IM) et leur suppression contre <i>l'Alternaria sp</i> par le test curatif et préventif.	106

Liste d'abréviation

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise des Energies
AFNOR	Association Française de Normalisation
AH	Acide humique
AF	Acide fulvique
A.R.M.C.A.N.Z	Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand.
BNQ	Bureau de Normalisation du Québec.
COT	Carbone organique total
EC	Conductivité électrique
ETM	Élément Trace Métallique
FAO	Food and Agriculture Organisation
H%	Pourcentage d'Humidité
IG	Inhibition de la germination
MEC	Milieu a base d'extrait de compost
MECG	Milieu a base d'extrait de compost avec glucose
MECSG	Milieu a base d'extrait de compost son glucose
MEA	Malt Extract Agar
MB	Matière Brute
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
MM	Matière minérale
NF	Norme Française
NT	Nombre des conidies germées chez le témoin
NPA	Nombre de conidie germées en présence du compost
NPK	Eléments minéraux, Azote, Phosphore et Potassium
PDA	Potato Dextrose Agar
pH	Potentiel Hydrogène
PI	Poucentage d'inhibition
ST	Nombre des spores chez le témoin
STA	Nombre de spores en présence de compost
UFC	Unité Formant Coloni

Résumé

Le présent travail a pour objectif de caractériser la qualité physicochimique et biologique de divers composts et tester leur pouvoir phytoprotecteur contre trois agents pathogènes *Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum* et *Alternaria sp.* L'analyse biologique a révélé que ces composts renferment une communauté importante et diversifiée de champignons. La charge fongique des espèces trouvés dans deux milieux de cultures (PDA et MEA) et deux températures d'incubations (25°C et 30°C) est *Trichoderma sp* (entre 0.55×10^4 UFC/g MS et 2.56×10^4 UFC/g MS), *Penicillium sp* (entre 0.30×10^4 UFC /g MS et 1.53×10^4 UFC /g MS), *Mucor sp* (0.19×10^4 UFC /g MS et 1.78×10^4 UFC /g MS), *Cladosporium sp* (entre 0.27×10^4 UFC /g MS et 1.27×10^4 UFC /g MS), *Aspergillus sp* (entre 0.22×10^4 UFC /g MS et 1.58×10^4 UFC /g MS), et *Fusarium sp* (entre 0.33×10^4 UFC /g MS et 2.12×10^4 UFC /g MS). La fréquence d'appariation de ces espaces est très importante avec 65%, 67%, 66%, 53%, 62% et 45% respectivement. Les résultats obtenus montrent que la conduite du processus de compostage ainsi que l'âge de composts influencent leur qualité biologique. D'autre part les analyses physico-chimiques ont indiqué la bonne qualité de nos composts. Les concentrations des acides humiques AH dans les cinq composts analysés est varié entre 0.7 et 3.5. Les concentrations en métaux lourds dans les cinq composts analysés (A-02, C-01, O-02, D-02, E-02) ont montré que ces composts ont des teneurs tolérantes aux normes. De même les teneurs totaux en éléments traces métalliques (ETM) telle que; B, Pb, Cd, Cr sont détecté avec des valeurs faibles. Ces faibles valeurs s'indiquent une bonne décomposition de la matière organique pendant le compostage. La présence des oligo-éléments (Fer, Mg, Zn, etc. ...) et les macroéléments telle que N, P, K, dans les cinq composts choisis ont confirmé aussi la maturité de nos composts. Les tests *in vitro* ont montré que les milieux culture à base des extraits de compost sans glucose et stérilisés à 80°C ont inhibé fortement la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des spores des trois champignons testés. Les résultats du test *in vivo* ont montré une réduction très importante de l'incidence de la maladie de la fonte de semis qui varie entre 25 et 35%. De même, les résultats obtenus pour les deux tests préventifs et curatifs ont réduit les taches foliaires causées par *Alternaria sp* avec des pourcentages qui varient entre 12% et 33% respectivement.

Mots clés : Composts, analyse physico-chimique, analyse biologique, fusariose, alternariose, incidence de la maladie.

Abstract:

The ultimate goal of this study is to evaluate the physicochemical and biological properties of compost and their effect in controlling pathogenic fungi (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*, *Alternaria sp*). The biological analysis of our compost has clearly demonstrated different genres of microbial population in our compost. The apparition of the fungal species on two culture media (PDA MEA) and two incubation temperatures (25°C et 30°C) were *Trichoderma sp* (between 0.55×10^4 UFC/g MS and 2.56×10^4 UFC/g MS), *Penicillium sp* (between 0.30×10^4 UFC /g MS and 1.53×10^4 UFC /g MS), *Mucor sp* (0.19×10^4 UFC /g MS and 1.78×10^4 UFC /g MS), *Cladosporium sp* (between 0.27×10^4 UFC /g MS and 1.27×10^4 UFC /g MS), *Aspergillus sp* (between 0.22×10^4 UFC /g MS and 1.58×10^4 UFC /g MS), et *Fusarium sp* (between 0.33×10^4 UFC /g MS and 2.12×10^4 UFC /g MS). The frequency of appearance of these species is very important with 65%, 67%, 66%, 53%, 62% and 45% respectively. The physicochemical tests confirmed a good biodegradation of organic matter, an different value of pH, and dry matter. These results indicated the good quality of our composts. The concentrations of humic acids HA in the five selected composts was between 0.7 and 3.5. The toxic metallic elements analysis in the five composts (A-02, C-01, O-02, D-02 and E-02) showed tolerant value of these elements. The metallic trace elements such as B, Pb, Cd and Cr were detected with low value, these values indicate a good decomposition of organic matter during composting process. The presence of fertilizing elements (Fer, Mg, Zn, ext ...) and the macro-elements (N, P, and K) for the selected composts confirmed the maturity of our composts. The medias prepared from the compost extract without glucose and sterilized at 80°C have maximum inhibition in mycelial growth, sporulation and germination of conidia of *F. solani*, *F. acuminatum* and *Alternaria sp*. These composts and their extract were evaluated for thier effectness in vivo to protect tomato plants against damping-off and leafs disease. The disease incidence was dimuniated to 25% and 35% that caused by damping off disease. In the same the preventive and curative control by compost extract have reduced the foliar disease incidence with 12% and 33%.

Keywords: compost, physicochemical characters, biological characters, disease incidence, damping-off, leafs disease.

الملخص

يهدف عملنا إلى التحليل الفيزيائي والكيميائي والبيولوجي لمجموعة من السماد العضوي المنتج من قبلنا كما تم اختبار درجة قوته في الحماية ضد ثلاث عزولات ممرضة، (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*, *Alternaria sp*) ، إن الاختبار البيولوجي لهذه الأسمدة العضوية على وجود أنواع من الفطريات على وسطي العزل PDA و MEA عند درجة حرارة الحضانة 5-30°C ، حيث تم الحصول على: *Trichoderma sp* (بين $10^4 \times$ UFC/g MS و $10^4 \times$ JFC/g MS) ، *Penicillium sp* (بين $10^4 \times$ JFC/g MS و $10^4 \times$ UFC/g MS) ، *Mucor sp* (بين $10^4 \times$ JFC/g MS و $10^4 \times$ UFC/g MS) ، *Aspergillus sp* (بين $10^4 \times$ UFC/g MS و $10^4 \times$ JFC/g MS) ، *Fusarium sp* (بين $10^4 \times$ JFC/g MS و $10^4 \times$ UFC/g MS) ، نسبة ظهور هذه الفطريات كانت بنسب 53%، 62%، 53%، 66%، 67%، 5% و 15% ، ن الاختلاف في ظهور هذه النسب لهذه الفطريات راجع لعامل المكونات الأساسية للسماد وكذا مدة تخمره كما أثبتت التحاليل الفيزيائية والكيميائية لهذه الأسمدة على جودتها. ان نسبة الأحماض AH في خمسة الأسمدة العضوية المختار تراوحت ما بين 0.7% و 3.5% ، إن تركيز نسبة المعادن الثقيلة في الخمسة الأسمدة العضوية المختارة تواجدت نسب معادلة في المعايير العالم ، إن النسب المنخفضة لـ 3، ٦، ٧، ٨، تسير إلى تحليل الجيد للمواد العضوية ، كما أظهرت نتائج التحليلي NPK على إنها مفيدة للتسميد . أوساط الزرع المنتجة المستخلص للسماد العضوي بعد إضافة مادة الغلوكوز وانعدامها في أخرى وتعقيمها على درجات الحرارة 80 °C -120 °C أكدت على أن أوساط الزرع بانعدام الغلوكوز والمعقمة عند 80°C لها تأثير على نمو الفطر وتبوغه و تناس الأبواغ للعزلات الثلاثة . ان إضافة السماد بعد حقن التراب بالعزلات الممرضة أدت إلى انخفاض نسبة المرض ب 25% و 35% إن العلاج الوقائي أدى إلى نقصان نسبة المرض لتقع الأوراق من 12% و 33% .

الكلمات المفتاحية : التحليل الفيزيائي والكيميائي ؛ التحليل البيولوجي؛ نسبة المرض؛ التعفن؛ تبقع الأوراق.

Introduction

I

Générale

Introduction Générale

La technologie du compostage constitue une filière écologique de valorisation des déchets organiques. Cette stabilisation représente une succession de phases mésophile, thermophile et de refroidissement, conditionnée par la présence d'une large diversité microbienne active (Ben Ayed *et al.*, 2005). Cette opération de dégradation biologique est probablement la meilleure méthode pour traiter les déchets donnant un amendement fini et fiable utilisable à des fins agricole (Sayara *et al.*, 2020 ; Sulewski *et al.*, 2021). L'analyse des propriétés biologiques des composts est donc nécessaire à savoir la population microbienne qui intervient dans le processus de dégradation. Les composts sont donc des sources très riches en microorganismes, incluant des bactéries, des champignons qui peuvent présenter des outils performant de dégradation (Haderlein *et al.*, 2006).

L'apport de compost sur les sols agricoles permet d'entretenir leur statut organique, c'est-à-dire la quantité et la qualité de la matière organique endogène susceptible de conditionner leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (Rdziemska et Zbigniew, 2015). Ce processus sert à transformer les déchets organiques en un produit stable et riche en humus appelé compost (Ayilara *et al.*, 2020).

Le compost peut jouer aussi un rôle fondamental dans la gestion économique afin de réactiver une vie microbiologique équilibrée (Al- Rumaihi *et al.*, 2020).

Plusieurs raisons justifient le choix des composts et leurs extraits dans la lutte contre les maladies fongiques. En effet, ils restreignent ou éliminent l'utilisation des pesticides chimiques, diminuent les risques de développer de la résistance, ont une plus grande spécificité d'action et sont efficaces à des quantités très faibles. Par ailleurs, ils améliorent la qualité de vie des travailleurs agricoles, n'exigent pas de délai requis avant récolte, offrent aux consommateurs des produits sains qui ont une meilleure presse auprès des consommateurs. Ils se dégradent rapidement diminuant ainsi le risque de pollution.

Dans ce cadre, le travail présenté dans cette thèse a pour objectifs :

1. Production des composts.
2. L'analyse physico-chimique et mycologique des composts fabriqués.
3. L'effet inhibiteur *in vitro* des extraits de composts sur la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des conidies sur *Fusarium solani*, *F. acuminatum* et *Alternaria sp.*

Introduction Générale

4. L'effet in vivo des composts choisis sur l'incidence des maladies de la pourriture racinaire causée par *F. solani* et la fonte de semis causée par *F. acuminatum*
5. L'effet préventif et curatif des extraits des composts sur l'alternariose causée par *Alternaria sp.*

Partie	1
	Synthèse bibliographique

Partie 01 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralités sur le compostage

Le compostage est une fabrication d'amendement organique qui peut intervenir dans le domaine de l'innovation et de la biotechnologie. Bien que ce dernier se réalise de lui-même dans la nature, le produit ainsi obtenu a des propriétés différentes en fonction de la nature du substrat et du phénomène de fermentation. Ces transformations s'accompagnent de modifications physico-chimiques et biologiques, afin d'obtenir un compost de meilleure qualité (Charnay, 2005).

Le compostage est un processus naturel de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies (FAO, 2005 ; Atalia *et al.*, 2015 ; Ayilara *et al.*, 2020). Différentes communautés de micro-organismes principalement les champignons, bactéries sont activement au cours du processus de compostage avec des intensités variables en fonction de la température, la teneur en humidité, le ratio C/N et la nature des matières organiques (Mustin, 1987 ; Hassen *et al.*, 2001).

Le compost a un effet suppressif et protecteur contre les maladies des plantes (fongiques et bactériennes) dont ce dernier s'est montré comme un produit alternatif d'une importance capitale sur le plan économique et commerciale (Znaidi, 2002).

Les composts qui en résultent du processus de compostage sont riche en substances humiques, permet donc à la fois d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et de fournir par voie de minéralisation des éléments nutritifs assimilables par les plantes cultivées (Soudi, 2001).

Selon les statistiques réalisées par Ademe (2006) les installations de compostage ont une capacité moyenne de 10 000 tonnes par an. Le compostage connaît depuis quelques années une croissance importante notamment par le développement du compostage des déchets verts. Environ, 2,1 millions de tonnes de compost sont produit en 2010 à partir d'un flux annuel estimé à 6,2 millions de tonnes de déchets organiques (déchets verts, boues d'épuration et fraction organique des ordures ménagères résiduelles) (source: enquête ITOM 2010), 820 plates-formes de compostage, d'une capacité moyenne de 10 000 tonnes par an, traitaient 6 millions de tonnes de déchets par an (dont 4 Mt de déchets verts et 1 Mt de boues brutes). Quant aux bio déchets des ménages collectés séparément (déchets de cuisine et

déchets verts), ils représentaient en 2011, 1,3 Mt dont moins de 52 000 t contenant des déchets de cuisine (source : enquête collecte 2011).

1.2.Effet du compost sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol

Plusieurs études ont montré l'incorporation de compost au sol et leurs impacts sur les qualités physiques, chimiques et biologiques. Cependant les observations des effets positifs des composts sur les propriétés physiques du sol nécessitent de fortes apports afin de suivre les changements que le sol va subir.

Le traitement du sol par le compost se traduit par plusieurs changements directs ou indirects sur ses propriétés physico-chimiques. Ces changements aboutissent à augmenter la stabilité des agrégats du sol, ainsi que la teneur de la matière organique, améliorant ainsi sa structure et enfin, enrichir le sol par des acides humiques stables (Serra *et al.*, 1995), et aussi l'élévation de la teneur en carbone organique et de l'azote total (Landes *et al.*, 2002). En outre l'addition de compost améliore la structure du sol liée à l'amélioration de la stabilité des agrégats (Timmermann *et al.*, 1999). L'ajout de compost à un sol permet de réduire les teneurs des polluants métalliques par rapport au même sol non amendé et l'augmentation de la rétention en eau avec 58%-86% pour les sols amendés par le compost ce qui résulte l'augmentation de la porosité (Bolan *et al.*, 2003).

L'utilisation des composts en agriculture permet donc d'améliorer la fertilité du sol. De nombreuses études ont mis en évidence des gains qualitatifs et quantitatifs pour les cultures. Cette amélioration semble résulter davantage de l'effet de l'apport organique sur le sol, que d'un apport en éléments nutritifs (Francou, 2003). L'activité biologique des sols et l'apparition de résistances à certaines maladies des plantes a également été observée (Serra *et al.*, 1995).

Le compostage est un traitement biologique des déchets organiques permettant d'améliorer la structure du sol, la présence d'une succession de communautés microbiennes au cours de compostage est donc nécessaire afin d'assurer la décomposition de la matière organique, dont, les bactéries, les actinomycètes, les champignons, les protozoaires sont les principaux micro-organismes qui interviennent à améliorer et enrichir le sol (Mustin, 1987).

Cependant, l'action du compost sur la santé des plantes se traduit par une réduction des maladies telluriques et foliaires, cette action est due essentiellement à sa microflore bénéfique, l'incorporation de ces microorganismes au sol améliore ses propriétés biologiques et texturales, avec une augmentation des rendements de cultures (Hoitink et Grebus, 1994).

1.3. Paramètres de caractérisation de compost

La population microbienne est associée aux composts qui assurent la transformation de la matière organique (Tableau 01), dont: les bactéries, les champignons et la faune du sol (insectes, vers de terre) (Koledzi, 2011). L'ensemble des microorganismes sont actifs durant tout le processus et en particulier à haute température. Elles se multiplient très rapidement et un grand nombre d'espèces différentes permet de gérer tous résidus organiques (Arcanjo *et al.*, 2010). Les actinomycètes sont la troisième classe majeure des micro-organismes qui habitent dans le compost, alors que les actinomycètes interviennent davantage en phase thermophile, ces derniers apparaissent essentiellement lors de la phase thermophile et celle de maturation (Mustin, 1987). Les actinomycètes sont des agents essentiels de la lignocellulolyse, bien que leur capacité de dégrader la cellulose et la lignine (Tuomela *et al.*, 2000). En outre les champignons sont les plus prolifiques de tous les micro-organismes en tant que producteurs des antibiotiques et les enzymes (Noel, 2002).

En particulier, la température est l'un des facteurs les plus importants affectant la croissance fongique en présence des sources de carbone et d'azote et le pH. Un niveau modérément élevé d'azote est nécessaire pour la croissance fongique (El fels, 2014).

Les champignons qui agissent surtout sur les matières qui résistent aux bactéries ont donc un rôle important. Ils ne peuvent survivre face à des températures supérieures à 50°C. Cependant les bactéries sont toujours présentes dans la matière première et largement dominante en qualité et quantité au cours du compostage (Arcanjo *et al.*, 2010).

Tableau 1: Micro-organismes contribuant au compostage (Mustin, 1987).

Groupes	Caractéristiques et commentaires	Nombre d'espèces
Bactéries	<ul style="list-style-type: none"> -Toujours présente dans les composts et largement dominante en qualité et en quantité. -Forte croissance si C/N est faible et l'humidité est élevée. -Large spectre d'activité sur une large gamme de pH . 	800 à 1000 espèces au minimum.
Champignons	<ul style="list-style-type: none"> -Dominants si C/N est élevé (dégradation de la cellulose et de lignine). -Capable de croître avec des taux d'humidité plus bas. -Tolérance d'une large gamme de pH. 	Plusieurs dizaines de milliers d'espèces.
Actinomycètes	<ul style="list-style-type: none"> -Attaquent des substances non dégradées par les bactéries et les champignons. -Neutrophiles. -Développement dans les phases finales du compost. 	Plusieurs dizaines d'espèces.
Algues	<p>Organisme chlorophylliens.</p> <p>Retrouvés en surface et dans les premiers centimètres de la couche superficielle.</p> <p>Utilisant des sels minéraux.</p>	Plusieurs dizaines d'espèces.
Protozoaire	<ul style="list-style-type: none"> -Grand groupe hétérogène d'unicellulaires mobiles de petites tailles. -Procaryotes proches des bactéries. -Abondance avec une activité des bactéries. 	Plusieurs dizaines.

La détermination de la qualité d'un compost se fait par une observation visuelle, en outre Schleiss *et al.* (2002) montrent que la structure permet d'apprécier le degré de décomposition et de maturité d'un produit du fait que la couleur du compost varie d'un compost à l'autre selon leur composition, cependant la nature du substrat et les matériaux compostés ont une grande importance pour déterminer la structure du produit. Ce critère n'est cependant pratiquement plus utilisé pour déterminer la qualité du compost (Berner et Bieri, 1991). Par contre, un critère très important pour la qualité est l'évolution de la température pendant le processus de compostage. En effet, on peut dire que le paramètre physique est un indice primaire pour évaluer la qualité du produit.

La caractérisation chimique du compost (Figure 01). Ces derniers permettent d'estimer sa valeur agronomique et sa teneur en macro éléments fertilisants afin d'assurer une bonne nutrition des plantes en mettant en évidence son degré de toxicité par des métaux lourds. Les principaux paramètres du compostage sont ceux qui conditionnent le métabolisme microbien et la décomposition biologique: le pH, la température et l'humidité (Lashermes, 2010).

Le pH est l'un des premiers indicateurs chimiques de la maturité du compost. Les pH acides caractérisent des composts immatures tandis que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 7 et 9 (Avnimelech *et al.*, 1996). Des travaux ont montré que la phase acidogène se produit au début du processus de dégradation par la production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO₂) par les bactéries acidogènes ainsi la décomposition de la matière carbonée complexe, qui résulte d'une diminution du pH initial. La seconde phase correspond à une alcalinisation par une hydrolyse bactérienne de l'azote avec la production d'ammoniac (NH₃) associée à la dégradation de protéines et à la décomposition d'acides organiques (Charnay, 2005). Le suivi de ce paramètre est un indicateur essentiel du degré de décomposition biochimique et biologique de la MO (Sanchez-Monedero *et al.*, 2001). Dont il a été prouvé que la phase acidogène est difficilement observable. Atalia *et al.* (2015) ont confirmé aussi que la décomposition biologique des déchets organiques au cours de compostage nécessite une accélération efficace avec un pH compris entre 6.0 et 7.5.

Plusieurs travaux ont mis en évidence une phase d'acidification en début de compostage, cette phase est principalement due à la production anaérobie d'acides organiques

et à l'immobilisation de l'ammonium dans la biomasse microbienne durant la phase mésophile.

Ensuite, durant la phase thermophile, les acides organiques sont dégradés entraînant ainsi une alcalinisation du compost (Francou, 2003). Lorsque le pH est trop basique, une quantité d'ammoniac est générée et risque d'être perdue dans l'atmosphère, ce qui influe sur la qualité du compost (Misra *et al.*, 2005).

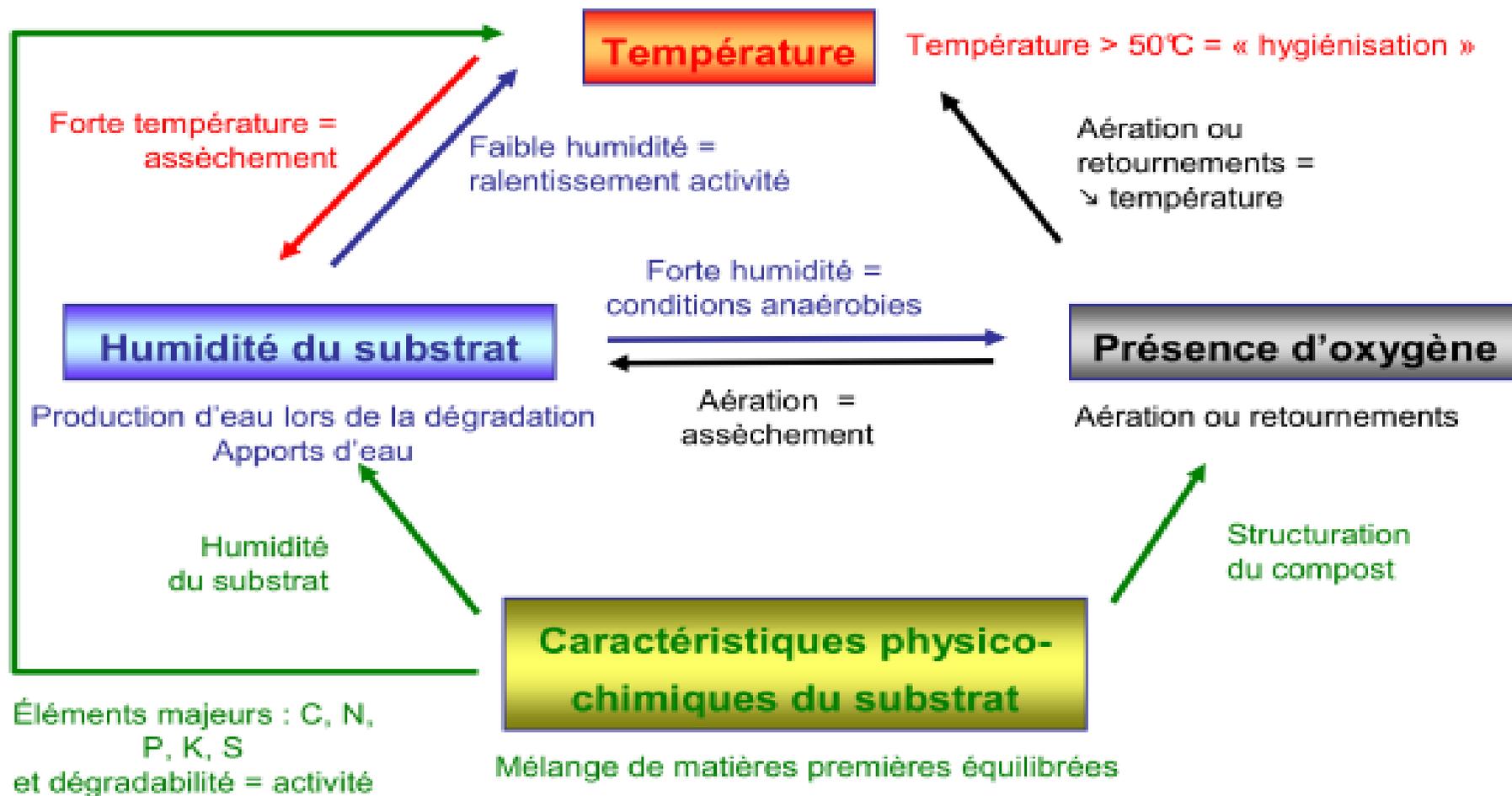


Figure 1 : Représentation schématique de l'influence des différents paramètres physico-chimiques du compostage (Lashermes, 2010)

Selon Mustin (1987) les équilibres acido-basiques du pH passent par plusieurs phases (Figure 2):

- ❖ Phase I, phase acidogène: le pH diminue avec la production de CO_2 et l'apparition d'acides organiques en fin de phase correspondant au début de la phase thermophile.
- ❖ Phase II, phase d'alcalinisation: le pH augmente, hydrolyse de l'azote protéique et organique avec production de NH_3 , flore thermophile dominante.
- ❖ Phase III, phase de stabilisation du pH: le rapport C/N diminue, les réactions sont lentes.
- ❖ Phase IV, le pH est stable: l'humus joue un rôle tampon (Figure 02).

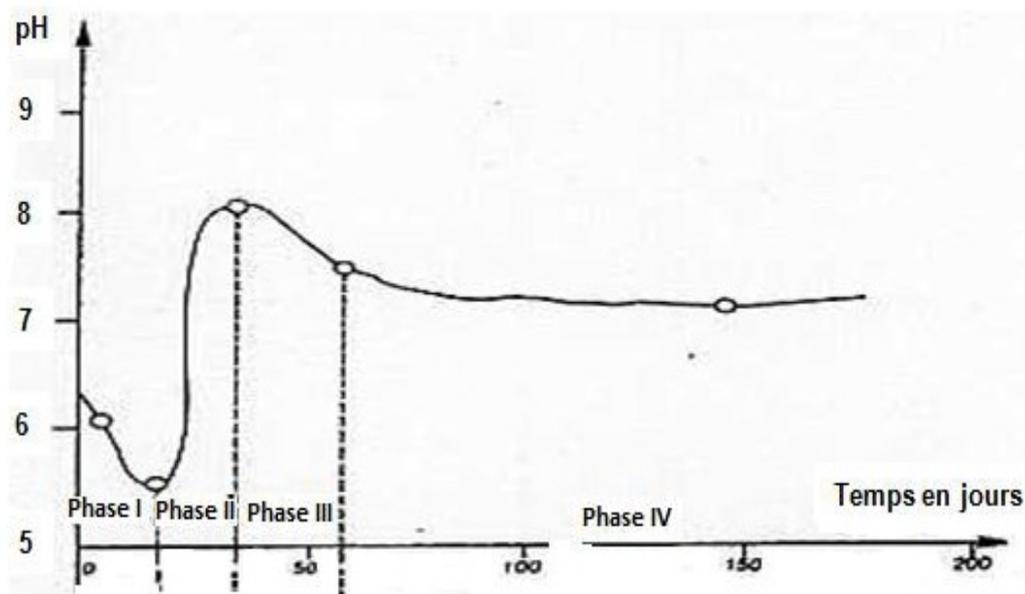


Figure 2: Variation du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).

Le suivi de la température est une mesure indirecte de l'intensité des dégradations (Figure 3). Il renseigne également sur la qualité du processus de décomposition (Charnay, 2005). Dès le début du compostage, la température s'élève rapidement. En effet, les dégradations aérobies dégagent de la chaleur, au cours du compostage, les variations de température font succéder des populations de micro-organismes qui dégradent la matière organique. La hausse de la température est déterminante sur la qualité du compost (Misra *et al.*, 2005).

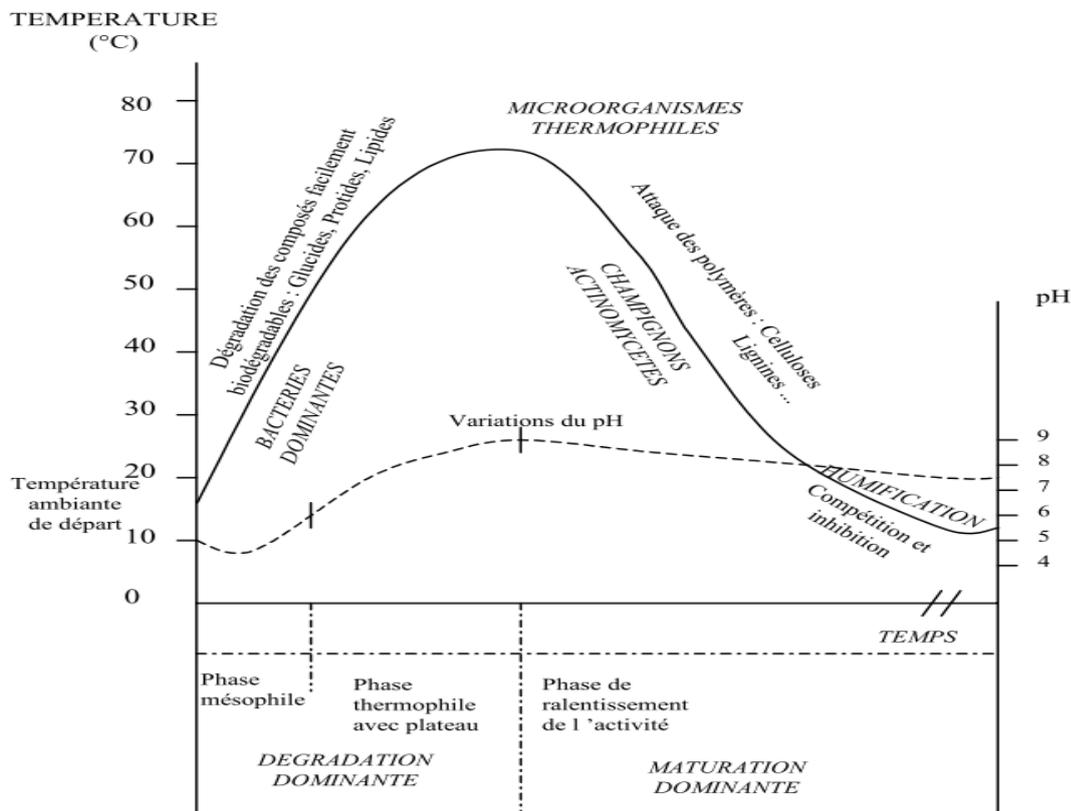


Figure 3: Évolution de la température lors du processus de compostage (Noel, 2002).

L'humidité est un facteur indispensable à la décomposition des substrats, si la teneur en eau est en dessous de 20%, la décomposition sera inhibée. L'optimum de la teneur en eau se situe entre 40% et 60%. Une partie d'énergie calorifique dégagée lors du compostage sert à l'évaporation de l'eau qui est en grande partie évacuée à l'extérieur du compost, provoquant son assèchement (Richard *et al.*, 2002). Cependant, la teneur en eau au cours de compostage conditionne l'activité des micro-organismes. La teneur optimale dépend de la densité du milieu, qui en fonction de l'état physique et de la nature du substrat. Elle est sensible à deux phénomènes ayant des effets complémentaires: d'une part, la dégradation de la matière organique provoquant une libération d'eau et d'autre part, une évaporation de l'eau sous l'effet de l'énergie calorifique libérée par la fermentation (Charnay, 2005). Pour compenser une perte excessive en eau qui limiterait l'activité microbienne, un arrosage est souvent réalisé (El fel, 2014), donc l'humidité est nécessaire à la vie des microflore. Francou (2003) rapporte que la teneur en eau du substrat conditionne les échanges d'oxygène (aération) et l'activité des micro-organismes. Ainsi que lorsque la teneur en eau baisse en dessous de 20 % cela

provoque l'inhibition de la biodégradation. Néanmoins l'augmentation de la teneur en eau (70 %) favorise l'anaérobiose donc l'optimum de teneur en eau se situe entre 40 % et 60 % (Tiquia, 2010).

La minéralisation de la MO entraîne une diminution des teneurs en MO au cours du compostage. Cette diminution relative de la MO (rapport entre la masse de MO perdue et la masse de MO initiale) est donc très variable et dépend des conditions de compostage et de sa durée. Les pertes peuvent atteindre 20 à 60% de la MO initiale (Atkinson *et al.*, 1996). En outre, Francou (2003) a évalué que la MO au cours du compostage peut être décrite en deux phases:

- Une phase de dégradation intense de la matière organique.
- Une phase de maturation lors de laquelle la matière organique se réorganise sous forme de macromolécules organiques, semblables aux substances humiques, sous l'effet d'une activité microbienne résiduelle (Lashermes, 2010).

L'aération est la base du processus de compostage, par ailleurs le maintien de bonnes conditions d'aération du compost permet d'éviter les phénomènes de fermentation et les odeurs désagréables (Noel, 2002). En outre, pour que les colonies de bactéries aérobies demeurent vivantes, il est important qu'il y ait présence d'oxygène. En absence de ce paramètre, d'autres bactéries prennent le relais. Il s'agit donc des bactéries anaérobies qui produisent du méthane, responsable des mauvaises odeurs. Le retournement régulier de compost permet de l'aérer (Blackburn Lefebvre, 2010). La circulation de l'air à l'intérieur de mélange au cours de compostage est importante, elle permet les échanges gazeux et évite l'asphyxie due au gaz carbonique. Donc, la ré-oxygénation est la base pour obtenir un produit avec une activité microbienne suffisante (Tahraoui, 2013).

Il est important de connaître le rapport C/N initial des déchets afin de constituer un mélange optimal pour le compostage afin d'assurer une dégradation idéale et homogène sur l'ensemble du processus. Cette opération favorise la décomposition des populations microbiennes suivies par une consommation de l'azote et du carbone suivi par une diminution du rapport C/N, les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Ce rapport exprime la proportion entre le carbone et l'azote (Charnay, 2005).

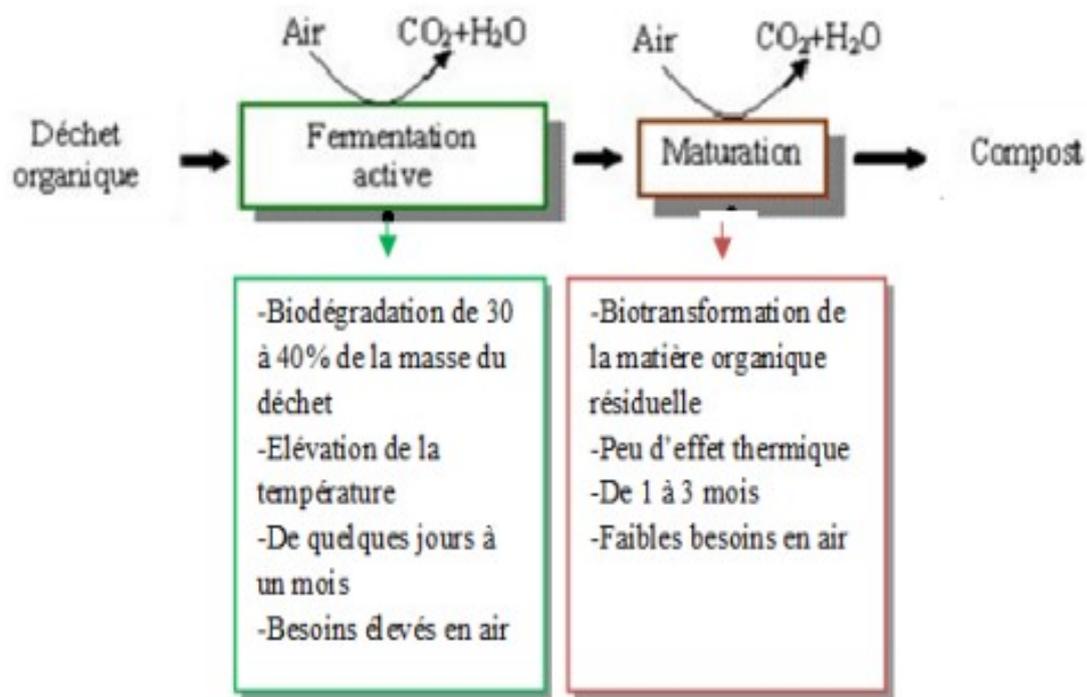


Figure 4 : Besoins en oxygène pendant les étapes du compostage (Tahraoui, 2013).

Le carbone organique est l'un des principaux constituants des déchets organiques compostés. Le carbone total est composé du carbone organique total (COT) et du carbone minéral sous forme de carbonates et bicarbonates, ce dernier représente généralement plus de 90% du carbone total des composts. La teneur en carbone diminue au cours du compostage à cause de la minéralisation des substances organiques par les microorganismes qui utilisent du C pour leur métabolisme. En parallèle, la teneur en N total augmente ce qui explique que les formes d'azote minéral sont des critères importants permettant de déterminer la qualité et la maturité des composts donc il en résulte généralement une diminution du rapport C/N au cours du compostage (Francou, 2003).

En outre l'utilisation de normes européennes est le seul moyen de vérifier la qualité de compost à usage agricole (Tableau 2). En France, la nouvelle version de la norme NFU 44-051 de 2006 fixe des limites précises pour les amendements organiques.

Tableau 2 : Critères de qualité pour les amendements organiques d'origine déchets ménagers NFU 44051 (2006, France) (Charnay, 2005).

Critères	Unité	Limité
Matières organiques	% MB	> 20
Indésirable		
Films et PS > 5mm		< 0.3
Autres plastiques > 5mm	% MS	< 0.8
Verres et métaux > 2mm		< 2
ETM	mg/kg MS	
As	18	
Cd	3	
Cr	120	
Cu	300	
Hg	2	
Ni	60	
Pb	120	
Se	12	
Zn	600	

Tableau 3 : Limites normatives en métaux lourds (mg/Kg Ms) dans les composts (El fel, 2014).

Pays	Norme	Classe	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Allemagne	Bio déchet		-	1	70	70	0.7	35	100	300
Australie	ARMCANZ*	Biodéch et	20	3	400	200	1	60	200	250
Autriche	Compost	A+	-	0.7	70	70	0.4	25	45	200
		B	-	1	70	150	0.7	60	120	500
		B	-	3	250	500	3	100	200	1800
Canada	BNQ**	AA, A	13	3	210	100	0.8	62	150	500
France	NFU 44-054	Compost urbain	18	3	120	300	2	60	180	600
Pays Bas		Compost urbain	5	0.7	50	25	0.2	10	65	75
		Compost très propre	15	1	50	60	0.3	20	100	200
Ecolabel	2001/688/EC	-	10	1	100	100	1	50	100	300
Charte Qualité	Cérafel	-	-	1	100	300	1	50	100	600

Les teneurs limites en cadmium et mercure sont faibles dans tous les pays. Par contre, les teneurs des autres éléments restent très différents d'un pays à l'autre avec des différences importantes.

Tableau 4: Teneurs en ETM (mg/kg MS) dans différents composts (Toundou, 2016).

ETM Mg/kg MS	Canada	Guinée	Mali	Togo
Cd	2.6	1.5	-	1
Cr	210	140	-	-
Cu	128	75	10	-
Hg	83	140	3.5	-
Ni	315	-	110	40
Pb	0.83	-	0.026	460
Zn	32	-	6.5	-

Les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) sont préconisées dans la réglementation dans les pays industrialisés, afin d'assurer un compost de qualité sans effets néfastes sur le sol et la plante. Les éléments considérés sont donc le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel, le zinc et le manganèse (Toundou, 2016).

La valeur agronomique des composts est l'aptitude des composts à améliorer la fertilité du sol, en effet les composts sont des produits riches en matières organiques et en composés minéraux (N, P, K, Mn, oligo-éléments...) (Soumaré *et al.*, 2003). Les composts ont un aspect fertilisant, en enrichissant le sol en N, P, K grâce à leur matière organique, l'apport de compost sert à améliorer la productivité et la qualité du sol. Les composts sont des sources en oligo-éléments comme le phosphore, le potassium, le magnésium, et le calcium et ils peuvent tous être apportés par le compost (Charnay, 2005).

Les principaux rôles des éléments minéraux sont : (Ramdani, 2015);

Macroéléments

Calcium (1 à 2 % MS) ; Forme facilement des chélat, diminue la perméabilité cellulaire, contrôle l'ouverture de canaux ioniques transmembranaires, active certaines enzymes, rôle de messenger secondaire de certaines enzymes hormones

Magnésium (0.1 à 0.7 % MS) ; Constituant de la chlorophylle, active de nombreuses enzymes

Soufre (0.1 à 0.6 % MS) ; Est un constituant de composés organiques soufrés. Carence en S est très sévère et provoque une chlorose (disparition de la chlorophylle).

Sodium (Taux variables) ; A un rôle sur la pression osmotique (algues) mais pas toujours indispensable (certaines plantes en C4 n'en exigent pas : maïs, sorgho, canne à sucre, etc.).

Chlore (Taux variables) ; Rôle dans la turgescence cellulaire (avec K⁺), nécessaire à la photosynthèse.

Silicium (Taux variables) ; Inutile pour la plupart des plantes sauf pour les Graminées et quelques autres végétaux.

Oligo-éléments

Fer (<0.1) ; - Catalyseur biochimique : constituent des groupements prosthétiques, constituent des protéines Fer-soufre.

Cuivre (<0.1%) ; Constituent de la cytochrome oxydase (fin de chaîne respiratoire), des phénoloxydases, de certains transporteurs d'électrons (photosynthèse) et de la super oxyde dismutase (destruction de l'ion super oxyde : très toxique).

Molybdène (<0.1%) ; Impliqué dans la réduction des nitrites et de l'azote atmosphérique.

Zinc (<0.1%) ; Cofacteur de plusieurs enzymes (phosphatase alcaline, carboxypeptidase...).

Bore (<0.1%) ; Contribue à l'intégrité de la paroi en stabilisent les chélats calciques.

Manganèse (<0.1%) ; rôle dans les transports. Rôle dans diverses oxydo réductions.

Le phénomène de compostage est associé au processus d'humification ou peut l'appeler la stabilisation de la matière organique, pour cette raison il est indispensable d'étudier cette thématique afin de confirmer la relation des substances humiques avec la qualité de compost et leur effet sur le sol. La matière organique est composée de substances humiques et non humiques. Les substances non humiques sont des composés facilement dégradables tels que les hydrates de carbone, protéines, lipides, cires, etc. Les substances humiques constituent une famille de composés complexes (Cooper et al., 1989).

Le fractionnement chimique de la matière organique dans les acides humiques (Figure 5), et les acides fulviques a conduit certains auteurs à développer des indicateurs de la

maturité de compost, plusieurs ont prouvé une augmentation significative de l'acide humique (HA) par rapport de l'acide fulvique (FA) (HA/FA) pendant le compostage (Veeken *et al.*, 2000).

Tahiri *et al.* (2014) ont montré que ces derniers sont des composés organiques dus à la transformation physico-chimique et biologique des déchets des végétaux. Elles se retrouvent sous forme de macromolécules carbonées hétérogènes et complexes ou des molécules variables composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre et de groupements fonctionnels (COOH,OH,C=O) , leur but est d'influencer les propriétés du sol avec une stimulation de l'activité microbiennes antagonistes et la croissance rapide de la plante.

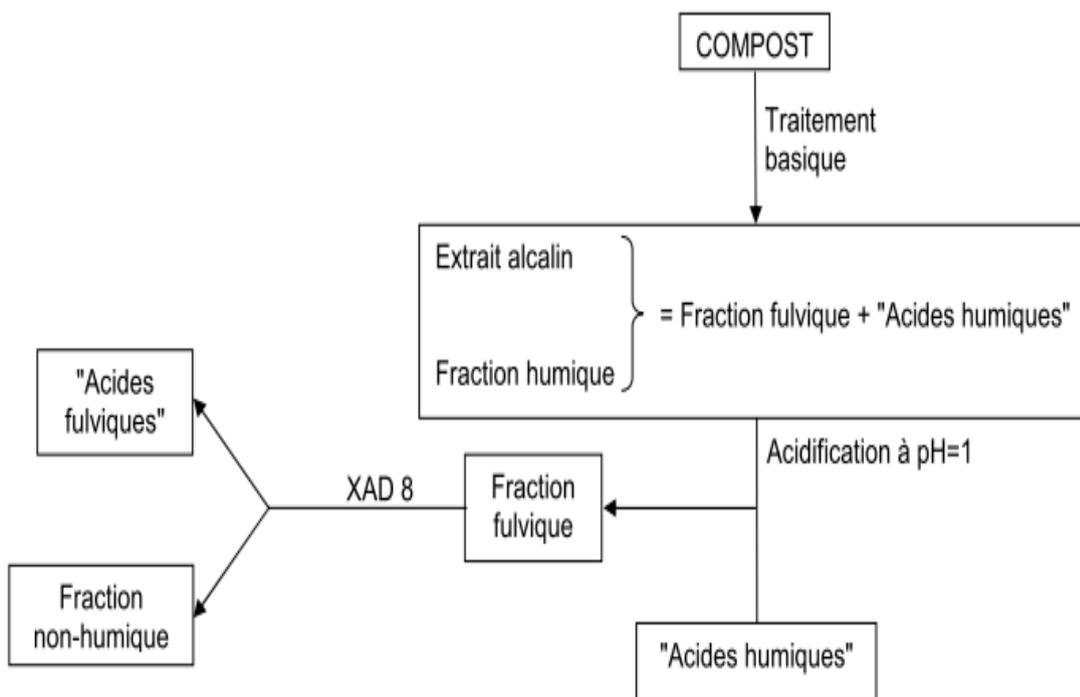


Figure 5. Fractionnement de la matière organique du compost (Som, 2006).

Le rapport d'humification se divise en trois fractions :

- **Les acides humiques**

Au cours du compostage, une diminution de la teneur en acide fulvique et une augmentation de la teneur en acide humique sont généralement observées (Francou, 2003).

Les acides humiques au début de leur formation sont plus proches des acides fulviques. Ils sont plus polymérisés, Leurs chaînes saccharidiques ou peptidiques latérales sont moins importantes par rapport au noyau phénolique. Il existe deux groupes d'acides humiques: les acides humiques « jeunes » les acides humiques « évolués » (Koriko, 2010).

- **Les acides fulviques**

Les acides fulviques résultent les acides phénoliques et aliphatiques, des « polymères » phénoliques plus ou moins colorés, des chaînes de saccharides et des polypeptides (Koriko, 2010). Ces composés se polymérisent rapidement dans le sol, suivant l'activité microbiologique globale. Les acides phénoliques et les polymères constituent le « noyau » de la macromolécule fulvique, ces derniers sont aussi des composés organiques qui sont solubles dans une solution alcaline et restent solubles par acidification de l'extrait alcalin (Nelson *et al.*, 1983).

- **Humine**

Ce sont des composés organiques qui sont insolubles dans une solution alcaline, il s'agit d'un humus très complexe qui est un mélange hétérogène de plusieurs formes, cette forme d'humus non extractible est difficilement séparable de la matière organique fraîche (Mill *et al.*, 1990).

1.4. Les Types de compostage

- **Aérobic**

Le compostage aérobic est une opération de dégradation des déchets organiques en présence d'oxygène, ce procédé comprennent le CO₂, le NH₃, l'eau et la chaleur, ce que nécessite un bon mélange d'ingrédients sous des conditions contrôlées avec une d'humidité autour de 40-60% et rapports carbone / azote (C / N) de 25-30, ce dernier ne possède pas d'odeur désagréable; sa maturation est beaucoup plus rapide (Znaidi, 2002). Ce processus de compostage entraîne des variations de température et conduit à l'élaboration d'une MO humifiée qui est le compost. C'est un produit alternatif stable qui présente peu de risques de phytotoxicité. La chaleur générée détruit les germes pathogènes et les germes des graines d'adventices (Zongo, 2013).

- **Anaérobie**

Ce processus de compostage est fait en absence d'oxygène, leurs inconvénients; les odeurs désagréables dues au pourrissement et les risques de problèmes phytosanitaires car sa température reste basse et les organismes pathogènes ne sont pas détruits. Il consiste à la dégradation par de micro-organismes anaérobies dans un milieu saturé en eau. Il se forme du biogaz et de l'engrais organique, ainsi il y a une élaboration de composés intermédiaires comme le méthane, les acides organiques, du sulfure d'hydrogène et d'autres substances (Zongo, 2013).

1.5. Importance du compost

- **Maturité et stabilité**

Un compost mûr doit obligatoirement avoir une matière organique stable (Tableau 5). Ce qui explique que la stabilité est l'opposée de la biodégradabilité, cependant, le degré de maturité et la stabilité du compost atteste la valeur de ce dernier. Un compost non mature peut entraîner des effets négatifs sur la croissance des plantes. La durée de la maturation dépend énormément de la composition des déchets compostés. Donc un compost est mûr si sa matière organique est stable, cette condition étant nécessaire et suffisante. C'est-à-dire que tout compost stable est un compost mûr (Francou, 2003).

Le degré de maturité du compost est estimé par l'étude de la biodégradabilité de sa matière organique, ou il existe divers indicateurs pour apprécier la maturité d'un compost, dont un des plus utilisés est le rapport C/N (Carbone total/ Azote total). Ce rapport diminue au cours du compostage et atteint une gamme de valeurs faibles (Houot *et al.*, 2002).

Tableau 5: Paramètres de stabilité et de maturité (en %) (Charnay, 2005).

Stabilité	%	Maturité	%
Activité biologique ou respiration	35	Effets les plantes	25
Degrés ou stades de décomposition	20	Degrés de décomposition (C/N)	23
Mauvais odeurs	14	Activité biologique ou respiration	11
Consommation d'azote	8	Bénéfices agraires (Texture, rétention d'eau)	9
Disponibilité des nutriments	6	Odeurs	9
Phytotoxicité	4	Pathogènes	4
Carbone disponible ou autres couleur	2	Couleur	2
Dissolution des métaux lourds	2		
Humidité	2		
Risque environnementaux pour la santé	2		
Texture	2		

1.6. Principales phases du compostage

La filière de dégradation de la matière organique au cours du compostage se déroule en quatre (04) phases successives (figure 6): la phase mésophile, la phase thermophile, la phase de refroidissement et la phase de maturation. Au cours des différentes phases, on assiste à des successions de communautés des populations microbiennes qui dégradent la MO suivi de variations de température (Znaidi, 2002).

1.6.1. La phase mésophile (A)

C'est la phase initiale de processus de compostage dont les matières premières sont envahies par les micro-organismes mésophiles indigènes (bactéries et champignons essentiellement) et un dégagement de CO₂.

La température idéale pour cette phase initiale de compostage est de 20 à 45°C. La durée de cette dernière peut varier de 4 à 5 jours (Znaidi, 2002).

1.6.2. La phase thermophile (réchauffement) (B)

C'est la phase où la température atteint la haute valeur (de 60 à 70°C), aux quelles ne résistent que des microorganismes thermophiles (Znaidi, 2002). Les micro-organismes thermophiles comme les actinomycètes et certaines bactéries dégradent alors les composés les plus résistants comme les graisses, les composés cellulosiques et la lignine. L'augmentation de la température du tas jusqu'à 60 à 70°C résultant de la décomposition de 46 à 62% de la matière organique sous forme de CO₂ et H₂O par les organismes thermophiles (Zongo, 2013). Pendant cette phase, l'azote minéralisé (NH₄⁺) peut être volatilisé en fonction du pH en forme ammoniacale (NH₃). Une part importante de la matière organique est perdue sous forme de CO₂, l'humidification par arrosage et l'aération par retournement est très importante pendant cette phase (Tahraoui, 2013).

1.6.3. La phase de refroidissement (C)

C'est la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation. Elle prend fin avec le retour à la température ambiante. Le milieu est colonisé de nouveau par des micro-organismes mésophiles. Au cours de cette phase la diminution de la quantité de MO provoque un ralentissement de l'activité microbienne en fonction des conditions climatiques (Ramdani, 2015).

1.6.4. La phase de maturation (D)

La plus lente correspond à la mise en jeu des processus d'humification. Cette dernière présente peu d'activités micro biologiques, les matières organiques sont stabilisées et humidifiées par rapport aux matières premières mises à composter. Un compost mature doit ressembler à du terreau par sa couleur « noire foncée » que par l'absence d'odeur désagréable avec une texture friable (El fels, 2014).

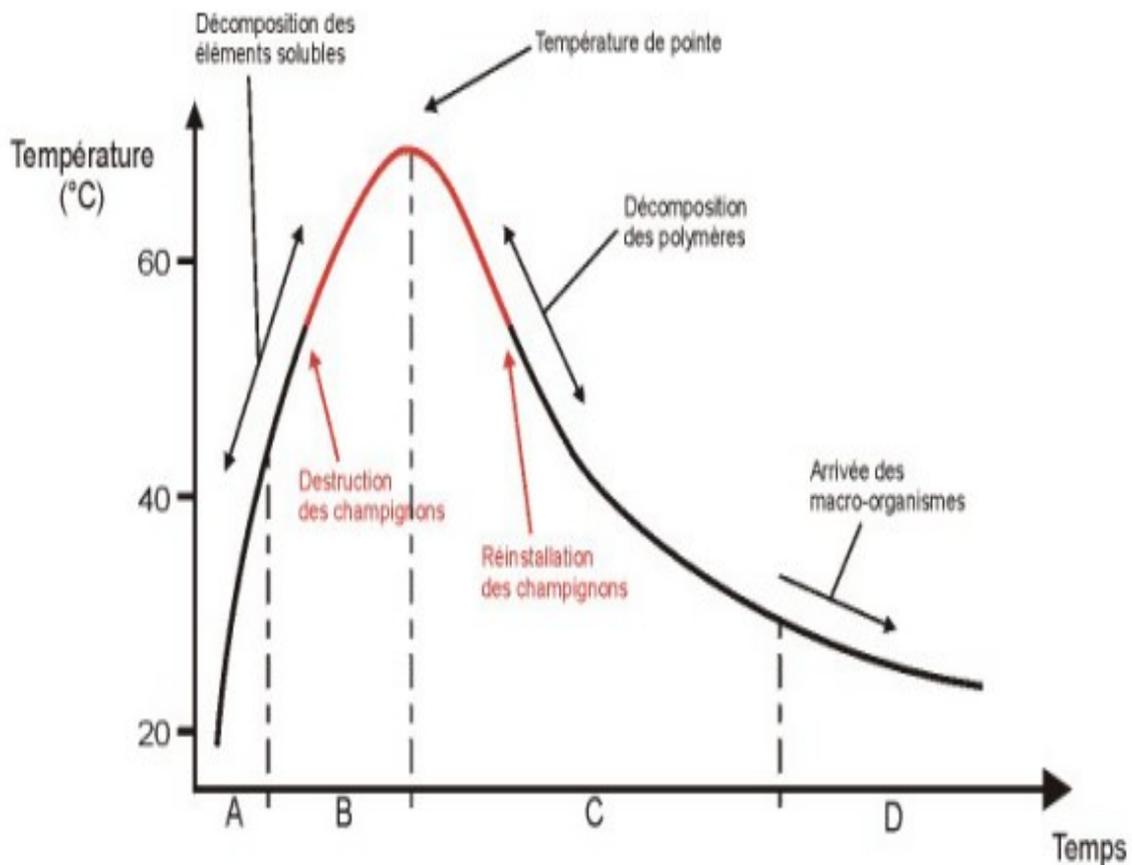


Figure 6. Les différentes phases du compostage, A : phase mésophile; B : phase thermophile; C : phase de refroidissement; D : phase de maturation (Blackburn Lefebvr, 2010).

1.7. Utilisation des composts et leurs extraits en phytoprotection

1.7.1. Effet suppressif des composts sur les maladies telluriques

Le développement de la microflore antagoniste au cours de compostage, confère au compost la capacité de protéger les plantes contre les maladies telluriques, Plusieurs recherches ont montré que le compost en plus de son action fertilisante, pourrait être un moyen efficace de supprimer l'incidence des maladies fongiques des plantes (Znaidi, 2002).

Ces effets protecteurs ne se limitent pas à de simples observations au laboratoire, mais leur efficacité a souvent été observée dans la pratique. Toutefois, une quantité de compost trop importante peut avoir une influence négative sur la croissance des plantes, probablement à cause d'une teneur en sels trop élevée (Iarbi, 2006). De façon similaire l'utilisation d'un

compost à base de fumier a pu réduire d'environ 80 % à 90 % la maladie du gazon de golf « Dollar Spot » causée par le champignon *Sclerotinia homeocarpa* (Block, 1997).

En outre, Fuchs (2002) distingue des mécanismes de suppression quantitatifs et qualitatifs;

- Les premiers sont principalement dus à la quantité des microorganismes présente dans les composts qui concurrencent par les agents pathogènes.
- En ce qui concerne le mécanisme de la suppression qualitative, est due principalement à l'action des antagonistes plus efficaces qui peut être basée sur des relations d'hyperparasitisme ou sur la production de substances antibiotiques.

1.7.2. Effet suppressif des extraits des composts sur les maladies foliaires

Un compost de haute qualité microbiologique a le pouvoir de protéger les plantes contre des maladies foliaires, la pulvérisation par les extraits de composts doit être effectuée de façon préventive ou curative. L'efficacité du thé de compost a été démontrée pour supprimer une gamme de maladies foliaires. Il est produit en mélangeant le compost avec de l'eau, en le laissant incuber durant une période définie, ce dernier permettant l'augmentation de la mycoflore bénéfique (Scheuerell et Mahaffee, 2002).

Weltzien (1992) a constaté l'effet suppressif de l'extraits de compost sur les feuilles de vigne contre *Botrytis cinerea* avec des extraits de compost de fumier, ainsi que du mildiou et de l'oïdium de la vigne (*Plasmopara viticola* et *Uncinula necator*).

De nombreuses études basées sur l'incorporation de composts dans les substrats ont démontré un effet suppressif des composts et leurs extraits sur les maladies foliaires, ces dernières reconnus un essor très vaste sur les cultures comme le flétrissement ou jaunissement des feuilles, les taches brunes provoqué par *Alternaria sp*, *plasmopara viticola* (Iarbi, 2006).

1.2.Généralités sur la tomate

1.2.1.L'origine de la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est l'un des légumes les plus consommés dans le monde. Originare des Andes d'Amérique du sud, elle fut tout d'abord domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544 (Peralta *et al.*, 2006). Etymologiquement, le mot tomate est une déformation du mot inca Tomalt et le mot Lycopersicum qui signifie en latin "Pêche de loup", appellation peu alléchante à laquelle on a ajouté au XVIIIe siècle l'adjectif « esculentum » à cause des propriétés gustatives de ce légume-fruit (Naika *et al.*, 2005).

1.2.2.La position taxonomique

Embranchement : Phanérogames

Ordre : Angiospermes

Classe: Dicotylédones

Sous-classe : Gamopétales

Famille : Solanacées

Genre : *Lycopersicon*

Espèce : *esculuntum*, *pimpinellifolium*, *cheesmanii*, *hirsutum*, *perviflarum*, *chmielewskii*, *peruvianum*, *pennelli* (Rick *et al.*, 1990).

1.2.3.La description botanique

La tomate (figure 7) est une plante herbacée appartenant à la famille des Solanacées, cette famille regroupe d'autres espèces qui sont également bien connues, telle que : la pomme de terre, le tabac, le poivron, et de nombreuses plantes ornementales. La tomate est généralement cultivée comme plante annuelle, elle peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres (Chaux et Foury, 1994).

Le feuillage

Les feuilles (figure 8) sont disposées en spirale de 15 à 50 mm de long et de 10 à 30 mm de large avec un pétiole mesurant entre 3 et 6 cm de long. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base.

Les fleurs

Les fleurs (figure 9) sont bisexuées, régulières de 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux feuilles ou entre elles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont parfois persistants.

La corolle est constituée en général de six pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm de couleur jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres.

L'androcée est formé de quatre étamines, les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée.

Le gynécée dont l'ovaire est supère est formé de deux à neuf carpelles. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu grâce aux abeilles et aux bourdons qui sont les principaux pollinisateurs.

Le fruit

Le fruit de la tomate (figure 10) est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés.

La tige

La tige (figure 11) pousse jusqu'à une longueur de 2 m, elle est pleine et fortement poilue et glandulaire. Le port de croissance varie entre érigé et prostré.

La racine

La plante de tomate possède une forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus, la racine principale produit une densité de racines latérales et adventices (figure 12).

La graines

Les graines (figure 13) sont nombreuses : en forme de rein ou de poire, elles sont poilues, beiges, de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. Mille graines environ pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (Naika *et al.*, 2005).



Figure 7. Vue générale d'une plante de tomate arrivée à maturité.



Figure 8. Les feuilles de tomate.



Figure 9. La fleur de tomate.



Figure 10. Les fruits de tomate



Figure 11. Les graines de tomate.

1.2.4. Valeur nutritionnelle

La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré, ils sont riches en minéraux (tableau 6), en vitamines, en acides aminés, en sucre ainsi qu'en fibres alimentaires. Les tomates rouges contiennent du lycopène, un anti-oxydant qui contribue possiblement à la protection vis-à-vis des substances carcinogènes et que l'on retrouve à raison de 30 mg dans 200 mL de sauce tomate.

Les tomates se consomment fraîches en salade, cuites dans des sauces, dans des soupes ou dans des plats de viande ou de poisson. Il est possible aussi de les transformer en purée, en jus et en ketchup (Naika *et al.*, 2005).

Tableau 6. La valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de tomate crue (Bernardin, 1985).

	Eléments	Teneur
	Eau	93 g
Matières organiques	Protéines	1 g
	Glucides	4 g
	Lipides	0,3 g
	Fibres	1,2 g
	Cellulose	0,6 g
Vitamines	Vitamine B1	0,09 mg
	Vitamine B3	0,5 mg
	Vitamine C	38 mg
Sels minéraux	Calcium	11 mg
	Chlore	40 mg
	Fer	0,6 mg
	Potassium	280 mg
	Magnésium	10 mg
	Sodium	3 mg
	Phosphore	27 mg
Soufre	11g	

1.2.5. Importance économique

La tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher en Algérie. Elle est considérée à juste titre comme une espèce prioritaire comme la pomme de terre. En ce qui concerne la production maraîchère, la tomate représente 08,79% de production par rapport à la production totale des cultures maraîchères et 08,33% par rapport à la production totale des cultures maraîchères et industrielles (Snoussi, 2009).

1.2.6. La culture de la tomate dans le monde

La tomate est la culture la plus répandue dans le monde après la pomme de terre (Arbaoui, 1984) (tableau 7). Selon les statistiques de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production mondiale de tomates s'élevait en 2014 à 170,75 millions de tonnes pour une superficie de 5,02 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 33,98 tonnes à l'hectare. En Algérie, la production s'élevait en 2014 à 1065609 tonnes pour une superficie de 22646 hectares, soit un rendement de 47.05 t/ha.

Tableau 7. La production annuelle de tomate par pays en milliers de tonnes (FAO, 2014).

Pays	Production annuelle (x1000T)
Chine	50 664
Etats-Unis	12 574
Espagne	3 683
Tunisie	1 200
Algérie	1065

1.2.7. Les maladies de la tomate

De la levée et pratiquement jusqu'à la récolte, les cultures de la tomate sont sujettes à de nombreuses maladies causées par divers agents pathogènes tels que : les virus, les bactéries, les champignons, les nématodes et les insectes (Causse, 2000). Les maladies dites fongiques (causées par les champignons) sont les plus fréquentes (tableau 8), une infection fongique est souvent causée par des spores qui y ont germé puis ont pénétré les tissus de la plante par le biais des stomates, des blessures ou parfois même directement à travers la peau de la plante. Les filaments mycéliens se développent dans les tissus, en tirent les éléments nutritifs et ils y exsudent des substances toxiques pour la plante.

Les effets nocifs des moisissures se limitent à la zone contaminée mais il existe des sortes de moisissures qui peuvent envahir les tissus vasculaires des plantes et peuvent se propager à partir de là dans toute la plante c'est le cas du *Fusarium oxysporum* (Naika et al., 2005).

Tableau 8 :Les principales maladies fongiques de la tomate (Naika et al.,2005).

Maladies	Symptômes	Pathogène responsable
Anthracnose	Tâches plus ou moins circulaires de 1 cm avec un centre noirâtre sur les fruits mûrs	<i>Colletotrichum</i> <i>Coccodes</i>
Mildiou	Légères tâches foncées avec un point jaune en leur centre sont visibles sur les feuilles ayant parfois un développement centrifuge et centripète. Sur la face inférieure des feuilles les tâches sont blanches. Les fruits se couvrent de tâches brunes et les feuilles flétrissent.	<i>Phytophthora infestans</i>
Verticilliose	Jaunissement en forme de V des feuilles de bas en haut suivi d'un flétrissement avec un léger brunissement des vaisseaux après une coupe.	<i>Verticillium albo-atrum</i>
Alternariose	Tâches rondes et brunes avec des cercles concentriques apparaissant sur les feuilles avec un diamètre de 1,5 cm. Des grosseurs peuvent apparaître sur les tiges et les feuilles. Les fleurs et les jeunes fruits tombent.	<i>Alternaria solani</i>

Flétrissure fusarienne	Jaunissement des feuilles de bas en haut avec apparition de racines avortées au bas de la tige. Décoloration de la tige commençant par un léger jaunissement longitudinal évoluant en une bande jaune plus marquée puis en une nécrose beige à marron clair. Les vaisseaux à l'intérieur de la tige brunissent.	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>Lycopersici</i>
Pourriture des racines et du collet	Brunissement des racines, de leur cylindre central et des vaisseaux situés au niveau du pivot et du collet et flétrissement juste avant la cueillette. Les feuilles hautes fanent avant les feuilles basses avec une décoloration jaune ou dorée. Les fruits n'ont pas leur brillance normale.	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>radicis-lycopersici</i>

1.2.7.1. Le genre *Fusarium*

Les espèces de *Fusarium* sont des champignons filamenteux d'origine tellurique (champignons du sol) comprenant des pathogènes infectant les plantes du monde entier, mais pouvant également se développer en tant que saprophytes selon les zones climatiques (Stepien *et al.*, 2019).

Ce genre a été découvert pour la première fois par Link en 1809. Il est délimité dans son sens actuel par Appell et Wollenweber (1910) et correspond à la forme de reproduction asexuée.

Le *Fusarium* se multiplie par voie végétative ou par l'intermédiaire de spores asexuées. Cette forme imparfaite (anamorphe) est caractérisée par un mycélium septé et ramifié (Belabid, 2003). Ce genre de champignon est capable d'envahir l'ensemble du système vasculaire de la plante par des sécrétions de substances telles que les toxines, les filaments mycéliens se développent dans les tissus, en tirent les éléments nutritifs et ils y

exsudent des substances toxiques pour la plantes, qui peuvent affectant le collet et le système racinaire de la plante et provoquer par la suite des symptômes internes ou externes sur les différentes parties de la plante et pendant les différents stades de vie (Naika *et al.*, 2005).

1.2.7.1.1. Classification et reproduction du genre *Fusarium*

Il appartient au phylum des Deutéromycètes (champignons imparfaits), car la reproduction sexuée chez la plupart des espèces n'a pas été observée. Il appartient à la sous-classe des Hyphomycètes à conidiophores réunis en sporodochie et à la famille des tuberculariacées, il fait partie de la section Elegans (Nelson *et al.*, 1983).

Le *Fusarium* se multiplie par voie végétative ou par l'intermédiaire de spores asexuées. Il se caractérise par un mycélium septé et ramifié (Belabid, 2003).

Selon Nelson *et al.* (1983) les espèces du genre *Fusarium* sont caractérisés par la production de trois types de spores asexuées:

- Les macroconidies : sont fusiformes et cloisonnées, pluricellulaires en forme de croissant, leur présence est la caractéristique majeure qui permet de distinguer le genre *Fusarium* des autres genres, leur taille ainsi que les extrémités apicales et basales sont des éléments centraux pour l'identification des espèces de *Fusarium*.
- Les microconidies : sont petites, unicellulaires ou bicellulaires, septées ou non, leurs formes sont diverses: fusiformes, ovoïdes, en forme de poire. Elles ne sont pas produites par toutes les espèces de *Fusarium*. Leur distinction s'exerce sur les micronidies elles-mêmes, les cellules conidiogènes sont formées (monophialides ou polyphialides) ainsi que leur arrangement (seule, en chaîne, en bouquet).
- Les chlamydospores : ne pas présentes chez toutes les espèces, arrondies d'une ou deux cellules, entourées d'une paroi épaisse plus ou moins pigmentée, en position terminale ou intercalaire des hyphes mycéliens, représentant ainsi les spores de résistance du champignon.

Dans le cas des *Fusarium*, l'examen des macroconidies permet d'identifier rapidement le genre et en fonction de la forme. Des méthodes d'analyse biochimiques peuvent également apporter des informations sur le champignon. La détermination du contenu en acide gras, de la composition de la paroi cellulaire, de la composition en protéines ou encore des métabolites secondaires font partie des critères étudiés (Haan *et al.*, 2000).

Cycle biologique de la maladie

Le *Fusarium* responsable d'importants dégâts durant tout le cycle vital de la plante hôte, est transmis essentiellement par les semences, où il se conserve sous forme de spores durables, le *Fusarium* peut être présent à la surface, soit à l'état de spores libres, soit sous forme de petites colonies mycéliennes, il est interne et se localise dans le péricarpe. Présent autour de ce dernier sous forme de mycélium, les caryopses germent et donnent des plantules qui présentent des faciès caractéristiques durant le cycle vital de la plante hôte (Champion, 1997). Les plantules détruites par le parasite, c'est le premier foyer infectieux. En effet, le parasite édifié sur la plantule détruit des coussinets sporifères qui sont les spores entraînées par le vent et par la pluie. Ces spores vont infecter les autres plantes ou contaminer le sol.

Fusarium solani

C'est l'agent pathogène qui cause des maladies sur une gamme vaste de plantes hôtes notamment la pourriture racinaire chez la tomate (Figure 12, 13). C'est un champignon filamenteux, naturellement présents dans le sol. Ce champignon tellurique cause la pourriture des racines appelée aussi la pourriture commune est une maladie qui apparaît chez les plantes âgées et se manifeste par une infection des parties souterraines. Elle est due à la présence de l'inoculum dans le sol, aux débris végétaux infectés ainsi qu'aux semences contaminées. L'infestation a lieu dans les régions où la pluviométrie est déficiente (Gargouri *et al.*, 2001). La maladie cause la destruction des tissus des racines, du rhizome et de la partie souterraine de la tige. Les symptômes typiques se caractérisent par une coloration brune ou noire. Ce brunissement peut progresser vers le plateau de tallage et très peu vers la tige. Les symptômes peuvent se traduire, mais moins fréquemment que la pourriture du pied, en des épis blancs prématurés (Gargouri, 2003).

Fusarium acuminatum

L'espèce *Fusarium acuminatum* est l'agent causal de la fonte de semis (figure 14). Cependant, sur tomate, pomme de terre, cette maladie est favorisée par des périodes prolongées (48 à 72h) d'humidité élevée associées à des températures élevées (24°C à 30°C), La maladie débute toujours par de petites lésions brunes sur les racines, ces lésions peuvent se développer jusqu'à la fin de la culture. Les plus petites racines deviennent brunes et se ramollissent. D'une part, les infections dues au *F. acuminatum* entraînent des impacts économiques, suivi par une diminution des rendements de culture (Blancard,

2009). La fonte de semis est due à des semences contaminées et elle est fréquente dans les régions humides où la maladie de l'épi prédomine (Gargouri *et al.*, 2001). Moins fréquemment, cette maladie peut être causée par l'inoculum présent dans le sol ce qui est généralement le cas des régions arides (Gargouri, 2003). La maladie peut se traduire par des manques à la levée. En effet, la germination a eu lieu mais les racines meurent au cours de leur développement ou elles sont partiellement nécrosées, elle est localisée dans les zones les plus sèches. Parfois, la maladie se traduit par le dessèchement brutal de jeunes plantules qui restent dressées. Dans le cas d'une infection sévère, les racines latérales avortent ou encore sont détruites dans un stade assez jeune (Mrabet, 1998).



Figure 12 : Jaunissement et flétrissement des feuilles basses de tomate causé par *F. solani* (Blancard, 2009).



Figure 13. Chancre brun foncé du collet causé par *F. solani* (Blancard, 2009).



Figure 14. Fonte de semis causé par *F. acuminatum* au niveau des racines de la tomate (Blancard, 2009).

1.2.7.2. Le genre *Alternaria*

Les *Alternaria* sont les plus fréquents, ils peuvent être isolés de végétaux très divers avec des modes de vie saprophytes et phytopathogènes qui peuvent affecter les cultures pendant la récolte et post-récolte (Logrieco *et al.*, 2009).

Ce genre a été initialement décrit par Nees (1817) avec *A. tenuis*, comme le type et la seule espèce du genre. Parmi les caractéristiques du genre, la production de chaînes de conidies multicellulaires de couleur foncée avec des cloisons longitudinales et transversale et d'un bec filamenteux avec des cellules apicales.

1.2.7.2.1. Classification et reproduction du genre d'*Alternaria*

Ces champignons sont des *Deuteromycètes*, cette classe renferme tous les champignons à mycélium cloisonné possèdent un mode de multiplication asexuée, par conidies. Certaines espèces d'*Alternaria* ont une reproduction sexuée et leur forme parfaite appartient aux *Loculoascomycètes* (Ellis, 1971).

Les *Alternaria* sont classés dans l'ordre des *hyphales*, ayant des conidiophores peu différenciés, libres, et des conidies qui se forment hors d'un concept spécial. La coloration foncée de leur mycélium et de leurs conidies les classant dans la famille des *Dematiaceae* (Agrios, 2005).

Les espèces de genre *Alternaria* possèdent des conidies septées avec des cloisons transversales et longitudinales (Figure 15), les cellules sont pluricellulaires de couleur foncée généralement piriformes ou ovotides de tailles variables selon les espèces (Rotem, 1994).

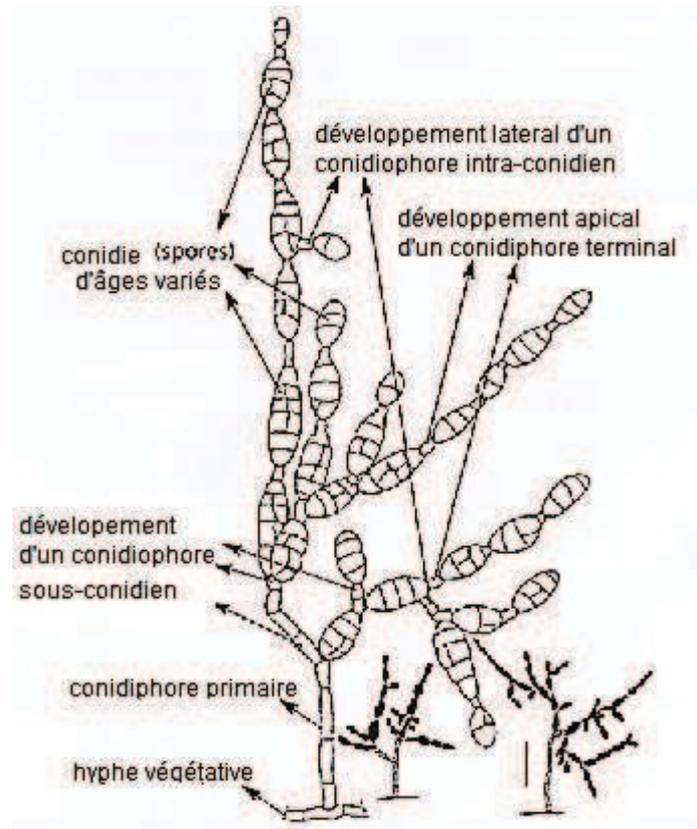


Figure 15 : Représentation des différents stades de développement des spores et conidiophores d'*Alternaria sp* (Taralova *et al.*, 2011).

- **Les symptômes**

De nombreuses études vont dans le sens de l'existence de plusieurs taxons responsables de la brûlure foliaire chez les plantes (figure 16, 17, 18). Leur implantation exige un affaiblissement physiologique; une simple blessure sur un organe vigoureux est souvent suffisante pour permettre l'infection (Messiaen *et al.*, 1991).

L'alternariose affecte également la qualité visuelle et nutritionnelle de la plante, les symptômes de la brûlure foliaire provoqués par les *Alternaria* pathogènes à grosses et à petites spores sont souvent très similaires. Les premiers symptômes de la maladie dans les champs sont précoces et se traduisent par l'apparition de petites lésions ovales et circulaires noires sur les tiges et les feuilles (Davis *et al.*, 1977).

- Sur feuilles

Les attaques débutent à partir des feuilles basses, âgées et déjà séniles ;

- L'apparition des petites lésions ovales noires sur les tiges et les feuilles, par la suite elles s'étendent progressivement et s'auréolent d'un halo jaune souvent bien marqué. Atteignant plusieurs millimètres, elles révèlent souvent de discrets anneaux concentriques d'un brun plus foncé (Blancard *et al.*, 2012).
- L'accumulation de mycotoxines dans les feuilles peut se produire au champ, pendant la récolte, en post-récolte et pendant le stockage (Patriarca et Pinto, 2018).
- Enfin, toute la surface du limbe se dessèche suivie de la mort des feuilles.

- Sur tiges

Le pathogène peut aussi provoquer de graves lésions sur tiges;

- Les lésions peuvent se développer sur les tiges et les pétioles, sont d'abord superficielles et deviennent déprimées au fur et à mesure, ces lésions sur les tiges blanchissent et se fissurent (Osiru, 2008).
- Les chancres progressent lentement sur la tige, une fois celle-ci est ceinturée la plante meurt.

- Sur fruit

Le pathogène induit l'apparition de chancres sur fruit à partir de lésion sur sépales (Messiaen *et al.*, 1991);

- Les tissus colonisés prennent progressivement une couleur noirâtre occasionnant de larges lésions circulaires (Hathout, 1997).
- Une apparence d'anneaux concentriques à l'intérieur des lésions, les taches sont de forme ovale à une forme angulaire avec une zone de chlorose autour de la lésion (Singh, 1987).



Figure 16 : Lésions sur les tiges de tomate.



Figure 17 : Taches sur foliole de tomate.



Figure 18 : Lésions sur fruit de tomate (Patriarca et Pinto, 2018).

Partie

02

Matériels et méthodes

Partie 02 : Matériels et méthodes

Les parties expérimentales de notre thèse ont été effectuées premièrement au niveau de la ferme expérimentale de l'université de Mascara au cour de l'année (2016-2017) afin d'élaborer les différents types de composts. La deuxième partie a été effectuée au niveau de laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique « LRSBG » et le laboratoire d'analyse élémentaires à l'Université d'Almeria (Espagne).

2.2. Matériel végétal

La semence de tomate variété « Suzana Hybride F1 » elle est d'origine d'Ain tmouchent (Beni Saf) et connu par sa sensibilité.

2.3. Matériel fongique

2.3.1. Agents pathogènes telluriques

Les deux agents pathogènes telluriques *F. acuminatum* (F25RS3) avec le numéro d'accession de NCBI- Genbank (JX114790) et *F. solani* (F20ST) avec le numéro d'accession (JX114796) agent causal de la fonte de semis des plantules de pin d'alep ont été déjà testé pour leur pathogénicité et leur polyphagie sur la tomate (Lazreg *et al.*, 2013, a, b, 2014).

2.3.2. Agent pathogène foliaire

L'isolat d'*Alternaria sp* a été isolé et identifié morphologiquement au niveau de laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique (LRSBG). La pathogénicité de cet isolat a été aussi confirmée. Ce dernier a provoqué principalement la maladie de l'alternariose (des taches brunes) suivie par un dessèchement et des brulures au niveau des feuilles de tomate.

2.3.2.1. Isolement de l'agent pathogène *Alternaria sp*

La technique consiste d'abord à couper les feuilles de tomate infectée en petits fragments puis les désinfectés dans l'hypochlorite de sodium (eau de javel) à 3% pendant 03 minutes, puis brincer trois fois dans des bains de l'eau distillée stérile pendant une minute. Après rinçage. Les frangements ont été séché entre deux papiers filtre stérile, puis les déposés dans les boites de pétri contenant le milieu de culture de PDA. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 25°C pendant une semaine (Rapilly, 1968).

2.3.2.2.L'identification macroscopique et microscopique

L'identification a été basé sur une observation macroscopique et microscopique. L'observation macroscopique ce fait à l'œil nu, elle se base essentiellement sur la vitesse de croissance et la morphologie des colonies sur milieu PDA et la pigmentation.

L'étude microscopique est basés sur les clés de détermination de Botton *et al.* (1990), *Alternaria sp* se distingue par la formation de chaînes conidiennes, la ramification des chaînes se produit des conidiophores par la production des conidies uni et pluricellulaire.

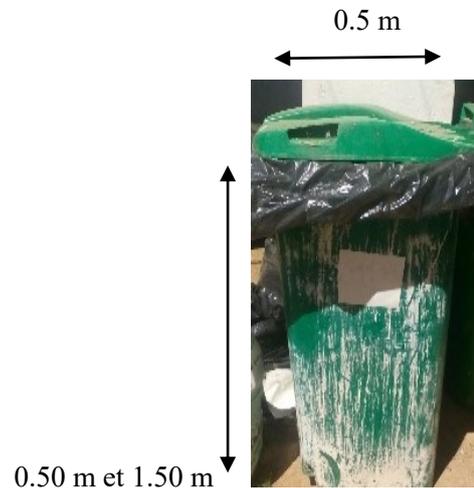
2.4. Production des composts

Dix composts ont été préparés au niveau la ferme expérimentale de l'université de Mascara dont cinq composts (A-01, B-01, C-01, D-01, E-01) ont une durée d'incubation de 16 semaines (du 15 mars à 20 juin 2017) et les autres (A-02, B-02, C-02, D-02, E-02), ont une durée d'incubation de 34 semaines (du 15 mars à 10 Novembre 2017) (Larbi, 2006). Ces composts ont été fabriquées par l'utilisation de différents types de matériaux (Tableau 07):

- Des déchets des olives ont été fournis par l'usine d'extraction des olives de la région de Sig.
- Des déchets verts (feuille de l'arbre de péchier) collectés au niveau de la ferme expérimentale.
- Des ordures ménagères composés de courgette, carotte, oignon, betterave et la pomme de terre collectés à partir d'une usine de lavage des légumes à Maoussa.
- Fertilisant azotés (L'urée) (Saidou *et al.*, 2014).
- Les coques d'œufs sont cassées manuellement.
- Les fientes de volailles, ainsi que le fumier ovin (accumulée pour un bon équilibre entre carbone et azote) (Znaidi, 2002).
- Une quantité de paille issus du blé tendre obtenue au moment de la dernière campagne céréalière (alimentation des animaux).
- Les vers de terre collectés du sol (entre 10 et 15).
- Agent de lutte biologique *Trichoderma harzanium* a été conservé au niveau de laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques et la géomatique (Mouria *et al.*, 2013).

Les composts ont été mélangés dans des ;

- ✓ **Seau cylindriques en plastique (bac):** ce type de compostage a été préparé à partir des déchets des olives après leur extraction, déchets verts, ces derniers ont été accumulés dans un seau a une longueur variée entre 0.50 m et 1.50 m, une largeur de 0.5 m, le poids global est autour de 50 kilo, les seaux sont recouverts par un film plastique de couleur noir (voir dispositif expérimental).



- ✓ **Sac en plastique :** les sacs sont remplis par un mélange de déchet vert, légumes (selon la composition de chaque échantillon préparé), le diamètre de sac est varié entre 0.5 mm et 1mm, le poids global des sacs est autour de 20 kilo, ces derniers sont ensuite fermés.



- ✓ **En tas :** les substrats à composter ont été déposés en couches successives sur le sol et protégés par un film de plastique noire. Les dimensions des tas mesuraient 2 m de longueur sur une largeur de 1,5 m, mais les hauteurs variaient de 0,65 à 0,8 m

selon les mélanges constitués, ce type de récepteur favorise le mouvement des vers de terre afin de stimuler la décomposition biologique.



Pendant le compostage, les composants de chaque compost sont mélangés soigneusement en ajoutons du l'eau, afin de permettre leur bonne humidification. Pour aérer les composts, des retournements ont été effectués toutes les deux semaines. Le retournement est effectué mécaniquement de sorte à ce que les couches extérieures se retrouvent au centre, où elles seront soumises aux températures élevées ainsi qu'un arrosage permet d'assurer une humidité important. Ensuite nous avons mesuré la température chaque 14 jours pour permettre au processus de décomposition et de déclencher la montée des températures (Znaidi, 2002). Pour mesurer la température nous avons utilisé un thermomètre. La température du mélange nous a informés sur la phase de décomposition (phase mésophile, thermophile, refroidissement et la maturation). Après la production des composts, nous avons effectués un séchage puis un tamisage afin d'éliminer les particules indésirables (comme le plastique par exemple).

Figure 19: Composition des différents composts testés

Nom du compost	Contenaire	Déchets verts	Déchet des olives après leur extraction	Verre de terre	Terre argileuse	Epléchure des légumes	Coque d'œuf	Feuille mortes	Paille	Fiente de volaille	Fumier ovin	<i>Trichoderma harzanium</i>	Fertilisant azotés (L'urée)	Semaines d'incubation naturelle
Com A-01	Compost jeune (seau)	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Com A-02	Compost mûr (seau)	50%	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
Com B-01	Compost jeune (sac en plastique)	30%	0	0	20%	30%	20%	0	0	0	0	0	+ 400g/Kg de mélange	20
Com B-02	Compost jeune (sac en plastique)	30%	0	0	20%	30%	20%	0	0	0	0	0	-	20
Com C-01	Compost mur plus verre de terre (tas)	50%	0	+	0	10%	0	30%	10%	0	0	0	0	34
ComC-02	Compost mur sans verre de terre (tas)	50%	0	-	0	10%	0	30%	10%	0	0	0	0	34
Com D-01	Compost jeune - Fumier ovin (sac en plastique)	0	0	0	0	50%	0	0	0	50%	+	0	0	16
ComD-02	Compost mur + Fumier ovin (sac en plastique)	0	0	0	0	50%	0	0	0	50%	-	0	0	34
Com E-01	Compost jeune (seau)- <i>Trichoderma harzanium</i>	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	50%	-	0	16
Com E-02	Compost mur (seau)+ <i>Trichoderma harzanium</i>	50%	0	0	0	0	0	0	0	0	50%	+ 10 ⁶ conidies/ml	0	34

En plus des composts préparés, nous avons travaillé sur deux types de composts originaires de la pépinière d'horticulture d'Oran (Chahid Madani Abdelah) ;

- Com O-01 : Compost jeune (Déchets verts, Épluchure des légumes).
- Com O-02 : Compost mûr (Déchets verts, épluchures de fruits et légumes, fibres de papiers de journal, Ver de terre, coque d'œuf).

Puis stockés à 4°C dans des sacs en plastique.

2.6. Extraction aqueuse

L'extraction a été réalisée selon la méthode de Koné *et al.* (2010) qui consiste à ajouter de 400 ml d'eau distillé stérile aux différents composts (100g) dans un erlenmeyer (1:5, V / P). Le mélange de chaque échantillon a été homogénéisé pendant 4 jours à 25°C (le temps d'extraction) à l'aide d'un agitateur orbital à 150 tr/min, les différents mélanges ont été légèrement recouvert et stockés dans la même température précédente (25°C), ensuite les extraits sont filtrés et conservés au réfrigérateur à 4°C. Les filtrats de chaque compost sont analysés directement après leur extraction.

2.7. Analyse physicochimique et biologique des composts

2.7.1. Analyse mycologique des composts préparés

2.7.1.1. Détermination de la population microbienne

Pour déterminer la population fongique des différents composts, nous avons utilisé la technique des suspensions-dilutions (Annexe 03) décrite par Rapilly (1968) qui consiste à mélanger 1 g de compost avec 10 mL d'eau distillé stérile, puis le mélange a été agité pendant 30 min. Des dilutions décimales ont été réalisés 10^{-2} , 10^{-3} et 10^{-6} à partir de la solution mère. Après homogénéisation, 1ml de chaque dilution de chaque échantillon de composts a été ensemencé sur deux différents milieux de culture (PDA et MEA) (Annexe 01). Les boîtes de Pétri ensemencées ont été incubées, pendant 7 jours, dans deux températures différentes (25°C et 30°C). La charge fongique a été déterminée par comptage des colonies et les résultats sont exprimés en UFC (nombre d'Unités Formant Colonies) / g de compost selon la formule mathématique ci-dessus.

$$N = \frac{\sum \text{colonies}}{V_{ml} \times (n_1 + 0.1n_2) \times d_1}$$

N: Nombre d'UFC par gramme de compost;

Σ : colonies: Somme des colonies des boîtes interprétables;

V: Volume de solution déposée (1ml);

n_1 : Nombre de boîtes considéré à la première dilution retenue;

n_2 : Nombre de boîtes considéré à la seconde dilution retenue;

d_1 : Facteur de la première dilution retenue (Mouria *et al.*, 2012).

2.7.1.2. Identification et caractérisation morphologiques des

Champignons

L'identification des isolats est basée, dans un premier temps, sur une observation macroscopique des caractères culturels sur milieu PDA après 7 jours d'incubation (aspect avers et revers des cultures). Les pigmentations des cultures, l'aspect de la surface, le caractère de la marge, le type de mycélium en utilisant différentes clés d'identification (Botton *et al.*, 1990 ; Messiaen *et al.*, 1991; Rémi *et al.*, 1997).

L'examen microscopique d'une colonie fongique se fait par un prélèvement d'un fragment mycélien est mis entre lame et lamelle dans une goutte de bleu coton au lactophénol. L'observation microscopique permet de détecter l'aspect du thalle, la présence ou l'absence de septum, la nature de la reproduction et les caractéristiques des fructifications et des spores.

2.7.1.3. Conservation des isolats

La méthode de conservation consiste à repiquer l'isolat purifié en tube sur le PDA incliné, les cultures sont maintenues à 25°C pendant une semaine puis conservées à 4°C pour favoriser leur viabilité.

2.8. Analyse physicochimique des différents composts

2.8.1. Mesure du pH aqueux, la salinité et la matière sèche

Dans un bécher, 10 g de compost tamisé ont été mélangés à 100 ml d'eau distillée. La mesure du pH est effectuée après dix minutes d'homogénéisation à température ambiante. La valeur du pH est mesurée directement dans l'extrait aqueux à l'aide d'un pH-mètre.

Le taux de salinité est déterminé en mesurant la conductivité électrique dans le filtrat de l'extrait aqueux à l'aide d'un conductimètre.

La teneur en matière sèche des composts est mesurée après séchage des échantillons à 105°C pendant 24 h.

2.8.2. Détermination de la teneur en matière organique

La teneur en matière organique est réalisée selon la méthode de perte au feu à 600 °C : environ 15 g de compost séché à 105 °C sont placés dans un four à moufles à 600 °C pendant 3 à 4 heures. $\text{Humidité\%} = 100 - (\text{MS\%})$. La matière minérale (MM) est déterminée en minéralisant à 625°C pendant 24 heures la matière sèche obtenue après dessiccation. La cendre obtenue est correspondue à la masse de MM de l'échantillon traité. Ainsi le taux de matière minérale (MM%) est calculé par : $\text{MM\%} = \text{masse de la cendre obtenue à } 625^{\circ}\text{C} \times 100 / \text{Poids de l'échantillon humide}$. Le taux de matière organique (MO%) est estimé avec : $(\text{MS} - \text{MM}) \times 100 / \text{Poids de l'échantillon humide}$ (Larbi, 2006).

D'après les tests d'inhibition qui suivent cette partie d'analyse, Nous avons choisi cinq composts pour compléter les analyses physico-chimiques.

2.8.3. Purification des composés humiques des composts

L'analyse chimique des composts a été réalisée pendant la période (20 Septembre 2018) au laboratoire d'analyse (Service des analyses élémentaires) à l'Université d'Almeria (Espane).

2.8.4. Analyse des métaux lourds

Les échantillons des composts ont été analysé au laboratoire d'analyse (Service des analyses élémentaires) de l'Université d'Almeria en l'Espagne, pour la détermination quantitative des éléments des métaux lourds; B, Cr, Ni, Cu, As, Mo, Cd, Pb et Hg par ICP-MS modèle X série 2 (Annexe 04). L'analyse a été effectuée par un Spectromètre ICP-MS de 4mg de chaque échantillon de compost.

2.8.5. Détermination de la composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X

Pour déterminer la composition élémentaire de compost, des prises de l'ordre de 5 g d'échantillons ont été analysées sous forme de poudre. L'analyse des résultats a été réalisée avec le programme **EVALUATION** appartenant au package **Bruker's Spectra plus** Par l'utilisation de l'appareil de spectrométrie de **fluorescence aux rayons X de BRUKER PIONEER**.

2.9. Effet des extraits des composts vis-à-vis les agents pathogènes testés (test in vitro).

2.9.1. Effet des milieux de culture à base d'extraits des composts sur la croissance mycélienne, la sporulation et la germination

2.9.1.1. Préparation des milieux de cultures

Les milieux de cultures ont été préparés à partir des extraits des composts selon la méthode de Weltzien (1992). Les composts ont été laissé macérer à un taux de 1 : 5 (v/v) dans l'eau distillé pendant 2 jours à température ambiante du laboratoire. Après la filtration, les extraits de compost sont répartis en deux lots, chacun de deux erlenmeyers contenant l'agar-agar permettant de préparer le milieu à base d'extrait de compost (MEC). L'un additionné du glucose, milieux à base d'extrait de compost avec glucose (MECG) et l'autre sans glucose (MECSG). Ces deux lots ont été stérilisés au différents températures 120°C et 80°C (Mouria *et al.*, 2014).

2.9.1.2. Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne

Un explant mycélien de 8 mm de diamètre prélevé d'une jeune colonie des isolats de champignons pathogènes est déposé au centre de chaque boîte de Pétri contenant l'un de ces milieux de culture préparées, les boîtes de Pétri sont incubées à 25°C pendant 07 jours pour le témoin ont été cultivés sur le milieu PDA (Mouria *et al.*, 2013).

L'inhibition de la croissance mycélienne a été évaluée pour chaque colonie selon la formule ;

$$(\%)d'inhibition = \frac{D_{témoin} - D_{test}}{D_{témoin}} \times 100$$

$D_{témoin}$ Distance radiale maximale de la croissance du champignon

D_{test} Distance radiale de la colonie en présence du compost

2.9.1.3. Effet sur la sporulation

Après dix jours d'incubation 4 disques mycéliens de 5 mm de diamètre sont prélevés sur la même ligne de chaque boîte et introduits dans un tube à essai contenant 1 ml d'eau distillé stérile Après l'agitation mécanique le comptage des conidies s'effectue à l'aide d'une cellule de Malassez (Mouria *et al.*, 2013).

Les pourcentages d'inhibition de la sporulation (IS) des isolats étudiés sont calculés par l'utilisation la formule suivante :

$$IS(\%) = \frac{S_T - S_{TA}}{S_T} \times 100$$

S_T : Nombre de spores dans le témoin

S_{TA} : Nombre de spores dans les boites contenant le milieu de compost

2.9.1.4. Effet sur la germination des conidies

Le principe de cette étude est de cultiver le champignon en micro culture entre lame et lamelle (Rapilly, 1968). Une goutte de milieu de compost, est étalé sur une lame porte objet stérile puisensemencé par 0.2 ml de la suspension sporale, la lame est ensuite recouverte avec une lamelle stérile est déposé sur un support en forme de (V) les lame ont été placées dans des boites de Pétri contenant un disque de papier filtre imbibé d'eau distillé stérile. Les boites sont ensuite incubées à 25°C. Le pourcentage d'inhibition de germination (IG) des conidies par rapport au témoin est calculé selon la formule suivante :

$$IG(\%) = \frac{N_T - N_{PA}}{N_T} \times 100$$

N_T : Nombre des conidies germé dans le témoin.

N_{PA} Nombre de conidie germées dans les boites contenant le milieu de compost.

2.10. Effet des composts et leurs extraits vis-à-vis les agents pathogènes testés (in vivo)

2.10.1. Test de phytotoxicité des composts choisis

Afin d'évaluer la qualité biologique des échantillons de nos composts, nous avons suivi la méthode de Fuchs et Bieri (2000). Cette dernière consiste à caractériser la croissance des plantules dans les composts. Pour lequel des pots de 200 ml de volume et d'un diamètre de 10 cm ont été remplis avec 500g de chaque compost. 10 grains de la tomate ont été semés puis arrosées chaque 2 jour, le témoin a été également effectué dans un sol stérile. La croissance de plante de tomate dans chaque compost a été évaluée en comparaison avec la croissance dans le sol stérile.

2.10.1. Effet sur des maladies telluriques

2.10.1.1. Contamination du sol

La contamination du sol avec *F. solani* et *F. acuminatum* a été effectuée selon le protocole modifié de Kirkpatrick *et al.* (2006), dont la suspension sporale de chaque isolat a été mise dans des flacons stérilisés de 500 ml contenant 237.5 g de sable, 12.5 g milieu de PDA sans agar et 80 ml de l'eau distillé stérile. Les flacons ont été mis sous agitation pendant 9 jours pour permettre la colonisation du milieu et la dispersion de l'inoculum, ensuite le contenu de chaque flacon a été transféré dans un pot de 500 ml.

2.10.1.2. Dispositif expérimental

Des semences de tomate (Suzana Hybride F1-33) sont désinfectées superficiellement à l'hypochlorite de sodium dilué à 1%. Les semences ont été rincées abondamment à l'eau distillée stérile puis séchées entre deux discs de papier filtre. Dix graines sont semées dans des pots contenant des sols contaminés, et mélangés avec le compost à une concentration (50/ 50). Pour le témoin positive les semences ont été cultivées dans des pots contenant des sols contaminés, sans l'ajout du compost. Pour le témoin négative la semence est cultivée dans des pots contenant des sols stérile. Les pots sont incubés dans une température ambiante et irrigués chaque 2 jours. Après trois semaines d'incubation, les plantules sont soigneusement déterrées et les racines sont lavées à l'eau courant pendant 2 min. L'incidence de la maladie a été calculé par l'utilisation de la formule suivante :

$$\% \text{ Incidence de la maladie} = \frac{\text{Nombre des plantes infectées}}{\text{Nombre total des plantes}} \times 100$$

2.10.2. Tests de suppression des maladies Foliaires

Dans le but de caractériser le potentiel phytosanitaire de l'extraits des composts contre les maladies foliaires, deux tests *in vivo* ont été menés (préventive et curative) : Après la désinfection des graines de tomate (Suzana Hybride F1-33), 10 graines sont semées dans des pots contenant du sols stérile. Après le développement des plantules au stade de 2 à 3 feuilles, deux tests (préventive, curative) ont été effectués.

2.10.2.1. Préparation de l'inoculum

Après une culture mono spore, ont étéensemencé l'isolat d'*Alternaria sp* sur un milieu PDA et incubé à 25°C pendant 7 jours. Le contenu d'une boîte a été tout gratté,

dans 50 ml d'eau distillé stérile puis sagitté à l'aide d'un agitateur pendant quelques minutes, la suspension mycélienne a été récupéré par filtration à travers d'un papier filtre (Rapilly, 1968). La concentration de la suspension conidienne a été ajustée par dilution avec de l'eau distillée stérile afin d'obtenir une concentration (10^6 conidies/ml) concentration suffisante à l'aide d'une cellule de Malassez pour provoquer la manifestation des symptômes (Mouria *et al.*, 2013).

2.10.2.2. Test préventive :

Le test préventif a pour objectif de confirmer l'efficacité de nos composts. Les plantules (stade de 2 à 3 feuilles) sont aspergées avec l'extrait de compost jusqu'à saturation, puis incubés sous serre à 25°C, après 2 jours les pots ont été pulvérisé avec la suspension sporale d'*Alternaria sp.* Ces derniers ont été incubées encore une fois dans les mêmes conditions, la lecture des résultats a été effectuée après 4 semaines.

2.10.2.3. Test curative :

Ce test sert à contaminer les plantules de tomates (stade de 2 à 3 feuilles) par pulvérisation avec une suspension sporale d'*Alternaria sp* 10^6 conidie /ml, puis les plantules ont été placées sous serre à 25°C et HR est de 65%. Après deux jours d'incubation les plantules de tomates ont été arrosées par les extraits de composts à une concentration de 10% chaque deux jours (Mouria *et al.*, 2010). La lecture des résultats a été effectuée après 4 semaines d'incubation. Pour le témoin positive (+) les plantules ont été pulvérisées par le pathogène. L'incidence de la maladie a été calculée par l'utilisation de la formule suivante :

$$\% \text{ Incidence de la maladie} = \frac{\text{Nombre des feuilles attaquées}}{\text{Nombre total des feuilles}} \times 100$$

La protection des plantes a été évaluée par le calcul du pourcentage d'inhibition de la maladie par rapport au témoin non traité par chaque extrait de compost.

II.8. Analyses statistiques

Les différences entre les traitements en matière de la charge fongique, les fréquences d'isolements, les inhibitions de la croissance mycéliennes, la sporulation et la germination, et le pourcentage de protection ont été déterminées par analyse de la variance (ANOVA) et le test Tukey a été utilisé pour comparer les différences significatives moyennes entre les traitements ($p < 0,05$). Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique Statistica 8 (Annexe 06).

Partie

03

Résultats et discussions

Partie 03 : Résultats et discussions

3.1. Analyse physico-chimiques et biologiques des composts préparés

Résultats

3.1.1. Caractérisation physiques des composts

○ Structure des composts

Les propriétés physiques des 12 échantillons des composts testés à savoir la structure, la couleur, la composition du mélange sont illustrée dans la planche 3 et 4.

Composts	La structure des composts élaborés	La durée de maturité	La couleur	Le dégagent d'odeur
A-01 (Seau)		16 semaines	Maron	-
A-02 (Seau)		34 semaines	Maron foncé	-

B-01 (Sac en plastique)		20 semaines	Maron	+
B-02 (Sac en plastique)		20 semaines	Maron claire	+
C-01 En tas		34 semaines	Maron foncé	-
C-02 En tas		34 semaines	Maron	-

D-01 (Sac en plastique)		16 semaines	Maron foncé	+
D-02 (Sac en plastique)		34 semaines	Maron foncé	-
E-01 (Seau)		16 semaines	Maron	+
E-02 (Seau)		34 semaines	Maron	-

Planche 1. Description des différents composts préparés

Composts	La structure des composts élaborés	La durée de maturité	La couleur	Le dégagent d'odeur
Oran-01		12 semaines	Maron	-
Oran-02		34 semaines	Maron foncé	-

Planche 2. Description des différents composts fournis

3.1.2. Analyse biologique des composts préparés

D'après les principaux caractères morphologiques et les clés de détermination de Botton *et al.* (1990) nous avons pu identifier huit genres de champignons: *Fusarium sp*, *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Trichoderma sp*, *Mucor sp*, *Absidia sp*, *Cladosporium sp*, *Rhizopus sp* dont les *Aspergillus* et les *Trichoderma sp* sont les espèces le plus apparues dans les deux températures d'incubation 25°C et 30°C (Annexe 05).

➤ *Fusarium sp*

Les colonies sont duveteuses ou cotonneuses de pigmentation variable (blanche, rose) selon les espèces, dont nous avons enregistré 02 espèces de ce genre. Microscopiquement, le *Fusarium* produit des macroconidies composées de 3 à plusieurs cellules. Leur forme est variable, typiquement recourbée avec une cellule apicale plus ou moins pointue, sont droit légèrement incurvées avec des extrémités arrondies, ils sont produits en abondance.

Les micro conidies sont ovales, formées sur une longues monophialides. Les phialides sont plus ou moins allongées, présentent, le plus souvent, un site de bourgeonnement unique (monophialide) situé à l'extrémité d'un col allongé pour l'espèce de *F. solani* ou court et trapu pour le *F. oxysporum*, Les Chlamydozspores (forme de résistance) sont souvent produites en abondance.

➤ *Aspergillus sp*

Les colonies ont une croissance rapide de 2 à 3 jours avec une couleur vert-jaune clair et parfois noire et un aspect granuleux, ce genre a été signalé par la présence des 03 espèces. Microscopiquement on a observé des conidiophores avec des vésicules qui sont sphériques et rugueuses, portent des métules et des phialides ou parfois uniquement des phialides.

➤ *Penicillium sp*

Les colonies présentent une pigmentation jaune brillant, un rever jaune, jaune-brun, ou parfois olive avec une texture lisse et parfois une texture floconneuse, en outre, sont souvent dominées au centre, dont nous avons enregistré 03 espèces de ce genre. Microscopiquement, les conidiophores portant des métules et des phialides sont groupées en pinceaux, portant des conidies.

➤ *Trichoderma* sp

La couleur des colonies varie du vert foncé ou jaune, dont nous avons enregistré 04 espèces de ce genre. Microscopiquement nous avons observé un mycélium constitué d'hyphes ramifiés à parois lisses, portant des conidiophores de forme ramifiés. Les conidies sont globuleuses, lisses et vertes, Les phialides sont puliformes en groupes de 2 à 3. Les chlamydospores sont globuleuses et hyalines.

➤ *Absidia* sp

Les colonies sont caractérisées par une texture floconneuse avec une croissance rapide, d'une couleur jaunâtre en surface (un seul espèce). Microscopiquement le genre *Absidia* est caractérisé par des filaments larges, fixés au milieu par des stolons ramifiés.

➤ *Cladosporium* sp

Les colonies ont un aspect floconneux, avec une couleur va du brun au noir foncé, le revers est aussi brun noir avec une croissance lente (un seul espèce). L'identification microscopique, montre la présence des conidiophores pigmentés (plus foncés), qui produisent des conidies de forme cylindrique.

➤ *Rhizopus* sp

Les colonies sont caractérisées par une croissance très rapide, avec une texture cotonneuse, la pigmentation est grise foncées deviennent noir (un seul espèce). Microscopiquement, nous avons observé des sporocystes bruns sont isolés.

3.1.2.1. Détermination de la charge fongique des composts préparés

La détermination de la charge fongique a été réalisée par le comptage des colonies et les résultats sont exprimés en UFC (Tableau 10). Les fréquences d'isollements des espèces apparues ont été calculées (Tableau 11). D'après les résultats obtenues une difference significative a été enregistré pour le milieu d'isolement et la température d'incubation. Les composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02 s'ont montré les plus enrichies en populations microbiennes par apport au d'autres composts. Ce enrichement est du de la composition du compost (matière organique) et la durée de compostage.

D'après les résultats de la charge fongique obtenue nous avons signalé l'apparition de genre de *Trichoderma* sp dans les composts A-01, A-02, C-01, D-01, D-02, E-02 et O-02. La charge fongique de cette espèce a été enregistré entre 0.20×10^4 CFU/g MS (MEA

incubé à 25°C) et 2.56×10^4 CFU/g MS (PDA incubé à 25°C), et un fréquence d'isolement entre 30% et 79%.

La charge fongique des deux genre *Penicillium sp* et *Aspergillus sp* a été élevé pour tous les composts sur les deux milieux d'isolement et les deux températures d'incubation. Les concentrations du *Penicillium sp* dans les deux milieux de culture sont presque proches. La présence du *Penicillium sp* est signalé dans la majorité des composts telle que; A-01, A-02, B-01, B-02, E-01, E-02, O-01 et O-02, avec des valeurs entre 0.23×10^4 CFU/g MS (PDA à 25°C) et 1.53×10^4 CFU/g MS (MEA 25°C) et un fréquence d'isolement entre 28% et 67%.

La charge fongique d'*Aspergillus* est retenus dans les composts B-01, B-02, C-01, C-02, D-01, D-02, E-01, E-02, O-01 et O-02, leur concentration est entre 0.20×10^4 CFU/g MS et 0.78×10^4 CFU/g MS (PDA à 25°C) et un fréquence d'isolement entre 21% et 48%.

Le *Mucor sp* et le *Rhizopus sp* sont des champignons saprophyte peuvent se développer dans tous les milieux de culture ces deux especes. Le *Mucor sp* a été signalé dans les composts A-01, B-01, B-02, D-01, E-01, E-02, O-01 et O-02 avec une fréquence d'apparition entre 23% et 66% . Alors que le *Rhisopus sp* à été enregistré seulement pour les deux composts C-01 et D-02 avec 0.78×10^4 CFU/g MS, 0.65×10^4 CFU/g MS respectivement sur PDA à 25 °C avec une fréquence d'isolement d'ordre 45% et 42%.

La charge fongique de *Cladosporium sp* sur le milieu PDA à 25 °C est entre 0.27×10^4 CFU/g MS et 0.88×10^4 CFU/g MS respectivemen pour les composts A-01, A-02, C-01, C-02 et D-02.

Absidia sp à été apparu dans les composts A-01 et O-02 entre 0.45×10^4 CFU/g MS et 1×10^4 CFU/g MS respectivement sur PDA et MEA 25 °C et 30 °C.

Les résultats obtenus ont montré une différence significative de la charge fongique dans les composts analysés en fonction de milieu d'isolement et à la température d'incubation avec (df=12 ; f=246.97; p=1,53E-33).

Tableau 9: La charge fongique d'espèces apparues dans les différentes des composts.

Population Microbienne	Charge fongique (x10 ⁴ CFU/g MS)			
	PDA		MEA	
	25°C	30°C	25°C	30°C
Compost A-01				
<i>Trichoderma sp</i>	0.86 ±0.01 ^c	0.78 ±0.01 ^c	0.43 ±0.01 ^{fg}	0.65 ±0.01 ^d
<i>Cladosporium sp.</i>	0.27 ±0.01 ^h	0.45 ±0.01 ^{ef}	0.78 ±0.01 ^c	0.55 ±0.01 ^{de}
<i>Penicillium sp.</i>	0.56 ±0.01 ^{de}	0.99 ±0.01 ^b	0.30 ±0.01 ^h	0.33 ±0.01 ^{gh}
<i>Mucor sp.</i>	0.55 ±0.01 ^{de}	0.85 ±0.01 ^c	0.66 ±0.01 ^c	1.78 ±0.01 ^a
<i>Absidia sp</i>	0.65 ±0.01 ^d	0.45 ±0.01 ^{ef}	0.45 ±0.01 ^{ef}	1±0.01 ^a
Compost A-02				
<i>Trichoderma sp</i>	1.50 ±0.01 ^b	0.88 ±0.01 ^{de}	0.44 ±0.01 ^d	0.55 ±0.01 ^g
<i>Cladosporium sp</i>	0.68 ±0.01 ^{fg}	0.79 ±0.01 ^{ef}	0.43 ±0.01 ^h	0.77 ±0.01 ^{efg}
<i>Penicillium sp</i>	1.43 ±0.01 ^b	1.53 ±0.01 ^b	0.44 ±0.01 ^h	0.38 ±0.01 ^h
<i>Fusarium sp</i>	2.12±0.01 ^a	1.43 ±0.01 ^b	1.10±0.01 ^c	0.46 ±0.01 ^h
Compost B-01				
<i>Penicillium sp</i>	0.55 ±0.01 ^e	0.44 ±0.01 ^{fg}	0.33 ±0.01 ^{hi}	0.35 ±0.01 ^{gh}
<i>Aspergillus sp</i>	0.44 ±0.01 ^f	1.32 ±0.01 ^a	1.25 ±0.01 ^{ij}	0.65 ±0.01 ^d
<i>Mucor sp</i>	0.87 ±0.01 ^c	0.98±0.01 ^b	0.65 ±0.01 ^c	0.85 ±0.01 ^c

<i>Fusarium sp</i>	0.44 ±0.01 ^{jk}	0.13±0.01 ^k	0.20 ±0.01 ^f	0.22 ±0.01 ^{jk}
Compost B-02				
<i>Penicillium sp</i>	0.69 ±0.01 ^g	0.88 ±0.01 ^e	0.43 ±0.01 ^h	0.83 ±0.01 ^{ef}
<i>Aspergillus sp</i>	0.77 ±0.01 ^{fg}	1.10 ±0.01 ^d	1.20 ±0.01 ^c	1.35 ±0.01 ^b
<i>Mucor sp</i>	1.02 ±0.01 ^d	1.45 ±0.01 ^a	1.05 ±0.01 ^d	1.50 ±0.01 ^a
Compost C-01				
<i>Trichoderma sp</i>	2.56 ±0.01 ^a	1.87 ±0.01 ^b	0.30 ±0.01 ^d	0.20 ±0.01 ^e
<i>Aspergillus sp</i>	0.78 ±0.01 ^h	1.02 ±0.01 ^f	0.89 ±0.01 ^g	0.76 ±0.01 ^h
<i>Cladosporium sp</i>	0.66 ±0.005 ⁱ	0.88 ±0.01 ^g	0.47 ±0.01 ^{jk}	0.24 ±0.01 ^m
<i>Fusarium sp</i>	1.47 ±0.005 ^c	1.05 ±0.01 ^f	0.36 ±0.01 ^l	0.65 ±0.01 ⁱ
<i>Rhizopus sp</i>	0.78 ±0.01 ^h	0.65 ±0.01 ⁱ	0.42 ±0.01 ^{kl}	0.55 ±0.01 ^j
Compost C-02				
<i>Absidia sp</i>	0.45 ±0.01 ^{ef}	0.24 ±0.01 ^g	0.17 ±0.01 ^h	0.48 ±0.01 ^{cde}
<i>Aspergillus sp</i>	0.53 ±0.01 ^{cd}	0.66 ±0.01 ^b	0.40 ±0.01 ^f	0.69 ±0.01 ^b
<i>Cladosporium sp</i>	0.47±0.01 ^{de}	0.54 ±0.01 ^c	1.27 ±0.01 ^a	0.71 ±0.01 ^b
<i>Fusarium sp</i>	0.43 ±0.01 ^h	0.14 ±0.01 ^h	0.20 ±0.01 ^{ef}	0.15 ±0.01 ^h
Compost D-01				
<i>Trichoderma sp</i>	1.12 ±0.01 ^c	0.76 ±0.01 ^{fg}	0.26 ±0.01 ^h	0.30 ±0.01 ^{gh}
<i>Aspergillus sp</i>	0.96 ±0.01 ^d	0.88 ±0.01 ^e	1.24 ±0.01 ^b	1.39 ±0.01 ^a
<i>Mucor sp</i>	1.01 ±0.01 ^d	0.65 ±0.01 ^h	0.45 ±0.01 ^j	0.34 ±0.01 ^k

<i>Fusarium sp</i>	0.33 ±0.01 ^k	0.13 ±0.01 ^m	0.21 ±0.01 ^l	0.14 ±0.01 ^{lm}
Compost D-02				
<i>Trichoderma sp</i>	1.65 ±0.01 ^a	0.95 ±0.01 ^d	0.45 ±0.01 ^f	0.35 ±0.01 ^{ij}
<i>Aspergillus sp</i>	1.58 ±0.01 ^a	1.34 ±0.01 ^b	1.05 ±0.01 ^c	1.35 ±0.01 ^b
<i>Cladosporium sp</i>	0.43 ±0.01 ^l	0.67 ±0.01 ^{gh}	0.29 ±0.01 ^m	0.26 ±0.01 ^{mn}
<i>Rhizopus sp</i>	0.25 ±0.01 ^{mn}	0.51 ±0.01 ^{jk}	0.21 ±0.01 ^{no}	0.42 ±0.01 ^l
<i>Fusarium sp</i>	0.74 ±0.01 ^{fg}	0.30 ±0.01 ^m	0.14 ±0.01 ^{op}	0.12 ±0.01 ^p
Compost E-01				
<i>Penicillium sp</i>	0.44 ±0.01 ^f	0.75 ±0.01 ^c	0.87 ±0.01 ^b	0.95 ±0.01 ^b
<i>Mucor sp</i>	0.41 ±0.01 ^f	0.77 ±0.01 ^c	0.78 ±0.01 ^{cd}	0.65 ±0.01 ^{cd}
<i>Fusarium sp</i>	1.23 ±0.01 ^a	0.66 ±0.01 ^{cd}	0.55 ±0.01 ^{de}	0.15 ±0.01 ^g
<i>Aspergillus sp</i>	0.22 ±0.01 ^g	0.53 ±0.01 ^{ef}	0.22 ±0.01 ^g	0.66 ±0.01 ^{cd}
Compost E-02				
<i>Trichoderma harzanium</i>	1.22 ± 0.005 ^{abcde}	0.12 ± 0.01 ^f	0.65 ± 0.02 ^{def}	0.82 ± 0.023 ^{bcddef}
<i>Mucor sp</i>	0.15 ± 0.01 ^{ef}	1.76 ± 0.11 ^{ab}	1.43 ± 0.07 ^{abcd}	1.70 ± 0.023 ^{abc}
<i>Fusarium sp</i>	0.84 ± 0.02 ^{abcdef}	0.22 ± 0.02 ^{ef}	0.54 ± 0.02 ^{def}	0.15 ± 0.023 ^{ef}
<i>Penicillium sp</i>	0.54 ± 0.01 ^{def}	0.51 ± 0.007 ^{def}	0.80 ± 0.02 ^{cdef}	1.66 ± 0.02 ^{abc}
<i>Aspergillus sp</i>	0.67 ± 0.01 ^{def}	1.22 ± 0.05 ^{abcd}	1.02 ± 0.09 ^{abcdef}	1.76 ± 0.02 ^a
Compost O-01				
<i>Fusarium sp</i>	1.25 ±0.01 ^{ab}	1.02 ±0.01 ^d	0.56 ±0.01 ^f	0.19 ±0.01 ^h

<i>Mucor sp</i>	0.97 ±0.01 ^h	1.22 ±0.01 ^a	1.12 ±0.01 ^c	1.22 ±0.01 ^b
<i>Aspergillus sp</i>	0.20 ±0.01 ^h	0.36 ±0.01 ^f	0.86 ±0.01 ^e	0.54 ±0.01 ^g
<i>Penicillium sp</i>	0.23 ±0.01 ^h	0.57 ±0.01 ^h	0.24 ±0.01 ^h	0.18 ±0.01 ^h
Compost O-02				
<i>Trichoderma sp</i>	1.92 ±0.01 ^a	0.96 ±0.01 ^f	0.15 ±0.01 ^f	0.25 ±0.01 ^g
<i>Mucor sp</i>	0.14 ±0.01 ^k	1.05 ±0.01 ^b	0.19 ±0.01 ^d	1.23 ±0.01 ^c
<i>Fusarium sp</i>	1.47 ±0.01 ^b	0.34 ±0.01 ^m	0.97 ±0.01 ^l	0.85 ±0.01 ^m
<i>Penicillium sp</i>	0.71 ±0.01 ^h	0.15 ±0.01 ^{hi}	1.24 ±0.01 ^{hi}	0.89 ±0.01 ⁱ
<i>Aspergillus sp</i>	0.22 ±0.01 ^l	0.67 ±0.01 ^f	0.25 ±0.01 ^d	1.34 ±0.01 ^m

Tableau 10: Le Fréquence d'isolement d'espèces apparues dans les différentes des composts

Population Microbienne	Fréquences d'isolements			
	PDA		MEA	
	25°C	30°C	25°C	30°C
Compost A-01				
<i>Trichoderma sp.</i>	25 % ±0.01 ^a	30 %±0.01 ^b	39% ±0.01 ^{ab}	33% ±0.01 ^c
<i>Cladosporium sp.</i>	35 % ±0.01 ^{ab}	20 %±0.01 ^c	13% ±0.01 ^{bd}	12%±0.01 ^{bc}
<i>Penicillium sp.</i>	15 % ±0.01 ^a	10 %±0.01 ^{bc}	22% ±0.01 ^b	28% ±0.01 ^e
<i>Mucor sp.</i>	10% ±0.01 ^b	26 %±0.01 ^b	15% ±0.01 ^{de}	17% ±0.01 ^{de}
<i>Absidia sp.</i>	15 % ±0.01 ^a	14 %±0.01 ^{ab}	11% ±0.01 ^e	10%±0.01 ^h
Compost A-02				
<i>Trichoderma sp.</i>	34% ±0.01 ^a	41%±0.01 ^d	33% ±0.01 ^a	38% ±0.01 ^a
<i>Cladosporium sp.</i>	19% ±0.01 ^b	22%±0.01 ^f	29% ±0.01 ^{ab}	20% ±0.01 ^b
<i>Penicillium sp.</i>	26% ±0.01 ^{bc}	13% ±0.01 ^{ef}	21% ±0.01 ^{cd}	15% ±0.01 ^{cd}
<i>Fusarium sp.</i>	31% ±0.01 ^e	24%±0.01 ^b	17% ±0.01 ^e	27% ±0.01 ^h
Compost B-01				
<i>Penicillium sp.</i>	25% ±0.01 ^a	14%±0.01 ^e	38% ±0.01 ^a	20% ±0.01 ^a
<i>Aspergillus sp.</i>	31% ±0.01 ^{ab}	28% ±0.01 ^f	22% ±0.01 ^b	26% ±0.01 ^a
<i>Mucor sp.</i>	26% ±0.01 ^{ab}	33% ±0.01 ^{ef}	17% ±0.01 ^{bc}	22% ±0.01 ^c
<i>Fusarium sp.</i>	18% ±0.01 ^b	25% ±0.01 ^g	23% ±0.01 ^d	32% ±0.01 ^d
Compost B-02				
<i>Penicillium sp.</i>	36% ±0.01 ^a	21% ±0.01 ^{ab}	44% ±0.01 ^{bc}	38% ±0.01 ^b
<i>Aspergillus sp.</i>	27% ±0.01 ^a	43% ±0.01 ^d	32% ±0.01 ^d	27% ±0.01 ^a
<i>Mucor sp.</i>	37% ±0.01 ^b	36% ±0.01 ^b	24% ±0.01 ^e	35% ±0.01 ^{ab}
Compost C-01				
<i>Trichoderma sp.</i>	27% ±0.01 ^a	33% ±0.01 ^b	29% ±0.01 ^a	31% ±0.01 ^{ab}
<i>Aspergillus sp.</i>	21% ±0.01 ^a	15% ±0.01 ^a	23% ±0.01 ^d	13% ±0.01 ^{cd}
<i>Cladosporium sp.</i>	14%±0.005 ^c	20% ±0.01 ^{ab}	18% ±0.01 ^{de}	23% ±0.01 ^b
<i>Fusarium sp.</i>	22% ±0.005 ^{bc}	18% ±0.01 ^c	10% ±0.01 ^f	21% ±0.01 ^a

<i>Rhizopus sp</i>	16% ±0.01 ^h	14% ±0.01 ⁱ	20% ±0.01 ^{kl}	12% ±0.01 ^j
Compost C-02				
<i>Absidia sp</i>	25% ±0.01 ^a	19% ±0.01 ^d	28% ±0.01 ^a	33% ±0.01 ^e
<i>Aspergillus sp</i>	22% ±0.01 ^a	35% ±0.01 ^a	24% ±0.01 ^{ab}	27% ±0.01 ^{bc}
<i>Cladosporium sp</i>	32% ±0.01 ^b	20% ±0.01 ^c	18% ±0.01 ^{bc}	23% ±0.01 ^b
<i>Fusarium sp</i>	21% ±0.01 ^{bc}	26% ±0.01 ^d	30% ±0.01 ^{de}	17% ±0.01 ^f
Compost D-01				
<i>Trichoderma sp</i>	33% ±0.01 ^b	35% ±0.01 ^f	36% ±0.01 ^b	32% ±0.01 ^g
<i>Aspergillus sp</i>	23% ±0.01 ^c	19% ±0.01 ^{ef}	25% ±0.01 ^c	22% ±0.01 ^{gh}
<i>Mucor sp</i>	20% ±0.01 ^d	25% ±0.01 ^g	19% ±0.01 ^{de}	28% ±0.01 ^e
<i>Fusarium sp</i>	24% ±0.01 ^{de}	21% ±0.01 ^h	20% ±0.01 ^{ef}	18% ±0.01 ^{cd}
Compost D-02				
<i>Trichoderma sp</i>	26% ±0.01 ^a	24% ±0.01 ^b	28% ±0.01 ^c	27% ±0.01 ^d
<i>Aspergillus sp</i>	21% ±0.01 ^a	16% ±0.01 ^d	20% ±0.01 ^f	14% ±0.01 ^{bc}
<i>Cladosporium sp</i>	15% ±0.01 ^a	22% ±0.01 ^b	19% ±0.01 ^{ab}	20% ±0.01 ^a
<i>Rhizopus sp</i>	20% ±0.01 ^a	15% ±0.01 ^c	21% ±0.01 ^b	18% ±0.01 ^b
<i>Fusarium sp</i>	18% ±0.01 ^{ab}	23% ±0.01 ^d	12% ±0.01 ^c	21% ±0.01 ^a
Compost E-01				
<i>Penicillium sp</i>	29% ±0.01 ^a	23% ±0.01 ^c	20% ±0.01 ^b	25% ±0.01 ^a
<i>Mucor sp</i>	24% ±0.01 ^b	30% ±0.01 ^d	29% ±0.01 ^d	20% ±0.01 ^{ab}
<i>Fusarium sp</i>	22% ±0.01 ^{cb}	21% ±0.01 ^e	27% ±0.01 ^e	33% ±0.01 ^d
<i>Aspergillus sp</i>	25% ±0.01 ^d	26% ±0.01 ^f	24% ±0.01 ^{de}	22% ±0.01 ^{bc}
Compost E-02				
<i>Trichoderma harzanium</i>	22% ± 0.01 ^{ab}	25% ± 0.01 ^f	27% ± 0.01 ^{de}	24% ± 0.005 ^a
<i>Mucor sp</i>	20% ± 0.01 ^c	15% ± 0.01 ^{ab}	18% ± 0.005 ^{cd}	21% ± 0.005 ^a
<i>Fusarium sp</i>	19% ± 0.005 ^{cd}	23% ± 0.01 ^{cd}	16% ± 0.010 ^{ef}	20% ± 0.01 ^b
<i>Penicillium sp</i>	21% ± 0.01 ^e	17% ± 0.01 ^{de}	20% ± 0.01 ^{bc}	18% ± 0.01 ^{bc}
<i>Aspergillus sp</i>	18% ± 0.01 ^{cd}	20% ± 0.05 ^c	19% ± 0.09 ^{ab}	17% ± 0.02 ^a
Compost O-01				
<i>Fusarium sp</i>	25% ±0.01 ^{ab}	20% ±0.005 ^d	29% ±0.01 ^f	23% ±0.01 ^h
<i>Mucor sp</i>	20% ±0.01 ^h	27% ±0.01 ^a	30% ±0.01 ^c	22% ±0.01 ^b

<i>Aspergillus sp</i>	29% ±0.005 ^h	23% ±0.005 ^f	21% ±0.01 ^c	26% ±0.01 ^g
<i>Penicillium sp</i>	26% ±0.01 ^h	30% ±0.01 ^h	20% ±0.005 ^h	29% ±0.01 ^h
Compost O-02				
<i>Trichoderma sp</i>	24% ±0.01 ^a	26% ±0.005 ^a	23% ±0.01 ^a	25% ±0.01 ^a
<i>Mucor sp</i>	15% ±0.01 ^b	20% ±0.01 ^b	21% ±0.01 ^{bc}	18% ±0.01 ^c
<i>Fusarium sp</i>	20% ±0.01 ^{bc}	18% ±0.005 ^{cd}	22% ±0.005 ^{cd}	21% ±0.01 ^{bc}
<i>Penicillium sp</i>	22% ±0.01 ^d	16% ±0.01 ^{ef}	20% ±0.01 ^{ef}	14% ±0.01 ^d
<i>Aspergillus sp</i>	19% ±0.01 ^e	20% ±0.01 ^{de}	14% ±0.01 ^d	22% ±0.01 ^{ef}

3.1.3. Analyse chimiques des composts

3.1.3.1. Teneur du pH aqueux, la salinité et la matière sèche

Les propriétés chimiques des composts, à savoir la matière sèche (MS), la matière organique (MO), le pH et la conductivité électrique (CE) sont illustrées dans le tableau 12.

L'évolution du pH au cours du compostage est un premier indice qui reflète le degré de la maturité et la qualité du compost. La valeur du pH augmente au cours du compostage pour atteindre la valeur 7 et 7.8. Dans notre étude la valeur du pH est variée entre 6,05 et 8,58 avec une moyenne de 7.31 pour les deux composts B-01, E-02.

La teneur en matière sèche des composts analysés a été de 77.23%, 79.16%, 80.12%, 82.32% et de 93.80 % respectivement pour les composts E-01, D-01, D-02, B-01, O-02. La teneur en matière organique a été enregistrée avec 16,74%, 19,32 % et 12.30% respectivement pour les composts A-02, C-01 et D-02.

La conductivité électrique est variée d'un compost; elle est plus faible pour le compost D-01 avec 1.55 [mS cm⁻¹] et plus élevée pour le compost CE-01 avec 5,66 [mS cm⁻¹].

Tableau 11: Propriétés physico-chimiques des composts testés

Composts	Ph	CE	MS %	MO %
Compost A-01	6.98	5.21mS/cm	78.82 %	27.23 %
Compost A-02	7.12	3.27mS/cm	79.16 %	16.74 %
Compost B-01	6.05	2.33mS/cm	82.32 %	33.02 %
Compost B-02	6.33	4.24mS/cm	90.09 %	29.60 %
Compost C-01	7.54	3.91mS/cm	82.96 %	19.32 %
Compost C-02	6.33	3.40 mS/cm	87.30 %	32.11 %
Compost D-01	7.68	1.55mS/cm	79.16 %	14.55 %
Compost D-02	8.05	2.05 mS/cm	80.12 %	12.30 %
Compost E-01	7.02	5,66mS/cm	77.23 %	24.33 %
Compost E-02	8.58	4 ,31mS/cm	88.89 %	12.02 %
Compost O-01	7.03	5.10mS/cm	92.29%	26.04%
Compost O-02	8.13	3.64 mS/cm	93.80%	12,84 %

D'après les résultats d'analyse physico-chimiques et biologiques obtenus ainsi que le test in vitro sur l'inhibition de la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des conidies (voir les résultats ci-dessus) notre choix est vocalisé sur les cinq composts suivants: CA-02, CC-01, CD-02, CE-02, CO-02 pour terminer les tests physico-chimiques afin de confirmer notre objectif de recherche;

3.1.3.1 Taux des acides humiques et fulviques

Les deux composts CD-02 et CC-01 ont présenté un taux d'acides humique un peu faible avec 0,7 % et 1.4% respectivement. Alors que ce taux était très important pour les trois composts CA-02, CE-02 et CO-02 avec 2.9%, 3.5% et 3.3% respectivement. Le taux de l'acide fulvique des cinq composts CO-02, CC-01, CD-02, CA-02 et CD-02 est de 2.8%, 3.2%, 3.4%, 6.5% et 6.6% respectivement.

Tableau 12: Les taux des acides humiques et fulviques des cinq composts.

Composts	Acide humiques	Acides Fulviques	Humique totale
Com C-01	1,4 %	3,2 %	4,6 %
Com A-02	2,9 %	6,5 %	9,4 %
Com E-02	3,5 %	6,6 %	10,1 %
Com D-02	0,7 %	3,4 %	4,1 %
Com O-02	3,3 %	2,8 %	6 ,1 %

3.1.3.2. Taux d'humidité

Au cours du processus de compostage, le taux d'humidité a un rôle très important dans la dégradation biologique. Le taux d'humidité a été mesuré pour les cinq composts où la valeur est variable de 3.80% et 14.80 %. (Tableau 14).

Tableau 13: Le taux d'humidité présentés dans les cinq composts

Composts	Com C-01	Com A-02	Com E-02	Com D-02	Com O-02
Humidité%	5.13 %	5.89 %	3.80 %	3.90 %	14.80 %

3.1.3.3. Détermination des métaux lourds

Les résultats de détermination des teneurs en métaux lourds des cinq composts sont présentés dans le tableau 15. Parmi les ETM les plus fréquemment rencontrés sont: le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le zinc (Zn). La teneur en chrome (Cr) est de 14.91 mg/Kg, 39.01 mg/Kg, 10.14 mg/Kg, 16.59 mg/Kg, 17.77 mg/Kg respectivement pour les composts A-02, C-01, O-02, D-02, E-02.

La teneur de métal B a été de 38,37 mg/Kg, 34.67 mg/Kg, 19.99 mg/Kg, 28.22 mg/Kg, 27.67 mg/Kg, respectivement pour les composts; A-02, C-01, O-02, D-02, E-02.

La teneur en cadmium (Cd) a été très faible pour les deux composts C-01 et A-02 avec 0.17 et 0.26 mg/Kg respectivement. La teneur en plomb (Pb) a été très élevée pour le compost O-02 avec 209,07 mg/Kg et très faible pour les composts A-02, C-01, D-02 et E-02 avec 6.73mg/Kg, 18.32mg/Kg, 18.1mg/Kg et 18.12mg/Kg respectivement. Ces deux éléments sont toxiques.

Le cuivre (Cu) est un oligo-élément essentiel pour le développement des plantes, mais il devient toxique à certaines doses, d'après nos résultats la teneur en cuivre a été 30.26mg/Kg, 17.97mg/Kg, 15.05mg/Kg, 14.68 mg/Kg, 13.86 mg/Kg respectivement pour les composts A-02, C-01, O-02, D-02 et E-02. Les résultats sur la présence des ETM permettent de dire que le procédé de compostage a un effet efficace pour dégrader les composés toxiques.

La teneur en zinc a été enregistrée avec 129,58 mg/Kg, 78,48 mg/Kg, 60,39 mg/Kg, 55,30 mg/Kg et 69,22 mg/Kg, respectivement pour les composts A-02, C-01, O-02, D-02 et E-02.

Il est important de signaler que les teneurs en Ni, As, Mo et Hg sont respectivement de 8.14 mg/Kg, 2.38 mg/Kg, 4.26 mg/Kg et 2.09 mg/Kg dans le compost A-02 et de 18.62 mg/Kg, 12.60 mg/Kg, 1.26 mg/Kg et 0.20 mg/Kg respectivement dans le compost C-01. Les teneurs en Ni, As, Mo et Hg dans les deux composts E -02 et O-02 sont de 8.78 mg/Kg, 2.69 mg/Kg, 1.96 mg/Kg et 1.27 mg/Kg. De 7.23 mg/Kg, 60.39 mg/Kg, 0.72

mg/Kg et 2.73 mg/Kg respectivement. Ces résultats confirment la qualité de nos composts et la possibilité de leur utilisation comme des bio fertilisants.

Tableau 14: Les métaux lourds présentant dans les cinq composts mg/Kg

Composts	B	Cr	Ni	Cu	As	Mo	Zn	Cd	Pb	Fe	Hg
CA-02	38,37	14,91	8,14	30,26	2,38	4,26	129,58	0,26	6,73	8,07	2,09
CC-01	34,67	39,01	18,62	17,97	12,60	1,26	78,48	0,17	18,32	17,25	0,20
CO-02	19,99	10,14	7,23	15,07	4,70	0,72	60,39	0,25	209,07	4,95	2,73
CD-02	28,22	16,59	8,93	14,68	2,82	1,47	55,30	0,21	18,01	6,49	2,14
CE-02	27,67	17,77	8,78	13,86	2,69	1,96	69,22	0,19	18,12	7,70	1,27

3.1.3.4. Détermination de la composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X (XRF)

Afin de valoriser la capacité fertilisante de nos composts nous avons analysé sa composition élémentaire à l'aide d'un spectromètre de Fluorescence X. les résultats de cette analyse a été présentés dans le tableau 16. Il est important de signaler que les cinq composts analysés sont enrichis en éléments fertilisants majeurs comme le phosphore et le potassium. Ces résultats confirment bien la capacité fertilisante de nos composts. Les résultats d'analyse de la composition élémentaire montrent la présence des macro-éléments tels que le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et manganèse (Mn), le Sodium (Na), le Chlore (Cl) et le Silicium (Si) avec 1.51%, 7.17%, 0.81%, 7.43%, 0.07%, 0.67%, 8.38% dans le compost A-02 et de 0.17%, 2.50%, 0.13%, 10.85%, 0.05%, 0.15%, 0.29% et 16.97% respectivement pour le compost C-01. Ces éléments sont aussi présentés dans le compost D-02 respectivement avec 0.50%, 4.56%, 0.39%, 8.55%, 0.04%, 0.76%, 2.86% et 12.81%. De même ces éléments sont présents dans le compost E-02 respectivement avec 0.65%, 7.21%, 0.50%, 6.47%, 0.04%, 0.54%, 3.31% et 13.84%.

La présence des oligo-éléments, le fer (Fe) avec 2.38%, 4.50%, 2.42%, 2.41% et 2.39%. Le Magnésium (Mg) avec 0.87%, 1.58%, 0.95%, 0.96% et 0.40% respectivement pour les composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02. Les pourcentages des métaux comme le Zinc (Zn) sont faibles, est de 0.02%, 0.004%, 0.005%, 0.003% et 0.007% respectivement pour les composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02.

Tableau 15: Composition élémentaire par Fluorescence aux Rayons X des 05 composts

Formule	Concentration%	Stat,Dev,1	Formule	Concentration%	Stat.Dev . 1
Compost A-02					
Na2O	0.905	0.0084	O	19.89	
MgO	1.453	0.0071	Na	0.671	0.0062
Al2O3	3.094	0.017	Mg	0.8761	0.0043
SiO2	17.94	0.045	Al	1.638	0.0089
P2O5	3.472	0.02	Si	8.385	0.021
SO3	2.04	0.013	P	1.515	0.0088
Cl	3.228	0.016	S	0.818	0.0052
K2O	8.641	0.02	Cl	3.228	0.016
CaO	10.4	0.026	K	7.174	0.016
TiO2	0.28	0.0047	Ca	7.436	0.018
Cr2O3	0.000053	0.0000053	Ti	0.168	0.0028
MnO	0.0985	0.0018	Cr	0.000036	0.0000036
Fe2O3	3.403	0.0078	Mn	0.0763	0.0014
ZnO	0.0355	0.00053	Fe	2.38	0.0055
Br	0.0158	0.00043	Zn	0.0285	0.00043
SrO	0.0815	0.001	Br	0.0158	0.00043
ZrO2	0.0279	0.00039	Sr	0.0689	0.00087
			Zr	0.0207	0.00029

Total	55.115253		Total	54.389336	
Compost C -01					
Na₂O	0.211	0.0053	O	33.38	
MgO	2.633	0.01	Na	0.156	0.0039
Al₂O₃	11.66	0.034	Mg	1.588	0.0062
SiO₂	36.3	0.067	Al	6.173	0.018
P₂O₅	0.395	0.0075	Si	16.97	0.031
SO₃	0.347	0.0057	P	0.172	0.0033
Cl	0.292	0.0051	S	0.139	0.0023
K₂O	3.021	0.011	Cl	0.292	0.0051
CaO	15.18	0.028	K	2.508	0.0093
TiO₂	0.674	0.0066	Ca	10.85	0.02
V₂O₅	0.0089	0.001	Ti	0.404	0.004
Cr₂O₃	0.0106	0.00058	V	0.005	0.00057
MnO	0.0679	0.0014	Cr	0.00722	0.00039
Fe₂O₃	6.438	0.01	Mn	0.0526	0.0011
NiO	0.0063	0.00034	Fe	4.503	0.0071
ZnO	0.00553	0.00015	Ni	0.00495	0.00027
Ga₂O₃	0.0033	0.00048	Zn	0.00444	0.00012
SeO₂	0.0029	0.0004	Ga	0.0025	0.00036
Rb₂O	0.00989	0.00029	Se	0.0021	0.00028

SrO	0.0258	0.00036	Rb	0.00905	0.00026
Y2O3	0.00439	0.00019	Sr	0.0218	0.0003
ZrO2	0.0241	0.0003	Y	0.00346	0.00015
			Zr	0.0179	0.00022
TOTAL	77.32061		TOTAL	77.26602	
Compost D- 02					
Na2O	1.04	0.0093	O	24.19	
MgO	1.58	0.0076	Na	0.769	0.0069
Al2O3	5.315	0.022	Mg	0.9528	0.0046
SiO2	27.4	0.056	Al	2.813	0.012
P2O5	1.15	0.012	Si	12.81	0.026
SO3	0.991	0.0093	P	0.503	0.0053
Cl	2.868	0.015	S	0.397	0.0037
K2O	5.495	0.016	Cl	2.868	0.015
CaO	11.97	0.027	K	4.562	0.013
TiO2	0.407	0.0054	Ca	8.559	0.019
Cr2O3	0.0025	0.0002	Ti	0.244	0.0032
MnO	0.0607	0.0014	Cr	0.0017	0.00013
Fe2O3	3.473	0.0077	Mn	0.047	0.0011
ZnO	0.00672	0.00018	Fe	2.429	0.0054

As₂O₃	0.0082	0.0027	Zn	0.0054	0.00014
Br	0.0095	0.00037	As	0.0062	0.0021
Rb₂O	0.00722	0.00024	Br	0.0095	0.00037
SrO	0.0189	0.00035	Rb	0.0066	0.00022
Y₂O₃	0.0056	0.00041	Sr	0.016	0.00029
ZrO₂	0.0851	0.00097	Y	0.0044	0.00032
Yb₂O₃	0.0361	0.0018	Zr	0.063	0.00071
			Yb	0.0317	0.0016
TOTAL	61.92954		TOTAL	61.2883	
Compost E-02					
Na₂O	0.73	0.008	O	25.34	
MgO	1.605	0.0077	Na	0.541	0.0059
Al₂O₃	5.526	0.023	Mg	0.9681	0.0046
SiO₂	29.6	0.058	Al	2.925	0.012
P₂O₅	1.5	0.014	Si	13.84	0.027
SO₃	1.25	0.01	P	0.655	0.0061
Cl	3.314	0.017	S	0.502	0.0042
K₂O	8.69	0.02	Cl	3.314	0.017
CaO	9.058	0.024	K	7.214	0.016
TiO₂	0.405	0.0054	Ca	6.473	0.017
Cr₂O₃	0.0038	0.0003	Ti	0.243	0.0032

MnO	0.0613	0.014	Cr	0.0026	0.00021
Fe2O3	3.458	0.0077	Mn	0.0475	0.0011
ZnO	0.00488	0.00014	Fe	2.418	0.0054
Br	0.014	0.00039	Zn	0.00392	0.00011
SrO	0.0209	0.00035	Br	0.014	0.00039
ZrO2	0.0873	0.00091	Sr	0.0177	0.00029
			Zr	0.0647	0.00067
TOTAL	65.32818				
			TOTAL	64.58352	
Compost O-02					
Na2O	0.199	0.0043	O	22.14	
MgO	0.67	0.005	Na	0.147	0.0032
Al2O3	4.012	0.019	Mg	0.404	0.003
SiO2	23.94	0.052	Al	2.124	0.01
P2O5	1.35	0.013	Si	11.19	0.024
SO3	1.07	0.0096	P	0.588	0.0056
Cl	0.275	0.0051	S	0.429	0.0039
K2O	1.455	0.0077	Cl	0.275	0.0051
CaO	15.17	0.028	K	1.208	0.0064
TiO2	0.465	0.0057	Ca	10.84	0.02

Cr2O3	0.0068	0.00047	Ti	0.278	0.0034
MnO	0.0613	0.0014	Cr	0.0047	0.00032
Fe2O3	3.422	0.0076	Mn	0.0475	0.0011
ZnO	0.00982	0.00024	Fe	2.393	0.0053
Br	0.0049	0.00036	Zn	0.00789	0.00019
SrO	0.0816	0.001	Br	0.0049	0.00036
ZrO2	0.00246	0.000042	Sr	0.069	0.00087
TeO2	0.068	0.006	Zr	0.00182	0.000031
WO3	0.066	0.012	Te	0.054	0.0048
			W	0.052	0.0094
TOTAL	52.32888		TOTAL	52.25781	

Discussion

La détermination de la qualité du compost a été basée sur la couleur, la structure, l'odeur et la durée de la décomposition. D'après les résultats obtenus ces paramètres sont variables d'un compost à l'autre selon leurs compositions (matière organique) et la durée du compostage de même Znaïdi (2002) a confirmé que la détermination de la qualité d'un compost a été basée sur des observations visuelles. La qualité du compost est déterminée par le degré de décomposition et de la maturité (Schleiss *et al.*, 2002, Znaïdi, 2002).

D'après les résultats des analyses biologiques nous avons remarqué que ces composts sont enrichis par des populations microbiennes en particulier; *Aspergillus sp*, *Penicillium sp*, *Fusarium sp* et *Trichoderma sp*, *Cladosporium sp*. Cette richesse a conduit à améliorer la biodiversité des sols. En effet, l'amendement des sols avec du compost induit une augmentation des populations de microorganismes du sol (Lazarovits, 2001). Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par Atalia *et al.* (2015). Ces auteurs ont déclaré la présence de ces microorganismes au cours du compostage assurés la décomposition des déchets organiques. De même Termorshuizen *et al.* (2005) ont mentionné que la présence de la population fongique dans le compost facilite la décomposition de la matière organique.

La fréquence d'isolement de la mycoflore de nos composts selon le milieu de culture et la température d'incubations indiquent d'une part la thermo sensibilité des espèces mésophiles incapables à survivre dans les températures élevées et d'autre part que les espèces fongiques sont incapables de sécréter des enzymes qui dégradent les polymères en sucres simples (Mouria *et al.*, 2013). En effet, la composition initiale du compost ainsi la technique de compostage peut affecter la charge fongique. Ainsi nos composts sont caractérisés par la présence d'une population de champignons bien diversifiée qui indique le degré de maturité de ces derniers. Anastasi *et al.* (2005) ont également isolé, treize espèces de champignons *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aureobasidium pullulans*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. harbarum*, *Penicillium simplicissimum*. D'autres études menées ont déclaré que la présence *Fusarium sp* et les champignons thermophiles ou thermotolérantes comme le genre *Aspergillus* dans quelques composts qui ont la capacité est de dégrader la cellulose et la lignine (Deloraine, 2002). Nous avons trouvé aussi l'espèce de *Trichoderma sp* dans nos composts et ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Hibar *et al.* (2006) et Larbi (2006).

Le compostage est un processus dont l'activité microbienne est bien activée afin de transformer de la matière organique (El fel *et al.*, 2014). Epelde *et al.* (2018) ont suggéré que le fumier de vache composté présente des valeurs plus élevées d'activité microbienne, ce dernier pourrait donc être utilisé comme un amendement à l'usage agricole. En peut dire donc que l'amendement des sols avec du compost induit une augmentation des populations microbienne.

Les analyses physico-chimique de nos composts nous a permet dans un premier lieu de déterminer le pH, ce dernier est un indicateur chimique sur la maturité du compost. Nous avons enregistré un pH égal à 6.05 pour le compost B-01. Cette valeur a été de 7.54 et 8.58 pour les deux composts C-01 et E-02. Atalia *et al.* (2015) ont également rapporté que la décomposition biologique des déchets organique au cours du compostage nécessite une accélération de pH y'compris de 6.0 et 7.5. Nos résultats sont aussi en accordance avec ceux trouvées par Majbar *et al.* (2018), Solaiman *et al.* (2019) et Ruiz-Sagaseta *et al.* (2021).

Selon Mustin (1987) les équilibres acido-basiques du pH passent par plusieurs phases; phase acidogène, phase d'alcalinisation et la phase de stabilité. La diminution du pH est due à la production d'acides organiques et à la dissolution de CO₂ dans le milieu et/ou les produits de dégradation des molécules simples (glucides et lipides). Ces acides provoquent une acidification du milieu à cause de leur accumulation. L'augmentation du pH peut s'expliquer par un processus d'ammonification et la production ammoniacale à partir de la dégradation des amines (protéines, bases azotés...) et peut être une libération des bases existantes dans les déchets organiques. Pour cela le pH augmente pour atteindre des valeurs nettement basiques (Nakasaki *et al.*, 1993). Les résultats sur les valeurs de pH indiquent la maturité de nos composts A-02, C-01, D-01, D-02, E-01, E-02 ainsi que la formation des acides humique. Le pH est l'un des facteurs les plus importants affectant l'activité microbienne et la maturité du compost (Harada *et al.*, 2020).

La conductivité électrique de nos composts a été variée entre 1.55 mS/cm et 5.66 mS/cm, ces résultats sont identiques avec ceux trouvées par Agani *et al.* (2015). Par conséquent l'augmentation de la CE a révélé la minéralisation du substrat organique et la libération d'ions (El fels, 2014). Habituellement, les valeurs supérieures de CE pourrait être des indices de la présence des éléments nutritives dans les composts, nos résultats ont relevé que les composts A-01, A-02, B-02, C-01, C-02, E-01, E-02 sont considérés les

meilleurs composts. Les travaux de Ruiz-Sagasetta *et al.* (2021) ont également constaté que tous les engrais organiques avaient un taux plus de 2 mS/cm de CE peut s'expliquer par leur forte concentration en nutriments en particuliers N-NH₄, K et P. D'autre part plus le compost contient de la matière ligneuse, plus sa salinité est basse au contraire plus il contient des produits peu structurés, comme des déchets de légumes, plus sa salinité est importante. Ce sont principalement les cations Na⁺, K⁺, Ca⁺² et Mg⁺² qui sont responsables de la salinité (Chen *et al.*, 1988).

L'évolution de la matière organique est considérée comme un paramètre essentiel de la biodégradation et de la transformation au cours du processus de compostage. Les taux de Mo dans nos composts sont faibles avec des valeurs variées entre 12.02 % et 33.02%. Ces valeurs ont indiqué une bonne biodégradation de la matière organique pendant le compostage. Il est important de signaler que nos résultats sont similaires à ceux déclarés par Majbar *et al.* (2018). Ces auteurs ont indiqué que la décomposition de la Mo est le résultat d'une bonne activité microbienne afin d'obtenir des substances humiques stables. Larbi (2006) a signalé que les teneurs en matières organiques sont d'ordre 17,5 % et 17,2 % dans les composts les plus âgés.

Les teneurs en matière sèche des composts analysés varient entre 79.16% et 93.80%. Ces résultats sont en accord avec ceux signalés par Rahel *et al.* (2013). Les valeurs de la matière sèche se différencient selon sa composition initiale et de son degré de maturité.

Les concentrations des acides humiques AH dans les cinq composts analysés varient entre 0.7 et 3.5. Nos résultats sont identiques à ceux trouvés par Chefetz *et al.* (1996). Ils ont constaté que l'indice d'humification augmente jusqu'à 3 après une période de compostage de 132 jours. Azim *et al.* (2017) ont trouvé que la formation d'acide fulvique (AF) est l'étape intermédiaire pour la formation des acides humiques (HA). Ils ont confirmé que ces acides ne sont pas phytotoxiques. D'autre part l'amendement des sols par le compost améliore leur structure en améliorant le contenu en AF, AH (Masmoudi *et al.*, 2017 ; Solaiman *et al.*, 2019). L'âge du compost, la composition des mélanges ainsi que la méthode de compostage jouent un rôle important dans le degré et la vitesse d'humification de la matière organique. Le paramètre d'humification peut être utilisé pour caractériser la qualité de compost (El fel (2014 ; Solaiman *et al.*, 2019). Larbi (2006) a confirmé aussi que les taux élevés d'acides humiques correspondent à des composts mûrs et bien

humifiés. Le taux d'humidité des cinq composts choisis dépend essentiellement des matériaux compostés, il suffit d'un simple apport d'eau pour rétablir le processus de décomposition (Znaidi, 2002).

L'amélioration des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sols par des amendements de compost créent de meilleures conditions de croissance pour les plantes. Ce qui les rend plus résistantes aux maladies. Ce mécanisme est un effet suppressif indirect (Fuchs, 2002).

En ce qui concerne les concentrations en métaux lourds dans les différents composts analysés (A-02, C-01, O-02, D-02, E-02). Nous avons enregistré que les cinq composts ont des teneurs tolérantes aux normes. Les teneurs totaux en éléments traces métalliques (ETM) telle que; B, Pb, Cd, Cr sont détecté avec des valeurs faibles pour les cinq composts choisis. Ces faibles valeurs s'indiquent une bonne décomposition de la matière organique au cours de processus de compostage (Paré *et al.*, 1999). Charnay (2005) à rappeler que le projet de norme française NF U 44-051 préconise des valeurs limités des teneurs en Cd de 3 mg/Kg, en Cu de 300 mg/Kg et en Pb de 120 mg/Kg de même les teneurs en As, Hg, Ni, Cr, Se et Zn sont aussi limitées. En outre Singh *et al.* (2004), ont montré que les ETM précipitent et deviennent immobiles en présence des carbonates. Nos résultats sont en accordance avec les travaux d'Ayari *et al.* (2015). En général, l'amendement des sols avec du compost qui contient des valeurs élevées des métaux lourds peut induire un retard de germination ainsi une inhibition de la croissance des plantes (Tiquia, 2010).

L'ajout de compost est un apport efficace pour réduire considérablement le potentiel des métaux lourds présent dans le sol. En effet les composts ont des effets significatifs sur les caractéristiques physico-chimiques du sol. Charnay (2005) a conclu dans son étude que l'analyse des éléments métalliques toxiques est une étape essentielle dans la filière de compostage puisqu'elle confirme la qualité du compost.

D'après les résultats trouvés sur les teneurs en ETM de nos composts on conclure que nos résultats répondent aux normes d'Afnor (2002). Dont ces composts ont été classé dans la catégorie A et peuvent être utilisés dans l'agriculture comme amendement pour les sols sans risque. La valorisation agronomique des composts se juge son aptitude à améliorer la fertilité du sol. L'apport des composts pourrait également réduire le transfert sol-plante des métaux lourds très abondants dans le sol, en protégeant la santé de l'humain (Kitabala *et al.*, 2016). La valorisation des déchets par le procédé de compostage est une

démarche très importante dans la gestion économique, leur effet non seulement sur le sol et la plante, elles agissent aussi sur la protection de l'environnement afin de minimiser les risques de la pollution et d'assurer une bonne production de rendement (Matejka, 2011).

Les résultats d'analyse de la composition élémentaire pour les cinq composts montrent la présence des macro-éléments notamment le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et manganèse (Mn) avec des valeurs suffisantes et des oligo-éléments. La présence des oligo-éléments; Fer (Fe), Magnésium (Mg), Zinc (Zn), indique la qualité du compost (Uyizeye *et al.*, 2019). Selon Ramdani (2015) l'azote est un élément fondamental de la production végétale, sa disponibilité détermine le rendement. Le potassium est absorbé par les plantes sous la forme ionique (K⁺), très mobile, dissout dans le liquide intracellulaire, ces éléments sont fondamentaux de compost en favorisent une bonne fertilisation du sol.

Le compost introduit dans le sol joue un double rôle : amendement, car il renferme des composés organiques précurseurs de l'humus et engrais, par sa teneur en éléments fertilisants, il améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols amendés (Gobat *et al.*, 2003).

La présence des éléments de fertilisation (N, P, K) dans nos composts pourrait être suffisante pour évaluer la qualité de ces composts. L'importance de ces éléments est déterminée aussi par Meunchang *et al.* (2006). Ils sont suggérés que la présence de N, P, K dans le compost sert à fertiliser le sol.

L'utilisation de compost en culture est très intéressante de part son apport en éléments fertilisants et ses effets sur la fertilité des sols et sur la santé des plantes. Il est toutefois montré que le compost peut améliorer la situation économique en réduisant l'utilisation des pesticides chimiques. C'est pourquoi il est important d'intégrer l'utilisation des composts dans le concept de la production.

3.2. Étude de l'effet des extraits des composts sur les caractères biologiques des agents pathogènes telluriques (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*) et foliaire (*Alternaria sp*) (Test in vitro).

Résultats

3.2.1. Caractérisation des agents pathogènes

Les deux agents pathogènes telluriques *F. solani* et *F. acuminatum* et un isolat d'*Alternaria sp* ont été utilisés afin d'évaluer l'effet des extraits des composts sur l'inhibition de la croissance mycélienne, la sporulation et la germination (in vitro) (planche 3).

- **Description macro et microscopiquement des isolats**

- ***Fusarium solani***

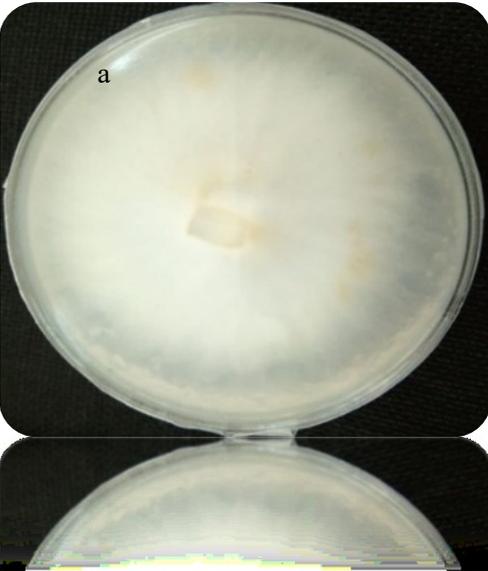
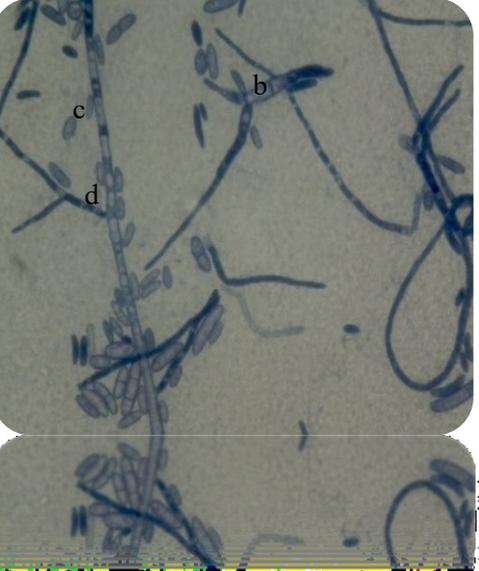
Les colonies sont cotonneuses de pigmentation blanche. Microscopiquement, le *Fusarium solani* produit des macroconidies composées de 2 à 3 cellules. Leur forme est variable, sont droit légèrement incurvées avec des extrémités arrondies avec un mycélium cloisonné. Les microconidies sont ovales, les phialides sont plus ou moins allongées, situé à l'extrémité d'un col allongé.

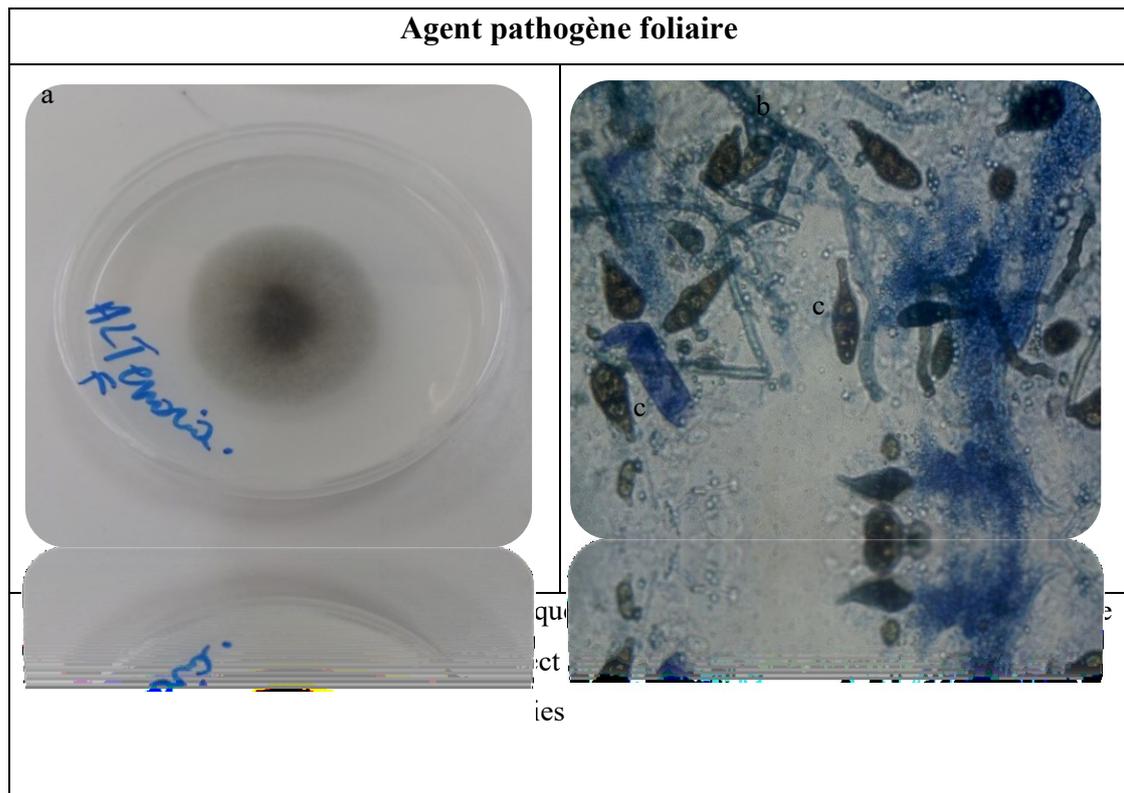
- ***Fusarium acuminatum***

Les colonies sont duveteuses de pigmentation rose, le mycélium a un aspect floconneux ras et muqueux. Microscopiquement, le champignon produit des macroconidies composées de 4 à plusieurs cellules. Les microconidies sont ovales, les phialides sont plus ou moins allongées. Il se caractérise par un mycélium cloisonné typiquement recourbée avec une cellule apicale plus ou moins pointue.

- ***Alternaria sp***

Macroscopiquement, Les colonies sont de couleur vert laitue à vert olive. *Alternaria sp* se distingue par la formation de chaînes conidiennes de six à 14 conidies de long, La ramification des chaînes se produit des conidiophores secondaires à partir des cellules conidiales terminales. Les petites conidies sont une caractéristique importante de cette espèce. Les conidies sont de forme ovale, divisés par des parois transversales et verticales, les hyphes et les conidiophores sont brun clair et cloisonnés.

Agents pathogène telluriques	
Observation macroscopique	Observation microscopique
	
	



l

re
iq

es

3.2.2. Effet des milieux de culture à base des extraits de composts sur la croissance mycélienne

Les résultats présentés dans le tableau 17 montrent que les milieux de culture à base des extraits des composts non additionnés du glucose et stérilisé à 80°C (MECSG80°C) ont un effet inhibiteur très important par rapport aux autres milieux. La plupart des milieux des extraits des composts testés ont montré un effet inhibiteur contre la croissance mycélienne des trois isolats (*F. solani*, *F. acuminatum*, et *Alternaria sp*). Cette inhibition a dépassé 80% pour les composts A-01, A-02, B-01, C-01, D-02, E-02, O-02.

Les milieux de culture à base des extraits de composts A-01, A-02, B-01, C-01, D-02, E-02, O-02 non additionné du glucose et stérilisé à 80°C ont inhibé fortement le *F. solani* avec 50%, 86%, 60%, 92%, 75% et 46%, le *F. acuminatum* avec 53%, 92%, 67%, 84%, 85%, 82% et 68% et *Alternaria sp* avec 55%, 80%, 69%, 93%, 87%, 75% et 87%.

En outre, les milieux de culture à base des extraits des composts non additionnés du glucose et stérilisé à 120°C ont aussi inhibé la croissance mycélienne mais cette inhibition est moins importante par rapport au milieu MECSG80°C. Par contre les milieux de culture à base d'extrait de compost additionné du glucose et stérilisé à 120°C et même à 80°C (MECG) ont enregistré des pourcentages d'inhibition très faible.

Les milieux à base des extraits de composts A-01, A-02, B-01, C-01, D-02, E-02, O-02 non additionné du glucose et stérilisé à 120°C ont inhibé le *F. solani* avec 40%, 78%, 42%, 65%, 63%, 80% et 55% le *F. acuminatum* avec 47%, 84%, 45%, 59%, 72%, 90% et 55% et l'*Alternaria sp* avec 42%, 83%, 75%, 73%, 73%, 84% et 70% respectivement. L'inhibition de la croissance mycélienne des trois isolats causée par les milieux à base des extraits de compost additionnés du glucose et stérilisé à 80°C et 120°C a été très faible. Les résultats ont significativement inhibé la croissance mycélienne de ces agents pathogènes testés il s'agit donc d'une différence entre les milieux de culture et la température de stérilisation (df=6 ; f=6.72, p=8.06E-14).

Ces pourcentages d'inhibitions sont dus à la composition du milieu, la température de stérilisation des milieux, la présence ou l'absence du glucose ainsi que la composition de chaque compost (matière organique), la durée de compostage et la population microbienne (antagoniste).

Tableau 16: Effet des milieux de cultures à base d'extraits des composts sur la croissance mycélienne des isolats testés.

Milieux à base d'extraits des composts	<i>Fusarium Solani</i>	<i>Fusarium Acuminatum</i>	<i>Alternaria sp</i>
Compost A-01			
CA1G120°C	26%±0.005 ^{hi}	31%±0.005 ^{fg}	22%±0.005 ⁱ
CA1G80°C	35%±0.005 ^{ef}	38%±0.005 ^{de}	28%±0.005 ^{gf}
CA1SG120°C	40%±0.01 ^d	47%±0.008 ^c	42%±0.005 ^d
CA1SG80°C	50%±0.008 ^{bc}	53%±0.01 ^{ab}	55%±0.01 ^a
Compost A-02			
C-A2G120°C	45%±0.005 ^{de}	39%±0.01 ^e	42%±0.005 ^e
C-A2G80°C	53%±0.005 ^d	54%±0.02 ^d	65%±0.005 ^c
C-A2SG120°C	78%±0.01 ^b	84%±0.005 ^{ab}	83%±0.05 ^{ab}
C-A2SG80°C	86%±0.005 ^{ab}	92%±0.01 ^a	80%±0.01 ^b
Compost B-01			
C-B1G120°C	20%±0.01 ^d	30%±0.005 ^d	70%±0.08 ^a
C-B1G80°C	45%±0.01 ^{bc}	21%±0.01 ^d	60%±0.02 ^{ab}
C-B1SG120°C	42%±0.01 ^c	45%±0.01 ^{bc}	75%±0.02 ^a
C-B1SG80°C	60%±0.005 ^{ab}	67%±0.02 ^a	69%±0.02 ^a
Compost B-02			
C-B2G120°C	28%±0.01 ^e	15%±0.01 ^f	20%±0.005 ^f
C-B2G80°C	40%±0.01 ^d	30%±0.005 ^e	40%±0.0055 ^d
C-B2SG120°C	45%±0.01 ^{cd}	53%±0.01 ^b	51%±0.01 ^{bc}
C-B2SG80°C	55%±0.01 ^{ab}	51%±0.005 ^{bc}	61%±0.01 ^a
Compost C-01			
C-C1G120°C	42%±0.01 ^f	35%±0.005 ^g	40%±0.01 ^{fg}
C-C1G80°C	43%±0.01 ^f	40%±0.005 ^{fg}	55%±0.01 ^e
C-C1SG120°C	65%±0.005 ^d	59%±0.01 ^{de}	73%±0.01 ^c
C-C1SG80°C	85%±0.01 ^b	84%±0.01 ^b	93%±0.01 ^a
Compost C-02			
C-C2G120°C	20%±0.02 ^{gh}	21%±0.01 ^{gh}	29%±0.005 ^{ef}
C-C2G80°C	25%±0.005 ^{fg}	22%±0.005 ^g	16%±0.01 ^h

C-C2SG120°C	52%±0.01 ^c	44%±0.005 ^d	33%±0.005 ^e
C-C2SG80°C	60%±0.005 ^b	67%±0.005 ^a	70%±0.005 ^a
Compost D-01			
C-D1G120°C	24%±0.005 ^{hi}	32%±0.005 ^{fg}	18%±0.01 ^{ij}
C-D1G80°C	15%±0.005 ^j	37%±0.02 ^{ef}	29%±0.005 ^{gh}
C-D1SG120°C	45%±0.01 ^{cd}	43%±0.005 ^{de}	34%±0.005 ^{fg}
C-D1SG80°C	60%±0.01 ^b	69%±0.005 ^a	50%±0.005 ^c
Compost D-02			
C-D2G120°C	45%±0.005 ^g	34%±0.005 ^h	38%±0.005 ^h
C-D2G80°C	52%±0.01 ^f	56%±0.005 ^f	65%±0.005 ^c
C-D2SG120°C	63%±0.01 ^c	72%±0.01 ^d	73%±0.005 ^d
C-D2SG80°C	92%±0.01 ^a	85%±0.005 ^c	87%±0.005 ^b
Compost E-01			
C-E1G120°C	22%±0.01 ^{ef}	19%±0.005 ^f	26%±0.01 ^f
C-E1G80°C	17%±0.005	26%±0.01 ^e	35%±0.005
C-E1SG120°C	56%±0.005 ^b	34%±0.005 ^d	42%±0.01 ^c
C-E1SG80°C	45%±0.005 ^c	64%±0.005 ^a	52%±0.01 ^b
Compost E-02			
C-E2G120°C	60% ± 0.02 ^{bc}	72% ± 0.01 ^b	65% ± 0.02 ^{abc}
C-E2G80°C	55% ± 0.06 ^c	65b% ± 0.05 ^d	60% ± 0.04 ^c
C-E2SG120°C	80% ± 0.01 ^a	90% ± 0.02 ^a	84% ± 0.01 ^a
C-E2SG80°C	75% ± 0.03 ^{ab}	82% ± 0.04 ^{ab}	75% ± 0.02 ^{ab}
Compost O-01			
C-O1G120°C	19%±0.005 ^{de}	14%±0.01 ^e	30%±0.01 ^c
C-O1G80°C	30%±0.01 ^c	22%±0.01 ^d	22%±0.01 ^d
C-O1SG120°C	42%±0.005 ^b	46%±0.01 ^b	44%±0.005 ^b
C-O1SG80°C	46%±0.01 ^b	62%±0.01 ^a	34%±0.005 ^c
Compost O-02			
C-O2G120°C	43%±0.01 ^d	37%±0.005 ^e	43%±0.01 ^d
C-O2G80°C	44%±0.005 ^d	44%±0.005 ^d	35%±0.005 ^e
C-O2SG120°C	55%±0.005 ^c	55%±0.005 ^c	70%±0.005 ^b
C-O2SG80°C	84%±0.005 ^a	68%±0.005 ^b	87%±0.005 ^a

3.2.3. Effet sur la sporulation

Les milieux de culture à base d'extraits de compost non additionné du glucose stérilisé à 80°C et 120°C ont inhibé la sporulation avec des pourcentages importants par rapport aux autres milieux, en outre les milieux à base d'extrait de compost additionné du glucose (MECG) stérilisé à 120°C et 80°C ont aussi inhibé la sporulation mais avec des pourcentages relativement faibles. Les résultats présentés dans le tableau 18 ont montré que les milieux de culture à base d'extrait de composts (A-02, C-01, D-02, E-02, O-02) non additionné du glucose et stérilisé à 80°C (MECSG80°C) ont inhibé la sporulation respectivement de 84%, 94%, 85%, 75%, 83% pour *F. solani*, de 91%, 82%, 78%, 72%, 86% pour *F. acuminatum*. De 84%, 94%, 82%, 80%, 92% pour *Alternaria sp.*

Les milieux de culture à base des extraits de composts additionné du glucose et stérilisé à 80°C ont inhibé la sporulation avec de faibles pourcentages de l'ordre de 35%, 15%, 34%, 23%, 20%, 14%, 33% pour *F. solani* ; de 21%, 23%, 32%, 13%, 20%, 17% et 22% pour *F. acuminatum* et de 24%, 36%, 37%, 14%, 16%, 28% et 32% pour *Alternaria sp* respectivement.

L'analyse statistique a montré que nos résultats ont montré une différence significative entre les milieux de cultures testés en fonction de la température de stérilisation et l'addition ou non du glucose (df=6; f=56.73, p=5.35E-13).

Tableau 17: L'effet des milieux de culture à base d'extraits des composts testés sur l'inhibition de la sporulation des isolats testés.

Milieux à base d'extraits des composts	<i>F. solani</i>	<i>F. acuminatum</i>	<i>Alternaria sp</i>
Compost A-01			
CA1G120°C	26%±0.01 ^g	27%±0.01 ^e	14%±0.005 ^g
CA1G80°C	35%±0.01 ^{ef}	21%±0.01 ^f	24%±0.01 ^{ef}
CA1SG120°C	43%±0.01 ^{cd}	44%±0.01 ^d	47%±0.01 ^{bc}
CA1SG80°C	50%±0.01 ^b	52%±0.01 ^b	64%±0.01 ^a
Compost A-02			
C-A2G120°C	34%±0.01 ^f	26%±0.01 ^g	41%±0.01 ^e
C-A2G80°C	54%±0.01 ^d	54%±0.01 ^d	53%±0.01 ^d
C-A2SG120°C	71%±0.01 ^c	83%±0.01 ^b	76%±0.01 ^c
C-A2SG80°C	84%±0.01 ^b	91%±0.01 ^a	84%±0.01 ^b
Compost B-01			
C-B1G120°C	11%±0.01 ^g	13%±0.01 ^g	23%±0.01 ^f
C-B1G80°C	15%±0.01 ^g	23%±0.01 ^f	36%±0.01 ^e
C-B1SG120°C	44%±0.01 ^d	40%±0.01 ^{de}	51%±0.01 ^c
C-B1SG80°C	59%±0.01 ^b	57%±0.01 ^b	66%±0.01 ^a
Compost B-02			
C-B2G120°C	26%±0.01 ^g	14%±0.01 ^h	17%±0.01 ^h
C-B2G80°C	34%±0.01 ^f	32%±0.01 ^{fg}	37%±0.01 ^f
C-B2SG120°C	54%±0.01 ^{cd}	46%±0.01 ^e	49%±0.01 ^{de}
C-B2SG80°C	61%±0.01 ^{ab}	64%±0.01 ^a	57%±0.01 ^{bc}
Compost C-01			
C-C1G120°C	37%±0.01 ^g	52%±0.01 ^e	44%±0.01 ^f
C-C1G80°C	50%±0.01 ^e	64%±0.01 ^d	47%±0.01 ^{ef}
C-C1SG120°C	66%±0.01 ^{cd}	71%±0.01 ^c	77%±0.01 ^b
C-C1SG80°C	94%±0.01 ^a	82%±0.01 ^b	94%±0.01 ^a
Compost C-02			
C-C2G120°C	12%±0.005 ^h	19%±0.01 ^{fg}	21%±0.01 ^f
C-C2G80°C	23%±0.01 ^f	13%±0.01 ^h	14%±0.01 ^{gh}

C-C2SG120°C	47%±0.01 ^{cd}	44%±0.01 ^d	37%±0.01 ^e
C-C2SG80°C	51%±0.01 ^{bc}	56%±0.01 ^b	65%±0.01 ^a
Compost D-01			
C-D1G120°C	14%±0.01 ^g	16%±0.01 ^{fg}	24%±0.01 ^e
C-D1G80°C	20%±0.01 ^{ef}	20%±0.01 ^{ef}	16%±0.01 ^{fg}
C-D1SG120°C	43%±0.01 ^{cd}	41%±0.01 ^d	39%±0.01 ^d
C-D1SG80°C	47%±0.01 ^c	61%±0.01 ^a	54%±0.01 ^b
Compost D-02			
C-D2G120°C	35%±0.01 ^f	31%±0.005 ^f	46%±0.01 ^e
C-D2G80°C	50%±0.005 ^e	57%±0.01 ^d	67%±0.01 ^c
C-D2SG120°C	66%±0.01 ^c	71%±0.01 ^c	68%±0.01 ^c
C-D2SG80°C	84%±0.01 ^a	78%±0.01 ^b	82%±0.01 ^{ab}
Compost E-01			
C-E1G120°C	12%±0.01 ^g	22%±0.01 ^d	19%±0.005 ^{de}
C-E1G80°C	14%±0.01 ^{fg}	17%±0.005 ^{ef}	28%±0.01 ^c
C-E1SG120°C	42%±0.005 ^b	30%±0.005 ^c	42%±0.01 ^b
C-E1SG80°C	52%±0.005 ^a	42%±0.01 ^b	56%±0.005 ^a
Compost E-02			
C-E2G120°C	65% ± 0.02 ^{bcde}	69% ± 0.005 ^{abcde}	62% ± 0.01 ^{cde}
C-E2G80°C	59% ± 0.05 ^{de}	55% ± 0.02 ^e	66% ± 0.03 ^{bcde}
C-E2SG120°C	75% _{abc} ± 0.01	72% _{abcd} ± 0.01	80% _{ab} ± 0.05
C-E2SG80°C	75% ± 0.01 ^{abc}	70% ± 0.02 ^{abcde}	65% ± 0.02 ^{bcde}
Compost O-01			
C-O1G120°C	24%±0.01 ^e	12%±0.005 ^f	20%±0.01 ^e
C-O1G80°C	33%±0.01 ^d	22%±0.01 ^e	32%±0.01 ^d
C-O1SG120°C	51%±0.01 ^{bc}	55%±0.01 ^{ab}	46%±0.01 ^c
C-O1SG80°C	45%±0.01 ^c	60%±0.01 ^a	54%±0.01 ^b
Compost O-02			
C-O2G120°C	65%±0.01 ^d	56%±0.01 ^e	45%±0.01 ^g
C-O2G80°C	70%±0.01 ^{cd}	49%±0.01 ^{fg}	54%±0.01 ^{ef}
C-O2SG120°C	73%±0.01 ^c	87%±0.01 ^a	68%±0.01 ^c
C-O2SG80°C	83%±0.01 ^b	86%±0.01 ^{ab}	92%±0.01 ^a

III.2.4. Effet sur la germination des conidies

Les milieux de culture à base d'extrait de compost ont influencé la germination des trois isolats (tableau 19). Notamment les milieux de culture non additionnés du glucose stérilisé à 80°C ont inhibé fortement la germination en comparaison avec les autres milieux. L'inhibition a été enregistrée avec 92%, 93%, 92%, 69%, 76% pour *F. solani* ; avec 80%, 91%, 74%, 82%, 85%, 40%, 80% pour *F. acuminatum* et de 88%, 84%, 68%, 77%, 80%, 52% , 76% pour *Alternaria sp* respectivement. Les milieux de culture à base des extraits de composts A-01, B-01, B-02, C-02, D-01, E-01 et O-01 additionnés du glucose et stérilisé à 80°C et à 120°C ont donné des faibles pourcentages d'inhibitions. Ces pourcentages sont de l'ordre de 26% 12% 24% 18% 15% 12% 10% pour *F. solani*, de 22% 15% 12% 14% 22% 24% 16% pour *F. acuminatum* et de 9%, 21%, 17%, 26%, 18%, 40% et 19% pour *Alternaria sp*.

L'analyse statistique a montré une différence significative entre les milieux de cultures testés (df=6 ; f=27.16, p=1.42E-09).

Tableau 18: L'effet de l'extrait de compost sur la germination des conidies

Milieux à base d'extraits des composts	<i>FusariumSolani</i>	<i>FusariumAcuminatum</i>	<i>Alternariasp</i>
Compost A-01			
CA1G120°C	26%±0.01 ^e	22%±0.01 ^f	9%±0.01 ^g
CA1G80°C	35%±0.01 ^{de}	36%±0.01 ^d	22%±0.01 ^f
CA1SG120°C	30%±0.005 ^g	42%±0.01 ^c	36%±0.01 ^d
CA1SG80°C	50%±0.01 ^c	44%±0.01 ^b	57%±0.01 ^a
Compost A-02			
C-A2G120°C	35%±0.01 ^f	22%±0.01 ^g	32%±0.005 ^f
C-A2G80°C	46%±0.01 ^e	52%±0.01 ^d	44%±0.01 ^e
C-A2SG120°C	77%±0.005 ^b	77%±0.005 ^b	72%±0.005 ^c
C-A2SG80°C	92%±0.01 ^a	80%±0.01 ^b	88%±0.005 ^a
Compost B-01			
C-B1G120°C	12%±0.01 ^h	15%±0.01 ^h	21%±0.005 ^g
C-B1G80°C	28.50%±0.005 ^f	22%±0.01 ^g	29%±0.005 ^{ef}
C-B1SG120°C	34%±0.005 ^d	40%±0.005 ^c	33%±0.005 ^{de}
C-B1SG80°C	60%±0.005 ^a	57%±0.005 ^{ab}	54%±0.005 ^b

Compost B-02			
C-B2G120°C	24%±0.01 ^e	12%±0.005 ^g	17%±0.005 ^f
C-B2G80°C	35%±0.01 ^d	28%±0.005 ^{de}	32%±0.005 ^d
C-B2SG120°C	50%±0.01 ^b	42%±0.01 ^c	54%±0.01 ^b
C-B2SG80°C	51%±0.005 ^b	51%±0.005 ^b	62%±0.01 ^a
Compost C-01			
C-C1G120°C	36%±0.005 ^f	42%±0.005 ^{ef}	42%±0.01 ^{ef}
C-C1G80°C	45%±0.005 ^c	54%±0.01 ^d	54%±0.01 ^d
C-C1SG120°C	65%±0.005 ^c	72%±0.01 ^b	76%±0.01 ^b
C-C1SG80°C	93%±0.005 ^a	91%±0.005 ^a	84%±0.005 ^a
Compost C-02			
C-C2G120°C	18%±0.01 ^e	14%±0.01 ^e	26%±0.01 ^d
C-C2G80°C	31%±0.01 ^d	18%±0.01 ^e	28%±0.005 ^d
C-C2SG120°C	40%±0.01 ^c	43%±0.005 ^c	29%±0.005 ^d
C-C2SG80°C	66%±0.01 ^a	58%±0.01 ^b	64%±0.01 ^a
Compost D-01			
C-D1G120°C	15%±0.01 ^e	22%±0.01 ^e	18%±0.005 ^e
C-D1G80°C	33%±0.01 ^d	34%±0.01 ^d	32%±0.01 ^d
C-D1SG120°C	51%±0.01 ^b	42%±0.01 ^c	55%±0.01 ^b
C-D1SG80°C	71%±0.01 ^a	74%±0.005 ^a	68%±0.01 ^a
Compost D-02			
C-D2G120°C	40%±0.01 ^f	40%±0.01 ^f	36%±0.01 ^f
C-D2G80°C	50%±0.01 ^{de}	52%±0.01 ^d	46%±0.01 ^e
C-D2SG120°C	65%±0.005 ^c	66%±0.01 ^c	69%±0.005 ^c
C-D2SG80°C	92%±0.01 ^a	82%±0.01 ^b	77%±0.005 ^b
Compost E-01			
C-E1G120°C	12%±0.01 ^h	24%±0.01 ^g	40%±0.01 ^{de}
C-E1G80°C	34%±0.01 ^{fg}	29%±0.005 ^{ef}	43%±0.005 ^{cde}
C-E1SG120°C	46%±0.01 ^{bcd}	45%±0.005 ^{cd}	45%±0.01 ^{cd}
C-E1SG80°C	62%±0.01 ^a	50%±0.01 ^{bc}	55%±0.01 ^{ab}
Compost E-02			
C-E2G120°C	70% ± 0.08 ^{abcd}	50% ± 0.05 ^d	55% ± 0.02 ^d
C-E2G80°C	60% ± 0.02 ^{cd}	55% ± 0.02 ^{cd}	65% ± 0.02 ^{bcd}

C-E2SG120°C	85% ± 0.05 ^{ab}	90% ± 0.02 ^a	85% ± 0.05 ^{ab}
C-E2SG80°C	69% ± 0.02 ^{abcd}	85% ± 0.05 ^{ab}	80% ± 0.02 ^{abc}
Compost O-01			
C-O1G120°C	10%±0.01 ^g	16%±0.01 ^{fg}	19%±0.01 ^{ef}
C-O1G80°C	15%±0.005 ^{fg}	28%±0.01 ^d	22%±0.005 ^{de}
C-O1SG120°C	48%±0.005 ^b	37%±0.005 ^c	48%±0.005 ^b
C-O1SG80°C	66%±0.01 ^a	40%±0.005 ^c	52%±0.01 ^b
Compost O-02			
C-O2G120°C	32%±0.005 ^h	37%±0.005 ^g	39%±0.01 ^g
C-O2G80°C	46%±0.01 ^{ef}	50%±0.01 ^e	45%±0.01 ^f
C-O2SG120°C	64%±0.005 ^c	77%±0.005 ^{ab}	59%±0.005 ^d
C-O2SG80°C	76%±0.005 ^b	80%±0.005 ^a	76%±0.01 ^b

Discussion

D'après les résultats obtenus, la plupart des composts testés montrent une capacité à inhiber la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des conidies des agents pathogènes testés avec des pourcentages différents, cette différence est due principalement à la composition du milieu de culture, la température de stérilisation et le degré de la maturation du compost.

Les milieux à bases d'extrait de compost non additionné du glucose et stérilisé à 80°C (MECSG80°C) s'est montré le meilleur milieu par rapport les autres milieux. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par Mouria *et al.* (2013). Ils ont confirmé que le compost de déchets urbains et leur extrait aqueuse à supprimer la verticilliose de la tomate causée par *Verticillium dahliae*. D'autre part, González-Hernández *et al.* (2021) ont montré que le compost du Thé a significativement bloqué le développement et la prolifération de la croissance de *R. solani*.

Le manque du glucose dans les milieux provoque le ralentissement de la croissance mycélienne du pathogène. De même la présence de *Trichoderma sp* dans nos composts peut inhiber la croissance mycélienne. Les deux températures de stérilisation des milieux testés ont également un effet sur la l'activité de la mycoflore bénéfique responsable de l'inhibition des agents pathogènes. Larbi (2006) a montré que la haute température (120°C) peut réduire le pourcentage d'inhibition des extraits des composts contre les agents pathogènes en supprimant et inhibant l'activité de la mycoflore responsable à la protection. De même Znaidi (2002) a trouvé que les cultures traitées par les différents extraits des composts ont enregistré une réduction de la densité de mycélium de *Phytophthora erythroseptica*, cette réduction est détectée par une zone d'antibiose marquant la présence de substances inhibitrices produites par les microorganismes contenus dans les extraits.

La composition du compost joue également un rôle très important dans la lutte ce qui a été remarqué dans nos résultats. Les composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02 ont enregistré des pourcentages d'inhibition élevés contre les agents pathogènes testés par rapport aux autres composts. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par de Ros *et al.* (2020) et Shanying *et al.* (2016). Ces auteurs ont montré l'effet bénéfique de l'extrait de compost en mise en œuvre la présence de *T. harzianum* (E-02) qui peut jouer un rôle important dans la protection contre les maladies fongiques en réduisant l'incidence de la maladie. Nos travaux sont aussi en accord avec ceux trouvés par Sahar *et al.* (2013). D'autre part, Nofal *et al.* (2021) et Morales-Corts *et al.* (2018) ont confirmé que l'ajout de

30% de filtrat de compost a supprimé la croissance mycélienne de *Rhizoctonia solani* et *Fusarium solani. f. sp. lycopersici* avec 87%. D'autre part Ros *et al.* (2020) ont confirmé l'efficacité de l'utilisation des composts en ajoutant l'agent de lutte biologique *Trichoderma harzianum* pour supprimé les pathogènes fongiques des plantes.

Les deux composts (D-02, E-02) ont montré des résultats d'inhibition très encourageant car parmi ces compositions la fiente de volailles et le fumier des ovins. Ces résultats sont en accord avec l'étude menée par Znaidi (2002), le traitement par la fiente des volailles est efficace pour supprimer les maladies fongiques causées par *Fusarium solani* et *Fusarium oxysporum*. La présence de la fiente de volailles dans les matériaux de départ est donc un paramètre essentiel afin d'inhiber le développement des pathogènes. De plus Cronin *et al.* (1996) ont aussi démontré une inhibition de plus de 98% de la germination des spores de *Venturia inaequalis* par des extraits de composts de fumier ovin. En outre les vers de terre ont aussi un rôle important en facilitant la dégradation microbienne, l'action de ces vers de terre est de décomposer la matière organique en un humus prêt à l'usage agricole.

L'amélioration de la résistance aux maladies grâce au compost dépend de sa composition et de son âge, L'effet de la durée de compostage ainsi que la dégradation de la matière première sur la suppression des agents pathogènes ont été mis en évidence par de nombreux chercheurs. Nelson *et al.* (1983) et Chung *et al.* (1988) ont démontré que l'activité des antagonistes d'un compost jeune contre *R. solani* ne pouvait pas être assez efficace car aussi bien l'agent pathogène que les antagonistes se développent de manière saprophyte.

3.3. Effet suppressif des cinq composts et leurs extraits *in vivo* vis-à-vis les trois agents pathogènes testés

Résultats

3.3.1. Tests de suppression des maladies telluriques

L'effet protecteur des cinq composts testés vis-à-vis de *F. solani*, et *F. acuminatum* (agent responsable de la pourriture racinaire et la fonte de semis) a été testé sur la tomate (Susana Hybride) ou l'incidence de la maladie a été évaluée après quatre semaines d'incubation. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 20 et la planche 4.

Les résultats obtenus montrent que les premiers symptômes ont apparus dès le 12^{ième} jour après le semis des graines dans les pots contaminés par les deux pathogènes (témoin positive, 0% compost). Les pots additionnés par les cinq composts choisis ont montré une apparition très faible des symptômes des pourritures racinaires. Cela se traduit par une diminution de l'incidence de la maladie. Les cinq composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02 ont réduit l'incidence de la maladie avec des pourcentages très importants avec 22%, 15%, 19%, 35%, 15% pour *F. solani* et avec 20%, 28%, 26%, 25%, 23% pour *F. acuminatum* respectivement. Alors que l'incidence de la maladie du témoin a dépassé 70%. Les cinq composts ont réduit significativement l'incidence de la maladie avec ($f=7.91$; $df=10$; $P=0.000$).

Tableau 19: Effet in vivo des cinq composts sur l'inhibition de l'incidence des maladies (IM) telluriques (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*).

Agents pathogènes telluriques	Incidence% de la maladie
Compost A-02	
<i>F. solani</i>	22% ± 0.03 ^h
<i>F. acuminatum</i>	20% ± 0.01 ^h
Compost C-01	
<i>F. solani</i>	15% ± 0.01 ^h
<i>F. acuminatum</i>	28% ± 0.01 ^{fgh}
Compost D-02	
<i>F. solani</i>	19% ± 0.02 ^h
<i>F. acuminatum</i>	26% ± 0.01 ^{gh}
Compost E-02	
<i>F. solani</i>	35% ± 0.01 ^c
<i>F. acuminatum</i>	25% ± 0.01 ^d
Compost O-02	
<i>F. solani</i>	15% ± 0.01 ^h
<i>F. acuminatum</i>	23% ± 0.01 ^h

Témoin positive	
	
Traitement	
Compost A-02 + <i>F. solani</i>	Compost A-02 + <i>F. acuminatum</i>
	
Compost C-01 + <i>F. solani</i>	Compost C-01 + <i>F. acuminatum</i>
	

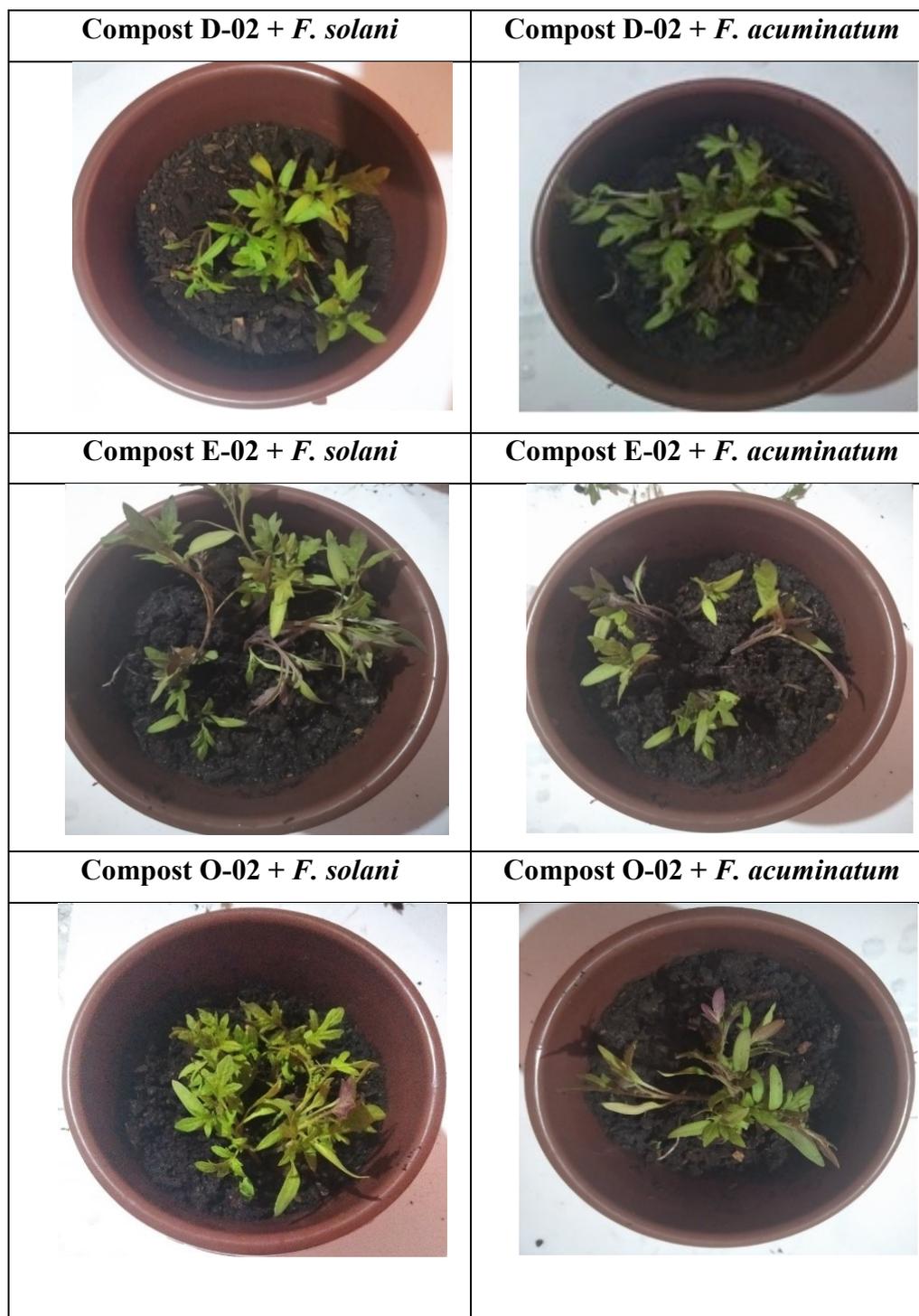


Planche 4 : Effet des cinq composts choisis sur l'incidence de la maladie (IM) et leur suppression contre les maladies telluriques

3.3. Effet suppressif des extraits des cinq composts sur la maladie foliaire causé par *Alternaria sp*

Dans le but de prouver le potentiel phytosanitaire des extraits des composts contre les maladies foliaires, deux tests *in vivo* ont été menés (préventive et curative). D'après les résultats illustrés dans le tableau 21 et la planche 5. La pulvérisation par les extraits de cinq composts choisis (A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02) a diminué l'incidence de l'alternariose sur les feuilles de tomate avec des pourcentages faibles.

En outre, les résultats du test préventif ont montré des pourcentages d'inhibition de l'incidence de la maladie causée par *Alternaria sp* plus importantes par rapport à celle du test curatif. L'incidence de la maladie du témoin positive a dépassé 80%.

L'effet protecteur contre *Alternaria sp* varie d'un compost à l'autre à savoir les deux méthodes de traitements avec (df=21 ; f=91.64, p=1.43). L'incidence de la maladie dans le test curatif par les cinq composts A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02 a été réduit à 20%, 25%, 33% 30% et 33% respectivement. Alors que l'incidence de la maladie dans les tests préventifs ont donné des diminutions plus importantes avec 15%, 12%, 19%, 22% et 16% respectivement pour A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02.

Tableau 20: Effet *in vivo* des cinq extraits des composts sur l'inhibition de l'incidence des maladies (IM) vis-à-vis *Alternaria sp*.

Agents pathogène foliare	Incidence% de la maladie
Compost A-02	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	15% ± 0.04 ^{lm}
<i>Alternaria sp</i> (curative)	20% ± 0.01 ^{klm}
Compost C-01	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	12% ± 0.02 ^m
<i>Alternaria sp</i> (curative)	25% ± 0.01 ^{jkl}
Compost D-02	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	19% ± 0.01 ^{ij}
<i>Alternaria sp</i> (curative)	33% ± 0.01 ^{lm}
Compost E-02	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	22% ± 0.01 ^c
<i>Alternaria sp</i> (curative)	30% ± 0.01 ^b
Compost O-02	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	16% ± 0.005 ^{ij}
<i>Alternaria sp</i> (curative)	33% ± 0.02 ^{lm}

Témoin positive	
	
Compost A-02	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	<i>Alternaria sp</i> (curative)
	
Compost C-01	
<i>Alternaria sp</i> (préventive)	<i>Alternaria sp</i> (curative)
	

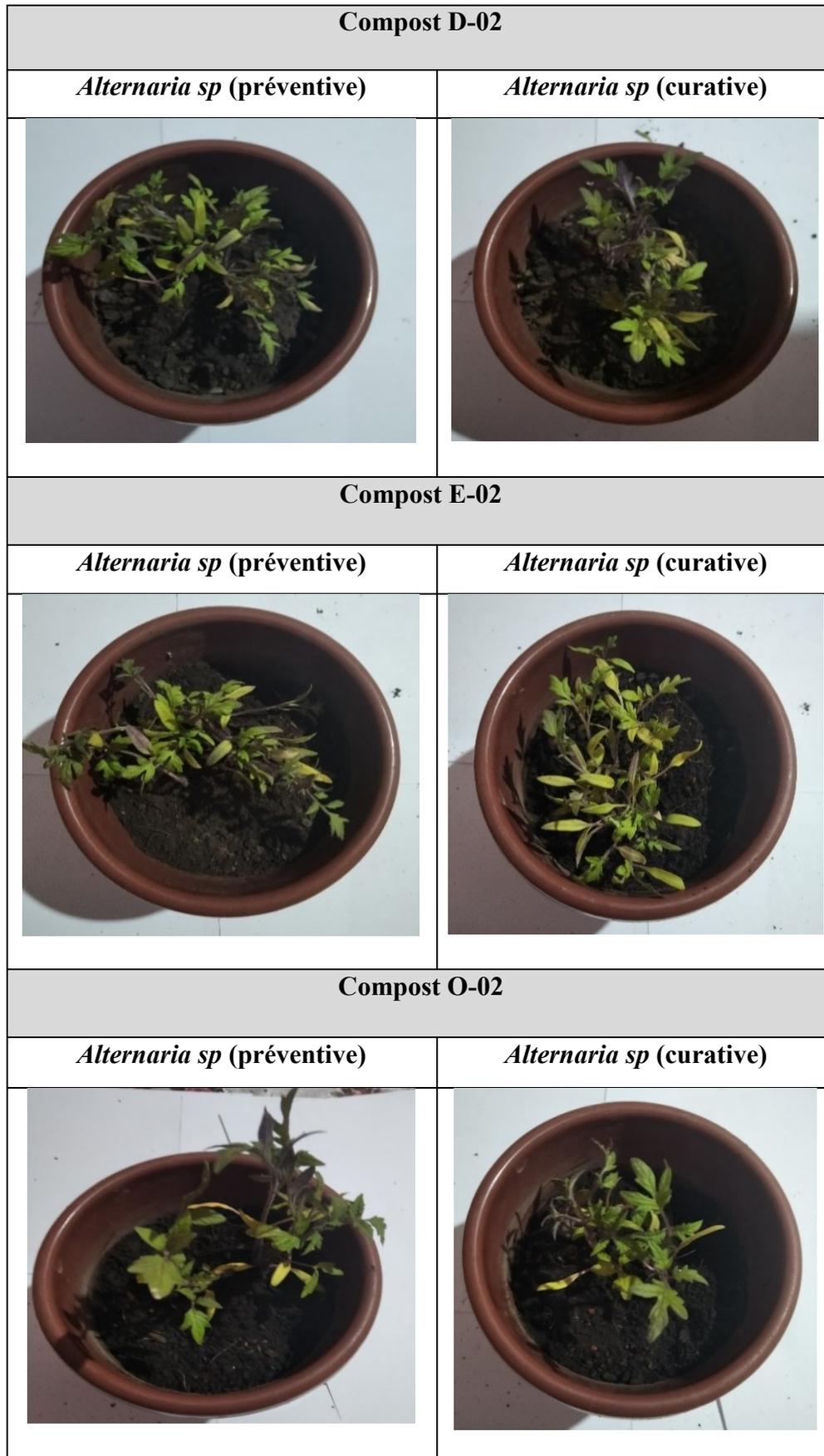


Planche 5. Effet des cinq extraits des composts testés sur l'incidence de la maladie (IM) et leur suppression contre *l'Alternaria sp* par le test curatif et préventif.

Discussion

L'efficacité des cinq composts choisis a été démontrée pour réduire l'incidence de la maladie causée par les agents pathogènes telluriques ; *F. solani* et *F. acuminatum*. Cette efficacité pourrait s'expliquer par une forte réduction des symptômes de la maladie.

Pour définir le risque phytotoxique des composts, les plantules de tomate ont été semées dans les cinq compost. Les résultats de ces tests ont montré que la croissance des plantes dans les composts était importante par rapport à la croissance dans le témoin, nos composts sont donc de bonne qualité biologique et ne présentent pas de risques de phytotoxicité. En outre Fuchs *et al* (2001) rapporte que les plantes poussent relativement bien dans la majorité des composts. L'essai *in vivo* des composts choisis; A-02, C-01, D-02, E-02 et O-02 vis-à-vis les pathogènes testés ont donné des résultats fiables, en effet, les composts ont pu diminuer l'incidence de la maladie causée par *F. solani* jusqu'à 15% pour les composts C-01 et O-02. En outre les cinq composts choisis ont réduit l'incidence de la maladie causée par *F. acuminatum* respectivement avec 20%, 28%, 26%, 25% et 23%.

Divers travaux réalisés ont confirmé l'ajout du compost à un substrat qui peut supprimer les maladies fongiques des plantes. Din *et al.* (2018) et Boutchich *et al.* (2016) ont également montré que l'apport des composts peut inhiber les maladies transmises par le sol. De même, les mêmes auteurs ont aussi rapporté l'effet des composts matures sur la croissance des cultures de blé, ils ont trouvé que le taux de germination des graines et la hauteur des tiges a été bien développé par rapport au témoin. D'après les travaux de Sahar *et al.* (2013) une étude comparative entre les plantes traitées au compost avec celle non traitée, ils ont trouvé que l'incidence de la maladie était de 18.3% pour les CTP (plante traitées au compost) et 58.9% pour les non CTP. L'effet suppressif de ces composts choisis peut être expliqué par leur qualité. Deux paramètres primordiaux peuvent jouer un rôle dans la suppression de l'incidence de la maladie: d'une part l'origine de la matière organique compostée (composition de chaque compost), et d'autre part la durée de compostage.

Les cinq extraits de composts choisis ont supprimé les symptômes provoqués par *Alternaria sp.* Le traitement préventif réduit significativement l'incidence de la maladie à 12% dont le traitement préventif est noté le meilleur par rapport au traitement curatif. Nos résultats ont permis de confirmer l'effet protecteur de ces extraits contre l'alternariose par

la réduction de l'incidence de la maladie avec des pourcentages faibles. Les extraits de compost restent un outil de protection contre les maladies foliaires.

Des recherches menées en Allemagne, au Japon, en Israël et aux Etats Unis ont montrées que les extraits des composts pourraient être efficaces dans le contrôle des maladies fongiques (Znaidi, 2002). L'intérêt à l'utilisation des extraits des composts en agriculture et en horticulture a augmenté rapidement durant la dernière décade, cet intérêt lui a été accordé surtout grâce à son efficacité à contrôler les maladies foliaires des plantes, ainsi son utilisation comme fertilisation du sol contre les pathogènes telluriques (Al Mughrabi, 2007).

De manière générale, il semble que l'âge des composts choisi peut influencer l'efficacité des extraits, mais la période pendant laquelle les composts produisent des extraits efficacement grands, de sorte que ce facteur ne doit pas poser problème dans la pratique. Deux paramètres peuvent a priori jouer un rôle dans la production des extraits: d'une part le rapport d'extraction eau/compost, et d'autre part la durée de l'extraction (Priou, 2012).

L'extrait de compost, de part les substances humiques qu'il contient, est considéré comme un bon engrais foliaire. En effet, Chen *et al.* (1994) ont rapporté que les acides humiques et fulviques en combinaison avec d'autres éléments nutritifs appliqués sur les feuilles peuvent améliorer la croissance des plantes. Les extraits de composts pourraient donc avoir un rôle important dans la production des légumes, ils ont trouvé que l'amendement par l'extrait de compost agissent sur la croissance racinaire de la laitue et leur protection contre les maladies fongiques (Solaiman *et al.*, 2019).

Cependant plusieurs protocoles expérimentaux ont mis en évidence l'intérêt de l'utilisation des composts dans la valorisation des déchets, c'est une alternative biologique qui peut limiter la contamination de l'environnement et favoriser la récupération de matériaux recyclables, et donc, de réduire les problèmes de pollution (Tahraoui, 2013).

La stratégie de la valorisation des déchets organique par le compostage insiste notamment sur la nécessité d'élaborer des outils nouveaux et améliorés la gestion des déchets, notamment des instruments réglementaires et économiques, et une application correcte de la législation (le 6ème Programme d'Actions pour l'Environnement européen approuvé le 22 juillet 2002). Ceux-ci se distinguant par leur effet d'une part sur la

protection de l'environnement contre la pollution et d'autre part d'assurer une bonne situation économique en évitant le cout élevé des fongicides.

Un compost de qualité offre une alternative très intéressante. Son action positive sur la santé des plantes est indirecte (entre autres en apportant un mélange d'éléments fertilisants équilibré et en améliorant la structure du sol, son aération et son bilan hydrique) et directe (la microflore bénéfique qu'il contient influençant l'activité biologique du sol). Les effets positifs des composts ne se limitent pas à protéger les plantes contre les maladies telluriques, mais peuvent également s'observer au niveau des maladies foliaires. L'emploi de composts (ou du compost) peut renforcer la résistance globale des plantes (Fuchs, 2009). Pharand *et al.* (2002) ont révélé que l'effet bénéfique du compost sur la réduction des symptômes est associé à une augmentation de la résistance des plantes à la colonisation par le pathogène due essentiellement à la formation de barrières physiques aux sites de pénétration du champignon, traduite par des dépôts de parois riches en callose.

Conclusion

Générale et Perspectives

Conclusion Générale et Perspectives

Les micro-organismes pathogènes telluriques et foliaires causent des maladies fongiques constituent un problème phytosanitaire majeur, parmi ces maladies la pourriture racinaire et la fonte de semis causé par *Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*. Ainsi les taches brunes sur les feuilles de tomate provoquées par *Alternaria sp.* La protection des végétaux vis-a-vis ces champignons phytopathogène peut être envisagée par l'application des fongicides. Néanmoins, cette méthode de lutte présente une source de nuisance sérieuse sur les plans agronomiques, environnementaux, économiques et sanitaire qui provoquent par la suite des problèmes phytosanitaires. Dans le but d'optimiser l'utilisation de ces produits chimiques on s'est orienté vers d'autres alternatives de lutte, telle que la lutte biologique par l'utilisation des composts.

Le compostage est l'une des méthodes les plus efficaces pour protéger nos cultures contre ces maladies. C'est le traitement par excellence qui répond à toutes les conditions dans des limites financières. Cette stratégie de lutte est l'une des solutions qui peut traiter l'aspect de l'environnement en réduisant les problèmes de pollution, dont l'apport du compost au sol peut réduire l'incidence des maladies en améliorant la fertilité du sol et la croissance des plantes ce qui les rend plus résistantes aux maladies.

Au cours de cette étude, nous avons montré que la qualité du compost et son efficacité dans la protection sont liées aux modes de compostages, la durée de compostage et la composition du mélange. L'étude des propriétés physique-chimique et biologique de compost est une étape essentielle pour évaluer sa qualité.

Les analyses physiques et chimiques ont relevé que ces composts possèdent un taux d'acide humique important. De même la présence des métaux lourds en faibles teneurs selon réglementation mondiale nous a permis d'utiliser ces composts sans aucun risque pour l'environnement. De même les analyses de la composition élémentaire pour les macro-éléments (le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et manganèse (Mn)) permet d'utiliser ces compost comme des bio-fertilisants. Les tests *in vitro* nous ont permis de tester l'effet inhibiteur des extraits des composts vis-à-vis la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des conidies des agents pathogènes. Ces tests ont prouvé que ces composts sont très efficaces.

Le test *in vivo* a pour but de confirmer l'effet protecteur des composts contre les pathogènes tellurique et foliaire. Une réduction très importante de l'incidence de la maladie a été signalée. Ces composts ont prouvé un effet protecteur contre les pathogènes que l'ajout du compost au titre préventif reste le meilleur traitement par apport au traitement curatif.

D'un point de vue scientifique notre travail montre de façon très intéressante que les composts et leurs extraits sont considérés comme amendement fertilisants et un alternative biologique pour lutter contre les maladies fongiques. Les travaux réalisés dans le domaine de la lutte biologique par l'utilisation des composts ainsi que leurs extraits pour protéger les plantes et les sols montrent bien que cette voie peut être intéressante non seulement pour le domaine de la recherche, mais également pour le producteur de plants. Cette recherche montre que l'utilisation des composts commence à trouver sa place dans la filière dans la gestion intégrée sans oublier son impact sur la situation économique en limitant l'utilisation des pesticides chimiques et la valorisation des déchets. Une connaissance plus approfondie des facteurs mis en jeu doit cependant permettre d'optimiser le système en améliorant les performances de ces produits.

En perspective et afin de valoriser ce travail nous proposons de réaliser une expérience fiable et biologique par la production des différents composts afin d'enrichir les besoins de sols agricoles et en minimisé les risques de la pollution.

Référence

Bibliographique

Référence bibliographique

- Achetbi H., Amiri S., Lahlali R., 2021. Les Alternarioses (*Alternaria spp.*) des agrumes: Diagnostic et méthodes de lutte. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 160:158-169.
- Ademe., 2006. Gestion des déchets organiques en France, le point sur les filières de gestion biologique avec retour au sol. Ademe, Angers, pp 22.
- Afnor., 2002. Norme française NFU 44-095, Amendements organiques et supports de culture. Composts contenant des matières d'intérêt agronomiques, issues du traitement des eaux.
- Agani C. I., Sunnon F., Dimon B., Yovo F., Tométin D., Azandegbe C., 2015. Valorization of Urban Sewage Sludge. Aerobic composting with Banana peel Rice straw and Eucalyptus leaves. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4(12): 57-64.
- Agrios G. N., 2005. *Plant Pathology 5*. Edition Elsevier Academic Press, California. 922 p.
- Albrecht R., 2007. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat, Université Paul Cezanne Aix-Marseille III. 92-96 p.
- Al-Mughrabi K. I., 2007. Suppression of *Phytophthora infestans* in potatoes by foliar application of food nutrients and compost tea. *Aus. J. Basic Appl. Sci*, 1 (4):785-792.
- Al-Rumaihi A., Mckay G., Mackey H. R., Al-Ansari T., 2020. Environmental Impact Assessment of Food Waste Management Using Two Composting Techniques. *Sustainability*, 10(1575):1-23.
- Anastasi A., Varese G. C., Marchisio V. F., 2005. Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Mycol*, 97 (1):33-44.
- Arbaoui M., 1984. Essai d'utilisation de la vibration électrique et manuelle pour l'élimination de la fécondité de la tomate *Lycopersicum esculentum* non chauffée. Thèse d'ingénieur en agronomie, INA, Alger. 56 p.

Référence bibliographique

- Appel O., Wollenweber H.W., 1910. Die Kultur als Grundlage zur besseren Unterscheidung systematisch schwieriger Hyphomyceten. Ber. Deutsch. Bot. Ges, 28: 435–448.
- Arcanjo C., Teil D., Contamin L., 2010. Etude de faisabilité d'un système de compostage collectif dans une résidence universitaire du campus. Publié par l'université des îles Fidji.
- Atalia K. R., Buh D. M., Bhavsar K. A., Shah N. K., 2015. A Review on Composting of Municipal Solid Waste. IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology, 9: 20-29.
- Atkinson C. F., Jones D. D., Gauthier J. J., 1996. Biodegradabilities and microbial activities during composting of municipal solid waste in bench-scale reactors. Compost Science & Utilization, 4:14- 23.
- Avnimelech Y., Bruner M., Ezrony I., Sela R., Kochba M., 1996. Stability indexes for municipal solid waste compost. Compost Science & Utilization, 4, 2:13-20.
- Ayari F., Gharbi R., Kosai., Jedidi N., 2015. Effet du tri sélectif sur la contamination par les métaux lourds des composts d'ordures ménagères. Déchets Sciences et Techniques, INSA de Lyon, 52, 04-07.
- Ayilara M. S., Olanrewaju S. O., Babalola O. O., Odeyemi O., 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. Sustainability, 12(4456), 1-23.
- Azim K., Soudi B., Boukhari S., Perissol C., Roussos S., Thami A., 2017. Composting parameters and compost quality: a literature review. Organic Agriculture.
- Belabid L., 2003. La fusariose vasculaire de la lentille (*Lens culinaris* Med.) dans le Nord-Ouest Algérien : Morphologie et diversité génétique chez *Fusarium oxysporum* (Schlecht.) Emend. S. & H. f. sp. *lentis* (Vasud. & Srini.) en relation avec la répartition géographique et le pouvoir pathogène. Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- Ben Ayed L., Hassen A., Jedidi N., Saidi N., Bouzaiane O., Murano F., 2005. Caractérisation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au

cours d'un cycle de compostage d'ordures ménagères. Déchet- Revue Francophone d'écologie Industrielle - N° 40, 11p.

- Bera R., Datta A., Bose S., Dolui A., Chatterjee A., Dey G., Barik A., Sarkar R., Majumdar D., Seal A., 2013. Comparative Evaluation of Compost Quality Process Convenience and Cost under Different Composting Methods to assess their Large Scale Adoptability Potential as also Complemented by Compost Quality Index. International Journal of Scientific and Research Publications, 03, 01-11.
- Berner A., Bieri., 1991. Bericht über den heutigen Stand zur Beurteilung der Qualität von Komposten (Literaturstudie), Arbeitsgruppe Kompostqualität, KEZO, AGW et BuWal, 75p.
- Blachburn Lefebvre M. A., 2010. Le compostage Communautaire, est-ce une Alternative Avantageuse pour la ville de Gatineau. Centre Universitaire de Formation en Environnement, Université de Sherbrooke, pp 9-18.
- Blancard D., Laterrot H., Marchoux G. Candresse T., 2012. A colour Handbook Tomato Diseases: identification, biology and control. Manson Publishing Ltd, 688 p.
- Blancard D., 2009. Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Edition Quae Paris, 679 p.
- Block D., 1997. Disease suppression on the links. BioCycle, 38:62-65.
- Bock C. H., Poole G. H., Parker P. E., Gottwald T. R., 2010. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging Crit. Rev Plant Sci, 29:59-107.
- Bolan N. S., Adriano D. C., Natesan R., Koo B. J., 2003. Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil. J. Environ. Qual, 32:120-128.
- Botton B., Bretton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P. H., Larpent J. P., Reymond P., Sanglier J. J., Vayssier Y., Veau P., 1990. Moisissures utiles et nuisibles: importance industrielle. 2eme edition. Paris, 521: 309.

Référence bibliographique

- Causse M., Caranta C., Saliba-Colombani V., Moretti A., Damidaux R., Rousselle P., 2000. Valorisation des ressources génétique de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. Cahiers Agricultures Agricultures 9: 197-210.
- Champion R., 1997. Identifier les champignons transmis par les semences. Techniques et Pratiques. INRA Editions p166 à 197.
- Charnay F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les pays en Développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost ». Thèse de doctorat n°562005, Université de Limoges.
- Chen Y., Magen H., Riov J., 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth In Senesi N Miano TM. Elsevier Science Amsterdam Humic substances in the global environment and implications on human health, pp, 427-445.
- Chefetz B., Hatcher P. G., Hadar Y., Chen Y., 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. Journal of Environmental Quality, 25:776-785.
- Chung Y. R., Hoitink H. A. A., Lipps P. E., 1988. Interactions between organic-matter decomposition level and soilborne disease severity. Agriculture Ecosystems and Environment, 24:183-194.
- Cooper W. G., Zika R. G., Petasne R. G., Fischer A. M., 1989. Sunlight- induced photochemistry of humic substances in natural waters: major reactive species. Adv. Chem. Ser, 219:333-349.
- Cronin M. J., Yohalem D. S., Harris R. F., Andrews J. H., 1996. Putative mechanism and dynamics of inhibition of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* by compost extracts. Soil Biology and Biochemistry, 28:1241-1249.
- Culot marc., 2005. Filières de valorisation agricole des matières organique. Laboratoire d'Ecologie microbienne et d'Épuration des Eaux (LEMEE) Avenue maréchal Juin, 27, Bâtiment 52. 5030 Gembloux.

Référence bibliographique

- Davis N. D., Diener U. L., Morgan-Jones G., 1977. Tenuazonic acid production by *Alternaria alternata* and *Alternaria tenuissima* isolated from cotton. *Applied and Environmental Microbiology*, 34:155-157.
- Deloraine A., Hedreville L., Arthus C., 2002. Etude bibliographique sur l'évaluation des risques liés aux Bio-Aérosols générés par le compostage des déchets. Contrat ADEME / CAREPS. Rapport N° 317, 216 p.
- Din A. R. J., Hanapi M. S. Z., Sarip S. H. M., Sarmidi M. R., 2018. Disease suppressive effect of compost tea against phyto-pathogens in sustaining herbal plant productivity in: *Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*, Z. A. Zakaria (ed.). Springer, Publishing, New York, NY.
- El Fels L., Zamama M., El Asli N., Hafidi M., 2014. Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocelulosic waste by chemical FTIR analyses and phytotoxicity tests. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 87, 128–137.
- El Fels L., 2014. Suivi Physico-chimique, Microbiologique et Ecotoxicologique du Compostage de Boues de Step Melangees a des Dechets de Palmier: Validation de nouveaux indices de Maturité. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse.
- Ellis M. B., 1971. *Dematiaceous hyphomycetes*. Kew, 608 p.
- El Kadiri Boutchich G., Tahiri S., Mahi M., Sisouane M., Kabil E. M., El Krati M., 2016. Effets de différents composts matures à base de boues d'épuration et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blé. *J. Mater. Environ. Sci*, 7 (12):5810-5827.
- Epelde L., Jauregi L., Urrea J., Ibarretxe L., Romo J., Goikoetxea., Garbisu C., 2018. Characterization of composted organic amendments for agricultural use. *Frontiers in Sustainable Food System*, 2: 44.
- FAO., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, in: R. V.; Roy Misra, R. N.; Hiraoka, H. (Eds.), *Documents de travail sur la Terre et les Eaux*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 36p.
- FAO. 2014. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.

- Francou C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage des déchets urbains, influences de la nature des déchets et du procédé de compostage : recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Ecole doctorale ABIES, France. 227p.
- Fuchs J.G., Galli U., Schleiss K., Wellinger A., 2001. Directive de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, pp 11.
- Fuchs J. G., 2002. Practical use of quality compost for plant health and vitality improvement. In: S. Klammer (ed.), *Microbiology of Composting*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp 435-444.
- Fuchs J. G., 2009. Fertilité et pathogènes telluriques. Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick (Suisse).
- Gargouri S., Hajlaoui M. R., Guermech A., Marrakchi., 2001. Identification des espèces fongiques associées à la pourriture du pied du blé et étude de leur répartition selon les étages bioclimatiques en Tunisie. *Bulletin OEPP*, Tunis, Tunisie, 31: 499-503.
- Gargouri S., 2003. Evaluation de l'incidence de la pourriture du pied du blé et de la structure des populations des espèces de *Fusarium* associées à la maladie. Thèse en Biologie végétale, Faculté des sciences de Tunis, Tunis, Tunisie, 94 p.
- Gerzabek M. H., Kirchmann H., Pichlmayer F., 1995. Response of Soil Aggregate Stability to manure amendments in the ultuna Long-term Soil Organic Matter Experiment. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 158:257-260.
- González-Hernández A. I., Suárez-Fernández M. B., Pérez-Sánchez R., Gómez-Sánchez M. A., Morales Cortes M. R., 2021. Compost tea induces growth and resistance against *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici* in pepper. *Agronomy*, 11(4), 781.

Référence bibliographique

- Gobat J. M., Aragno M., Matthey W., 2003. Le sol vivant Bases de Pédologie Biologie des sols. Deuxième édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, 568 p.
- Haderlein A., Legros R., Ramsay B. A., 2006. Pyrene mineralization capacity increases with compost maturity. *Biodegradation*, 17: 293-302.
- Haan L. A. M., Numansen A., Roebroek E. J. A., van Doorn J., 2000. PCR detection of *Fusarium oxysporum* f.sp. *gladioli* race 1, causal agent of Gladiolus yellows disease, from infected corms. *Plant Pathol.* 49:89- 100.
- Hathout T. A., 1997. Causes of blackening of infected spots of tomato fruits. *Egyptian Journal of Physiological Sciences*, 17 (2): 351-360.
- Harada H., Endar H., Afriliana A., 2020. Improving Coffee Husk Compost Quality. *Journal of Nutrition and Dietetic Practice*, 4(1): 001-009.
- Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cerif M., Boudabous A., 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 80: 217-225.
- Hibar K., Remad M., Jabnoun K., 2006. Effet des extraits de compost sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Biotechnol Agron Soc*, 10: 101-108.
- Hoitink H. A. J., Grebus M. E., 1994. Status of biological control of plant diseases with composts. *Compost Science and Utilization*, 2: 6-12.
- Houot S., Francou C., Lineres M et Le villio M., 2002. Gestion de la maturité des composts, conséquence sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote - seconde partie" *Echo MO*, 35: 3-4.
- Jones J. P., Stall R. E., Zitter T. A., 1991. *Compendium of Tomato Diseases*. APS St. Paul, MN, USA, 100 p.
- Kim J. T., Park I. H., Hahm Y.L., Yu S. H., 2001., Crown and root rot of greenhouse tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* in Korea. *Plant Pathol. J*, 17: 290-294.

Référence bibliographique

- Kirkpatrick M. T., Rothrock C. S., Rupe J. C., Gbur E. E., 2006. The effect of *Pythium ultimum* and soil flooding on two soybean cultivars. *Plant Disease*, 90: 597-602.
- Kitabala M. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M., Mufind K. M., 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi. *Journal of Applied Biosciences*, 102: 9669 – 9679.
- Koledzi K. Edem., 2011. Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de lomé (TOGO) : Approche Méthodologique pour une production durable de compost. Université de Ligomes.
- Koné N. T., Meeus De., Bouyer J., Ravel S., Guerrini L. N. E., Vial L., 2010. Population structuring of tsetse *Glossina tachinoides* resulting from landscape fragmentation in the Mouhoun river basin, Burkina Faso. *Medical and Veterinary Entomology*, 24(2): 162-168.
- Koriko Moursalou., 2010. Extraction, caractérisation, réactivité chimique des substances humiques naturelles avec les phosphates de Hahotoe-Kpogame et leurs propriétés photodégradantes. Université Blaise Pascal; Clermont-Ferrand II; Université de Lomé, pp 6-13.
- Landes E., Timmermann F., Grosskopf W., Ziegler W., 2002. Verbund Forschungsprojekt Kompostverwertung in der Landwirtschaft-Zwischenbericht
- Larbi M., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Faculty of sciences, Institute of Botany, (Soil and vegetation laboratory). Thèse de doctorat, University of Neuchatel, Accessed 29 Mars, 2006.
- Lashermes Gwenaeelle., 2010. Evolution des polluants organiques au cours du compostage de déchets organiques : approche expérimentale et modélisation. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech).

Référence bibliographique

- Lazreg F., Belabid L., Sanchez J., Gallego E., Bayaa B., 2014. Pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with diseases of Aleppo-pine seedlings in Algerian forest nurseries. *Journal of Forensic Science*, 60: 115-120.
- Lazarovits G., 2001. Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendment: a disease control strategy salvaged from the past. *Can. J. Plant Pathol.*, 23: 1-7.
- Linan M. D., Morassin P. Recco., 1999. Actualités sur *Alternaria*: écologie. *Revue Française d'allergologie*, 349-355.
- Liu Y., Wang W., Xu J., Xue H., Stanford K., Mcallister T. A., 2018. Evaluation of compost, vegetable and food waste as amendments to improve the composting of NaOH/NaClO contaminated poultry manure. *Plos One*, 1-19.
- Logrieco A., Moretti A., Solfrizzo M., 2009. *Alternaria* toxins and plant diseases: an overview of origin, occurrence and risks. *World Mycotoxin Journal*, 2 (2): 129-140.
- Majbar Z., Lahlou K., Ben Abbou M., Ammar E., Triki A., Abid W., Nawdali M., Bouka H., Taleb M., El Haji M., Rais Z., 2018. Co-composting of Olive Mill Waste and Wine-Processing Waste: An Application of Compost as Soil Amendment. *Journal of Chemistry*, 7918583, 1-9.
- Masmoudi S., Medhioub K., Ammar E., 2017. Compost: a remedy for affected soils by climatic change when applying humic substances. *Journal of new sciences Agriculture and Biotechnology*, 2597(2598): 2597-2609.
- Matejka G., 2011. Colloque scientifique sur le thème : Gestion et valorisation des déchets solides des villes africaines. Bilan et perspectives. A Lomé au Togo, du 30 mai au 1er juin 2011.
- Menzies J. G., Ehret D. L., Koch C., Hall J. W., Seifert K. S., Bisset J., Barr D. J. S., 2005. Fungi associated with roots of cucumber grown in different greenhouse root substrates. *Canadian Journal of Botanique*, 83: 80-92.
- Messiaen C. M., 1981. Les variétés résistantes. Méthodes de lutte contre les maladies et ennemies des plantes. Edition INRA, Paris. 374 p

Référence bibliographique

- Meunchang S., Panichsakpatana S., Weaver R. W., 2006. Tomato growth in soil amended with sugar mill by-products compost. *Plant and Soil*, 280: 171-176.
- Mill T. h., 1999. Predicting photoreaction rates in surfaces waters. *Chemosphere*, (38): 1379-1390.
- Misra R. V., Roy R. N., Hiraoka H., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Document de travail sur les terres et les eaux. ISSN 1229 2729-0554. FAO, Rome, Italie. 48p.
- Mrabet B., 1998. Incidence de la fusariose au nord de la Tunisie. Identification de source de résistance chez le blé. École Supérieure Agronomique de Kef, Kef, Tunisie, 60 p.
- Morales-Corts M. R., Pérez-Sánchez R., Gómez-Sánchez M. R., 2018. Efficiency of garden waste compost teas on tomato growth and its suppressiveness against soilborne pathogens. *Soils and Plant Nutrition*, 75 (5): 400-409.
- Mouria B., Ouazzani Touhami A., Allal D., 2010. Valorisation agronomique du compost et de ses extraits sur la culture de la tomate. *Ivorian Journal of Science and Technology*, 16: 165-190.
- Mouria B., Ouazzani Touhami A., Douira., 2012. Isolement et identification de la mycoflore du compost des déchets urbains solides. *Nature Technology Review, C-Environmental Sciences*, 13-28.
- Mouria B., Ouazani Touhami A., Mouria A., et Douira A., 2013. Mise en évidence d'une variation intra spécifique chez *Botrytis cinerea* et lutte biologique in vitro par l'extrait de compost]. *Journal of Applied Biosciences*, 64: 4797-4812.
- Mouria B., Ouazzani Touhami A., Douira., 2014. Effets in vitro et in vivo du compost sur *Verticillium dahliae*, agent causal de la verticilliose de la tomate. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 83: 10-3.
- Mustin M., 1987. *Le Compost, gestion de la matière organique* F. Dubuse 954 pages.
- Naika S., Van Dam. B., Florijn A., 2005. *La culture de la tomate: Production, transformation et commercialisation.* Edition Agromisa Foundation, coll. Agrodok Wageningen, 105p.

Référence bibliographique

- Nees Von Esenbeck. G. G., 1817. System der Pilze Urid Schwamme. Wurzburg, 234 p.
- Nelson P. E., Toussoun T. A., Marasas W. F. O., 1983. Fusarium species: An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press, University Park, 193 p.
- NF U 44-051., Avril 2006. Amendements organiques Dénominations spécifications et marquage. Norme homologuée par l'AFNOR et rendue d'application obligatoire. Mise en application obligatoire:21 Août 2007. Amendement A1 (décembre 2010) mise en application obligatoire le 29 octobre 2011.
- Noel Laurence., Ensp J. C., Ensp Michèle Legeas Ensp., 2002. Elements pour la prose en compte des effets des unites de compostage de dechets sur la santé des populations riveraines. L'Ecole Nationale de la Santé Publique.
- Nofal A., Abd M., El-Rahman A. A., Alharbi A., Abdelghany T. M., 2021. Ecofriendly Method for Suppressing Damping-off Disease Caused by *Rhizoctonia solani* Using Compost Tea. *BioResources*, 16(3): 6378-6391.
- Osiru M., 2008. Distribution, variability and pathogenicity of *Alternaria* leaf petiole and stem blight disease of sweetpotato in Uganda. PhD. Thesis Makerere University, Kampala, 33-61.
- Oueriemmi H., Kidd P. S., Trasar-Cepeda C., Rodríguez-Garrido B., Zoghlami R. I., Ardhaoui K. A., Prieto-Fernández A., Moussa M., 2021. Evaluation of Composted Organic Wastes and Farmyard Manure for Improving Fertility of Poor Sandy Soils in Arid Regions. *Agriculture*, 11(415): 2-19.
- Paré T., Diné H., Schnitzer M., 1999. Extractability of trace metals during co composting of biosolids and municipal solid wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 31-37.
- Patriarca A., Fernández Pinto V., 2018. *Alternaria*. In Reference Module in Food Science, Elsevier.
- Peralta IE., Knapp S., Spooner D. M., 2006. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes Report of the tomato genetics cooperative. 56: 5-12.

Référence bibliographique

- Pharand B., Carisse O., Benhamou N., 2002. Cytological aspects of compost-mediated induced resistance against *Fusarium* crown and root rot in tomato. *Phytopathology* 92, p. 424–438.
- Priou L., 2012. Effets suppressifs contre les maladies de l'incorporation de composts dans les sols. option GDV à Agrocampus-Ouest Centre d'Angers.
- Rahel G., Mulugeta K., 2013. Microbiological and Physico-chemical Analysis of Compost and its Effect on the Yield of Kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia, 6: 93-102.
- Ramdani N., 2015. Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Approche expérimentale pour une production durable de compost. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, 197p.
- Rastegari Kopaei H., Nooripoor M., Karami A., Petrescu-Mag M. R., Petrescu D. C., 2021. Drivers of Residents' Home Composting Intention: Integrating the Theory of Planned Behavior, the Norm Activation Model and the Moderating Role of Composting Knowledge. *Sustainability*, 13(6826):1-21.
- Rapilly F., 1968. Les techniques de mycologie en pathologie végétale. *Annals of the Epiphytes INRA*, 19, 102.
- Rdziemska M., Zbigniew M., 2015. Effect of compost from by-product of the fishing industry on crop yield and microelement content in maize. *Journal of Ecological Engineering*, 16: 168-175.
- Remi C., 1997. A Identify seed-borne fungi. 1st ED. INRA.
- Richard T. L., Hamelers H. V. M., Veeken A., and Silva T., 2002. Moisture relationships in composting processes. *Compost Science and Utilization*, 10, 4: 286-302.
- Rick C.M., Laterrot H., Philouze J., 1990. A revised key for the *Lycopersicon* species. Report Tomato Genetic Coop: 31-40.
- Ros M., Hurtado-Navarro M., Giménez A., Fernández J. A., Egea-Gilabert C., Lozano Pastor. P., Pascual J. A., 2020. Spraying agro-industrial compost tea on baby

Référence bibliographique

- spinach crops: Evaluation of yield plant quality and soil health in field experiments. *Agronomy*, 10(3): 440.
- Rotem J., 1994. The genus *Alternaria*, biology and pathogenicity. APS Press, St. Paul, Minnesota, 326 p.
- Ruiz-Sagaseta A., Patrón-Ibarra J. C., Pineda-Pineda G., López-Olguín J. F., Juárez-Ramón D., 2021. Physical and chemical properties of compost and vermicompost from Zautla, Puebla, Mexico. *Acta Horticulturae*, 1305: 293-300.
- Sahar A., Youssef K. A., Tartoura H., 2013. Compost enhances plant resistance against the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* via up-regulation of ascorbate-glutathione redox cycle. *European Journal of Plant Pathology*, 137: 821-834.
- Saidou Aliou., Gnakpenou K. Denis., Balogoun Ibouaïman., Hounnahain S., Romain., Kindomihou M., Valentin., 2014. Effet de l'urée et du NPK 15-15-15 perlés et super granulés sur la productivité des variétés de riz IR841 et NERICA-L14 en zone de bas-fond au Sud-Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 77: 6575-6589.
- Santhanarajan A. E., Han Y. H., Koh S. H., 2021. The Efficacy of Functional Composts Manufactured Using Spent Coffee Ground, Rice Bran, Biochar, and Functional Microorganisms. *Applied Sciences*, 11(7703): 1-21.
- Sanchez-Monedero M. A., Roig A., Paredes C., Bernal M. P., 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, Ec and maturity of the composting mixtures. *Bioresources Technology*, vol 78: 301-308.
- Sayara T., Basheer-Salimia R., Hawamde F., Sánchez A., 2020. Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, 10(1838):1-23.
- Schleiss K., Fuchs J., Galli U., 2002. Anforderung der VKS-Richtlinie 2001 versus Güterkriterien der Bundesgütegemeinschaft Kompost BGK. *Müll und Abfall* 11: 618- 626.

Référence bibliographique

- Scheuerell S., Mahaffee W., 2002. Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization*, 10:313-338.
- Serra-Wittling C., Houot S., Barriuso E., 1995. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biology and Fertility of Soils*, 20: 226-236.
- Shanying H., Anan L., Wang L., 2016. Effect of Sewage Sludge and its Biomass Composting Product on the Soil Characteristics and N₂O Emission from the Tomato Planting Soil. *International journal of Agriculture and Biology*, 18: 501–508.
- Sharma V., Caudatelli M., Fortuna F., Cornacchia G., 1997. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. *Energy Conversion and Management*, 38(5): 453–478.
- Simmons E. G., 1999. *Alternaria* themes and variations (236-243). Host-specific toxin producers. *Mycotaxon*, 70 : 325-69.
- Singh R. S., 1987. *Diseases of Vegetable Crops*. Oxford and IBH Pub. Co. Pvt. Ltd., New Delhi Bombay, Calcutta, 419p.
- Snoussi S. A. ? 2009. Etude de base sur la tomate en Algérie. Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient. www.ipm-neareast.com.
- Solaiman M., Yang H., Archdeacon D., Tippett O., Tibi M., Whiteley A. S., 2019. Humus-Rich Compost Increases Lettuce Growth. Nutrient Uptake Mycorrhizal Colonisation and Soil Fertility. *Pedosphere*, 29: 170–179.
- Som M. P., 2006: Etude moléculaire des composés organiques de compost formation transformation dans les sols action sur les propriétés des sols, Thèse de doctorat d'université, Université de Poitiers, France.
- Soudi B., 2001. Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost. Cas des petites et moyennes communes au Maroc. (Actes édition), 102 p.
- Soumaré M., Tack F. M. G., Verloo M. G., 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*, 86:15- 20.

Référence bibliographique

- Stepien L., Lalak-Kańczugowska J., Witaszak N., Urbaniak M., 2019. *Fusarium* secondary metabolism biosynthetic Pathways: so close but So Far Away. J.-M. Mérillon, K. G. Ramawat (eds.), Co-Evolution of Secondary Metabolites, 1-4.
- Sudharsan Varma V., Mayur C., Kalamadhad A., 2014. Effects of bulking agent in composting of vegetable waste and leachate control using rotary drum composter. *Sustain Environmental Research*, 24: 245-256.
- Sulewski P., Kais K., Gołas M., Rawa G., Urbanska K., Was A., 2021. Home Bio-Waste Composting for the Circular Economy. *Energie*, 14(6164): 1-25.
- Tahiri A., Destain J., Thonart P. H., Druart P. H., 2014. Propriétés physico-chimiques et biologiques des substances humiques en relation avec le développement végétal. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 18(3):436-445.
- Tahraoui Douma N., 2013. Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef Algérie. Université de Limoges, Ecole Doctorale Sciences et Techniques, 217p.
- Taralova E. H., Schlecht J., Kobus B., Barry M. P., 2011. Modelling and visualizing morphology in the fungus *Alternaria*. *Fungal pathology*, 115: 1163-1173.
- Termorshuizen A. J., Molenaar W. S., Veeken A. H. M., Blok W. J., 2005. The value of compost. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 3: 343–347.
- Timmermann F., Kluge R., Stahr K., Zauner G., 1999. Erarbeitung von Grundlagen für Anwendungsrichtlinien zur Verwertung geeigneter Rest- und Abfallstoffe im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Ackerbau). PWAB-Forschungsvorhaben PW 95 171 des Bundeslandes Baden-Württemberg, Abschlussbericht 1999, 276 Seiten, 54 Abbildung, 70 Tabellen und Anhang.
- Tiquia S., 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*, 79: 506-512.
- Tognetti C., Mazzarino M. J., Laos F., 2007. Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*, 98(5): 1067-1076.

Référence bibliographique

- Togun A. O., Akanbi W. B., Adediran J. A., 2004. Growth nutrient uptake and yield of tomato in response to different plant residue composts. *Food Agriculture & Environment*, WFL Publisher Science and Technology, 2(1) : 310-316.
- Toundou O., 2016. Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Sciences de la Terre. Université de Limoges, Université de Lomé.
- Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itavaara M., 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology* 72: 169-183.
- Uyizeye O. C., Thiet R. K., Knorr M. A., 2019. Effects of community-accessible biochar and compost on diesel-contaminated soil. *Bioremediat*, 23: 107–117.
- Veeken A., Nierop K., Wilde V., Hamelers B., 2000., Characterisation of NaOH-extracted humic acids during composting of biowaste. *BioresourceTechnology*, 72:33-41.
- Weltzien H. C., 1992. Biocontrol of foliar fungal diseases with compost extracts. In J.H. Andrews, S.S. Hirano (eds.), *Micobial ecology of leaves*. Springer Verlag, New York, pp 430-450.
- Znaidi I. E. A., 2002. Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. *Mediterranien Agronomic Institute of Bari*, 85p.
- Zongo C. B., 2013. Etude diagnostique de la production du compost dans la province du Yatenga. Mémoire de fin de cycle, Université Politechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Composition des différents milieux d'isolements

• **Milieu PDA (Potato Dextrose Agar) (Rapilly, 1968) (g/ l):**

Pomme de terre.....	200 g
Glucose.....	20 g
Agar agar.....	20 g
Eau Distillée	1000 ml

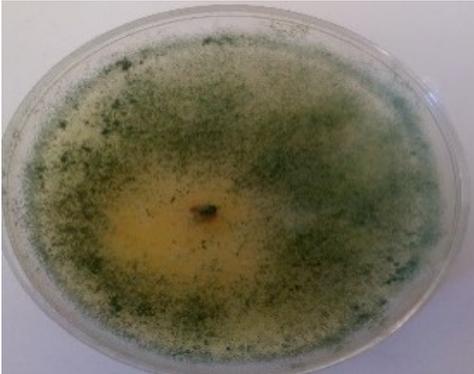
• **Milieu MEA (Malt Extract Agar)**

Extrait de Malt.....	20 g
Agar-agar.....	15 g
Eau distillée.....	1000 ml

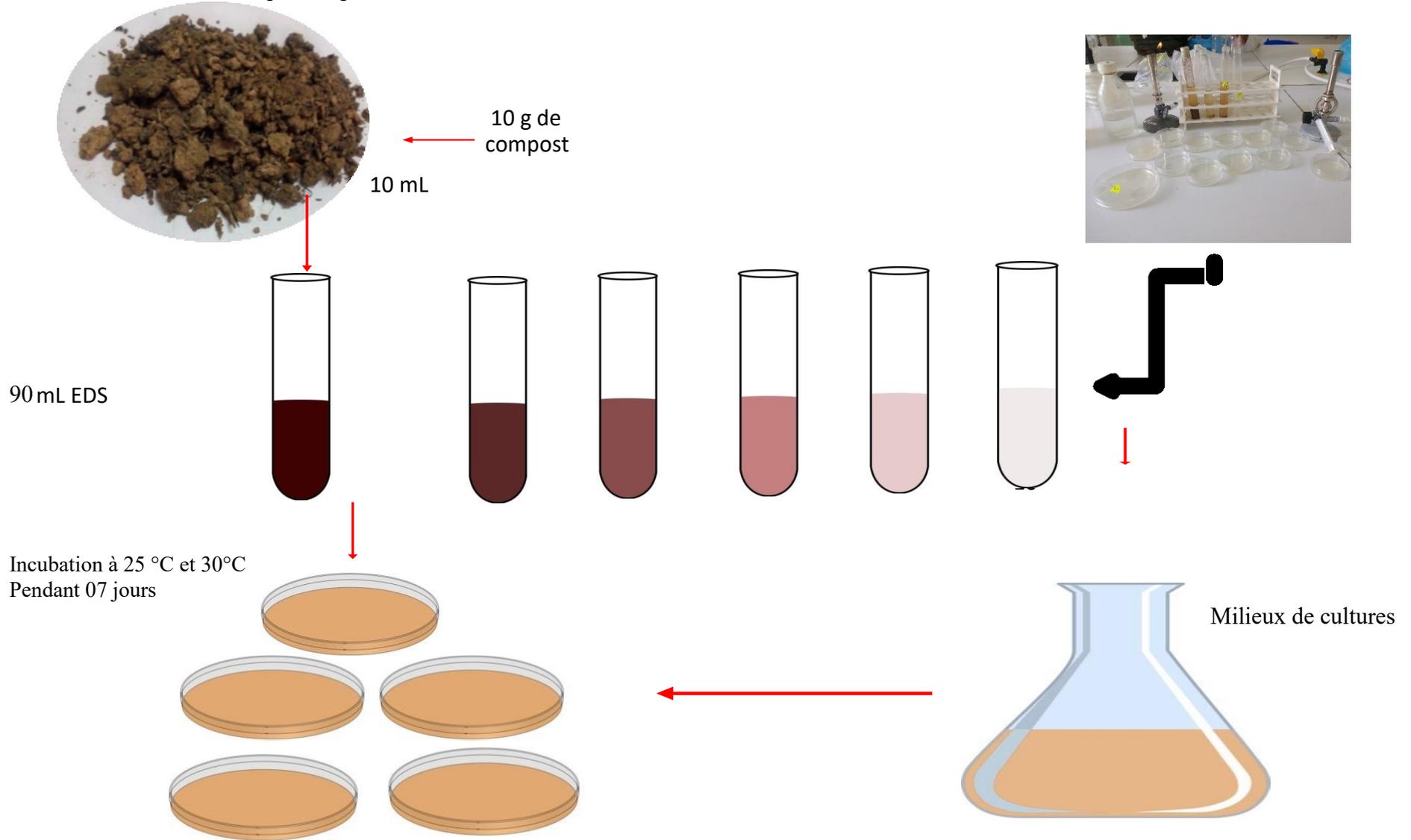
Annexe 02 : Les différents composants des composts testés et les composteurs utilisés

Composts	Composteur et leur composition
<p>C-A01 C-A02</p>	
<p>CB-01 CB-02</p>	

	
<p>CC-01 CC-02</p>	 
<p>CD-01 CD-02</p>	

	 
<p>CE-01 CE-02</p>	  <p><i>Trichoderma harzanium</i></p>

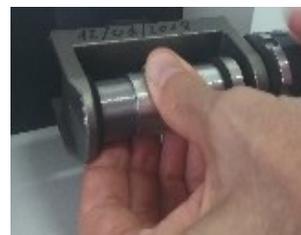
Annexe 03 : La techniques suspensions-dilutions



Annexe 04 : Les étapes de broyage de l'échantillon « compost » a l'aide d'Elemental analyzer brand Pour la détermination des métaux lourds par la méthode ICP-MS

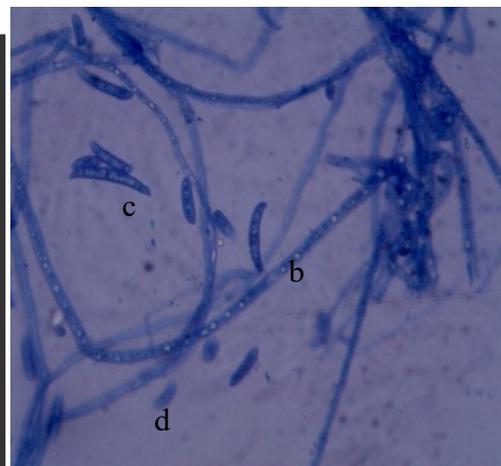
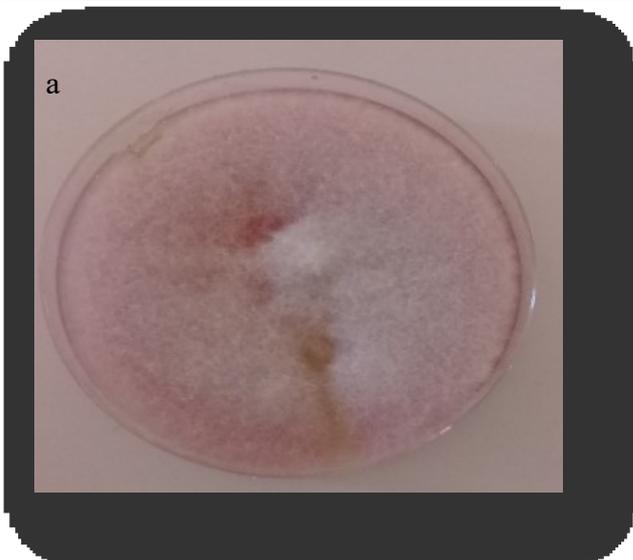
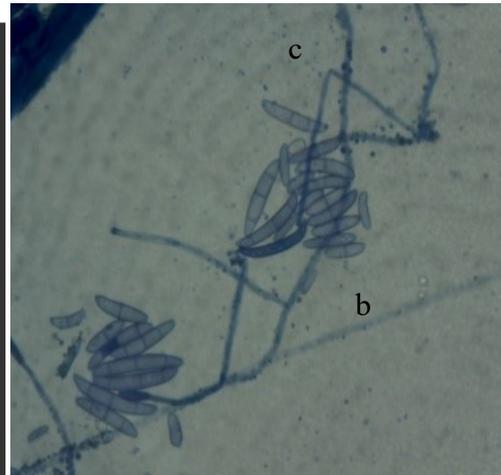


Echantillon de compost à analysé



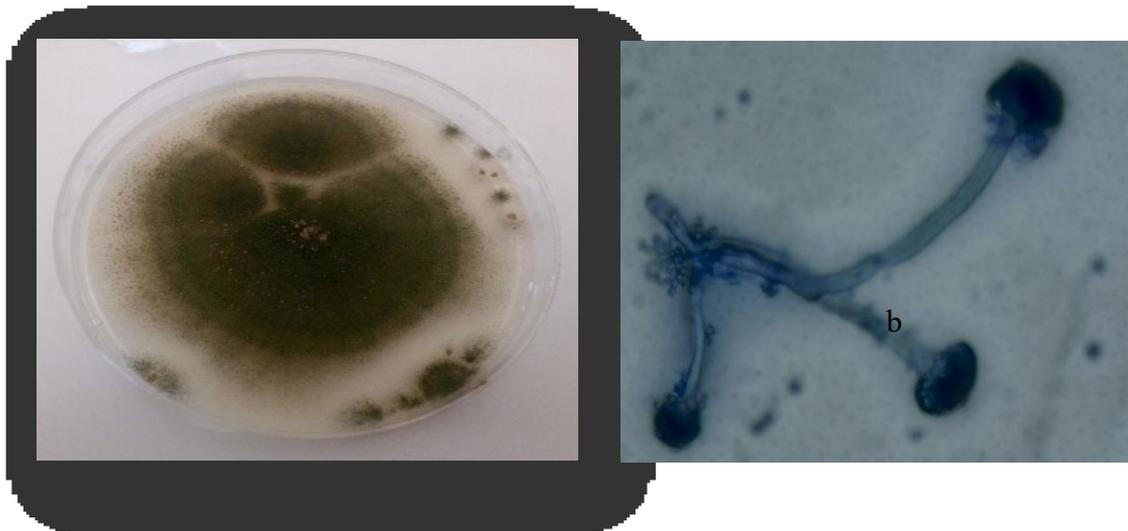
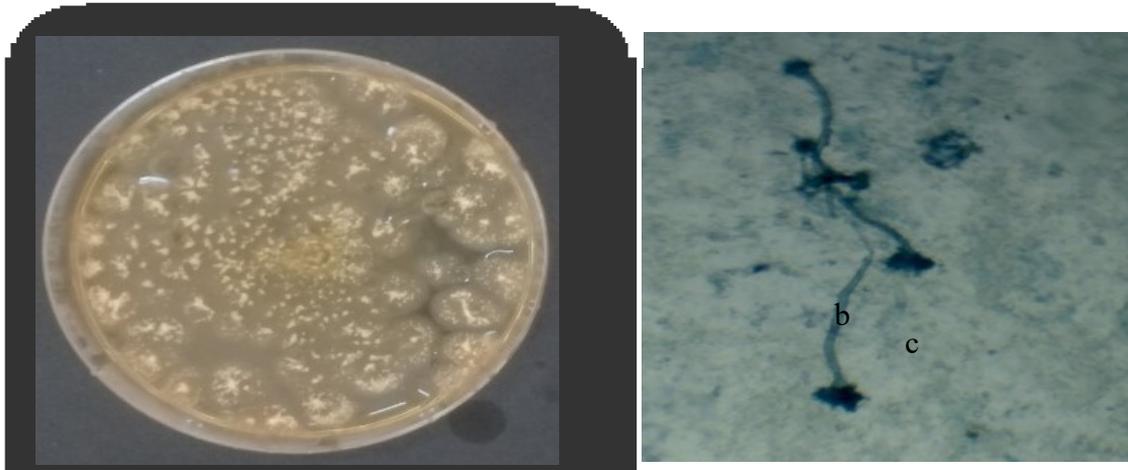
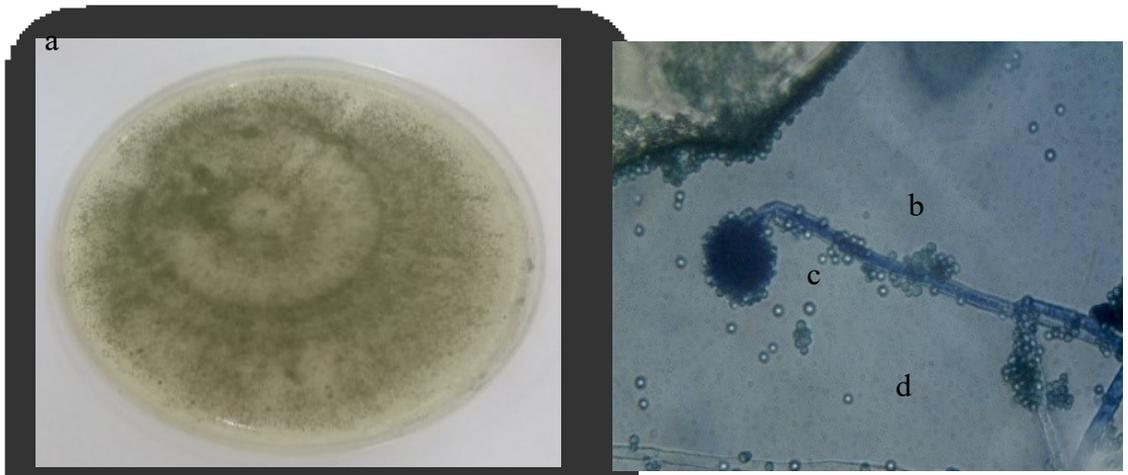
Echanillon finale

Annexe 05: Caractérisation macroscopiques et microscopiques des isolats obtenus



a-Aspect macroscopique des cultures de *Fusarium sp* sur le milieu PDA

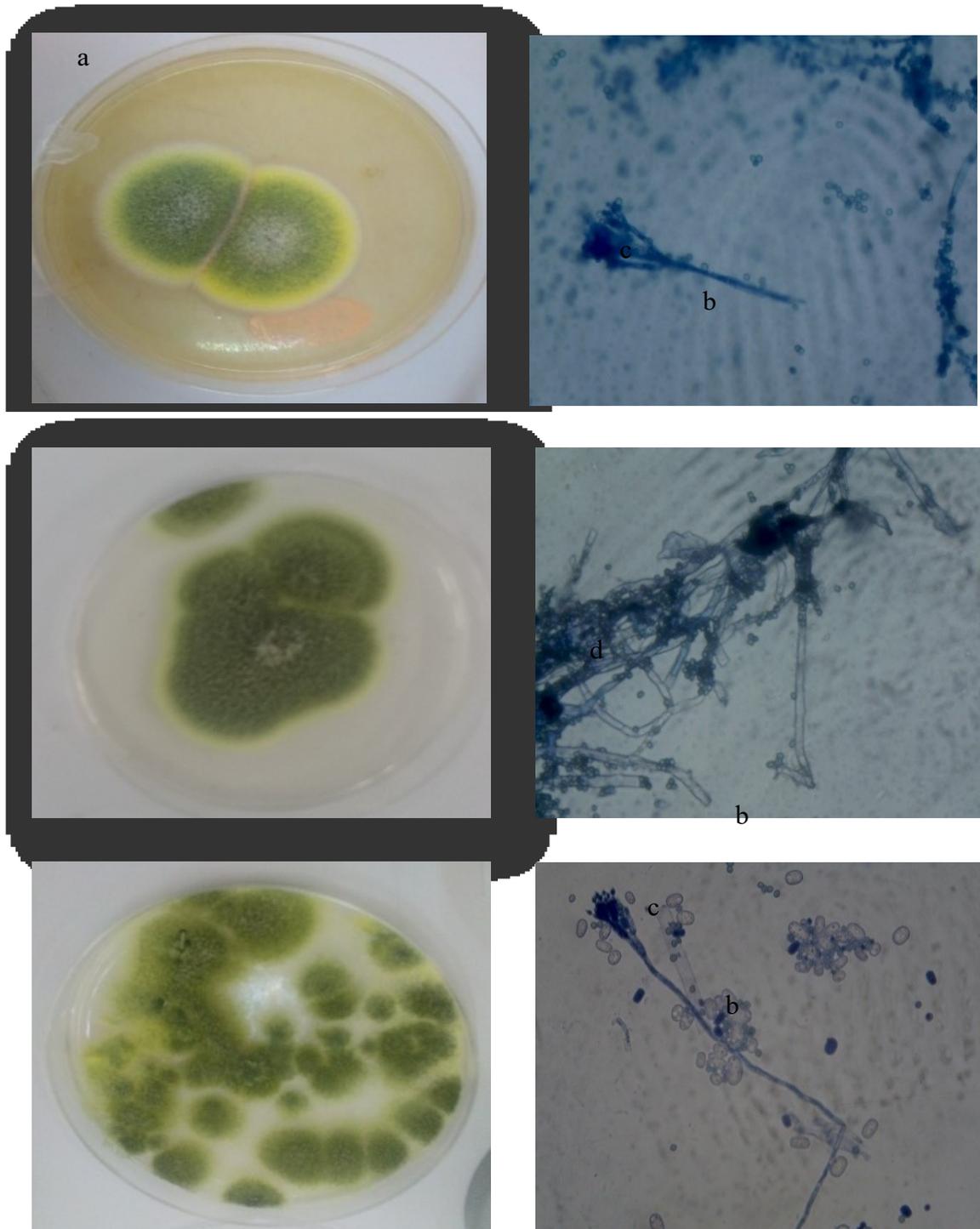
Aspect microscopique : b- mycélium cloisonnée, c- macroconidies, d-microconidie (x 40).



a : Aspect macroscopique des cultures d'*Aspergillus sp* sur le milieu PDA

Aspect microscopique : b- conidiophores, c- tête Aspergillaire, d-conidies (x 40).

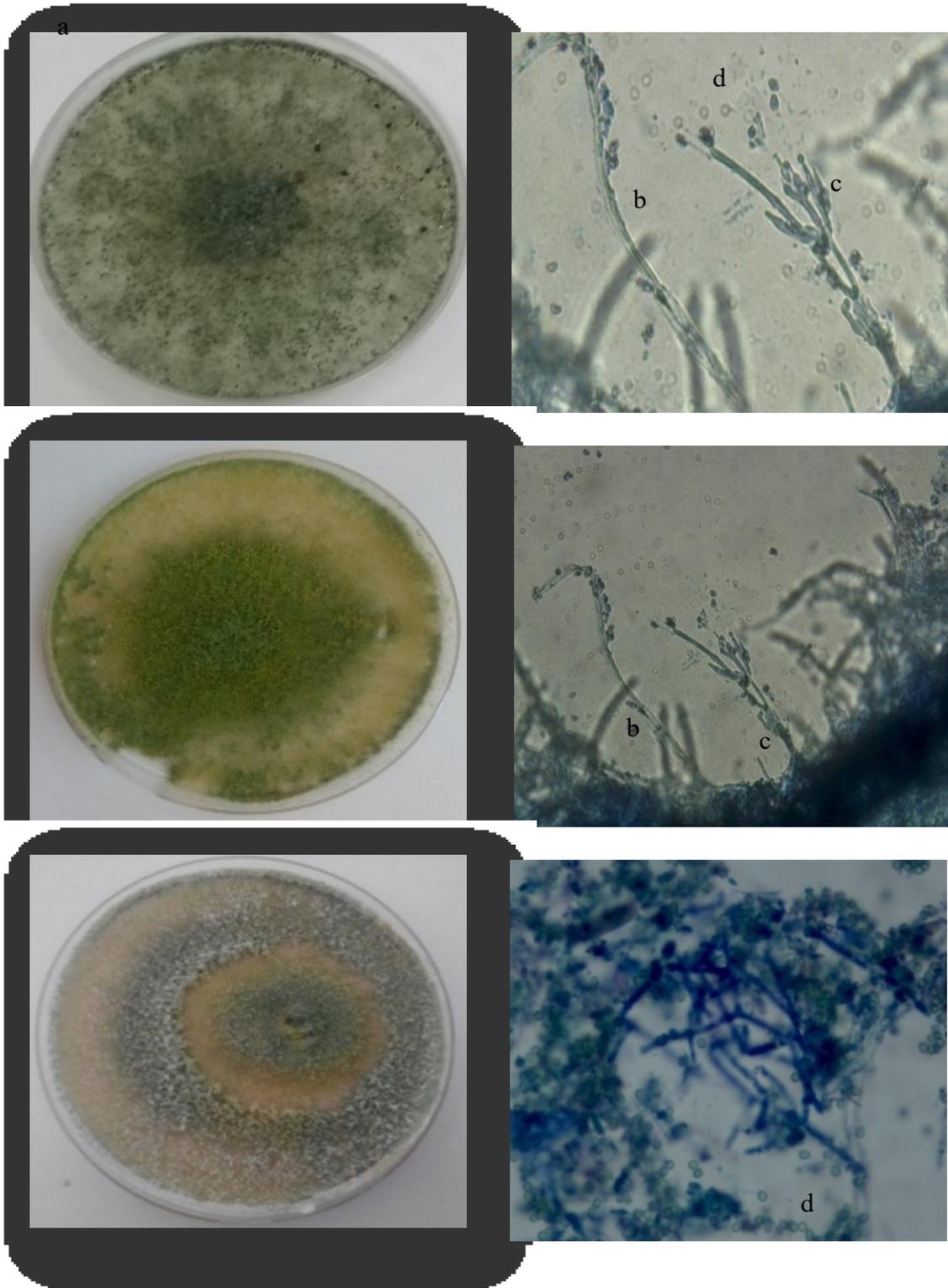
Annexes :

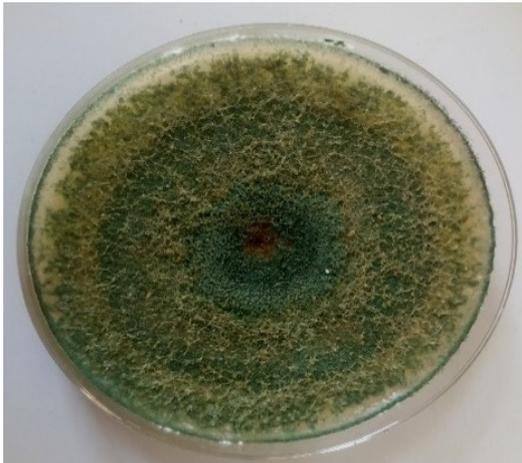


a-Aspect macroscopique des cultures de *Penicillium sp* sur le milieu PDA

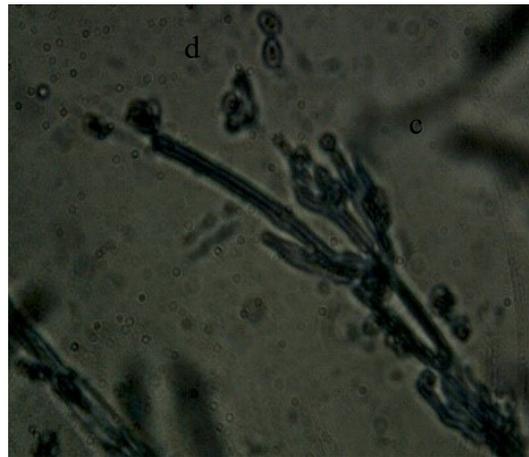
Aspect microscopique : b- conidiophores, c-les phialides, d- phialospores (x 40).

Annexes :

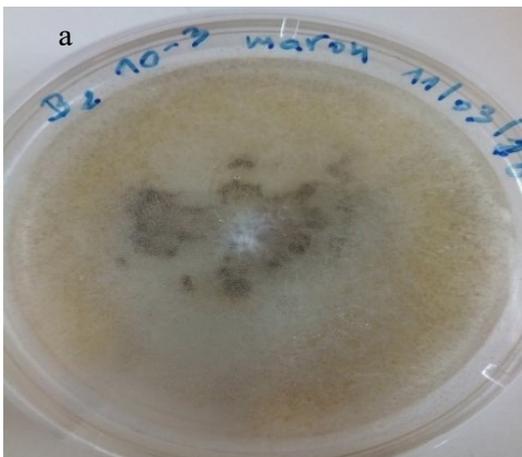




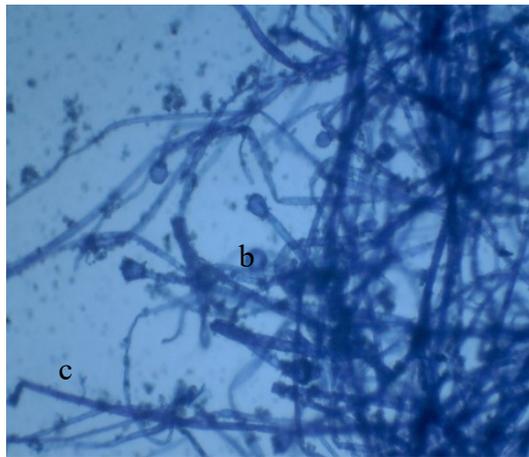
a-Aspect macroscopique des cultures de *Trichoderma sp* sur le milieu PDA



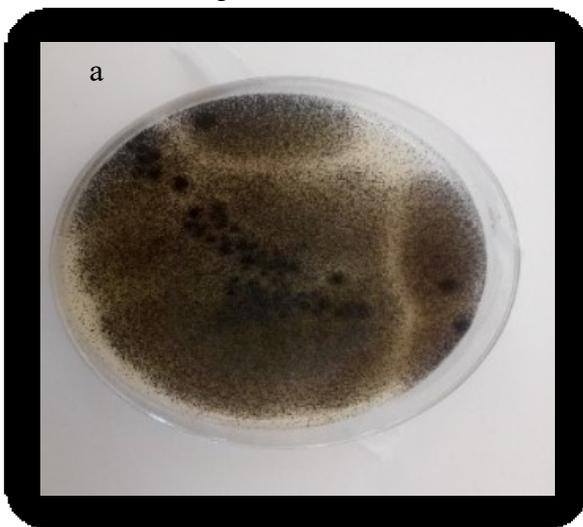
Aspect microscopique : b-des phialides, c- phialospores, (x 40).



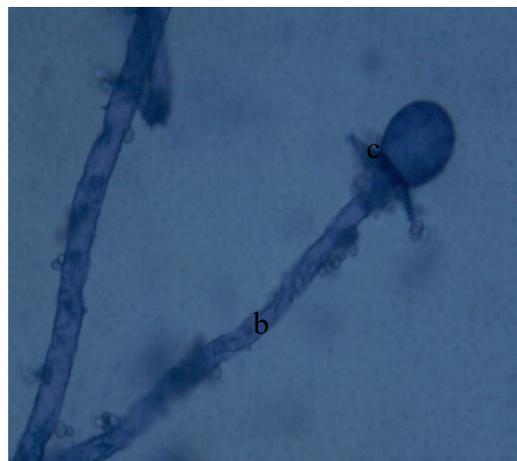
a-Aspect macroscopique des cultures d'*Absidia sp* sur le milieu PDA



Aspect microscopique : b- les phialides c- phialospores (x 40).

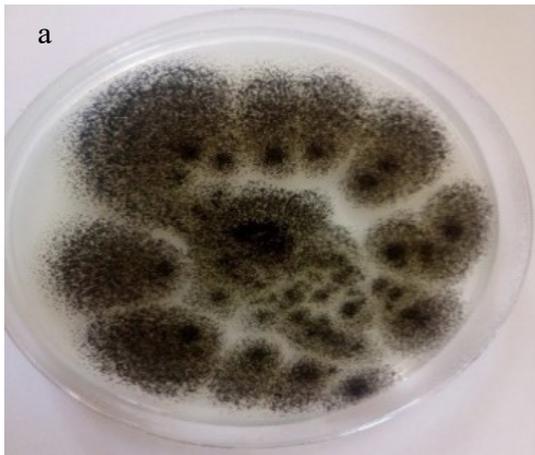


a-Aspect macroscopique des cultures de *Rhizopus sp* sur le milieu PDA

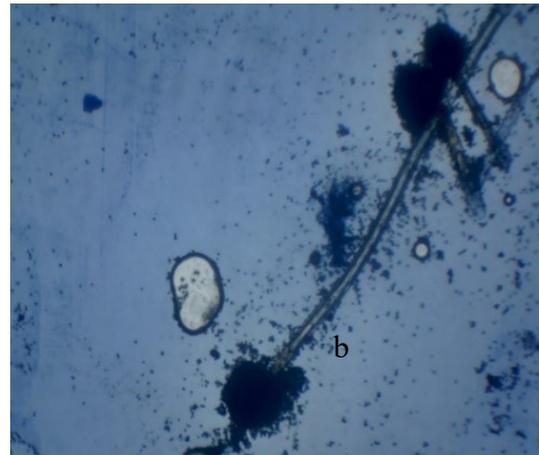


Aspect microscopique : b- conidiophore , c- vésicule (x 40).

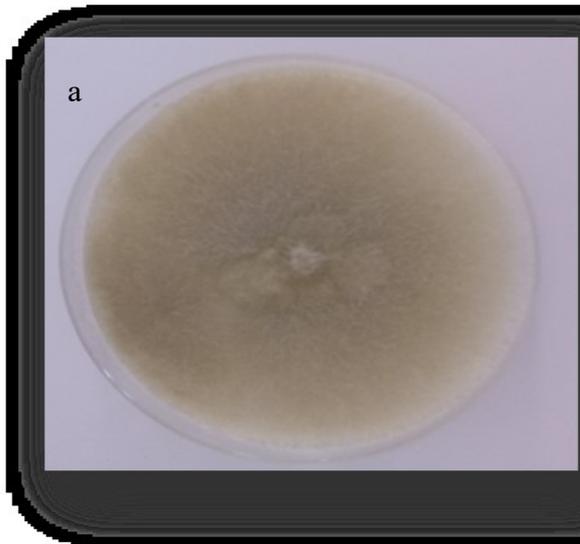
Annexes :



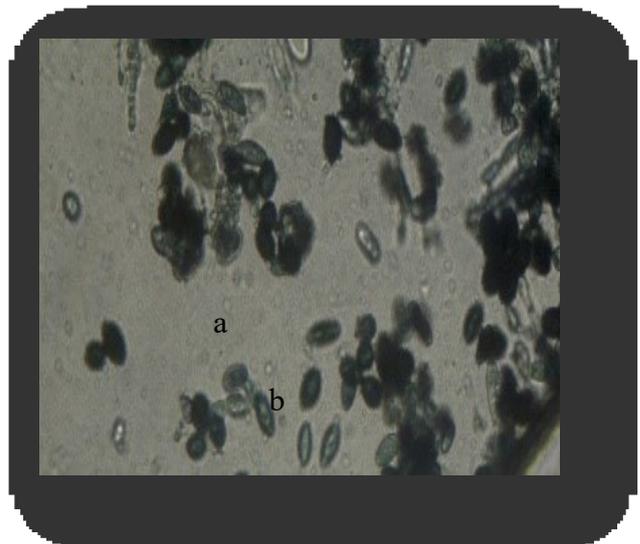
a-Aspect macroscopique des cultures de *Mucor* sp sur le milieu PDA



Aspect microscopique : b- conidiophore, c- sporange, d- sporangiospores (x 40).



a-Aspect macroscopique des cultures de *Cladosporium* sp sur le milieu PDA



Aspect microscopique : b- conidiophore, c conidies (x 40).

Annexes :

Annexe 06 : Etude de l'effet des extraits des composts sur les caractères biologiques des agents pathogènes telluriques (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*) et foliaire (*Alternaria sp*) (Test in vitro).

- Analyse de la variance de la charge fongique

Description1	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	3	1,01076	0,33692	244,144928	9,64E-26
Microbial.population	4	1,51452333	0,37863083	274,370169	1,70E-28
Compost:Microbial.population	12	4,08989	0,34082417	246,974034	1,53E-33
Residuals	40	0,0552	0,00138	NA	NA

- Analyse de la variance de l'effet sur la croissance mycelienne

Description1	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	3	0,9097	0,30323	1,32E+03	9,58E-27
Champignon	2	0,03904	0,01952	8,47E+01	1,34E-11
Compost:Champignon	6	0,09298	0,0155	6,72E+01	8,06E-14
Residuals	24	0,00553	0,00023	NA	NA

- Analyse de la variance de l'effet sur la sporulation

Description1	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	3	0,62162222	0,20720741	431,183044	5,33E-21
Champignon	2	0,04046667	0,02023333	42,1040462	1,42E-08
Compost:Champignon	6	0,16357778	0,02726296	56,7321773	5,35E-13
Residuals	24	0,01153333	0,00048056	NA	NA

Annexes :

- Analyse de la variance de l'effet sur la germination

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	3	0,9448666	0,3149555	1511,7866	1,82E-27
		7	6	7	
Champignon	2	0,0334055	0,0167027	80,173333	2,37E-11
		6	8	3	
Compost:Champigno n	6	0,03395	0,0056583	27,16	1,42E-09
			3		
Residuals	24	0,005	0,0002083		
			3		

-Analyse de la variance de l'effet des composts sur les composts sur les maladie telluriques in vivo

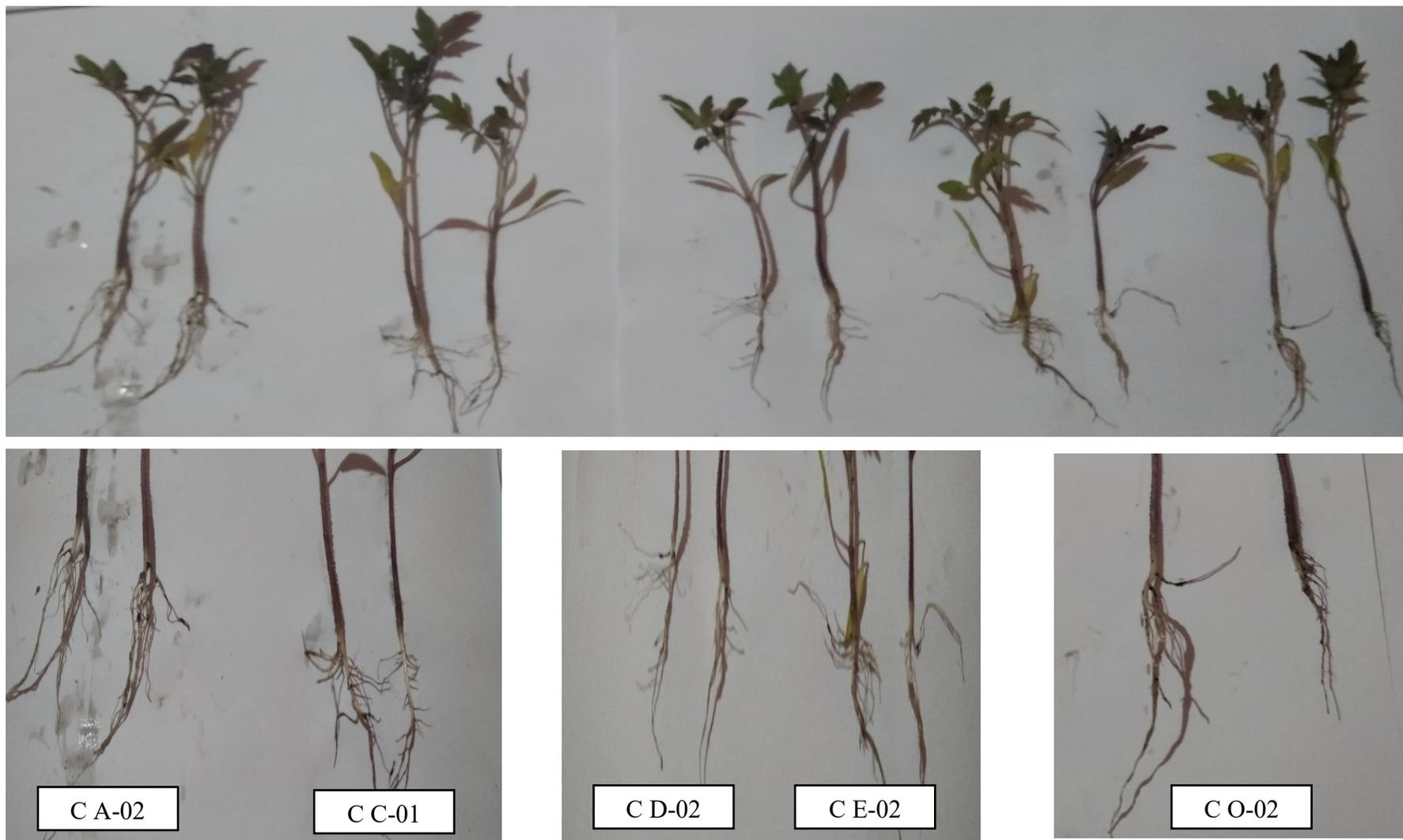
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	10	1,455	0,146	60,303	0,000
Champignon	1	0,001	0,001	0,251	0,619
Compost:Champignon	10	0,191	0,019	7,917	0,000
Residuals	44	0,106	0,002		

-Analyse de la variance de l'effet des extraits composts sur les maladie foliaires in vivo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Compost	21	2,35610909	0,11219567	91,6449788	1,43E-29
Residuals	44	0,05386667	0,00122424	NA	NA

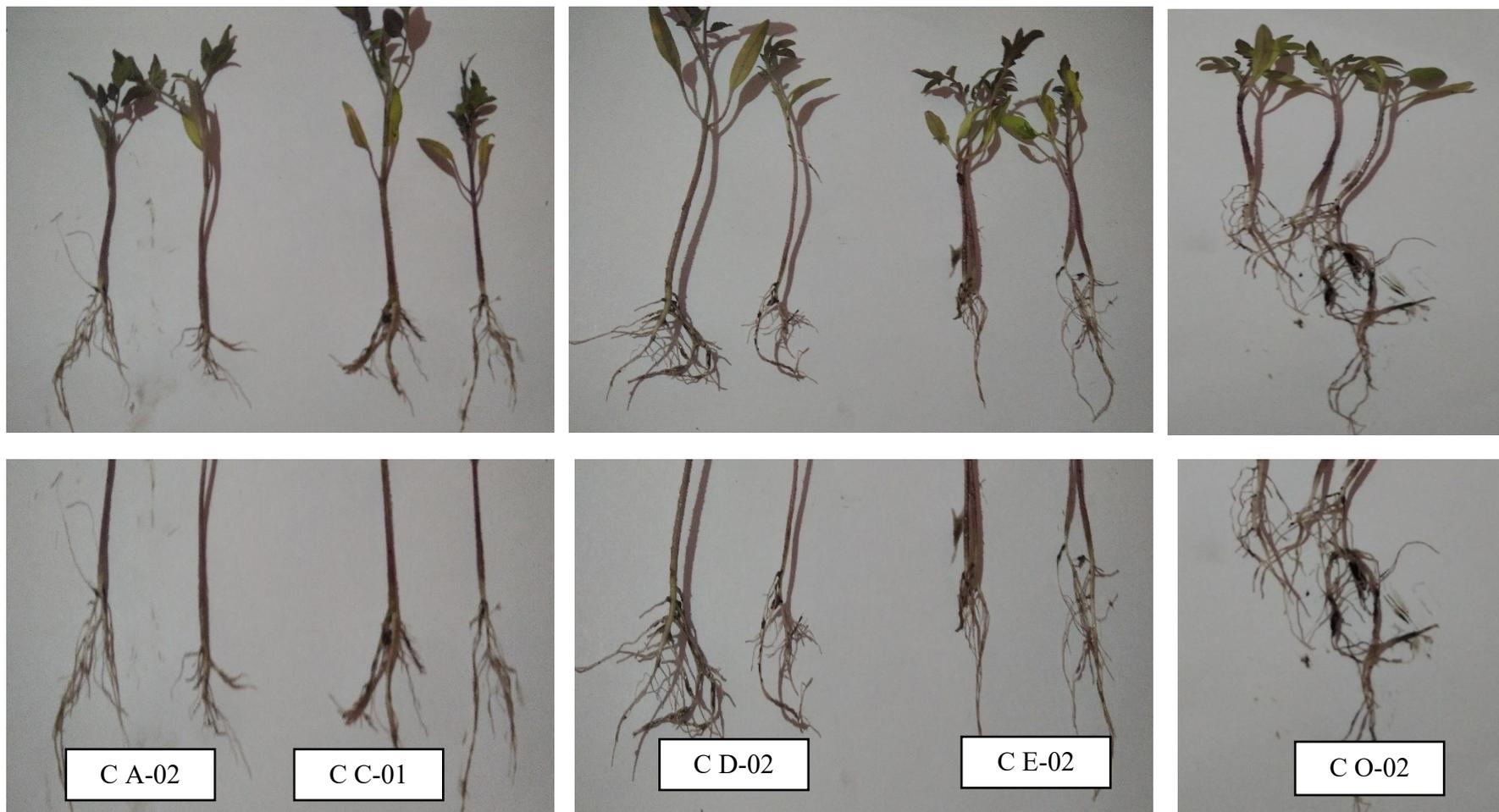
Annexes :

Annexe 6: Effet des composts choisis sur l'incidence de la maladie (IM) sur la partie racinaire contre l'agent pathogène *Fusarium solani*.



Annexes :

Annexe 7: Effet des composts choisis sur l'incidence de la maladie (IM) sur la partie racinaire contre l'agent pathogène *Fusarium acuminatum*





Official publication of Pakistan Phytopathological Society
Pakistan Journal of Phytopathology

ISSN: 1019-763X (Print), 2305-0284 (Online)
<http://www.pakps.com>



PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE COMPOST E2 AND THEIR POTENTIAL FOR SUPPRESSING PLANT DISEASES

^aFatima Merah*, ^aFatiha Lazreg, ^aLakhdar Belabid, ^bJose Sanchez, ^cEduardo Gallego

^a Department of Agronomy, Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatics, Faculty of Natural Sciences and Life, University of Mascara, 29000 Mascara, Algeria.

^b Botany Unit, Department of Biology and Geology, University of Almeria, E-04120 Almeria, Spain.

^c Botany Unit, Department of Biology and Geology, University of Almeria, E-04120 Almeria, Spain.

ABSTRACT

Composting is a natural degradation process of organic matter. Thus, this practice is promising in terms of economy and environment. Another intriguing aspect of this practice is the protection of plants from fungal diseases. The ultimate goal of this study is to check the efficacy of the compost and their potential for suppressing plant diseases. Our product (E2) has been produced by the mixing of 50% of green waste and 50 % of sheep manure. In addition, *Trichoderma* sp was supplemented to improve the value of this biological alternative in agriculture. On the other hand, we have also produced the compost extract for two main purposes; the former is to evaluate the physicochemical and biological proprieties, the latter is to examine their effect in controlling pathogenic fungi (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*, *Alternaria* sp) *in vitro* and *in vivo*. The biological analysis of our compost has clearly demonstrated different genres of microbial population in our compost. In physicochemical test, we have also recorded a good biodegradation of organic matter, an alkaline value of pH and a richness of humic and fulvic acids. Then the presence of fertilizing elements has followed. The mediums were prepared from the compost extract with glucose autoclave and without glucose autoclave-free at 120°C and 80°C. After that, they were tested on biological characters *in vitro* of the fungi tested. Both medias have depicted significant results in inhibiting the mycelial growth, sporulation and the germination on the tested pathogens. The medium of compost extract without glucose resulted maximum inhibition in mycelial growth by (90%), sporulation and spore germination by (85%). To evaluate the effect of compost and their extract *in vivo* for the protection of tomato plants from fungal diseases, of 50% from the compost E2 was added to the substrate contaminated by the telluric pathogen (*Fusarium solani* and *Fusarium acuminatum*). Such addition has manifested the minimization of the disease incidence up to 25% compared to the control. Similar result has been observed for the leaf disease (*Alternaria* sp). As a final vital remark, preventive control by compost extract is the best method to reduce the foliar disease incidence compared with the curative control.

Keywords: biological characters, compost, fungal diseases, incidence, protection.

INTRODUCTION

Composting is a long-time used technology, yet it has some shortcomings related to reducing its extensive usage and efficiency. This process entails controlling the conversion of degradable organic products and wastes into stable products through the agency of

Submitted: March 17, 2022

Revised: May 10, 2022

Accepted for Publication: May 17, 2022

* Corresponding Author:

Email: fatima.merah@univ-mascara.dz

© 2017 Pak. J. Phytopathol. All rights reserved.

microorganisms (Ayilara *et al.*, 2020), however, composting, as probably the only method of waste treatment (Sulewski *et al.*, 2021). Composting has become a favorable option to treat organic wastes for obtaining a finished stable sanitized product. This latter can be used as an organic amendment (Sayara *et al.*, 2020). Compost is one of nature's best mulching and soil amendment materials. Moreover, it is one of the most effective methods in recycling organic waste. To a great degree, it enables obtaining a valuable organic fertilizer. This fertilizer is a substrate of humus that can be applied among others, in crop

production for consumption purposes. Another aspect of the application is the organic waste products. They are turned into composts that are economically and ecologically valuable. Furthermore, they are regarded to be environmentally friendly (Rdziemska and Zbigniew, 2015; Iqbal and Azeem, 2021; Zahid *et al.*, 2022). According to Al-Rumaihi *et al.* (2020) compost is an amendment that is fundamental in the management of waste and reduction of preventable emissions associated with food waste. Additionally, Plant pathogens and diseases are also resistant to chemical insecticides. As such, compost is a biological alternative. It can be utilized for recycling and valorization of organic wastes. On this account, it marks potential in sustainable agriculture. Santhanarajan *et al.* (2021) concluded that a good establishment of the functional microbes within the composts contributes to the biocontrol of the pathogens in the soil environment. The suppressive effect of compost on damping-off disease was declared at a concentration of 30% tea compost filtrate inhibited 87.0% of *Rhizoctonia solani* population and it was completely inhibited at a concentration of 50% (Nofal *et al.*, 2021). Morales-Corts *et al.* (2018) evaluated *in vitro* and *in vivo* tests the suppressive effect of compost on *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *Lycopersici*. This body of literature showed that the compost suppressed fungal diseases, so the efficiency of compost is increased when it is supplemented with *Trichoderma harzianum* (Ros *et al.*, 2020). Recently, researchers have shown that compost application has multiple positive effects, which in turn affect each other. The addition of organic amendments increased organic matter, cation exchange capacity, the grain yield (up to 51%) (Oueriemmi *et al.*, 2021). Therefore, composting is a simple and rapid process compared to other technologies. It can represent an alternative; highly viable in managing organic waste (Rastegari Kopaei *et al.*, 2021). Moreover, the physicochemical characterization has proved that these composts are of good quality, rich in nutrients and particularly N, P, K, Ca, Mg, and Fe, and conforms to the standards of an organic amendment (Majbar *et al.*, 2018). Fungal diseases are amongst the most serious problems of our cultures, in this study we have tested two types of fungal diseases such as, soil borne Diseases (*Fusarium solani*, *Fusarium acuminatum*)

causing root rot and damping-off. These are the most important pathogens, foliar Disease (*Alternaria* sp) causing black spots at the leaves.

Our leading objectives were to study the physico-chemical and biological characteristics of compost E2 from green waste, sheep manure with the addition of *Trichoderma* sp. The other overall goal of the study was to determine their effect on pathogenic fungi with *in vitro* and *in vivo* tests. These studies were to confirm that it can be used as soil conditioner in agriculture to improve plant health and to protect the environment.

MATERIALS AND METHODS

The compost Production: This study was carried out at the experimental farm of Mascara University during the period 2016-2017 with different compositions, in which conditions were under control (temperature and pH). The aeration of the mixture was undertaken every 15 days. Our compost (E2) was produced by mixing 50% green waste, 50% sheep manure with the addition of *Trichoderma* sp. The humidity was carefully set at 70% for the mixture.

Microbial determination of the compost: To determine the microbial population in our compost, we followed the technique described by Rapilly (1968) through the agency of suspension-dilution. One gram of compost was added to 10 ml of sterile distilled water to prepare solution mother. A series of suspension-dilution were prepared then 1ml from each concentration 10^{-2} and 10^{-4} was cultured on the media of PDA and MEA within three replicates. The cultured petri dishes were incubated at two different temperatures 25°C and 30°C for one week. The determination of the fungal colony was made by counting the colonies and the results are expressed by the UFC (Units Forming Colonies)/ g of compost (Mouria *et al.*, 2012). The macroscopic and microscopic identification of manifested isolates was based on (type of mycelium, colony size, shape, conidia, presence and the absence of conidiophore) by using the key of Rémi *et al.* (1997), and the isolation frequency of the identified species was calculated.

Physical and chemical analysis of compost:
Preparation of compost extract: The extraction of compost E2 was prepared using the method of Koné *et al.* (2010). To obtain a compost extract from compost E2, 100g of compost was mixed with 400ml of sterile distilled water in 1-L Erlenmeyer flasks at a weight to

volume ratio of 1 to 5. (W: v). the mixture was homogenized in the dark for 14 days at 25 °C in an orbital shaker at 150 rev/min. Then, the mixture was loosely covered at the same temperature (25°C for 14 d in the dark) the mixture was extracted. Afterwards, the compost extract was stored in the refrigerator at a temperature of 4°C.

A compost extract was prepared to study their physical and chemical proprieties analysis (pH, conductivity, dry matter, organic matter). The chemical analysis of compost was completed at the Laboratory of Analysis (Primary Analysis Service) at the University of Almeria Spain. The compost sample (E2) was analyzed for quantitative determination of B, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Pb and Hg by using ICP-MS model X series 2 brand Thermo Scientific. To determine elementary composition by Fluorescence with X-rays 5 g of the sample was analyzed using the method of FastVac-34 with Bruker pioneers X-ray fluorescence spectrometry device.

Effect of compost extract on Mycelia growth, sporulation and spore germination *in vitro* Fungi isolates: Isolates comprised *F. acuminatum* (F25RS3) with Genbank Accession (JX114790) and *F. solani* (F20ST) with Genbank Accession (JX114796) were identified by Dr Lazreg at the Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatics, Department of agronomy, University of Mascara. These isolates were tested for their pathogenicity and polyphagy (Lazreg *et al.*, 2014). The isolate of *Alternaria* sp was isolated from infected potato leafs at the laboratory of Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatics.

To determine the effect of the compost extract on these pathogenic, fungi explant of 0.8 of each isolate were placed into the center of petri dishes containing media prepared from the compost extract with three replicates for each isolate. The plates were incubated at 25°C. After 7 days of incubation, the percentages of Mycelia growth inhibition and sporulation inhibition were measured using the adopted method of Mouria *et al.* (2013). The spore germination was also analyzed using the method of Rapilly (1968). The control was tested on PDA medium without compost.

Effects of compost and their extract on soilborne diseases and foliar disease *in vivo*: Plant material: Tomato seeds belonging to the Suzana Hybride F1 variety were tested on the basis of its sensitivity to *Fusarium* sp.

Isolate inoculum was produced using the modified protocol of Kirkpatrick (2006). Suzana Hybrid F1 33 tomato seeds were superficially disinfected with 1% diluted sodium hypochlorite, and then rinsed abundantly with SDW. To test the effectiveness of compost on disease suppression, 10 seeds were grown in pots containing soil contaminated with each isolates of *Fusarium*, and mixed with compost at a concentration of 50% with three replicates for each isolate, for the positive control were achieved by growing seeds in contaminated soil (*F. Solani*, *F. Acuminatum*), without compost, the negative control was carried out in a sterile soil. The pots were incubated in a greenhouse and irrigated every 2 days. For the foliar treatment, we studied the effect of the compost extract in two cases:

Preventive test: the pots were sprayed with the compost extract (E2) until saturation, after that, they were incubated at the ambient temperature, after 2 days of incubation the pots were sprayed with a suspension sporal of *Alternaria* sp (with three replicates). Subsequently, the seedlings were incubated again under the same previous conditions.

Curative test: the pots were inoculated with the pathogen (with three replicates), after 2 days of incubation the pots were sprayed by the compost extract. After that, they were incubated at the ambient temperature of the experimental greenhouse farm. Then, were irrigated every 2 days. Plant protection was assessed by calculating the percentage of inhibition of the disease compared to the untreated control by compost extract. In the positive control, the pots were sprayed by the pathogen (suspension sporal of *Alternaria* sp). Following this, the pots were sprayed by sterile distilled water for the negative control. The diseases incidence was evaluated and calculated using the formula of Menzies *et al.* (2005).

STATISTICAL ANALYSIS

Data were analyzed using two ways; ANOVA and significant differences between treatment means were compared by Tukey's HSD test. XL Statistica 8.0 software was used for data analysis"

RESULTS

Biological analysis of the compost: The microbial population in our compost indicated a clear differentiation and was influenced by the medium (PDA, MEA) and the temperatures incubation (25°C, 30°C), five species of fungi belonging to 04 genera

were isolated and identified (Table 01). The current study confirmed that there was a significant difference in the appearance of different isolates. These differences were observed on different medias at varying temperatures (df=4; F=12.20; P=1.79). The *Aspergillus* sp appeared on PDA and MEA with 0.67 and 1.02×10⁴ cfu/g respectively at the temperature 25°C. Respectively, it was 1.22 and 1.76×10⁴ cfu/g in both medias at 30°C temperature. *Trichoderma harzianum*

was recorded with 1,22×10⁴ cfu/g and 0,12×10⁴ cfu/g on PDA medium at 25°C and 30°C respectively. On MEA medium, the *Trichoderma harzianum* was counted at 0.65×10⁴cfu/g and 0.85×10⁴cfu/g respectively at 25°C and 30°C. On the other hand, *Fusarium sp*, *Penicillium sp* and *Mucor sp* appeared on PDA and MEA mediums with 0.15×10⁴cfu/g to 1.72×10⁴cfu/g at temperatures 25°C and 30°C respectively.

Table 1. Fungal density (CFU/g MS) in the compost E2 on PDA and MEA medias at different temperatures.

Microbial population	Fungal density (x10 ⁴ CFU/g MS)			
	PDA		MEA	
	25°C	30°C	25°C	30°C
<i>Trichoderma harzianum</i>	1.22 ± 0.005 ^{abcde}	0.12 ± 0.011 ^f	0.65 ± 0.023 ^{def}	0.82 ± 0.023 ^{bcdef}
<i>Mucor</i> sp.	0.15 ± 0.011 ^{ef}	1.76 ± 0.11 ^{ab}	1.43 ± 0.075 ^{abcd}	1.7 ± 0.023 ^{abc}
<i>Fusarium</i> sp.	0.84 ± 0.028 ^{abcdef}	0.22 ± 0.023 ^{ef}	0.54 ± 0.028 ^{def}	0.15 ± 0.023 ^{ef}
<i>Penicillium</i> sp.	0.54 ± 0.01 ^{def}	0.51 ± 0.007 ^{def}	0.80 ^{cdef} ± 0.02 ^{cdef}	1.66 ± 0.02 ^{abc}
<i>Aspergillus</i> sp.	0.67 ± 0.01 ^{def}	1.22 ± 0.05 ^{abcd}	1.02 ± 0.09 ^{abcdef}	1.76 ± 0.02 ^a

The physicochemical analysis: The results on physicochemical analysis of our compost were demonstrated in the Table 02, pH is considered as an important parameter in controlling the degradation process in composting, for which pH forms an important criteria of consideration, pH value of our compost E2 was 8.58 indicating that it was alkaline value, Electricity conductivity (EC) was 4,31 mS/cm. The percentage of the organic matter was 12.02%, the dry matter was 88.89%. Moreover, the humidity during the composting process was 3.80%. The humic and fulvic acids were important parameters in determining compost maturity, the humic acid was 3.5 % and fulvic acid was 6.6 %, on the total scale of humic acids, it was 10.1%.

Phosphorous (P) is considered as the essential nutrient in compost. It was recorded 0.655%. The potassium (K) is essential for the sustainability of crop productivity, it was about 7.214%. The comparison of higher nutrient content in our compost (E2) might indicate an intense biodegradation process, the concentration of heavy metals were observed with different values. The total concentration of micro nutrients (Na, Ca and Mg) were respectively illustrated in the Table 02 with 0.541, 6.473 and 0.9681%. Furthermore, the contents of trace elements were: cadmium (Cd) with 0.19%, nickel (Ni) with 8.78%, zinc (Zn) with 69.22%, chromium (Cr) with 17.77%, manganese (Mn) with 151.79% and copper (Cu) with 13.68%.

Effect of compost extract on mycelia growth, sporulation and spore germination: The results

presented in tables (03, 04, 05) showed that the compost extract inhibited significantly the mycelia growth of the different isolates fungi (*F. solani*, *F. acuminatum* and *Alternaria* sp) with (df=; f=; p=). The highest inhibition growth percentage was noted on the media prepared from compost extract without glucose and sterilized at temperature 120°C. The inhibition was 90%, 80 %, 84 % respectively for *F. acuminatum*, *F. solani* and *Alternaria* sp.

The inhibition percentage of mycelia growth on compost extract medium of glucose-free sterilized at 120°C, 80°C was significantly more important than the compost extract medium with glucose where the inhibition of mycelia growth was substantial.

In similar fashion, these medias had a significant effect on the fungi sporulation with (df=3; F=18.27; P=2.16). The highest sporulation inhibition was recorded for the isolates *F. solani*, *Alternaria* sp, on compost extract medium without glucose sterilized at 120°C. Nevertheless, effects of compost extract medium without glucose sterilized at 80°C and 120°C inhibited the sporulation with 75%, 85% of *F. solani*, *Alternaria* sp respectively.

The spore germination of our isolates were significantly inhibited by these different medias

With (df=3; F=26.19; P=9.58). The highest inhibition was recorded for the isolate *F. Acuminatum*. Although, the compost extract medium sterilized at 120°C without glucose inhibited the isolate *F. Acuminatum* with 85%.

Table 2. Physicochemical analysis of compost E2.

Formula	Concentration	Stat,Dev,1	Formula	Concentration	Stat.Dev . 1
Na2O	0.73	0.008	O	25.34	
MgO	1.605	0.0077	Na	0.541	0.0059
Al2O3	5.526	0.023	Mg	0.9681	0.0046
SiO2	29.6	0.058	Al	2.925	0.012
P2O5	1.5	0.014	Si	13.84	0.027
SO3	1.25	0.01	P	0.655	0.0061
Cl	3.314	0.017	S	0.502	0.0042
K2O	8.69	0.02	Cl	3.314	0.017
CaO	9.058	0.024	K	7.214	0.016
TiO2	0.405	0.0054	Ca	6.473	0.017
Cr2O3	0.0038	0.0003	Ti	0.243	0.0032
MnO	0.613	0.0014	Cr	0.0026	0.00021
Fe2O3	3.458	0.0077	Mn	0.0475	0.0011
ZnO	0.00488	0.00014	Fe	2.418	0.0054
Br	0.014	0.00039	Zn	0.00392	0.00011
SrO	0.0209	0.00035	Br	0.014	0.00039
ZrO2	0.0873	0.00091	Sr	0.0177	0.00029
			Zr	0.0647	0.00067
Total	65.32818		Total	64.58352	
pH	8.58		MS %	88.89 %	
CE	4.31 mS/cm		MO %	12.02 %	
AH %	3.5 %		H %	3.80 %	
HT %	10.1		AF %	6.6 %	
Cd	0.19		Pb	18.12	
B	27.67		Cr	17.77	
Mn	151.79		Fe	7.70	
Ni	8.78		Cu	13.68	
Zn	69.22		As	2.69	
Mo	1.96		Hg	1.27	

Table 3. Effect of compost E2 on Mycelia growth

Compost extract medias	<i>F.Solani</i>	<i>F.acuminatum</i>	<i>Alternaria sp</i>
CE2G80°C	55% ± 0.06 ^c	65b% ± 0.05 ^d	60% ± 0.04 ^c
CE2G120°C	60% ± 0.02 ^{bc}	72% ± 0.01 ^b	65% ± 0.02 ^{abc}
CE2WG80°C	75% ± 0.03 ^{ab}	82% ± 0.04 ^{ab}	75% ± 0.02 ^{ab}
CE2WG120°C	80% ± 0.01 ^a	90% ± 0.02 ^a	84% ± 0.01 ^a

Table 4. Effect of compost E2 on sporulation

Compost extract medias	<i>F.Solani</i>	<i>F. acuminatum</i>	<i>Alternaria sp</i>
CE2G80°C	59% ± 0.05 ^{de}	55% ± 0.02 ^e	66% ± 0.03 ^{bcde}
CE2G120°C	65% ± 0.02 ^{bcde}	69% ± 0.005 ^{abcde}	62% ± 0.01 ^{cde}
CE2WG80°C	75% ± 0.01 ^{abc}	70% ± 0.02 ^{abcde}	65% ± 0.02 ^{bcde}
CE2WG120°C	75% ^{abc} ± 0.01	72% ^{abcd} ± 0.01	80% ^{ab} ± 0.05

Table 5. Effect of compost extract on spore germination

Compost extract medias	<i>F. Solani</i>	<i>F. acuminatum</i>	<i>Alternaria sp</i>
CE2G80°C	70% ± 0.08 ^{abcd}	50% ± 0.05 ^d	55% ± 0.02 ^d
CE2G120°C	60% ± 0.02 ^{cd}	55% ± 0.02 ^{cd}	65% ± 0.02 ^{bcd}
CE2WG80°C	85% ± 0.05 ^{ab}	90% ± 0.02 ^a	85% ± 0.05 ^{ab}
CE2WG120°C	69% ± 0.02 ^{abcd}	85% ± 0.05 ^{ab}	80% ± 0.02 ^{abc}

Suppressive effect of the compost and their extract (E2) on soil born and foliar diseases: An increasing body of literature opprobate that the application of

compost improves soil properties as it increases soil organic matter and humic substances. The addition of compost in both lots containing soil contaminated with

the both isolates (*Fusarium solani* and *Fusarium acuminatum*) with a concentration of 50% had a strong positive effect on the disease decline (root rot) compared with control + (contaminated soil).

From the results presented in (Table 06), the lowest value of disease incidence was observed for *F. acuminatum* with 25%. The development of the root system was noted in plants inoculated (*F. acuminatum*, *F. solani*) and treated with compost (E2). Compared with plants inoculated with the pathogens and transplanted into the substrate without compost. However, the diseases incidences of *F. solani* and *F. acuminatum* without compost were respectively 70% and 75%.

From our result, it is evident that the addition of compost extract reduced the foliar disease incidence of Table 6. Effect of compost E2 on soil born diseases.

Soil borne Diseases (pathogenenic fungi)	% disease incidence with compost
<i>Fusarium solani</i>	35% ± 0.015 ^c
<i>Fusarium acuminatum</i>	25% ± 0.011 ^d

Table 7. Effect of compost extracts E2 on foliar disease.

Foliar diseases (pathogenenic fungi)	<i>Alternaria</i> sp
% Disease incidence with compost extract (preventive test)	22% ± 0.011 ^c
% Disease incidence with compost extract (curative test)	30% ± 0.011 ^b

DISCUSSION

The aim of our study was to analyze the physic-chemical and biological characteristics of the compost E2. Notwithstanding, in the present research, we determined the microbial abundance in the compost. Our results are constituent with those found by Atalia *et al.* (2015). The microorganisms which were isolated from our compost on the two media PDA and MEA were *Aspergillus* sp, *Penicillium* sp, *Fuswharium* sp and *Trichoderma harzanium*. The microorganisms responsible for biological degradation in composting are bacteria, actinomycetes and fungi of mesophilic and thermophilic groups (Atalia *et al.*, 2015).

Termorshuizen *et al.* (2005) added that the rate of fungi decomposes the organic matter into a stable amendment for improving soil quality and fertility. The presence of *Trichoderma harzanium* in our compost was a good indicator for biological control. As suggested by Hibar *et al.* (2005). However, Abdel-Ghany *et al.* (2019) stated that the culture filtrates of *Trichoderma harzianum* gradually inhibited the radial growth of *Alternaria solani* at higher concentrations. Therefore, this biological control agent was also found to be effective and environmentally friendly. Moreover, microorganisms are an important parameter for stimulation of plant growth

tomato plant (2-3 leaf stage) inoculated with *Alternaria* sp (Table 07), the sprayed plants with the compost extract indicated a significant difference in the methods of treatments (df=1; f=24; p= 0.001). Clear differentiation was influenced by the type of treatment (preventive control, curative control).

In the preventive control, decrease of the foliar disease was caused by (*Alternaria* sp) with 22 % compared to the control where the disease incidence was 80%.

The obtained results indicated that the leaf sprayed by the compost extract was totally suppressed. The symptoms caused by *Alternaria* sp. However, the preventive control by compost extract proved to be the best method to reduce the foliar disease incidence compared to the curative control.

and biological control agents by the compost amendment (Mouria *et al.*, 2010). On the other hand, the treatment with compost and their extract had a strong positive effect on the microbial community including *Trichoderma* species (Termorshuizen *et al.*, 2005).

Epelde *et al.* (2018) confirmed that composted intensive cow manure depicted the highest values of microbial activity. Due to its low content of potentially health-threatening contaminants combined with its highest quality, as reflected by the Amendment Quality Index, it has shown promising potential and thus could be used as a powerful amendment for agricultural use.

The pH is the most important affecting microbial succession and activity during composting (Harada *et al.*, 2020). In the present study, pH was 8.58 indicating that it was alkaline value, Solaiman *et al.* (2019) and Ruíz-Sagasetta *et al.* (2021) reported a similar value of pH, the initial pH value of bio waste before composting was more than 10. In the beginning of the process, the pH decreased, it is the acidogenic phase. It could be explained by the production of organic acids. Dissolved CO₂ in the medium and by products from the degradation of easily biodegradable compounds (Tognetti *et al.*, 2007). The second phase is the pH increase; it is the ammonia production from the

degradation of amines. Finally, the pH had decreased progressively and stabilized, to an alkali pH which we found in our result. The key contribution of these results suggest the formation of humic substances as confirmed by Majbar *et al.* (2018).

The results of electrical conductivity are in accordance with earlier findings of Agani *et al.* (2015). Therefore, the increase of EC revealed the extent of mineralization of the organic substrate and the release of ions (El Fels *et al.*, 2014). Usually a higher value of EC could be an indication of high nutrient elements presence, or a slower decomposition of the organic matter. Eventually, a lower release of mineral salts into the solution in the process of composting (Harada *et al.*, 2020). However, Ruíz-Sagaseta *et al.* (2021) also found that all the organic fertilizers in his study had a high rate of EC which can be explained by their high nutrient concentrations, especially N-NH₄, K and P.

The evolution of the organic matter is considered an essential parameter of biodegradation and transformation during the composting process, our findings were characterized by a low value of organic matter (12.02%), and this decrease highlighted a good degradation. a decrease in the volumes of composted waste was observed. It is interesting to note that similar results were observed by Majbar *et al.* (2018), indicating that the organic matter decomposition was the result of the microbial activity, in order to obtain a stable humic substances. Rahel *et al.* (2013) reported a similar value of the dry matter compared with our result (88, 89), this result was also an indicator of compost maturity.

Many authors have been studying the humified organic matter or humic substances due to the humification processes. The chemical fractioning of organic matter in humin, humic, and fulvic acids led some authors to develop maturity indicators. Azim *et al.* (2017) studies showed that the composting process involves the formation of fulvic acids (FA) as an intermediate step in the formation of humic acids (HA) and, finally, insoluble, non-phytotoxic humic substances, the amendment of the soils by compost improved the contents in HA, AF as well as the parameters of humidification. Moreover, the application of compost is effective in improving the stability of humic matter and the structure of the soil (Masmoudi. *et al.*,2017; Solaiman *et al.*,2019).

Phosphorous (P) and potassium (K) are always considered as the essential nutrients in compost. By contrast, the results from Meunchang *et al.* (2006)

suggest that an amount of P and K were applied as fertilizer to the soil. It is likely that under these conditions P and K from compost increased plant growth. Moreover, the addition of compost improved biodegradation when augmenting soil nutrient content and microbial activity (Uyizeye *et al.*, 2019).

The contents of heavy metals were compared with the results of Ayari *et al.* (2015) our analysis showed that they marked a timid presence. As a limitation, higher values of metals caused a delay in germination, and inhibited plant growth (Tiquia *et al.*, 2010). On top of that, Lasaridi *et al.* (2018) added that composting is considered an effective treatment tool to eliminate or considerably reduce potential of heavy metals, instability and further pathogenic potential.

The compost extracts inhibited the mycelia growth, sporulation and germination of the tested pathogens (*F.acuminatum*, *F. solan* and *Alternaria* sp). The inhibition was the highest in the compost extract medium without glucose sterilized at 120°C. Our findings found clear support with that demonstrated by Mouria *et al.* (2013). Their findings manifested that the mycelia growth and sporulation of the five selected strains were inhibited by the extracts with 95.24% and 100%. On the other hand, González-Hernández *et al.* (2021) showed that the teas compost contributed significantly *in vitro* to block the development and proliferation of *R. solani* growth. The obtained results in our research could provide new insights into the fact that our compost (E2) had a suppressive effect on the three isolates. In similar line, it encouraged plant development as put forward in another studies (Ros *et al.*, 2020; González-Hernández *et al.*, 2021).

The addition of compost E2 to soils contaminated with isolates (*F. acuminatm* and *F. solani*) or the spraying of the compost extract significantly reduced the disease incidence. The vermin compost proved more effective in sustaining the growth of bean and reducing the disease incidence (Shanying *et al.* 2016). By the same token, Sahar *et al.* (2013) revealed that disease incidence was 18.3 % of CTP (compost-treated plants) compared with 58.9 % of non-CTP. Ros *et al.* (2020) proposed that compost tea extracts from onion waste enriched with *T. harzianum* can be used in a sustainable agriculture and practice in intensive cropping systems to enhance crop productivity and quality.

One of the available alternative biological approaches is the compost teas. It is strongly imperative to use it for

the prevention, suppression, or controlling a wide range of soilborne plant diseases especially those caused by fungal (Din et al. 2018). Moreover, the contribution of composts could also reduce the soil-plant transfer of abundant heavy metals in soil, which is crucial to the health of populations consuming vegetative products (Kitabala et al., 2016).

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Although further investigations are needed, the present study contributes to a better understanding of the biological and physicochemical analysis of our compost (E2) and their potential for suppressing plant diseases. In similar fashion, it revealed a clear abundance of microbial population. In addition, it shed light on an important biodegradation of organic matter. Furthermore, it pointed out at an alkaline value of pH. The richness of humic and fulvic acids were also considered in the present study. The *in vitro* test confirmed the inhibitory effect of compost extract of mycelia growth, sporulation and spore germination of the three pathogenic fungi (*F.solani*, *F.acuminatum* and *Alternaria* sp). In addition, the test manifested the suppressing of soil born and leaf on tomato plants by compost and their extract.

The biological control using compost has become a reliable and simple method for improving the quality and quantity of our yield. Equality important is the attainability of healthy and 100% organic product. Hence, it is a technique for the recovery of organic waste. It is interesting to note that our compost E2 can be used as soil fertilizer in agriculture as it can provide protection against fungal diseases. The present study had further confirmed the ability of compost to improve both; soil structure and nutrient availability. The inclusion of the biological alternative helps rendering crop production in better conditions.

In this article we addressed the current progress and challenges in Physico-chemical and biological characterization of the compost E2 and their potential for suppressing plant diseases. Nevertheless, there are still critical challenges regarding the enhancement of composting use and at a larger scale composting process. As a final remark, it is also vital to mention that the discovery of faster methods sustaining this process is highly recommended.

ACKNOWLEDGEMENTS

My completion of this project could not have been accomplished without the support of my supervisors Mr

BELABID and Mme LAZREG; thank you for allowing me time away from the beginning of the research and writing of my manuscript. We would like to thank all of those with whom we had the pleasure to work during this project of study.

REFERENCES

- Abdel-Ghany, T. M and M. M. Bakri. 2019. Effectiveness of a biological agent (*Trichoderma harzianum* and its culture filtrate) and a fungicide (methyl benzimidazole-2-ylcarbamate) on the tomato rotting activity (growth, cellulolytic, and pectinolytic activities) of *Alternaria solani*. *BioResources*, 14: 1591-1602.
- Agani, C.I., F. Sunnon, B. Dimon, F. Yovo, A.S. Tomètin, D. Mama and C. Azandegbe. 2015. Valorization of Urban Sewage Sludge. Aerobic composting with Banana peel Rice straw and Eucalyptus leaves. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4: 57-64.
- Al-Rumaihi, A., G. McKay, H.R. Mackey and T. Al-Ansari. 2020. Environmental Impact Assessment of Food Waste Management Using Two Composting Techniques. *Sustainability*, 10: 1-23.
- Atalia, K.R., D.M. Buh, K.A. Bhavsar and N.K. Shah. 2015. A Review on Composting of Municipal Solid Waste. *IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 9: 20-29.
- Ayari, F., N. Gharbi, R. Kosai and N. Jedidi. 2015. Effect of selective sorting on heavy metal contamination of household waste composts. (Effet du tri sélectif sur la contamination par les métaux lourds des composts d'ordures ménagères). *Déchets Sciences et Techniques*, INSA de Lyon, 52: 04-07.
- Ayilara, M.S., S.O. Olanrewaju, O.O. Babalola and O. Odeyemi. 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12: 1-23.
- Azim, K., B. Soudi, S. Boukhari, C. Perissol, S. Roussos and A. Thami. 2017. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*.
- Din, A. R. J. M., S. Z. Hanapi, S. H. M. Sarip and M. R. Sarmidi. 2018. Disease suppressive effect of compost tea against phyto-pathogens in sustaining herbal plant productivity in: *Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*, Z. A. Zakaria (ed.). Springer, Publishing, New York, NY.
- El Fels, L., M. Zamama, A. El Asli and M. Hafidi. 2014. Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-

- lignocelulosic waste by chemical FTIR analyses and phytotoxicity tests. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 87: 128-137.
- Epelde, L., L. Jauregi, J. Urrea, L. Ibarretxe, J. Romo, I. Goikoetxea and C. Garbisu. 2018. Characterization of composted organic amendments for agricultural use. *Frontiers in Sustainable Food System*, 2: 44.
- González-Hernández, A.I., M.B. Suárez-Fernández, R. Pérez-Sánchez, M.A. Gómez-Sánchez, M.R. Morales Cortes. 2021. Compost tea induces growth and resistance against *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici* in pepper. *Agronomy*, 11: 781.
- Harada, H., H. Endar and A. Afriliana. 2020. Improving Coffee Husk Compost Quality. *Journal of Nutrition and Dietetic Practice*, 4: 001-009.
- Hibar, K., M. Remad and K. Jabnoun. 2006. Effect of compost extract on mycelial growth and aggressiveness of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 10: 101-108.
- Iqbal, U and W. Azeem. 2021. Evaluation of fungicidal potential of twenty medicinal plants against *Macrophomina phaseolina* causing charcoal rot of green gram. *Plant Protection*, 5 (3): 131-138.
- Kitabala, M.A., U.J. Tshala, M.A. Kalenda, I.M. Tshijika and K.M. Mufind. 2016. Effect of different doses of compost on the production and profitability of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in the town of kolwezi. *Journal of Applied Biosciences*, 102: 9669-9679.
- Koné, N. T., De Meeus, J. Bouyer, S. Ravel, L.N.E. Guerrini and L. Vial. 2010. Population structuring of tsetse *Glossinata chinoides* resulting from landscape fragmentation in the Mouhoun river basin, Burkina Faso. *Medical and Veterinary Entomology*, 24: 162-168.
- Lasaridi, K. E., T. Manios, S. Stamatiadis, C. Chroni and A. Kyriacou. 2018. The Evaluation of Hazards to Man and the Environment during the Composting of Sewage Sludge. *Sustainability*, 10: 2618.
- Lazreg, F., L. Belabid, J. Sanchez, E. Gallego and B. Bayaa. 2014. Pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with diseases of Aleppo-pine seedlings in Algerian forest nurseries. *Journal of Forensic Science*, 60: 115-120.
- Majbar, Z., K. Lahlou, M. Ben Abbou, E. Ammar, A. Triki, W. Abid, M. Nawdali, H. Bouka, M. Taleb, M. El Haji and Z. Rais. 2018. Co-composting of Olive Mill Waste and Wine-Processing Waste: An Application of Compost as Soil Amendment. *Journal of Chemistry*, 79: 1-9.
- Masmoudi, S., K. Medhioub and E. Ammar. 2017. Compost: a remedy for affected soils by climatic change when applying humic substances. *Journal of new sciences Agriculture and Biotechnology*, 2597: 2597-2609.
- Menzies, J.G., D.L. Ehret, C. Koch, J.W. Hall, K.S. Seifert, J. Bisset and D.J.S. Barr. 2005. Fungi associated with roots of cucumber grown in different greenhouse root substrates. *Canadian Journal of Botanique*, 83: 80-92.
- Meunchang, S., S. Panichsakpatana and R. W. Weaver. 2006. Tomato growth in soil amended with sugar mill by-products compost. *Plant and Soil*, 280: 171-176.
- Morales-Corts, M.R, R. Pérez-Sánchez and M.R. Gómez-Sánchez. 2018. Efficiency of garden waste compost teas on tomato growth and its suppressiveness against soil borne pathogens. *Soils and Plant Nutrition*, 75: 400-409.
- Mouria, B., A. Ouazani Touhami, A. Mouria and A. Douira. 2013. Demonstration of an intra-specific variation in *Botrytis cineria* and in vitro biological control by the compost extract. *Journal of Applied Biosciences*, 64: 4797-4812.
- Mouria, B., A. Ouazzani Touhami and D. Allal. 2010. Agronomic valuation of compost and its extracts on tomato cultivation. *Ivorian Journal of Science and Technology*, 16: 165-190.
- Mouria, B., A. Ouazzani Touhami and A. Douira. 2012. Isolation and identification of mycoflora from compost of municipal solid waste. *Nature Technology Review, C-Environmental Sciences*, 13: 28.
- Nofal, A.M., M. Abd El-Rahman, A.A. Alharbi and T.M. Abdelghany. 2021. Ecofriendly Method for Suppressing Damping-off Disease Caused by *Rhizoctonia solani* Using Compost Tea. *Bio Resources*, 16: 6378-6391.
- Oueriemmi, H., P.S. Kidd, C. Trasar-Cepeda, B. Rodríguez-Garrido, R.I. Zoghalmi, K. Ardhaoui, A. Prieto-Fernández and M. Moussa. 2021. Evaluation of Composted Organic Wastes and Farmyard Manure for Improving Fertility of Poor Sandy Soils in Arid Regions. *Agriculture*, 11: 2-19.
- Rahel, G. and K. Mulugeta. 2013. Microbiological and Physico-chemical Analysis of Compost and its Effect on the Yield of Kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia, 6: 93-102.
- Rapilly, F. 1968. Mycology techniques in plant (Les

- techniques de mycologie en pathologie végétale). *Annals of the Epiphytes INRA*, 19: 102.
- Rastegari Kopaei, H., M. Nooripoor, A. Karami, M.R. Petrescu-Mag and D.C. Petrescu. 2021. Drivers of Residents' Home Composting Intention: Integrating the Theory of Planned Behavior, the Norm Activation Model and the Moderating Role of Composting Knowledge. *Sustainability*, 13: 1-21.
- Rdziemska, M and M. Zbigniew. 2015. Effect of compost from by-product of the fishing industry on crop yield and microelement content in maize. *Journal of Ecological Engineering*, 16: 168-175.
- Remi, C. 1997. *Identify seed-borne fungi (Identifier les champignons transmis par les semences)*. 1st ED. INRA.
- Ros, M., M. Hurtado-Navarro, A. Giménez, J.A. Fernández, C. Egea-Gilabert, P. Lozano-Pastor and J.A. Pascual. 2020. Spraying agro-industrial compost tea on baby spinach crops: Evaluation of yield plant quality and soil health in field experiments. *Agronomy*, 10: 440.
- Ruiz-Sagaseta, A., J.C. Patrón-Ibarra, G. Pineda-Pineda, J.F. López-Olguín and D. Juárez-Ramón. 2021. Physical and chemical properties of compost and vermicompost from Zautla, Puebla, Mexico. *Acta Horticulturae*, 1305: 293-300.
- Sahar, A., K.A. Youssef and H. Tartoura. 2013. Compost enhances plant resistance against the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* via up-regulation of ascorbate-glutathione redox cycle. *European Journal of Plant Pathology*, 137: 821-834.
- Santhanarajan, A.E., Y.H. Han and S.C. Koh. 2021. The Efficacy of Functional Composts Manufactured Using Spent Coffee Ground, Rice Bran, Biochar, and Functional Microorganisms. *Applied. Sciences*, 11: 1-21.
- Sayara, T., R. Basheer-Salimia, F. Hawamde and A. Sánchez. 2020. Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, 10: 1-23.
- Shanying, H., L. Anan and L. Wang. 2016. Effect of Sewage Sludge and its Biomass Composting Product on the Soil Characteristics and N₂O Emission from the Tomato Planting Soil. *International journal of Agriculture and Biology*, 18: 501-508.
- Solaiman, M., H. Yang, D. Archdeacon, O. Tippett, M. Tibi and A.S. Whiteley. 2019. Humus-Rich Compost Increases Lettuce Growth. Nutrient Uptake Mycorrhizal Colonisation and Soil Fertility. *Pedosphere*, 29: 170-179.
- Sulewski, P., K. Kais, M. Gołas, G. Rawa, K. Urbanska and A. Was. 2021. Home Bio-Waste Composting for the Circular Economy. *Energie*, 14: 1-25.
- Termorshuizen, A.J., W.S. Molenaar, A.H.M. Veeken and W.J. Blok. 2005. The value of compost. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 3: 343-347.
- Tiquia, S. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*, 79: 506-512.
- Tognetti, C., M.J. Mazzarino and F. Laos. 2007. Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*, 98: 1067-1076.
- Uyizeye, O. C., R. K. Thiet and M. A. Knorr. 2019. Effects of community-accessible biochar and compost on diesel-contaminated soil. *Bioremediat*, 23: 107-117.
- Zahid, K., A. Habib, S. Mustafa, W. A. Khan and A. R. Khan. 2022. Management of white mold disease of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) through different plant extracts and chemicals. *Plant Protection*, 6 (1): 51-56.

Contribution of Authors:

Fatima Merah	: Conduct research and manuscript write up.
Fatiha Lazreg	: Help in conducting research experiments and manuscript up.
Lakhdar Belabid	: Critically reviewed manuscript and provide technical assistance.
Jose Sanchez	: Physical and chemical analysis of the compost.
Edwardo Gallego	: Physical and chemical analysis of the compost.