

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1
Faculté de Science de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies

Polycopié du Module
Agriculture Biologique

Elaboré par : Dr Saida Messgo-Moumene

SAHLA MAHLA

المصدر الأول للطلاب الجزائري



Année Universitaire 2019- 2020

Préambule

Ce polycopié de cours est dédié aux étudiants de **Licence Biotechnologie végétale et Amélioration** et Master 1, aux doctorants et chercheurs des options de Biotechnologie végétale et Biotechnologie végétale et valorisation des plantes. Il contribue à la connaissance des notions de bases de l'**Agriculture Biologique**, son importance, son concept, la production et la protection biologique des cultures avec leurs intrants biologiques pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement. Il comporte cinq chapitres.

Les parties d'études concernent :

- **Introduction sur l'Agriculture biologique**
- **La fertilisation en agriculture biologique**
- **Biostimulants des plantes et leurs intérêts pour l'agriculture**
- **Lutte biologique**
- **Les micro-organismes bénéfiques pour l'agriculture biologique**

SAHLA MAHLA

المصدر الأول للطلاب الجزائري



SOMMAIRE

Chapitre 1 : Agriculture biologique

- 1 Définition
- 2 Formes d'Agriculture biologique
 - 2.1 Permaculture
 - 2.2 Agro-écologie
 - 2.3 Agriculture régénérative
- 3 Concept de bases de l'agriculture biologique
 - 3.1 Production biologique
 - 3.2 Fertilité biologique
 - 3.3 Lutte biologique

Chapitre 2 : La fertilisation en agriculture biologique

- 1 Généralités sur la fertilisation
 - 1.1 Introduction
 - 1.2 Activité biologique et nutrition des plantes
 - 1.3 Relation « SOL-PLANTE»
- 2 La fertilisation organique
 - 2.1 Pratiques de fertilisation
 - 2.2 Types de fertilisants
 - 2.2 Biocomposts

Chapitre 3: Biostimulants des plantes et leurs intérêts pour l'agriculture

- 1 Généralités sur les biostimulants
 - 1.1 Définition
 - 1.2 Types de biostimulants
 - 1.3 Modes d'utilisation
 - 1.4 Avantages

Chapitre 4 : Lutte biologique

- 1 Généralités sur les maladies des plantes
 - 1.1 Introduction à la phytopathologie
 - 1.2 Etiologie:
 - 2 Contrôle des maladies des plantes
 - 2.1 Écologique ou culturale
 - 2.2 Agents chimiques
 - 2.3 Lutte biologique:
 - 2.4 Résistance (plantes)
 - 2.5 Lutte contre les maladies à virus des plantes
 - 3 Les biopesticides
 - 3.1 Introduction
 - 3.2 Définition
 - 3.3 Classification
 - 3.4 Avantages
 - 3.5 Inconvénients

SAHLA MAHLA

المصدر الأول للطلاب



4 Stimulateurs des Défenses Naturelles des plantes (SDN)

5 Biopesticides à base de plantes

6 Biopesticides microbiens

Chapitre 5 : Les micro-organismes bénéfiques pour l'agriculture biologique

1 Introduction

2 Associations micro-organismes bénéfiques avec les plantes

2.1 La symbiose

2.2 Le mutualisme

3 Micro-organismes d'intérêts agronomiques

3.1 Les bactéries

3.2 Les Actinomycètes

3.3 Les Rhizobia

3.4 Rhizobactéries ou « PGPR »

3.5 Les champignons

3.6 Mycorhizes ou Champignon mycorhiziens

▪ **Références bibliographiques**

SAHLA MAHLA

المصدر الأول للطلاب الجزائري



Chapitre 1 : Agriculture biologique

1 Définition

L'agriculture biologique se définit par un système de gestion et de production agricole alliant un haut niveau de biodiversité à des pratiques environnementales qui préservent les ressources naturelles. Elle intègre également des normes rigoureuses en faveur du bien-être animal. Elle répond à une demande croissante de produits naturels par les consommateurs, tout en contribuant à la préservation de l'environnement dans le cadre d'un développement rural durable.

2 Formes d'Agriculture biologique

2.1 Permaculture

La permaculture (*permanent agriculture*) vise à s'inspirer de la nature pour développer des systèmes agricoles en synergie, basés sur la diversité des cultures, leur résilience et leur productivité naturelle. L'objectif étant de produire un environnement harmonieux, résilient, productif et durable. Elle vise à la conception de systèmes intégrés dans une stratégie de développement durable, où l'activité humaine doit tenir compte des écosystèmes naturels et s'exercer en harmonie et en interconnexion avec eux, dans un souci constant d'efficacité, de soutenabilité et de résilience.

2.2 Agro-écologie

L'agro-écologie désigne l'ensemble des techniques visant à pratiquer une agriculture plus respectueuse de l'environnement et des spécificités écologiques. L'agro-écologie est un ensemble inter-disciplinaire à la croisée de l'agronomie, de l'agriculture, de l'écologie scientifique, de l'économie et des sciences sociales. Elle intègre des pratiques corollaires telles que l'agriculture biologique, l'agriculture régénérative et/ou de conservation, ainsi que certains volets de la permaculture, dans une perspective de développement durable.

2.3 Agriculture régénérative

L'agriculture régénérative (ou « régénératrice » en français académique) réunit un ensemble de pratiques agricoles dont l'objectif premier est de renforcer naturellement la qualité des sols ou de restaurer la fertilité des sols malades ou épuisés.

3 Concept de bases de l'agriculture biologique

3.1 Production biologique

L'agriculture biologique est une façon naturelle de produire des aliments en respectant la terre et les animaux et en évitant les méthodes potentiellement dommageables pour

l'environnement et la santé humaine. C'est un système de production agricole intégré, fondé sur des principes écologiques, qui cherche à respecter le vivant et les cycles naturels. La biodiversité de l'agro-écosystème y est favorisée de même que l'activité biologique des sols.

Le recours aux pesticides de synthèse, aux organismes génétiquement modifiés, aux fertilisants de synthèse et aux hormones de croissance animales est prohibé en agriculture biologique. De plus, l'usage des antibiotiques est restreint. L'agriculture biologique utilisera plutôt une approche préventive, en optimisant la fertilité du sol à long terme ainsi que la santé des plantes et des animaux.

L'agriculture biologique constitue un mode de production qui a recours à des pratiques agricoles et d'élevage, soucieuses du respect des équilibres naturels. Ces produits sont soumis à des exigences réglementaires strictes et à des contrôles fréquents.

3.2 Fertilité biologique

L'amélioration de la fertilité et de l'activité biologique dans le sol passe par :

- L'adoption de rotations longues et diversifiées
- Les cultures de légumineuses, d'engrais verts ou de plantes à enracinement profond
- L'incorporation dans le sol de matières organiques

3.3 Lutte biologique

La lutte contre les parasites et les adventices (mauvaises herbes) passe par :

- La rupture du cycle des adventices et des ravageurs par des rotations
- Un désherbage mécanique ou thermique
- Le choix d'espèces et de variétés appropriées
- La protection des ennemis naturels des parasites

SAHILA MAHILA

المصدر الأول للطلبة الجزائريين



Chapitre 2 : La fertilisation en agriculture biologique

1 Généralités sur la fertilisation

1.1 Introduction

La fertilisation doit répondre aux besoins des plantes cultivées. Pour y arriver, une stratégie de fertilisation des cultures se construit par l'agencement d'un ensemble de pratiques de gestion du sol et d'organisation des cultures, auquel s'ajoute la planification des apports.

L'activité microbienne du sol conditionne la mise en disponibilité des nutriments pour les conduire à la plante. Son intensité est dépendante des conditions du sol (oxygène, nourriture, etc.), du climat (température, précipitation, etc.) et des pratiques culturales (drainage, chaulage, fertilisation, etc.).

Si quelque part les nutriments arrêtent de circuler correctement, qu'ils soient perdus (lessivage, volatilisation, dénitrification) ou immobilisés (accumulation organique, insolubilisation) la plante sera en «manque». On devra alors surfertiliser, c'est à dire amener plus de nutriments que la plante en aurait normalement besoin, pour garantir le rendement. Cet ajout aura pour effet d'augmenter les coûts de la production et les risques de surcharge de l'environnement.

1.2 Activité biologique et nutrition des plantes

Le sol est le milieu de vie des microorganismes qui transforment, préparent les nutriments pour les plantes à partir de différentes sources de nourritures organiques et minérales. Il doit être en état de fournir à l'activité biologique les conditions optimales à son bon fonctionnement : eau, oxygène, nourriture.

L'agriculteur par ses différentes pratiques et une connaissance approfondie des particularités (spécificités) physiques et chimiques de ses sols, doit favoriser les conditions optimales des sols cultivés. Tout ce qui freine l'activité biologique ralentit du même coup le développement de la culture.

La plante tire ses nutriments de la solution du sol.

La synchronisation des besoins des plantes et la mise en disponibilité par le sol est un élément clé de la stratégie de fertilisation des cultures

1.3 Relation « SOL-PLANTE »

Pour se nourrir, la plante a besoin :

- d'un bon système de racines;
- de nutriments solubles, lesquels ne seront libérés que par une activité biologique adéquate.

Il y a interaction entre physique, chimie et biologie du sol. L'ensemble est un prérequis à la fertilité des sols et à une bonne croissance des cultures.

- Un bon développement racinaire,
- Une forte structuration du sol,
- Une bonne porosité du sol,
- Une bonne circulation de l'eau dans le sol,
- Une bonne aération du sol,
- Une bonne activité biologique,
- Une mise en disponibilité des nutriments pour les plantes.

2 La fertilisation organique

La fertilisation vise à « nourrir le sol » pour qu'il puisse à son tour fournir les éléments nutritifs pour un développement optimal des cultures. En Agriculture Biologique (AB), la fertilisation est raisonnée en premier lieu à partir de la succession des cultures. L'azote étant le premier facteur limitant dans la nutrition des végétaux, ce sont les précédents et/ou la culture d'engrais verts à base de légumineuses qui permettent souvent d'apporter le plus efficacement et le plus économiquement les quantités nécessaires de cet élément majeur pour les cultures qui suivent, si toutefois la minéralisation a eu lieu correctement. Les légumineuses peuvent aussi trouver leur place au sein même des cultures, en association ou en cultures intercalaires.

Les apports d'engrais ou d'amendements organiques sont également largement mobilisés.

2.1 Pratiques de fertilisation

Il existe une grande diversité de pratiques et de situations de fertilisation en agriculture biologique, à ajuster selon les outils disponibles sur la ferme et les conditions pédoclimatiques:

- Les apports de compost, de fumier (d'origine variée), d'engrais organiques (commerciaux), de préparations biodynamiques,
- Introduction d'engrais verts et de couverts végétaux,

L'allongement et la diversification des rotations, l'insertion de légumineuses, l'association des cultures, le paillage, l'enherbement...

2.2 Types de fertilisants

2.2.1 Les engrais

Deux types d'engrais peuvent être utilisés dans l'agriculture biologique.

▪ **Engrais d'origine animale**

Les différentes déjections animales, appelées aussi 'engrais de ferme' dont, l'ITAB(2001a), regroupe tous les types de déjections produites dans une ferme. On distingue :

- **Le fumier**

Les quantités de fumier produites dépendent aussi selon Ziegler et Heduit (1991), (tableau 5) du mode de stabulation et de la catégorie des animaux.

- **Les lisiers**

Les lisiers sont des mélanges liquides de fèces et d'urines avec quelques déchets de litière ou d'aliments. On distingue les lisiers liquides, dont le taux de matière sèche est inférieur à 13%, et les lisiers pailleux, qui contiennent une quantité variable de litière, et dont le taux de matière sèche moyen varie de 10 à 20 % (ITEB, 1991). Les lisiers présentent différentes contraintes environnementales (Adas, 1993) par leur richesse en nitrates et certains métaux tel que le cuivre et le zinc.

- **Les purins**

D'après l'ITAB (2001b), les purins sont des exsudats liquides provenant du stockage des fumiers, comprenant éventuellement des urines (moins de 3% de matière sèche), ou constitués d'eau de pluies souillées lors de leur passage sur, ou à travers du tas de fumier

▪ **Les engrais verts**

La culture d'engrais vert est un procédé qui consiste à enfouir dans le sol des plantes herbacées à l'état vert en vue d'augmenter la quantité de matière organique dans le sol. Il en résulte une augmentation d'azote et une plus grande disponibilité de certains nutriments, ce qui améliore la productivité du sol.

Trois grandes familles de plantes sont couramment utilisées comme engrais verts pour les fermes et les jardins :

Les légumineuses (les plus employées fixent l'azote atmosphérique), les crucifères (poussent bien dans les sols pauvres en humus et se développent rapidement) et les graminées, cultivées en mélange avec des légumineuses.

• **Avantages d'utilisation des engrais verts**

Les engrais verts présentent les nombreux avantages suivants :

- Ils stimulent la vie microbienne du sol en mettant à disposition une nourriture abondante ;
- Les racines plongeantes des engrais verts travaillent le sol en profondeur et en améliorent ainsi la structure ;
- Ils assurent une couverture du sol, le protégeant contre l'érosion ;

- Ils captent des éléments nutritifs dans les profondeurs du sol, et pour les légumineuses, dans l'atmosphère. Ces éléments seront utiles aux cultures suivantes ;
- Ils piègent les nitrates et pourront les restituer pour la culture suivante (alors qu'un sol nu laissera les nitrates s'infiltrer vers les nappes phréatiques) ;
- Ils permettent une meilleure circulation de l'eau dans le sol ;
- Leur culture empêche le développement des herbes indésirables ;
- Certains engrais verts, comme le seigle, la phacélie ou le trèfle sont de très bons producteurs d'humus.
- Semés en mélange, les engrais verts seront encore plus bénéfiques pour le sol : outre que cela permet un travail des racines à différentes profondeurs du sol (selon les espèces cultivées) et donc également de capter plus d'éléments nutritifs, un mélange permettra aussi une meilleure couverture du sol.

2.2 Biocomposts

2.2.1 Généralités

▪ Définition

Le compostage est la transformation d'une matière organique très instable et fortement biodégradable en une matière organique stable (Leclerc, 2001). Le compostage est un processus contrôlé de dégradation de constituants organiques d'origine végétale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée de température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost d'origine végétale.

Selon Charnay (2005), le compostage est un mode de traitement biologique aérobic des déchets. Le compost est donc un produit organique en état de décomposition plus ou moins avancée destiné à un retour au sol (Francou, 2003).

▪ Avantages du compost à base de plantes

L'utilisation du compost comporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

➤ Amélioration de la croissance des végétaux et racines

Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement (Ademe, 2001 ; Ademe, 2008).

➤ Amélioration du rythme de diffusion des nutriments

Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001).

➤ Amélioration de la porosité du sol

L'activité microbienne est essentielle à la porosité du sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques pour rendre les nutriments accessibles aux végétaux (Ademe, 2008 ; Ademe, 2001). L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique.

➤ **Amélioration de la capacité de rétention d'eau**

La matière organique contenue dans le compost peut absorber l'eau et améliorer ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. (Zurbrugg et Ahmed, 1999; Ademe, 2001; Ademe, 2008).

➤ **Elimination des maladies chez les végétaux**

Il a été démontré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies (Larbi, 2006). L'effet phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost. D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains organismes pathogènes.

▪ **Le vermicompostage**

Le terme Vermicompostage (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers. Pour composter les résidus organiques, Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique végétale et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les turriculés (excréments) des vers sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries.

Notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (FAO, 2005).

Plusieurs recherches menées dans différentes parties du monde ont montré que le jus de compost en plus de son action fertilisante, pourrait être un moyen efficace de lutte contre les maladies fongiques des plantes en stoppant ou en inhibant le développement des champignons pathogènes.

Chapitre 3: Biostimulants des plantes et leurs intérêts pour l'agriculture

1 Généralités sur les biostimulants

1.1 Définition

Les biostimulants se définissent comme des substances et/ou micro-organismes dont la fonction, lorsqu'ils sont appliqués aux plantes ou à la rhizosphère, est la stimulation des processus naturels qui favorisent et améliorent l'absorption ou l'utilisation des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, la qualité ou le rendement de la culture, indépendamment de la présence de nutriments.

Les recherches de ces dernières années démontrent clairement que les plantes peuvent être « vaccinées » par l'intermédiaire de différentes approches, dont les biostimulants, utilisés principalement en mode préventif.

1.2 Caractéristiques et potentialités

- Les biostimulants peuvent avoir une origine animale, minérale, végétale ou microbienne, voire être élaborés par synthèse industrielle.
- Les biostimulants fonctionnent grâce à différents mécanismes que les engrais, indépendamment de la présence de nutriments dans les produits.
- Ils diffèrent des produits de protection des cultures, car ils agissent seulement sur la vigueur de la plante ; ils ne possèdent pas l'action directe contre les ravageurs ou les maladies : ce sont des éliciteurs pour végétaux.
- En raison des quantités souvent faibles à apporter l'utilisation des biostimulants est fréquemment combinée avec l'apport d'autres fertilisants.
- La biostimulation est donc complémentaire à la nutrition et la protection des cultures. Le critère de différenciation est sur l'efficacité envers les stress, biotiques ou abiotiques
- **Le stress biotique** concerne les attaques de pathogènes ou maladies (autres que les carences). Il est géré par les produits de Biocontrôle.
- **Le stress abiotique** couvre les stress thermiques, hydriques et, oxydatifs.

1.3 Types de biostimulants

Les biostimulants ont été classés selon leur origine « **biotique ou abiotique** » et selon leur nature « **organique ou inorganique** » pour le cas abiotique, on distingue:

1.3.1 Biostimulants d'origine abiotiques

1.3.1.1 Composés inorganiques

- **Substances Humiques**

Les substances humiques et leurs complexes dans le sol résultent donc de l'interaction entre la matière organique, les microorganismes et les racines des plantes.

Elles sont extraites de la matière organique naturellement humifiée (par exemple à partir de la tourbe ou des sols volcaniques), à partir de composts et lombricomposts, ou à partir de gisements minéraux (leonardite, une forme d'oxydation du lignite). En outre, les sous-produits agricoles, au lieu de se décomposer dans un sol ou par compostage, se prêtent à la dégradation contrôlée et à l'oxydation par des procédés chimiques, conduisant à «substances humiques-like» qui sont proposées comme substitut HS naturel (Eyheraguibel et al., 2008). Les substances humiques ont été reconnues comme des contributeurs essentiels à la fertilité du sol, agissant sur les propriétés biologiques, physiques, physico-chimiques et, chimiques du sol. L'activité de biostimulation des HS se réfère à l'amélioration de la nutrition des racines et à la phytoprotection (Olivares et al., 2015 et Schiavon et al., 2010).

- **Éléments chimiques bénéfiques**

Les éléments chimiques qui favorisent la croissance des plantes sont appelés éléments bénéfiques. Cinq principaux éléments bénéfiques sont Al, Co, Na, Se et Si sont présents dans les sols et les plantes. Ces fonctions bénéfiques peuvent être constitutifs, comme le renforcement des parois cellulaires par des dépôts de silice, ou exprimés dans des conditions environnementales déterminées (conditions de stress), comme l'attaque d'agents pathogènes pour le sélénium et le stress osmotique du sodium (Pilon-Smits et al., 2009).

1.3.1.2 Composés organiques

- **Les hydrolysats de protéines, mélange de peptides et des acides aminés**

sont obtenus par hydrolyse de protéines chimique et enzymatique de agroindustriel sous-produits, à partir de sources végétales (résidus de culture) et les déchets d'origine animale (du Jardin, 2012; Calvo et al, 2014. et Halpern et al., 2015).

Cas par cas, ces composés ont été montré à jouer plusieurs rôles en tant biostimulants de la croissance des plantes (Calvo et al, 2014;. Du Jardin, 2012, Halpern et al, 2015). Les effets indirects sur la nutrition des plantes et de la croissance sont également importants dans la pratique agricole lorsque les hydrolysats de protéines sont appliqués aux plantes et les sols. Les hydrolysats de protéines sont connus pour augmenter la biomasse microbienne et de l'activité, la respiration du sol et, dans l'ensemble, la fertilité des sols.

- **Chitosan et autres biopolymères**

Le chitosan est une forme désacétylée de la chitine de biopolymère, produite naturellement et industriellement. Ce composé peut se lier à des récepteurs spécifiques impliqués dans l'activation des gènes de défense, d'une manière similaire à celle des éliciteurs de défense des plantes (El Hadrami et al., 2010, Hadwiger 2013, Katiyar et al., 2015 et Yin et al., 2010). Les applications agricoles de chitosan ont été développées au fil des ans, en mettant l'accent sur la protection des plantes contre les pathogènes fongiques, mais les utilisations agricoles plus larges portent sur la tolérance aux stress abiotiques (sécheresse, salinité, stress dû au froid) et sur les traits de qualité liés à des métabolismes primaires et secondaires.

1.3.2 Biostimulants biotiques

1.3.2.1 Biostimulants d'origine algale et/ou végétale

L'utilisation d'algues fraîches en tant que source de matière organique et les engrais est ancienne dans l'agriculture, mais les effets biostimulantes ont été enregistrés récemment par les extraits d'algues et les extraits de plantes.

La plupart des espèces d'algues appartiennent aux algues brunes - avec *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria* comme générateur principal, mais les carraghénanes proviennent de algues rouges, qui correspondent à une ligne phylogénétique distincte. 20 produits d'algues utilisées comme biostimulant de la croissance des plantes ont été répertoriées par Khan et al. (2009). Les algues agissent sur les sols et sur les plantes (Craigie et al., 2008, Craigie, 2011 et Khan et al., 2009). Ils peuvent être appliqués sur les sols, dans les solutions hydroponiques ou traitements foliaires. Dans les sols, leurs polysaccharides contribuent à la formation de gel, la rétention d'eau et l'aération du sol. Les composés polyanioniques contribuent à la fixation et à l'échange de cations, ce qui est également intéressant pour la fixation de métaux lourds et de l'assainissement du sol. Les effets positifs via la microflore du sol sont également décrits, avec la promotion de bactéries favorisant la croissance de plantes et d'antagonistes des agents pathogènes dans les sols suppressives.

Chez les plantes, les effets nutritionnels via la mise à disposition et les micro- et macro-éléments indiquent qu'ils agissent comme des engrais, à côté de leurs autres rôles. Impacts sur la germination des graines, l'établissement des plantes et sur la poursuite de la croissance et le développement sont associés à des effets hormonaux, qui est considéré comme des causes majeures de l'activité de biostimulation sur les plantes cultivées

En outre, les interactions des plantes dans les écosystèmes sont connues pour être médiées par des composés actifs de plantes, référés comme allélochimiques, qui reçoivent une

attention croissante dans le contexte de la gestion durable des cultures. Bien que la rotation des cultures, les cultures intercalaires, les cultures de couverture et le paillage sont utilisés en premier lieu pour exploiter les interactions entre les plantes.

1.3.2.2 Biostimulants d'origine microbienne

Les biostimulants microbiens comprennent les champignons mycorhiziens et non mycorhiziens ainsi que, les endosymbionts bactériens (comme Rhizobium).

Ils permettent de promouvoir la croissance des plantes, ce sont des promoteurs de croissance tels que les Rhizobacteria.

En général, l'application des micro-organismes bénéfiques aux plantes peut montrer la double fonction suivante : comme agent de biocontrôle et/ou biostimulant.

1.4 Modes d'utilisation

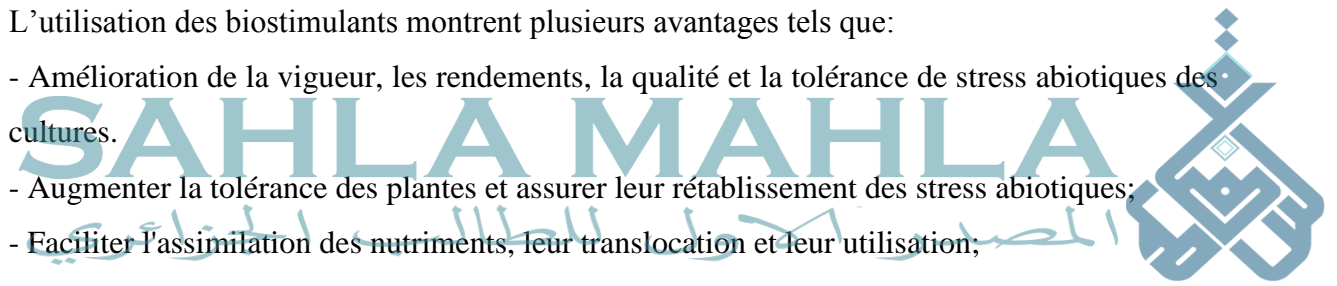
Les Biostimulants peuvent être utilisés selon différents modes tels que :

- Incorporation dans le sol,
- Pulvérisation sur les plantes en cours de végétation de la culture.
- Enrobage de la semence.

1.5 Avantages

L'utilisation des biostimulants montrent plusieurs avantages tels que:

- Amélioration de la vigueur, les rendements, la qualité et la tolérance de stress abiotiques des cultures.
- Augmenter la tolérance des plantes et assurer leur rétablissement des stress abiotiques;
- Faciliter l'assimilation des nutriments, leur translocation et leur utilisation;
- Améliorer la qualité des attributs des produits, y compris la teneur en sucres et, la couleur des fruits,
- Faciliter l'utilisation de l'eau;
- Améliorer la fertilité des sols, en favorisant le développement des microorganismes utiles.



Chapitre 4 : Lutte biologique

1 Généralités sur les maladies des plantes

1.1 Introduction à la phytopathologie

1.1.1 Objectifs de la phytopathologie

La pathologie végétale (phytopathologie) est la science qui étudie les maladies des plantes, surtout les maladies des plantes cultivées.

Phytopathologistes étudient la biologie des plantes et des agents pathogènes des plantes, et leurs interactions dans les environnements où les plantes sont cultivées.

Les phytopathologistes étudient les moyens de contrôler ou de réduire les maladies des plantes, à la fois sur le terrain et après la récolte. Enfin,

les phytopathologistes travailler avec les agriculteurs pour réduire la perte de récolte dues à les agents pathogènes des plantes.

1.2 Etiologie:

1.2.1 Définition et causes des maladies infectieuses et non infectieuses.

Les maladies des plantes sont dues à:

- (1) des organismes pathogènes (surtout : champignons, virus, nématodes, bactéries)
- (2) les maladies physiologiques: conditions environnementaux qui ne sont pas favorable pour la plante (manque des substances nutritives, l'inondation, trop de soleil, etc.)

La distinction entre une maladie causée par une pathogène et une maladie physiologique n'est pas toujours facile à faire!

1.2.2 Concept de maladie des plantes

Tous les organismes vivants ont certaines fonctions biologiques nécessaires à la santé.

Pour les plantes, ces fonctions biologiques comprennent:

- Absorption d'eau et éléments minérales par les racines.
- Transport d'eau et éléments minérales dans la plante.
- La photosynthèse.
- Transport des produits de la photosynthèse (sucres) tout au long de la plante.
- Métabolisme et croissance.
- Stockage de la nourriture.
- Reproduction.

Tous les agents pathogènes des plantes interfèrent avec un ou plusieurs de ces fonctions biologiques.

Par exemple, un agent pathogène qui s'attaque aux feuilles réduira la capacité de la plante à mener la photosynthèse.

Un champignon qui attaque les racines de la plante réduit l'absorption d'eau et éléments minéraux, et aussi leur transport.

1.2.3 Classification des maladies

Les maladies des plantes sont causées par des organismes pathogènes (surtout: champignons, virus et bactéries), qui sont normalement présents et souvent en grande quantité dans leur environnement, ou les maladies physiologiques (les conditions environnementales qui ne sont pas favorables pour la plante (manque des substances nutritives, l'inondation, trop de soleil, etc.).

1.2.4 Le «triangle de la maladie»

Il est important de se rappeler qu'une «maladie» n'est pas exactement la même chose qu'un «agent pathogène»! Une façon d'envisager cela, est de penser à la maladie comme une interaction avec trois conditions nécessaires:

- Il doit y avoir un hôte qui est susceptible (prédisposé) à devenir malade.

Par exemple, certains champignons pathogènes des plantes principalement attaquent les jeunes racines et plants, donc nous pouvons dire que les plantes plus âgées ne sont pas susceptibles à la maladie.

- Il doit y avoir un agent pathogène, que nous appelons parfois «l'agent causal", qui est capable d'attaquer la plante.
- L'interaction entre l'agent causal et la plante doit se produire dans un environnement qui est favorable (propice).

Remarque

Certains agents pathogènes des plantes dans le sol ne peut attaquer quand il ya beaucoup d'eau dans le sol, tandis que d'autres sont plus actifs dans le sol sec. De nombreux champignons que les feuilles des plantes d'attaque nécessitant une pellicule d'eau sur la surface des feuilles en vue de pénétrer dans la plante.

Nous pouvons illustrer l'importance de ces trois facteurs avec un modèle appelé le «**triangle de la maladie**».

Le triangle de la maladie fournit également un moyen de penser à lutter contre les maladies des plantes, car si nous pouvons éliminer ou de réduire l'importance de l'une quelconque des trois côtés du triangle, nous pouvons éliminer ou de réduire la maladie.

Sauf les trois côtés du triangle sont présents, la maladie ne se produira pas.

Par exemple, pour un champignon pathogène, l'application d'un fongicide peut tuer l'agent pathogène et éliminer le côté du triangle "pathogène virulent". Or, si nous planter des cultures avec une résistance génétique à un agent pathogène («résistance» est le contraire de «susceptibilité»), nous pouvons éliminer ou réduire le côté du triangle de la maladie étiqueté «hôte sensible».

Comme autre exemple, parce que certains agents pathogènes des plantes ont besoin d'eau pour attaquer les racines des plantes, nous pouvons éliminer l'«environnement favorable» en drainant l'eau du sol, ou par planter lorsque le sol est sec.

Pour toutes les maladies des plantes, nous pouvons penser à des façons d'utiliser le triangle de la maladie pour découvrir des mesures de lutte contre la maladie.

1.2.5 Types d'agents phytopathogènes

Ils sont classés selon leur mode de vie :

- **Parasites obligatoires** : agents qui nécessitent obligatoirement la présence d'une cellule vivante pour leur survie. Ils sont responsables de causer des symptômes et des maladies phytopathogènes. Ils ne peuvent pas être cultivés sur des milieux de cultures artificiels ou synthétiques,
- **Parasites facultatifs** : agents qui ne nécessitent pas obligatoirement la présence d'une cellule vivante pour leur survie. Ils peuvent mener une vie saprophytique en dehors de la plante hôte. Ils peuvent être cultivés sur des milieux de cultures artificiels ou synthétiques,
- **Saprophytes** : agents qui se développent sur la matière organique en voie de décomposition et les substrats végétaux morts. Ils ne sont pas donc responsables de causer des symptômes et de maladies phytopathogènes. Ils peuvent être tous cultivés sur milieux de cultures artificiels ou synthétiques,

1.2.6 Vecteurs de transmission et de propagation de la maladie et des agents phytopathogènes

- Semences et plants,
- Pluie et eau d'irrigation,
- Vent,
- Outils agricoles,
- Animaux et Homme,
- Insectes,
- Nématodes,

2 Contrôle des maladies des plantes

On distingue cinq catégories du contrôle des agents phytopathogènes

2.1 Écologique ou culturale: maintenir les conditions favorables pour la croissance (humidité du sol, température, améliorer de carences minérales du sol); éviter l'excès d'humidité par drainage ou un contrôle intelligent de l'irrigation; éliminer des plantes malades et les débris (cultivation, enlèvement); éviter d'endommager les tissus végétaux; pratiquer la rotation longue, désinfecter les semences et le matériel (hypochlorite de Na/Ca, détergents); le sol par traitement vapeur-solarisation.

2.2 Agents chimiques: désinfecter les outils pour tailler ou greffer; fongicides, antibiotiques (pour les maladies bactériennes)

2.3 Lutte biologique: On peut volontairement introduire dans une parcelle infectée une bactérie ou un champignon inoffensif pour la plante mais qui présente des antagonismes forts avec une bactérie ou un champignon particulièrement pathogène. Ces alternatives aux traitements chimiques sont peu à peu mises au point et arrivent sur le marché.

2.4 Résistance (plantes): choisir des variétés résistantes (quand il y en a)

2.5 Lutte contre les maladies à virus des plantes: Contrairement aux produits chimiques fongicides utilisés pour lutter contre les maladies fongiques, à ce jour il n'existe pas de traitements chimiques efficaces qui protègent les parties de la plante contre l'infection par le virus. En outre, il n'existe pas de traitements chimiques connus utilisés dans des conditions de terrain qui éliminent les infections virales à partir de tissus de la plante une fois qu'ils se produisent. Pratiquement parlant, les plantes infectées par des virus restent.

Ainsi, le contrôle du virus de la mosaïque du tabac est principalement axé sur la réduction et l'élimination des sources du virus et dans certains cas limiter la propagation des insectes. Assainissement des plantes infectées est probablement la pratique la plus importante dans la lutte contre les maladies virales. Certaines variétés de plantes peuvent également présenter une résistance à certains virus.

3 Les biopesticides

3.1 Introduction

Les biopesticides, « organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures » sont utilisés depuis des siècles par les fermiers et paysans.

Ils sont classés en trois grandes catégories selon leur origine (microbienne, végétale ou animale) et présentent de nombreux avantages. Ils peuvent être aussi bien utilisés en

agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique, certains permettent aux plantes de résister à des stress abiotiques et d'une manière générale, ils sont moins toxiques que leurs homologues chimiques. Même s'ils ont souvent la réputation d'être moins efficaces que ces derniers, les biopesticides sont l'objet d'un intérêt croissant de la part des exploitants, notamment dans le cadre de stratégies de lutte intégrée.

3.2 Définition

Les biopesticides sont des organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de limiter ou de supprimer les ennemis des cultures» (Thakore, 2006).

3.3 Classification

Les produits considérés comme des biopesticides par les agences de réglementation européennes et mondiales sont d'origines diverses. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Chandler et al., 2011 ; Leng et al., 2011). Les deux premiers sont les plus utilisés dans la lutte biologique.

3.4 Avantages

Les biopesticides offrent de nombreux avantages :

- Ils sont biodégradables,
- Ne laissent pas de résidus nocifs,
- Ils sont moins onéreux que les pesticides chimiques,
- Ils peuvent être employés dans un délai proche de la récolte
- Leur nature permet leur utilisation aussi bien en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle
- Leur toxicité réduite vis-à-vis des pollinisateurs, ne peuvent pas être ignorés dans un contexte socio-politique de plus en plus soucieux de l'écologie.

3.5 Inconvénients

Comparés aux produits chimiques, les biopesticides sont moins efficaces vu :

- Leur grande spécificité nécessite une identification exacte du ravageur
- Leur vitesse d'action souvent lente les rend impropres à traiter une menace immédiate pour une culture,
- Leur efficacité est souvent variable à cause de l'influence de divers facteurs biotiques ou abiotiques.

4 Stimulateurs des Défenses Naturelles des plantes (SDN)

Les Stimulateurs des Défenses Naturelles des plantes (SDN) sont des substances qui, une fois appliquées sur la plante, vont déclencher les défenses de cette dernière. Cela va permettre à la plante d'être dans un état de résistance contre un pathogène auquel elle serait normalement sensible. Cette définition rappelle celle des éliciteurs, cependant les SDN ne peuvent pas être limités qu'aux éliciteurs.

Les SDN ont des modes d'action variés qui dépendent de la dose appliquée, de la plante traitée et de l'agresseur visé.

Plusieurs formulations commercialisées comme fertilisants ont des activités SDN supposées ou suggérées. Ainsi, sur les fiches de produits, les termes phytostimulants, stimulateurs de résistance, fortifiants des plantes, biostimulants, bioactivateurs, activateurs de défense, phytoactivateurs, nutrition santé des plantes ou encore renforts de résistance laissent penser à une activité SDN.

Les SDN peuvent être de plusieurs origines. On trouve les synthétiques comme l'acide β -amino butyrique (BABA) ou comme l'analogue fonctionnel de l'acide salicylique (acibenzolar-S-méthyl, ASM). Il y a les substances naturelles minérales comme les poudres de roche, les substances naturelles végétales comme la laminarine, les substances microbiennes comme l'harpine et animales comme le chitosan.

5 Biopesticides à base de plantes

Les plantes ont développé des mécanismes de défense naturelle pour se protéger, bien avant que l'homme ne joue un rôle actif pour leur protection. Elles synthétisent une variété de groupes de composés bioactifs dans leurs tissus végétaux comme métabolites secondaires (Castillo et al., 2010).

Le recours au monde végétal et aux molécules qui ont permis aux plantes de se protéger contre les bioagresseurs devient donc indispensable. Les substances de défense synthétisées par les végétaux sont des sources d'inspiration de plus en plus fréquentes pour la recherche de nouveaux produits phytosanitaires. Les produits naturels ou biopesticides sont de plus en plus recherchés pour une agriculture durable (Regnault-Roger, 2008).

Le choix de la lutte biologique par l'utilisation des extraits de plantes, de leurs huiles essentielles ou bien de leurs principes actifs est une solution prometteuse permettant d'éviter les effets secondaires causés par les produits chimiques (Arras et Piga 1994; Wilson et al., 1997 ; Wedge et al., 2000). Plusieurs travaux ont montré que beaucoup d'extraits possèdent des activités biologiques diverses, y compris antibactériennes, antifongiques, antivirales,

insecticides et anti oxydantes (Sattar et *al.* 1995 ; Marinkovic et Knezevic, 2002 ; Obreshkova et Oplachenova, 2003).

6 Biopesticides microbiens

La phytoprotection assurée par les microorganismes bénéfiques (MOB) s'explique par leurs potentialités à réduire le niveau de maladie des plantes par plusieurs mécanismes, notamment en sécrétant des antibiotiques, des enzymes lytiques ou par compétition trophique.

Un autre mécanisme utilisé surtout par les champignons mycorhiziens, les PGPR et les PGPF est l'activation de la défense naturelle des plantes, mécanisme connu sous le nom de **Induced Systemic Resistance (ISR)**. Tout comme la Systemic Acquired Resistance (SAR), qui est activée suite une attaque pathogène, l'ISR permet l'activation d'une défense ultérieure contre un large spectre d'agents pathogènes.

Les agents de biocontrôle microbiens sont résumés dans le chapitre 5 qui traite les micro-organismes utiles pour l'agriculture.



Chapitre 5 : Les micro-organismes bénéfiques pour l'agriculture biologique

1 Introduction

Il est connu depuis longtemps que la présence des microorganismes dans le sol exerce des effets importants sur la croissance des plantes. Les interactions entre les microorganismes et la plante dans la rhizosphère sont nombreuses et variées. Les microorganismes en présence exercent une grande influence sur plusieurs mécanismes responsables de la santé et de la croissance des plantes. Ils règlent souvent la réponse de la plante au stress environnemental et contribuent au développement même des racines et de la biomasse.

Les plantes sont naturellement colonisées par des milliards de micro-organismes qui, peuvent vivre soit en association avec les plantes ou libres mais présentant des intérêts pour ces dernières.

L'étude des communautés microbiennes associées aux plantes nous a permis de mettre en évidence de nombreux micro-organismes d'intérêt agronomique. Certains peuvent protéger les cultures en participant à la lutte biologique alors que d'autres contribuent à améliorer la nutrition des plantes en solubilisant les éléments minéraux bloqués dans le sol ou encore stimuler la croissance racinaire par la sécrétion de phytohormones...

Les micro-organismes utiles, jouent un rôle dans la bio-conservation des plantes en utilisant différents modes d'action (parasitisme, antibiose ou induction d'antibiotiques et de toxines, induction de résistances, occupation de niches écologiques ou endosymbiose, induction de croissance des plantes,...). L'utilisation des techniques de bio-préservation semble être une bonne alternative aux méthodes faisant appel aux molécules «chimiques» et devrait permettre de répondre aux attentes des consommateurs qui souhaitent des produits «plus naturels».

2 Associations micro-organismes bénéfiques avec les plantes

L'interaction Plante-Microorganismes utiles peuvent engendrer les deux types d'associations suivantes :

2.1 La symbiose

Association obligatoire et spécifique entre deux organismes ne pouvant vivre l'un sans l'autre, chacun d'eux tirant un bénéfice de cette association.

- **Exemple :**

La nodulation des légumineuses est le résultat de l'association entre les plantes de la famille des légumineuses avec des bactéries : les rhizobiums, qui fixent l'azote atmosphérique,

permettant ainsi une nutrition azotée riche pour la plante. En échange, la bactérie récupère des composés carbonés issus de la photosynthèse.

2.2 Le mutualisme

Association non obligatoire entre deux organismes, chacun d'eux tirant un bénéfice de cette association.

Exemples :

- **la symbiose avec des champignons mycorhiziens**, qui concerne près de 95% des plantes terrestres.
- Les **Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) ou Fungi (PGPF)** sont les plus connus. Ces micro-organismes bénéficient des apports carbonés de la plante au niveau des exsudats et induisent chez leurs hôtes une amélioration en terme de croissance et de protection contre les pathogènes.

3 Micro-organismes d'intérêts agronomiques

3.1 Les bactéries

Parmi les bactéries les plus utiles pour l'agriculture sont cités les deux genres : *Bacillus* et *Pseudomonas* dont plusieurs espèces de *Bacillus* (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus Subtilis*) et des espèces de *Pseudomonas* spp. Fluorescents ont été rapportées par la bibliographie.

3.1.1 *Bacillus*

La bactérie *Bacillus subtilis* colonise les radicelles des plantules, ce qui lui confère les potentialités suivantes:

- Améliorer leur croissance et leur vigueur par Solubilisation de phosphore, production des phytohormones et amélioration de l'absorption des éléments nutritifs.
- Augmenter l'efficacité photosynthétique
- Induire les défenses naturelles des plantes : *Bacillus subtilis* stimule presque tout le système de défense immunitaire d'une plante, par activation de leurs gènes de défense. L'effet est systémique : la réponse au contact avec la bactérie se répercute partout dans la plante.
- Empêcher les maladies de sol à attaquer les plantules ou Agent de biocontrôle : *Bacillus subtilis* détruit (cannibalise) pratiquement tous les micro-organismes nocifs vu les multiples activités biocides suivantes :

- ✓ Activité bactéricide par la production des métabolites antibactériens efficaces contre plusieurs maladies telles *Xanthomonas* et *Erwinia*.
- ✓ Activité fongicide par la production des substances antifongiques de nature lipopeptidiques qui perforent les membranes cellulaires des champignons pathogènes et détruisent les spores et le mycélium empêchant ainsi la pénétration et l'infection des tissus végétaux.

3.1.2 *Pseudomonas* spp. fluorescents

Les *Pseudomonas* spp. fluorescents font l'objet d'une attention particulière.

L'inoculation des plantes à l'aide de certaines souches de *Pseudomonas* spp. s'accompagne

- D'une **Stimulation de la croissance, de la vigueur des plantes et le rendement** de la culture en améliorant leur alimentation minérale et en synthétisant des substances de croissance.
- Protection contre des micro-organismes pathogènes où, deux types de mécanismes bénéfiques ont été démontrés:
 - ✓ Modification des équilibres microbiens au niveau de la rhizosphère en réduisant la densité et l'activité néfaste de microorganismes pathogènes par compétition et antibiose.
 - ✓ Augmentation du niveau de résistance des plantes aux maladies.

3.2 Les Actinomycètes

Les actinomycètes présentent deux genres importants pour l'agriculture : *Streptomyces* et *Frankia* via les potentialités suivantes :

- Dégradation des engrais chimiques et des pesticides.
- Biocontrôle des maladies phytopathogènes,
- Dégradation des matières organiques et inorganiques dans le sol,

3.3 Les Rhizobia

3.3.1 Introduction

Le manque d'azote, de phosphore ou encore de calcium sont des facteurs limitants pour la croissance de la plante. L'azote est présent dans le sol (nitrates) mais aussi dans l'air sous forme de diazote (N₂). Mais la plante seule ne peut utiliser le diazote par manque d'enzymes adéquates. Quelques plantes, comme les légumineuses, s'associent alors à des bactéries de leur rhizosphère pour gagner cette faculté.

Les espèces du genre *Rhizobium*, présentent la capacité de rentrer en **symbiose** avec des plantes de la famille des fabacées ou **Légumineuses** en formant des nodosités...(Figure ci-dessous).

Cette symbiose à **bénéfice réciproque** va permettre aux bactéries de bénéficier d'un micro habitat exceptionnellement favorable. Les Fabacées leur procurent un apport en substrats carbonés issus de la photosynthèse. En échange, ces bactéries vont fixer et réduire l'azote atmosphérique en ammonium,

Ainsi les légumineuses peuvent grâce à cette interaction enrichir le sol en azote pour les cultures suivantes.

3.3.2 Mise en place de la symbiose

Les bactéries fournissent donc de l'azote à la plante qui l'utilise pour sa croissance. En retour, la plante fournit des molécules organiques (à base de carbone) indispensables à la croissance de la bactérie. Cette symbiose fonctionne grâce à des nodosités présentes sur les racines de la plante, juste sous la surface, et dans lesquelles s'installent les bactéries symbiotiques « rhizobia ».

3.3.3 Intérêts des légumineuses et de la symbiose « Rhizobium-légumineuses »

➤ La mise en place de la symbiose favorise :

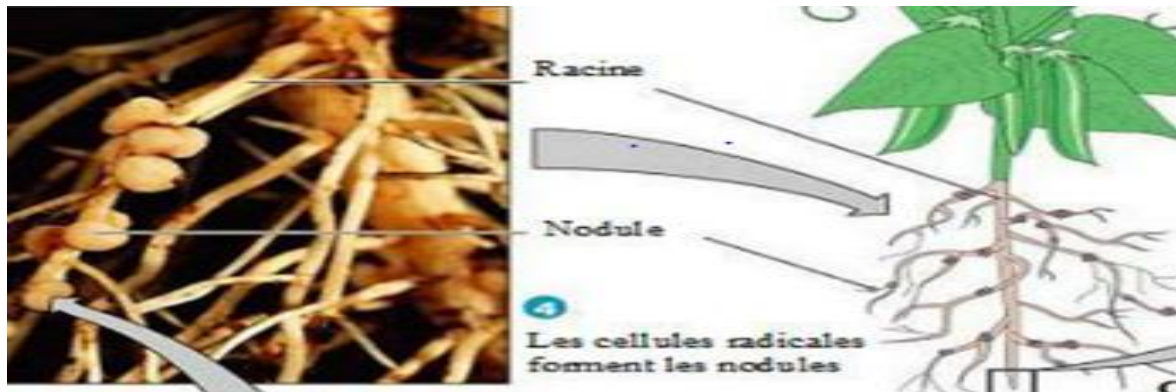
- Capacité aux légumineuses de fixer l'azote atmosphérique
- Amélioration de la nodulation
- Protection contre la sécheresse
- Augmentation de la fertilité du sol

➤ Amélioration du rendement et production des cultures

➤ **Introduction des légumineuses dans le système de rotation a un impact sur** la structure du sol, la fourniture d'azote pour les cultures associées ou qui lui succèdent et, leur concurrence vis-à-vis des adventices.

- **Structure du sol** : Le système racinaire souvent très développé des légumineuses favorise la structure du sol. Certaines possèdent un pivot (luzerne) qui permet d'avoir une action en profondeur favorisant ainsi l'infiltration de l'eau et l'alimentation des plantes...

- **Fourniture d'azote** : La fixation de l'azote par les légumineuses leur confère un rôle majeur dans la rotation. Les nodosités présentes au niveau du système racinaire « captent » l'azote atmosphérique qui est directement valorisé par le couvert présent. Cet azote est également libéré et mis à disposition des cultures suivantes après retournement.



Nodosités au niveau du système racinaire des légumineuses

- **Concurrence vis-à-vis des adventices (mauvaises herbes) :** les légumineuses sont fortement conseillées en associations avec des graminées. Elles jouent leur rôle de concurrence vis-à-vis des adventices grâce à un recouvrement important du sol. On peut les utiliser en regarnissage des prairies ou en interculture (tournesol, colza, orge de printemps).
- **Reconstitution des stocks fourragers :** Lorsque le printemps est particulièrement sec et froid, les stocks fourragers sont épuisés, dans ce contexte difficile, l'association graminées + légumineuses est la meilleure réponse pour assurer une production en quantité et qualité au pâturage.

3.4 Rhizobactéries ou « PGPR »

3.4.1 Importance

Les PGPR ont été utilisées pour la croissance des plantes, le contrôle biologique des maladies des plantes, la bioremédiation des sols contaminés et la dégradation et la minéralisation des composés organiques en association avec les plantes.

3.4.2 Modes d'action

Les PGPR agissent sur la croissance et le développement du végétal selon les deux voies suivantes :

- **Effets indirects** par réduction du nombre des phytopathogènes ou la prévention contre leur développement.
- **Effets directs** par l'augmentation de la biomasse végétale et le prélèvement des nutriments grâce à la production d'hormones de croissance végétale.

3.4.3 Potentialités

- **Biofertilisant par :**
 - fixation biologique de l'azote.
 - solubilisation du phosphore insoluble.
- **Phyostimulant par:**
 - production des phytohormones (auxines, cytokinines)
 - réduction de la concentration d'éthylène (à l'intérieur de la plante).
- **Biopesticide par:**
 - production des antibiotiques.
 - production des enzymes qui dégradent les parois cellulaires des champignons.

3.5 Les champignons

Deux genres de champignons utiles doivent être retenus : *Trichoderma* et *Gliocladium*

3.5.1 *Trichoderma*

- **Intérêts**
 - La stimulation de la vitalité des plantes
 - La capacité d'attaquer les agents pathogènes via les différents modes d'action.

- **Modes d'action**

Les modes d'action de *Trichoderma* dépendent de la présence ou l'absence d'agents pathogènes.

- **En présence d'agents pathogènes**

➤ **Modes d'action directs par :**

- Antibiose par la production de substances qui agissent comme des « antibiotiques ou des antifongiques » qui inhibent la croissance de l'agent pathogène;
- Parasitisme qui se manifeste par la destruction de l'agent pathogène lorsque *Trichoderma* s'enroule autour de celui-ci soit en l'étranglant, en pénétrant à l'intérieur et/ou en lui « injectant » des substances (enzymes) qui le détruisent.

➤ **Modes d'action indirects par :**

- Compétition qui se manifeste par l'aptitude de *Trichoderma* à utiliser les mêmes ressources du milieu que les champignons pathogènes. Il utilise ce mode d'action surtout pour occuper les lieux avant l'arrivée des agents phytopathogènes.

- **En absence d'agents pathogènes**

- Il peut avoir un effet stimulant pour la plante en absence de champignons pathogènes.

3.5.2 *Gliocladium*

- **Importance**

G. roseum colonise les plantes vivantes en tant qu'endophyte, digère le matériel dans le sol en tant que saprophyte. Il est également connu comme un agent de biocontrôle : un parasite des autres champignons et des nématodes.

- **Modes d'action**

- Antibiose par la production des substances toxiques antifongiques.
- Parasitisme ou/ et Hyperparasitisme par la sécrétion des enzymes dégradant les parois cellulaires entraînant la mort des agents pathogènes.
- Occupation du terrain en premier avec privation des agents pathogènes d'espace et de nourriture contre les pathogènes qui attaquent les parties souterraines (*Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*) et ceux qui attaquent les parties aériennes de la plante (*Mycosphaerella*:*Didymella*, *Botrytis*).

3.6 Mycorhizes ou Champignon mycorhiziens

3.6.1 Introduction

Les **mycorhizes** sont des symbioses bénéfiques entre les racines de plantes et certains champignons mycorhiziens du sol.

3.6.2 Mycorhization des plantes

Le mycélium "explore" le sol à la recherche d'une racine qui lui convient, et une fois qu'il a repéré sa présence grâce aux **hormones végétales sécrétées par la racine**, il développe un **réseau très ramifié de filaments en direction de la racine**,



- **Intérêts de la mycorhization**

- Le champignon retire des sucres de la plante alors que la plante reçoit des minéraux et de l'eau du champignon.
- **La plante aussi lui fournit, en quantités importantes, des composés carbonés** apportent également de petites quantités d'acides aminés et de vitamine B1
- **Le mycélium offre également une protection aux racines**

3.6.3 Types de mycorhizes

On distingue les ecto-endomycorhizes et les endomycorhizes dont les hyphes ou mycélium entrent à l'intérieur des tissus racinaires et les ectomycorhizes dont les hyphes du champignon ne rentrent pas à l'intérieur des cellules racinaires mais les entourent seulement.

3.6.4 Avantages des Mycorhizes

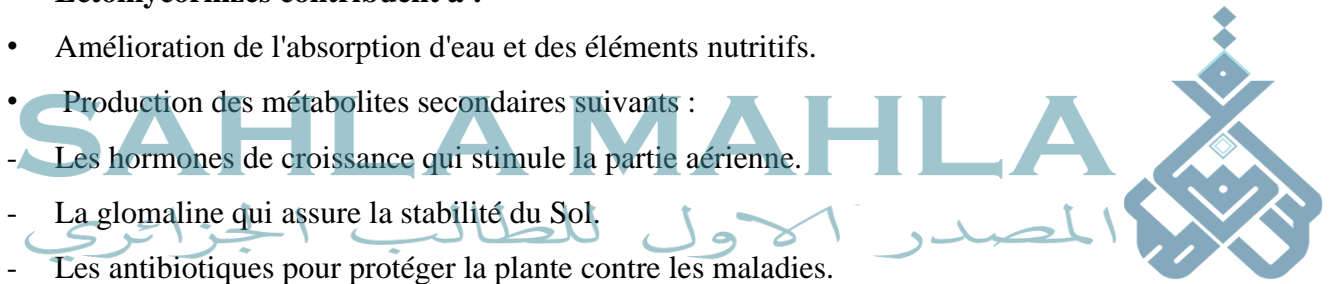
Les types de mycorhizes contribuent tous les trois pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

- **Ectomycorhizes contribuent à :**

- Amélioration de l'absorption d'eau et des éléments nutritifs.
- Production des métabolites secondaires suivants :
 - Les hormones de croissance qui stimule la partie aérienne.
 - La glomaline qui assure la stabilité du Sol.
 - Les antibiotiques pour protéger la plante contre les maladies.

- **Endomycorhizes et, ecto-endomycorhizes contribuent à :**

- Protection de la plante contre les agents pathogènes par compétition et antagonisme.
- Dépollution des sols par une assimilation des éléments indispensables pour les plantes.



Références bibliographiques

▪ Chapitres 1 et 2

- Médiagraphie Weill A, et J. Duval. 2009. Guide de gestion globale de la ferme maraichère diversifiée. https://www.agrireseau.net/references/9/marai_table_des_materieres.pdf Weill. 2016. Atelier sur les engrais verts maraichers. <https://www.cetab.org/publications/tableau>
- Weill, A. et D. La France. 2016. Essais d'engrais verts d'automne et d'été pour la production maraichère. https://www.cetab.org/system/files/publications/engrais_verts_st-remi_dec_2016.pdf
- Ademe, 2001. "Déchets organiques - Essai agronomique de plein champ d'un compost des Déchets verts (résultats 8e année d'expérimentation)." Paris, France.
- Ademe, 2008. Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 pages.
- Anonyme2, 2012. Les déchets verts.
- Anonyme2, 2013. Le compost : Comment ça marche ?, www.info@compostage.info.
- Cadorin P., 1995. Calendrier lunaire de l'agriculteur, Edition de Vecchi. s. a. Paris, p.140.
- Charnay F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une Démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat N° 56. Université de Limoges.
- Damien A., 2004. "Guide du traitement des déchets, 3ème édition." Paris, France.431.
- Duchaufour P., 1977. Pédologie. Pédogénèse et Classification, Masson/Ed., Paris, New York, Barcelone, Milan, Mexico, Sao Paulo.
- Francou C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-recherche d'indicateurs pertinents- thèse de doctorat de l'institut national agronomique paris-grignon, décembre 2003, 242p.
- Francou C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets Urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche D'indicateurs pertinents, Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon, 289p.
- Gray K. R., Sherman K. et Diddlestone A. J., 1973. A review of composting. Part1. Process biochem. 32-36.
- Guittonny- Larchevêque M 2004. Valorisation., d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : Comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement, Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, 227p.
- Grandeau, 1890. Le compostage des déchets verts, direction de la station agronomique de l'est, France Journal officiel de la République Algérienne n°77 du 15 décembre 2001, p8-15 loi n°01- 19 du 27 ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Larbi M., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse, Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, CH-Frick; l'Université de Neuchâtel. <http://orgprints.org/8935/>
- Leclerc B., 2001. Guide des matières organiques.eds guide technique de l'ITAB.
- Mustin M., 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusc eds, pp. 957, Paris.
- Pépin D., 2008. Le compostage et paillage au jardin : recycler, fertiliser, Edition Terre vivante, p.160. (www.verslaterre.fr)

Zurbrugg C. et Ahmed R., 1999. "Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management" SANDEC News 4.

A.D.A.S., 1983. Les fertilisants organiques, Le courrier du livre, Paris. A.F.E.Q. Manuel de fertilité des sols, Montréal. Barber, S. A., 1984. Soil Nutrients Bioavailability, John Wiley & Sons, New York.

Breune, I., L. Forest, P. Jobin, J. Petit, 2000. La structure du sol, un élément de sa fertilité, Centre de développement d'agrobiologie et Club du CDA, Québec.

Duval, J., 2003. Manuel des intrants bio, Club Bio-Action, M A P A Q, Québec.

Forest, L., P. Jobin, J. Petit, 2004. La culture sur billon et le semis direct : état du sol et croissance des cultures, CDAQ, Longueuil.

Gaucher, G., 1968. Traité de pédologie agricole, le sol et ses caractéristiques agronomiques, Dunod, Paris.

Jobin, P., Y. Douville, 1996. Engrais verts et cultures intercalaires, Centre de développement d'agrobiologie, Ste-Élisabeth-de-Warwick.

Jobin, P et G. Forand. 1993. Le bilan nutritif, une approche écologique de la gestion des éléments nutritifs sur la ferme. Essais et observations à la ferme - Rapport technique, Centre de développement d'agrobiologie, Ste-Eliz.-de-Warwick.

Hérody, Y., 1997. Connaissance du sol, tome 1, Le modèle de base, BRDA Éditions, Charency. Hérody,

Y. Guide BRDA des engrais, Fascicule 2, engrais organiques, BRDA Éditions, Charency. Institut de l'Élevage, 1999. Le bilan des minéraux. Cahiers 1 et 2. Documents réalisés par un groupe de travail animé par l'Institut de l'Élevage, Paris, France.

Legault, C, 2004. Guide de transition en agriculture biologique. Fédération d'agriculture biologique du Québec, 44 pages. M.A.P.A.Q.,1982. Manuel de gestion des fumiers, Québec.

Massenot, D., 2000. Les bases de la méthode Hérody, BRDA Éditions, Charency. Minnich, J., M. Hunt, 1979. The Rodale Guide to Composting, Rodale Press, Emmaus, Pa. Organic Gardening and Farming, 1973. Organic Fertilizers : Which Ones and How to Use Them, Rodale Press, Emmaus, Pa.

Patriquin, D.G., 1987. Nitrogen and biological husbandry, in The role of microorganisms in sustainable agriculture, AB Academic Publishers, p.81-103. Petit, J., 1988. Compost, théorie et pratiques, Éditions de l'Oiseau moqueur, Mandeville. Scott, A., 1968. Les sols, Beauchemin, Montréal.

Bell Alix & Leclerc Blaise, 2015. Inventaire français des essais au champ visant à évaluer les effets agronomiques, sanitaires et/ou environnementaux de Produits Résiduaux Organiques (PRO) de 1974 à 2012. Projet CASDAR n° 100095 et convention de financement ADEME n° 1006C0034, 418 pages.

Branthomme Pauline, 2015. Etude de faisabilité de la création d'un guide des matières fertilisantes utilisables en agriculture biologique en France. Mémoire d'ingénieur INP Toulouse, Ecole d'ingénieurs de Purpan, 94e promotion, avril 2015, 137 pages.

Bressoud Frédérique et Parès Laure, 2011. Amendements organiques et maraîchage biologique sous abris : résultats de 8 années d'expérimentation. Echo-MO n° 89 : 3-6.

Cadillon Adeline & Fourrié Laetitia, 2014. Comment les agriculteurs gèrent-ils la fertilité des sols ? Alter Agri n° 128, novembre –décembre 2014 : 6-7.

Cadillon Adeline, 2015. Fertilité des sols en Agriculture Biologique : Quelle stratégie établir pour la commission Agronomie de l'ITAB ? Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole d'ingénieurs de l'ISARA-Lyon, 42e promotion, juillet 2015, 126 pages.

Dragon Sophie, 2009. Effet d'apports de différents fumiers et composts sur les propriétés d'un sol sablo-argileux. Bilan de 15 années d'essais en culture légumière. Mémoire de fin d'études Agrocampus Rennes, 65 pages + 66 pages d'annexes.

Adas (1993). Les fertilisants organiques. Sciences et techniques de l'an 2000 : 124 pages.

Gibbs J., Lewis L. (1989). Reducing Methane Emissions from Livestock: opportunities and issues. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (1998). Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sol. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement N°14. Lausanne, Suisse. 519 pages.

Godden B. (1986). Etude du processus de compostage du fumier de bovin. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 pages+annexes. Godden B. (1995). La gestion des effluents d'élevage. Techniques et aspect du compostage dans une ferme biologique. Revue de l'Ecologie.No 13.p37. Groupement de Recherche en Agriculture Biologique. (1988). Effet comparés de fertilisation organique et minérale sur le lessivage des nitrates et la dynamique de l'azote au cours d'une rotation. Rapport final 1984-1988, ANRED, Conseil Régional PACA, 62 pages.

Hoitink H.A.J. (1995). The Composting Process. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 p 22-23. ITAB (2001b). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 p 87. ITAB (2001c). Guide des matières organiques. Tome 1. ITEB (1991). L'élevage bovin et l'environnement –guide pratique. Annexe : Bâtiments d'élevage bovin et porcin- réglementation et préconisations. Ministère de l'Agriculture, ITEB, 94 pages.

Leclerc B., George P., Cauwel B., Lairon D. (1995). A five year study on nitrate leaching under crops fertilized with mineral and organic fertilizers in lysimeters. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . Le Houérou B. (1993). Les dépôts de fumiers au champs : pertes en azote par percolation des jus sous les tas. In Uget 13, Dossier Ruralité Environnement Développement. Luxembourg , 18 novembre 1992. P 73-83.

Ziegler D., Héduit M. (1991). Engrais de ferme, valeur fertilisante, gestion et environnement. ITCF, ITP, ITEB, France 35p.

Adas (1993). Les fertilisants organiques. Sciences et techniques de l'an 2000 : 124 pages.

Gibbs J., Lewis L. (1989). Reducing Methane Emissions from Livestock: opportunities and issues. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (1998). Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sol. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Gérer l'Environnement N°14. Lausanne, Suisse. 519 pages.

Godden B. (1986). Etude du processus de compostage du fumier de bovin. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 pages+annexes. Godden B. (1995). La gestion des effluents d'élevage. Techniques et aspect du compostage dans une ferme biologique. Revue de l'Ecologie.No 13.p37. Groupement de Recherche en Agriculture Biologique. (1988). Effet comparés de fertilisation organique et minérale sur le lessivage des nitrates et la dynamique de l'azote au cours d'une rotation. Rapport final 1984-1988, ANRED, Conseil Régional PACA, 62 pages.

Hoitink H.A.J. (1995). The Composting Process. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 p 22-23. ITAB (2001b). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 p 87. ITAB (2001c). Guide des matières organiques. Tome 1. ITEB (1991). L'élevage bovin et l'environnement –guide pratique. Annexe : Bâtiments d'élevage bovin et porcin- réglementation et préconisations. Ministère de l'Agriculture, ITEB, 94 pages.

Leclerc B., George P., Cauwel B., Lairon D. (1995). A five year study on nitrate leaching under crops fertilized with mineral and organic fertilizers in lysimeters. Cité par ITAB (2001). Guide des matières organiques. Tome 1. Deuxième édition 2001 . Le Houérou B. (1993). Les

dépôts de fumiers au champs : pertes en azote par percolation des jus sous les tas. In Uget 13, Dossier Ruralité Environnement Développement. Luxembourg , 18 novembre 1992. P 73-83.
Ziegler D., Héduit M. (1991). Engrais de ferme, valeur fertilisante, gestion et environnement. ITCF, ITP, ITEB, France 35p.

Chapitre 3

Europe 2020: Une stratégie pour une croissance intelligente, durable et inclusive, Communication de la Commission européenne, 2010

http://ec.europa.eu/Europe2020/index_en.htm

<http://www.biostimulants.eu/benefits-of-biostimulants/sustainable-agriculture/>

Cimrin, K. M., T. Onder, M. Turan and T. Burcu 2010 "Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling" *Journal of African Biotechnology*. 9:5845-5851

Costa, G., P. Labrousse, C. Bodin, S. Lhernould, M. Carlué, P. Krausz and F. Authier "Effects of humic substances on the rooting and development of woody plant cuttings" *Acta Horticulturae*: 779:255-261

David, P. P., P. V. Nelson y D. C. Sanders. 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *Journal of Plant Nutrition*. 17(1), 173-184

Sani, B. 2014. Foliar Application of Humic Acid on Plant Height in Canola. *APCBEE Procedia* 8(2014):82-86

Calvo P., Nelson L., Kloepper JW (2014). Utilisations agricoles de biostimulants végétales . *Plante sol*383 , 3-41. 10.1007 / s11104-014-2131-8 [[Renvoi](#)]

Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M. (2014). L' action Biostimulant d'un hydrolysate de protéines d' origine végétale produite par hydrolyse enzymatique . *Avant. Usine Sci* . 5 :448 . 10,3389 / fpls.2014.00448 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Ertani A., Pizzeghello D., Francioso O., Sambo P., Sanchez-Cortes S., Nardi S. (2014). *Capsicum chinensis* L. croissance et propriétés nutraceutiques sont renforcées par biostimulants dans une période à long terme: chimique et approches métabolomiques . *avant. Usine Sci* . 5 : 375 . 10,3389 / fpls.2014.00375 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Ghazijahani N., Hadavi E., Jeong BR (2014). Les pulvérisations foliaires d'acide citrique et de l'acide salicylique modifient le modèle de l'acquisition de la racine de certains minéraux dans le basilic (*Ocimum basilicum* L.). *Avant. Usine Sci* . 5 : 573 . 10,3389 / fpls.2014.00573 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Przybysz A., Gawronska H., J. Gajc-Wolska (2014). Mode d'action biologique d'un biostimulant basé nitrophenolates-: étude de cas . *Avant. Usine Sci* . 5 : 713 . 10,3389 / fpls.2014.00713 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Rose MT, Patti AF, Little KR, Brown AL, Jackson WR, Cavagnaro TR (2014). Une méta-analyse et l'examen de la réponse de croissance des plantes à des substances humiques: implications pratiques pour l'agriculture , dans *Advances in Agronomy* , Vol. 124, Sparks ed DL, éditeur. (New York, NY: Academic Press;), 37-89.

Saa S., Olivos-Del Rio A., Castro S., Brown PH (2015). L' application foliaire de biostimulants microbiennes et végétales à base augmente la croissance et l'absorption de potassium dans l'amande (*Prunus dulcis* Mill. DA Webb) . *Avant. Usine Sci* . 6 : 87 . 10,3389 / fpls.2015.00087 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Tian S., Lu L., Xie R., Zhang M., le juge Jernstedt, Hou D., et al. (2015). Macronutriments supplémentaires et des produits de fermentation microbienne améliorer l'absorption et le transport de plantes de zinc appliqué sur le feuillage de tournesol (*Helianthus annuus*

L.). Des études utilisant des micro fluorescence X. *Avant. Usine Sci.* 5 : 808-10,3389 / fpls.2014.00808 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Chapitres 4 et 5

Trouvelot S., HELOIR MC, Poinssot B., Gauthier A., Paris F., Guillier C., et al. . . (2014) Glucides dans l'immunité des plantes et la protection des végétaux: les rôles et les applications potentiels en tant que pulvérisations foliaires. *Avant. Usine Sci.* 5 : 592-10,3389 / fpls.2014.00592 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Vergnes S., Ladouce N., S. Fournier, Ferhout H., F. Attia, Dumas B. (2014). Traitements foliaires avec *Gaultheria procumbens* huile essentielle induisent des réponses de la défense et de la résistance contre un pathogène fongique dans *Arabidopsis*. *Avant. Usine Sci.* 5 : 477-10,3389 / fpls.2014.00477 [[Article PMC gratuit](#)] [[PubMed](#)] [[Renvoi](#)]

Richter G. 1993. *Metabolisme des végétaux : physiologie et biochimie*. Ed. Louis. Pp: 317-339.

Robards K., Prenzler P.D., Tucker G., Swatsitang P. et Glover W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66: 401-436

Rodriguez-Vaquero M.J., Alberto M.R. et Manca de Nadra M.C. 2007. Antibacterial effect of phenolic compounds from different wines. *Food Control*, 18: 93-101.

Scehovic J. 1990. Tannins et autres polymères phénoliques dans les plantes de prairies : détermination de leur teneur et de leur activité biologique. *Revue Suisse de l'Agriculture*, 22 (3) : 179-184.

Zimmer N. 1995. Influence des tannins et de leurs interactions avec les protéines sur la valeur nutritive des aliments chez les ruminants. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

Chandler D. et al., 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, 366(1573), 1987-1998.

Correia A. et al., 2013. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. *J. Econ. Entomol.*, 106(2), 747-755.

G.R. Knudsen et L.M. Dandurand. 2013. *Phytopathologie: l'Étude de la Santé des Plantes. Un cours de phytopathologie générale*. 1ère édition, Université d'Idaho, 40p.

Leng P., Zhiming Z., Guangtang P. & Maojun Z., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.*, 10(86), 19864-19873.

Meissle M., Romeis J. & Bigler F., 2011. Bt maize and integrated pest management - a European perspective. *Pest Manage. Sci.*, 67, 1049-1058.

Anastasiadis I., Giannakou I., Prophetou-Athanasiadou D. & Gowen S., 2008. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root knot nematodes. *Crop Prot.*, 27, 352-361.

Anderson-Prouty A.J. & Albersheim P., 1975. Host-pathogen interactions: VII. Isolation of a pathogen-synthesized fraction rich in glucan that elicits a defense response in the pathogen's host. *Plant Physiol.*, 56(2), 286-291.

Aquiloni L. & Gherardi F., 2010. The use of sex pheromones for the control of invasive populations of the crayfish *Procambarus clarkia*: a field study. *Hydrobiologia*, 649, 249-254.

ARLA (Agence de Règlementation de la Lutte Antiparasitaire), 2002. *Directive d'homologation DIR2002-02*. Numéro de catégorie : NH113-3/2002-2F-IN.

Bailey K., Boyetchko S. & Längle T., 2010. Social and economic drivers shaping the future of biological control: a Canadian perspective on the factors affecting the development and use of microbial biopesticides. *Biol. Control*, 52, 221-229.

Bates S., Zhao J.-Z., Roush R. & Shelton A., 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nat. Biotechnol.*, 23, 57-62.

- Boulon J.-P., 2010. Qu'est-ce que ? *Pseudomonas chlororaphis* souche MA342 bio-fongicide en traitement de semences de blé, triticales et seigle. *Phytoma Défense Végétaux*, **632**, 10-12.
- Brunner K. et al., 2005. Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease resistance. *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 3959-3965.
- Calderón-Alvarez C. et al., 2012. Monitoring the effects of *Rodolia cardinalis* on *Icerya purchasi* on the Galapagos Islands. *BioControl*, **57**, 167-179.
- Chandler D. et al., 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, **366**(1573), 1987-1998.
- Chen X. et al., 2002. Comparative analysis of the complete genome sequences of *Helicoverpa zea* and *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedroviruses. *J. Gen. Virol.*, **83**, 673-684.
- Compant S., Clément C. & Sessitsch A., 2010. Plant growth promoting rhizobacteria in the rhizo and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biol. Biochem.*, **42**, 669-678.
- Correia A. et al., 2013. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. *J. Econ. Entomol.*, **106**(2), 747-755.
- Dodd S., Lieckfeldt E. & Samuels G., 2003. *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. *Mycologia*, **95**(1), 27-40.
- Dong L., Yang J. & Zhang K., 2007. Cloning and phylogenetic analysis of the chitinase gene from the facultative pathogen *Paecilomyces lilacinus*. *J. Appl. Microbiol.*, **103**(6), 2476-2488.
- FAO, 2012. *Guidance for harmonizing pesticide regulatory management in Southeast Asia*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.
- Farm Chemical Internationals, 2010. *Biological pesticide on the rise*, www.farmchemicalsinternational.com/uncategorized/biological-pesticides-on-the-rise/, (03.02.14).
- Frost & Sullivan, 2009. *North American and Western European biopesticides market*. M472-39.
- Goettel M. & Hajek A., 2001. Evaluation of non-target effects of pathogens used for management for arthropods. In: Wajnberg E., Scott J.K. & Qimby P.C., eds. *Evaluating indirect ecological effects of biological control*. Wallingford, UK: CABI Publisher, 81-97.
- Grewal P., Grewal S., Tan L. & Adams B., 2003. Parasitism of molluscs by nematodes: types of associations and evolutionary trends. *J. Nematol.*, **35**(2), 146-156.
- Harman G., 2011. *Trichoderma* not just for biocontrol anymore. *Phytoparasitica*, **39**, 103-108.
- INRA & ITAB, 2013. Homologation des substances naturelles en protections des cultures. In : *Recueil des résumés des présentations du Colloque DinaBio 2013, 13-14.11.13, Tours, France, 65-66*. Paris : INRA, ITAB. Journal officiel de la République Française, 2012. **48** :1803. 30.01. 201, Journal officiel de l'Union européenne, 2009a. **L309**. 24.11.2009, 1.
- Journal officiel de l'Union européenne, 2009b. **L324**. 10.12.2009, 1.
- Journal officiel de l'Union européenne, 2009c. **L310**. 25.11.2009, 29.
- Kabaluk T. & Gazdik K., 2011. *Directory of microbial pesticides for agricultural crops in OEDC countries*. Ottawa, ON, Canada: Agriculture and Agri-Food Canada, <https://www4.agr.gc.ca/MPDD-CPM/search-recherche.do?lang=eng>
- Kiewnick S., 2007. Review: practicalities of developing and registering microbial biological control agents. *CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.*, **2**(013), <http://www.cabi.org/bni/FullTextPDF/2007/20073085842.pdf>

- Kumar S., Chandra A. & Pandey K.C., 2008. *Bacillus thuringiensis* (Bt) transgenic crop: an environment friendly insect-pest management strategy. *J. Environ. Biol.*, **29**(5), 641-653.
- Leng P., Zhiming Z., Guangtang P. & Maojun Z., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *Afr. J. Biotechnol.*, **10**(86), 19864-19873.
- Longa C. et al., 2009. Evaluating the survival and environmental fate of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* SC1 in vineyards in northern Italy. *J. Appl. Microbiol.*, **106**(5), 1549-1557.
- McQuilken M. et al., 2003. Production of macrocyclic A by the mycoparasite *Coniothyrium minitans*. *FEMS Microbiol. Lett.*, **2009**, 27-31.
- Meissle M., Romeis J. & Bigler F., 2011. Bt maize and integrated pest management - a European perspective. *Pest Manage. Sci.*, **67**, 1049-1058.
- Ongena M. & Jacques P., 2008. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol.*, **16**(3), 115-125.
- Pérez-García A., Romero D. & de Vicente A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.*, **22**(2), 187-193.
- Popp J., Petö K. & Nagy J., 2013. Pesticide productivity and food security. A review. *Agron. Sustainable Dev.*, **33**, 243-255.
- Rosas-Garcia N.M., 2009. Biopesticide production from *Bacillus thuringiensis*: an environmentally friendly alternative. *Recent Pat. Biotechnol.*, **3**(1), 28-36.
- Saidenberg D. et al., 2009. Monoamine oxidase inhibitory activities of indolylalkaloid toxins from the venom of the colonial spider *Parawixia bistriata*: functional characterization of PwTX-I. *Toxicon*, **54**(6), 717-724.
- Schmutterer H., 1990. Properties and potentials of natural pesticides from neem tree. *Annu. Rev. Entomol.*, **35**, 271-298.
- Shelton A.M., Zhao J.-Z. & Roush R.T., 2002. Economic ecological, food safety, and social consequences of the deployment of BT transgenic plants. *Annu. Rev. Entomol.*, **47**, 845-881.
- Silverio F., de Alvarenga E., Moreno S. & Picanco M., 2009. Synthesis and insecticidal activity of new pyrethroids. *Pest Manage. Sci.*, **65**, 900-905.
- Srivastava M. & Raizada R., 2007. Lack of toxic effect of technical azadirachtin during postnatal development of rats. *Food Chem. Toxicol.*, **45**(3), 465-471.
- Thakore Y., 2006. The biopesticide market for global agriculture use. *Ind. Biotechnol.*, **2**, 194-208.
- Tombolini R., Van Der Gaag D., Cerhardson B. & Janssoni J., 1999. Colonization pattern of the biocontrol strain *Pseudomonas chlororaphis* MA 342 on barley seeds visualized by using green fluorescent protein. *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**(8), 3674-3680.
- Wang C.J. et al., 2012. Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. *PLoS One*, **7**(12), e52565
- Washburn J., Trudeau D., Wong J. & Volkman L., 2003. Early pathogenesis of *Autographa californica* multiple nucleopolyhedrovirus and *Helicoverpa zea* single nucleopolyhedrovirus in *Heliothis virescens*: a comparison of the 'M' and 'S' strategies for establishing fatal infection. *J. Gen. Virol.*, **84**, 343-351.
- Weddle P., Welter S. & Thomson D., 2009. History of IPM in California pear-50 years of pesticide use and the transition to biologically intensive IPM. *Pest Manage. Sci.*, **65**(12), 1287-1292.
- Windley M. et al., 2012. Spider-venom peptides as bioinsecticides. *Toxins*, **4**, 191-227.
- Xu X., Jeffries P., Pautasso M. & Jeger M., 2011. Combined use of biocontrol agents to manage plant disease in theory and practice. *Phytopathology*, **101**(9), 1024-1031.