



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahleb -Blida 01-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie microbienne

THEME

**Evaluation de l'effet biostimulateur et bioprotecteur du
compost
sur les microorganismes pathogènes d'origine
tellurique**

Présenté Par:

Mlle. LOUALI Noussaiba

Mlle. FOUKRACHE Boutheina

Devant le jury composé de :

Mme. BENKORTEBY.H	M.A.A.	Présidente	U.BIIDA1
Mlle. MEKHALDI.D	Dr	Examinatrice	U.BIIDA1
Mme.BENSAID.F	M.A.A	Promotrice	U.BIIDA1

Soutenu le: 14/07/2021

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu dieu le tous puissant de nous avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Un grand remerciement à notre promotrice. BENSAID F. pour ses valeureux conseils, ses orientations qui ont beaucoup enrichi ce travail, et pour sa gentillesse et sa compréhension.

Que nos vifs remerciements aillent à Mme. BENKORTEBY H. qui nous fait l'honneur de présider l'honorable jury, et Mlle. MEKHALDI D. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

C'est avec un grand honneur qu'on adressent notre vifs remerciements au professeur BENCHABANE M. pour Ses efforts pour améliorer et développer l'option et nous encourageant à toujours fournir le meilleur dans ce domaine

Un merci tout spécial aussi à nos familles et nos amies en particulier nos parents qui nous avons donnés la force et le courage de continuer sur ce chemin.

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, dont ce travail constitue une légère compensation pour tous leurs nobles sacrifices afin d'assurer mon bien être et mon éducation, Que Dieu les protèges et les gardent en bonne santé .

Mes chers sœurs : ASSIA et RAIHANA, mon frère : SALIM

Ma grand-mère KHADIDJA pour son immense soutien et ses Doua.

Mes adorables et chères cousines CHAIMA et HIBA.

Mon cousin Bilal pour son agréable aide

Ma chère Amina pour son soutien et encouragement

Mes chères tantes et toute ma famille

Tous mes collègues de la promotion M2 BTM.

Mon dédicace va également à ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissements de nos efforts.

Noussaiba

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A deux personnes les plus chers à mon cœur mes très chers parents qui ont sacrifié de leur existante pour moi, par leur précieux conseils durant toute la périodes de mes études

A mon cher frère AYOUB

A ma chère sœur NOUR

A mes très chères tantes pour leur aide et encouragement pendant cette Période de thèse.

Mes dédicaces vont également à tous mes amis et à tous ce qui m'ont aidé du près ou du loin et à tous ceux qui me connaissent

Résumé

Le compost est un produit de valorisation des déchets organiques. Il résulte de la décomposition de matière végétale, animale ou microbienne dans des conditions aérobies. Le compostage est un processus biologique assurant la décomposition des constituants organiques des sous-produits et déchets en un produit organique stable riche en composés humiques : Le compost, est un moyen de bio contrôles de plusieurs maladies telluriques telle que pourriture racinaire, les font de semis et le flétrissement. L'effet bénéfique du compost est le résultat de la combinaison de plusieurs mécanismes tel que les paramètres physiques (l'amélioration de la structure et de la stabilité structurale du sol ,la rotation de l'eau et porosité ,la densité apparenté) , les paramètres chimiques (l'effet sur le carbone organique du sol , l'effet sur carbone organique ,l' azote organique ,capacité des échange cationique ,ph) et les paramètres biologiques (source nutritionnelle ,la minéralisation, activité microbienne). Un compost de qualité peut stimuler les défenses des plantes entière et les rend plus saines et vigoureuses . Il est utilisé comme amendement du sol pour protéger les plantes contre les maladies causées par les agents pathogènes telluriques ,par la présences de microorganisme divers qui limitent le développement d'organisme photogènes par voie directe tels que : la promotion de croissance, synthèse des phytohormones, recyclage des éléments nutritifs, bioremédiation, induite de la résistance systémique , ou par voie indirecte : compétitions pour l'espace et les nutriments, compétition pour le fer et production de sidérophores, synthèse des substances volatiles, synthèse des enzymes lytiques, résistance systémique induite, et l'hyper parasitisme.

Mots clé : Compost, déchets organique, maladies tellurique, biocontrôle

Abstract

Compost is an organic waste recovery product. It results from the decomposition of plant, animal or, microbial material under aerobic conditions. Composting is a biological process ensuring the decomposition of the organic constituents of by-products and waste into a stable organic product rich in humic compounds: Compost a means of bio-control of several soil-borne diseases such as root rot, seedlings and, wilting. The beneficial effect of compost is the result of the combination of several mechanisms such as the physical parameters (improvement of the structure and structural stability of the soil, water rotation and porosity, related density), chemical parameters (effect on soil organic carbon, effect on organic carbon, organic nitrogen, cation exchange capacity, ph) and biological parameters (nutritional source, mineralization, microbial activity). Quality compost can stimulate whole plant defenses and make the plant healthier and more vigorous .It is used as a soil amendment to protect plants against diseases caused by soil-borne pathogens, by the presence of various microorganisms that limit the development of soil-borne photogenes by direct route such as : promotion of growth, synthesis of phytohormones, recycling of nutrients, bioremediation, induced systemic resistance, or by indirect route : competitions for space and nutrients, competition for iron and production of siderophores, synthesis of volatile substances, synthesis of lytic enzymes, induced systemic resistance, and hyper parasitism.

Keywords: Compost, organic waste, land-based diseases, biocontrol.

ملخص

يعتبر السماد منتج لاستعادة النفايات العضوية ، ينتج عن تحلل المواد النباتية أو الحيوانية أو الميكروبية في الظروف الهوائية. التسميد هو عملية بيولوجية تضمن تحلل المكونات العضوية للمنتجات الثانوية والنفايات إلى منتج عضوي ثابت غني بالمركبات الدبالية، وهو وسيلة للتحكم الحيوي في العديد من الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة مثل تعفن الجذور ، و الشتلات والذبول . التأثير الفعال للسماد يكمن في الجمع بين عدة آليات مثل المعلمات الفيزيائية (تحسين البنية والاستقرار الهيكلي للتربة ، ودوران المياه والمسامية ، والكثافة ذات الصلة) ، والمعابير الكيميائية (التأثير على الكربون العضوي للتربة ، والتأثير على الكربون العضوي ، والنيتروجين العضوي ، وقدرة التبادل الكاتيوني ، ودرجة الحموضة) والمتغيرات البيولوجية (المصدر الغذائي ، والتمعدن ، والنشاط الجرثومي) . يمكن أن يحفز السماد عالي الجودة دفاعات النباتات بأكملها ويجعل النبات أكثر صحة وقوة ، ويستخدم كتعديل للتربة لحماية النباتات من الأمراض التي تسببها مسببات الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة ، من خلال وجود العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تحد من تطور الكائنات الحية الضوئية بشكل مباشر (تعزيز النمو ، وتوليف الهرمونات النباتية ، وإعادة تدوير المغذيات ، والمعالجة الحيوية ، والمقاومة الجهازية المستحثة)، و بشكل غير مباشر (المسابقات على الفضاء والمغذيات ، التنافس على الحديد وإنتاج حامض الحديد ، تخليق المواد المتطايرة ، تخليق الإنزيمات اللايتية ، المقاومة الجهازية المستحثة ، التطفل المفرط).

الكلمات المفتاحية: السماد العضوي، النفايات العضوية ، الأمراض التحليلية، مكافحة الحوية

Liste des abréviations

CEC: Capacité d'échange cationique.

CET: Capacité d'échange cationique.

Corg: carbone organique .

COT: carbone organique total.

DSM: des déchets solides municipaux .

HAP: hydrocarbures aromatiques polycycliques

ISR : Résistance systémique induite .

N²O : d'oxyde nitreux

NH³ : ammoniac

Ntot : l'azote total .

P : phosphore

Liste des figures

Figures 01	Schéma du procédé de compostage classique.....	06
Figures 02	Principe de processus de compostage	12
Figures 03	Courbe théorique d'évaluation de température et du ph au cours du compostage.....	13
Figures 04	Compost	15
Figures 05	Triangle de la maladie.....	23
Figures 06	Schéma général de la chaîne de transmission de la maladie pour les champignons.....	24
Figures 07	Suppression des maladies telluriques par le compost.....	37
Figures 08	Principales stratégies et mécanismes de bioremédiation des sols contaminés par compostage ou compost	40

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Exemples des différentes matières à composter.....	16
Tableau 02 :	Exemple des communautés microbiennes impliquées dans les phases de compostage.....	19
Tableau 03 :	Quantité d'êtres vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage.....	21
Tableau 04 :	Exemples des principales maladies telluriques.....	29

Sommaire

REMERCIEMENT

DÉDICASE

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION	01
I.GENERALITE SUR LE COMPOST ET LE COMPOSTAGE.....	03
1.Compostage.....	03
1.1.Définition.....	03
1.2.Historique.....	04
1.3.Méthode et technique de compostage.....	06
1.4.Etape de compostage.....	09
1.5.Les paramètres du compostage	12
1.6.Le processus de compostage	13
1.6.1.Les phases de compostage	15
2.Compost	15
2.1.Définition du compost	15
2.2.les matières premières du compost	16
2.3.1.types de compost	17
2.3.2.Autres types de composte.....	17
2.4.Organismes vivants de compost	21
2.5.Les avantages de compost	23

II.GENERALITES SUR LES MALADIES TELLURIQUE.....	23
1.Donnés générales sur les maladies tellurique	23
2.Le processus d'infection	24
3. Les agents pathogènes du sol	26
4. Distribution des agents pathogènes dans le sol.....	27
5.Les principales maladies d'origine telluriques	30
6. Technique de lutte	30
III. Effet du compost sur la bioprotection et biostimulation des plantes	32
1.Influence sur les paramètres physiques, chimique et biologiques du sol	34
1.1. Effet sur les paramètres physiques	34
1.2. Effet sur les propriétés chimiques	36
1.3. Effet sur les propriétés biologiques	36
2. Effet du compost sur la bioprotection des plantes.....	38
2.1. Effet directe.....	41
2.2.Effet indirecte	42
3. Le sol résistant	45
CONCLUSION	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	

Introduction

Introduction :

Le sol est l'un des compartiments essentiels de l'écosystème, c'est la couche la plus superficielle de l'écorce terrestre à l'interface entre géosphère, biosphère et atmosphère. Il contient des constituants minéraux venant de l'altération de la roche mère, des constituants organiques de la décomposition des êtres vivants et des constituants gazeux circulant dans ses interstices (Gobat et al, 2010) . Par ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques il agit comme contrôleur et révélateur de nombreux processus intervenant dans le fonctionnement de l'écosystème. De plus, le rôle du sol est fondamental dans la production primaire puisqu'il fournit aux végétaux chlorophylliens, les ions minéraux dont ils ont besoin (Devaux et al, 2008).

La diminution de la fertilité du sol suite à une agriculture trop intensive ou inappropriée s'observe aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement (Meddich et al, 2016). Il en résulte une perte de matière organique stable dans les sols et une sensibilité accrue des plantes aux maladies, due au déséquilibre microbiologiques des sols. Par ailleurs, ces dernières décennies, en raison de l'importante croissance démographique et du développement économique, l'homme est plus que jamais confronté au problème d'accumulation de ses déchets organiques. La recherche de nouvelles techniques d'élimination et de recyclage des déchets est donc indispensable (Larbi, 2006).

Parmi les techniques de valorisation des déchets, la transformation de la matière organique en compost est une technique récente, prometteuse et respectueuse à l'environnement. Le compostage présente une méthode de valorisation des déchets biodégradables, ce qui sert à la dépollution de l'écosystème, la réduction des risques sanitaires, ainsi que la fertilisation des sols (Ramdani, 2015).

Le compostage est un procédé de traitement intensif des déchets organiques d'origine animale ou végétale qui met en œuvre, en les optimisant, des processus biologiques aérobie de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes. Les composts qui en résultent ont une double nature : amendement, car ils renferment des composés organiques précurseurs de l'humus et engrais, par leurs teneurs en éléments fertilisants. Ils permettent donc de combler le déficit des sols surexploités et d'en améliorer la fertilité à long terme. Le compost a aussi un effet positif dans la lutte contre plusieurs agents phytopathogènes d'origine tellurique (Benharoun et al, 2018).

Les agents pathogènes du sol provoquent des maladies graves dans de nombreuses cultures

Les dégâts causés par ces maladies constituent une réelle menace sur diverse spéculation végétale en trainant une réduction importante de rendement. La protection des cultures contres les microorganismes d'origine tellurique se fait principalement par l'utilisation de pesticides qui deviennent aujourd'hui inquiétants à cause de leurs chimique, de la demande sociale pour un environnement sain et de leur nuisibilité sur l'environnement. Pour remédier à ce problème de contrôle de ce genre de maladies, par les techniques classiques, la lutte biologique peut contribuer ou devenir une alternative pour renforcer les procédures de lutte. Des approches nouvelles et intéressantes sont explorées la suppression des maladies des plantes par des moyens naturels tels que l'utilisation de compost (Benharoun et al, 2018).

Le compost peut agir directement et indirectement sur le sol par ces propriétés physiques ,chimiques et biologiques , ou par l'effet de leur microflore bénéfique sur les plantes. La diminution des maladies telluriques par le compost peut se réaliser par une combinaison des techniques directe portant sur la promotion de la croissance des plantes par la solubilisation des éléments nutritifs , la sécrétion des hormones , la biorestauration des polluants et l'induction d'une résistance systémique .

Notre étude porte sur une synthèse bibliographique des travaux récents portant sur les bienfaits du compost dans biocontrôle des maladies d'origines telluriques à travers les étapes suivantes:

- Généralités sur le compost et le compostage.
- Généralités sur les maladies telluriques
- Effet de compost dans le biocontrôle des maladies telluriques .

***I- Généralités sur le
compost et le
compostage***

1.Compostage :

1.1.Définition :

Plusieurs interprétations du compostage peuvent exister selon que les auteurs prennent en compte le caractère naturel des transformations observées et des réactions biochimiques ou la maîtrise de la technique par l'homme. Selon Mustin (1987), le compostage est défini comme le processus biologique assurant la décomposition des constituants organiques des sous-produits et déchets en un produit organique stable riche en composés humiques : Le compost.

D'après Francou (2003),le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost.

De Bertoldi et al (2007) ,considère le compostage comme étant un processus de biodégradation d'un mélange de substrats réalisé par une communauté microbienne composée de diverses populations en conditions aérobies et à l'état solide.

Selon Gobat et al (2010), le compostage est une imitation accélérée du processus aérobies naturel de gestion des déchets, tel qu'il se produit dans une litière, est un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui met en œuvre, en les optimisant, des processus biologiques aérobies de dégradation et de stabilisation des matières organiques.

D'après Pujol (2012) ,le compostage est défini comme « La décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques solides, sous des conditions qui permettent le développement de températures thermophiles résultant de la production de chaleur biologique, afin d'obtenir un produit final qui soit stable, peu humide, dénué d'agents pathogènes et de graines, et qui puisse être bénéfique à la terre ». C'est la définition la plus précise et récapitulative.

1.2.Historique :

Le compostage n'est pas une technique récente mais très ancienne pratiquée dès l'Antiquité..

L'histoire de la production de déchets urbains et de leur gestion commence avec la civilisation humaine et l'urbanisation (De Bertoldi et al, 2007). Selon Martin et Gershuny (1992) et Znaïdi (2002).

Parmi les anciens empires qui ont découvert le compost sont : l'Empire Acadien (avant 1000 ans le Prophète Moïse) , les Babyloniens, les Romains, les Grecs, les chinois. Depuis des millénaires, les Chinois ont rassemblé et composté toutes les matières organiques du jardin, des champs, de la maison y compris les matières fécales. Aussi le mot 'compost' vient du latin 'Compositus' qui signifie « composé de plusieurs choses ». Les romains appelaient ainsi les préparations de légumes et de fruits avec des adjonctions d'huiles, de sel et d'autres adjuvants. C'est sous ce nom que la Choucroute a été introduite en Europe centrale au XI -ème siècle (Znaïdi, 2002).

1.3.Méthodes et techniques de compostage :

Le compostage peut être réalisé à différentes échelles (petit et grand échelle) et selon des techniques variées (Gobat et al, 2003) telle que le compostage en andains , Le compostage en récipient clos, le vermicompostage et le compostage en bioréacteur.

1.3.1.Le compostage en andain :

Il consiste à placer le mélange de matières à composter en longs tas étroits appelés andains, remués ou retournés de façon régulière afin d'assurer une aération et de favoriser la dégradation aérobie. Les tas généralement rencontrés s'étalent sur 7 à 8 m de long pour 7m de haut. Plusieurs dispositifs permettent d'assurer le taux d'oxygène et on distingue les andains retournés, les andains aérés passivement, et les andains statiques aérés. Ces andains sont aérés essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse). Le taux d'échange avec l'air dépend de la porosité de l'andain. Les systèmes d'aération sont divers et variés: retournements mécaniques, aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation. De nombreuses méthodes combinent les techniques des andains et des tas aérés dans le but de surmonter les faiblesses et exploiter les avantages de chaque méthode avec une durée de compostage de 3 mois en moyenne.

1.3.2. Le compostage en récipient clos :

Le compostage en récipient clos désigne un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage. Parmi les méthodes de compostage en récipient, le compostage en casier est la plus utilisée et le compost est mature à moins de 3 mois.

1.3.3. Le compostage en bioréacteur :

Le compostage en bioréacteur est le plus intensif de tous, mais il implique des investissements élevés. Ils occupent des surfaces réduites et leur impact environnemental par exemple l'émission d'odeurs est faible. En principe, la température atteinte dans le bioréacteur devrait être plus élevée et uniforme c'est-à-dire l'hygiénisation thermique porterait alors sur toute la masse.

1.3.4. Vermicompostage :

Le terme vermicompostage (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques (Misra et al, 2005), est un processus bio-oxydant mésophile dans lequel les vers de terre détritivores interagissent intensément avec les microorganismes et les invertébrés du sol au sein de la communauté des décomposeurs, affectant fortement les processus de décomposition, accélérant la stabilisation de la matière organique et modifiant considérablement ses propriétés physiques et biochimiques (Berker, 2016). Même si le résultat s'appelle le lombricompost ou le vermicompostage, il ne s'agit pas réellement d'un compost puisque la matière organique n'a pas à proprement parler subi un processus de décomposition contrôlée. C'est en fait le résultat de la digestion des vers, donc un fumier de vers de terre (Michaud, 2007). Tandis que les excréments (turricules) des vers de terre sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg (Misra et al, 2005).

1.4. Etapes du compostage :

La succession des étapes de compostage est commune à toutes les installations, quelque soit la taille de la plate-forme, le type de déchet traité et les différentes techniques mises en œuvre (Beddada et Remha, 2020). Néanmoins les étapes techniques de base se retrouvent toujours, comme schématisées (Figure 01).

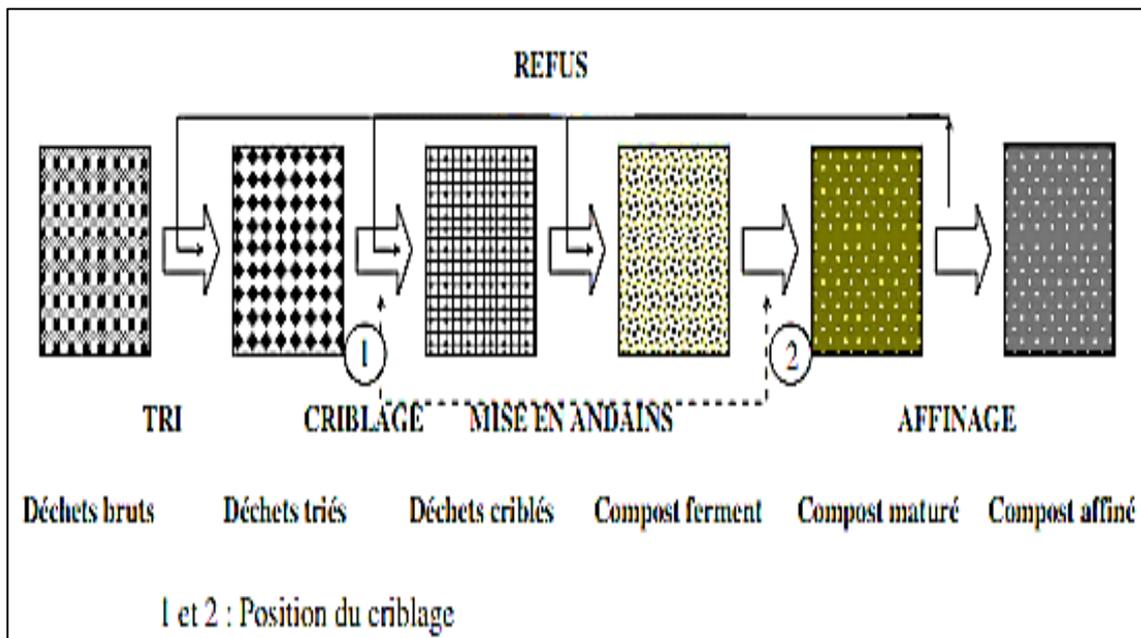


Figure 01 : Schéma du procédé de compostage classique(Charny, 2005)

1.4.1. Préparation du substrat :

La qualité des matériaux organiques à composter est une condition indispensable pour un compost de qualité. Les expériences de compostage de déchets urbains en provenance d'une collecte non sélective ont démontré, qu'il est difficile de produire un compost conforme aux normes, apte à être utilisé sans risque pour l'environnement. Pour cette raison, toute précaution prise par l'exploitant dans le but de réduire ce risque est à encourager (Charny, 2005). Pour faciliter le processus de dégradation, une série d'étapes prépare le déchet en fonction du système de traitement appliqué par la suite. En fonction du procédé mis en place, ces opérations de préparation peuvent être effectuées ou non

1.4.2.Tri

Le tri est une opération nécessaire pour séparer ,dans un déchet extrêmement hétérogène, les matières organiques fermentescibles, des fractions non valorisables par le biais du compostage. Cette phase vise la séparation des catégories principales de matières recyclables : le verre, les plastiques, les métaux, le carton ou le papier ; elle peut aussi permettre le tri de différentes sous-catégories (verres blancs ou verts, différents plastiques) pour une valorisation. Différentes sortes de tri sont possibles (Zurbrugg, 1998).

1.4.2.1.Tri à la source :

c'est la solution la plus favorable car les déchets sont séparés dans le foyer et ne sont donc pas mélangés et souillés avec d'autres produits. Ce tri réduit et facilite le travail des trieurs sur l'usine de compostage.

1.4.2.2.Tri par collecte sélective :

cette technique permet de récupérer les produits dangereux (peintures, piles...) et de réduire la toxicité dans les déchets à composter.

1.4.2.3.Tri après collecte :

il est réalisé sur le site de traitement des déchets. De nombreuses méthodes de séparation des déchets hétérogènes sont envisageables, du tri manuel au tri mécanisé, en fonction du procédé en aval. Selon le type de recyclage envisagé, les déchets peuvent être séparés en produits combustibles ou en matières recyclables suivant l'optique de vente. Les caractéristiques les plus fréquentes de séparation sont : la taille, la densité, le magnétisme, mais aussi la nature même du déchet.

1.4.3. Broyage :

La fonction principale du broyage est d'offrir aux micro-organismes un champ d'action aussi large que possible et de réduire le volume des matières de base (Misra et al, 2005). Il est également favorable à la pénétration et l'homogénéisation de la teneur en eau du milieu (Pujol, 2012). Le broyage est à recommander uniquement pour les déchets verts. En présence d'éléments toxiques (piles ou médicaments) dans le cas des déchets urbains, le broyage en amont est à proscrire, car il fractionne ces éléments comme toutes les impuretés nuisant à la qualité du compost final. Il sera alors très difficile d'éliminer ces éléments toxiques pendant le traitement.

1.4.4. Fermentation :

Le procédé de fermentation est le cœur du système de l'installation et se divise en deux étapes: l'étape de biodégradation et celle de pré-humification. Les procédés de fermentation « accélérés » interviennent sur cette première étape pour améliorer les performances de la biodégradation et réduire sa durée. L'essentiel est de maintenir l'humidité (40-60%), l'apport d'oxygène et de contrôler la montée en température.

1.4.5. La maturation :

La stabilisation du compost se fait au cours de la phase de maturation, formation de complexes organo--humiques, stabilisation de la matière organique, transformation des éléments. Souvent la maturation se réalise en andains statiques indépendamment du type de fermentation et dure en moyenne deux ou trois mois. Durant cette phase les andains doivent être suivis pour contrôler la stabilisation du compost et éventuellement apporter des mesures correctives (retournements, arrosages).Les caractéristiques que nous permettent d'évaluer la maturité d'un compost sont :

- **La couleur :**

La dégradation lente des composés résistants entraîne une coloration brun foncé à noir du compost et rend celui-ci plus fin et homogène (Beddada et Remha, 2020) ,sa couleur brune ou noire selon les matières organiques utilisées pour sa fabrication. Un compost brun clair ou verdâtre devra être laissé encore quelques temps tranquille avant de l'utiliser (Ademe, 2015)

- **L'odeur :**

Un compost mûr doit sentir l'humus forestier. Si l'odeur reconnus est de chou, de pomme de terre ou d'oignon, attendez encore avant de le récolter (Ademe, 2015).

- **L'apparence :**

Le compost est alors mature et le processus est achevé lorsque sa texture ressemble alors à celle d'un sol(Beddada et Remha, 2020) . S'il reste des bouts feuilles dans le compost, c'est que tous n'a pas été dégradé (Ademe, 2015).

1.5. Les paramètres de compostage :

Lors du compostage, la décomposition des matières organiques s'effectue comme dans les sols, suivant des chaînes de transformation naturelle. Les principaux paramètres du compostage sont ceux qui influencent les conditions de vie des microorganismes, ces paramètres agissent simultanément, ce sont : l'aération, l'humidité, la température, pH, le rapport C/N, et la granulométrie.

1.5.1. La température :

Le compostage étant un processus aérobie; le suivi de la température est un indicateur pertinent de l'activité microbienne et des températures élevées sont caractéristiques d'une activité microbienne importante. D'après Pujol (2012) on peut dire que la température du milieu est également un paramètre clé du compostage puisqu'elle influe sur le type de micro-organismes présents (notamment effet d'hygiénisation), sur les cinétiques de biodégradation, sur le taux d'humidité et sur la diffusion de l'oxygène, elle affecte également les cinétiques d'hydrolyse enzymatique. La température varie en fonction de la composition des déchets et de la nature des échanges thermiques, les substrats riches en graisses dégagent d'avantage de chaleur par unité de masse que les autres composés organiques (Dekaki, 2008). En effet, la température optimale pour la dégradation des déchets se situe aux environs de 60°C. Cependant, par leur respiration, les micro-organismes dégagent une chaleur telle que des hautes températures (80°C voire même plus de 90°C dans un tas bien isolé) peuvent leur devenir létales (Tondou, 2016). En fin de processus de compostage, la température reste un indicateur pertinent de la maturité du compost (Soudi, 2009). En effet, une stabilisation de la température est caractéristique d'un arrêt de l'activité biologique de dégradation.

1.5.2. Le pH:

Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique des déchets à composter. D'après Misra et al (2005) et De Bertoldi et al (2007), la matière organique avec une large gamme de pH (de 3 à 11) peut être compostée, cependant la valeur optimale se situe entre 5,5 et 8,0. Alors que les bactéries préfèrent un pH presque neutre, les champignons se développent mieux dans un environnement assez acide. En effet, au cours de la dégradation aérobie, deux phases distinctes caractérisées par des variations de pH se succèdent: une phase acidogène suivie d'une alcalinisation (Tondou, 2016).

La première phase acidogènes se produit au début du processus de dégradation et est caractérisée par une diminution du pH vers des valeurs voisines de 6. Cette diminution du pH est due de la production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO₂) par les bactéries acidogènes à l'origine de la décomposition du matériel organique complexe. La phase d'alcalinisation est alors caractérisée par une hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac associée à la dégradation des protéines et à la décomposition d'acides organiques. (Mustin, 1987).

1.5.3. Aération :

Dans le compostage, l'un des principaux facteurs qui peuvent être le plus influencés par la technologie et autour duquel les conceptions de système sont développées est l'apport d'oxygène à la masse de compostage (Cooperband, 2002). L'oxygène est utilisé par les micro-organismes lors de la respiration aérobie et l'oxydation des substances organiques. Sa présence est donc indispensable lors du processus de compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. La teneur en oxygène lacunaire représente le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides entre les particules de compost.

Ce taux est fonction de la granulométrie et de l'humidité des particules (De Bertodli et al, 2007).

Selon Puyuelo et al (2010), le taux minimal d'oxygène dans les espaces lacunaires d'un andain en fermentation doit être de 5% et au fur et à mesure de la dégradation, le besoin en oxygène diminue. Il existe divers systèmes d'aération , les plus fréquemment rencontrés sont les retournements mécaniques, les systèmes d'aération forcée ou pilotée, avec ou sans recirculation. L'apport d'oxygène influe également sur d'autres paramètres par diminution de l'humidité initiale, amélioration de l'homogénéité du substrat et contrôle de la température (Ramdani, 2015).

1.5.4. Le rapport C/N :

En ce qui concerne les besoins nutritionnels des microbes actifs dans le compostage, le rapport entre le carbone organique et l'azote totale (C/N) des déchets à composter est le facteur le plus important qui nécessite une attention. (De Bertodli et al, 2007). Mustin 1987 et Pujol (2012) dites que le rapport C/N diminue constamment au cours du compostage à conséquence de la minéralisation biologique de composés carbonés et leur perte sous forme de CO₂.

Beaucoup de travaux ont déterminé des valeurs optimales et des valeurs limites permettant le compostage . Misra et al. (2005) ont trouvés que le rapport optimal C/N se situe entre 25 et 30, bien que des rapports situés entre 20 et 40 soient aussi acceptables, tandis que Francou (2003) signalé que pour des composts jeunes les C/N varient de 10 à 80 et diminue au cours du compostage pour arriver à des valeurs généralement comprises entre 8 et 25.

Quand le C/N est supérieur à 40, la croissance des micro-organismes est limitée, et implique une durée de compostage plus longue. Un rapport C/N inférieur à 20 entraîne une sous-utilisation de l'azote et le surplus d'azote pourra alors être perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac ou d'oxyde nitreux, et l'odeur pourra devenir un problème (Misra et al, 2005).

1.5.5. Humidité :

Le taux d'humidité de la matrice du compost conditionne les échanges en oxygène et donc l'activité microbienne (Francou, 2003). Selon Mustin (1987) l'humidité est le paramètre le plus influent du processus de compostage. La teneur optimale dépend de la densité du milieu et donc de l'état physique et de la nature du substrat.

Ce paramètre est conditionné par deux phénomènes se produisant au cours du processus de dégradation: la libération d'eau lors de la décomposition de la matière organique , l'évaporation de l'eau sous l'effet de la chaleur libérée par la fermentation d'autre part (Tondou, 2016). La teneur en eau optimale est comprise entre 40 et 60% de la matière fraîche (Mustin, 1987). Une humidité inférieure à 20% inhibe la décomposition de la matière organique. Par contre , des valeurs supérieures à 70% entraînent une diminution des échanges d'oxygène et des conditions favorables à l'anaérobiose s'installent car l'eau remplit les espaces lacunaires. En pratique, il est conseillé de commencer le tas avec une teneur en eau de 50% à 60% , pour atteindre à la fin du processus, une humidité de 30 % (Misra et al, 2005).

1.5.6. Granulométrie :

La granulométrie est un facteur qui détermine la vitesse de biodégradabilité; puisque les petites particules ont un plus grand rapport surface/volume, en diminuant la taille des particules, une surface plus grande est exposée aux attaques microbiennes (la granulométrie détermine la surface accessible aux microorganismes pour la dégradation) Pujol (2012).

1.6. Processus de compostage:

Le principe de compostage peut-être schématisé de la manière présentée sur la Figure 02.

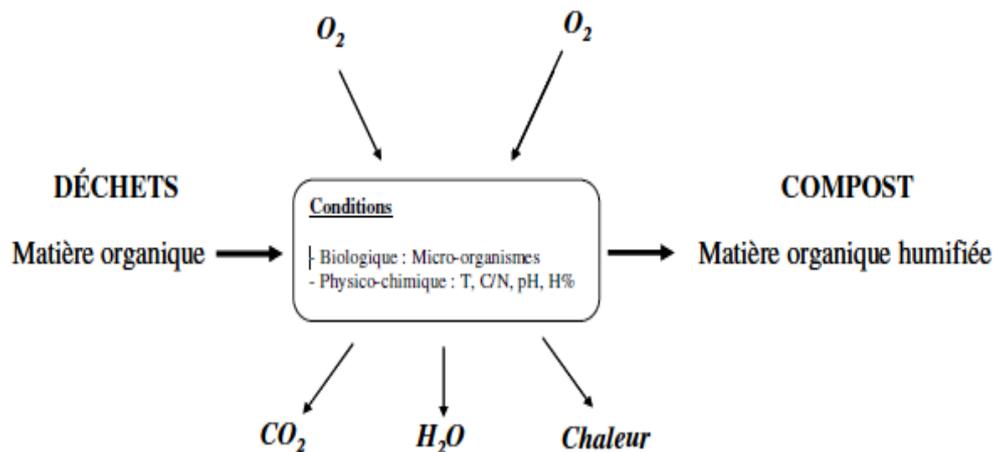


Figure 02 : principe de processus de compostage (Charnay, 2005)

Le processus de compostage peut être décomposé en 4 phases (figure 03). Plusieurs paramètres (température, PH, taux d'oxygène...) présentent des variations au cours du compostage. L'évolution de la température, qui exprime l'activité de la succession de populations microbiennes liées aux modifications du milieu, est la manifestation la plus perceptible de la dynamique du compostage.

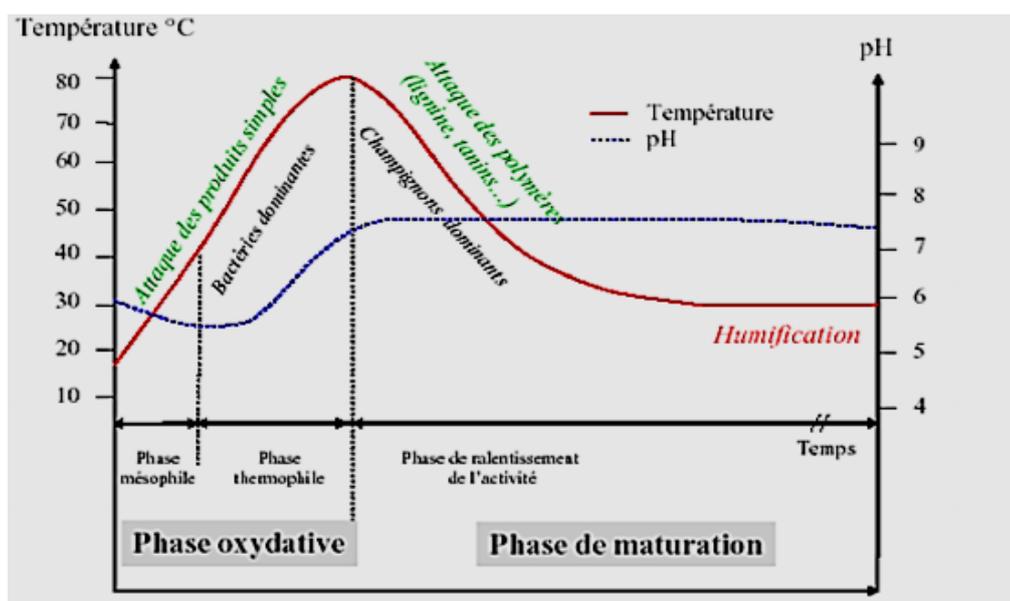


Figure 03 : Courbe théorique d'évolution de température et du pH au cours du compostage(Mustin, 1987)

1.6.1. Les phases de compostage:

1.6.1.1. Phase mésophile (25–40°C):

Dans cette première phase (également appelée phase de démarrage), les composés riches en énergie et facilement dégradables comme les sucres et les protéines sont abondants et sont dégradés par les champignons, les actinobactéries et les bactéries, généralement appelés décomposeurs primaires. (Bertodli et al, 2007).

Lors de cette phase : la biomasse et la diversité microbienne n'est pas très importante, il y a une plus grande fraction de protéobactéries et une plus petite proportion d'actinomycètes (Pujol, 2012).

Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne (bactéries et champignons) générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost (Francou, 2003).

1.6.1. 2. Phase thermophile (35–65°C)

De façon très vite la température atteint les valeurs de 60°C voire 75 °C . Quant au pH, il augmente graduellement pour atteindre un plateau entre 7 et 8 qu'il maintiendra jusqu'à la fin du processus de compostage (Michaud, 2007). Cette phase est appelée thermophile car seuls les microorganismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂ (Francou, 2003) ainsi que un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé (Pujol, 2012).

1.6.1.3. Phase de refroidissement :

Durant cette phase l'activité biologique ralentit, en raison de la diminution de la quantité de matière organique rapidement biodégradable (Pujol, 2012), et des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost .

La chaleur générée par la dégradation microbienne est alors due aux échanges de surface et à l'évaporation, conduisant au refroidissement du compost (Francou, 2003).

Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou au contraire très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. Au cours de cette phase, des microorganismes mésophiles colonisent à nouveau le compost (Dekaki, 2008).

1.6.1.4. Phase de maturation :

La dernière phase de compostage appelée phase de maturation ou La dernière phase de compostage. appelée phase de maturation ou stabilisation, est gouvernée par des processus de biosynthèse de macromolécules humiques ,ainsi que les champignons et les actinomycètes sont prédominants (Pujol, 2012). Habituellement, la proportion de champignons augmente, tandis que le nombre de bactéries diminue (De Bertodli et al, 2007). L'étape de maturation est donc principalement une phase de réorganisation de la matière humique. Enfin, un compost est généralement considéré comme mature lorsque :

- il ne s'échauffe plus lors du retournement .
- il ne repart pas en anaérobiose au cours du stockage.
- il n'immobilise pas d'azote lorsqu'il est incorporé dans un sol.
- il n'est pas phytotoxique.

2. Compost :

2.1. Définition du compost :

Le compost est un matériau préhumifié résultant du processus de compostage, présentant à la fois un caractère d'amendement et d'engrais (Gobat et al, 2010). Selon Guet et *al* (2003) le compost est le produit finit du compostage. Il s'agit d'une matière stabilisée, hygiénique, semblable à un terreau de couleur brunâtre foncée enrichi en composées humiques (figure 04).



Figure 04 : Compost (Djebari, 2020)

2.2. Les matières premières du compost :

On ne peut pas tout composter. Seules les matières organiques sont susceptibles d'être dégradées en humus par le processus biologique qu'est le compostage. Il est donc important de bien définir les types de déchets que l'on peut utiliser, leurs sources, leurs volumes et leurs spécificités. Car le gisement de déchets organiques est très particulier (Leclecry, 2002).

Les matériaux susceptibles d'être compostés sont habituellement classés en deux catégories : les matériaux riches en azote et les matériaux riches en carbone (Michaud, 2007).

Les matériaux riches en azote, aussi nommés *les matériaux verts*, ne sont pas, comme on pourrait le penser, systématiquement de couleur verte. Ils sont humides et se décomposent rapidement. Quant aux matériaux riches en carbone, aussi appelés *les matériaux bruns*, ils ont tendance à être plutôt secs et se décomposent lentement (tableau 01).

Tableau 01: Exemples des différentes matières à composter(Maghlouch et Bekdouche, 2013)

Matières à composter	
Matières riche en carbone (matériaux bruns)	Matières riche en Azote (matériaux verts)
<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles , plantes et fleurs sèches • Brindilles ; paille et foin • Marc, filtres de café et sachets de thé • Pates alimentaires ,pain riz • Papier (préférable de le recycler) • Ecailles de noix et noyaux • Tissus fait de fibres naturelles • Sciure de bios 	<ul style="list-style-type: none"> • Restes de fruits • Restes de légumes • Fumier mature • Coquilles d'œufs • Tonte de gazon (en petite quantité) • Agrumes (pelures et jus) • Céréales (grains) • Cheveux naturels et ongles

2 .3. Types de compost:

Il existe plusieurs types de compost qui se caractérisent par leur matière première et la technique de compostage utilisée.

2 .3.1 les composts d'origine urbaine :

les composts d'origine urbaine ont fait l'objet de nombreuses études depuis une cinquantaine d'années .Ils sont élaboré à partir d'une gamme hétérogène de matériaux. Les déchets urbains compostables peuvent être répartis en cinq catégories :

2.3.1.1.Déchets verts :

Un ensemble de déchets végétaux issus des jardins publics ou privés (tontes d'herbe, élagage, feuilles...).

2.3.1.2.Ordures ménagères:

C'est un ensemble des déchets ménagers produits par les collectivités ne pratiquant pas la collecte sélective.

2.3.1.3.Ordures ménagères résiduelle:

Fraction résiduelle des déchets ménagers obtenue après séparation des papiers , cartons, verres emballage collectés séparément .Elles sont également appelées ordures ménagères grises du fait de la couleur de la poubelle utilisée par les collectivités qui pratiquent ce type de collecte sélective.

2.3.1.4.Fraction fermentescible (putrescible) des ordures ménagères:

Déchets organiques biodégradables ou biodéchets (déchets de cuisine, fleurs, etc....) récupérés lors de collectes sélectives visant à les isoler des autres composés non putrescibles. Les déchets verts des jardins des particuliers sont souvent collectés avec cette fraction. Les déchets de marchés constituent également cette catégorie.

2.3.1.5.Boues de stations d'épuration urbaines:

En raison de leur très forte humidité , les boues doivent être mélangées à un structurant pour être compostées. Ce structurant est constitué de déchets verts, ou de palette de bios.

2.3.2. Autres type de composts :

2.3.2.1. Les composts d'effluents d'élevage :

Composter les effluents d'élevage est une pratique très courante et ancienne. Le compost obtenu à partir de fumier de bovins est le compost d'effluent d'élevage le plus courant ,mais des composts à partir de fumier d'ovin , de porcs et de volailles , et à partir de porcs sont également réalisés (Leclerc, 2001).

2.3.2.1. Les composts de déchets industriels et agricoles:

Il s'agit principalement du compostage de déchets de sucreries de la filière betteravière pour les industries agro- alimentaires, et des déchets de papeteries pour l'industrie hors agro - alimentaire.

2.4. Organismes vivants de compost :

Le compost est un milieu de vie dans lequel entrent en jeu une grande diversité d'organismes vivants. Ceux-ci se divisent en deux groupes : les micro-organismes et les macro-organismes.

Selon les conditions du milieu (oxygénation, teneur en eau, température, pH, matières nutritives) et la phase de décomposition du compost, les différents organismes interagissent ensemble ou successivement selon leur fonction respective. Alors que les représentants de la microfaune ont une action chimique sur les matériaux ,la majorité des macro-organismes décomposent physiquement les matières en les creusant, les grignotant, les mastiquant, les digérant les suçant et les brassant. Le ver de terre fait exception puisqu'il a une action à la fois physique et chimique.

2.4.1. Les microorganismes :

95% de l'activité du tas de compost due aux micro-organismes . Les principaux micro-organismes qui interviennent dans la décomposition de la matière organique sont les bactéries, les champignons et les actinomycètes, mais il existe d'autres tel que : les algues , les protozoaires, et les cyanobactéries (Michaud, 2007) (Tableau 02) .

2.4.1.1. Les bactéries :

Elles représentent les plus petits et les plus nombreux micro-organismes intervenant dans le compostage (seraient responsables de 80 à 90 % de l'activité microbienne) (Mustin, 1987). Au début du processus de compostage, les bactéries mésophiles prédominent. Elles comprennent les bactéries oxydant l'hydrogène, oxydant le soufre, nitrifiantes et fixatrices d'azote. Lorsque les températures dépassent 40 °C, les espèces thermophiles prennent le relais des bactéries mésophiles. Lors du compostage, la population bactérienne est principalement responsable de la décomposition du substrat et de la génération de chaleur (Mehta et al, 2014).

Pujol (2012) cite que la plupart des bactéries qui interviennent dans le compostage évolue préférentiellement dans les milieux dont le pH est presque neutre, avec un optimum compris entre 6 et 8.

2.4.1.2. Les champignons :

Bien que les champignons se trouvent en moins grande quantité que les bactéries et les actinomycètes, ils représentent une masse plus importante dans le compost (MICHAUD, 2007). Ils sont connus comme les principaux dégradants primaires de la lignocellulose impliqués dans la dégradation de substrats polymères complexes (Mehta et al, 2014).

Les champignons n'apprécient pas les températures extrêmes (supérieures à 50°C), ils sont inactifs au-delà d'une température de 55°C ; ce qui explique leur présence particulièrement en périphérie du compost, on peut voir apparaître à la surface du compost des champignons macroscopiques (Beddada et Remha, 2020).

Contrairement aux bactéries, les champignons ont la capacité de se développer lorsque les conditions d'humidité sont minimales

Parmi les champignons, il y'a un groupe de celles thermophiles apparaît, responsables d'une étape importante de décomposition des matériaux composant les membranes cellulaires végétales comme la cellulose et l'hémicellulose (Misra et al, 2005).

2.4.1.3.Actinomycètes

En nombre, les actinomycètes arrivent en deuxième position après les bactéries dans le compost . Ils prennent le relais à la fin du processus de décomposition en s’attaquant principalement aux matières organiques plus résistantes, telles la cellulose et la lignine dont est constitué principalement le bois (Michaud, 2007).

Tableau 02 : Exemple des communautés microbiennes impliquées dans les phases de compostage (Mehta et al, 2014).

Phases de compostage	Principales communautés microbiennes au cours des différentes phases de compostage.		
	Bactéries	Champignons	Actinomycètes
Phase mésophile	<i>Pseudomonas, Bacillus, Flavobacterium, Clostridium, Serratia, Enterobacter Klebsiella.</i>	<i>Alternaria, Cladosporim ;Mucor Aspergillus Ilumicola, Penicillium</i>	ABCENCE
Phase thermophile	<i>Bacillus et Thermus</i>	<i>Aspergillus, Mucor;Chaetomium, humicola, Absida, Sporotrichum, Thermoascus et Yeast.</i>	<i>Streptomyces, Thermoactinomyces, et Thermomonospora.</i>
Phase de maturation	<i>Bacillus, Flavobacterium, Pseudomonas et Cellumonas.</i>	<i>Alternaria, Aspergillus, Bipolaris et Fusarium.</i>	<i>Streptomyces et Thermopolyspora.</i>

2.4. 2. Les macro organismes :

On retrouve plusieurs espèces qui sont membres des groupes suivants : les lombrics, les insectes, les acariens, les gastéropodes, les myriapodes, les crustacés, les nématodes. Ceux-ci nécessitent certaines conditions pour pouvoir vivre. Ils comprennent l’humidité et l’air (Misra et al, 2005). Ils interviennent dans le processus de compostage lorsque la température n’est pas trop élevée (Michaud, 2007).

Beaucoup de ces animaux pluricellulaires se nourrissent de débris végétaux et peuvent avoir un rôle important dans l’homogénéisation des composts. (Beddada et Remha, 2020)

Tableau 03 : Quantité d’êtres vivants intervenant à un moment ou à un autre pendant le compostage(Znaïdi, 2002)

Type d’organisme vivant	Nombre par kilogramme de compost
Bactérie	De 1 milliard à 10 milliards
Actinomycetes	De 1 million à 100 million
Champignons	De 10.000 à 1 million
Algues	10 million
Protozoaires	Jusqu’à 5 milliards
Virus	Indéterminés
Acariens	10.000
Collemboles	10.000
Autres insectes et larves	2.000

Lombrics	Jusqu'à 1000
Crustacés (cloportes)	Jusqu'à 1.000
Gastropodes (escargots, limaces)	20

2.5. Les avantages de compost :

les avantages réels de l'utilisation du compost sont à long terme et liés à sa teneur en matière organique vivante (Berkar,2010). Certains des avantages de l'utilisation du compost comprennent (Francou, 2003, Michaud, 2007 et Taylor 2010) :

- Améliore la structure, la porosité et la densité du sol, créant ainsi un meilleur environnement racinaire des plantes.
 - Augmente l'infiltration d'humidité et la perméabilité des sols lourds, réduisant ainsi l'érosion et le ruissellement.
 - Améliore la capacité de rétention d'eau, réduisant ainsi la perte d'eau et le lessivage dans les sols sableux.
- Fournit une variété de macro et micronutriments.
- Peut contrôler ou supprimer certains agents phytopathogènes transmis par le sol.
 - Fournit des quantités importantes de matière organique.
 - Améliore la capacité d'échange cationique (CEC) des sols et des supports de culture, améliorant ainsi leur capacité à retenir les nutriments pour l'utilisation des plantes.
 - Fournit des micro-organismes bénéfiques aux sols et aux substrats de culture.
 - Améliore et stabilise le pH du sol.
 - Peut lier et dégrader des polluants spécifiques.
 - Permet le traitement des déchets organique :qui représentent une charge environnementale par leur putrescibilité et les nuisances qu'ils engendrent :odeurs, problème hygiénique ,effet attractif sur certains animaux (rat, mouettes, corneilles, mouches).

***II. GENERALITES SUR
LES MALADIES
TELLURIQUES***

1.Données générales sur les maladies telluriques :

Le sol est un milieu complexe riche en micro-organismes. Une grande partie de cette biomasse tellurique est concentrée au niveau de la rhizosphère. Cette région est caractérisée par sa biodiversité microbienne, la rhizosphère étant le lieu privilégié d'échanges entre ces micro-organismes et les végétaux, échanges qui se traduisent par des modifications des propriétés physiques et chimiques du sol rhizosphérique. L'ensemble de ces modifications détermine l'effet rhizosphère.

De nombreuses interactions, bénéfiques (symbioses) ou non, voire délétères (pathogénie) sont observées entre plantes, la faune et la flore du sol, (Katan, 2017). Si l'agent pathogène et l'hôte sont compatibles et que les conditions environnementales sont appropriées, des processus d'infection séquentiels se produisent, et un syndrome de la maladie est produit (Figure 05). Les organismes du sol phytopathogènes sont classés en cinq grands groupes : les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes et les protozoaires (Lucas 2006 et Mehta et al, 2014).

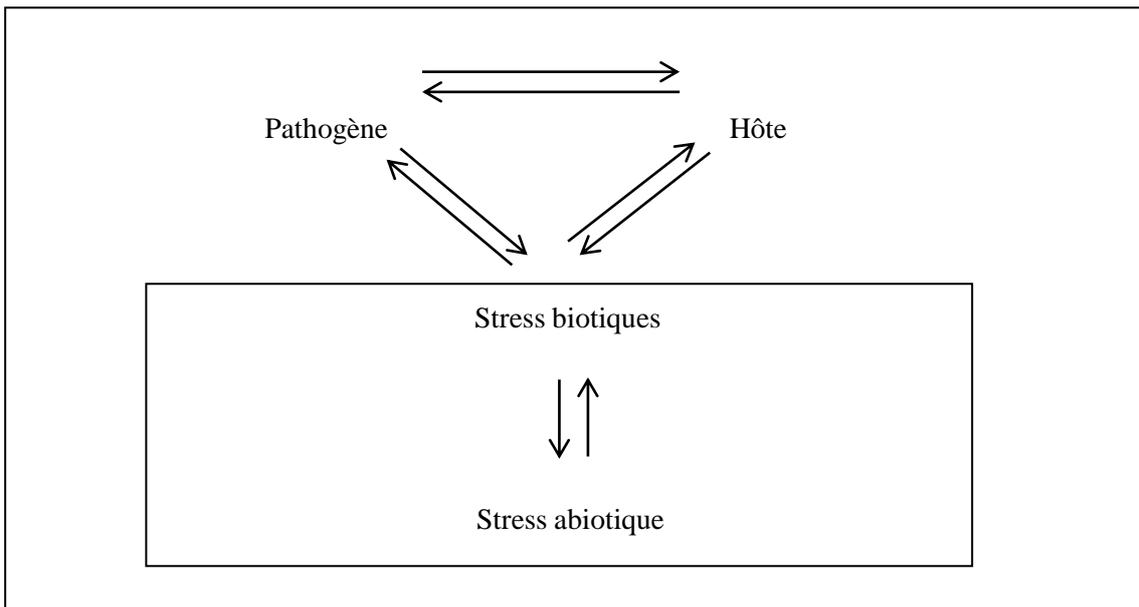


Figure 05: Triangle de la maladie (Lucas, 2006)

2. Le processus d'infection :

Contrairement aux maladies aériennes, les maladies d'origine tellurique sont inféodées à la parcelle car l'inoculum primaire ne peut généralement pas se disperser sur de grandes distances. Pour ces maladies, la transmission se fait par croissance du pathogène d'une source à la plante hôte sur de courtes distances (quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres).

Le réservoir d'inoculum dans le sol est donc une composante très importante de l'épidémie, cet inoculum pouvant se conserver en l'absence de plante sensible, sous forme saprophytique, c'est-à-dire sur les résidus de culture de la plante hôte (Motisi, 2009).

L'inoculum initial ou inoculum primaire est à l'origine des premières infections racinaires (infections primaires) produisant des tissus infectieux. La transmission peut se poursuivre via les infections secondaires d'un site infecté d'une racine à un autre site sur la même racine (auto-infections), ou à partir d'une racine infectée jusqu'aux racines voisines (allo-infections) (Jeger et al, 1987 ; Gilligan, 1985) (Figure 06). Du fait de la dispersion restreinte du pathogène dans l'espace, cela se traduit généralement par l'apparition de foyers de plantes malades. Ainsi, pour les maladies se développant exclusivement dans le sol, le développement épidémique à l'intérieur d'un cycle cultural donné va être en grande partie dépendant de la quantité d'inoculum préexistante et donc du développement épidémique de l'année précédente. Cette dynamique épidémique est décrite comme polyénique (Zadoks, 1999).

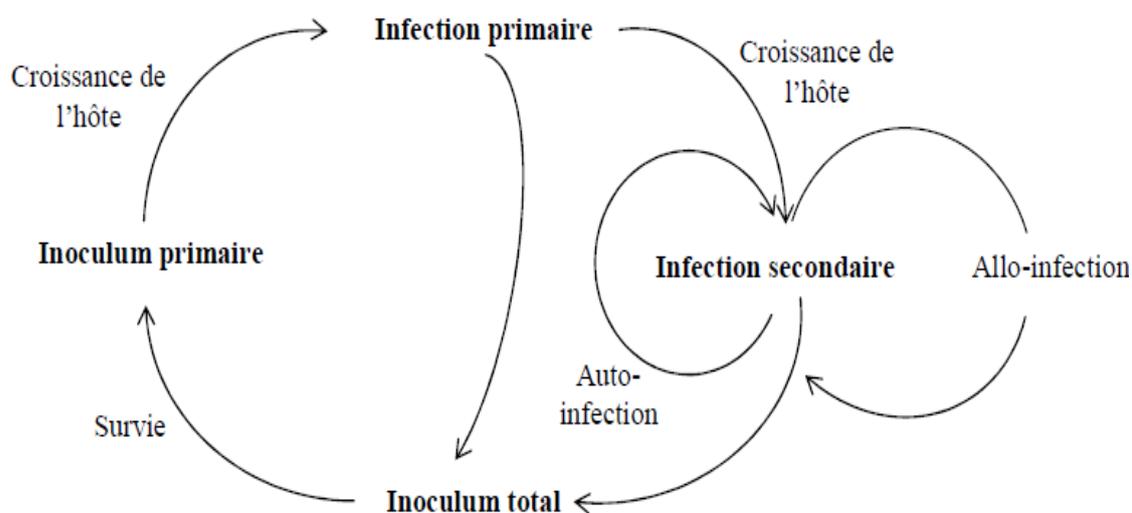


Figure 06 : Schéma général de la chaîne de transmission de la maladie pour les champignons (Motisi, 2009)

3. Les agents pathogènes du sol :

3.1. Les champignons :

Environ 85 % des maladies des plantes sont causées par des champignons (Pernezny et al, 2008).

Les maladies fongiques les plus fréquentes des plantes cultivées sont les brûlures des semis, la fonte des semis et les pourritures des racines (Fry et Niklaus, 2010).

Les genres de champignons *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Phytophthora* et *Sclerotium* contiennent les principaux agents pathogènes des plantes terrestres connus, ces agents pathogènes affectant un certain nombre de cultures importantes, notamment le blé, le coton, les légumes et les fruits tempérés (Mehta et al, 2014).

De nombreux champignons du sol persistent dans le sol pendant de longues périodes parce que ces organismes produisent des structures de survie comme le mycélium mélanisé, les chlamydospores, les oospores et les sclérotés (Koike et al, 2003).

Les champignons peuvent également être propagés par l'activité humaine, par le déplacement de plantes déjà malades ou par l'utilisation d'outils de jardinage. Bien que les champignons puissent pénétrer dans une plante par ses ouvertures naturelles (par exemple, les stomates) ou par des plaies, ils peuvent également pénétrer directement à travers la cuticule du plant (Pernezny et al, 2008).

3.2. Les bactéries :

La majorité des bactéries sont moins sujettes que les champignons et les nématodes à provoquer des maladies transmises par le sol en raison de leur incapacité à produire des spores et donc de leur incapacité à survivre dans le sol pendant une très longue période (Mehta et al, 2014). De plus, les bactéries ont également besoin d'une plaie ou d'une ouverture naturelle pour pénétrer dans la plante et déclencher l'infection. Parmi les bactéries qui peuvent infecter les plantes : *Erwinia*, *Rhizomonas*, *Streptomyces* et *Pseudomonas* (Koike et al, 2003).

La bactérie pénètre dans les racines de la plante, envahit les vaisseaux du xylème et se propage rapidement aux parties aériennes de la plante par le système vasculaire. Le dysfonctionnement vasculaire induit par cette colonisation extensive provoque des symptômes de flétrissement et éventuellement la mort des plantes (Koike et al, 2003).

Ces micro-organismes, transmis très facilement, sont dotés d'un très grand pouvoir de multiplication et sont souvent capables d'infecter de nombreuses espèces différentes de plantes. On dit qu'ils ont une « large gamme d'hôtes ». Les maladies de plantes causées par des bactéries sont malheureusement incurables. Seules la vigilance et les mesures de précaution sont de mise et permettent de limiter les dégâts provoqués par ces microorganismes (Dumont, 2019).

3.3. Les virus :

Comme les bactéries, les virus nécessitent également une plaie pour l'infection des plantes et comme les virus sont transmis par des vecteurs, peu de virus peuvent infecter les plantes (Mehta et al, 2014). En revanche, une fois établis sur un site, ils peuvent être très persistants et difficiles à éradiquer ; le sol lui-même agit comme un réservoir d'infection entre les cultures (Robinson, 2001). Les virus transmis par le sol infectent toujours leurs plantes hôtes par les racines ou d'autres structures souterraines. Dans certains cas, l'infection se limite aux racines. Ainsi, les virus sont généralement transmis de plantes malades aux plantes saines par les insectes, mais peuvent également être transmis par les acariens, les nématodes, les champignons et même les humains (Pernezny et al, 2008). Les symptômes de la maladie virale comprennent un retard de croissance de la plante, des distorsions tissulaires et des décolorations du feuillage et des fruits (koike et al, 2003). Parmi ces maladies en trouve la mosaïque du tabac, du concombre et de la tomate, l'enroulement des feuilles de la pomme de terre, la tache annulaire du framboisier, et le nanisme jaune de l'orge.

3.4. Les nématodes

Les nématodes sont de petits vers microscopiques, ils passent la majeure partie de leur vie dans le sol, soit comme mangeoires externes sur les racines des plantes, soit comme résidents à l'intérieur des racines (Roger, 2007). Ce sont des animaux invertébré non segmentés, affectent les cultures en réduisant la vigueur et la croissance des plantes (koike et al, 2003). Les nématodes produisent des œufs et des larves qui subissent plusieurs mues avant de devenir des agents pathogènes adultes. Dans le sol, les nématodes parasites des plantes vivent librement ou sont présents sous forme d'œufs ou de kystes durables. Certaines espèces attaquent les organes aériens des plantes, tandis que d'autres occasionnent des dommages au niveau des racines en se développant sur le végétal grâce à une structure buccale particulière nommée « stylet », qui vide les cellules végétales (Dumont, 2019).

4. Distribution des agents pathogènes dans le sol :

La distribution horizontale et verticale des agents pathogènes du sol dépend des pratiques de production, de l'historique des cultures et de divers autres facteurs (Koike et al, 2003). Le long d'un axe vertical, l'inoculum de la plupart des agents pathogènes des racines se trouve dans les 10 premiers pouces du profil du sol, les couches où se trouvent les racines et les tissus hôtes et d'autres substrats organiques.

Sur le plan horizontal, la distribution de l'inoculum dans un champ est généralement agrégée dans les zones où une culture sensible a été cultivée : les structures de survie produites dans les tissus malades sont susceptibles de rester dans la zone où les hôtes affectés ont poussé.

Etant donné que les opérations de travail du sol impliquent la fragmentation, le déplacement et l'enfouissement des résidus végétaux, le travail du sol peut entraîner une redistribution verticale et horizontale des agents pathogènes. Les propagules pathogènes peuvent être déplacées à la fois plus profondément et moins profondément dans le profil du sol. Les propagules placées plus profondément peuvent avoir des effets néfastes sur la survie de ces structures. D'un autre côté, l'exposition à la chaleur, au froid et au séchage peut tuer les agents pathogènes qui ont été apportés à la surface du sol. A l'échelle horizontale, le travail du sol redistribue l'inoculum initialement présent dans quelques zones infestées et le diffuse dans tout le champ (Meynard et al, 2003).

Finalement, l'inoculum produit après chaque culture sensible pourrait se propager à des zones auparavant non infestées, contribuant à une augmentation des maladies sur les cultures suivantes. La plus grande concentration de nématodes se produit généralement dans les 6 premiers pouces du sol, bien que des nématodes aient été récupérés à des profondeurs allant jusqu'à 4 à 5 pieds. La répartition des nématodes dans les champs est irrégulière et généralement réglée par la présence de racines hôtes et d'exsudats racinaires et par le mouvement du sol (Koike et al , 2003 ; Divya et Sudini , 2013 ; Katan , 2017).

5. Les principales maladies d'origine telluriques :

Les principales maladies d'origine telluriques qui peuvent affecter les plantes sont les pourritures racinaires, les fontes de semis et les flétrissements vasculaires (Tableau 04). Ces maladies telluriques, causent de lourdes pertes à de nombreuses cultures, elles comprennent la fente de semis, les maladies vasculaires et la pourriture des racines (Katan, 2017). Elles provoquent les symptômes de rabougrissement, flétrissement, chlorose et la mort des plants dans certains cas (Divya et Sudini, 2013).

5.1. La pourriture racinaire :

La pourriture racinaire est aussi connue sous les noms de pourriture du pied, fusariose du pied, pourriture des racines sèches, ou encore pourriture commune.

Ces maladies sont caractérisées par une dégradation du véritable système racinaire ; certains agents pathogènes sont généralement confinés aux racines juvéniles tandis que d'autres sont capables d'attaquer des parties plus anciennes du système racinaire. Les pourritures racinaires affectent un grand nombre de végétaux et engendrent des coûts importants pour les producteurs de vivaces. Sont capables d'attaquer des parties plus anciennes du système racinaire. Ces maladies sont causées par un groupe diversifié de champignons et d'organismes apparentés. Les genres les plus importants qui provoquent la pourriture des racines comprennent *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Cylindrocladium* et *Armillaria* (Divya et Sudini, 2013). Les symptômes observés comprennent le flétrissement, la mort et la chute des feuilles, le dessèchement des branches et des troncs et, dans les cas graves, la mort de la plante entière.

5.2. Le flétrissement vasculaire :

Les flétrissements vasculaires sont parmi les maladies les plus destructrices des plantes qui se produisent dans les cultures annuelles ainsi que dans les vivaces ligneuses. Ces maladies sont généralement causées par des bactéries, des champignons et des oomycètes telluriques qui infectent les racines et pénètrent dans les vaisseaux du xylème (Yadeta et Thommas, 2013). En conséquence, les feuilles flétrissent et meurent, ce qui peut entraîner une altération de la plante entière et éventuellement la mort de la plante.

Les structures de survie produites par les agents pathogènes du flétrissement peuvent rester viables dans le sol pendant plus de 20 ans. Les flétrissements causés par les espèces de *Verticillium* et *Fusarium* sont parmi les plus dévastatrices de ces types de maladies (Klostarman et al, 2011).

5.3 Les fontes de semis :

La fonte de semis, appelée aussi pourriture basale est causée par des champignons du sol, qui attaquent les semences et les plantules (Perrin et Sampangi, 1986). Les parasites les plus souvent rencontrés associés aux maladies du fente de semis sont *Pythium* (*Pythium ultimum* Trow, *Pythium sylvaticum*, *Pythium irregulare* . . .) et *Fusarium*, en particulier *Fusarium oxysporum*. Elle peut affecter la plupart des cultures, qu'il s'agisse de grandes cultures, notamment céréalières, de cultures fruitières et légumières ou de plantes ornementales (Messiaen et al, 1990). Différents symptômes sont associés à la fonte des semis, reflétant la variété des organismes phytopathogène

Cependant, tous les symptômes entraînent la mort d'un certain nombre de plantules dans une population donnée, des groupes de plantules peuvent mourir en taches à peu près circulaires, les plantules présentant parfois des lésions de la tige au niveau du sol.

Tableau 04: Exemples des principales maladies telluriques (Kioke et al, 2003).

Maladies	Agent causale	Plante hôte	Principales symptômes
Jaunisse fusarienne (flétrissement fusarienne)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Genre de Brassicacae(chou , céleri)	-Rabougrissement des plantes . -Jaunissement de feuillage
Pourriture racinaire phytophthoréenne (Phytophthora root rot)	<i>Phytophthora .sp</i>	Apiaceae (ex carote)	-Raffermisssement aérien -flétrissement, mort Racines noircies et pourries.
Pourriture grise	<i>Botrytis cinerea</i>	Pas d'hôte spécifique. La plupart des végétaux cultivés en serre peuvent être affectés	-Moisissure grise- Décoloration brun rougeâtre qui commence à l'extrémité du pédicelle et progresse vers l'extrémité du stylet.
Nœud de racine	Espèces Meloidogyne	Cucurbitaceae (Concombre, Melon s, Courge)	-Retard de croissance et jaunissement en surface. - Galles sur racines déformées et rabougries.
Pourriture molle bactérienne	<i>Erwinia carotovora</i>	Apiaceae	- Lésions molles, enfoncées, orange terne sur les racines pivotantes ou pourriture des parties inférieures

6. Techniques de lutte :

Les méthodes de lutte appliquées pour le contrôle des maladies d'origine telluriques sont généralement limitées. Les mesures de contrôle demeurent dans leur globalité d'ordre préventif, dont certains gestes simples suffisent parfois à limiter l'introduction ou la propagation d'une maladie ou d'un ravageur : élimination des plantes malades et des résidus de culture, éviter les dommages mécaniques aux plantes, désinfection des terreaux et utilisation des semences saines et aussi la désinfection des outils de taille, et éviter la fertilisation accrue pour ne pas inhiber le développement des racines (Bensaid, 2006 et Dumant 2019).

La protection des cultures contre les maladies des plantes d'origines telluriques se fait principalement depuis plusieurs décennies, par l'utilisation des pesticides tels que bromure de méthyle, benomyl et thiophanate (Song et al, 2004). Ce type de lutte devient aujourd'hui inquiétant à cause de leur nuisibilité sur l'environnement et la plupart des produits utilisés sont fortement rémanents, et restent encore dangereux plusieurs années après leur épandage.

Le contrôle des agents pathogènes du sol est inefficace dans la pratique car il est difficile de cibler les niches dans lesquelles ils se trouvent sans traiter l'ensemble du profil du sol (Lucas, 2006).

La lutte physique en protection des plantes regroupe toutes les techniques de lutte dont le mode d'action primaire ne fait intervenir aucun processus biologique, biochimique ou toxicologique. Par opposition, les autres techniques ne sont efficaces que si une interaction est établie entre un processus issu du vivant chez l'ennemi visé (physiologie, comportement, écologie) et l'agent de lutte (Yadeta et Thommas, 2013). Il convient de distinguer deux types fondamentaux de méthodes en lutte physique : les méthodes actives et les méthodes passives. Les méthodes suivies dans cette lutte tels que la stérilisation et /ou la solarisation ne sont pas des solutions pratiques à grande échelle et à long terme.

Les plantes résistantes aux maladies sont une mesure de contrôle évidente et efficace, car la résistance à de nombreux agents pathogènes peut être à la fois complète et durable. Une plante peut exprimer une résistance par l'action d'un seul gène qui lui confère une immunité (résistance à certaines races de fusariose par exemple) ou par de multiples gènes qui se traduisent par une large résistance à de nombreux pathogènes. La résistance monogénique, appelée résistance verticale, limite à la fois le niveau initial d'infection et la production d'inoculum. Ce type de résistance peut cependant être surmonté par de nouvelles souches du pathogène cible.

La résistance multigénique, appelée résistance horizontale, permet à certaines maladies de se développer mais la limite à un niveau tolérable. Utilisez des cultivars résistants lorsqu'ils sont disponibles (Van Elsas et Postma, 2007).

Pour remédier à ce problème de contrôle des maladies telluriques, par les techniques précédemment citées qui ne pas généralement effectives, la lutte biologique est devenu une méthode alternative pour renforcer les procédures de lutte. Elle consiste à utiliser des organismes antagonistes naturels des pathogènes, limitant ainsi leur prolifération et renforcer les défenses des plantes et à augmenter la résistance du sol aux réceptivités des maladies. Le contrôle biologique est l'une des approches les plus viables pour l'environnement et la santé pour supprimer les maladies des plantes causées par les agents pathogènes du sol (Diáñez et al, 2004).

Dernièrement, une option attrayante de lutte biologique consistant en la suppression des agents pathogènes du sol à base de compost a suscité un intérêt remarquable parmi les producteurs qui adoptent des méthodes de lutte durables. Les composts peuvent contribuer au biocontrôle de plusieurs agents pathogènes des plantes, en améliorant les activités des microbes antagonistes résidents (Pane et al, 2012).

***III. Effet du compost sur
la bioprotection et
biostimulation des
plantes***

Les agents phytopathogènes transmis par le sol sont responsables de nombreuses maladies des plantes cultivées herbacées et ligneuses, entraînant des pertes économiques importantes. L'épandage de compost dans les champs agricoles est une excellente approche naturelle de biocontrôle des maladies phytopathogènes. Le but du compostage est la production de produits stables qui peuvent être conservés sans traitement supplémentaires et qui peuvent être appliqués au sol sans engendrer de dommages aux cultures et mais qui, au contraire, améliorent la fertilité du sol et la santé des plantes (Gobat et al, 2003).

L'attaque par les phytopathogènes du sol peut être inhibée (ou améliorée) par l'utilisation de compost, directement par ses propriétés chimiques et physiques et biologiques, ou indirectement par la stimulation de la microflore antagoniste dans le sol et autour des racines des plantes et la biostimulation des plantes (De Bertodli et al, 2007).

1. Influence sur les paramètres physiques, chimique et biologiques du sol :

De nombreuses études ont été publiées sur les effets de l'application de compost sur les paramètres physique, chimique et biologique du sol (Dick et McCoy, 1993, Taylor et al, 2010). Une grande partie de ces études est consacrée à la comparaison entre le compost et d'autres engrais organiques (engrais de ferme, boues d'épuration, etc.) ou minéraux. L'interaction entre la fertilisation organique avec du compost et la fertilisation minérale a aussi été l'objet de plusieurs études (Larbi, 2006). Les effets de l'application de compost ont été fréquemment analysés dans des conditions extrêmes (sols lourds ou légers), et dans des cultures à assolement court ou intensif ou encore dans le cadre de la remise en état de sols.

1.1. Effet sur les paramètres physiques :

Les principales propriétés physiques du sol sont représentées par la texture, la structure, la porosité et la capacité de rétention d'eau. De nombreux auteurs ont montré que l'ajout de compost permet de fournir des améliorations de la structure (agrégation), la capacité de rétention d'eau, de la porosité, et la diminution de la densité apparente (De Bertodli et al, 2007).

1.1.1. L'amélioration de la structure et de la stabilité structurale du sol :

La structure du sol se réfère à la façon dont les particules minérales et organiques s'assemblent. Une bonne structure, constituée de macro-agrégats, facilite et réduit le travail du sol et assure sa fertilité et sa conservation. La formation de macro-agrégats améliore la structure du sol, ralentit l'érosion et réduit le lessivage. L'utilisation de composts mûrs améliore nettement la stabilité du sol comparé à celle de "composts jeunes"(Larbi, 2006).

Comparativement aux fertilisants minéraux, les composts favorisent le développement et l'établissement d'une meilleure stabilité structurale stimulée par la microflore du sol qui ont une influence positive sur la formation d'agréats (Mulaji, 2011). En effet, dans le processus de formation d'agréats, les micro-agrégats du sol (0,25-1 mm) se lient ensemble pour former les macro-agrégats (> 5 mm) et ce, grâce aux mucilages microbiens, aux filaments de champignons et aux polysaccharides issus de la décomposition de la matière organique.

1.1.2. La rétention d'eau et la porosité :

Les composts ont généralement un pouvoir de rétention en eau supérieur au sol (Francou, 2003). La matière organique contenue dans les composts peut absorber l'eau, améliorant ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. La stabilité des agrégats et l'amélioration de la structure du sol qui y est liée conduisent à une augmentation de la porosité (Larbi, 2006).

Le compost étant composé de particules de tailles différentes, il offre une structure poreuse qui améliore la porosité du sol. Cette amélioration entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi un bon endroit pour une meilleure activité biologique (N'Dayegamiye et Drapeau, 2009).

1.1.3. La densité apparente :

La densité apparente est la masse de sol présente dans un volume donné, généralement exprimée en g/cm^3 . Est un indicateur du compactage du sol et est également nécessaire pour convertir la teneur en éléments (Barker, 2010). L'ajout de compost réduira la densité apparente et augmentera sa perméabilité aux gaz et à l'eau, réduisant ainsi l'érosion. La plage de densité apparente du compost des déchets municipaux (DSM) se situe entre 0,22 et 0,74 mgm^{-3} (Miransari, 2011). Les propriétés de liaison au sol du compost sont dues à sa teneur en humus. Les constituants de l'humus agissent comme une « colle » du sol, retenant les particules de sol ensemble, les rendant plus résistantes à l'érosion et améliorant la capacité du sol à retenir l'humidité (Fulekar, 2010).

1.2. Effet sur les propriétés chimiques :

D'après Sarwar et al (2010), l'utilisation de compost vert sur un sol pauvre en matière organique aux deux niveaux (5 et 10% du volume du sol), permet d'augmenter le pH et la Capacité d'échange cationique (CEC) du sol, d'améliorer le rapport de N et de C avec une nette diminution du rapport C/N et d'enrichir le sol en nutriments minéraux (Ca, Mg, K, P, et Cl). En conséquence, une amélioration des propriétés chimiques des sols a été remarquée.

Dans la plupart des essais, l'application de compost en agriculture ou en horticulture a conduit à une augmentation de la teneur en carbone organique (C_{org}) et de l'azote total (N_{tot}) dans l'horizon supérieur du sol.

1.2.1. Effet sur le carbone organique du sol :

Le compost, par son rapport C/N et sa richesse en biomasse microbienne vivante, est une matière organique stable, mais relativement active car riche en carbone facilement métabolisable par rapport à celle préexistante dans le sol, ce qui fait qu'il induit la biodégradabilité de la fraction résiduelle plus passive (Mulaji, 2012).

Beaucoup d'études ont montré une nette amélioration ou augmentation du carbone organique dans le sol après plusieurs applications répétées des composts des déchets urbains (Smicikes et al, 2008; Hartl et al, 2003). 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. Le COT représente généralement plus de 90% du carbone total des composts (Francou, 2003).

En général, une étroite corrélation a été observée entre la quantité de matières organiques apportée par le compost et l'accroissement de la teneur en C_{org} dans le sol (Larbi, 2006). Cependant, la même quantité de matières organiques augmente de manière plus conséquente la teneur en C_{org} dans un sol lourd et riche en argile que dans un sol léger et sableux.

1.2.2. Effet sur l'azote organique :

L'azote est l'élément fondamental de la production végétale, le pivot de la fertilisation. Il est présent dans le compost en deux formes : organique (85-90% du N total) et inorganique (10-15 % du N total) (Miransari, 2011).

La conversion des formes organiques de N en formes inorganiques dépend de la quantité de composés organiques stables et labiles, de la population microbienne disponible et de leur efficacité, du rapport C/N des matières premières, des conditions de compostage, de la maturité du compost, du moment de l'application et de la qualité du compost.

Lors du compostage, une partie de l'azote organique des déchets est minéralisée. En fin de processus, une augmentation de la teneur en NO_3^- est fréquemment observée (Francou, 2003).

L'azote totale représente généralement 1 à 4% de la masse sèche totale des composts et est composé de moins de 10% d'azote minéral (Dekaki, 2008). Lors du compostage, des pertes d'azote sont possibles, soit par lessivage des nitrates dans le cas de lot de composts non protégés des intempéries, soit par valorisation d'ammoniac (NH_3) ou d'oxyde nitreux (N_2O).

1.2.3 Capacité d'échange cationique :

La capacité d'échange cationique (CEC) est un facteur clé qui régit l'absorption par les plantes des nutriments du système du sol. Elle représente la quantité maximale de cations (ions positifs) que la matrice peut adsorber. La CEC est une caractéristique importante et elle est considérée par certains auteurs comme un paramètre de qualité et de maturité des composts (N'Dayegamie et al., 1997 ; Namkoong et al., 1999 ; Butler et al. 2001) .

Havlin et al (1999) ont rapporté que l'ajout de compost peut augmenter la CEC des sols de 20 à 70 % (Miransari, 2011). La valeur CEC est cependant fortement influencée par la composition des intrants, et elle dépend également de la grosseur des grains des échantillons moulus. En plus, la CEC est liée à la quantité de substances humiques.

1.2.4 pH :

Le pH du sol joue un rôle majeur dans la disponibilité des nutriments végétaux et la mobilité des métaux lourds. Le compost tamponne le pH du sol dans les sols salins et alcalins. L'augmentation du pH du sol est due à la minéralisation du carbone, à la production d'ions hydroxyle et à l'introduction de cations basiques comme K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} (Miransari, 2011). La valeur du pH peut fortement varier d'un compost à un autre, indépendamment du degré de décomposition. C'est la raison pour laquelle ce paramètre n'est pas adapté pour l'utilisation comme indicateur de maturation (Larbi, 2006).

En revanche, la valeur du pH est extrêmement importante pour l'utilisation spéciale de compost, comme pour la production de substrats. En effet, si elle est trop élevée, elle peut conduire à des blocages d'éléments nutritifs comme le fer.

1.3. Effet sur les propriétés biologiques :

Tout apport organique provoque une stimulation de la biomasse microbienne (Girard et al, 2005). L'action des matières organiques sur les propriétés biologiques consiste essentiellement à l'hébergement d'organismes vivants du sol et constitue une source nutritive de la microfaune du sol (Mulaji, 2011). Ainsi, la biomasse microbienne, fraction organique active, représente une source importante d'approvisionnement nutritionnel pour la plante (Smith et Paul, 1990). C'est ainsi que l'augmentation de la biomasse microbienne par l'amendement de compost peut améliorer à long terme la fertilité du sol (Larbi, 2006).

Plusieurs études ont montré que le compost a une influence positive sur la biodiversité du sol (Charland et al, 2001). En effet, la qualité et la quantité des microorganismes telluriques sont influencées par la fraction microbienne du sol et ses activités enzymatiques (Perucci, 1990). En améliorant le potentiel biologique et enzymatique des sols, le compost crée des conditions optimales pour la croissance des plantes, grâce à la minéralisation, l'humification et la disponibilité des éléments nutritifs.

2. Effet du compost sur la bioprotection des plantes :

Plusieurs travaux de recherches ont montré que la suppression des maladies d'origine telluriques par le compost a été attribuée aux activités microbiennes des antagonistes (Charland et al, 2001; Diáñez et al, 2005; Katan, 2017).

Les antagonistes sont des microorganismes qui peuvent interférer avec la croissance et/ou la survie des agents pathogènes et ainsi permettre de les contrôler. Les interactions de type antagonisme entre microorganismes dans la nature comprennent le parasitisme, la lyse, l'antibiose et la compétition (Lydie, 2010). Dans le cas de l'action du compost, la bioprotection de la plante contre les agents phytopathogènes est assurée par la suppression générale et la suppression spécifique. La suppression générale est le résultat de la compétition entre la flore totale du sol et l'agent pathogène pour les différentes ressources du milieu (éléments nutritifs, espace, eau et sites infectieux).

III. Effet du compost sur la bioprotection et biostimulation des plantes

Les microorganismes les plus abondantes dans le compost est représentée par des bactéries (*Bacillus*, *Enterobacter*, *Flavobacterium balusstinum* et *Pseudomonas*), des actinomycètes (*Streptomyces*) et des champignons comme *Trichoderma* et *Gliocladium*.

La suppression spécifique implique l'action d'un type particulier de microorganismes antagonistes qui exerce un effet de compétition et d'antibiose d'une façon spécifique envers les microorganismes pathogènes. La suppression spécifique est généralement transférable. Ceci peut être réalisé en inoculant le compost avec l'agent microbien souhaité (Diáñez et al, 2005).

Le compost peut agir directement et indirectement sur la santé des plantes, son action indirecte est due entre autres à son influence sur la structure du sol et sur son apport équilibré en éléments nutritifs, en particulier les microéléments (Labri, 2006). L'action directe du compost sur la santé des plantes est complémentaire à l'action indirecte. Elle est due essentiellement à sa microflore bénéfique qui peut réduire significativement l'indice et la sévérité de la maladie (Hoitink et Grebus, 1994) (Figure, 07).

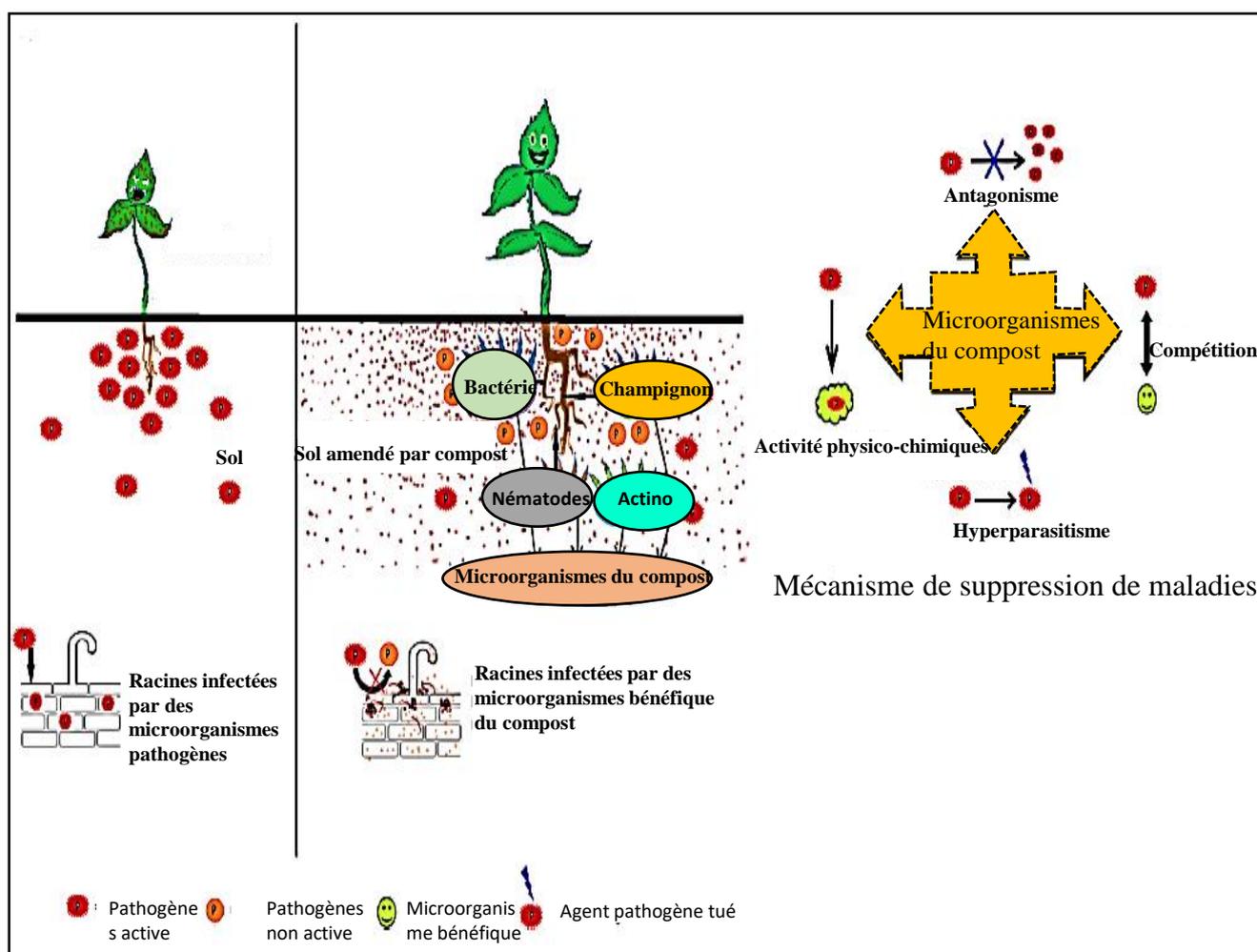


Figure 07 : Suppression des maladies telluriques par le compost (Mehta et al, 2014)

2.1. Effet directe :

2.1.1. Promotion de la croissance des plantes :

Le compost permet de favoriser la croissance des plantes à travers la production de phytohormones, la fixation de l'azote, la solubilisation du phosphate, la production de sidérophores et la dégradation des produits xénobiotique du sol (bioremédiation).

2.1.1.1. Solubilisation de phosphore :

Le phosphore (P) est parmi les éléments indispensables à la croissance des plantes, malheureusement il se trouve souvent insoluble dans les sol (Nishanth et Biswas, 2008). Étant donné que le compostage peut affecter la distribution des fractions de P, un grand nombre d'études ont été orientées vers l'ajout de phosphates minéraux avec une faible disponibilité et l'inoculation de microbes solubilisant les phosphates pendant le compostage pour développer un compost enrichi en P (Otieno et al, 2015).

La solubilisation du phosphate inorganique est l'un des principaux mécanismes de promotion de la croissance des plantes par les bactéries associées aux plantes .

Cela implique que des bactéries libèrent des acides organiques tels que l'acide gluconique, les acides céto-gluconiques, les et protons les phosphatases acides dans le sol qui solubilisent les complexes de phosphate en les convertissant en orthophosphate qui est disponible pour l'absorption et l'utilisation par les plantes (El Maaloum et al, 2020). Les bactéries Appartiennent aux genres *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, sont capables de libérer le phosphore inorganique complexé aux minéraux dans le sol (Ca, Mg, Fe, Al, etc.).

2.1.1.2. Synthèse des phytohormones :

Les gains en croissance induits par les microorganismes sont la conséquence de synthèse de métabolites secondaires analogues aux phytohormones et à l'amélioration de l'alimentation hydrominérale de la plante. Les hormones végétales (phytohormones) sont de petites molécules présentes en faibles concentrations et qui influencent la croissance et le développement des plantes (Yang et al, 2013). Selon le compost contient plusieurs types d'hormones analogues à celles synthétisés par les plantes telles que les cytokinines , l'acide indole-3-acétique, l'acide indole-3-butérique et l'acide phénylacétique (De Bruyne et al, 2014 ; Ewelina et al, 2014).

2.1.1.3. Synthèse des sidérophores :

Le fer est un élément essentiel à la vie de tout les organismes vivants. En effet, le fer joue un rôle important dans des processus biologiques fondamentaux tels que la photosynthèse, la respiration, la fixation et l'assimilation de l'azote, et la synthèse de l'ADN. En plus, sa capacité à facilement échanger des électrons fait du fer un cofacteur de choix dans diverses réactions biochimiques vitales. Cet élément est abondant dans le sol et se présente sous forme d'oxydes de fer comme l'hématite, la magnétite et la limonite (Schwertrmann et Taylor, 1989), mais il demeure souvent un facteur limitant pour la croissance de la flore bactérienne et de celle des plantes. Peu soluble en condition d'aérobic et aux pH neutre et alcalin, le fer est peu biodisponible, se trouve sous forme oxydées et polymérisées d'hydroxyde de fer $Fe(OH)_3$, ce qui rend son assimilation difficile .

Dans le sol, cet élément est généralement en concentration faible compte tenu des caractéristiques physico chimiques des sols, de la forte densité microbienne dans la rhizosphère et des prélèvements de fer ferrique par la plante. Dans un milieu carencé en fer, pour s'affranchir de cette limites les microorganismes tel que les bactérie ont donc développé des systèmes spécialisées, en synthétisant des petites molécules appelées sidérophores pour capter le fer et le stocker à l'intérieur de leur cellules.

Les sidérophores (du Grec, porteur de fer) sont de petites molécules dont la taille peut atteindre environ 1200 dalton, produites par les microorganismes et certaines graminées dans leur environnement , ayant une très forte affinité pour l'ion ferrique et dont la fonction est de rendre le fer assimilable par l'organisme qui le produit.

De fait, le sidérophore est un facteur contribuant à la compétitivité des antagonistes du sol. La production massive de sidérophores conduit à des niveaux réduits de fer qui sont essentiels pour la germination de l'agent pathogène et la pénétration dans l'hôte. Ainsi, les microorganismes dotés de capacités de production de sidérophores peuvent agir contre les agents pathogènes et peuvent supprimer leur effet sur les plantes cultivées (Mehta et al, 2014). les *Pseudomonas* produisent plusieurs type de sidérophores tels que les pyoverdines, les ferribactines et les psuedomonines (Bensaid , 2006). L'efficacité des *Pseudomonas* fluorescents dans la lutte biologique contre les différentes formaes spéciales de *Fusarium oxysporum* est généralement lié à sa capacité de synthèse des sidérophores (Mehata et al, 20014).

2.1.1.4. Bioremédiation :

La contamination des sols résultant d'activités industrielles et agricoles a suscité de vives inquiétudes ces dernières années (Ha et al, 2014). Divers polluants pénétrant dans le sol ou l'eau constituent une énorme menace pour la santé humaine et l'écosystème terrestre naturel.

Les principaux polluants du sol comprennent les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le pétrole et les produits connexes, les pesticides, les chlorophénols et les métaux lourds. la dégradation des compostages (déchets solides agricoles et des déchets solides municipaux (DSM)) par les communautés microbiennes, a été adopté comme l'une des technologies les plus rentables pour la biorestauration des sols (Chen et al, 2015).

Les techniques de la biorestauration des sols par le compostage sont diverses, y compris le compostage direct, l'ajout de compost, la bioaugmentation, l'incorporation d'agent de charge et l'application de surfactant (figure09). Les chercheurs ont souvent utilisé une seule ou une combinaison de ces stratégies (Prevention, 1997). La remédiation des sols contaminés par compostage est sous l'action de l'adsorption des métaux lourds par la matière organique et/ou sa dégradation par les microorganismes (Puglisi et al, 2007)

Un grand nombre d'études ont montré que de nombreux types de microbes avaient une forte capacité à dégrader divers polluants organiques et imposaient un excellent effet de passivation aux métaux lourds (Samanta et al, 2002 ; Watanabe, 2001 ; Yu et al, 2011). Les bactéries et les champignons sont parmi les principaux microbes dégradant les polluants dans les composts.

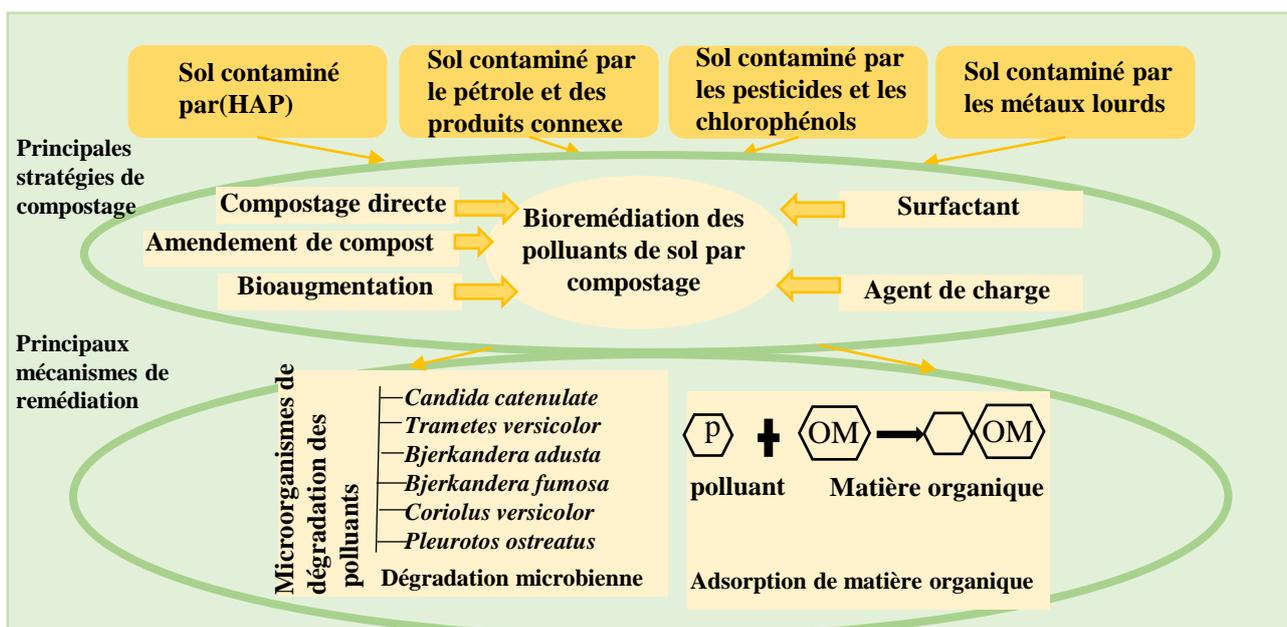


Figure 08: Principales stratégies et mécanismes de bioremédiation des sols contaminés par compostage ou compost.

2.1.1.5. Résistance systémique induite (ISR) :

La résistance naturelle des plantes aux agents pathogènes repose sur les effets conjugués de barrières préformées et de mécanismes induits. Contrairement à la résistance constitutive, la résistance induite repose sur la reconnaissance d'un envahisseur et d'événements de transduction de signal ultérieurs conduisant à l'activation des défenses (Diánez et al, 2004).

L'ISR est une forme de résistance induite aux attaques pathogènes, dont les défenses des plantes sont préconditionnées par une infection ou un traitement préalable qui entraîne une résistance (ou tolérance) contre un agent pathogène ou un parasite (Vallad et Goodman, 2004). La résistance systémique induite peut être définie comme un état de capacité défensive améliorée développée par une plante lorsqu'elle est stimulée de manière appropriée. D'autre par l'ISR est considérée comme l'un des plus importants mécanismes par lesquels le compost induit une résistance aux maladies aux plantes (Mehta et al, 2014). Une variété de microbes présents dans le substrat amendé de compost est capable d'induire une résistance systémique chez les plantes. L'écorce de pin compostée s'est avérée suppressive de la pourriture pythienne des racines du concombre et il a été suggéré que le mécanisme de résistance était systémique et lié à des activités enzymatiques ou hormonales (Zhang et al., 1996). Une étude de Sang et Kim (2011) a indiqué une propriété ISR médiée par le compost. Les auteurs ont rapporté qu'un extrait aqueux de compost réduisait significativement les anthracoses causées par *Colletotrichum coccodes* sur feuilles de poivron et *Colletotrichum orbiculare* sur feuilles de concombre.

2.2.Effet indirecte :

2.2.1.Compétitions pour l'espace et les nutriments :

La compétition entre les micro-organismes est considérée comme un phénomène naturel qui régit la dynamique des populations des individus partageant une même niche écologique en conditions de ressources limitantes (Dubernard, 2016). Dans certains cas , une réduction de la maladie peut être associée à une colonisation importante des racines par la microflore bénéfiques , ce qui réduit le nombre de sites habitables pour les microorganismes pathogènes et par conséquence leur croissance (Reyes et al, 2004). L'utilisation d'agents antagonistes capables de coloniser rapidement les sites potentiels d'infection (ou ceux riches en eau et nutriments) permettrait d'empêcher leur accès pour les agents pathogènes.

Dans chaque écosystème, les microbes rivalisent pour les nutriments. Les agents pathogènes qui poussent vers ces sources de nutriments doivent entrer en compétition avec cette microflore bénéfique dans la cour d'infection à la surface de la graine ou de la racine (Diáñez et al, 2004).

2.2.2. Antibiose :

Le processus d'antibiose est sans doute, le mécanisme le plus étudié dans les activités antagonistes microbiennes et le plus utilisé dans le cadre du biocontrôle. Le mot antibiose fait référence à une association de deux organismes dans lesquels l'un est blessé ou tué par l'autre. C'est un processus antagoniste médié par des microorganismes par l'intermédiaire de métabolites spécifiques ou non spécifiques, d'agents lytiques, d'enzymes, de composés volatils ou d'autres substances toxiques (Mehta et al, 2014). Il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et /ou antibiotique.

2.2.2.1. Synthèse des antibiotiques :

La production d'antibiotiques est très courante parmi les microbes du compost, et le processus peut être détecté par l'inhibition de la croissance des microbes pathogènes. Différentes espèces bactériennes telles que *Pseudomonas* et *Bacillus* sont bien connues pour leurs propriétés de production d'antibiotiques et pour leur biocontrôle de plusieurs maladies. *B. cereus* UW85 produit les antibiotiques *zwittermicine* A et kanosamine, impliqués directement dans le biocontrôle des oomycètes comme *Phytophthora* (Milner et al, 1996). L'azalomycine de *Streptomyces* sp. HAAG3-15 contre *Fusarium* *Trichoderma* et *Gliocladium* sont également connus pour être capables de produire des composés antimicrobiens qui peuvent supprimer *F. oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* agent de la fusariose du concombre.

Certaines souches antagonistes telles que les *Pseudomonas* ont aussi la possibilité de synthétiser d'autres composés antimicrobiens comme les gaz nocifs (le méthane, l'éthylène, cyanure d'hydrogène), les nitrites, les sulfures ou autres composés soufrés volatils, etc. (Djabari, 2020).

2.2.2.2. Synthèse des enzymes lytiques :

De nombreux microorganismes pourraient détruire d'autres microorganismes pathogènes grâce à la sécrétion des enzymes, telles que la glucanase, la protéase, la cellulase, la chitinase, etc., qui peuvent hydrolyser leurs parois ou autre couches protectrices de leurs surfaces (Dunne et al, 1997 ; Adhya et al, 2017 ; Singh et al, 2017).

2.2.3. Hyperparasisme:

L'hyperparasitisme est un type d'antagonisme direct où un micro-organisme attaque directement un agent pathogène et le tue (Heydari et Pessarakli, 2010). En général, il existe quatre grandes classes d'hyperparasites, d'agents pathogènes bactériens obligatoires, d'hypovirus, de parasites facultatifs et de prédateurs. *Pasteuria penetrans*, un parasite bactérien connu pour son activité de lutte biologique contre les nématodes à galles, est un parfait exemple d'hyperparasitisme (Mehta., 2014). Il existe plusieurs exemples d'hyperparasitisme chez les champignons où des microbes non pathogènes parasitent ou lysent le mycélium, les spores au repos (oospores), les hyphes ou les sclérotés de plusieurs champignons du sol pathogènes tels que *Pythium*, *Phytophthora*, *Verticillium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* et *Sclerotium* (Diánez et al, 2004). Par conséquent, les hyperparasites peuvent contrôler les populations de nombreux agents pathogènes qui jouent un rôle majeur dans les maladies des cultures.

Le parasite et a travers ses hyphes s'enroule autour et s'y attache avec des corps ressemblant à des appressoriums, et perce son mycélium (Chet et al, 1981; Goldman et al, 1994). Les mycoparasites produisent des enzymes dégradant la paroi cellulaire qui leur permettent de creuser des trous dans d'autres champignons et d'extraire des nutriments pour leur propre croissance. Mais de nombreux mycoparasites produisent également des antibiotiques qui peuvent d'abord affaiblir les champignons qu'ils parasitent. Ainsi, la digestion des parois cellulaires de l'hôte est accomplie par une succession d'enzymes excrétées, notamment des protéases, des chitinases et des glucanases. Ces enzymes ont souvent une activité antifongique individuellement et sont synergiques en mélanges ou avec des antibiotiques (Di Pietro et al, 1993 ; Lorito et a, 1993, 1994 ; Handelsman et Stabb, 1996).

3.Le sol résistant :

Le concept des sols suppressifs se base sur la capacité de certains sols à limiter l'apparition de maladies du sol (causées par des bactéries, champignons, ou encore nématodes) en limitant leur développement. Ces sols ont été désigné par plusieurs qualificatifs: immunes, conductifs, suppressif, résistant, "sensitifs soils ", " pathogens suppressifs soils ", " diseases suppressives soils ", " long life soils " , " antagonistic soils ", " biologically buffered " , " competitive soils " , " decline soils " , " fongistatique low pathogen " , " intolérant " Ce phénomène est régi principalement par des facteurs d'origines biologiques (bactéries) mais certains facteurs abiotiques comme le pH ou la teneur en argile peuvent être très importantes pour comprendre la capacité de suppression des sols.

La résistance d'un sol peut être spécifique ou générale en fonction des cibles biotiques inhibées, constitutive ou acquise selon les caractères biotiques et abiotiques du sol et à long ou à court terme selon sa durabilité et sa longévité (Caubel et al, 1985).

La suppression générale est liée à la biomasse microbienne totale dans le sol, qui entre en compétition avec l'agent pathogène pour les ressources du milieu. La suppression générale est souvent renforcée par l'ajout de matière organique, certaines pratiques agronomiques ou l'accumulation de la fertilité du sol, qui peuvent tous augmenter l'activité microbienne du sol (Weller et al, 2002). Aucun micro-organisme n'est responsable de la suppression générale et la suppression n'est pas transférable. Lorsque l'inoculum d'un agent pathogène est ajouté à des paires d'échantillons de sol brut et stérilisé, l'effet de la suppression générale est apparent par la plus grande gravité de la maladie sur un hôte cultivé dans le sol stérilisé par rapport au sol brut.

La suppression spécifique est due, au moins en partie, aux effets de groupes individuels ou sélectionnés de micro-organismes au cours d'une certaine étape du cycle de vie d'un agent pathogène. Le transfert de la résistance du sol est la caractéristique clé de la suppression spécifique. Les sols suppressifs doivent sans aucun doute leur activité à une combinaison de répression générale et spécifique (Dianaz et al, 2004)

La résistance constitutive est conditionnée par un environnement biologique et physico-chimique défavorable dans lequel le pathogène ne peut pas s'exprimer, même s'il est autochtone ou se développer s'il est introduit. La résistance acquise peut s'observer dans un sol initialement permissif, progressivement avec la même culture "monoculture" (Bensaid 2006).

La résistance à long terme, après plusieurs décennies de suite dans un sol contaminé ou l'agent pathogène peut s'établir mais ne provoque pas la maladie ; il s'agit d'une résistance liée fortement à la stabilité des propriétés physico-chimiques et biologiques de ce sol. La résistance à court terme s'observe uniquement pendant quelques cycles végétatifs seulement, ce phénomène est le résultat d'un changement exogène rapide dans l'environnement physique, chimique et/ou biologique du sol (introduction des antagonistes, matières organique, engrais...).

Le compost suppressif est un exemple exceptionnel de pratique agricole respectueuse de l'environnement, car il présente de nombreux avantages et fournit un service environnemental à la société (Postma et al, 2003),

Il remplace les engrais et améliore la structure du sol dans le cas des applications au champ ou remplace la tourbe, une ressource non renouvelable, dans le cas des supports en contenants en horticulture ; et la suppression des maladies transmises par le sol réduit le besoin de pesticides ou de désinfection. Cette approche est acceptable pour l'agriculture biologique mais peut être facilement adoptée par l'agriculture conventionnelle et intégrée dans la pratique courante de l'agriculteur. Une étape importante vers l'application de compost suppressif pourrait être le développement d'outils de contrôle de la qualité qui peuvent réduire la variabilité de l'efficacité. Le contrôle biologique des phytopathogènes du sol avec des composts suppressifs est maintenant une approche horticole établie. Une meilleure compréhension du comportement microbien et de la structure des populations antagonistes dans le compost fournira des outils pour réduire sa variabilité.

CONCLUSION

Dans le cadre de la valorisation des déchets organiques, notre travail a porté sur l'étude de l'effet du compost dans le biocontrôle des principales maladies d'origine telluriques. Le travail a été réalisé à travers une synthèse bibliographique des travaux portant sur le compost, le compostage dans le biocontrôle des maladies.

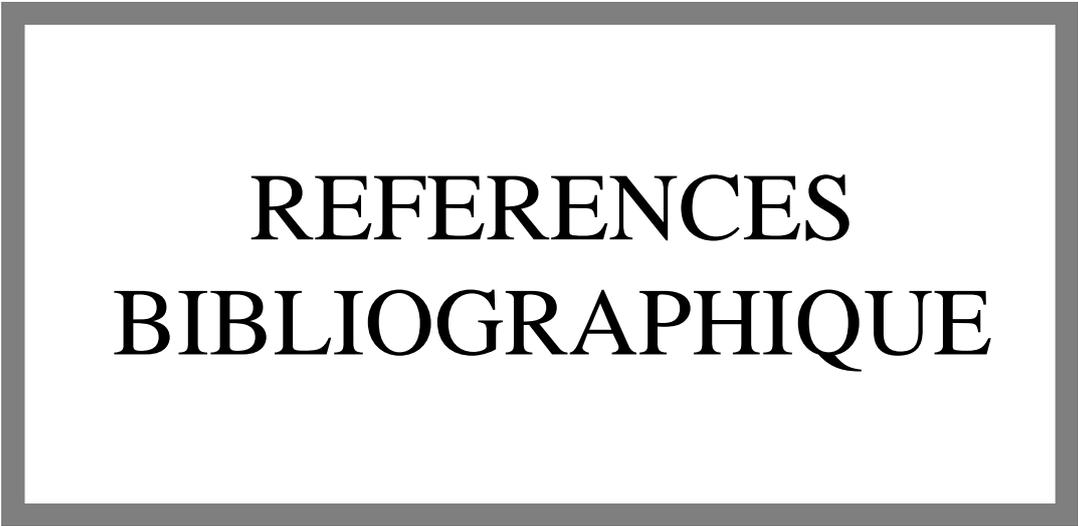
Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le compost est un matériau préhumifié résultant du processus de compostage, présentant à la fois un caractère d'amendement et d'engrais.

Il est très probable que la diminution des maladies du compost puisse être causée par une interaction complexe d'une gamme de facteurs abiotiques (pH, C/N, qualité de la matière organique, etc.) et biotiques (prédateurs, antagonistes et concurrents pour les nutriments). L'influence du compost sur le sol est due à ces propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les propriétés physiques consistent à l'amélioration de la structure et la stabilité du sol par la formation des macro-agrégats, cela permet de ralentir l'érosion et réduire le lessivage et offrir une structure poreuse au sol. Ensuite, le compost a un pouvoir de rétention d'eau supérieur au sol. L'ajout de compost réduira aussi la densité apparente et augmentera sa perméabilité aux gaz.

Les propriétés chimiques de sol qui peuvent être influencées par le compost sont le pH qui joue un rôle majeur dans les disponibilités des nutriments, et qui devient tampon dans les sols salins et alcalins. Plusieurs auteurs ont rapportés que l'ajout de compost au sol peut augmenter la capacité d'échange cationique (CEC). En fait, dans la plupart des essais, l'application de compost en agriculture ou en horticulture a conduit à une augmentation de la teneur en carbone organique (**Corg**) et de l'azote total (**Ntot**) dans l'horizon supérieur du sol. L'action des matières organiques du compost sur les propriétés biologiques consiste essentiellement à l'hébergement d'organismes vivants du sol et constitue une source nutritive de la microfaune du sol.

Le compost peut agir directement et indirectement sur la santé des plantes, dont la suppression des maladies est due aux activités des microorganismes antagonistes. Les mécanismes directs d'inhibition des maladies telluriques par compostage, consiste à la promotion de croissance des plantes par la synthèse des hormones, le recyclage des éléments nutritifs et induction d'une résistance systémique et aussi la biorestauration des produits polluants. D'autre part, les mécanismes indirects sont principalement la compétition des microorganismes pour l'espace et les nutriments et la synthèse des sidérophores. Ensuite l'inhibition des agents pathogènes peuvent être réaliser indirectement par la synthèse des antibiotiques et des produits volatils et la synthèse des enzymes lytiques, et par l'hyparasitismes.

Comme pour toute opération visant à un meilleur respect de notre environnement, le compostage ne peut faire de considérations économiques aujourd'hui indissociables de toute entreprise d'envergure. Pour s'imposer, une idée écologique doit soit s'inscrire dans la loi, soit prouver sa légitimité économique. Les directives d'utilisation de la qualité du compost pour la production agricole sont limitées et, avec le manque de connaissances des professionnels agricoles, cela peut entraîner des erreurs et des problèmes avec la production et l'utilisation du compost. En plus, le compost est un produit difficile à vendre, en raison de la concurrence d'autres matières organiques à épandre comme les boues d'épurations, gratuites. Le compost fabriqué ne trouve pas toujours preneur. Il est donc primordial de s'assurer de possibles débouchés auprès des utilisateurs potentiels avant de lancer un programme de compostage.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

1. Ademe, A., Getahun, M., Beyene, B., Gallagher, K., Teshome, B., Tefera, M., ... & Kebede, A. (2015). Epidemiology of rubella virus cases in the pre-vaccination era of Ethiopia, 2009–2015. *BMC public health*, 16(1), 1-7.
2. Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Alami, I. T. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic agriculture*, 8(2), 141-158.
3. Barker, AV (2016). *Science et technologie de l'agriculture biologique* . Presse CRC.
4. Barker, M., & Langdrige, D. (2010). Qu'est-il arrivé aux non-monogamies ? Réflexions critiques sur la recherche et la théorie récentes. *Sexualités* , 13 (6), 748-772.
5. Beddada, A., & Remha, S. E. (2020). Contribution à l'étude de préparation d'un composte à base de fumier et de débris des végétaux dans la région d'El-Oued.
6. Benharoun, S. (2018). Etude de l'effet de certaines bactéries telluriques sur la croissance de certains phytopathogènes.
7. Bensaid, F. (2006). Etude de l'effet des *Pseudomonas spp. fluorescent* et l'isol FO47 de *fusarium oxysporum* non pathogène dans la lutte biologique vis-à-vis des fusariose vasculaires . mémoire de magisters en science agronomique .Univ.saad dahleb Blida,Algérie ,117 p.
8. Bernardo, E. R. A., & Bettiol, W. (2010). Controle da pinta preta dos frutoscítricos em cultivo orgânico. agente de biocontrôle e produtos alternativos. *Tropical Plant Pathology*, 35, 037-042.
9. Biaou, O. D. B., Saidou, A., Bachabi, F. X., Padonou, G. E., & Balogoun, I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5), 2315-2326
10. Butler, RP, Tinney, CG, Marcy, GW, Jones, HR, Penny, AJ et Apps, K. (2001). Deux nouvelles planètes issues de la recherche planétaire anglo-australienne. *The Astrophysical Journal* , 555 (1), 410.
11. Caubel, G., & Chaubet, B. (1985). Ecllosion et multiplication de *Heterodeca schachtii* Schmidt en presence de colza ou de radis fourragers. *Agronomie*, 5(5), 463-466.
12. Charnay, F. (2005). *Compostage des déchets urbains dans les pays en développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost* (Doctoral dissertation, Limoges).

1. Chauvin, C., Dorel, M., Villenave, C., Roger-Estrade, J., Thuries, L., & Risède, JM (2015). Les caractéristiques biochimiques de la litière des cultures de couverture affectent le réseau trophique du sol, la décomposition de la matière organique et la régulation des nématodes phytoparasites dans le sol d'un champ de banane. *Écologie appliquée des sols*, 96, 131-140.
2. Chen, Y., Conroy, NJ, & Rubin, VL (2015, novembre). Contenu en ligne trompeur : reconnaître le clickbait comme une « fausse nouvelle ». Dans *Actes de l'ACM 2015 sur l'atelier sur la détection de déception multimodale* (pp. 15-19).
3. Chet, I., & Baker, R. (1981). Du sol naturellement suppressif à *Rhizoctonia solani*. *Phytopathologie*, 71 (3), 286-90.
4. Cooperband, L. (2002). L'art et la science du compostage. *Centre pour les systèmes agricoles intégrés*.
5. Corbaz, R. (1990). *Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes*. PPUR presses polytechniques.
6. De Bertoldi, M., Diaz, L. F., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (Eds.). (2007). *Compost Science and Technology*. Elsevier.
7. Dekaki, A. (2008). *Impact de l'utilisation d'un compost vert sur l'activité et la diversité de la microflore tellurique* (Doctoral dissertation, Paris Est).
8. Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects, pp 622-644.
9. Diáñez, F., Santos, M., & Tello, JC (2004, novembre). Suppression des agents pathogènes du sol par le compost : effets suppressifs du compost de marc de raisin sur les oomycètes phytopathogènes. Dans *Symposium international sur la culture hors sol et la culture hydroponique 697* (pp. 441-460).
10. Dick, W. A., & McCoy, E. L. (1993). Enhancing soil fertility by addition of compost. *Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects*, 622-624.
11. Divya Rani, V., & Sudini, H. (2013). Management of soilborne diseases in crop plants: an overview. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 3(4), 156-164.
12. Dumont, B. (2019). *Le potager en pot*. Éditions MultiMondes.
13. Dunne, J. (1997). *Retour au terrain accidenté : Le jugement pratique et l'attrait de la technique*. Université de Notre Dame Pess.
14. El Maaloum, S., Elabed, A., Alaoui-Talibi, Z. E., Meddich, A., Filali-Maltouf, A., Douira, A., ... & El Modafar, C. (2020). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria consortia associated with phospho-compost on phosphorus solubilization and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(5), 622-634.
15. Francou, C. (2003). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche d'indicateurs pertinents* (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).
16. Fry, W., Grünwald, N., & Ocotlán, JM (2010). Introducción a los Oomicetes. *Edité par Alberto Valencia. L'Instructeur en Santé des Plantes*.

29. Fulekar, MH (2010). *Nanotechnologie : importance et applications* . IK International Pvt Ltd.
30. Getahun, M., Beyene, B., Gallagher, K., Ademe, A., Teshome, B., Tefera, M., ... & Kebede, A. (2016). Epidemiology of rubella virus cases in the pre-vaccination era of Ethiopia, 2009–2015. *BMC public health*, 16(1), 1-7.
31. Gilligan CA, Kleczkowski A, 1997. Population dynamics of botanical epidemics involving primary and secondary infection. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 352, 591-608
32. Gilligan, C. A. (1985). Construction of temporal models: III. Disease progress of soil-borne pathogens. *Advances in plant pathology*.
33. Girard, M.C., Walter C., Remy J.C., Berthelin J., Morel J.L. (2005). *Sols et environnement*. Édition Dunod, Paris, 800p.
34. Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). *Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.
35. Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, M. (2003). *Le sol vivant. Bases de pédologie- Biologie des sols*. 2e ed. Révue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 568p.
36. Goldman, N., & Yang, Z. (1994). Un modèle à base de codons de substitution de nucléotides pour des séquences d'ADN codant pour des protéines. *Biologie moléculaire et évolution* , 11 (5), 725-736.
37. H.A.J. Hoitink.and H.M. Keener, (eds.), *Science and Engineering of Composting*:
38. Ha, M., & Kim, VN (2014). Régulation de la biogenèse des microARN. *Nature reviews Biologie cellulaire moléculaire* , 15 (8), 509-524.
39. Hoitink, HA et Grebus, ME (1994). Etat des lieux de la lutte biologique contre les maladies des plantes avec les composts. *Science et utilisation du compost* , 2 (2), 6-12.
40. Imane, D. J. E. B. A. R. I. Contribution à l'étude de pouvoir antagoniste d'un compost.
41. Jeger MJ, Kenerley CM, Gerik TJ, Koch DO, 1987. Spatial dynamics of *Phymatotrichum* root-rot in rows crops in the Blackland region of North Central Texas. *Phytopathology* 77, 1647- 56
42. Jeger MJ, Kenerley CM, Gerik TJ, Koch DO, 1987. Spatial dynamics of *Phymatotrichum* root-rot in rows crops in the Blackland region of North Central Texas. *Phytopathology* 77, 1647-56;
43. Katan, J. (2017). Diseases caused by soilborne pathogens: biology, management and challenges. *Journal of Plant Pathology*, 305-315. Klosterman, SJ, Subbarao, KV, Kang, S., Veronese, P., Gold, SE, Thomma, BPHJ, ... Ma, L.-J. (2011). *La génomique comparative donne un aperçu de l'adaptation de niche des agents pathogènes du flétrissement vasculaire des plantes*. *PLoS Pathogens*, 7 (7),
44. Klosterman, SJ, Subbarao, KV, Kang, S., Veronese, P., Gold, SE, Thomma, BPHJ, ... Ma, L.-J. (2011). *La génomique comparative donne un aperçu de l'adaptation de niche des agents pathogènes du flétrissement vasculaire des plantes*. *PLoS Pathogens*, 7 (7),

45. Koike, S., Subbarao, K., Davis, R. M., & Turini, T. (2003). *Vegetable diseases caused by soilborne pathogens*. UCANR le nord-ouest algérien. *Cahiers Agricultures*, 9(6), 515-518.
46. Larbi, M. (2006). *Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques* (Doctoral dissertation, Université de Neuchâtel).
47. Leclerc B. (2001) .Guide des matière organiques. eds Guide Technique de l'ITAB.
48. Leclercy, D. (2002). Le compost. Une filière de valorisation des déchets organiques à développer. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, (47), 125-134.
49. Lucas, P. (2006). Maladies causées par des agents pathogènes du sol. Dans *L'épidémiologie des maladies des plantes* (pp. 373-386). Springer, Dordrecht.
50. Lydie, A. N. C. E. L. O. T. (2010). *Equité du plaider coupable: une analyse économétrique dans trois tribunaux de grande instance français* (No. 2010-09). Bureau d'Economie Théorique et Appliquée, UDS, Strasbourg.
51. Maghlouche, Y., & Bekdouche, F. E. (2013). Compostage des déchets verts: Cas de la station biocompost d'EL-KSEUR.
52. Meddich, A., Elouaqoudi, F. Z., Khadra, A., & Bourzik, W. (2016). Valorisation des déchets d'origine végétale et industrielle par compostage. *Revue Des Composites et Des Matériaux Avancés*, 26.
53. Mehta, C. M., Palni, U., Franke-Whittle, I. H., & Sharma, A. K. (2014). Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste management*, 34(3), 607-622.
54. Messiaen, AM, Conrads, H., Gaigneaux, M., Ongena, J., Weynants, RR, Bertschinger, G., ... & Yang, JW (1990). Le chauffage ICRH et NB haute puissance donne TEXTOR. *Physique des plasmas et fusion contrôlée* , 32 (11), 889.
55. Meynard, J. M., Doré, T., & Lucas, P. (2003). Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies*, 326(1), 37-46.
56. Michaud L., 2007. Tout sur le compost : le connaître, le faire, l'acheter et l'utiliser, Edit. MultiMondes, Canada, 230 p.
57. Miransari, M. (2011). Hyperaccumulateurs, champignons mycorrhiziens arbusculaires et stress des métaux lourds. *Avancées de la biotechnologie* , 29 (6), 645-653.
58. Misra, R. V., Roy, R. N., & Hiraoka, H. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *FAO. ed. Rome*.
59. Motisi, N. (2009). *Réguler les maladies d'origine tellurique par une culture intermédiaire de Brassicacées: mécanismes d'action et conditions d'expression dans une rotation betterave-blé* (Doctoral dissertation, AGROCAMPUS OUEST; Université européenne de Bretagne).
60. Mulaji Kyela, C. (2011). *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Gembloux, Belgique).
61. Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusceds, pp. 957, Paris.
62. N'Dayegamiye, A., & Drapeau, A. (2009). Influence de la nature des fertilisants apportés sur la dynamique de la structure et les teneurs en carbone et en substances humiques pour un loam argileux Sainte-Rosalie. *Agrosol*, 20(1), 15-22.
63. Namkoong, W., Hwang, EY, Cheong, JG et Choi, JY (1999). Une évaluation comparative des paramètres de maturité pour le compostage des déchets alimentaires. *Science et utilisation du compost* , 7 (2), 55-62.
64. Nishanth, D., & Biswas, D. R. (2008). Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource technology*, 99(9), 3342-3353.

65. Miransari, M. (2011). Hyperaccumulateurs, champignons mycorhiziens arbusculaires et stress des métaux lourds. *Avancées de la biotechnologie* , 29 (6), 645-653.
66. Misra, R. V., Roy, R. N., & Hiraoka, H. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. *FAO. ed. Rome*.
67. Motisi, N. (2009). *Réguler les maladies d'origine tellurique par une culture intermédiaire de Brassicacées: mécanismes d'action et conditions d'expression dans une rotation betterave-blé* (Doctoral dissertation, AGROCAMPUS OUEST; Université européenne de Bretagne).
68. Mulaji Kyela, C. (2011). *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Gembloux, Belgique).
69. Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusceds, pp. 957, Paris.
70. N'Dayegamiye, A., & Drapeau, A. (2009). Influence de la nature des fertilisants apportés sur la dynamique de la structure et les teneurs en carbone et en substances humiques pour un loam argileux Sainte-Rosalie. *Agrosol*, 20(1), 15-22.
71. Namkoong, W., Hwang, EY, Cheong, JG et Choi, JY (1999). Une évaluation comparative des paramètres de maturité pour le compostage des déchets alimentaires. *Science et utilisation du compost* , 7 (2), 55-62.
72. Nishanth, D., & Biswas, D. R. (2008). Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource technology*, 99(9), 3342-3353.
73. Otieno, N., Lally, RD, Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, KJ et Dowling, DN (2015). Promotion de la croissance des plantes induite par des isolats endophytes de *Pseudomonas* solubilisant le phosphate. *Frontières en microbiologie* , 6 , 745.
74. Pane, C., Vilecco, D., Campanile, F., & Zaccardelli, M. (2012). Novel strains of *Bacillus*, isolated from compost and compost-amended soils, as biological control agents against soil-borne phytopathogenic fungi. *Biocontrol Science and Technology*, 22(12), 1373-1388.
75. Pernezny, K., Elliott, M., Palmateer, A., & Havranek, N. (2008). Lignes directrices pour l'identification et la gestion des problèmes de maladies des plantes : partie II. Diagnostiquer les maladies des plantes causées par des champignons, des bactéries et des virus. *EDIS* , 2008 (2).0
76. Perrin, R., & Sampangi, R. (1986). La fonte des semis en pépinière forestière. *European journal of forest pathology*, 16(5-6), 309-321.
77. Perucci, P. (1990). Effet de l'ajout de compost de déchets solides municipaux sur la biomasse microbienne et les activités enzymatiques dans le sol. *Biologie et fertilité des sols* , 10 (3), 221-226.
78. Postma, J., Montanari, M. et Van den Boogert, PH (2003). Enrichissement microbien pour améliorer l'activité suppressive des maladies du compost. *Revue européenne de biologie des sols* , 39 (3), 157-163.
79. Puglisi, SJ, Smyth, WF et Turpin, AH (2007). Une taxonomie des algorithmes de construction de tableaux de suffixes. *acm Computing Surveys (CSUR)* , 39 (2), 4-es.
80. Reyes, A. V., & Clague, J. J. (2004). Stratigraphic evidence for multiple Holocene advances of Lillooet Glacier, southern Coast mountains, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41(8), 903-918.
81. Riggs, D. S., Dancu, C. V., Gershuny, B. S., Greenberg, D., & Foa, E. B. (1992). Anger and post traumatic stress disorder in female crime victims. *Journal of Traumatic Stress*, 5(4), 613-625.

82. Perrin, R., & Sampangi, R. (1986). La fonte des semis en pépinière forestière. *European journal of forest pathology*, 16(5-6), 309-321.
83. Perucci, P. (1990). Effet de l'ajout de compost de déchets solides municipaux sur la biomasse microbienne et les activités enzymatiques dans le sol. *Biologie et fertilité des sols*, 10 (3), 221-226.
84. Postma, J., Montanari, M. et Van den Boogert, PH (2003). Enrichissement microbien pour améliorer l'activité suppressive des maladies du compost. *Revue européenne de biologie des sols*, 39 (3), 157-163.
85. Puglisi, SJ, Smyth, WF et Turpin, AH (2007). Une taxonomie des algorithmes de construction de tableaux de suffixes. *acm Computing Surveys (CSUR)*, 39 (2), 4-es.
86. Reyes, A. V., & Clague, J. J. (2004). Stratigraphic evidence for multiple Holocene advances of Lillooet Glacier, southern Coast mountains, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41(8), 903-918.
87. Riggs, D. S., Dancu, C. V., Gershuny, B. S., Greenberg, D., &Foa, E. B. (1992). Anger and post traumatic stress disorder in female crime victims. *Journal of Traumatic Stress*, 5(4), 613-625.
88. Robinson, DE, & Robinson, DE (2001). *Le nationalisme noir dans la politique et la pensée américaines*. La presse de l'Universite de Cambridge
89. Sall, P. M. (2014). Étude du compost et du lixiviat obtenus par cocompostage des résidus agroalimentaires à la ferme.
90. Serra-Wittling, C., Houot, S., &Barriuso, E. (1995). Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biology and Fertility of Soils*, 20(4), 226-236.
91. Soutrenon, A., & Perrin, R. (1988). *La fonte des semis. Enseignements des essais conduits en 1986 et 1987 en pépinières forestières*. *Revue Forestière Française*, (5), 393.
92. Talboys, PW (1972). Résistance aux champignons du flétrissement vasculaire. *Actes de la Royal Society de Londres. Série B. Sciences biologiques*, 181 (1064), 319-332.
93. Torres, M. (2010). *Les systèmes alternatifs de contrôle des pathogènes telluriques en maraîchage. Analyse des modalités techniques et évaluation des risques d'infestations en exploitations agricoles* (Doctoral dissertation, Institut Supérieur d'Agriculture et d'Agroalimentaire Rhône-Alpes (ISARA Lyon), Lyon, FRA).
94. 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* (Doctoral dissertation, Université de Limoges; Université de Lomé (Togo)).
95. Van Elsas, JD, & Postma, J. (2007). *Chapitre 10 Suppression des phytopathogènes du sol par le compost. Série sur la gestion des déchets*, 201-214.