



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ (BOU ARREKIDJ)

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ (BOU ARREKIDJ)

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : protection des végétaux

Thème

**Impact de la fertilisation chimique et biologique sur la
productivité et la santé des plantes.**

Présenté par : *BADJI Amel* et *SAHRAOUI Meriem*

Devant le jury :

Président :	M ^F	T. SAYAH	M.A.A. (Université de BBA)
Encadrant :	M ^F	D. MOUTASSEM	M.C.B. (Université de BBA)
Co-Encadrant :	M ^{eme}	S. ZIOUCHE	M.C.B. (Université de BBA)
Examineur :	M ^F	D. LAIB	M.A.A. (Université de BBA.)

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre Encadrant *M^r, MOUTASSEM Dahou* pour son suivi et pour son énorme soutien, qui n'a pas cessé de nous prodiguer tout au long de la période de ce travaille.

On tient à remercier également a notre Co-Encadrant *M^{eme} ZIOUCHE Sihem* pour le temps qu'elle a consacré et pour les précieuses informations qu'elle nous a prodiguées avec intérêt et compréhension

Que ce travail soit le témoignage de notre profond respect et de toute notre gratitude.

On tient à remercier le Président de jury *M^r T. SAYAH* ainsi que *M^r D. LAIB* l'Examineur de notre travail infiniment.

Ces remerciements s'adressent également à tous ceux, famille, amis ou relations qui nous ont soutenus par leur présence ou leurs conseils.

*D*édicace

Je tiens à dédier ce travail

*A l'être le plus chère de ma vie ma mère pour son
amour et ses encouragements*

A mon père

*A mes chères Frères Et sœur "Yousef, Ahmed et
AFAf"*

*A l'âme de Ma Grand-Mère, Dors en paix ton
souhait s'est accompli*

*J'apprécie spécialement M^{eme} ZIOUCHE et M^r,
MOUTASSEM pour leur aide et leurs conseils*

A toute ma famille

Cousins et cousines

A mes amis

Amel

*D*édicace

A ma chère mère, qui n'a ménagé aucun effort pour m'encourager durant mes longues études, son éducation, ses conseils précieux.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

Ma grande famille

Sahraoui et Benahcene

A mon oncle Zoubir aujourd'hui disparue

Tous les enseignants et enseignantes qui ont contribué à ma formation pendant les 5 années.

A toute notre promotion et mes amis.

A chacun et chacune a apporté sa touche d'encouragement et de soutien.

Que dieu leur accorde santé et prospérité.

Meriem

Résumé

Les plantes sont exposées à de nombreuses agressions biotique et abiotique qui provoquent à leur niveau des perturbations métaboliques graves et très souvent des pertes de rendements considérables. L'amélioration de la productivité et la santé des plantes commence par l'optimisation des conditions du sol en termes de ses propriétés nutritives. Il est très souhaitable de corriger les carences éventuelles par l'addition des amendements soit minérales soit organiques. La fertilisation chimique ou biologique est destinée à améliorer la qualité et la quantité des rendements. En plus, les régimes de fertilisation favorisant la santé des plantes et renforçant leur résistance vis-à-vis les bioagresseurs. Dans ce contexte, la fertilisation s'inscrit dans un champ de prospection de techniques innovantes pour minimiser le risque phytosanitaire. Les bio-fertilisation par les micro-organismes antagonistes jouent un rôle capital dans la lutte contre les phytopathogènes d'une part, ainsi que dans la régulation de la dynamique de la décomposition de la matière organique et de la disponibilité des éléments nutritifs pour la plantes d'autre part. Une fertilisation biologique par le compost combinée par des microorganismes antagonistes a montré des résultats très encourageants dans le domaine de la production et la protection des plantes par une stimulation des activités microbiennes, renforçant le phénomène de «suppression générale» des agents pathogènes ainsi que la stimulation de la nutrition des plantes.

Mot clés ; fertilisation chimique - bio-fertilisation - microorganismes - antagonistes.

ملخص

تتعرض النباتات للعديد من المواجهات منها الحيوية واللاحيوية التي تسبب اضطرابات أضراراً خطيرة وتراجع في قدرة الإنتاج. يبدأ تحسين الإنتاج وصحة النبات بتحسين ظروف التربة من حيث خصائصها الغذائية من المستحسن جداً تصحيح أي نقص عن طريق إضافة تعديلات معدنية أو عضوية. يهدف التسميد إلى تحسين جودة وكمية الإنتاج ومع ذلك، فإن أنظمة التسميد تحسن من صحة النباتات وتقوي مقاومتها للأفات والأمراض. في هذا السياق، يعتبر التسميد جزءاً من مجال التنقيب عن التقنيات المبتكرة لتقليل مخاطر الصحة النباتية. تلعب الأسمدة الحيوية التي تحتوي على الكائنات الدقيقة المضادة دوراً رئيسياً في مكافحة مسببات الأمراض النباتية من ناحية، وكذلك في تنظيم ديناميكيات تحلل المواد العضوية وتوافر العناصر الغذائية للنباتات من جهة أخرى. ومع ذلك، فإن نشاط المضادات المشاركة في مكافحة البيولوجية يتأثر بالمواد المغذية الموجودة في السماد العضوي أظهر الإخصاب البيولوجي عن طريق الكومبوست مع الكائنات الحية الدقيقة المضادة نتائج مشجعة للغاية في مجال إنتاج النباتات وحمايتها من خلال تحفيز الأنشطة الميكروبية، وتعزيز ظاهرة "المكافحة العامة" لمسببات الأمراض وكذلك تحفيز تغذية النبات.

Abstract

Plants are exposed to many severe attacks, including biotic and abiotic, which cause serious metabolic disorders and a decline in production capacity. Improving production and plant health begins with improving soil conditions in terms of its nutritional properties. It is highly recommended to correct any deficiencies by addition of mineral or organic amendments. Fertilization aims to improve the quality and quantity of production. However, fertilization systems favor plant health and reinforce their resistance to pests and diseases. In this context, fertilization is part of the field of exploration for innovative technologies to reduce health risks. Antimicrobials activity, play a major role in controlling plant pathogens on the one hand, as well as in regulating the dynamics of decomposition of organic matter and availability of nutrients to plants. However, the activity of the antagonists involved in biological control is affected by the nutrients present in the organic fertilizer. Biological fertilization by compost combined with antagonistic microorganisms has shown very encouraging results in the field of plant production and protection by improving microbial activities, reinforcing the phenomenon of "general suppression" of pathogenic agents as well as stimulating of plant nutrition.

TABLE DES MATIERES

Liste d'abréviation

Résumé

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

Chapitre I.

Fertilité des sols et fertilisation conséquences sur la production végétale

1. Besoins des plantes en éléments minéraux.....	2
2. Notion de la fertilité du sol	2
3. Problèmes des plantes liés aux carences	2
4. Fertilisation	4
4.1. Les différents types de fertilisation	4
4.1.1. Fertilisation organique	4
4.1.2. Fertilisation minérale	5
4.1.3. Biofertilisation	5
4.2. Les différents types des biofertilisants	6
4.2.1. Les Engrais	6
4.2.2. Les fumiers	6
4.2.3. Le composte	6

Chapitre II. Maladies des plantes et moyens de lutte

1. Impact des phytopathogènes la production végétale	7
2. Méthodes de lutte	7
2.1. Lutte chimique	7
2.2. Lutte biologique	8
2.2.1. Définition et importance de contrôle biologique	8
2.2.2. L'utilisation des microorganismes dans la lutte biologique	8
2.2.3. Les champignons antagonistes	9
2.2.4. Les Bactéries antagonistes	10

Chapitre III

Conséquence de la fertilisation sur la production et la santé des plantes

1. Effet des engrais minéraux sur la production et la santé des plantes	12
1.1. Importance de la fertilisation chimique minérale	12
1.2. Importance des éléments minéraux dans le système immunitaire de la plantes.....	13
1.3. Importance de la fertilisation azotée	14
1.4. Importance de la fertilisation phosphorée	15
1.5. Importance de la fertilisation potassique.....	16
1.6. Importance de la fertilisation par les micronutriments.....	17
2. Effet de la fertilisation organique sur la production et la santé des plantes	19
3. Rôle de fertilisation biologique dans la production agricole	19
3.1. Importance des biofertilisants dans le système immunitaire de la plante	20
3.2. Le composte comme un fond de lutte biologique	21
3.2.1. Perfectionnement des composts par des agents de lutte biologique	21
3.2.1.1. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la production végétale	22
3.2.1.2. Elimination des maladies chez les végétaux	23
Conclusion	26
Références bibliographiques	27

❖ Liste d'abréviation

- **(BCA)** agents de lutte biologique
- **(Foc)** *fusarium oxysporum cicer*
- **(MOS)** Les matières organiques du sol
- **(MO)** Matière organique
- **(NO)** Le monoxyde d'azote
- **(IPNS)** Système intégré de nutrition des plantes
- **(PGPR)** plant growth promoting rhizobacteria
- **(RSI)** la résistance systémique induite

Introduction

Quelle soit cultivée ou spontanée, une plante grandit et produit tant que le sol lui fournit suffisamment de nutriment. Malheureusement, lorsqu'une plante est atteinte d'un facteur biotique ou abiotique, sa croissance, sa fertilité et sa productivité sont affectées (Agrios, 2005). Les problèmes d'origine nutritionnelle liés principalement ou carences en éléments nutritifs sont qualifiés de stress abiotique. Ce facteur provoque des pertes de rendements très considérables. A cet effet, l'utilisation des engrais chimiques demeure une alternative pour une augmentation de la productivité agricole (Jean-Claude et Minten, 2003).

Les récentes préoccupations sur les effets néfastes de l'utilisation de plus en plus intense des engrais synthétisés sur l'environnement et le consommateur d'une part, leur inefficacité sur la fertilité des sols et leur prix élevés d'autre part ont rendu urgent la recherche d'une solution alternative pour minimiser les risques (Mouria et Allal, 2010). L'utilisation des fertilisants biologiques a été suggérée comme une alternative aux produits chimiques pour améliorer la productivité des plantes (Joshi *et al.*, 2009).

A l'opposé au stress abiotique, le stress biotique fait intervenir des microorganismes qualifiés d'agents pathogènes. Ces agents biologiques provoquent des dégâts très considérables sur la production des plantes qui peuvent atteindre des seuils intolérables. L'utilisation des pesticides chimiques reste jusqu'à ce jour le moyen le plus efficace pour combattre ces maladies malgré leur nocivité quant à l'environnement et le consommateur. L'utilisation des moyens de lutte biologique a connu un essor considérable durant les dernières années. Les agents de lutte biologique tels que *Trichoderma* et *Pseudomonas* spp. peuvent accorder un rôle majeur dans la détermination de l'activité antagoniste contre les phytopathogènes (Joshi *et al.*, 2009).

Il est bien établi que les éléments minéraux soit à l'état naturel ou synthétique peuvent affecter la relation plante hôte – pathogène (Dordas, 2008 ; Ghorbani *et al.*, 2008). En effet, les fertilisants chimiques, organiques et biologiques peuvent également affecter directement ou indirectement la population des phytopathogènes. Ces éléments affectant pareillement la physiologie des plantes et jouent un rôle déterminant dans la production des composés liés à la défense des plantes (Elmer et Datnoff, 2014). Ces pratiques de gestion peuvent être très efficaces pour lutter contre les maladies causées par de nombreux phytopathogènes (Hoitink et Fahy, 1986).

En effet, une bonne compréhension des interactions complexes entre les différents types de fertilisants, la population pathogène, la population des antagonistes et la population hôte peuvent contribuer à l'application de différentes méthodes de lutte et à l'incorporation dans une sélection dans un système intégré de lutte antiparasitaire, ce qui peut, par conséquent, réduire l'utilisation abusive de pesticides synthétiques. Dans ce cadre s'inscrit notre étude bibliographique qui contribue à la connaissance de l'impact de la fertilisation chimique et biologique sur la productivité et la santé des plantes.

Chapitre I

Fertilité des sols et fertilisation, conséquences sur la production végétale

1. Besoins des plantes en éléments minéraux

Les végétaux ont besoin pour croître et se développer de s'alimenter en divers éléments et composés chimiques (Chaussat *et al.*, 1974). Elle puise dans le sol les éléments minéraux et l'eau, nécessaires à sa croissance. Les principaux éléments nutritifs dont elle a besoin pour sa croissance sont l'azote, le phosphore et la potasse, désignés respectivement par leurs symboles chimiques : N, P, K. La plante puise également des éléments indispensables en plus petites quantités (calcium, magnésium, soufre) et des oligo-éléments en très petites quantités (fer, manganèse, zinc, cuivre, bore, molybdène). Les besoins de la plante dépendent globalement de l'activité métabolique, en particulier la photosynthèse qui permet la production de la matière organique. Une photosynthèse active, augmente tous les besoins et plus particulièrement en NPK, mais elle dépend aussi de l'utilisation des produits photosynthétiques, autrement dit le stade de développement (Abga, 2013; Benton et Jones, 2012).

2. Notion de la fertilité du sol

Le sol est un habitat hétérogène complexe pour une grande variété d'organismes qui jouent de nombreux rôles fonctionnels dans l'écosystème. Il est défini comme « la Formation naturelle superficielle, meuble, de l'écorce terrestre, résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants, de la roche mère sous-jacente, sous l'influence de processus physiques, chimiques et biologiques (Jones, 2012). La fertilité du sol est la qualité d'un sol qui lui permet de fournir en quantités et proportions d'éléments chimiques essentiels pour la croissance de la plante (Foth et Ellis, 1988; Subhash, 2014). Elle se concentre sur un apport adéquat et équilibré d'éléments nutritifs pour satisfaire les besoins des plantes (Foth et Ellis, 1988). Les principes de base de la fertilité du sol sont fondés sur la connaissance des propriétés physicochimiques d'un sol et de la manière dont ces propriétés affectent la croissance des plantes. Ces propriétés, peuvent être modifiées par la manipulation du sol, y compris à la fois par des procédures physiques et par l'application de substances chimiques ou biologiques (Benton et Jones, 2012).

3. Problèmes des plantes liés aux carences

Tous les éléments minéraux indispensables à la plante jouent un rôle important dans son développement ; bien qu'une carence de l'un d'entre eux soit en mesure de freiner ou stopper la croissance de la plante. Une carence c'est l'insuffisance dans la plante d'un élément indispensable à sa vie, qui se traduit par des perturbations anatomiques et physiologiques. La carence en éléments entraîne des anomalies de croissance, conséquence direct du déficit de sa présence, de son immobilisation sous une forme insoluble, ou encore d'effet antagoniste d'autres composés.

Ces interactions entre ions peuvent affecter l'absorption des éléments du sol un iso, non essentiel peut être absorbé en lieu et place d'un autre ion essentiel (Lepoivre, 2013)

Avec les maladies, les carences sont souvent synonymes d'un déséquilibre. Lorsque les symptômes de carences sont visibles, l'état de sous-nutrition de la plante est déjà avancé. Il convient dans ce cas de procéder à l'application d'un anti-carenciel, en foliaire ou au sol. Cette action est curative et ne s'inscrit pas dans le temps ; pratiquer une fertilisation efficace aura une action préventive. Ainsi, et pour assurer le développement et la productivité des cultures, une fertilisation adaptée assurera une nutrition optimale pour éviter des carences potentielles. Il existe deux types de carences. Dans les deux cas, une carence impacte directement le rendement et la qualité de la récolte (Chaussat *et al.*, 1974).

- **Les carences vraies** : conséquences d'une déficience en un élément nutritif dans le sol, qui n'est donc pas disponible pour la plante
- **Les carences induites** : les éléments nutritifs sont disponibles mais leur assimilation par la plante est impossible. Elles sont souvent dues au pH, à des antagonismes, à des structures ou textures de sols particulières ou à certaines conditions climatiques (Chaussat *et al.*, 1974).

En cas d'une carence en azote, dans un premier stade, on observe un début de décoloration de l'ensemble du système foliaire qui ne possède plus le vert franc caractéristique d'un bon équilibre nutritionnel. Dans un stade plus avancé, le feuillage devient vert pâle et même jaunâtre. Les symptômes les plus caractéristiques s'observent sur les feuilles âgées. Le P est relativement mobile dans les plantes et peut être transféré vers des sites de nouvelle croissance, provoquant l'apparition de symptômes de coloration foncée à bleu-vert sur les vieilles feuilles de certaines plantes. En cas de carence sévère, un pourpre des feuilles et des tiges peut apparaître. Le manque de phosphore peut entraîner un retard de maturité et un mauvais développement des fruits (Uchida, 2000).

Une déficience en potassium se traduit par l'apparition de symptômes de carence sur les différents organes de l'arbre. Les feuilles vont jaunir à partir du bord entraînant une nécrose des bordures et leur enroulement chez certaines espèces fruitières comme le pêcher et l'amandier. Les fruits mûrissent mal, restent petits, avec une réduction de la coloration et une diminution de la qualité et de la durée de conservation (Amtmann *et al.*, 2008).

4. Fertilisation

L'objectif principal de la fertilisation est d'ajuster les apports aux besoins de la plante, en fonction son stade de développement, afin d'obtenir un rendement important quantitativement et qualitativement, et d'assurer la rentabilité économique des cultures (Ben Mimoun, 2002). En ef-

fet, la fertilisation est l'une des pratiques de gestion qui ont un grand impact sur le sol et la santé des cultures (Baldi *et al.*, 2015).

La fertilisation du sol peut se faire en ajoutant des formes nutritives organiques ou inorganiques. L'utilisation d'engrais chimiques et organiques a ses propres avantages et inconvénients dans le contexte de l'approvisionnement en éléments nutritifs, de la productivité des cultures et de l'impact sur l'environnement (Kaur, 2016). Bien que, les prérogatives de la fertilisation doivent être intégrés pour utiliser au mieux chaque type d'engrais et parvenir à une gestion équilibrée des nutriments pour la croissance des cultures (Jen-Hshuan, 2006).

La fertilisation consiste alors à restituer au sol ce qu'il a perdu suite aux exportations minérales par les plantes. Les techniques de fertilisation ne se limitent pas aux apports de fumures. Elles visent également à améliorer la structure du sol par un bon drainage, une irrigation bien conduite, des travaux de sol bien conduits appropriés et effectués dans de bonnes conditions d'humidité du sol (Baldi *et al.*, 2015).

4.1. Les différents types de fertilisation

4.1.1. Fertilisation organique

Les matières organiques jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physicochimiques et biologiques, qui ont des conséquences majeures sur la fertilité des sols (Gérald *et al.*, 2011). La matière organique (MOS) constitue un facteur essentiel à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, afin d'assurer une bonne nutrition et une bonne croissance végétative (Abga, 2013). Elle est constituée essentiellement par la décomposition de la matière fraîche des végétaux et des microorganismes (Thi-Phuong, 2014). Les principales composantes de la MO du sol sont : la fraction légère du sol, le carbone organique du sol, et l'azote total du sol (Gregorich *et al.*, 2008). La fertilisation organiques du sol indiquent généralement un ensemble de fertilisants d'origines naturelles ou biologiques, particulièrement issus des végétaux et du compostage des déchets, mais aussi parfois des déjections animales, qui, mélangés avec le sol, afin d'améliorer ces propriétés physicochimiques et biologiques (Francou, 2004).

4.1.2. Fertilisation minérale

Les plantes ont besoin essentiellement en quantités importantes d'azote, de phosphore et de potassium pour accomplir leur cycle de croissance, ce qui rend indispensable le réapprovision-

nement périodique des réserves du sol en ces éléments afin de maintenir une bonne productivité (Mouria *et al.*, 2010).

Les engrais minéraux sont des substances d'origine minérale. Certains, sont produits par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. Cependant, la plupart des engrais minéraux sont fabriqués par l'industrie chimique d'où leurs nom d'engrais chimiques. En effet, les besoins en éléments minéraux sont différents selon le stade de développement de la culture : la fertilisation (matières organiques complétées par les engrais minéraux) doit être apportée au bon moment et en quantité suffisante (Deblay *et* Charonnat, 2006). L'utilisation des engrais chimiques demeure une alternative pour une augmentation de la productivité agricole (Jean-Claude *et* Minten, 2003). Ces produits inorganiques sont essentiels pour une production agricole réussie, corrigeant les insuffisances de la fertilité du sol et fournissant des éléments nutritifs essentiels aux plantes (Benton *et* Jones, 2012). Ils permettent aux jeunes plantes de croître dans des bonnes conditions.

Des apports trop élevés entraînent des risques d'accidents végétatifs et des pollutions de l'environnement (Chabalier, *et al.*, 2004). Le raisonnement de la fertilisation repose sur quatre critères : les exigences de la culture, la teneur du sol en N, P et en K, le passé de fertilisation et le devenir des résidus de la récolte précédente (Deblay *et* Charonnat, 2006). La prise en compte de ces critères permet d'effectuer le calcul des doses d'engrais à apporter.

4.1.3. Biofertilisation

Les biofertilisants ou les fertilisants biologique sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches efficaces de micro-organismes qui aident les plantes cultivées à absorber les nutriments par leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'elles sont appliquées à travers les semences ou le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol et augmentent l'étendue de la disponibilité des nutriments sous des formes facilement assimilables par les plantes (anonym, 2008). Les biofertilisants contient des micro-organismes vivants qui colonisent la rhizosphère et augmentent la disponibilité de nutriments et / ou stimulent la croissance des plantes. Ils ont un grand potentiel en tant que sources supplémentaires, renouvelables et respectueuses des nutriments des plantes. Les biofertilisants constituent des éléments importants dans la gestion intégrée de nutrition des plantes (Kaur, 2016).

4.2. Les différents types des biofertilisants

4.2.1. Les Engrais

L'engrais est toute matière naturelle ou manufacturée, sèche ou liquide, ajoutée au sol afin d'apporter un ou plusieurs nutriments végétaux (Subhash, 2014). Ces produits contenant un

ou plusieurs éléments végétaux essentiels qui, lorsqu'ils sont ajoutés à un système sol / plante, facilitent la croissance des plantes et / ou augmentent la productivité en fournissant des éléments essentiels supplémentaires à l'usage des plantes (Benton et Jones, 2012).

4.2.2. Les fumiers

Le fumier est une excellente source de nutriments pour les plantes, car la plupart de ce que mangent les animaux provient des plantes, et la plupart de ce que mangent les animaux passe dans les excréments. Les propriétés physicochimiques et biologiques du fumier font un amendement du sol vraiment incroyable (Mark, 2015). Selon Gérald *et al.*, (2011) les fumiers stimulent en quantité et en activité la biomasse du sol et augmentent la minéralisation de l'azote. En effet, l'activité des micro-organismes (mesure de l'activité enzymatique) et le niveau de minéralisation de l'azote sont favorisés. Les effets s'expriment sur une courte durée (1 année culturale). Dans ce cas ces derniers influent moins sur le stock en carbone organique du sol (Gérald *et al.*, 2011).

4.2.3. Le composte

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques biodégradables, d'origine végétale et/ou animale, sous l'action de populations microbiennes diversifiées (Mark, 2015). Les compostes sont principalement utilisés en agriculture pour augmenter ou maintenir la concentration de matière organique du sol. Leur comportement après incorporation au sol dépend de la stabilité de leur matière organique (OM) (Francou, 2004). Shafawati et Siddiquee (2013), ont défini le composte comme un bioprocédé interdépendant de la transformation de la matière organique en produits utiles par la décomposition de la matière organique par l'action de divers organismes ; micro et macroorganisme réunissant la récupération, le recyclage, le traitement et l'élimination des déchets d'origine naturelle.

L'utilisation des composts en agriculture biologique est possible, lorsque les besoins sont reconnus par l'organisme de contrôle. Les composts d'effluents d'élevage (sauf l'élevage hors-sol), de déchets verts et de biodéchets peuvent être utilisés en agriculture biologique. Cependant, ces derniers doivent avoir des teneurs très faibles en métaux (Francou, 2004). Les composts peuvent être utilisés comme un milieu de culture pour produire des plants de haute qualité, augmentant ainsi le succès des cultures après la transplantation (Ros *et al.*, 2017).

Traditionnellement, les matières à composter sont regroupées en deux catégories distinctes : les déchets verts et les déchets bruns. Les déchets verts sont généralement utilisés pour décrire les déchets alimentaires et les déchets de jardin de couleur verte. Les déchets bruns sont utilisés pour décrire les déchets de jardin de couleur brune. Lors de la fabrication du compost, il est essentiel d'avoir un mélange approprié de ces deux types de déchets pour éviter les com-

mandes de maïs et produire un compost de la meilleure qualité (Francou, 2004). Ces déchets sont maintenant devenus une ressource grâce au développement de processus de compostage rentables et de systèmes efficaces de récupération d'énergie (Larbi, 2006).

Les composts sont essentiellement utilisés en agriculture, mais également pour la re-végétalisation des sites, ou comme support de culture (Francou, 2004). Donc ils doivent être de qualité pour être utilisés avec succès dans la lutte biologique contre les maladies des cultures (Hoitink et Fahy, 1986). Un apport raisonné de compost de déchets verts permet le maintien de la matière organique du sol (Francou, 2004).

Chapitre II

Maladies des plantes et moyens de lutte

1. Impact des phytopathogènes la production végétale

Le stress biotique affectant les plantes cultivées comprend les maladies causées par les pathogènes des plantes, les blessures causées par les insectes nuisibles et les mauvaises herbes. Toutes les plantes cultivées sont soumises à des maladies aussi bien avant et après la récolte ; les principaux agents pathogènes étant ; les virus, les champignons, les bactéries et les nématodes (Gherou, 2002). Malgré les importants moyens de lutte actuellement utilisées, les maladies des plantes entraînent toujours des pertes considérables de production qui varient selon le type de culture, l'intensité et la méthode de lutte utilisée (Brighen *et al*, 2017). En estime que 10 à 15% de la production potentielle mondiale est perdu suite aux maladies de plantes (Abdel-Salam *et al.*, 2007).

2. Méthodes de lutte

La lutte contre les maladies des plantes est basée sur différentes méthodes. La plupart de ces méthodes est orientée pour protéger les plantes saines des maladies plutôt que de guérir les plantes malades. Pour empêcher ou limiter les dégâts causés par les pathogènes sur les cultures, différentes approches sont disponibles. Les mesures utilisées peuvent être classées comme des méthodes biologiques, physiques, mécaniques et chimiques. Toutes ces techniques sont appliquées pour exclure les pathogènes des plantes, éradiquer ou réduire les inoculas des pathogènes, immuniser ou améliorer la résistance des plantes contre ces pathogènes (Nasroaui, 2006).

2.1. Lutte chimique

Le recours aux intrants chimiques est devenu indispensable en raison de leur contribution dans l'augmentation et l'amélioration des productions agricoles (Boukerma, 2012). Cependant, la plupart de ces molécules sont hautement toxiques et difficilement biodégradables. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement (Bordjiba, 2009). Les pesticides possèdent des effets nocifs sur la santé humaine et autres organismes non ciblés, y compris les formes de vie bénéfiques. D'où une inquiétude croissante concernant la toxicité et le potentiel de bioamplification de ces produits chimiques agriculture (Abdel-Salam *et al.*, 2007). Pour faire face à ces problèmes, ces limitations et pour une exploitation durable des agrosystèmes, des solutions alternatives sont recherchées (Bordjiba., 2009).

2.2. Lutte biologique

2.2.1. Définition et importance de contrôle biologique

La lutte biologique est l'utilisation d'organismes vivants pour diminuer la densité de la population ou l'impact d'un organisme nuisible, le rendant moins abondant ou moins nuisible. La principale différence entre le contrôle biologique et d'autres méthodes de contrôle est l'utilisation des organismes biologiques, qui ont plusieurs modes d'action et préviennent ainsi le risque d'apparition de la résistance aux pesticides dans la population cible (Alabouvette *et al.*, 2009).

En pathologie végétale, le terme s'applique à l'utilisation d'antagonistes microbiens pour supprimer les maladies ainsi que l'utilisation d'agents pathogènes non spécifiques à l'hôte pour contrôler les populations pathogènes. Dans les deux domaines, l'organisme qui supprime le ravageur ou l'agent pathogène est appelé agent de lutte biologique (BCA) (Pal et Gardener, 2006)

L'utilisation de micro-organismes antagonistes contre les agents pathogènes des plantes est une méthode intéressante, écologique et alternative à l'utilisation de pesticides chimiques (Evangelista-Martínez, 2014). Des antagonistes spécifiques de la rhizosphère peuvent induire la résistance systémique chez les plantes et assurer le contrôle des maladies (Mouria *et al.*, 2013). Ces micro-organismes peuvent fournir des avantages aux plantes hôtes en améliorant l'activité physiologique de la plante par plusieurs modes d'action. Ces agents peuvent donc servir comme agents de lutte biologique et/ou des promoteurs de la croissance des plantes (Shimizu *et al.*, 2009).

Les activités de lutte biologique de nombreux micro-organismes sont considérées comme des avantages lorsqu'elles agissent comme un stimulant de la nutrition des plantes (Shafawati et Siddiquee, 2013). Donc, la protection biologique joue un rôle important de point de vue économique, écologique et la gestion durable des ressources naturelles (Scherwinski *et al.*, 2007)

2.2.2. L'utilisation des microorganismes dans la lutte biologique

La lutte biologique contre les phytopathogènes par des micro-organismes antagonistes est un moyen potentiel non chimique de lutte contre les maladies des plantes (Abdel-Salam *et al.*, 2007). Les micro-organismes rhizosphériques sont indispensables pour une utilisation en tant qu'agents de lutte biologique (Weller, 1988).

Ce type de contrôle est basé sur cinq principaux mécanismes d'action contre les phytopathogènes à savoir ; la compétition, l'antibiose, le parasitisme et la prédation et l'induction de la résistance systémique. Par ailleurs, les activités des agents de contrôle biologique dans le contexte des communautés microbiennes ont postulé les mécanismes biologiques suivants de contrôle des maladies (Hoitink et boehm, 1999):

- ✚ Un parasitisme réussi contre les agents pathogènes par des micro-organismes antagonistes.
- ✚ La production des antibiotiques.

- ✚ Une concurrence réussie pour l'espace et les nutriments.
- ✚ L'activation de gènes de résistance aux maladies dans les plantes.

2.2.3. Les champignons antagonistes

Les espèces de *Trichoderma* sont connus pour être des agents de lutte biologique très efficaces en raison de sa capacité de multiplication élevée, de sa capacité à survivre dans des conditions très défavorables, de son efficacité dans l'utilisation des nutriments, de sa capacité à modifier la rhizosphère, de sa forte agressivité contre les champignons phytopathogènes et surtout de son efficacité dans la promotion des mécanismes de croissance et de défense des plantes (Rajesh *et al.*, 2016).

L'activité antagoniste de *Trichoderma sp.* pourrait être liée à leur capacité à agir comme un biocontrôle contre les phytopathogènes fongiques soit directement par, la concurrence pour les nutriments et l'espace, modification des conditions environnementales, l'antibiose (sécrétion des enzymes lytiques et des métabolites secondaires), ou par des mécanismes de mycoparasitisme et indirectement en favorisant la croissance et les mécanismes de défense des plantes (Moutassem *et al.*, 2020). On considère que le mycoparasitisme est l'un des principaux mécanismes impliqués dans l'antagonisme de *Trichoderma sp* en tant qu'agent de lutte biologique.

Certains souches de *Trichoderma spp* ont été largement utilisées comme agents de lutte biologique (BCA) et peuvent réduire la gravité des maladies des plantes en inhibant les agents pathogènes des plantes grâce à leur activité antagoniste et mycoparasitaire très puissante (Ros *et al.*, 2017). Ces champignons ont été largement appelés pour leur effet antagoniste contre un large spectre de pathogènes aussi bien telluriques que foliaires à savoir : *Pythium ultimum*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahlia* et *Chondrosterum purpureum* (Ilham *et al.*, 2018). Le pouvoir antifongique des *Trichoderma sp* et aussi marqué contre *Rhizoctonia solani* qui engendre de sérieuses pertes économiques dues à l'altération de la qualité marchande des tubercules de pomme de terre. L'espèce *T. harzianum* a été notée comme agent efficace pour lutter contre la moisissure grise causée par *B. cinerea* chez la fraise (Balaji, 2019).

Plusieurs études scientifiques ont été publiées concernant l'effet antagoniste de genre *Penicillium* ont montré des résultats fiables et encourageants contre les phytopathogènes, qui permet à les prendre en considération dans le domaine de la lutte biologique. Les études de Balaji, (2019), ont montré un effet antagonisme très élevé de genre *Penicillium spp* contre l'agent pathogène *Sclerotium rolfsii*. Ces travaux ont constaté la réduction du nombre de sclérotés dans le sol à une profondeur de 30 cm et entraînent par la suite une diminution de l'incidence de la brûlure méridionale sur la tomate. Dans le même ordre des idées, les deux espèces *Penicillium roqueforti* et *Penicillium viridicatum* ont montré des effets antagonistes très élevés sur la crois-

sance mycélienne d'*Aspergillus niger* l'agent pathogène de la pourriture noire de l'oignon (Khokhar *et al.*, 2012). Ces deux espèces ont fortement inhibé la croissance d'*A. Niger* avec des pourcentages supérieurs à 80%. De Cal *et al.*, (2000) a réalisé une étude qui compter sur l'application d'un traitement avec des conidies de *P. oxalicum* induit une résistance systémique au *F. oxysporum f. sp. lycopersici*.

2.2.4. Les Bactéries antagonistes

Dans le temps moderne, le genre *Pseudomonas sp* a provoqué un intérêt particulière en tant qu'agent de lutte biologique potentiel contre plusieurs phytopathogènes (Upadhyay *et* Jayaswal, 1992). L'application de ces espèces en tant qu'agent de lutte biologique a attirée une grande attention en raison de la production de métabolites secondaires tels que les sidérophores, les antibiotiques, les composés volatils, le HCN, les enzymes et les phytohormones (Showkat, 2012). Ce processus se concentre sur la nature et les modes d'action de ces métabolites secondaires qui agissent de différentes manières pour réduire l'impact des phytopathogènes (Nandi, 2016). La forte capacité de croissance des plantes traitées avec les différentes espèces de *Pseudomonas spp* a été prouvée dans plusieurs études (Scherwinski *et al.*, 2007).

Ces bactéries peuvent prévenir les dégâts provoqués par les agents pathogènes telluriques par divers mécanismes ; tels que la production des sidérophores qui inhibent les phytopathogènes par la compétition pour le fer, les antibiotiques qui suppriment les micro-organismes concurrents et les chitinases et glucanases qui lysent les cellules microbiennes (van Loon *et al.*, 1998). L'antibiotique pyrrolnitrine, produit par *Pseudomonas cepacia* a réduit significativement la croissance *in vitro* et la germination des conidies de *P. expansum* et *B. cinerea* les agents pathogènes des agrumes. Upadhyay et Jayaswal, (1992) ont observé que les bactéries antagonistes sont capables de réduire fortement la croissance mycélienne et la formation des conidies en induisant une déformation fréquente du mycélium et des conidiophores des phytopathogènes testés. Selon Duijff *et al.*, (1999), les activités antagonistes de *Pseudomonas ssp* dans la suppression de flétrissement vasculaire pourrait être exprimée par la réduction de la croissance mycélienne du pathogène par la compétition du carbone et du fer.

En effet, les études effectuées par Upadhyay et Jayaswal, (1992) ont suggéré que l'espèce *Pseudomonas cepacia* inhibe la croissance des champignons phytopathogènes, lyse les conidies fongiques et produit également des antibiotiques et des sidérophores. Ces bactéries ont été largement étudiées car elles sont responsables de la suppression de certains maladies telluriques du blé causée par *Gaeumannomyces graminis var. tritici*, le flétrissement vasculaire de la tomate causé par *Fusarium sp* , et la fonte des semis de betterave sucrière causée par *Pythium ultimum* et

d'autre agent phytopathogène notamment *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* (Showkat, 2012).

Les actinomycètes du genre *Streptomyces* sont bien connus pour leur capacité antagoniste une grande variété de phytopathogènes fongiques. Les membres de ce groupe sont connus pour leur capacité à produire des enzymes qui dégradent la paroi cellulaire, telles que les cellulases, les hémicellulases, les chitinases et les glucanases (Shekhar *et al.*, 2006).

En effet, les espèces de *Streptomyces* à forte activité antifongique ont été utilisées avec succès pour contrôler les agents pathogènes telluriques et aériennes de divers espèces végétales (Gil-Jae, 2005; Shimizu *et al.*, 2009). Dans le but de montrer l'effet antagoniste de *Streptomyces* spp une étude a été réalisée par Zarandi *et al.* (2009) en utilisant l'espèce *Streptomyces sindensis* contre *Magnaporthe oryzae*, l'agent causal de la maladie de l'explosion du riz. Cette espèce a entraîné une forte inhibition de l'agent pathogène et de suppression des symptômes foliaires.

Selon Gil-Jae, (2005) *Streptomyces halstedii* a fortement diminuée le croissance de *Phytophthora capsici*, agent de la brûlure provoquée par *phytophthora* de poivrons rouges par un gonflement, une dégradation et une lyse anormale des mycéliums. La même espèce a aussi affectée la croissance de divers phytopathogènes fongiques à savoir : *Alternaria alternata*, *C. gloeosporioides*, *F. oxysporum* et *Stemphylium lycopersici*. L'espèce *Streptomyces* sp. a montré un effet suppressif très prononcé de la sévérité de l'antracnose (Shimizu *et al.*, 2009), et la fonte des semis de la tomate causée par *Rhizoctonia solani* (Sabaratnam *et* Traquair, 2002).

Différentes espèces de *Bacillus* spp sont ubiquitaires en tant que micro-organismes surs dans l'environnement avec une excellente aptitudes de colonisation éprouvées, une polyvalence pour protéger efficacement les plantes contre les phytophthogènes et une capacité exceptionnelle de sporulation (Arrebola *et al.*, 2010). Ce processus fait de ces bactéries les meilleurs candidats pour développer des produits biopesticides efficaces. De plus, elles produisent des spores résistantes à la lumière UV et à la chaleur, ce qui leur permet de résister à des conditions environnementales défavorables et permet une formulation facile à des fins commerciales (Ji *et al.*, 2013).

L'effet antagoniste de ces espèces bactériennes est causé par la production des antibiotiques et des sidérophores. Autrement, ils sont capables d'induire des réponses de croissance et de défense chez la plante hôte (Ji *et al.*, 2013). Ce genre bactérien qui possèdent une action antagoniste contre une large gamme d'espèces fongiques (Chen *et al.*, 2004). L'activité antibactérienne du *Bacillus* sp a été démontrée *in vitro* et *in vivo* contre *E. carotovora* et *E. carotovora* les agents responsables de la jambe noire et de la pourriture molle des tubercules de la pomme de terre. Des essais ont été réalisés par Sharga (1997) sur l'effet antagoniste de *Bacillus* sp contre *Botrytis cinerea* et *Botrytis fabae* agents de la tache brune la fève ont montré une inhibition à

distance due à la diffusion de substances antifongiques par quatre espèces de *Baclus* à savoir: *B. macerans*, *B. polymyxa*, et *B. populi*. Leur effet inhibiteur a été démontré aussi contre *Agrobacterium tumefaciens*, *Streptomyces scabies*, *Xanthomonas campestris*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum* et *Rhizoctonia solani* (Ilham *et al.*, 2018).

Chapitre III

Conséquence de la fertilisation sur la production et la santé des plantes

1. Effet des engrais minéraux sur la production et la santé des plantes

1.1. Importance de la fertilisation chimique minérale

La croissance et le rendement d'une plante sont déterminés par la disponibilité de certains nutriments minéraux spécifiques absolument indispensable pour l'achèvement de leur cycle de vie. C'est pourquoi, l'application de ces nutriments essentiels aux plantes sous forme d'engrais chimiques fait partie des pratiques de l'agriculture intensive (Shaharoon et al., 2008). L'utilisation des engrais, permet de corriger les déficiences naturelles du sol, de maintenir un teneur correct des principaux éléments et d'améliorer la productivité des cultures (Deblay et Charonnat, 2006).

Les nutriments minéraux, dans de nombreuses situations, sont les premiers promoteurs de défense contre les maladies des plantes (Huber et al, 2007). Une fertilisation équilibrée améliore également la résistance des cultures aux maladies, aux ravageurs et à la concurrence avec les mauvaises herbes. Dans ce cadre, la disponibilité en éléments minéraux agissent sur trois niveaux dans la relation hôte-pathogène (Reuveni et al, 1998) :

- Les nutriments ont un effet sur la croissance et le développement de la plante, par conséquent sur la manière dont elles interagissent avec son environnement et celui du pathogène.
- La distribution quantitative et qualitative des molécules susceptibles d'être utilisées par le pathogène (effets directs sur la multiplication, développement et la survie des pathogènes).
- La de la plante à la mise en œuvre des mécanismes de défense constitutifs ou induits.
- L'établissement de l'infectivité du pathogène et sa propagation au sein de la plante, par l'influence des éléments sur les réponses de défense des plantes.

La nutrition chez la plante détermine dans une large mesure la structure histologique ou morphologique, la virulence ou la capacité des agents pathogènes à survivre et aussi sa résistance ou sa sensibilité aux maladies. Les agents pathogènes peuvent également influencer la perméabilité de la membrane et la mobilisation des nutriments vers les sites infectés, ce qui peut induire une carence en nutriments ou une toxicité. L'agent pathogène de Cotton *Fusarium oxysporum f. vasifectum* peut augmenter la concentration de P, mais aussi diminuer la concentration de N, K, Ca et Mg dans les feuilles. En outre, les deux pathogènes biotrophe de blé *Puccinia graminis* et *Erysiphe graminis*, lorsqu'il y a un apport élevé en N, la gravité de l'infection augmente. En revanche, lorsque la maladie est causée par des parasites facultatifs, tels que l'*Alternaria*, *Fusarium* et *Xanthomonas spp.*, un apport élevé en N diminue la gravité de l'infection.

La forme et le type d'engrais sont des éléments prépondérants dans la production et la protection des plantes. Le taux élevé en NO_3 , diminue significativement les maladies causées par *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* et *Pythium spp.* En revanche, le taux élevé de NH_4 , peut réduire l'intensité de plusieurs maladies infectieuses de parasites obligatoires et facultatifs provoquées par *Pyricularia*, *Thielaviopsis*, et *Sclerotium* (Huber and Graham, 1999).

Pour que la fertilisation soit efficace, il faut notamment éviter la sur-fertilisation. Une culture qui reçoit des apports azotés excessifs peut être plus sensible à la maladie que d'autres qui ne sont pas sur-fertilisées (Nicolas *et al.*, 2001). L'utilisation aveugle d'engrais chimiques peut entraîner un déséquilibre nutritionnel dans les cultures, en particulier en ce qui concerne les éléments secondaires et les micronutriments. Cette pratique peut également avoir un effet négatif sur les propriétés physico-chimiques du sol (Yasmin, 2009). L'utilisation de plus en plus intense des engrais chimiques, tel que le cuivre ne permet pas de compenser la perte de fertilité du sol et soutient pareillement le développement des pathogènes.

1.3. Importance des éléments minéraux dans le système immunitaire de la plantes

Les agents pathogènes ont élaboré toute une gamme de stratégies offensives pour parasiter les plantes et en contrepartie, les plantes ont déployé un arsenal défensif similaire (Benhamou et Picard, 1999). La résistance de l'hôte aux maladies est sa capacité de limiter la pénétration, le développement et la reproduction des agents pathogènes (Graham et Webb, 1991). D'autre part, la tolérance de l'hôte est mesurée en fonction de sa capacité à maintenir sa propre croissance ou sa propre rendement malgré l'infection (Dordas, 2008).

En effet, les nutriments minéraux sont les composants qui contrôlent l'activité métabolique associée à la résistance d'une plante et à la virulence d'un agent pathogène. Toutefois, les plantes produisent des composés antimicrobiens préformés et ont des mécanismes de réponse actifs où les phytoalexines inhibitrices, les phénols, les flavonoïdes et d'autres composés de défense s'accumulent autour des sites d'infection des plantes résistantes, si les nutriments nécessaires à la synthèse ou à l'induction de ces composés sont appropriés (Huber et Haneklaus, 2007).

La fertilisation minérale azotée, influence l'expression de la résistance des plantes. En effet, le NO également impliqué dans les réponses aux stress biotiques, comme des infections par des bactéries ou des champignons, et abiotiques, tels que les stress osmotiques, salins ou l'exposition aux métaux lourds (Astier, 2011). Le monoxyde d'azote (NO) est un médiateur physiolo-

gique associé à divers processus chez les plantes, dont l'immunité (Koen *et al.*, 2013). Le NO est donc un acteur des voies de signalisation cellulaire activées en réponse à la reconnaissance par les plantes d'agresseurs extérieurs (Koen *et al.*, 2013)..

L'une des premières réponses observées lors d'une infection par un agent pathogène est le changement de la perméabilité membranaire et le changement de la composition ionique du cytosol (Garcia-Brugger *et al.*, 2006). Les modifications de concentration ionique se traduisent par une entrée importante des ions calcium (Ca^{2+}) et des ions hydrogène (H^+) (alcalinisation du milieu extérieur) et une sortie massive des ions potassium (K^+), chlore (Cl^-) et sodium (Na^+) (Wendehenne *et al.*, 2002; Balague *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2008).

Les plantes résistantes présentent une augmentation de la teneur cellulaire en Ca^{2+} , ce qui n'est pas observé dans le cas des plantes sensibles (Xu et Heath, 1998). Des canaux calciques membranaires impliqués dans le processus de signalisation ont été caractérisés chez la tomate, le persil et chez *Arabidopsis* (Gelli *et al.*, 1997; Katz *et al.*, 2002; Ma *et al.*, 2008).

Le traitement de cellules de persil avec l'éliciteur pep13 induit un efflux de K^+ et Cl^- lié à un influx de Ca^{2+} et de H^+ (Nurnberger *et al.*, 1994). Des études menées sur des cultures cellulaires de tabac ont permis de démontrer que le traitement par la protéine cryptogène de *Phytophthora cryptogea*, éliciteur qui provoque l'HR, induit des efflux de Cl^- et de Na^+ (Wendehenne *et al.*, 2002).

1.4. Importance de la fertilisation azotée

L'azote a fait l'objet de nombreuses études approfondies sur sa relation avec la nutrition et la sévérité des maladies des plantes pendant de nombreuses années (Huber & Watson, 1974). Les résultats relatifs à l'effet de N obtenus par Hoffland *et al.* (2000) ; Walters et Bingham (2007), montrent qu'il y a en général, une diminution de la croissance mycélienne et une augmentation du nombre de conidies produites en présence de concentrations plus élevées en N. Le contrôle de la maladie en raison de la résistance modifiée de l'hôte suite à une fertilisation azotée peut résulter d'une diminution des pénétrations ou d'un retard de la pathogénèse après la pénétration.

Rojas *et al.* (2014) ont rapporté que la source d'azote induit l'accumulation des acides aminés, qui à son tour peuvent affecter l'activation des mécanismes des défenses de la plante. Lorsque la source azotée est de l'ammonium, les espèces fongiques *Fusarium sp.*, n'arrivent pas à pénétrer la membrane, ce qui s'explique par la répression de facteur de virulence provoquée par l'ammonium (Thalineau, 2017). Le pathogène *Aphanomyces euteiches* provoque une grave pourriture des racines des pois dans des conditions fraîches et humides ou dans un sol mal drainé

et compacté. La pourriture racinaires provoquée par *A. euteiches* est fortement réduite suite à une utilisation des engrais azotée de la formule NOa-N (Huber et Watson, 1974)

D'autre part, les travaux de Brennan, (1992) ont suggéré que l'engrais azoté permet aux racines des plants de blé d'échapper à l'infection en augmentant la production de racines nodales. De même Huber et Watson, (1974) ont suggéré que l'azote influence la résistance des plantes hôtes en réduisant la fréquence des pénétrations réussies de *Gaeumannomyces graminis var.tritici*. Cependant, le nitrate de sodium a eu peu d'effet sur le piétin-échaudage, ce qui suggère que la forme de l'azote était le facteur le plus important de réduction de la maladie du piétin-échaudage. Les maladies du flétrissement causées par *Verticillium sp*, *Fusarium sp*, *Erwinia sp* et *Corynebacterium sp* sont influencées par la forme de l'azote. L'infection et la distribution de *Verticillium sp* dans toutes les plantes de la pomme de terre ont lieu tôt dans la saison, mais les symptômes visibles apparaissent beaucoup plus tard (Huber et Watson, 1974).

La preuve que l'azote affecte la résistance du blé était indiquée par une diminution de l'infection et la surface des lésions avec les amendements en NH_4 par rapport au NO_3^- . La réduction de taux de la maladie due à une résistance modifiée de l'hôte résulte généralement de l'influence d'une forme spécifique d'azote sur les voies métaboliques affectant la croissance, les constituants végétaux ou les exsudats relatifs aux mécanismes de résistance (Huber et Watson, 1974).

En effet, des conclusions controversés sont trouvées dans la littérature concernant l'impact de l'état nutritionnel de la plante sur les mécanismes de défense des plantes contre le stress biotique (Moutassem, 2020). Les travaux de Ward *et al.* (2010) ont montré une réduction importante de beaucoup d'acides aminés et les composés azotés à intérêt immunitaire et en particulier ceux activant les formes réactives d'oxygène chez les plantes d'*Arabidopsis* infectées par *P. syringae*. Dutta *et al.* (2008) ont rapporté que l'intensité de la maladie a été significativement augmentée avec l'augmentation de la teneur en N et la diminution de la teneur en phénol dans les tissus des plantes cultivées dans des sols infestés par *Fusarium udum*. La pourriture racinaire du blé causée par *Fusarium culmorum* (Papendick et Cook, 1974) et *Pythium* spp (Gladstone et Moorman, 1989) deviennent plus sévères sous des régimes riches en azote.

1.5. Importance de la fertilisation phosphorée

De nombreux rapports scientifiques font état d'une association entre le niveau de P-Olsen et le développement des maladies des cultures (Dordas, 2008). Un certain nombre d'études ont montré que l'application de P peut réduire l'intensité de plusieurs maladies des plantes (Dordas,

2008). L'application foliaire de P peut induire une protection locale et systémique contre l'oïdium dans concombre, roses, raisins de cuve, mangue et nectarines (Dordas, 2008).

Le phosphore stimule la croissance des racines des plantes céréalières, de sorte que les plantes en suffisance de P sont capables de compenser les tissus perdus par la pourriture des racines comme le piétin-échaudage et le *Pythium* (Huber et Haneklaus, 2007). Selon Brennan, (1989) l'application de phosphore est bénéfique pour réduire les effets du piétin-échaudage sur le blé en favorisant un développement racinaire vigoureux permettant aux racines de blé de s'échapper du champignon. De plus, Imrani *et al.*, (2014) ont observés une réduction de l'incidence et la sévérité d'*Helminthosporium spiciferum* après un apport en phosphore. Les mêmes auteurs ont montré que l'addition du phosphore dans le sol est bénéfique pour la croissance du système aérien de certains variétés du riz (Imrani *et al.*, 2014).

Contrairement, une mauvaise alimentation en phosphore a souvent été considérée comme un facteur prédisposant dans la sensibilité des plantes au piétin-échaudage. L'utilisation d'engrais phosphorés pour réduire le piétin-échaudage a été largement reconnue. L'augmentation des taux d'engrais P est nécessaire pour l'augmentation de la croissance des cultures, la réduction efficace des pertes de rendements causés par le piétin-échaudage (Brennan, 1988)

Les résultats rapportés par Moutassem *et al.*, (2018) indiquent une corrélation négative entre le niveau de P-Olsen et la valeur de l'AUDPC et une diminution significative de la maladie de flétrissement vasculaire de pois chiche a été observée en cas d'une forte disponibilité en P-Olsen. Ces résultats ont été expliqués par l'influence de P-Olsen sur le pathogène indiquée par l'inhibition de la germination des chlamydospores et la sporulation de Foc. Cependant, Nyiransengiyumva (2007) a montré que les concentrations élevées en Na_3PO_4 diminuent la production et la viabilité des conidies d'*Helmentosporium solani*. Toutefois, les niveaux très élevés en P ont entraînés l'inhibition dans le processus enzymatiques de la sporulation chez ce champignon.

Plusieurs études ont montré que l'application de P peut réduire le mildiou bactérien dans le riz, le mildiou, la virose du tabac, la brûlure du soja et le nanisme de l'orge (Huber et Graham, 1999 ; Kirkegaard *et al.*, 1999). En outre, Rao et Krishnappa (1996) ont rapporté que l'association de P avec l'interaction Foc-pois chiche. Ces auteurs ont également étudié le rôle de P-Olsen sur l'incidence du flétrissement vasculaire de pois chiche, et ont ensuite remarqué une corrélation négative entre les épidémies causées par le Foc et la teneur en P du sol. Parallèlement, ces changements métaboliques provoqués par le P et le N peuvent être une caractéristique générale des interactions plante-pathogène qui par conséquent affectent à la fois le système im-

munitaire des plantes, par la formation et l'accumulation de métabolites secondaires (Moutassem, 2020).

1.6. Importance de la fertilisation potassique

La relation complexe de la nutrition potassique avec les fonctions métaboliques et la croissance, ainsi que son interrelation avec les divers autres nutriments au sein de la plante, offrent au potassium de nombreuses possibilités de modifier la résistance ou la sensibilité des plantes aux maladies. En tant que régulateur mobile des activités enzymatiques, le K est impliqué dans toutes les fonctions de la cellule qui influencent la gravité de la maladie (Huber et Arny, 1985).

En effet, l'état nutritionnel riche en potassium permet aux plantes d'allouer plus de ressources au développement des parois cellulaires pour prévenir les infections par les phytopathogènes. De plus, le potassium peut également augmenter la résistance aux maladies en augmentant l'épaisseur des parois extérieures des cellules épidermiques (Holzmueller *et al.*, 2007). Wang *et al.*, (2013) ont rapporté que la résistance du riz a été augmentée en présence de concentrations adéquates en potassium. Lors de l'infections par des agents pathogènes aériens, les stomates sont capables de fonctionner correctement lorsqu'il y avait suffisamment de potassium, par conséquent empêchent ainsi l'invasion des pathogènes par la fermeture des stomates (Wang *et al.*, 2013).

La capacité du potassium à accroître la résistance chez maïs contre la pourriture des tiges et des racines a été décrite par Wenjuan *et al.*, (2009). Ces auteurs ont indiqué que l'oïdium et la pourriture racinaire commune ont été fortement diminués par les engrais de potassium. Les engrais à base de potassium peuvent réduire le flétrissement fusarien du coton en corrigeant la carence en K et en fournissant une alimentation plus équilibrée. Le mildiou de la pomme de terre provoqué par *Phytophthora infestans* est grave sur les plantes appliquées uniquement au N et P mais diminue à mesure que le niveau de potassium augmente (Huber et Arny, 1985).

Des essais ont été réalisés par Perrenoud, (1990) d'un fertilisant potassique montre que la résistance a été augmentée contre l'Oïdium des plantes d'orge provoquée par *Erysiphe graminis*. La fertilisation potassique a retardée l'incubation, la croissance et la fructification de pathogène. Le même auteur a déclaré que le potassium a généralement réduit la pourriture des tiges, la brûlure des feuilles, la pourriture racinaires, le charbon du maïs. Par ailleurs, le développement de *Septoria tritici* a été limité par un apport à une fertilisation riche en potassium (Imrani *et al.*, 2014). Sur la culture de blé, la fertilisation par le potassium a diminué à la fois plusieurs mala-

dies telles que les rouilles, l'oïdium et le piétin-échaudage. Par contre, le potassium a montré un effet variable sur la gravité de la pourriture des racines incitée par *Helminthosporium sativum* (Perrenoud, 1990).

1.7. Importance de la fertilisation par les micronutriments

L'effet des micronutriments sur la réduction de la gravité des maladies est attribué à leur implication dans la physiologie et la biochimie de la plante. En effet, de nombreux micronutriments sont impliqués dans de nombreux processus essentiels qui peuvent affecter la réponse des plantes aux agents pathogènes (Dordas, 2008). L'effet de micronutriments sur le développement des maladies est procédé par des changements structuraux ou physiologiques au niveau de la plante, d'une toxicité directe envers le pathogène ou indirect par l'augmentation des activité antagonistes microbiennes (Chantat, 2007).

Un approvisionnement adéquat en Mn est important dans la plupart des mécanismes de défense actifs des plantes. Les glycoprotéines (lectine) associées à la résistance de la patate douce à *Ceratocystis fimbriata* et *Phytophthora infestans* nécessitent du Mn pour leur activité. Les concentrations vasculaires de l'acide chlorogénique inhibiteur de la pectine méthylestérase du *Verticillium* vasculaire restent beaucoup plus élevées chez les cultivars de pomme de terre résistants que sensibles (Huber et Haneklaus, 2007).

Le chlorure de calcium a montré une action modérée sur l'inhibition des trois stades du cycle des isolats d'*Alternaria alternata*. Ce produit a inhibé légèrement la germination des conidies des isolats de *Fusarium oxysporum* mais s'est montré très inefficace sur la croissance radiale et la production de conidies (Kaissoumi *et al.*, 2017).

Le calcium est un élément indispensable aux processus de croissance et de survie des plantes en conditions de stress. Son rôle dans la transduction des signaux endocellulaires permet aux plantes de moduler leurs réponses vis-à-vis de divers stimuli biotique et abiotique. Le calcium joue également un rôle important dans le maintien de l'intégrité et de la sélectivité membranaire. Par conséquent, son introduction dans le milieu de culture permet un meilleur contrôle des propriétés membranaires et assure un rôle protecteur lorsque les conditions du milieu sont défavorables (Boulila Zoghلامي *et al.*, 2006). En cas de déficience en Ca, des composés tels que les sucres et les acides aminés peut s'infiltrer dans les zones entre les cellules (l'apoplaste) où ces composés deviennent disponibles pour l'utilisation des phytopathogènes. Deuxièmement, le Ca est important dans le développement de la paroi cellulaire; les plantes déficientes en Ca sont plus

sensibles aux attaques de pathogènes, en particulier par les champignons (Timothy et Arnold, 2009).

En revanche, une teneur élevée en Ca dans les tissus est corrélée positivement à la résistance aux maladies des plantes causées par *Erwinia carotovora*, *Fusarium solani*, *Pythium myriotylum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia minor* et *Sclerotium rolfsii* (Huber et Haneklaus, 2007). Le calcium est très efficace dans l'inhibition de la croissance mycélienne, la production des conidies et la germination de *F. oxysporum* et *F. avenaceum* (Dossa et al., 2019).

Le zinc joue également un rôle important dans le maintien de l'intégrité de la membrane cellulaire des racines et les processus de transport des ions dans les membranes cellulaires des racines du blé. Les plantes suffisantes en zinc sont avérées plus tolérantes à l'infection des racines par le *Fusarium*. Dans la plupart des cas, l'application de Zn a réduit la gravité de la maladie (Dordas, 2008). Cela résulte probablement de la fongitoxicité du Zn et son rôle dans la stabilisation des membranes des cellules radiculaires (kabiri et al., 2010).

2. Effet de la fertilisation organique sur la production et la santé des plantes

Les engrais biologiques ont été développés pour remplacer les engrais chimiques largement utilisés dans l'agriculture (Sandrine, 2014). Une bonne pratique agricole implique l'apport de substances organiques tels que les résidus de la récolte ou les différents types de composts, afin d'améliorer la fertilité du sol (Biaou et al, 2017). Ce type d'engrais est constitué d'un mélange des déchets d'origine animale ou végétale qui renferme de N, P et K, mais avec des proportions parfois moins importantes en comparaison avec les engrais minéraux (CNABio, 2013).

En effet, la fertilisation organique du sol affecte la croissance et le rendement des cultures, soit directement en fournissant des nutriments ou indirectement en modifiant les propriétés physiques du sol en améliorant ainsi l'environnement racinaire. Une étude réalisée sur cinq cultures a montré que l'application de la matière organique améliore l'absorption des nutriments et la croissance des racines (Morteza, 2011). Elle améliore aussi la structure des sols, augmente la capacité de rétention en eau, stimule l'activité microbienne et augmente le rendement (Biaou et al, 2017).

3. Rôle de fertilisation biologique dans la production agricole

Les fertilisants biologiques diffèrent des engrais chimiques et organiques dans le sens où ils ne fournissent pas directement tous les nutriments aux cultures, mais fournissent de bactéries

et de champignons qui peuvent aider la plantes à une assimilation pertinente des éléments nutritifs. Les micro-organismes du sol jouent un rôle déterminant dans la régulation de la dynamique et la décomposition de la matière organique, ainsi que la disponibilité des éléments nutritifs des plantes tels que le N, le P et le S. Il est bien établie que les inoculant microbiens constituent un élément important dans la gestion intégrée des nutriments qui conduit à une agriculture durable. Ils peuvent être utilisés comme intrant économique pour la productivité des cultures (Jen-Hshuan, 2006).

Les bio-fertilisants ont le potentiel d'améliorer la santé et la productivité des plantes cultivées et réduire les besoins en engrais chimiques synthétiques. L'application de ces microorganismes sur les graines, les tubercules ou dans le sol permet la colonisation de la zone racinaire ou l'intérieur de la plante en favorisant la croissance et améliorant l'approvisionnement ou l'accessibilité des principaux nutriments à la plante (Jan mohammadi, 2015). Ces microorganismes sont associés à l'extension de système racinaire, comme ils assurent un meilleur pouvoir germinatif des graines. Ces produits, favorisent non seulement la croissance et le développement des plantes, mais réduisent également le coût de production car ils ont la tendance à diminuer les doses d'engrais chimiques utilisées (Kaur, 2016).

3.2. Importance des biofertilisants dans le système immunitaire de la plante

Il existe de nombreux moyens directs et indirects par lesquels ces microorganismes agissent comme des promoteurs de la croissance des plantes avec leurs propriétés du contrôle biologique et l'induction d'une résistance systémique contre les phytopathogènes (Moutassem, 2020). Les effets des antagonistes biologiques sur les maladies des plantes peuvent être expliqués par la sécrétion des substances à intérêt allélopatique limitant ainsi la croissance et le développement des pathogènes dans le sol et aussi la manifestation de leur pathogénécité sur les plantes. Mazzola (2002) a déclaré que les souches de *Pseudomonas* sont des espèces caractéristiques des sols naturellement suppressifs contrairement aux sols propices de la fusariose vasculaire de banane. En effet, l'introduction de l'espèce *Pseudomonas fluorescens* dans le système sols-orge, provoque une diminution significative de la densité du mycélium fongique et du nombre de macroconidies des populations de *Fusarium culmorum*.

Les biofertilisants augmentent aussi le niveau de la résistance des plantes (Strunnikova *et al.*, 2015). Ce processus se manifeste par plusieurs mécanismes qui ont été démontrés pour expliquer comment ces microorganismes stimulent la croissance des plantes et les ISR qui incluent (Narendra Babu *et al.*, 2015) :

- ✚ La capacité de produire ou de modifier la concentration de l'acide gibbérellique, l'acide indole acétique, les cytokinines et l'éthylène.
- ✚ Les composés volatils par la production de sidérophore, les antibiotiques, les chitinases, les β 1,3-glucanases et les cyanures.
- ✚ La fixation de l'azote asymbiotique.
- ✚ La solubilisation de p- minéral et d'autres nutriments.

Kloepper *et al.*, (1980) ont signalé que les rhizobactéries de groupe *Pseudomonas fluorescens-putida* favorisant la croissance des plantes (PGPR) et colonisent vigoureusement les racines des plantes et provoquaient des augmentations significatives des rendements. En outre, la bactérie *Bacillus subtilis* peut favoriser la croissance des plantes, protéger contre les attaques de pathogènes fongiques (Bais *et al.*, 2004).

Les *Trichoderma spp.* sont des antagonistes qui favorisent la croissance générale de la plante et la disponibilité des nutriments, améliorant ainsi la colonisation et la disponibilité des nutriments pour l'agent de biocontrôle; suivi de l'amélioration du potentiel antagoniste global contre le phytopathogène (Solanki et Nallanchakravarthula, 2017). De plus La fixation de *Trichoderma* sur les racines des plantes favorise l'absorption de quelques éléments nutritifs (cuivre, fer, phosphore, manganèse et le sodium ...) à partir de la solution du sol. Cette augmentation de l'absorption des éléments nutritifs indique une amélioration de la croissance des plantes (Kaisoumi *et al.*, 2017). Autrement, les espèces de *Trichoderma* sont connues comme des producteurs des éliciteurs lesquels activent certains gènes de défense des plantes. Des avancées récentes démontrent que les effets de *Trichoderma* sur les plantes, y compris la résistance systémique ou localisée induite, sont très importants (Gajera *et al.*, 2013).

3.3. Le composte comme un fond de lutte biologique

Les activités de lutte biologique de certains micro-organismes sont considérées comme des avantages lorsqu'elles agissent comme un stimulant de la nutrition des plantes (Shafawati & Siddiquee, 2013). Pour intégrer avec succès dans les systèmes de production végétale, les composts pourraient être enrichis avec des souches microbiennes antagonistes sélectionnées pour améliorer l'effet de la protection biologique contre les maladies des plantes (Tripathi *et al.*, 2010). Le compost sert comme une source de nourriture et d'abri aux antagonistes qui éliminent les agents phytopathogènes, les organismes qui s'attaquent aux parasites, et les micro-organismes bénéfiques qui produisent des antibiotiques (Lichtfouse, 2010).

Le succès de l'enrichissement des composts par des antagonistes et de la survie durable du micro-organisme introduit dépend de l'origine et de la qualité du compost (Hoitink et Boehm, 1999). En effet, une combinaison de microbes antagonistes avec un compost de haute qualité peut être plus efficace pour diminuer l'impact des maladies que l'utilisation de souches microbiennes antagonistes uniques ou du compost seul (Ros *et al.*, 2017).

3.3.1. Perfectionnement des composts par des agents de lutte biologique

Le compost comme moyen alternatif de contrôle des maladies contre les phytopathogènes fongiques a été étudié de manière approfondie. Dans le compostage, la colonisation est importante pendant le processus de durcissement afin de ne pas être détruite par la phase thermophile du processus de compostage (Shafawati *et Siddiquee*, 2013)

L'application des extraits produits à partir de compost bien mûri enrichi avec les agents de lutte biologique pourrait être une stratégie de lutte alternative (Shafawati *et Siddiquee*, 2013). Les composts contenant des *Trichoderma sp* sont avérés très efficaces contre plusieurs maladies. Dans le même ordre d'idées, Mouria *et al.*, (2013) ont prouvé l'efficacité de *T. harzianum* introduit dans le composte a inhibé la germination et la croissance mycélienne de *Verticillium dahliae* et réduit l'intensité sclérogénèse de ce pathogène par antibiose. Toutefois, Majbar *et al.*, (2018) ont montré que le compost enrichi avec les espèces de *Trichoderma sp* maintenu une bonne capacité antagoniste contre certains champignons phytopathogènes tels que les espèces *Fusarium sp*, *Pythium sp*, *Rhizotonia sp* *et Sclerotinia sp*.

Certains *Trichoderma spp* incluent dans les composts ont été largement utilisées comme agents de lutte biologique (BCA) et peuvent réduire la gravité des maladies des plantes en inhibant les agents pathogènes des plantes dans le sol / substrat grâce à leur activité antagoniste et mycoparasitaire très puissante. La combinaison des *Trichoderma* avec des bactéries ou d'autres micro-organismes bénéfiques dans le compost témoignant un meilleur contrôle des maladies des plantes (Shafawati *et Siddiquee*, 2013).

Les *Pseudomonas* sont les bactéries les plus importantes dans le rhizosphère (Boukerma, 2012). Ces bactéries ont suscité à intérêt particulier en tant qu'agent de lutte biologique potentiel intégré dans le compost contre plusieurs phytopathogènes. Elles sont avérés très efficaces lorsqu'ils sont appliqués comme traitements dans le compost (Hoitink *et Boehm*, 1999). Il a été signalé que ce groupe des bactéries inhibe la croissance des champignons, lyse les conidies fongiques et produit également des antibiotiques et des sidérophores (Upadhyay *et Jayaswal*, 1992).

La compétition pour le fer est l'un des modes d'action par lesquels les *Pseudomonas spp.* réduisent l'incidence ou la gravité de la maladie (Alabouvette *et al.*, 2009).

3.3.3.1. Effet sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la production végétale

Le compost, par son effet général sur les caractéristiques physicochimiques des sols, génère des conditions favorables pour la croissance des plantes (Mouria *et al.*, 2010). Les changements des propriétés du sol suite à son amendement par du compost sont principalement liés à des changements des propriétés chimiques et biologiques du sol. L'effet positif de compost en plein champ repose sur plusieurs facteurs : la fertilisation des plantes, l'amélioration de la structure et l'activité microbienne du sol (Larbi, 2006). Les composts assurent l'amendement du sol, la prévention et le contrôle de la pollution, la lutte contre l'érosion, le nettoyage des contaminants, l'assainissement des sols contaminés par des métaux lourds.

L'apport des composts comme amendement organique augmente le stock de MO du sol, le pH, le contenu en calcium ainsi que la biomasse microbienne et son activité. Le compost est, en effet, un produit riche en matières organiques et en composés minéraux, capables d'améliorer la fertilité du sol (Chennaoui *et al.*, 2016). Ces produits procurent au sol de la matière organique plus ou moins stabilisée suivant le degré de maturité du produit. Environ la moitié du carbone organique ainsi apporté est intégrée de manière durable dans le sol et forme ce que l'on appelle l'humus stable. Grâce à cet humus, la structure du sol et sa porosité sont améliorées. Ceci influence positivement la régulation hydrique des parcelles ayant été amendées, diminue les effets de l'érosion et améliore l'aération du sol (Fuchs, 2009).

Le compost possède également l'avantage à augmenter la disponibilité de l'azote, le calcium et le magnésium et par conséquent, l'augmentation de la concentration de ces éléments dans les tissus végétaux (Ribeiro *et al.*, 2007). L'augmentation du pourcentage d'azote total lors du processus de compostage vient de la dégradation des protéines des matériaux de départ sous l'effet de la chaleur et de l'action des microorganismes. On peut aussi supposer qu'une partie de l'augmentation de l'azote vient des résidus des microbes et bactéries qui se sont multipliés notamment pendant la première phase du processus du compostage (Znaïdi et Khedher, 2002).

A cet effet, ils peuvent augmenter la production agricole en raison de sa teneur élevée en éléments nutritifs pour les plantes et de ses caractéristiques de rétention d'humidité (Shafawati et Siddiquee, 2013). De plus, les compost améliorent les paramètres quantitatifs et surtout qualitatifs de la croissance et de rendement des plantes (Mouria *et al.*, 2010). Une autre études par Mouria *et al.*, (2010) ont montré l'effet de l'utilisation du compost et de ses extraits sur

l'amélioration des paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum*) et l'induction de résistance chez la plante hôte (Iarbi, 2006). Selon Boutchich *et al.*, (2016) les teneurs des feuilles en chlorophylles s'accroissent en association avec l'augmentation des doses de composts apportés chez deux variétés de blé. Cependant, une forte relation positive existe entre les teneurs en sucres et en chlorophylles. En plus de son rôle primordial dans la photosynthèse, la chlorophylle est responsable de la formation des réserves glucidiques. En fait, la croissance des plantes dépend de leurs capacités à synthétiser les glucides.

3.3.3.3. Elimination des maladies chez les végétaux

Les composts incorporés dans le sol peuvent fournir une lutte biologique contre les maladies causées par pathogènes végétaux transmis par le sol (Abbasi 2002). L'aptitude suppressive de composts aux maladies des plantes a été attribuée à la composition chimique des composts, à leur disponibilité en éléments nutritifs et à leur composition microbienne due aussi bien à l'apport de microorganismes qu'à la stimulation de ceux du sol (Mouria *et al.*, 2013). L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction. Pendant ces processus, une population de microorganismes antagonistes peut s'y développer, ce qui confère au compost la capacité de protéger les plantes contre les maladies telluriques (Iarbi, 2006).

L'activité microbienne et la biomasse élevées des composts induisent le phénomène de «suppression générale» des pathogènes tels que *Pythium* et *Phytophthora spp.* Les propagules de ces agents pathogènes, si elles sont introduites dans des substrats modifiés par le compost, ne germent pas en réponse à l'activité métabolique de la «microflore générale du sol» qui colonise le compost après un pic de chaleur. Par contre, *Rhizoctonia spp.*, qui produisent des sclérotés ne sont pas contrôlés par ce phénomène de «suppression générale». De tels champignons nécessitent la présence d'antagonistes spécifiques tels que *Trichoderma hamatum* ou *T. harzianum*. Ce type de lutte biologique est appelé «suppression spécifique» (Lievens *et al.*, 2001)

Des approches réussies pour évaluer l'effet de l'utilisation de compost comme substrat enrichi avec deux souches de *Trichoderma* (*Trichoderma harzianum* ou *Trichoderma asperellum*) sur les communautés bactériennes et fongiques de la rhizosphère du poivron infectée par *Phytophthora nicotianae*. Le compost enrichi de *Trichoderma asperellum* était la combinaison la plus efficace contre le pathogène. Cela pourrait indiquer que l'effet des composts enrichis est plus important que le compost lui-même et que l'effet de biocontrôle doit être attribué aux souches de *Trichoderma* plutôt qu'au microbiote du compost, bien que certains microorganismes puissent contribuer à l'effet de lutte biologique (Ros *et al.*, 2017).

L'ajout de compost à un sol entraîne toujours une stimulation des activités microbiennes, renforçant le phénomène de «suppression générale» vers les agents pathogènes (Alabouvette *et al.*, 2006). Les mécanismes biologiques qui ont été suggérés pour la suppression des maladies des plantes par les composts sont le : le parasitisme direct, l'antibiose, la concurrence pour les nutriments, l'amélioration de la nutrition et de la vigueur des plantes et finalement l'activation de la résistance systémique induite chez les plantes (Hadar, 2011). L'influence du compostage sur les phytopathogènes ne se limite pas à leur destruction.

Il a été prouvé que les composts suppriment une grande variété d'agents pathogènes des plantes d'origine tellurique, par ex. *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora nicotianae* ou *Pythium ultimum* (Ros *et al.*, 2017). Une étude a été réalisée par Mouria *et al.*, (2013) sur l'effet de composte et de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. Le compost étudié constitue un bon amendement en tant que biopesticide, et assure une meilleure suppression de la verticilliose de la tomate. L'effet bénéfique de mélange *Trichoderma harzianum*-composte est aussi montré l'amélioration des paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Ouedraogo et Hien, 2015).

En outre, Hoitink et Boehm (1999) ont signalé que les pourritures racinaires provoquées par *Pythium* et *Phytophthora* sont facilement contrôlées par des composts naturels. En effet, Hibar *et al.*, (2006) ont montré que l'utilisation de compost réduit l'effet de la fonte de semis du concombre causée par *Pythium ultimum*. Cependant, le pathogène du sol *F. oxysporum* est très sensible à la compétition pour les nutriments. Ce pathogène a été efficacement contrôlé par l'amendement du sol avec des composts biologiques (Alabouvette *et al.*, 2006).

L'ajout de compost peut également empêcher le développement de la maladie par augmentation du PH (exemple de la hernie des crucifères qui se développe plus difficilement au-dessus de PH 7) ou libération de composés toxiques lors de sa dégradation dans le sol (Znaïdi et Khedher, 2002).

Dans les essais sur le terrain, le compost a montré, dans la plupart des expériences, un effet suppressif après une application d'un taux supérieur à 15 t / ha. Le compost préparé à partir de déchets de conserverie a pu supprimer l'anthracnose causée par *Colletotrichum coccodes* et la tache bactérienne causée par *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* sur tomate (Euclid, 2018). Il a été montré que les composts peuvent améliorer la capacité des plantes à résister aux maladies causées par pathogènes racinaires et foliaires en induisant une résistance systémique chez les plantes (Abbasi 2002).

Conclusion

Le sol est le support physique des plantes, sa composition doit permettre un bon approvisionnement en éléments nutritifs. Si un élément nutritif est partiellement ou totalement absent, la croissance végétale s'interrompt et la plante est soumise sous un stress qualifié d'un stress abiotique. Ce type de stress nécessite une intervention avec des fertilisants afin de récompenser la carence de la plante et améliorer la qualité et la quantité des rendements. La fertilisation chimique est une pratique à pour but d'apporter les éléments nécessaires pour équilibrée et corriger la fertilité du sol.

Ces produits chimiques ont été avérés toxiques et provoquent un déséquilibre écologique, ainsi que des effets néfastes pour la santé humaine et animale. Le recours à des produits organiques et biologiques reste la meilleure solution afin de recomposer les carences en éléments minéraux sans nuire à l'environnement et la santé humaine. L'ajout de composts ou des biofertilisants au sol a un effet significativement positif sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du sol d'une part et la productivité de la plante d'autre part.

Les maladies des plantes peuvent provoquer des maladies chez les cultures et infligent des pertes lourdes, peuvent atteindre jusqu'au 100% des rendements totale. Ces problèmes sont souvent les conséquences de la mauvaise surveillance phytosanitaire des cultures. Aujourd'hui, les produits phytosanitaires constituent le moyen de lutte le plus efficace, rentable et utilisable par les agriculteurs.

Non seulement avec le temps ces produits sont devenus de plus en plus dangereux soit pour l'environnement soit pour la santé humaine. Le choix des moyens de protection des cultures doit tenir compte de la biologie de la plante et de son ennemi. Le contrôle biologique est un processus qui utilise des organismes vivants pour prévenir ou réduire les dommages causés par les ennemis des cultures ou par l'utilisation des mécanismes et des interactions naturelles.

L'initiation et le taux de développement des maladies des plantes sont naturellement influencés par les éléments minéraux. Par conséquent lorsque la nutrition est équilibrée cela offre à la plante les capacités de résister à de nombreux problèmes auxquels la plante est confrontée. L'application de fertilisants chimiques et biologiques a permis de lutter efficacement contre les maladies des plantes. Cette résistance consiste souvent à altérer la structure des pathogènes, ou bien la stimulation des mécanismes de défense des plantes.

Toutefois, l'inoculation du compost par des agents de lutte biologique tels que *Trichoderma* et *Pseudomonas* a montré un effet bénéfique et sont avérés plus efficaces contre plusieurs maladies des plantes. Dans ce contexte, l'application des extraits produits à partir de compost bien mûri enrichi avec les agents de lutte biologique pourrait être une stratégie de lutte alternative et intégrée.

*Références
bibliographiques*

1. Abdel-Salam, M. S., El-Halim, M. M. A., et El-Hamshary, O. I. M. (2007). Improvement of *Pseudomonas* antagonism against *Fusarium Oxysporium* through protoplast fusion : I-Fusants Induction. *Mol. Biol.*, 5.
2. Abga, P. T. (2013). Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Université polytechnique de bobo-dioulasso institut du developpement rural.
3. Agrios N.G., (2005). *Plant Pathology*, 5th ed., Elsevier-Academic Press, p. 635.
4. Alabouvette, C., Olivain, C., Migheli, Q., et Steinberg, C. (2009). Microbiological control of soil-borne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist*, 184(3), 529-544. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03014.x>
5. Alabouvette, C., Olivain, C., et Steinberg, C. (2006). Biological Control of Plant Diseases : the european situation. *European journal of plant pathology*, 114(3), 329- 341. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-0233-0>
6. Amtmann, A., Troufflard, S., et Armengaud, P. (2008). The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4), 682-691. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01075.x>
7. Anonyme., (2008)., biofertilizers technology projects details biomate.pdf
8. Arrebola, E., Jacobs, R., et Korsten, L. (2010). Iturin A is the principal inhibitor in the biocontrol activity of *Bacillus amyloliquefaciens* PPCB004 against postharvest fungal pathogens. *Journal of Applied Microbiology*, 108(2), 386-395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04438.x>
9. Astier, J. (2011). Identification et étude du rôle des protéines cibles du monoxyde d'azote (NO) dans les réponses de défense chez le tabac. Université de Bourgogne.
10. Bais, H. P., Fall, R., et Vivanco, J. M. (2004). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against Infection of Arabidopsis Roots by *Pseudomonas syringae* Is Facilitated by Biofilm Formation and Surfactin Production. *Plant Physiology*, 134(1), 307-319. <https://doi.org/10.1104/pp.103.028712>
11. Balaji, A. (2019). *Handbook of plant disease identification and management*. CRC Press, Taylor et Francis Group.
12. Benhamou, N., et Picard, K. (2005). La résistance induite : Une nouvelle stratégie de défense des plantes contre les agents pathogènes. *Phytoprotection*, 80(3), 137- 168. <https://doi.org/10.7202/706189ar>

13. Baldi, I., Huyghe, C., Nicot, P., et Ricci, P. (2015). Utiliser la fertilisation pour agir sur la santé des plantes et favoriser leur protection vis-à-vis des maladies et ravageur. 119.
14. Ben Mimoun, M. (2002). La gestion de la fertilisation potassique en arboriculture fruitière. 12.
15. Benton, J., et Jones, J. (2012). Plant nutrition and soil fertility manual (2^e éd.). CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.
16. Biaou, o. D. B., et Saidou, a. (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.
17. Boukerma, L., (2012). Effet de pgpr (*pseudomonase sp*) sur le biocontrol et l'induction de la resistance systimie chez la tomate vis-avis de la fusariose vasculaire.
18. Boulila Zoghلامي, L., Djebali, W., Chaïbi, W., et Ghorbel, M. H. (2006). Modifications physiologiques et structurales induites par l'interaction cadmium-calcium chez la tomate (*Lycopersicon esculentum*). Comptes Rendus Biologies, 329(9), 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2006.05.003>
19. Boutchich, G. E. K., Tahiri, S., Mahi, M., Sisouane, M., Kabil, E. M., et Krati, M. E. (2016). Effets de differents composts matures à base de boues d'epuration et des substrats organiques sur les proprietes morphologiques et physiologiques de deux varietes de blé. 18.
20. Bordjiba, O., et Ketif, A. (2009). Effet de trois Pesticides (Hexaconazole, Bromuconazole et Fluazifop-p-butyl) sur quelques Métabolites Physio- Biochimiques du Blé dur : *Triticum durum*. Desf. 10.
21. Brennan. (1989). Effect of nitrogen and phosphorus deficiency in wheat on the infection of roots by *gaeumannomyces graminis var. Tritici*. Department of agriculture, plant industry division, pmb 50, esperancc, w.a. 6450.
22. Brennan, R. (1988). Effect of phosphorus deficiency in wheat on the infection of roots by *Gaeumannomyces graminis var. Tritici*. Australian Journal of Agricultural Research, 39(4), 541. <https://doi.org/10.1071/AR9880541>
23. Brennan, R. F. (1992). The role of manganese and nitrogen nutrition in the susceptibility of wheat plants to take-all in Western Australia. Fertilizer Research, 31(1), 35-41. <https://doi.org/10.1007/BF01064225>
24. Chantat, N. (2007). Effet de différents éléments minéraux sur la croissance et le développement du champignon *helminthosporium solani*, agent responsable de la gale argentée de la pomme de terre. 66.

25. Chen, C.-Y., Wang, Y.-H., et Huang, C.-J. (2004). Enhancement of the antifungal activity of *Bacillus subtilis* F29–3 by the chitinase encoded by *Bacillus circulans* chiA gene. 50, 4.
26. Chennaoui, M., Salama, Y., Aouinty B, M., et Mountadar, b. (2016). Impact de l'évolution de la flore microbienne sur les variations des paramètres physico-chimiques lors du compostage en cuve des déchets ménager. Vol 6 n° 2 décembre 2016.
27. Deblay, S., et Charonnat, C. (2006). Fertilisation et amendements : Dossier d'autoformation. Éducagri éd.
28. Cnabio. (2013). Normes de production des denrées agricoles.
29. De Cal, A., Garcia-Lepe, R., et Melgarejo, P. (2000). Induced Resistance by *Penicillium oxalicum* Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* : Histological Studies of Infected and Induced Tomato Stems. *Phytopathology*®, 90(3), 260-268. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.3.260>
30. Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 33-46. <https://doi.org/10.1051/agro:2007051>
31. Dossa, J. S. B., Togbe, E. C., Pernaci, M., Agbossou, E. K., & Ahohuendo, B. C. (2019). Effet des facteurs de l'environnement sur les Fusarium pathogènes des plantes cultivées. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 493. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.39>
32. Dubey, S. C., Suresh, M., & Singh, B. (2007). Evaluation of Trichoderma species against *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Ciceris* for integrated management of chickpea wilt. *Biological Control*, 40(1), 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.06.006>
33. Duijff, b. J., recorbet, g., bakker, p. A. H. M., loper, j. E., & lemanceau, p. (1999). Microbial antagonism at the root level is involved in the suppression of fusarium wilt by the combination of nonpathogenic *fusarium oxysporum* fo47 and *pseudomonas putida* wcs358. *Phytopathology*®, 89(11), 1073-1079. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.11.1073>
34. Dutta, S., Mishra, A.K., Dileep Kumar, B.S., (2008). Induction of systemic resistance against fusarial wilt in pigeon pea through interaction of plant growth promoting rhizobacteria and rhizobia. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 452–461
35. Elmer, W.H., et Datnoff, L.E. (2014). Mineral Nutrition and Suppression of Plant Disease. In: Neal Van Alfen. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol. 4, San Diego: Elsevier; . pp. 231–244.
36. Evangelista-Martínez, Z. (2014). Isolation and characterization of soil Streptomyces species as potential biological control agents against fungal plant pathogens. *World Journal of*

- Microbiology and Biotechnology, 30(5), 1639-1647. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1568-x>
37. Foth, H. D., & Ellis, B. G. (1988). Soil fertility. Wiley.
38. Francou, C. (2004). 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. Institut national agronomique paris-grignon ecole doctorale abies.
39. Fuchs, J. G. (2009). Fertilité et pathogènes telluriques : effets du compost. 6.
40. Gajera, H., Domadiya, R., Patel, S., Kapopara, M., et Golakiya, B. (2013). Molecular mechanism of Trichoderma as bio-control agents against phytopathogen system – a review. 11.
41. Garcia-Brugger A, *et al.* Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Mol.Plant-Microbe Interact.* 2006; 19:711–24.
42. Gérald, H., Christiane, S., et Environnement-Innovation, S. (2011b). Avec le La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. 46.
43. Gherou, S. I. (2002). Evaluation de l'activité antagoniste de quelques bactéries rhizosphériques à l'égard de trois champignons phytopathogènes. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 309-348 <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.030402.110010>
44. Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., et Leifert, C. (2008). Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Environ Chem Lett*, 6:149–162.
45. Gladstone, L. A., et Moorman, G. W., (1989). Pythium root rot of seedling geraniums associated with various concentrations of nitrogen, phosphorus and sodium chloride. *Plant Dis*, 73: 733-736.
46. Gil-Jae, J. (2005). Purification and Characterization of an Extracellular Chitinase from the Antifungal Biocontrol Agent *Streptomyces halstedii*. *Biotechnology Letters*, 27(19), 1483-1486. <https://doi.org/10.1007/s10529-005-1315-y>
47. Gregorich EG, Rochette P, St-Georges P, McKim UF et Chan C (2008) Tillage effects on N₂O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. *Canadian J Soil Sci* 88: 153-161.
48. Hadar, Y. (2011). Suppressive compost : When plant pathology met microbial ecology. 4.
49. Hibar, K., Daami-Remadi, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Znaïdi, I. E. A., & Mahjoub, M. E. (2006). Effet des extraits de compost sur la croissance mycélienne et l'agressivité du *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Radicis- lycopersici*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 8.

50. Hoitink, Ma., et Boehm, M. (1999). Biocontrols within the context of soil microbial communities: A Substrate-Dependent Phenomenon. *Annual Review of Phytopathology*, 37(1), 427-446. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.37.1.427>
51. Hoitink, H. A., et Fahy, P. C. (1986). Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Annual review of phytopathology*, 24(1), 93-114.
52. Holzmueller, E. J., Jose, S., et Jenkins, M. A. (2007). Influence of calcium, potassium, and magnesium on *Cornus florida* L. density and resistance to dogwood anthracnose. *Plant and Soil*, 290(1-2), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9151-y>
53. Huber, D. M., et Arny, D. C. (1985). Interactions of Potassium with Plant Disease. 22.
54. Huber, D. M., et Watson, R. D. (1974). Nitrogen Form and Plant Disease. *Annual Review of Phytopathology*, 12(1), 139-165. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.12.090174.001035>
55. Huber, D.M. et Graham, R.D. (1999) The Role of Nutrition in Crop Resistance and Tolerance to Disease. In: Rengel Z., Ed., *Mineral Nutrition of Crops Fundamental Mechanisms and Implications*, Food Product Press, New York, 205-226.
56. Huber, D. M., et Haneklaus, S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. *Landbauforschung Völkenrode*, 11.
57. Ilham, z., Meryem, b., et Hajar, b. (2018). Effet des microorganismes isolés à partir des biotopes marocains sur les phytopathogènes : revue bibliographique. 14.
58. Imrani, N., Chahdi, A. O., Chliyeh, M., Touati, J., Touhami, A. O., et Douira, A. (2014). Effet de la fertilisation par différents niveaux de N P K sur le développement des maladies foliaires du riz. . . Vol., 1, 25.
59. Jan Mohammadi, M. (2015). Evaluation of the impact of chemical and biological fertilizer application on agronomical traits of safflower (*carthamus tinctorius* L.) / ģmiskā un bioloģiskā mēslojuma pielietojuma ietekme uz saflora (*carthamus tinctorius* L.) Agronomiskām pazīmēm. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences.*, 69(6), 331-335. <https://doi.org/10.1515/prolas-2015-0049>
60. Jean-Claude, R., et Minten, B. (2003). Accessibilité et utilisation des engrais chimiques à Madagascar. 6.
61. Jen-Hshuan, C. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. 11.
62. Ji, S. H., Paul, N. C., Deng, J. X., Kim, Y. S., Yun, B.-S., et Yu, S. H. (2013). Biocontrol Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* CNU114001 against Fungal Plant Diseases. *Mycobiology*, 41(4), 234-242. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2013.41.4.234>

63. Joshi, D., Hooda, K. S., Bhatt, J. C., Mina, B. L., et Gupta, H. S. (2009). Suppressive effects of composts on soil-borne and foliar diseases of French bean in the field in the western Indian Himalayas. *Crop Protection*, 28(7), 608-615. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.03.009>
64. kabiri, S., Shariatmadari, H., Sharifnabi, B., Schulin, R., et Amir Hossein Khoshgoftarmanesh. (2010). Zinc nutrition effect on the tolerance of wheat genotypes to Fusarium root-rot disease in a solution culture experiment. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(2), 234-243. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00441.x>
65. Kaissoumi, H. E., Chahdi, A. O., Selmaoui, K., Benkirane, R., Ouazzani, A., et Douira, A. (2017). [Effect of different fertilizing elements on the development of two species of *Trichoderma* spp.]. 32(1), 12.
66. Kaur, H. (2016). Effect of biofertilizers and organic fertilizers on soil health, growth and. (PDFDrive.com).pdf. Department of Microbiology College of Basic Sciences and Humanities ©PUNJAB AGRICULTURAL UNIVERSITY LUDHIANA -141004.
67. Khokhar, I., Haider, M. S., Mukhtar, I., & Mushtaq, S. (2012). Biological control of *Aspergillus niger*, the cause of Black-rot disease of *Allium cepa* L. (onion), by *Penicillium* species. *Journal of Agrobiology*, 29(1), 23-28. <https://doi.org/10.2478/v10146-012-0003-5>
68. Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M., & Schroth, M. N. (1980). *Pseudomonas* siderophores: A mechanism explaining disease-suppressive soils. *Current Microbiology*, 4(5), 317-320. <https://doi.org/10.1007/BF02602840>
69. larbi, mohamed. (2006). Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Université de Neuchâtel.
70. Lichtfouse, E., (2010). Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants: Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants (Vol. 1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9654-9>
71. Lievens, B., Vaes, K., Coosemans, J., & Ryckeboer, J. (2001). Systemic Resistance Induced in Cucumber Against *Pythium* Root Rot by Source Separated Household Waste And Yard Trimmings Composts. *Compost Science & Utilization*, 9(3), 221-229. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2001.10702039>
72. Ma W, Smigel A, Tsai Y-C, Braam J, Berkowitz GA. Innate immunity signaling: cytosolic Ca²⁺ elevation is linked to downstream nitric oxide generation through the action of calmodulin or a calmodulin-like protein. *Plant Physiol*. 2008; 148:818-28.
73. Moutassem Dahou, (2020). Épidémiologie de la fusariose vasculaire de pois chiche et methods et moyens de lutte. Thèse de doctorat. Université de mascara. 272p.

74. Moutassem Dahou, Lakhdar Belabid and Yuva Bellik. (2020). Efficiency of secondary metabolites produced by *Trichoderma* spp. in the biological control of *Fusarium* wilt in chickpea. *J. Crop Prot.* 2020, 9 (2): 217-231
75. Moutassem Dahou, Lakhdar Belabid, Yuva Bellik, Noureddine Rouag, Siham Ziouche, Faiza Baali, (2018). Effect of soil nutrient and biota dynamics on wilt disease severity in chickpea. *Pakistan journal of phytopathology. Pak. J. Phytopathol.*, Vol. 31 (02) 2018. 121-133
76. Mouria, B., & Allal, D. (2010). Valorisation agronomique du compost et de ses extraits sur la culture de la tomate. 27.
77. Mouria, B., Ouazzani, T, A., & Douira, A. (2013). Effet du compost et de *Trichoderma harzianum* sur la suppression de la verticilliose de la tomate. 5531-5543.
78. Nandi, M. S. (2016). Investigation of Fungal Suppression and Defense Against *Caenorhabditis elegans*. 189.
79. Nasraoui B., 2006. Les champignons parasites des plantes cultivées (Biologie, Systématique, Pathologie, Maladies), [Parasitic fungi of cultivated plants: Biology, Systematic, Pathology, Diseases] (with an English version on CD). Centre de Publication Universitaire, 456 p, Tunisie.
80. Narendra, B. A., Jogaiah, S., Ito, S., Nagaraja, A. K et Phan, T.L. (2015). Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. *Plant Science*, 231: 62–73.
81. Nicolas, T., Hans-Christoph, S., Ulrike, W., Hélène, L., et Josée, O. (2001). Régie de l'azote chez les cultures maraîchères. Guide pour une fertilisation raisonnée.
82. Nurnberger T, Nennstiel D, Jabs T, Sacks WR, Hahlbrock K and Scheel D.(1994). High affinity binding of a fungal oligopeptide elicitor to parsley plasma membranes triggers multiple defense responses. *Cell*. 1994; 78:449–60.
83. Nyiransengiyumva, C., (2007). Effet de différents éléments minéraux sur la croissance et le développement du champignon *Helminthosporium solani*, agent responsable de la gale argentée de la pomme de terre. Université Laval. P116.
84. Ouedraogo, E., et Hien, E. (2015). Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifai) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1330. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.18>
85. Uchida, R. (2000). Essential Nutrients for Plant Growth : Nutrient Functions and Deficiency Symptoms.

86. Pal, K. K., et Gardener, B. (2006). Biological Control of Plant Pathogens. The Plant Health Instructor. <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02>
87. Papendick, R. I., Cook, R. J., (1974). Plant water stress and development of Fusarium foot rot in wheat subjected to different cultural practices. *Phytopathology*, 64:358–363.
88. Perrenoud, S. (1990). Potassium and Plant Health. 359.
89. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_17
90. Reuveni, R., et Reuveni, M. (1998). Foliar-fertilizer therapy—A concept in integrated pest management.
91. Ribeiro, H. M., Romero, A. M., Pereira, H., Borges, P., Cabral, F., et Vasconcelos, E. (2007). Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. *Bioresource Technology*, 98(17), 3294-3297. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.002>
92. Rojas, C. M., Kumar, M S., Tzin, V., Mysore, K.S. (2014). Regulation of primary plant metabolism during plant-pathogen interactions and its contribution to plant defense. *Frontiers in Plant Science*, 5: 17–1.
93. Ros, M., Raut, I., Santísima-Trinidad, A. B., et Pascual, J. A. (2017). Relationship of microbial communities and suppressiveness of *Trichoderma* fortified composts for pepper seedlings infected by *Phytophthora nicotianae*. *PLOS ONE*, 12(3), e0174069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174069>
94. Sabaratnam, S., et Traquair, J. A. (2002). Formulation of a *Streptomyces* Biocontrol Agent for the Suppression of *Rhizoctonia* Damping-off in Tomato Transplants. *Biological Control*, 23(3), 245-253. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.1014>
95. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2008). Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum L.*). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79(1), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1419-0>
96. Scherwinski, K., Wolf, A., & Berg, G. (2007). Assessing the Risk of Biological Control Agents on the Indigenous Microbial Communities: *Serratia plymuthica* HRO-C48 and *Streptomyces* sp. HRO-71 as Model Bacteria. *BioControl*, 52(1), 87-112. <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9006-8>
97. Shafawati, S. N., et Siddiquee, S. (2013). Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* spp. As the biological control agent: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 243-253.

98. Sharga, B, M., (1997). Bacillus isolates as potential biocontrol agents against chocolate spot on Faba beans. Canadian Journal of Microbiology, 43(10), 915-924. <https://doi.org/10.1139/m97-132>
99. Shimizu, M., Yazawa, S., & Ushijima, Y. (2009). A promising strain of endophytic Streptomyces sp. For biological control of cucumber anthracnose. Journal of General Plant Pathology, 75(1), 27-36. <https://doi.org/10.1007/s10327-008-0138-9>
100. Showkat, S. (2012). Biological Control of Fusarium Oxysporum and Aspergillus Sp. By Pseudomonas Fluorescens Isolated From Wheat Rhizosphere Soil Of Kashmir. IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences, 1(4), 24-32. <https://doi.org/10.9790/3008-0142432>
101. Solanki, P., et Nallanchakravarthula, S. (2017). Beneficial and Harmful Aspects of Trichoderma : A Review. © 2017 IJSRST, 3(6), 9.
102. Subhash, C. (2014). Terminology of soil fertility, fertilizer and organics.
103. Thalineau, E. (2017). Effet de la nutrition azotée sur la résistance de la légumineuse Medicago truncatula à Aphanomyces euteiches. 260.
104. Thi-Phuong, N. (2014). Effets des amendements organiques exogènes sur la composition de la matière organiques et le stockage du carbone d'un sol dégradé par l'érosion dans le Nord du Vietnam. L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE.
105. Timothy, M. S., et Arnold, W. S. (2009). The Role of Plant Nutrients in Disease Development with Emphasis on Citrus and Huanglongbing. 3.
106. Upadhyay, R. S., et Jayaswal, R. K. (1992). Pseudomonas cepacia causes mycelial deformities and inhibition of conidiation in phytopathogenic fungi. Current Microbiology, 24(4), 181-187. <https://doi.org/10.1007/BF01579279>
107. van Loon, L. C., Bakker, P. A. H. M., et Pieterse, C. M. J. (1998). SYSTEMIC RESISTANCE INDUCED BY RHIZOSPHERE BACTERIA. Annual Review of Phytopathology, 36(1), 453-483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
108. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. International Journal of Molecular Sciences, 14(4), 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
109. Ward, J. L., Forcat, S., Beckmann, M., Bennett, M., Miller, S. J., Baker, J. M., Hawkins, N. D., Vermeer, C. P., Lu, C., Lin, W., Truman, W. M., Beale, M. H., Draper, J., Mansfield, J. W., Grant., (2010). The metabolic transition during disease following infection of Arabidopsis thaliana by Pseudomonas syringae pv. Tomato. The Plant Journal, 63: 443-457.

110. Weller, D. M. (1988). Biological Control of Soilborne Plant Pathogens in the Rhizosphere with Bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 26(1), 379-407. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.002115>
111. Wenjuan, L., Jiyun, H., , & Jiyun, J. (2009). Potassium influenced phenylalanine ammonia-lyase, peroxidases and polyphenol oxidases in *Fusarium graminearum* infected maize (*Zea mays L.*). 9p
112. Xu HX.,(1998) Heath MC. Role of calcium in signal transduction during the hypersensitive response caused by basidiospore-derived infection of the cowpea rust fungus. *Plant Cell*. 10:585-97.
113. Yasmin, c. (2009). Long-term effect of manure and fertilizers on soil physical and chemical properties and yield of groundnut. 139.
114. Zarandi, M. E., Bonjar, G. H. S., Dehkaei, F. P., Moosavi, S. A. A., Farokhi, P. R., & Aghighi, S. (2009). Biological Control of Rice Blast (*Magnaporthe oryzae*) by use of *Streptomyces sindeneusis* isolate 263 in Greenhouse. 6.
115. Znaïdi, I. E. A., & Khedher, M. B. (2002). Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques