**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA**
**FACULTE DES SCIENCES**

**Mémoire de fin d'étude**
**En vue de l'obtention de diplôme de Master en sciences agronomiques**
**Option : Phytopathologie**

**Thème :**

# ÉVALUATION DE L'EFFET DES FERTILISANTS SUR LA CROISSANCE DE LA TOMATE ET LA DYNAMIQUE DE RAVAGEUR.

**Présenté par :**

- M^lle^ Hadjer BOUCHENAFA

**Devant le jury composé de:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| M^me^ F.Z. TCHAKER | MCB | Univ. Médea | Promotrice |
| M^me^ K. CHAOUATI | MAA | Univ. Médea | Co-Promotrice |
| M^me^ H. MOSTAFAOUI | MCB | Univ. Médéa | Examinatrice |
| M^me^ F. SAFIDDINE | MAA | Univ. Médéa | Examinatrice |

**2019/2020**

# RESUME


## EVALUATION DE L'EFFET DES FERTILISANTS SUR LA CROISSANCE DE LA TOMATE ET LA DYNAMIQUE DE RAVAGEUR.

La culture de la tomate *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) exige l'utilisation d'importantes quantités de pesticides et d'engrais chimiques pour compromettre la qualité nutritionnelle de fruits et pour minimiser les dégâts engendré par les différents bioagresseurs. La mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera / Gelechiidae) est insecte phytophage considéré comme l'un des ravageurs les plus redoutables de la tomate.

Cette étude est mené dans le cadre de valoriser l'utilisation des biofertilisants. Ce travail a porté sur le pouvoir bio-stimulant des défenses naturelles de différentes dilutions de l'extrait de la spiruline *Spirulina platensis* sur la croissance de la tomate *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1757) et sur l'abondance du principal ravageur de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917).

Les recherches bibliographiques réalisées, ont montré un effet biostimulant remarquable de la spiruline *S. platensis*. Selon ces recherches, nous constatons que la spiruline *Arthrospira platensis* peut présenter un outil alternatif prometteur dans la protection des plantes.


**Mots clés:** Extrait; effet biostimulant; biofertilisant; *Lycopersicum esculentum; Tuta absoluta; Spirulina platensis.*

# ABSTRACT

## EVALUATION OF THE EFFECT OF FERTILIZERS ON TOMATO GROWTH AND PEST DYNAMICS

The cultivation of the tomato *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) requires the use of large quantities of chemical pesticides and fertilisers to compromise the nutritional quality of the fruit and to minimise the damage caused by various pests. The tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera / Gelechiidae) is a phytophagous insect considered to be one of the most formidable pests of tomatoes.

This study is being carried out within the framework of promoting the use of biofertilizers. This work focused on the bio-stimulating power of the natural defences of different dilutions of *Spirulina platensis* extract on the growth of the tomato *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1757) and on the abundance of the main pest of the tomato *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917).

Bibliographical research has shown a remarkable biostimulant effect of Spirulina *S. platensis*. According to this research, we note that the spirulina *Arthrospira platensis* can present a promising alternative tool in plant protection.

**Key words:** Extract; biostimulant effect; biofertilizer; *Lycopersicum esculentum; Tuta absoluta; Spirulina platensis.*

## الملخص

### تقييم أثر الأسمدة على نمو الطماطم وديناميكيات الآفات

تتطلب زراعة الطماطم *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) استخدام كميات كبيرة من المبيدات الحشرية والأسمدة الكيميائية من أجل تحسين النوعية الغذائية للثمار و للتقليل الأضرار التي تسببها الآفات المختلفة. حفارة الطماطم *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera / Gelechiidae) هي حشرة نباتية و التي تعتبر واحدة من أكثر الآفات شراسة للطماطم.

يجري تنفيذ هذه الدراسة في سياق الاستفادة إلى أقصى حد من استخدام الأسمدة الحيوية .وقد ركز هذا العمل على القوة الحيوية المحفزة للدفاعات الطبيعية لمختلف المستخلصات المخففة من طحالب سبيرولينا *Spirulina platensis* على نمو الطماطم *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1757) و على وفرة الآفة الرئيسية للطماطم.(Meyrick, 1917) *Tuta absoluta*

أظهرت الأبحاث الببليوغرافية التي تم إجراؤها تأثير التحفيز الحيوي الملحوظ لطحالب *Arthrospira platensis*.وفقًا لهذا البحث ، وجدنا أن سبيرولينا قد تقدم أداة بديلة واعدة في مجال حماية النبات.

**الكلمات المفتاح:** مستخلص ، التحفيز الحيوي ،الاسمدة الحيوية ،*Lycopersicum esculentum* ، *Spirulina platensis*،*Tuta absoluta*

# *Remerciements*

*« La connaissance est la seule chose qui s'accroît lorsqu'on la partage ».*

*Je rends grâce à Dieu le tout puissant de m'avoir illuminé et ouvert les portes du savoir et donné la volonté et le courage, pour accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à ma promotrice M^me^ Tchaker F. Z. Maitre de conférences à l'Université Dr Yahia Farès-Médéa pour son soutien, sa grande disponibilité et ses précieux conseils qui ont permis d'améliorer ce travail. Merci pour votre honnêteté, encouragements et surtout pour votre encadrement.*

*Un grand merci pour ma co-promotrice Mme Chaouati K., Maitre assistante à l'Université Dr Yahia Farès-Médéa qui m'a aidée par ses connaissances scientifiques, ses conseils et encouragements.*

*Mes sincères remerciements à M^me^ Moustfaoui H. Maitre de conférences à l'Université Dr Yahia Farès-Médéa, de m'avoir honoré en acceptant d'examiner mon taravil.*

*Je tiens également à remercier M^me^ Safiddine F. Maitre assistante à l'Université Dr Yahia Farès-Médéa , qui a bien voulu accepté d'évaluer ce travail.*

*Mes sincères remerciements vont également à Mr Ainas M. maitre de conférences à l'Université Dr Yahia Farès-Médéa qui m'a aidé par ces connaissances scientifiques.*

*Mes sincères remerciements aux enseignants de centre de formation et vulgarisation agricole de Médéa (CFVA) qui ont partagés avec nous leurs expériences.*

*Enfin, je tiens à exprimer toute ma profonde reconnaissance à tous mes enseignants du département de Sciences de la Nature et de la Vie et un chaleureux merci à tous ceux qui m'ont aidées durant mon travail, certains par leurs connaissances scientifiques, d'autres par leurs soutien moral dans les moments difficiles ; afin d'accomplir ce modeste travail.*

*Merci pour tous*

# *Dédicaces*

*Avec un grand plaisir, je dédie ce modeste travail :*

*A la plus chère femme dans ce monde, le plus cher homme dans mon cœur :*

*Mes très chers parents, pour leur amour, qui m'ont soutenu, encouragé pour que je puisse mener à bien mes études. Que Dieu les protèges.*

*A mes chers frères : Ismail et Yassine*

*A ma sœur : Meriem*

*A mes nièces : Ikram, Yassmine ,Fayrouz et Hanine*

*Tous mes amis qui n'ont cessé de me réconforter tout au long de ce projet.*

*A tous ceux qui me connaissent sans exception.*

***Hadjer***

# LISTE DES ABREVIATIONS

- **AA :** Acide aminée
- **AJ:** Acide jasmonique
- **AS:** Acide salicylique
- **DAR :** Délai avant récolte
- **DO :** Densité Optique
- **g :** gramme
- **INPV:** Institut Nationale de la Protection des Végétaux
- **IPM:** Integrated Pest Management
- **ITCMI :** Institut technique des cultures maraîchères et industrielles
- **LMR :** Limite maximale de résidus
- **mg :** Milli gramme
- **NaOH :** Hydroxyde de sodium
- **OEPP :** Organisation européenne de protection des plantes
- **PAL :** Phénylalanine ammonia-lyase
- **PGPR :** Plant Growth Promoting Rhizobacteria
- **SAR :** Systemic acquired resistance
- **SDN :** Stimulateur de défense naturelle
- **SDP :** Stimulateurs de défense des plantes
- **µg :** Micro gramme
- **µm:** Micro mètre

# TABLE DES MATIÈRES

**RÉSUMÉ**
**ABSTRACT**
**ملخص**
**REMERCIEMENTS**
**DÉDICACES**
**TABLE DES MATÈRES**
**LISTE DES FIGURES**
**LISTE DES TABLEAUX**
**INTRODUCTION GENERALE …….** 1
**CHAPITRE I. ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA TOMATE……** 4
I.1. Généralité sur la tomate..... 5
I.1.1. Origine et aire de répartition……... 5
I.1.2. Importance économique de la tomate…….. 5
I.1.3. Position taxonomique ……..…….. 7
I.1.4. Description morphologique……..……..…….. 7
I.1.5. Cycle biologique ……..……...……... 8
I.1.6. Principaux ravageurs de la tomate ……..……..... 9
I.2. La mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)……... 10
I.2.1. Origine et distribution géographique…… 10
I.2.2. Classification ……..……... 10
I.2.3. Description morphologique ……..……... 11
I.2.4. Biologie de la mineuse de tomate *Tuta absoluta* Meyrick ……... 12
I.2.5. Plante hôte ……..……... 14
I.2.6. Symptômes et dégâts ……..……... 14
I.2.7. moyens de lutte ……..……... 15
**CHAPITRE II. NUTRITION MINERALE DES PLANTES …….** 16
II.1. Définition de la nutrition végétale ……..... 17
II.2. Principe de la nutrition d'une plante……..... 18
II.3. Absorption des nutriments……..... 21
II.3.1. Macro-éléments……..…… 22
III.3.1.1. Azote ……..... 22
III.3.1.2. Phosphore ……..... 22
III.3.1.3. Potassium ……..... 22
III.3.1.4. Calcium ……..... 23
III.3.1.5. Magnésium ……..... 23
III.3.1.6. Soufre ……..... 24
II.3.2. Micro-éléments ……. 24
III.3.2.1. Fer ……..... 24

III.3.2.2. Manganèse ……..... 25
III.3.2.3. Zinc……..... 25
III.3.2.4. Bore ……..... 25
III.3.2.5. Chlore ……..... 25
III.3.2.6. Molybdène ……..... 26
II.3.3. Interactions entre les éléments nutritifs……..... 26
II.4. Effet de la nutrition des plantes sur la santé végétale……..... 26
II.5. Evolution des associations plante-insecte phytophage …….. 28
**CHAPITRE III. BIOFERTILISANTS……..** 32
III.1. Fertilisants…… 33
III.1.1. Notion de fertilisation……..... 34
III.1.2. Comment la fertilisation agit-elle sur la santé des plantes ?……. 34
III.1.3. Inconvénients des fertilisants chimiques ……..... 34
III.2. Biofertilisants……. 35
III.2.1. Définition……..... 36
III.2.2. Quelques types de biofertilisants……. 36
III.2.2.1. Biofertilisants à base des bactéries fixatrices d'azote..... 36
III.2.2.2. Biofertilisants à base de rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR)..... 37
III.2.2.3. Biofertilisants à base de lombricompost..... 37
III.3. Stimulation de défenses naturelles des plantes…….. 37
III.3.1. Caractéristiques générales des SDN…… 39
III.3.2. Intérêt en protection des plantes…… 40
III.3.2.1. Intérêt technique……..... 40
III.3.2.2. Intérêt environnemental..... 41
III.3.2.3. Place dans l'agriculture contemporaine..... 41
III.4. Importance des algues…… 42
III.4.1. Intérêt des algues dans l'agriculture ……... 42
III.4.1.1. Effets des algues sur les cultures……..... 43
III.4.1.2. Effet des algues sur la croissance des plantes stressées.... 44
III.4.2. Quelques exemples d'extraits bruts d'algues composant les biostimulants……..……... 45
III.5. Spiruline…….. 45
III.5.1. Taxonomie……..... 45
III.5.2. Morphologie et caractères généraux……..... 46
III.5.3. Situation de la culture de spiruline dans le monde……..…..... 47
III.5.4. Composition d'*Arthrospira platensis*……..... 49
III.5.5. Intérêts et utilisation de la spiruline……..... 51
**CHAPITRE IV. MATERIEL ET METHODES……** 52
IV.1. Objectif…… 53
IV.2. Présentation de la chambre de culture……. 53
IV.3. Matériel d'étude……. 53

IV.3.1. Matériel biologique…….. 53
IV.3.1.1. Obtention des plantules de la tomate……. 53
IV.3.1.2. Obtention des populations infectantes *de Tuta absoluta*... 55
IV.3.1.3. L'obtention du biofertilisant…….. 55
IV.4. Méthodes d'étude……. 55
IV.4.1. Culture de la spiruline…… 55
IV.4.1.1. Conditions de culture……. 56
IV.4.1.2. Milieu de culture…… 56
IV.4.1.3. Ensemencement…….. 56
IV.4.1.4. Préparation de l'inoculum…….. 57
IV.4.1.5. Contrôle de l'état physiologique de la culture…… 58
IV.4.1.6. Détermination du poids sec…… 59
IV.4.2. Préparation de l´extrait aqueux de spiruline *Arthrospira platensis*…. 59
IV.4.3. Dispositif expérimental et application des traitements……..…… 60
IV.4.4. Estimation des paramètres morphologiques des plants de la tomate……..…... 60
IV.4.5. Estimation de l'abondance de *Tuta absoluta* ……..…… 61
**CHAPITRE V. EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LA CROISSANCE ET L'ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA PLANTE …….** 63
**CONCLUSION ……** 67
**RÉFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……..……..** 69

# LISTE DES FIGURES


| | | |
|---|---|---|
| **Figure I.1.** | Carte hypothétique de l'extension de la tomate dans le monde …… | 5 |
| **Figure I.2.** | Différents organs de tomate …… | 8 |
| **Figure. I.3.** | Cycle de développement de la tomate..…… | 8 |
| **Figure I.4.** | Œuf de *Tuta absoluta* …… | 11 |
| **Figure I.5.** | Stades larvaires de *T. absoluta* …… | 11 |
| **Figure I.6.** | Chrysalide de *Tuta absoluta* …… | 12 |
| **Figure I.7.** | L'adulte de *Tuta absoluta* ……..…… | 12 |
| **Figure I.8.** | Le cycle de développement de *Tuta absoluta* …… | 13 |
| **Figure I.9.** | Symptômes de *Tuta absoluta* sur les tiges et les feuilles…… | 14 |
| **Figure I.10.** | Symptômes de *Tuta absoluta* sur les fruits …… | 15 |
| **Figure II.1.** | Eléments essentiels à la vie végétale …….. | 18 |
| **Figure II.2.** | Trajets possibles pour les nutriments dans une racine …….. | 21 |
| **Figure II.3.** | Effets potentiels de la déficience en K sur la prédisposition des plante aux maladies et aux attaques de pathogènes ……..……..... | 28 |
| **Figure III.1.** | Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur…… | 39 |
| **Figure III.2** | Spiruline vue au microscope ……. | 46 |
| **Figure III.3.** | Différentes formes prises par la Spiruline ……. | 47 |
| **Figure III.4.** | Carte des principaux lieux de production de spiruline dans le monde | 48 |
| **Figure III.5.** | Fermes à spiruline …… | 48 |
| **Figure III.6.** | Ferme à spiruline Tamanrasset, Algérie …… | 49 |
| **Figure IV.1.** | Présentation de la Serre de culture ……..…….. | 54 |
| **Figure IV.2.** | Semis de tomate…….. | 54 |
| **Figure IV.3.** | Culture de la spiruline dans les conditions expérimentales……. | 55 |
| **Figure IV.4.** | Technique de filtration de spiruline ……..…….. | 58 |
| **Figure IV.5.** | Dispositif expérimental des traitements appliqués…….. | 60 |


# LISTE DES TABLEUX


| | | |
|---|---|---|
| **Tableau I.1.** | Répartition de la production annuelle mondiale de la tomate …… | 6 |
| **Tableau I.2.** | Principaux ravageurs de la tomate ……. | 9 |
| **Tableau II.1.** | Les éléments minéraux essentiels absorbés par une plante: fonctions et formes de réserves ……. | 20 |
| **Tableau III.1.** | Position systémique de la spiruline ……..……..... | 46 |
| **Tableau III.2.** | Composition de la spiruline ……..... | 50 |
| **Tableau IV.1.** | Composition chimique du milieu Zarrouk ……..…….. | 57 |
| **Tableau IV.2.** | Composition chimique de la solution A5 …… | 57 |
| **Tableau IV.3.** | Composition chimique de la solution B6…..…… | 57 |

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'un des principaux défis de l'humanité au cours de ce siècle est de fournir suffisamment de nourriture à une population mondiale en rapide expansion tout en préservant les ressources écologiques et énergétiques de notre planète. Selon la révision de 2006 des prévisions démographiques des Nations unies, la population mondiale devrait augmenter de 2,5 milliards au cours des 43 prochaines années, passant des 6,7 milliards actuels à 9,2 milliards en 2050. Une augmentation massive de la production végétale est nécessaire pour répondre aux besoins alimentaires des générations futures (Krauss 2001). Cette augmentation doit provenir d'une augmentation des rendements, car l'expansion des terres arables est limitée par la dégradation des sols à l'échelle mondiale sous la forme d'érosion, d'épuisement des nutriments, de pénurie d'eau, d'acidification et de salinisation (Cakmak 2002). Les facteurs essentiels pour obtenir une amélioration du rendement par unité de surface sont un apport suffisant en nutriments et une protection efficace de la culture contre les bioagresseurs. La fertilisation et la lutte contre les ravageurs et les maladies entraînent déjà des coûts monétaires et environnementaux élevés pour l'agriculture moderne.

Malgré les efforts des sélectionneurs pour obtenir des variétés de plantes cultivées résistantes à de nombreux bioagresseurs, les pertes de récoltes dues aux ces derniers restent très importantes. C'est pourquoi les agriculteurs soignent leurs plantes de manière de plus en plus intensive avec des produits issus de la chimie, une escalade contestée pour ses impacts négatifs sur l'environnement (Klarzynski et Fritig, 2001). Pour répondre à de telles exigences, les agriculteurs n'auront d'autre choix que de se tourner vers l'exploitation et la rentabilisation des ressources naturelles dans le cadre de nouvelles pratiques agricoles combinant la performance et la protection des cultures à un moindre coût écologique. Un tel enjeu s'avère d'autant plus complexe que la plupart des variétés cultivées ont été sélectionnées sur la base de deux critères essentiels, soit la productivité et la qualité organoleptique, sans réellement tenir compte de leur capacité à résister aux agents pathogènes.

Les avancées scientifiques des dernières années permettent cependant d'envisager l'avenir avec un certain optimisme, car de nouvelles pratiques sont initiées pour sortir de cette impasse. En effet, diverses stratégies incluant la lutte biologique, l'introduction de gènes de résistance aux maladies par croisement ou par génie génétique (production d'organismes génétiquement modifiés, ou OGM) et la stimulation du « système immunitaire » des plantes par des produits biologiques ou synthétiques (comme le benzothiadiazole, ou BTH) appelés éliciteurs ou stimulateurs des défenses naturelles (SDN) sont de plus en plus considérées comme des approches phytosanitaires capables d'assurer une protection efficace des maladies tout en réduisant les risques de pollution environnementale (Benhamou et Rey, 2012).

Selon Khan et al. (2009 *in* Aghofack-Nguemezi et *al*., 2015), 15 millions de tonnes d'algues sont produits annuellement et une importante partie est utilisée comme

régulateurs de croissance des végétaux, engrais ou pesticides. Parmi les algues, les cyanobactéries ont un potentiel important en tant que biofertilisants. Elles présentent un grand intérêt scientifique et agronomique, car elles jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité du sol et le développement des plantes (Fao, 1981). Parmi ces cyanobactéries on distingue la spiruline *Spirulina Platensis* est riche en protéines, en vitamines, en substances minérales et en phycocyanine (Bluden et *al.*, 1997; Belay et *al.*, 1993)

Plusieurs auteurs ont révélé les avantages d'extraits de la spiruline sur les plantes tel que l'amélioration de la performance des cultures et le rendement et l'amélioration de la résistance au stress biotique et abiotique (Jean et *al.*, 2015).

Afin d'apporter une réponse à cette question, et dans la perspective de contribuer à une agriculture respectueuse de l'environnement, notre choix s'est porté sur l'étude de l'effet d'un biofertilisant sur la culture *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de stimulateur de défense naturelle d'un biofertilisant à base d'extrait de *Spirulina Platensis* sur la croissance de la tomate *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) et ses retombées sur l'abondance populationnelle de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917).

# CHAPITRE I.

# ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA TOMATE

# CHAPITRE I.
# ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA TOMATE

## I.1. Généralité sur la tomate

### I.1.1. Origine et aire de répartition

La tomate *Lycopersicum esculentum* est originaire d'Amérique du sud entre les régions du Nord Chili, de la Colombie, l'Equateur et du Pérou (Laumonnier, 1979), mais sa domestication s'est effectuée dans le Sud du Mexique par les Aztèques (Jaramillo et *al*., 2007). La tomate fut introduite en Espagne et en Italie, puis dans les autres pays européens par les conquistadores espagnols vers le XVIème siècle sous le nom de pomme du Pérou ou pomme d'amour ou encore pomme d'or, ce qui lui a valu son appellation dans certains pays arabes de Banadoura (Blancard, 2009; De Raymond, 2010). À la fin du XVIIIème siècle, les Européens ne cultivaient la tomate qu'à des fins ornementales. Jusqu'en 1780, les Français la considéraient comme une sorte de légume. Sa culture s'est ensuite propagée en Asie du sud et de l'est, en Afrique et au Moyen Orient. A la fin du XVIIIème siècle, les Morisques ont introduit la tomate au Maghreb et ont commencé à la cultiver en Algérie au XIXème siècle. Sa culture est entreprise, d'abord à Oranais avant de s'étendre en Algérie car les conditions pédologiques et climatiques sont favorables (Figure I.1). Les tomates se sont répandues dans le reste du monde au XIXème siècle (De Raymond, 2010)

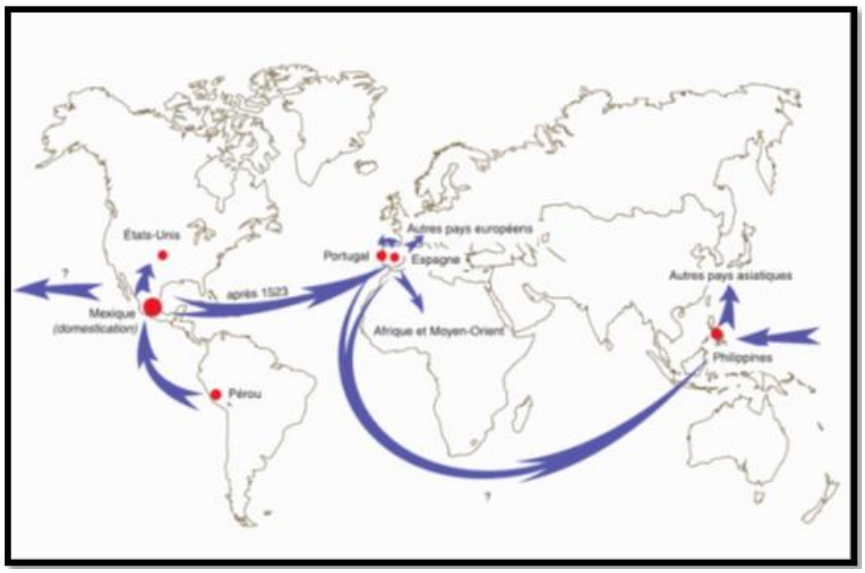



**Figure I.1.** Carte hypothétique de l'extension de la tomate dans le monde (Blancard, 2009).

### I.1.2. Importance économique de la tomate

Actuellement, la tomate est un des « légumes » le plus produits et consommé dans le monde, soit sur le marché en frais ou en produits transformés en raison de sa richesse en

minéraux, vitamines et certains composés naturels secondaires ayant un potentiel antioxydant important (Zidani, 2009; Royer, 2013). En termes de production, la tomate se classe au deuxième rang mondial, après la pomme de terre. En fait, près de 5 millions d'hectares (4,98 millions d'hectares) annuellement réservée à cette culture, la production dépasse 34 millions de tonnes (F.A.O. STAT, 2015). Selon Shankara et *al.* (2005), la tomate a une valeur économique très élevée.

Selon la F.A.O.STAT (2015), les deux premiers pays producteurs mondiaux sont la Chine avec 50,5 millions de tonnes suivie de l'Inde avec 18,2 millions de tonnes. Les États Unis occupent le troisième rang mondial avec plus de 12,5 millions de tonnes de tomate produite chaque année. De nombreux pays, tels que la Turquie, l'Égypte, l'Iran, l'Italie, le Brésil, et l'Espagne et le Mexique produisent également chaque année plus de 3 millions de tonnes de tomates (Tableau I.1)

**Tableau I.1.** Répartition de la production annuelle mondiale de la tomate en 2013 (F.A.O, 2015)

| | **Région** | **Production (tonnes)** |
|---|---|---|
| 01 | Chine, continentale | 50, 552, 200 |
| 02 | Inde | 18, 227, 000 |
| 03 | États-Unis d'Amérique | 12, 574, 550 |
| 04 | Turquie | 11, 820, 000 |
| 05 | Égypte | 8, 533, 803 |
| 06 | République islamique d'Iran | 6, 174, 182 |
| 07 | Italie | 4, 932, 463 |
| 08 | Brésil | 4, 187, 646 |
| 09 | Espagne | 3, 683, 600 |
| 10 | Mexique | 3, 282, 583 |
| 11 | Fédération de Russie | 2, 644, 220 |
| 12 | Ouzbékistan | 2, 246, 927 |
| 13 | Ukraine | 2, 051, 400 |
| 14 | Portugal | 1, 742, 000 |
| 15 | Nigéria | 1, 565, 000 |
| 16 | Maroc | 1, 293, 319 |
| 17 | Tunisie | 1, 200, 000 |
| 18 | Grèce | 1, 039, 700 |
| 19 | Algérie | 975, 075 |

L'Algérie occupant la 19$^{éme}$ place mondiale en 2013 avec 975075 tonnes selon F.A.O.STAT (2015). La tomate a pu gagner une place importante dans l'économie du pays, c'est un légume de base pour la population Algérienne et elle prend la deuxième place en maraîchère après la pomme de terre. C'est un légume qui est cultivé dans toutes les régions, notamment au littoral dans le secteur maraicher comme il occupe une grande

place dans le secteur industriel, et surtout dans les régions du nord Algérien (Bogorni et *al*., 2003).

### I.1.3. Position taxonomique

D'après Munroe et Small (1997) et Spichiger *et al.* (2004), la tomate se classe comme suite:

- Règne : Plantae
- Sous-Règne : Trachenobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous-Classe : Asteridae
- Ordre : Solanales
- Famille : Solanaceae
- Genre *: Solanum* ou *Lycopersicum*
- Espèce *: Lycopersicum esculentum* Miller, 1754

D'autre synonymes ont été encore donnés à la tomate *Solanum lycopersicon* tels que (Munroe et Small, 1997);

- ***Solanum lycopersicum (L. 1753);***
- ***Lycopersicon esculentum (Mill. 1768);***
- ***Lycopersicon pomumamoris* (*(Moench 1794)*;**
- ***Lycopersicon lycopersicum* (Karst, 1882).**

### I.1.4. Description morphologique

La tomate *Solanum lycopersicum L.* est une plante herbacée, vivace à l'état naturel, et annuelle en culture (Figure I. 2) (Chaux et Foury, 1994).

Le système racinaire est bien développé, pivotant avec des racines secondaires importantes et nombreuses jusqu'à 50 cm de profondeur au moins (Figure I. 2.a). Elle est autogame à tige herbacée parfois ligneuses, à port rampant dressé avec ramifications (Figure I. 2.b). Les feuilles sont alternées et composées (Figure I. 2.c). Les fleurs sont groupées en inflorescence (Figure I.2.d). Les fruits sont des baies charnues à placentation centrale. Ils sont fixés au rameau et portés par un court pédoncule et forme ce que l'on appelle un bouquet pouvant avoir 5 à 6 fruits et même davantage (Figure I.2.e). Les graines sont nombreuses dans chaque fruit (80-500), chacune est enveloppée d'une gaine mucilagineuse, elles sont poilues, parfois glabres chez certaines espèces (Figure I. 2.f) (Shankara *et al*., 2005). Généralement, les variétés de tomate sont réparties en deux grands groupes selon deux types de croissance végétale, en variétés à croissance déterminée et les variétés à croissance indéterminée (Naika et *al*., 2005 *in* Mahdi, 2014). Laumonier (1979), propose d'autres classifications selon la résistance aux maladies et les origines génétiques.




**Figure. I.2.** Différents organe de tomate (Chaux et Foury, 1994; Boumhiriz, 2017)
**a:** Racines; **b:** Tige; **c:** Feuilles; **d:** Fleurs; **e:** fruits; **f:**Graines du tomate

### I.1.5. Cycle biologique

Le cycle végétatif complet de la graine à la graine de tomate est variable selon les variétés, l'époque et les conditions de culture; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit) (Gallais et Bannerot ,1992). D'après Atherton et Rudich (1986), le cycle de développement des plants de tomates peut être décrit par trois phases biologiques principales Phase végétative, phase reproductive et phase de maturation (Figure.I.3).

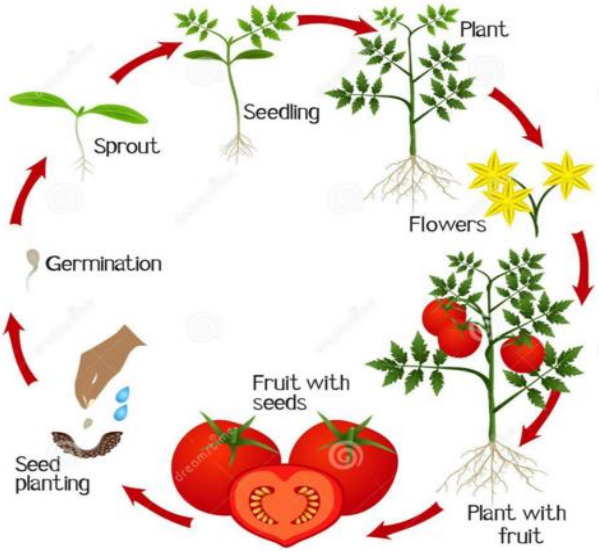



**Figure.I.3.** Cycle de développement de la tomate (www.syngenta.fr/agriculture-durable L'échelle BBCH pour les légumes de la famille des solanacées)

### I.1.6. Principaux ravageurs de la tomate

La tomate se révèle sensible aux attaques d'un certain nombre de bioagresseurs (Tableau I.2) (Laumonnier, 1979; Blancard, 1988; Naika *et al.*, 2005).

**Tableau I.2.** Principaux ravageurs de la tomate (Grasselly et *al*., 2000; Ruoco *et al*., 2011; ITCMI, 1995; Pyron, 2006)

| Ravageurs | Symptomatologie et dégâts | Lutte |
|---|---|---|
| **Nématodes**<br>*Meloidogyne incognita*<br>*Meloidogyne arenaria.* | - Apparition de galles sur les racines des plants attaqués; la tige rabougrit, les feuilles jaunissent, puis la plante dépérit. | -Désinfecter avant plantation; Utiliser les variétés résistantes; Rotation culturale. |
| **Acariens**<br>*Tetranychus urticae*<br>*T. cinnabarinus* | La face inférieure des folioles devient Brune à bronzée. Sur fruit, la peau devient suberifiée et présente des craquelures. | -Utilisation d'un acaricide «**Avertimec»**; Faire des lâches d'ennemis naturels. |
| **Mineuse de la tomate**<br>*Tuta absoluta* | - Apparition des galeries dans les différents organes de la plante (Voir section I.2). | -Utilisation des pièges: plaquettes collantes, bleues ou jaunes;<br>-Utilisation des ennemis naturels;<br>-Utiliser filet insect-proof adéquat;.<br>-Désherbage régulier;<br>-Lutte chimique. |
| **La mouche mineuse serpentine**<br>*Liriomyza bryoniae*<br>*Liriomyza trifoIii* | -Les dégâts dans les jeunes fruits sont sous forme de petits trous situés sous le calice, qui initialement passent inaperçues; puis provoquant l'entrée d'autres agents pathogènes. | |
| **Noctuelles**<br>*Heliothis armigera* | -Des perforations sont observées sur les tiges, folioles et les fruits qui sont dues à la pénétration de chenilles; Plusieurs fruits d'un même bouquet peuvent être touchés et des perforations de folioles sont observées. | |
| **Mouche blanche**<br>*Bemisia tabaci* | -Arrêt de croissance et déformation des folioles et des feuilles, production du miellat se couvrant de la fumagine. | |
| **Thrips**<br>*Frankliniella occidentalis* | -Larves et adultes sucent la sève des feuilles causant des taches argentées sur la surface; Vecteurs de la maladie bronze de la tomate (TSWV). | -Pulvériser une solution de savon, d'urine de vache ou d'extraits de neem; Couvrir le sol de film plastique gris. |
| **Pucerons**<br>*Macrosiphum Euphorbiae*<br>*Myzus persicae* | -Des dommages directs sur les fruits et indirects sur les feuilles et les tiges les plus tendres ; Transmission de différents virus. | -Eliminer les résidus; Planter des cultures intercalaires ;<br>-Emploi modéré des fertilisants azotés; Appliquer des fertilisants organiques. |

(Grasselly et *al*., 2000; Ruoco *et al*., 2011; ITCMI, 1995; Pyron, 2006)

## I.2. La mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)

*Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) est un Micro-Lepidoptère holométabole, phytophage considéré comme l'un des ravageurs les plus redoutables de la tomate. Il s'attaque exclusivement aux solanacées (Povolny, 1994). Les larves causent des dégâts importants en creusant des galeries sur les parties aériennes des plants, les fruits verts ainsi que les fruits mûrs sont touchés (Colomo et Berta, 1995).

### I.2.1. Origine et distribution géographique

La mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) est un insecte originaire de l'Amérique du sud (Boualem et *al.*, 2012). Elle a été décrite pour la première fois en 1917 par l'entomologiste Edward Meyrick au Pérou (Haougui *et al.,* 2017).

L'espèce a été déclarée comme ravageur majeur depuis 1964 en Argentine d'où elle a gagné tout le reste de l'Amérique du sud, la mineuse s'est dispersée également en Amérique centrale (Marin *et al.,* 2002). Depuis lors, son expansion ne s'est pas arrêtée et en 1962, elle a été rencontrée au Japon. Sa zone s'est agrandie depuis qu'elle a été interceptée pour la première fois en Espagne en 2006 (Urbaneja *et al.*, 2007; Ryckewaert et Rhino, 2017). En 2008, cette chenille a été signalée au Maroc, en Algérie, en Tunisie et en France (Haougui *et al.,* 2017).

En effet, en Algérie *T. absoluta* s'est très bien installée sur les Solanacées à partir de l'année 2008, où elle a été signalée pour la première fois au mois de mars dans la région de Mostaganem. Elle a été classée dans la liste d'organismes nuisibles recommandés pour réglementation de l'OEPP. L'insecte cause des dégâts importants en culture de tomate et même sur les cultures voisines de solanacées (Boualem et *al*., 2012).

### I.2.2. Classification

Selon Povolny (1994) et l'organisation européenne de la protection des plantes (2005), la position systématique de la mineuse de la tomate est la suivante:

- Règne : Animalia
- Phylum : Arthropoda
- Classe : Hexapoda
- Ordre : Lipedoptera
- Famille : Gelechiidae
- Sous-Famille: Gelechiinae
- Genre : *Tuta*
- Espèce : *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)

### I.2.3. Description morphologique

Les **œufs** ont une forme ovale de couleur blanche crème à jaune (FigureI.4), mesurant environ 0,36 mm de long et 0,22 mm de large. Ils sont déposés sur la face inferieure de la feuille soit regroupés ou isolés. La couleur devient plus foncée à l'approche de l'éclosion des larves (Molla et *al*., 2008 *in* Badaoui, 2018).



**Figure I.4.** Œuf de *Tuta absoluta* (Anonyme, 2017)

La **chenille ou larve** de *T. absoluta* subit quatre stades de développement consécutifs, qui sont tous distincts et reconnaissables (FigureI.5). La chenille est d'abord blanc laiteux (L1: 0,9 mm), puis vire au jaune, tendant au vert. Une étroite bande noire apparaît à l'arrière de la tête sur le pronotum (L2: 4,5mm). Le stade (L3: 5,6 mm) est caractérisé par un vert pur, parfois avec quelques reflets violets. Le stade L4 (L4: 7,5 mm) (le dernier niveau) Il se caractérise par un thorax de taille plus grande et de couleur rose. (Genc, 2016).




**Figure I.5.** Stades larvaires de *T. absoluta* (Drouai, 2011)

La **chrysalide** est cylindrique avec une forme de 4,3 mm de large et 1,1 mm de diamètre (Figure I.6.). La nymphose peut se produire sur le sol, les feuilles ou à l'intérieur des mines. Elle est généralement recouverte d'un cocon blanc soyeux qui vire vers le marron (Guenaoui, 2008). La métamorphose dure 9 à 11 jours (Margarida, 2008). En

observant l extrémité de l'abdomen de la chrysalide, il est possible de différencier les deux sexes. Les deux sexes présentent un sillon. Chez la femelle, le sillon génital est une fente, tandis que chez le mâle, il y a deux boursouflures de chaque côté (Genc, 2016).



**Figure I.6.** Chrysalide de *Tuta absoluta* (Anonyme, 2014)

Les **adultes** mesurent 5 à 7 mm de long et environ 10 mm d'envergure. Il n'y a pas de dimorphisme sexuel évident, bien que l'abdomen des mâles adultes soit plus étroit et pointu en arrière, tandis que celle des femelles est plus grande et volumineux. Les antennes sont longues et filiformes (FigureI.7). Les ailes sont frangées et la partie antérieure contient des taches noirâtres (Vargas, 1970; Desneux *et al.,* 2010).



**Figure. I.7.** L'adulte de *Tuta absoluta* (Anonyme, 2017)

### I.2.4. Biologie de la mineuse de tomate *Tuta absoluta* Meyrick

La biologie de cette espèce a été étudiée dans plusieurs pays d'Amérique du Sud sur tomate et autres solanacées. *T. absoluta* est une espèce multivoltine. Le cycle de développement de *T. absoluta* est Conditionné par la moyenne des températures. En général, il est plus long aux basses températures: il dure environ 3 mois à 15°C et 1 mois à 30°C. En conditions optimales, on peut assister à l'accomplissement de 10 à 12 générations

par an (Ouardi, 2012). Le cycle de développement présente quatre stades: un stade œuf, un stade larvaire lui-même divisé en 4 phases (L1, L2, L3 et L4), un stade chrysalide (et cocon) et un stade adulte (Figure I.8).

Les activités de dispersion et d'accouplement sont effectuées dans les deux premières heures de l'aube, si la température dépasse 16°C (Vargas, 1970). Chaque femelle peut pondre de 40 à plus de 260 œufs individuellement sur la face inférieure des feuilles ou sur les jeunes tiges délicates et les sépales de fruits non mûrs. Le papillon est actif tôt le matin et au crépuscule. Le pic de ponte est observé 7 jours après le premier accouplement, lorsque les femelles pondent plus des trois quarts de leurs œufs (Uchôa-Fernandes et *al.* 1995 *in* Sylla, 2018). Après l'éclosion, les jeunes larves pénètrent dans les feuilles, les tiges ou les fruits, selon le stade de développement du plant de tomate. Les chenilles creusent des galeries dans lesquelles elles se développent (Estay, 2010). Une fois le développement larvaire achevé (4 stades successifs), les chenilles se suspendent à un fil et se laissent tomber jusqu'au sol où elles vont se nymphoser, mais cette étape peut, aussi, se produire à l'abri dans un coin de feuille repliée ou à l'intérieur des galeries (Ferguson et Shipp, 1994). Une fois sortis de la coque, les adultes s'accouplent, pondent des œufs et le cycle recommence. Les adultes mâles et les femelles vierges vivent en moyenne respectivement 36,2 et 27,8 jours (Fernandez et Montagne 1990). Habituellement, les mâles émergent avant les femelles. Cet insecte ne présente pas de diapause. Les adultes mâles vivent 6-7 jours et les femelles 10-15 jours (Estay, 2010). Selon Molla et *al*. (2008), la dispersion et l'accouplement ont lieu le matin. Les femelles s'accouplent une fois par jour pendant plus de quatre heures; Au cours de leur vie, il peut y avoir plusieurs accouplements, au maximum six (Badaoui ,2018).

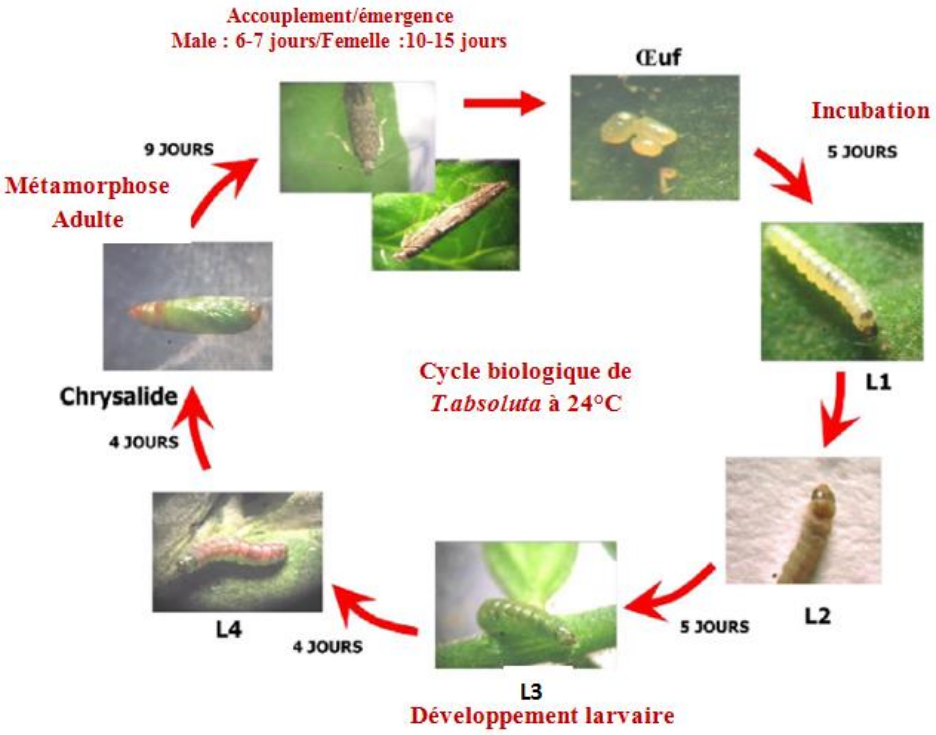



**Figure I.8.** Le cycle de développement de *Tuta absoluta* (Mahi, 2015)

### I.2.5. Plante hôte

Le principal hôte de *T. absoluta* est la tomate *Solanum esculentum*, mais il peut se développer sur d'autres espèces de Solanacées cultivées telles que la pomme de terre *Solanum tuberosum*, l'aubergine *Solanum melongena*, les piments *Capsicum spp*. En revanche d'autres solanacées adventices peuvent être attaqués telles que le datura *Datura stramonium*, la tomate sauvage *Lycopersicon hirsutum,* la morelle jaune *Solanum elaeagnifolium* et la morelle noire *Solanum nigrum* (Ouardi et *al*. ,2012).

### I.2.6. Symptômes et dégâts

Selon l'INPV (2008), les dommages sont causés par les larves de *T. absoluta*, qui peuvent attaquer tous les organes aériens (tige, feuille, fruit et fleur) et entrainer des pertes considérables pouvant atteindre 80 à 100%. Ce ravageur produit des pertes par la réduction des rendements étant donné la destruction des feuilles et bourgeons, et par les dommages au niveau des fruits qui diminuent leur valeur commerciale (Biurrun 2008 *in* Badaoui, 2018). Après l'éclosion, les jeunes larves pénètrent dans les fruits de la tomate, les feuilles ou tiges sur lesquelles ils se nourrissent et se développent, créant ainsi des mines et des galeries bien visibles.

Sur les feuilles, les larves se nourrissent uniquement des tissus mésophiles, laissant l'épiderme intact. Les mines des feuilles sont irrégulières et peuvent se nécroser par la suite. Les galeries dans les tiges modifient le développement général des plantes (Figure I. 9). Les plants de tomate peuvent être attaqués à n'importe quel stade de développement, des plantules aux plantes matures. Le ravageur est généralement facile à trouver car il préfère les bourgeons apicaux, les fleurs ou les nouveaux fruits (OEPP, 2005).



**Figure I.9.** Symptômes de *Tuta absoluta* sur les tiges et les feuilles (Ryckewaert et Rhino, 2017; Chennouf, 2011)

Les fruits sont attaqués dès la nouaison du côté pédonculaire. La larve perce la galerie, déforme le fruit et le rend vulnérable aux attaques d'agents pathogènes secondaires (Figure I. 10). Par conséquent, la qualité commerciale du fruit a diminué (Lebdi Grissa et *al*., 2011). Une larve peut provoquer des dégâts sur plusieurs fruits d'un même bouquet

(Ramel et Oudard, 2008). Selon Notz (1996), Le potentiel d'impact de *T. absoluta* est très élevé en cas d'introduction de ravageurs dans les serres. Les dégâts de ce ravageur surviennent dans l'ensemble du cycle de croissance de la tomate industrielle, ou destinée à la consommation (Ouardi et *al*., 2012).



**Figure I.10:** Symptômes de *Tuta absoluta* sur les fruits (Esenali Uulu et *al*., 2017; Badaoui, 2018).

### I.2.7. moyens de lutte

Plusieurs travaux de recherche ont proposé des stratégies de lutte intégrée qui atténuent l'ampleur de ce ravageur car c'est la meilleure méthode de protection contre la mineuse de la tomate. Elle consiste en une combinaison de différentes stratégies phytosanitaire, en particulier l'utilisation de toutes les approches étant culturale comme l'arrachage des plantes hôtes adventices, la rotation avec des cultures non solanacées, fertilisation adéquate, irrigation, destruction des plantes infestées et des débris végétaux post-récolte (Ramel et Oudard 2008) et des labours profonds afin de détruire les chrysalides et le repiquage de plants sains.

En ce qui concerne la lutte chimique, plusieurs traitements sont nécessaires par saison de croissance en utilisant des substances actives telles que l'Abamectine, les régulateurs de croissance des insectes, le Spinosade, le Tebufenozide ou le Chlorfenapyre et il faut noter qu'une diminution de l'efficacité de ces produits a été observée depuis les années 1980 dans les cultures de tomates (OEPP, 2005). Une résistance à certains insecticides a été signalée dans plusieurs pays, par exemple à l'Abamectine, au Cartap et à la Perméthrine au Brésil.

La lutte biotechnique (confusion sexuelle) par le piégeage de masse à base de phéromones sexuelles afin de surveiller les niveaux de population (OEPP, 2005) et la lutte biologique qui vise essentiellement au contrôle biologique par des lâchers de parasitoïdes trichogrammes (*Trichogramma pretosium, T. bactrae*) ou de prédateurs (*Nesidiocoris tenuis, Macrolophus caliginosus*) (Lebdi Grissa et *al*., 2011).

# CHAPITRE II.

# NUTRITION MINERALE DES PLANTES

# CHAPITRE II.
# NUTRITION MINERALE DES PLANTES

- ***Introduction***

Toutes les plantes ont besoin des mêmes ressources (eau, nutriments, lumière etc.) en proportions relativement comparables. La plante se nourrit de sels minéraux qui existent dans le sol sous forme d'ions et qui pénètrent dans les racines. De grandes surfaces racinaires et des systèmes actifs d'absorption expliquent que, malgré les faibles concentrations des ions dans la solution du sol, l'acquisition des nutriments minéraux par les plantes est un processus très efficace (Boccon-Gibod, 2014). Une fois acquises, ces ressources peuvent être soit stockées soit investies dans la production de différents organes (feuilles, tiges, racines etc.). Elles participent alors en retour à l'acquisition de nouvelles ressources qui pourront à leur tour être stockées ou réinvesties (Marty, 2009). La capacité des plantes à se procurer et à utiliser les ressources du milieu est de première importance car elle conditionne la production photosynthétique qui elle-même détermine en partie la fitness1 des plantes (Westoby *et al.,* 2000 *in* Marty, 2009). Selon Grime et Campbell (1991 *in* Marty, 2009), les plantes ont donc développé des « stratégies » d'acquisition des ressources adaptées à leur environnement, leur permettant d'optimiser les potentialités offertes par leur habitat. De nombreuses données ont en effet montré que les espèces à fort potentiel de croissance sont très souvent associées aux milieux riches et que les sites peu productifs sont composés essentiellement d'espèces à faible productivité.

## II.1. Définition de la nutrition végétale

La nutrition végétale peut se définir comme l'ensemble des relations entre la plante et les corps chimiques, en son sein et à ses interfaces avec le milieu extérieur (Chaichi, 2011).

D'après Morot-Gaudry (2016), la nutrition des plantes est l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux et des gaz nécessaires au métabolisme et aux différentes fonctions physiologiques chez la plante (croissance, reproduction, développement…). Le même auteur dit que, la fonction de nutrition minérale représente une originalité majeure du monde végétal. Dans les écosystèmes terrestres, les plantes sont la principale voie d'entrée des ions minéraux nutritifs dans la biosphère et les chaînes alimentaires qui conduisent à l'homme. Autrement dit, ces ions quittent le monde minéral du sol pour entrer dans le monde vivant au moment où ils sont prélevés par les systèmes d'absorption de la membrane plasmique des cellules racinaires. On parle alors d'autotrophie à l'azote, au soufre, au fer, …etc. Les connaissances acquises dans ce domaine sont utilisées pour gérer au mieux la fertilisation des cultures, de façon rationnelle et durable (Morot-Gaudry,

2016). Les performances hydrominérales du système racinaire des plantes cultivées peuvent être améliorées, soit en jouant sur les capacités d'absorption, de stockage et de synthèse des racines, soit en modifiant la structure et la morphologie du chevelu racinaire, soit enfin en modifiant leur environnement proche (sécrétion de composés organiques).

## II.2. Principe de la nutrition d'une plante

Toute plante a besoin pour vivre d'un apport d'éléments nutritifs (Figure II.1). Ces éléments requis pour assurer la croissance et le développement de la plante (appelés nutriments) sont considérés comme essentiels. Le caractère essentiel est principalement fondé sur deux critères formulés par Epstein (1972):

***i.*** L'élément fait parti d'un constituant ou d'un métabolite essentiel;

***ii.*** En l'absence de l'élément, la plante est incapable de boucler son cycle de développement.

Pour se développer, survivre et se reproduire, les plantes ont besoin de 17 éléments essentiels (Marschner, 1995 *in* Marty, 2009). Ces éléments sont séparés en deux catégories selon les quantités absorbées en: macro-éléments (au nombre de neuf) et micro-éléments ou oligoéléments (au nombre de 8). Cette distinction a été établie en fonction des concentrations dans les tissus végétaux. En effet, les macro-éléments sont présents à des concentrations supérieures à 10 Mmoles par kilo de matière sèche. Ils sont le plus souvent impliqués dans la composition des macromolécules (ADN, ARN, protéines etc…), ce qui explique les besoins élevés des plantes .

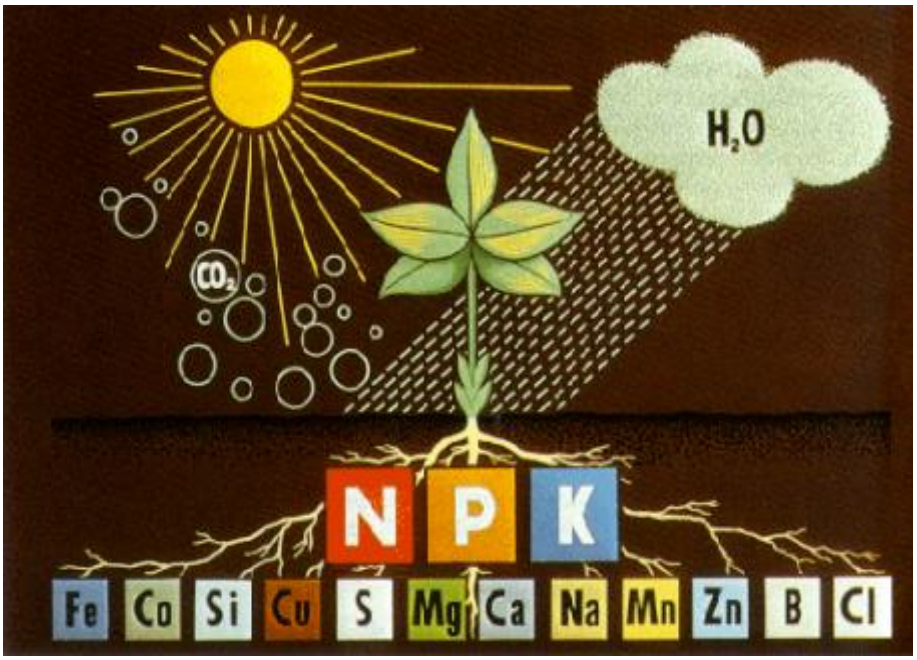



**Figure II.1.** Eléments essentiels à la vie végétale (https://studylibfr.com/doc/2268689/les-éléments-nutritifs--les-symptômes-de-carence--les-rem...).

Les six principaux macronutriments ou les éléments majeurs requis pratiquement par toutes les plantes sont l'azote (N), le potassium (K), le phosphore (P), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). D'un point de vue chimique, certains éléments sont directement absorbés sous leurs formes minérales (K+, Mg2+ et Ca2+), d'autres, tel que l'azote, sont absorbés le plus souvent sous une forme moléculaire ionisée (nitrate: NO3 - et ammonium: NH4 +) (Tableau II.1.) (Delaire, 2005). Ces éléments essentiels, leurs apport en grande quantité est nécessaire. Parmi ces macroéléments, dont la plante a besoin en grandes quantités pour sa croissance, les principaux éléments sont l'azote, le phosphore et le potassium.

Pour chaque macronutriment, il y a un ensemble de propriétés qui doivent être considéré:

- Les fonctions de l'élément dans la plante;
- Les sources originales de l'élément dans le monde naturel (autres que les matières en décomposition provenant d'autres organismes) et l'abondance ou la disponibilité du nutriment;
- Les formes de nutriments disponibles pour la plante;
- La probabilité d'une déficience dans une plante;
- Les effets spécifiques de la déficience.

Les éléments mineurs ou micro-éléments, sont nécessaires en quantité moindre selon Wiedenhoeft (2006). Ces éléments sont le fer (Fe), le sodium (Na), le chlore (Cl), le bore (B), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le molybdène (Mo) (tableau II.1.). En outre, le nickel (Ni) est un micronutriment qui, bien qu'essentiel, n'est pratiquement jamais limitant ou déficient dans le monde naturel. Dans les rares cas où il est limitatif, les symptômes comprennent la réduction de la taille des feuilles, les extrémités de feuilles nécrotiques, et la réduction de la croissance végétative (Wiedenhoeft, 2006).

Dans chaque cas, la carence de l'élément entraîne des dommages importants et durables à la plante ou une modification de la façon dont la plante se développe. Dans de nombreux cas, les micronutriments (plus que les macronutriments) sont impliqués en tant que composants spécifiques d'enzymes ou de protéines particulières et donc les effets de leur carence sont plus subtils ou spécifiques. Chaque fois qu'une plante manque de nutriments suffisants, cependant, qu'il s'agisse de macronutriments ou de micronutriments, certains effets physiologiques ou morphologiques auront lieu, modifiant la forme de croissance des plantes, la fonction cellulaire ou la photosynthèse (Wiedenhoeft, 2006).

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent pouvoir être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme disponible. Si les éléments ne sont pas disponibles au moment nécessaire, la croissance de la plante sera limitée et le rendement final plus faible (Safiddine, 2012).

**Tableau II.1.** Les éléments minéraux essentiels absorbés par une plante: fonctions et formes de réserves (Marschner 1995 *in* Marty, 2009)

| | Eléments | Formes minérales | Mobilité interne | Fonctions principales | Formes de réserve | Concentrations (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Macroéléments | Azote | $NH_4^+$<br>$NO_3^-$ | - (toxique)<br>+ | - Constitutif des aa.*, an*. et de toutes les protéines | Protéines | 20 000 à 50 000 |
| | Potassium | $K^+$ | ++ | - Activateur enzymatique<br>- Synthèse protéique + photosynthèse<br>- Osmorégulation : grandissement cellulaire et mouvement stomatique<br>- Translocation des hydrates de carbone | $K^+$ vacuolaire | 20 000 à 50 000 |
| | Calcium | $Ca^{2+}$ | - | - Stabilisation pariétale et membranaire<br>- Osmorégulation + détoxification des métaux lourds<br>- Activateur de certaines enzymes + synthèse protéique<br>- Translocation des hydrates de carbone | $Ca^{2+}$ fixé aux parois | 1 000 à 55 000 |
| | Magnésium | $Mg^{2+}$ | + | - Constitutif essentiel de la chlorophylle<br>- Cofacteur enzymatique + activateur des phosphorylations<br>- Stabilisation des ribosomes pour la synthèse protéique | $Mg^{2+}$ vacuolaire | ~5 000 |
| | Phosphore | $H_2PO_4^-$<br>$HPO_4^{2-}$ | + | - Constitutif des a. n. (ADN et ARN) et de certaines enzyme<br>- Constitutif de l'ATP (Energie), NTP, UDP, ... (phosphorylations) | P inorganique<br>Phytate | 3 000 à 5 000 |
| | Soufre | $SO_4^{2-}$ | + | - Participe à la synthèse protéique<br>- Constitutif des a. a. soufrés (cystéine + méthionine) et du glutathion<br>- Constitutif de glucides odorants (Brassicacées et Liliacées) | a. a. soufrés<br>Protéines | 2 000 à 5 000 |
| Microéléments | Chlore | $Cl^-$ | ++ | - Photosynthèse et régulation stomatique<br>- Stimulation de certaines pompe ATPasique | - | 2 000 à 20 000 |
| | Bore | $BO_3^{3-}$<br>$B(OH)_3$ | + | - Elongation et division cellulaires<br>- Métabolisme des a. n. | - | 5 à 20 |
| | Fer | $Fe^{2+}$<br>$Fe^{3+}$ | + | - Constitutif des hémoprotéines (cytochrome, péroxidase ... )<br>- Activateur enzymatique et réactions rédox | - | 20 à 100 |
| | Manganèse | $Mn^{2+}$ | + | - Activateur enzymatique + division et grandissement cellulaires<br>- Constitutif des méttaloprotéines | - | 10 à 20 |
| | Zinc | $Zn^{2+}$ | + | - Activateur enzymatique<br>- Constitutif de certaines enzymes (superoxide dismutase)<br>- Constitutif de la plastocyanine (photosynthèse) | - | 15 à 20 |
| | Cuivre | $Cu^{2+}$ | + | - Activité enzymatique et réaction rédox<br>- Constitutif d'enzymes de détoxification : peroxidases, oxidases, superoxide dismutase<br>- Participe au processus de lignification | - | 2 à 20 |
| | Molybdène | $MoO_4^{2-}$ | +/- | - Cofacteur enzymatique<br>- Constitutif de la nitrate réductase | - | 0.1 à 1 |

## II.3. Absorption des nutriments

L'absorption de l'eau et des substances minérales s'effectue par les poils absorbants gagne les vaisseaux conducteurs par le cortex (écorce) et la stèle (cylindre central). Elle progresse transversalement et de façon centripète dans la racine comme le montre la Figure II.2. Elle suit trois voies (Heller *et al.,* 2011):

- L'apoplasme, ensemble des parois, des lacunes et des méats; très accessibles à l'eau et aux ions minéraux, qui offre très peu de résistance à l'eau dont la diffusion se fait de manière passive. Cette voie est la voie principale; mais le cadre subérifié des cellules endodermiques (cadre de Caspary) forme un barrage que l'eau doit contourner par le symplasme.

- Le symplasme, ensemble des cytoplasmes qui sont en continuité par les plasmodesmes. Les nutriments sont contraints d'utiliser des transporteurs localisés sur les membranes.

- De vacuole à vacuole, au travers des parois et des couches cytoplasmiques; ce transport est dit transport transcellulaire, par opposition aux transports transmembranaires, limités à une seule membrane. Cette voie permet aux nutriments de diffuser selon leur gradient de concentration jusqu'au parenchyme xylèmien de la stèle. Là, les nutriments sont chargés dans le xylème. Ce processus met en jeu des transporteurs qui vont permettre d'accumuler les nutriments dans les vaisseaux conducteurs à l'encontre de leur gradient de concentration.

Selon Hopkins (2003), les trois voies sont d'ailleurs en constante communication.

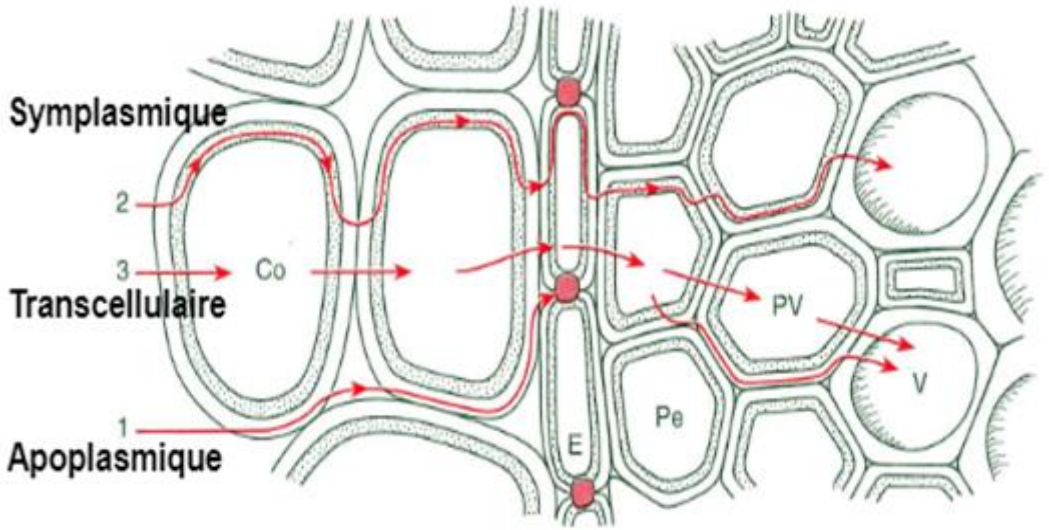



**Figure II.2.** Trajets possibles pour les nutriments dans une racine (Heller *et al.,* 2011)

1. **Apoplasmique; 2. Symplasmique; 3. Trascellulaire. Co. Cellule de cortex; E. Endoderme; Pe. Péricycle; PV. Parenchyme vasculaire ; V. Vaisseau.**

### II.3.1. Macro-éléments

Tous les éléments minéraux indispensables à la plante jouent un rôle important dans son développement; une carence de l'un d'entre eux est en mesure de freiner ou stopper sa croissance. 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 (Serrano 2001 *in* Harkat, 2014).

#### II.3.1.1. Azote

L'azote est un constituant essentiel de la matière vivante végétale. Il entre dans la composition chimique des acides aminés (protéines et enzymes), des acides nucléiques (support de l'information génétique), des certaines hormones (l'acide-3-indole acétique, les cytokinines) et de toutes les substances métaboliques indispensables à la vie de la plante (chlorophylle, régulateurs de croissance…etc.) (Hopkins, 2003; Harkat, 2014). C'est un facteur essentiel de la multiplication et de l'élongation cellulaire. Sa disponibilité a un effet direct sur la vitesse et la durée de la croissance végétative des pousses, le nombre et la vigueur des ramifications, ainsi que sur la croissance et le grossissement des organes reproducteurs (Soing 2004 *in* Harkat, 2014). Il n'est donc pas surprenant que la plupart des symptômes d'une carence en azote, se manifestent par une lente réduction de la croissance ainsi que par une chlorose générale des feuilles (Hopkins, 2003).

#### II.3.1.2. Phosphore

Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle extrêmement important dans la photosynthèse et le métabolisme intermédiaire. Les nucléotides qui constituent l'ADN et l'ARN ainsi que les phospholipides des membranes constituent un autre groupe de phosphoesters importants. Le phosphore sous la forme d'ATP, d'ADP et de Pi, ainsi que les glucides et les acides organiques phosphorylés, jouent également un rôle central dans le métabolisme énergétique des cellules (Hopkins, 2003). La manifestation la plus caractéristique d'une carence en phosphore est une intense coloration verte des feuilles. Dans des cas extrêmes, les feuilles subissent des malformations et présentent des tâches nécrotiques. Dans certains cas, des anthocaynes s'accumulent également conférant aux feuilles une coloration qui varie du vert foncé au pourpre. Un excès de phosphore a des effets inverses de ceux de l'azote, en ce sens qu'il stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges feuillées, diminuant ainsi le rapport tiges feuillées / racines (Hopkins, 2003). La carence phosphorique entraine une réduction de la croissance sans symptômes particuliers.

#### II.3.1.3. Potassium

Le potassium est un élément d'une extrême importance, indispensable à tout végétal. Il est présent sous forme d'ions $K^+$, très mobile, dissous dans les liquides

intracellulaires, notamment dans la vacuole, où il s'accumule à des concentrations jusqu'à cent fois supérieures à celles du milieu. Son abondance et sa mobilité en font le cation le plus important pour la création de la pression osmotique et donc la turgescence vacuolaire. De même c'est lui qui est pour l'essentiel assure l'équilibre acido-basique de la cellule. Il accompagne ainsi les anions dans leur accumulation et leurs migrations. A ces deux fonctions s'ajoutent des fonctions catalytiques où il active certaines kinases (il active plus de 60 enzymes). Il intervient indirectement dans la synthèse des protéines et des polysaccharides et favorise la photosynthèse, qu'il diminue la transpiration et réduit les risques de flétrissement en cas de sécheresse (Heller, 2011). Le potassium assure une alimentation équilibré des plantes, améliore la qualité du rendement, augmente la production en grain, accroît la résistance aux maladies etc. Le manque de potassium entraine une réduction et une baisse de la qualité des fruits avant même l'apparition des symptômes

### II.3.1.4. Calcium

Le calcium peut avoir plusieurs effets dans la plante: des effets sur les membranes, sur les enzymes, sur les parois cellulaires et des interactions avec les phytohormones, bien que les effets sur les enzymes et les interactions avec les phytohormones puissent avoir la même activité. En tant qu'ion divalent, le calcium est non seulement capable de former des complexes intramoléculaires, mais il est également capable de lier des molécules dans des complexes intermoléculaires, ce qui semble être crucial pour sa fonction (Barker et Pilbeam, 2007). Le calcium joue un rôle dans le fuseau mitotique lors de la division cellulaire. Il est également nécessaire au maintien de l'intégrité physique et au fonctionnement normal des membranes; plus récemment, il a été considéré comme messager secondaire dans certaines réponses hormonales ainsi que dans certaines réponses aux facteurs de l'environnement. En tant que messager secondaire impliqué dans la phosphorylation des protéines, le $Ca^{2+}$ pourrait être un facteur important dans la régulation des activités de nombreuses enzymes (Barker et Pilbeam, 2007). Les symptômes de carence calcique se manifestent dans les régions méristématiques, là où les cellules sont en division et où de nouvelles parois cellulaires sont en formation. Les jeunes feuilles sont déformées et nécrosées et la mort des méristèmes peut survenir lors de carences prononcées (Hopkins, 2003).

### II.3.1.5. Magnésium

Le magnésium joue des rôles physiologiques et moléculaires majeurs dans les plantes, en tant que composant de la chlorophylle et un cofacteur de nombreux processus enzymatiques associés à la phosphorylation, la déphosphorylation, et l'hydrolyse de divers composés, et comme stabilisateur structurel pour divers nucléotides. Des études indiquent que 15 à 30 % du magnésium total des plantes est associé avec la molécule de chlorophylle. Les 70 à 85 % restants du magnésium des plantes sont associés au rôle en tant que cofacteur dans divers processus enzymatiques, la régulation des canaux membranaires et des récepteurs et le rôle structurel dans la stabilisation des protéines et les

configurations de l'ADN et des brins d'ARN (Barker et Pilbeam ,2007). L'assimilation du carbone et les transformations énergétiques seront directement affectées par un manque de magnésium ce qui engendre une diminution de la capacité photosynthétique et de l'activité enzymatique qui se produisant principalement en conséquence de la nécrose et de la défoliation des feuilles.

Dans la culture hydroponique de la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., l'augmentation de la fertilisation en magnésium de 0,5 à 10 mM a entraîné une augmentation de la conductance stomatale des feuilles et de la turgescence et une diminution du potentiel osmotique mais n'a eu aucun effet sur le potentiel d'eau des feuilles (Barker et Pilbeam, 2007).

### II.3.1.6. Soufre

Le soufre est nécessaire à la croissance des plantes. Est un constituant des acides aminés soufrés et joue un rôle essentiel dans le métabolisme des vitamines. L'alimentation des plantes en soufre s'effectue essentiellement à partir des sulfates, les racines absorbant les ions $SO_4^{2-}$ présents dans le sol. Le soufre est responsable de l'odeur et de la saveur de certaines plantes comme les Liliacées (oignon, ail, poireau) et les Brassicacées (chou, colza, moutarde) (Safiddine, 2012).

### II.3.2. Micro-éléments

Par le fait même que les besoins de la plante en oligo-éléments soient très faibles et que leurs concentrations dans les tissus soient minimes il est normal que, très tôt, on ait pensé qu'ils jouaient un rôle de catalyseur et donc un rôle dans les réactions enzymatiques. De point de vue des besoins en éléments minéraux des enzymes deux classes peuvent être distinguées (Coïc et Coppenet, 1989):

- Les enzymes pour lesquelles il a été montré qu'un élément minéral spécifique en est un composant intégral (fer, cuivre, zinc, molybdène);

- Celles pour lesquelles un ou plusieurs éléments agissent comme activateur (manganèse par exemple).

### II.3.2.1. Fer

Pour le fer et aussi pour le cuivre, leur rôle dans certains processus d'oxydo-réduction est bien établi (Coïc et Coppenet, 1989).

Le fer entre dans la structure de la molécule de la chlorophylle et dans toute une série de réactions enzymatiques de grande importance dans le métabolisme de la plante (catalase, peroxydase, cytochrome-oxydase, ferrédoxine-protéine, nitrate réductase, etc…).

Il migre peu d'une partie de la plante à l'autre, sa réutilisation restant localisée (Martin-Prével *et al.,* 1984 *in* Harkat, 2014).

### II.3.2.2. Manganèse

Le manganèse est nécessaire en tant que cofacteur de nombreuses enzymes, en particulier des décarboxylases et des déshydrogénases qui jouent un rôle important dans le cycle respiratoire du carbone. Il est intéressant de noter que le manganèse peut souvent se substituer au magnésium dans des réactions qui utilisent l'ATP. Néanmoins sa fonction la mieux connue et la plus étudiée réside dans la production d'oxygène lors de la photosynthèse. Le manganèse, qui se trouve sous la forme d'une protéine à manganèse fait partie du complexe de production d'oxygène (CPO), dans lequel il semble être impliqué dans l'accumulation de charges, lors de l'oxydation de l'eau. La carence en manganèse est responsable de la tavelure grise des céréales, une altération qui est caractérisée par l'apparition de taches de forme ovale, grise verdâtres, à la partie basale des jeunes feuilles. Elle peut provoquer une chlorose prononcée s'étalant entre les nervures de la feuille. (Hopkins, 2003).

### II.3.2.3. Zinc

Le rôle majeur du zinc chez les plantes est en relation avec l'auxine. les tomates déficientes en zinc sont déficitaires en auxine avant qu'apparaisse une inhibition de croissance .En comparaison, des déficiences en cuivre ou manganèse provoquent une diminution de croissance avant que le contenu en auxine soit affecté. La carence en zinc se traduit par un nanisme ainsi que par des chloroses assez sévère et une mauvaise nouaison (Hopkins, 2003).

### II.3.2.4. Bore

Bien que depuis les travaux d'Agulhon (1910) l'indispensabilité de bore soit universellement reconnue, un rôle biochimique essentiel du bore n'a pas été mis en évidence indubitablement. Selon Coïc et Coppenet (1989), le bore joue un rôle comme constituant d'enzyme ou activateur d'enzyme. Il constituant des membranes, donnerait une union temporaire avec le sucre facilitant le transport à travers les membranes.

### II.3.2.5. Chlore

Le chlore est facilement absorbé par les plantes sous la forme électriquement chargée d'ions chlorure ($Cl^-$). En tant qu'élément essentiel, le chlore semble être nécessaire pour une activité enzymatique optimale de l'asparagine synthétase, de l'amylase, et ATPase. Dans la photosynthèse, le chlorure est un cofacteur essentiel pour l'activation de l'enzyme d'évolution de l'oxygène associée au photosystème II (Barker et Pilbeam ,2007).

L'accumulation de chlorure dans les cellules végétales augmente l'hydratation des tissus et la pression de turgescence. Cette fonction osmotique travaille en étroite collaboration avec le potassium pour faciliter l'élongation et la croissance des cellules. Le chlorure et le potassium participent à l'ouverture des stomates en passant des cellules épidermiques aux cellules de garde pour agir comme soluté osmotique qui entraîne l'absorption d'eau. Le chlorure, cependant, est essentiel au fonctionnement stomatique chez certaines espèces végétales d'après Barker et Pilbeam (2007).

### II.3.2.6. Molybdène

Il est maintenant bien établi que le molybdène est un constituant de l'enzyme impliquée dans la fixation d'azote gazeux par *Rhizobium radicicola* des légumineuses (nitrogénase) et de celle impliquée dans la réduction des nitrates (nitrate réductase) (Coïc et Coppenet; 1989).

### II.3.3. Interactions entre les éléments nutritifs

Il existe des interactions entre les éléments nécessaires à la nutrition de la plante, oligo et macro-éléments, qui se manifestent dans le sol, à l'absorption, et lors de la migration ultérieure. Ces interactions se traduisent, soit par une mauvaise alimentation de tel ou tel organe ou tissu de la plante, soit par une inhibition du rôle fondamental de l'élément. On peut signaler l'antagonisme P-Zn, une alimentation phosphatée trop abondante pouvant créer des déficiences en Zn. Mais il existe, des interactions entre presque tous les éléments. Certaines ont plus d'importance que d'autres en physiologie végétale et en conséquence pour l'agriculture (Coïc et Coppenet, 1989).

En conclusion, les mécanismes d'absorption des oligoéléments ne diffèrent pas de ceux des macro-éléments. Ces mécanismes sont tout à fait semblables dans l'absorption radiculaire et dans l'absorption foliaire. Or celle-ci est d'une utilisation fréquente en agriculture pour alimenter en oligo-éléments les plantes déficientes (Coïc et Coppenet, 1989).

## II.4. Effet de la nutrition des plantes sur la santé végétale

La nutrition minérale peut avoir tellement d'effets sur la santé végétale aussi bien sur la croissance que sur le développement des plantes, qu'il est logique de s'attendre également à des répercutions sur la composition des tissus. En outre, les apports en minéraux modifieront d'autant les teneurs de certaines substances si ce sont des constituants directs de ce composé ou s'ils jouent un rôle central dans la synthèse ou le stockage de ce composé (Grusak et Della Penna, 1999; Crosby, 2008). Les micros comme les macroéléments peuvent modifier la composition en polyphénols (Bernard, 2009).

Selon l'étude de Chaboussou (1973) sur le rôle du potassium et de l'équilibre cationique dans la résistance de la plante aux parasites et aux maladies; dans laquelle il a

été conclue que les fumures déséquilibrées ou excessives conduisent souvent « à un état physiologique préjudiciable de la résistance de la plante dans la mesure où il implique un excès d'azote et de glucides solubles dans les tissus ».

Selon le même auteur Chaboussou (1981) montre que, la sensibilité d'une plante cultivée par rapport aux bio-agresseurs dépend de son état nutritionnel. La santé d'une plante est directement liée à son équilibre interne qui est en perpétuelle mutation. Selon Chaboussou, les ravageurs et les maladies n'attaquent pas toutes les plantes, mais uniquement celles qui pourraient servir d'aliments. Si une plante dispose d'une quantité de substances suffisante pour alimenter les ennemis naturels, c'est parce qu'elle n'a pas été traitée selon les méthodes optimales de culture.

Ces études constituent un point de départ pour la théorie de la trophobiose, permettant ainsi d'établir un lien important entre ces deux faits observables et vérifiés dans la pratique par les agriculteurs. Selon cette théorie, les parasites ne peuvent survivre que sur les plantes dont la sève ou les tissus ont un niveau d'acides aminés excessif. Cet excès serait dû à l'inhibition de la protéosynthèse, à la prédominance de la protéolyse sur la protéosynthèse, ou à la production excessive d'acides aminés. L'inhibition peut être causée par les pesticides ou par une nutrition déséquilibrée. La production excessive d'aminoacides vient d'une suralimentation en azote par les fertilisants solubles (Lutzenberger, 1987).

Une autre étude montre que l'interaction entre nutrition potassique et la santé des plantes a donné lieu à un très grand nombre de résultats plus ou moins ciblés sur le sujet (2500 concernant plus de 400 maladies et ravageurs) compilées par Perrenoud (1990). Un effet bénéfique d'apports de K est surtout rapporté pour les attaques bactériennes et fongiques; l'effet est moins marqué pour les attaques d'insectes, et inverse pour les attaques virales. Dans ces études, l'azote est souvent une covariable, agissant d'ailleurs de manière opposée (facteur aggravant) au potassium. Il existe cependant une très forte variabilité dans les réponses, en raison de pratiques de gestion très variables (conditions pédoclimatiques, sensibilités variétales, techniques culturales), et souvent insuffisamment bien décrites (Jordan-Meille, 2012).

Selon Amtmann *et al*. (2008), le niveau d'alimentation en K des plantes influence à la fois leur vulnérabilité aux agressions (attaque ou non par le pathogène), leur sensibilité (capacités à surmonter les effets négatifs des attaques), et leurs capacités à se défendre à travers l'activation de messages hormonaux (Figure II.3.). Malgré le très grand nombre d'études, seule une compréhension « statistique » de l'effet du K est démontrée. Le modèle conceptuel proposé par Amtmann *et al*. (2008) constitue désormais un réseau d'hypothèses que des expérimentations futures devront tester.

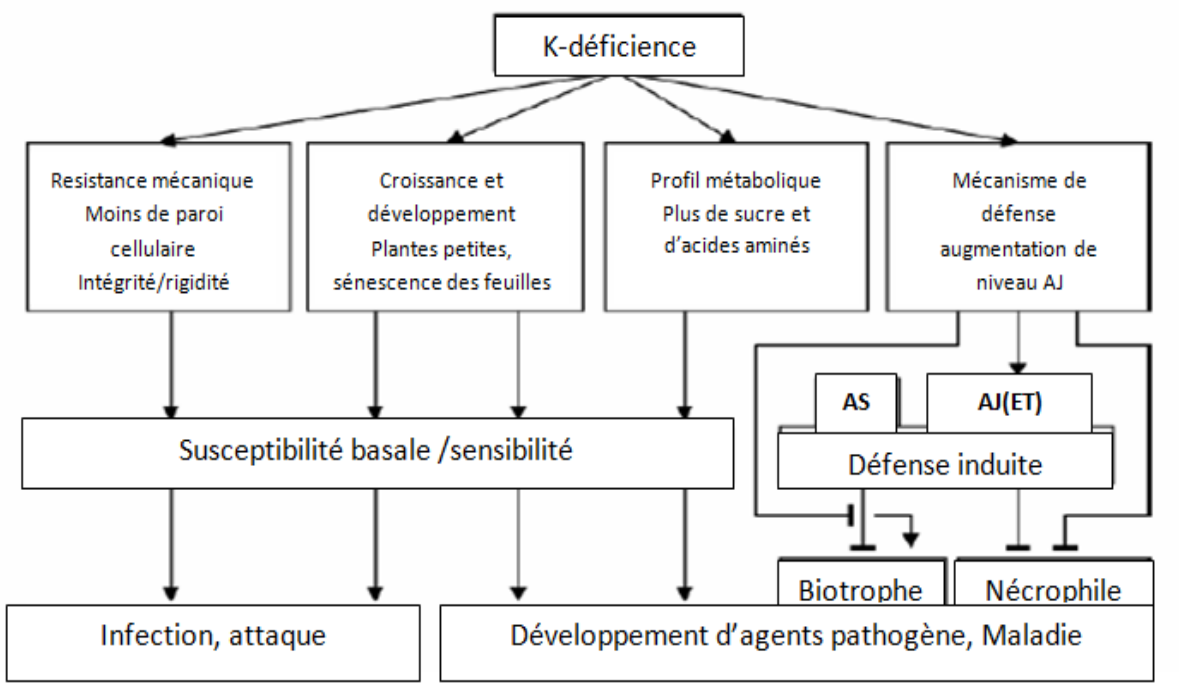



**Figure II.3.** Effets potentiels de la déficience en K sur la prédisposition des plantes aux maladies et aux attaques de pathogènes (Amtmann et al. 2008 *in* Jordan-Meille, 2012)

Les agriculteurs intervenaient aussi directement dans la nutrition de la plante pour améliorer sa résistance : cette pratique est dénommée lutte physiologique. Selon la théorie, une plante saine, bien nourrie sera rarement attaquée par la maladie et par les ravageurs. Les insectes, les nématodes, les virus et les bactéries sont la conséquence des problèmes de la plante et non leur cause. De nombreux produits usuels et simples peuvent être utilisés dans les systèmes de production pour améliorer la nutrition de la plante. Parmi ces exemples, on peut citer la cendre, la roche en poudre ou les biofertilisants liquides. En général, ces intrants sont abondants, disponibles localement et faciles à introduire dans les pratiques de gestion de l'agriculteur. Un produit très commun en constitue un bon exemple : le biofertilisant liquide enrichi. C'est une technologie courante que les agriculteurs utilisent effectivement et que l'on peut trouver actuellement dans presque tous les systèmes agricoles écologiques en Amérique latine (Primavesi, 1989).

## II.5. Evolution des associations plante-insecte phytophage

Les végétaux subissent la pression des insectes phytophages depuis leur apparition, c'est-à-dire depuis plus de 145 millions d'années. Cette phytophagie peut parfois induire des dommages importants, qui peuvent affecter le succès reproducteur d'une plante, ou la dynamique des populations végétales. Pour faire face à cette pression, les végétaux ont développé de nombreuses stratégies de défense. Cependant, à leur tour, les insectes phytophages ont aussi pu s'adapter à ces innovations, afin de pouvoir continuer à exploiter leur habitat. Les plantes et leurs insectes phytophages se livrent à une perpétuelle "course à l'armement" et sont donc dans un équilibre dynamique dont la rupture peut entraîner soit la

prolifération des insectes, soit celle des plantes. Dans ce contexte, l'étude des interactions entre les plantes et les insectes phytophages peut notamment permettre de comprendre : (i) pourquoi une plante exotique peut devenir envahissante dans un nouvel environnement, qui ne contient pas ses prédateurs spécifiques et (ii) quel est le rôle de la phytophagie dans l'évolution des traits d'histoire de vie des plantes et la formidable diversité des insectes (Barat, 2007).

L'étude des interactions plantes-insectes représente donc des enjeux scientifiques et sociétaux particulièrement importants puisqu'elles affectent la distribution et l'abondance des plantes, et par conséquent le fonctionnement et la diversité biologique des écosystèmes (Speight *et al.,* 1999 *in* Durand-Gillmann, 2014). Les interactions plantes-insectes constituent l'une des bases importantes à l'origine de la diversification des relations interspécifiques. En général, elles ne se limitent pas à une simple interaction entre un insecte et sa plante hôte mais intègrent une grande variété d'interactions, trophiques ou non, liées à la complexité et la diversité de la biocénose. Les plantes interagissent non seulement avec les insectes phytophages, mais aussi avec les entomophages (prédateurs, parasitoïdes), influençant ainsi fortement les interactions des auxiliaires avec leurs insectes hôtes (Sauvion *et al.,* 2013; Whitney et Heather ,2013). Ces interactions entre les espèces de plantes et d'insectes ont été modelées par des millions d'années de coévolution (Bronstein, 1994 ; Wappler *et al.* 2015 *in* Adroit, 2008).

La coévolution, au sens strict du mot, implique des influences réciproques entre espèces, et doit donc être distinguée de l'évolution séquentielle, dans laquelle l'évolution d'une espèce en influence une autre, sans que la réciproque soit vraie. En d'autres termes, elle implique que les adaptations et les contre adaptations évoluent en synchronie. Le terme de "coévolution" a été cité pour la première fois dans l'article de Ehrlich et Raven (1964 *in* Barat, 2007), en tant qu'hypothèse évolutive pour expliquer la diversification des papillons et de leurs plantes-hôte. Pourtant, comme l'a fait remarquer Janzen (1980 *in* Barat, 2007), ils n'ont pas démontré la coévolution, mais ont décrit une série successive d'adaptations radiatives. En effet, dans ce célèbre papier, Ehrlich et Raven suggèrent que les composés chimiques secondaires des plantes détermineraient l'utilisation des plantes-hôte par les papillons. En effet, deux plantes ayant des composés chimiques secondaires seraient susceptibles d'être attaquées par les mêmes espèces d'insecte. Ces substances chimiques auraient alors évolué en défenses chimiques contre ces insectes phytophages, qui à leur tour auraient développé de nouvelles adaptations, telle que la capacité de détoxification. Par conséquent, Ehrlich et Raven ont mis en évidence une coadaptation entre les papillons et leurs plantes-hôte, c'est-à- dire une interaction adaptative entre des organismes d'espèces différentes (Ridley, 1997 *in* Barat, 2007), qui peut effectivement mener à la coévolution, mais n'en constitue pas une preuve.

Ces dernières années, la phylogénie a permis de tester l'hypothèse de coévolution, qui a été démontrée dans des associations mutualistes, impliquant des parasitoïdes, et aussi dans certaines associations impliquant des insectes phytophages (Barat, 2007). Toutefois, dans les associations plante-insecte phytophage, la coévolution semble être un phénomène

assez rare. Pour Jermy (1984 *in* Barat, 2007), l'évolution des plantes et des insectes est plutôt séquentielle. En effet, beaucoup d'insectes ne se nourrissent que d'un seul type de plante, alors que les plantes servent d'aliment à de nombreuses espèces d'insectes. Ainsi, lorsqu'une plante évolue, tous ses consommateurs sont obligés de suivre, alors que si une espèce d'insecte évolue, cette modification n'entraînerait sur la plante-hôte qu'une sélection limitée. Selon Ehrlich et Raven (1964), la longue coexistence entre les plantes et les insectes phytophages a permis la mise en place de systèmes complexes de défense de la part des plantes et de résistance chez les insectes. Ces mécanismes étant dynamiques, ils reposent sur les interactions entre les organismes et donc, pour partie, sur la transmission et l'échange d'informations via l'environnement (Lamy, 2016). Actuellement, un des mécanismes évolutifs les plus probants pour expliquer la spéciation chez les insectes phytophages serait la spéciation sympatrique via un transfert d'hôte.

Benjamin Walsh (1864 *in* Barat, 2007) fut le premier à proposer que les insectes phytophages spécifiques à leur(s) plante(s)-hôte(s) résulteraient d'un transfert d'hôte suivi d'une spécialisation au nouvel hôte. Sous ce scénario, la chimie de l'hôte joue un rôle prépondérant (Barat, 2007). Les insectes spécialistes (i.e. monophages et oligophages) sont, quant à eux, restreints à une ou quelques plantes de la même famille, et utilisent les composés chimiques émis par la plante pour leur propre défense ou pour recruter des congénères afin de faciliter l'exploitation de leur hôte (Durand-Gillmann ,2014). En effet, un insecte spécialiste serait préadapté pour coloniser un nouvel hôte, dont les composés chimiques secondaires (impliqués dans la résistance contre la phytophagie) sont similaires à l'hôte actuel (Ehrlich et Raven, 1964). La colonisation, puis la spécialisation du nouvel hôte conduirait alors à la formation de races d'hôte (Bush, 1969 *in* Barat, 2007). Les races d'hôte sont des populations sympatriques de parasites, génétiquement différenciées, qui utilisent différents hôtes, et entre lesquels il y a un flux de gènes appréciable (Drès et Mallet, 2002 *in* Barat, 2007). Le transfert d'hôte semble être un mécanisme commun chez les insectes phytophages. En effet, la majorité des insectes phytophages présentent un niveau élevé de spécificité à leur plante-hôte et la spécificité d'hôte est souvent combinée à de hauts niveaux de transfert d'hôte, lesquels sont souvent phylo-génétiquement conservés (i.e. transfert entre plantes apparentées) (Barat, 2007).

La sélection de plantes hôtes par les insectes phytophages est en grande partie déterminée par les insectes adultes qui choisissent le lieu de développement des descendants. Chez de nombreuses espèces, les stades immatures ne changent pas de plantes-hôtes ou de localisation au sein de la plante-hôte durant leur développement. Par conséquent, la quantité et la qualité de la nourriture disponible pour leur développement mais aussi les conditions écologiques environnantes résultent du choix des parents (généralement la mère). La décision d'un insecte pour accepter ou rejeter son hôte est déterminée par l'existence de mécanismes de défense directs et/ou indirects développés par la plante (Awmack et Leather 2002; Wallin et Raffa 2004; Howe et Jander 2008 *in* Durand-Gillmann ,2014). Quand ces plantes-hôtes diffèrent dans leur qualité pour le développement des insectes phytophages, la théorie évolutive prédit une relation positive entre le choix du site de ponte par la femelle et la performance des descendants : c'est

l'hypothèse de « préférence-performance ». Cette hypothèse est basée sur la capacité des insectes à classer les plantes-hôtes selon des critères de préférence d'un point de vue nutritionnelle et/ou refuge pour les parents et les descendants et pour éviter les phénomènes de compétition intra- et inter-spécifique (Sauvion et *al*. 2013).

# CHAPITRE III.

# BIOFERTILISANTS

# CHAPITRE III.
# BIOFERTILISANTS

- ***Introduction***

Depuis plusieurs millénaires, les activités humaines, ont conduit à la transformation progressive d'une grande partie des surfaces terrestres. Parmi les conséquences de ces transformations, la réduction des superficies occupées par l'agriculture, la chose qui a obligé les agriculteurs à penser à l'agriculture intensive. L'agriculture intensive n'est bien sûr pas seulement affaire de superficie utilisée. Elle se définit comme un système de production agricole caractérisé par l'usage important d'intrants, et cherchant à maximiser la production par rapport aux facteurs de production, qu'il s'agisse de la main d'œuvre, du sol ou des autres moyens de production, tel que le matériel agricole, les pesticides, les engrais verts, les fertilisants…etc (Gras *et al.,* 1989).

Les principes de l'agriculture biologique concernent l'agriculture au sens large, comprenant la façon dont les hommes entretiennent le sol, l'eau, les plantes et les animaux afin de produire, de préparer et de distribuer la nourriture et les autres biens nécessaires à la survie de l'homme (Jeandet *et al.,* 1996).

L'agriculture biologique est en fait un système holistique de production animale ou végétale qui optimise la productivité et la santé des différentes communautés de l'agro-écosystème, notamment les organismes du sol, des plantes, du bétail et des humains. Autrement, c'est un système holistique de gestion de la production qui promeut et améliore la santé de l'écosystème agricole, incluant la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol. Le but principal de l'agriculture biologique est la mise en place d'entreprises productives et durables et leur mise en harmonie avec l'environnement (Mughal, 1992).

Bon nombre d'agriculteurs biologiques croient que la réussite d'un système d'agriculture biologique commence avec le sol; un sol sain produit des plantes saines qui permettent aux animaux et aux humains qui les consomment d'être eux aussi en santé. Ils perçoivent le sol comme un organisme vivant qui est le siège de processus et de formes de vie interdépendants (Ruttan, 1990).

## III.1. Fertilisants

Les troubles de la nutrition semblent être la conséquence de l'absence de fumure ou d'une fumure mal adaptée, parfois de la localisation des apports réalisés trop loin des racines et dans certains cas du manque de l'efficacité des engrais. L'objectif de la fertilisation se résume à fournir à la plante ce qui lui manque dans un milieu donné, à restituer ce qui a été prélevé par les diverses voies d'exportations (feuilles, bois…) et de

constituer des réserves dans le sol en vue de maintenir le potentiel agronomique du terroir, pour bien répondre aux objectifs qualitatifs et quantitatifs des rendements (Delas, 2000; Reynier, 2007; Harkat, 2014).

### III.1.1.Notion de fertilisation

La fertilisation est l'ensemble des techniques agronomiques permettant d'amener un sol à son niveau de production optimale et de l'y maintenir. Ces techniques de fertilisation concernent l'amélioration ou le maintien des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologie du sol en se basant sur le travail du sol, l'amendement de la fumure et l'irrigation (Zuang, 1982). Elle est l'élément de base de l'agriculture moderne, elle assure les besoins nutritionnels des plants qui agissent sur le rendement du point de vue quantitatif et qualitatif. La fertilisation a pour but d'apporter le complément nécessaire à la fourniture du sol en vue de répondre aux besoins physiologiques des plantes pour une croissance et un développement optimums (Elalaoui, 2007). Selon Chamel & Gambonnet(1980), les producteurs font appel à la fertilisation pour combler les carences minérales de leur culture.

### III.1.2.Comment la fertilisation agit-elle sur la santé des plantes ?

La fertilisation peut agir à trois niveaux. Tout d'abord, les minéraux absorbés par les racines vont être utilisés directement dans les cellules des tissus végétaux. Par exemple, si l'on apporte une importante dose d'azote à la plante, ses feuilles vont être aussi plus riches en azote, que se soit sous forme minérale ou sous forme de protéines. Ce qui signifie que les champignons pathogènes et les pucerons ont potentiellement un substrat plus riche à leur disposition. La fertilisation peut agir à un deuxième niveau qui est le système naturel de défense de la plante. En effet, la composition de la fertilisation peut influencer la présence dans la plante de certains composés toxiques pour les bioagresseurs, ainsi que le renforcement des parois cellulaires. Enfin, la fertilisation a un effet sur l'architecture de la plante. Une forte fertilisation entraîne une croissance végétative forte, donc un climat plus humide dans la serre qui influe sur le développement des maladies (Nicot, 2010).

### III.1.3. Inconvénients des fertilisants chimiques

L'application intensive de tels fertilisants de par le monde tiennent surtout compte de leur efficacité à libérer rapidement les éléments fertilisants et à augmenter les récoltes à court terme. Toutefois, le contrecoup de cette action immédiate, est la contamination possible de l'écosystème (Lemieux et Germain, 2001).

D'après Sivasangari *et al.* (2010), les fertilisants chimiques n'améliorent pas la structure du sol mais ils enrichissent le sol en y apportant des éléments nutritifs. Ils sont relativement coûteux, et ont un effet néfaste non seulement pour la santé humaine mais aussi pour les microorganismes du sol, puisque sa fertilité se dégrade graduellement, son

acidité augmente, il devient toxique à cause de l'accumulation des éléments chimiques qui déséquilibrent sa structure.

Lemieux et Germain, (2001) rapportent que, les fertilisants chimiques tels l'azote, le phosphore et le potassium utilisés en agriculture contaminent à la fois la nappe phréatique et les eaux de ruissellement. En réalité, l'azote, mis en solution sous la forme de nitrate, (NO3–), représente le contaminant le plus souvent identifié dans la nappe phréatique. Les excès d'azote ont pour effet de polluer tous les agro-écosystèmes et d'accélérer le fonctionnement écologique des communautés vivantes. L'activité humaine a doublé le volume d'azote circulant entre le monde vivant, l'eau et l'atmosphère à un taux qui ne cesse de s'accroître. La persistance dans le sol des fertilisants azotés contribue à son acidification et à la perte d'éléments dits «mineurs» et la libération de métaux lourds.

Ce sont les bactéries du sol qui génèrent des oxydes nitreux à partir des fertilisants. Cependant la concentration de ce gaz est faible. Il contribue quand même à la destruction de l'ozone dans la stratosphère et à l'effet de serre dans la troposphère. Aux États Unis en 1997, l'utilisation de fertilisants azotés de synthèse et de fertilisants organiques a contribué à 36% de toutes les émissions d'oxyde nitreux ($N_2O$). Cet oxyde nitreux est 310 fois plus efficace que le $CO_2$ pour maintenir l'effet de serre. La presque totalité de la production naturelle de $N_2O$ est causée par la flore bactérienne du sol. Il va de soi que cette production est grandement accrue par l'application de fertilisants azotés de synthèse et tous autres fertilisants organiques utilisés. D'après le Groupe Intergouvernemental sur les Changements Climatiques, tous les facteurs étant égaux par ailleurs, l'augmentation des émissions de $N_2O$ est égale à l'augmentation de l'application d'azote de synthèse (Lemieux et Germain, 2001).

Ceci indique qu'en limitant l'utilisation de fertilisants chimiques, nous diminuons également les pertes d'azote dans l'environnement par lessivage ou émission de gaz à effets de serre.

## III.2. Biofertilisants

Le développement d'une culture raisonnée dans le but d'une protection de l'environnement et l'essor de l'agriculture biologique (Chaussod *et al.,* 1999; Thuries *et al*., 2000). On accorde aujourd'hui une grande importance à la composante des éléments minéraux du feuillage, en raison de ses multiples effets potentiels sur la croissance et le développement de la culture.

La littérature scientifique mentionne généralement une influence positive de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques (structure, cohésion, perméabilité, rétention en eau, capacité d'échange cationique, teneurs en éléments fertilisants, …) et la vie des ravageurs, (Morel, 1989; Chaussod *et al*, 1999; Thuries *et al.,* 2000).

L'emploi des fertilisants s'adresse à des agro-systèmes: climat, sol et population végétale concourent chacun pour sa part à l'obtention d'une production, dont l'élaboration

proprement dite est le fait exclusif de la plante. En conséquence, pour être rationnelle, la fertilisation doit établir une offre concourante, avec les autres facteurs qui agissent sur la nutrition, à mettre le végétal en mesure de satisfaire la part de son besoin interne compatible avec les contraintes socio- économiques (rentabilité) (Heller, 1969).

On sait que les tissus végétaux se laissent pénétrer, dans certaines conditions, par de nombreux produits utilisés sous forme de pulvérisations, soit strictement nutritives, soit destinées à la protection phytosanitaire (Chamel et Gambonnet, 1980). Ces produits sont donc susceptibles d'enrichir la plante dans le, ou les éléments contenus dans leur formule, et il semble bien que les répercussions à en attendre dans le métabolisme de celle-ci, ne soient pas sans relation avec sa sensibilité ou sa résistance à certaines affections parasitaires. Il en est de même d'ailleurs pour la fertilisation, ou l'association des deux (Fravel, 2005).

### III.2.1. Définition

En agriculture un biofertilisant ou fertilisant organique est un bio-stimulant de la croissance et du rendement d'une plante, lorsqu'il appliqué en petite quantité, durant tout le cycle de la culture (Mohanty *et al.,* 2013).

D'après Mishra *et al.,* (2013 *in* Assemien, 2018), les biofertilisants sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches de micro-organismes efficaces qui aident à l'absorption des éléments minéraux par les plantes cultivées suite à leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'ils sont appliqués sur les semences ou dans le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol impliqués dans l'augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs dans une forme facilement assimilable par les plantes (Vessey, 2003 *in* Assemien, 2018). Les biofertilisants interviennent dans un aspect crucial de l'agriculture biologique et sont des acteurs majeurs de l'économie et de la production agricole générale à l'échelle mondiale (Pravin *et al.,* 2016 *in* Assemien, 2018).

### III.2.2. Quelques types de biofertilisants

#### III.2.2.1. Biofertilisants à base des bactéries fixatrices d'azote

Les bactéries fixatrices d'azote sont des bactéries qui peuvent exister soit sous forme libre (seules ou en symbiose avec d'autres bactéries du sol), soit en symbiose avec des plantes tout en assurant la fixation de l'azote atmosphérique (N2). En fonction de leur régime respiratoire, ces micro-organismes peuvent être soit aérobies, soit anaérobies. Il s'agit des bactéries symbiotiques (notamment les rhizobiums, les bactéries du genre Azospirillum, les cyanobactéries et Azolla) et des bactéries non symbiotiques (Beijerinckia, algues bleues, l'espece Azotobacter) (Alamri *et al.,* 2014 *in* Assemien, 2018).

### III.2.2.2. Biofertilisants à base de rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR)

L'utilisation des engrais biologiques peut également être proposée pour améliorer les rendements des cultures tout en assurant une meilleure durabilité des systèmes de culture (Ohyama, 2006 *in* Assemien, 2018). Les rhizobactéries sont des bactéries qui colonisent les racines ou la rhizosphère du sol et qui sont bénéfiques aux cultures (PGPR) (Beauchamp, 1993 *in* Assemien, 2018). Ces bactéries sont actuellement commercialisées sous forme d'inoculum. Lorsque les biofertilisants sont appliqués sur les graines, les surfaces des plantes ou le sol, ils colonisent la rhizosphère ou l'intérieur de la plante, et semblent promouvoir la croissance des plantes en augmentant l'offre ou la disponibilité des éléments nutritifs primaires à la plante hôte ainsi que l'inhibition des agents pathogènes de croissance (Vessey, 2003 *in* Assemien, 2018).

### III.2.2.3. Biofertilisants à base de lombricompost

Le lombricompost est un processus biologique qui permet de convertir des matières organiques fraîches en un produit stabilisé, hygiénique tel que le terreau. Ce procédé plus rapide que le compostage, permet la bio-oxydation et la stabilisation des matières organiques. Il consiste en un passage du substrat par les intestins des vers de terre riches en microorganisme et en régulateurs de croissance (Nagavallemma 2004 *in* Guermache et *al.*, 2018). Le compost préparé par les vers est riche en éléments nutritifs pour les végétaux (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) et en oligo-éléments (cuivre, fer, manganèse, zinc…) (Pajot ,2010) et, par conséquent, constitue une bonne source de fumier pour les cultures. Certains vers de terre comme *Eisenia fetida, Perionyx excavatus* et *Eudrilus eugeniae* sont particulièrement adaptés à la préparation de vermicompost. l'ajout de lombricompost dans le sol améliore les propriétés biologiques du sol et, par conséquent, améliore sa fertilité (Purakeyastha et Bhatnagar 1997 *in* Satish Kumar et *al.*, 2016).

L'utilisation des différentes doses de biofertilisant du lombricompost, a permis de mieux comprendre le rôle de cette substance naturelle sur la performance de la production de la phytomasse et dans l'induction de la résistance contre les ennemis naturels en particulier (Pajot 2010 *in* Chaichi ,2011). Le même auteur montré que, le traitement foliaire des plants avec du lombricompost était associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes.

## III.3. Stimulation de défenses naturelles des plantes

Au cours de leur évolution, toutes les plantes ont élaboré un véritable «système immunitaire» capable de déceler un danger, que ce dernier soit de nature biotique (microorganisme pathogène, insecte ravageur) ou abiotique (pluie, grêle, gel, vent). En l'absence des lymphocytes et anticorps que l'on retrouve dans le système immunitaire humain, le «système phyto-immunitaire» se distingue par la variété des molécules de

défense qu'il produit en réponse à un stress (Benhamou et Rey, 2012). Cette stratégie défensive, activée par l'agression, conduit à des modifications considérables de l'activité métabolique des cellules végétales, se traduisant par une cascade d'événements destinés à restreindre la progression des agents infectieux et à réduire les dommages causés par des blessures.

Certaines molécules, appelées « éliciteurs » ou « stimulateurs des défenses naturelles des plantes» « SDN » ou « SDP », d'origine végétale ou microbienne, contenant des matières actives d'origine naturelle ou de synthèse destinés à induire les mécanismes de défense naturelles de la plante. Ce domaine de recherche ouvre la voie à de nouvelles stratégies en matière de lutte contre les agents phytopathogènes et à une stratégie de «stimulation des défenses naturelles» (SDN) .Le principe des SDN a été énoncé pour la première fois en 1991 par Peter Albersheim et ses collègues (Klarzyski et Frtig ,2001). Selon Benhamou et Rey (2012), un éliciteur est une substance capable de déclencher une cascade d'évènements menant à l'expression des réactions de défense chez la plante.

La première catégorie de molécules SDN concerne des molécules capables d'éliciter une réponse de défense en agissant au niveau de la reconnaissance du bioagresseur par la plante. Il s'agit surtout d'oligosaccharides dérivés de parois de champignon ou d'algue et de protéines de champignon, de bactérie ou de crustacé. Elles agissent en déclenchant une hyper-réaction locale et/ou une résistance systémique acquise (SAR). Cette dernière est intéressante car elle met la plante dans un état de veille pendant laquelle elle pourra mobiliser plus rapidement et efficacement ses défenses contre un grand nombre d'agresseurs et pour une période relativement longue.

D'autres composés sont capables d'induire directement une résistance systémique induite (SAR), sans passer par la phase de la réaction hypersensible et les dégâts qui peuvent lui être collatéraux (feuilles légèrement nécrosées) (Figure III.1.). La plupart du temps, cette action correspond à une « potentialisation» : les réactions de la plante ne s'observent qu'en présence d'un pathogène. Ainsi, l'acide salicylique qui est un élément majeur de la cascade de signaux conduisant à la SAR a rapidement été testé comme SDN. Mais il possède l'inconvénient de ne pas être systémique (et donc de n'induire une résistance que dans les feuilles traitées), d'être rapidement dégradé à la surface des feuilles et d'être phytotoxique à des doses relativement faibles (Percival, 2001).

Les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires « classiques », notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité (Lyon et Newton, 1997).

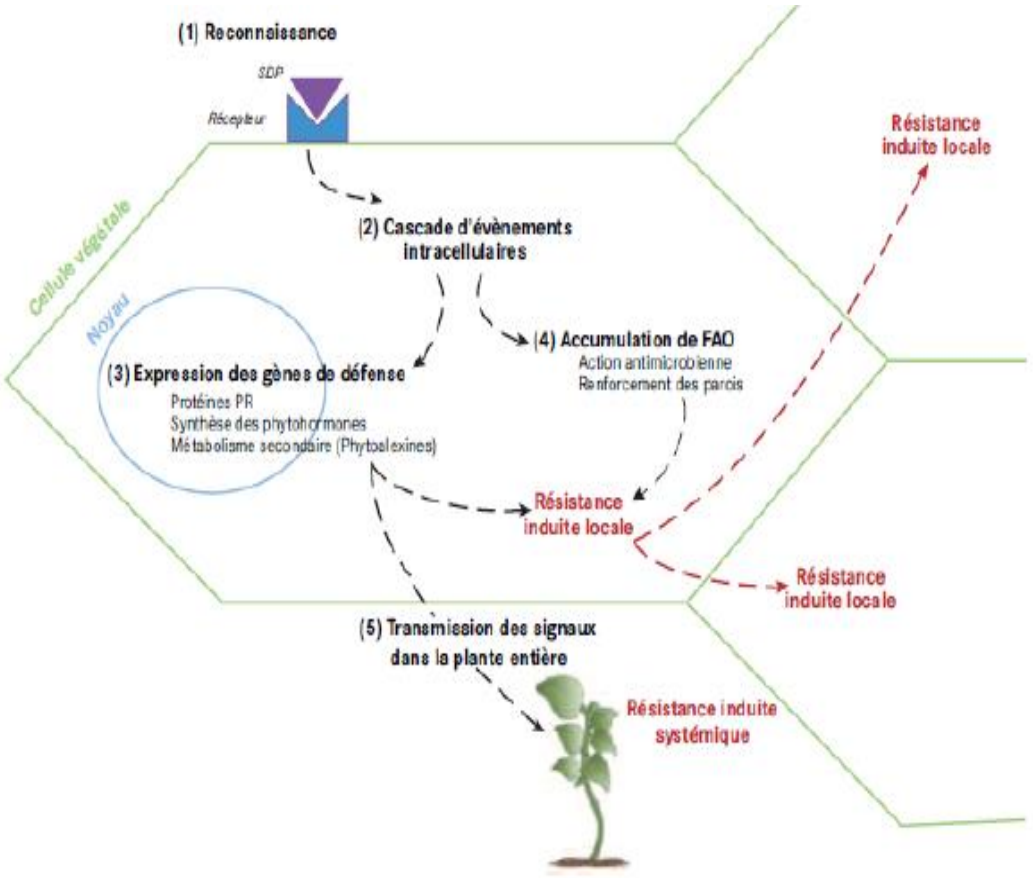



**Figure III.1.** Schématisation de la mise en place des réponses de défense de la plante suite à la reconnaissance d'un éliciteur (Faessel *et al.,* 2014).

### III.3.1. Caractéristiques générales des SDN

Les SDN ont par nature des caractéristiques en commun. Ainsi, ils sont inactifs sur l'agent pathogène puisqu'ils agissent sur la plante. Ce critère est très fréquemment utilisé en laboratoire pour les discriminer. Par exemple, l'équipe de M. Couderchet a travaillé sur un SDN qui est inactif si appliqué directement sur le champignon *Botrytis cinerea*, même à très forte dose (Couderchet *et al.,* 2003; Blanchard et Limache, 2005). Deuxième caractéristique, les changements observés au niveau biochimique sont identiques à ceux naturellement présents dans les plantes. C'est également un critère utilisé au laboratoire, avec une dimension quantitative puisque la mesure de ces molécules qui marquent une résistance induite renseigne sur l'efficacité du SDN. Les molécules mesurées peuvent être des protéines PR (Amborabé *et al*., 2004; Couderchet *et al.,* 2003; LE Floch *et al.*,2003; Blanchard et Limache, 2005), une enzyme intervenant dans la synthèse de l'acide salicylique, la PAL (Amborabé *et al.,* 2004; Blanchard et Limache, 2005), une phytoalexine (Jeandet *et al.*,1996; Blanchard et Limache, 2005) ou des peroxydases qui participent à la production d'espèces actives de l'oxygène (Martinez et *al.,*1996; Blanchard et Limache, 2005). Une commission de l'Association française de protection des plantes (AFPP) est même actuellement en réflexion pour décider si l'évaluation du pouvoir des SDN peut se faire sur la base de ces marqueurs induits du métabolisme des voies de défense des plantes.

À ces caractéristiques intrinsèques s'ajoutent des propriétés qui leur sont liées. Ainsi, les SDN sont généralement dépourvues de toxicité pour les êtres vivants et pour l'environnement et complètement biodégradables.

### III.3.2. Intérêt en protection des plantes

Les SDN sont donc une nouvelle voie que la science a ouverte dans le domaine de la protection des plantes. Il reste cependant à bien préciser leur intérêt pour l'agriculture, aussi bien sur les plans techniques qu'environnemental (Blanchard et Limache, 2005). Enfin, nous verrons quelle place peut prendre ces nouveaux moyens de lutte dans l'agriculture contemporaine.

#### III.3.2.1. Intérêt technique

On l'a vu précédemment, les SDN induisent les réactions de défense de la plante, qui mobilise alors ses moyens propres. Or le plus souvent il s'agit d'une résistance systémique acquise, qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs. C'est un confort pour l'agriculteur, en même temps qu'une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs spécialités ciblées (Blanchard et Limache, 2005). De plus, ce large spectre de résistance permet d'envisager une lutte contre les viroses et les phytoplasmoses contre lesquelles on ne possède actuellement aucun traitement. Les SDN sont aussi souvent efficaces sur un grand nombre de cultures, ce qui peut sauver des cultures mineures pour lesquelles le nombre de produits phytosanitaires disponibles est quasi-nul.

Parce qu'ils ont un mode d'action indirect, il semble impossible que les SDN entraînent des résistances (qui seraient en fait des résistances aux propres systèmes de défense de la plante) (Gullino *et al*., 2000; Blanchard et Limache, 2005). Qui plus est, l'utilisation de SDN en alternance avec des produits phytosanitaires «classiques» permettrait d'éviter ou de retarder l'apparition de résistances à ces produits et donc augmenterait leur durabilité. Or c'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour les années à venir.

L'efficacité de ces molécules au champ, souvent n'arrive pas à la hauteur des espérances permises par les essais en laboratoire, sans que l'on sache pourquoi. Ainsi, si les SDN ne supplantent pas les produits « classiques », ils devraient néanmoins trouver leur place dans les programmes de lutte. Surtout que certaines expérimentations s'accordent pour montrer que l'association d'un fongicide et d'un SDN est significativement plus efficace que la simple juxtaposition des deux produits (Gullino *et al*., 2000; Blanchard et Limache, 2005). Il y aurait un effet de synergie intéressant à exploiter, permettant de réduire encore plus le nombre de traitements fongicides grâce au gain d'efficacité.

### III.3.2.2 Intérêt environnemental

Les SDN sont le plus souvent des analogues ou des dérivés de molécules naturelles, efficaces à très faible dose et avec un profil éco-toxicologique généralement bon. Ce sont donc des molécules très respectueuses de l'environnement, ce qui est crucial quand on sait qu'il s'agit d'une préoccupation majeure du public comme des pouvoirs publics et des agriculteurs. Par conséquent, elles n'ont généralement pas de contraintes de limite maximale de résidus (LMR) et de délai avant récolte (DAR) d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur. Les SDN sont une méthode de lutte qui complète bien les autres méthodes utilisées, comme la lutte chimique mais aussi la lutte biologique (les SDN n'ont aucun effet sur les auxiliaires), la sélection variétale, les pratiques culturales. Elles ont donc leur place dans les programmes de gestion intégrée des ravageurs (*Integrated Pest Management* ou IPM) qui se développent de plus en plus, notamment dans une optique de respect de l'environnement (Blanchard et Limache, 2005).

### III.3.2.3 Place dans l'agriculture contemporaine

Il reste la question importante de la place que les SDN peuvent prendre dans l'agriculture contemporaine notamment face à la lutte chimique « classique ». Nous pensons qu'il serait illusoire de vouloir remplacer l'un par l'autre, d'autant qu'une cohabitation semble bénéfique, que ce soit au sein d'un programme de lutte ou d'une formulation. Or il y a des cultures pour lesquelles le programme de lutte est très chargé (comme la vigne et ses 20 traitements fongicides par an) et où le remplacement de 2 ou 3 traitements par des SDN pourrait être envisagé (Delorme, 2005 *in* Blanchard et Limache, 2005).

Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant » (Delorme, 2005 *in* Blanchard et Limache, 2005). Autre exemple, sur des cultures à cycle court comme le chou-fleur d'automne ou le chou-fleur Romanesco, un traitement SDN conférant une protection durable (30 jours) serait suffisante pour lutter contre le mildiou et remplacerait plusieurs traitements fongicides, avec en plus un gain économique (Ziadi *et al*., 2001).

Enfin, les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires «classiques», notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité (Lyon et Newton , 1997 *in* Blanchard et Limache, 2005).

Dans tous les cas, l'utilisation des SDN ne peut se faire que par des agriculteurs suffisamment au point techniquement, pour les raisons suivantes:

- Il faut compter un certain délai avant que la réaction de la plante soit efficace ;
- Il s'agit de traitements préventifs qui doivent si nécessaire être renforcés par des traitements curatifs «classiques» ;

- L'efficacité des SDN est variable ;
- L'effet des SDN n'est encore pas tout à fait connu, il reste des zones d'ombre. Cela correspond à une vision d'une agriculture technicienne, plutôt intégrée et non intensive.

### III.4. Importance des algues

Les algues sont les végétaux terrestres les plus anciens dont on dénombre plus de 25 000 variétés (Perez *et al*., (1992). Elles sont récoltées dans les milieux aquatiques d'eau douce ou saline et se classent en différentes catégories selon leurs pigments (algues brunes, rouges, vertes et blues) (Demoulain et Leymergie, 2009). Leur importance réside dans leurs apports en différents composés tels que les protéines, les vitamines, les antioxydants (caroténoïdes, les flavonoïdes) …etc (Giselard et Patil, 2008). Leurs teneurs en protéines entre 8 et 35% du poids sec selon l'espèce, en font des sources intéressantes car elles rivalisent avec celles des céréales complètes ou de certaines légumineuses comme le soja, qui contient 25% de protéines sur poids sec. Les algues sont aussi riches en magnésium, en phosphore et en calcium et autres minéraux. Ces derniers représentent jusqu'à 34% de la matière sèche. Les plus présents sont le potassium comme dans tous les végétaux (de 1 à 11%), le sodium (de 2 à 6%) ainsi que le chlore (de 3 à 9%) (Fleurance et Gueant, 1999). Les algues contiennent toutes du sélénium, du zinc, du cuivre qui renforcent les défenses immunitaires. Elles sont aussi une source naturelle et importante de fibres avec une teneur moyenne de 35 à 40 % du poids sec et dont plus de la moitié sont solubles (Lahaye et Kaeffer, 1997).

#### III.4.1. Intérêt des algues dans l'agriculture

Historiquement et traditionnellement, les macro-algues sont utilisées comme engrais dans le monde entier (Ainan, 2011; Person, 2010). Les algues sont particulièrement riches en éléments fertilisants majeurs azote et potassium ainsi qu'en éléments fertilisants secondaires soufre, calcium, magnésium, et en oligoéléments (Person, 2010). L'agar est utilisé afin de conserver les semences en les enrobant d'un gel de faible teneur en matières minérales. Elle est également conçue pour la préparation de substrats pour la culture, ainsi que pour le développement des plantes *in vitro* (Faller, 2011). Les macro-algues brunes entrent aussi dans la formulation de supports de culture (terreaux enrichis) et d'engrais sous forme de farines ou d'extraits liquides (Person, 2010).

Dans ces dernières années, il a été prouvé dans le monde entier, que les fertilisants naturels sont plus efficaces que les fertilisants chimiques (Bokil *et al.,* 1993). En effet, les fertilisants à base d'extraits d'algues marines contiennent des carbohydrates et d'autres matières organiques qui améliorent la fertilité du sol et sa capacité de rétention (Crouch et Van Staden, 1993). Selon (Booth, 1965), les fertilisants liquides à base d'algues marines sont riches en macro et micro éléments, vitamines, substances organiques comme les acides aminés et régulateurs de croissance comme les auxines et gibbérellines (Nelson *et al.,* 1984).

### III.4.1.1. Effets des algues sur les cultures

L'extrait d'algues marines est l'un des composés antistress efficace qui est un biostimulant utilisé en tant que conditionneur de sol pour améliorer la croissance des plantes (Hurtado et *al*., 2009). Plusieurs études ont révélé les avantages des extraits d'algues sur les plantes tels-que l'amélioration de la performance des cultures et le rendement ainsi que l'amélioration de la résistance aux stress biotiques et abiotiques (Norrie et Keathley, 2006; Eyras *et al.,* 2008). Les extraits d'algues ont également la capacité d'améliorer la tolérance au stress chez de nombreuses espèces de plantes par augmentation de la concentration des molécules bioactives, notamment des antioxydants dans les plantes traitées (Rayirath *et al.* 2009 ; Fan *et al.,* 2011). Les algues et leurs produits peuvent agir directement ou indirectement sur la plante.

- **Effet direct des algues sur la croissance des plantes**

De copieux travaux, ont montré que les extraits d´algues améliorent la germination, floraison et fructification (Roussos *et al*., 2009). Ainsi que la croissance racinaire, le poids des fruits et la teneur de la plante en chlorophylle (Sivasankar *et al.*, 2006 ; Roussos *et al.,* 2009). Cet effet est principalement dû aux hormones exogènes (cytokinines, auxines, gibbérellines) présentes dans les extraits (Faessel et Morot-Gaudry, 2009; Khan *et al.,* 2009)

D'après Faessel et Morot-Gaudry (2009), les composés présents dans les extraits d'algues comme les polysaccharides et les polyamines agissent sur la synthèse et l'activité des hormones endogènes. D'autres composés d'origine algale tels-que les polysaccharides; les colloïdes; les acides aminés et les mannitol peuvent aussi agir comme chélatants des nutriments minéraux présents dans les sols (Khan *et al.,* 2009; Calvo *et al.,* 2014). Cette stimulation de la croissance des plantes se traduit par une plus grande vigueur conduisant à une augmentation du rendement des cultures ainsi que la qualité et la taille des fruits produits (Jannin, 2012). Les extraits d'algue revendiquent des actions sur la stimulation de la croissance des plantes, mais aussi sur leur capacité à améliorer la tolérance des plantes à la salinité, la chaleur et la sècheresse (Van Oosten, 2017). Les extraits bruts d'algues ont un effet positif direct sur la croissance et le développement des plantes (racines, tiges, feuilles et/ou fleurs).

- **Effet indirect des algues sur la croissance des plantes**

Les extraits d'algues agissent sur les caractéristiques physiques et biologiques des sols grâce à leur richesse en polyuronides (polysaccharides), tels-que les alginates et les fucoïdanes, qui maintiennent dans les sols une humidité et une aération nécessaires à la mise en place du système racinaire et favorisant la croissance de bactéries bénéfiques à la croissance des plantes.(Khan *et al.,* 2009). L'extrait d'algue serait également un bon outil pour accélérer la décomposition de la matière organique grâce aux acides alginiques qui

accroître la population bactérienne et améliorer la capacité de rétention en eau du sol. Thivy ,1964 *in* Sédillot et *al*., 2016).

### III.4.1.2. Effet des algues sur la croissance des plantes stressées

Dans la nature, les plantes doivent faire face à de multiples agressions. Ces dernières peuvent être d'origine climatique (froid, sécheresse), nutritionnelle (carence ou excès de nutriments) ou encore d'origine anthropique (métaux lourds, pesticides). On parle alors du stress abiotique par opposition au stress biotique qui implique l'intervention d'un second être vivant. Il peut s'agir d'un herbivore (insecte) ou d'un agent infectieux (champignon, bactérie, virus).

- **Plante sous stress abiotique**

Les extraits d'algues sont connus pour leur effet sur les systèmes de défense naturels des plantes en réponse aux stress abiotiques comme la sécheresse et la salinité (Mancuso *et al.,* 2006; Rayirath *et al.,* 2009 ; Khan *et al.,* 2009). Certains auteurs suggèrent que cette stimulation est due à la richesse des algues en nutriments, en composés bioactifs et à la présence de phytohormones et d'osmorégulateurs, comme la glycine bétaïne, qui permettent aux plantes de s´adapter aux stress thermique, hydrique et salin (Mäkelä *et al.,* 1999; McNeil *et al.,* 1999 ; Khan et al. 2009). Les propriétés anti-oxydantes des algues permettent à la plante de mieux gérer le stress oxydant provoqué par les radicaux libres et de mieux résister à la carence en nutriments induite par le froid (Jeannin, 1991 ; Bradacova, 2016).

- **Plante sous stress biotique**

Le stress biotique englobe majoritairement les attaques d'agents pathogènes de type fongiques. La composition riche et variée en substances bioactives des algues favorise la stimulation des systèmes de défense naturels des plantes en réponse aux stress biotiques. Plusieurs études ont démontré que les extraits d'algues en pulvérisation foliaire ont la propriété de limiter les effets négatifs des attaques d'agents pathogènes fongiques ou bactériens (Mercier *et al.,* 2001; Cluzet *et al.,* 2004; Jayaraj *et al.,* 2008; Subramanian *et al.,* 2011; jannin, 2012). Les extraits d'algue permettent de diminuer la taille et le nombre des lésions des plants infectés par des bactéries phytopathogènes (Subramanian *et al.,* 2011), ils diminuent également les attaques des nématodes et des aphides en réduisant leur fécondité. Wu *et al.* (1998) ont également révélé que la réduction de la fécondité du nématode par certains extraits algaux est comparable à celle du traitement par des bétaïnes. Ces molécules présentes dans les extraits algaux pourraient donc être responsables de la protection des plantes contre les ravageurs de type nématodes ou aphides.

### III.4.2. Quelques exemples d'extraits bruts d'algues composant les biostimulants

Plusieurs procédés de fabrication existent pour produire des liquides concentrés (extraits bruts) à partir d'une grande diversité d'algues, majoritairement des algues brunes: *Laminaria sp*., *Ascophyllum sp*., *Ecklonia sp*., etc. Les extraits bruts d'algues incluent une multitude de composés (hormones, acides aminés, microéléments bénéfiques non essentiels tels que le silicium ou le sélénium, sucres, etc.), ce qui implique un ensemble complexe de modes d'action pouvant expliquer les effets observés.(Sédillot et *al*.,2016).

## III. 5. Spiruline

Il existe sur Terre une source nutritionnelle et thérapeutique naturelle sans égale. Richesse protéique, acides aminés essentiels, acides gras essentiels, complexes vitaminiques multiples, fer biodisponible, activités antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, antivirales, immuno-modulatrices, tout ceci condensé dans une simple algue bleue microscopique nommée *Spirulina platensis* ou *Arthrospira platensis* plus connue sous le nom de algue Spiruline (Sguera, 2008). Elle s'agit de la Cyanobactérie (ou Cyanophycées) filamenteuses, anciennement appelées algues bleues, compte parmi l'une des plus anciennes formes de vie sur Terre apparue sur la terre il y a environ 3,5 milliards d'années et constitue l'essentiel des bactéries autotrophes capables de photosynthèse avec production d'oxygène. Parmi elles, il existe le genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, dont fait partie *Spirulina platensis* (Farrar ,1966; Halidou Doudou *et al.,* 2008; Sguera, 2008; Goulamabasse, 2018). Selon (Charpy *et al.,* 2004), elle fait partie des micro-organismes : ni végétale ni animale. La spiruline pousse naturellement dans les lacs chauds du Tchad et du Mexique, mais aussi dans les lacs alcalins riches en carbonates et bicarbonates à pH élevé (Léonard et Compére, 1967; Clément, 1971; Fox, 1999).

D'après Charpy *et al.* (2008), la spiruline figure aujourd'hui parmi les êtres vivants les plus vieux de notre planète et attire de plus en plus l'attention des scientifiques. Elle possède de multiples utilités: Agro-alimentaire, pharmaceutique, écologique et biotechnologique. De nombreuses études ont montré des effets positifs de sa consommation sur la santé humaine et animale (Fox, 2002; Charpy *et al.*, 2008).

En Algérie, aucune allusion à la consommation ou à l'utilisation de la spiruline n'est faite. Son existence dans notre pays, n'a été signalée qu'au cours de ces vingt dernières années. De modeste initiatives ont été entreprise au lacs d'El Goléa; à Tamanrasset et plus récemment, en 2009 à Mostaganem (Saadi ,2015).

### III.5.1. Taxonomie

La classification systémique de la spiruline a été étudiée par plusieurs auteurs. Gardner (1917) a suggéré de retenir le nom « Arthrospira » pour les formes à paroi visiblement

cloisonnée et celui de « Spiruline » pour les formes à cloisons invisibles. Par la suite, Vidalo (2008), les a classés comme suit (Tableau 2):

**Tableau III.1.** Position systémique de la spiruline (Vidalo, 2008)

| | |
|---|---|
| Règne | *Monera* |
| Sous règne | *Procaryota; Phylum: Cyanophyta* |
| Classe | *Cyanophyceae* |
| Ordre | *Nostocales* |
| Famille | *Oscillatoriacelae* |
| Genre | *Arthrospira.* |
| Espèce et sous-espèce | *A. plantensis, A. maxima, A. toliara A. lonar et autres* |

### III.5.2. Morphologie et caractères généraux

La spiruline est une cyanobactérie, c'est-à-dire un microorganisme aquatique qui présente à la fois les caractéristiques des bactéries et des algues réalisant une réaction photosynthétique. Elle pluricellulaire d'une longueur moyenne de 250 µm quand elle possède 7 spires. Elle est composée de filaments mobiles (de 10 à 12 µm de diamètre) non ramifiés et enroulés en spirales, qui ressemble à un minuscule ressort à boudin, d'où le nom de « Spiruline » (Figure III.2) (Boudour., 2008).

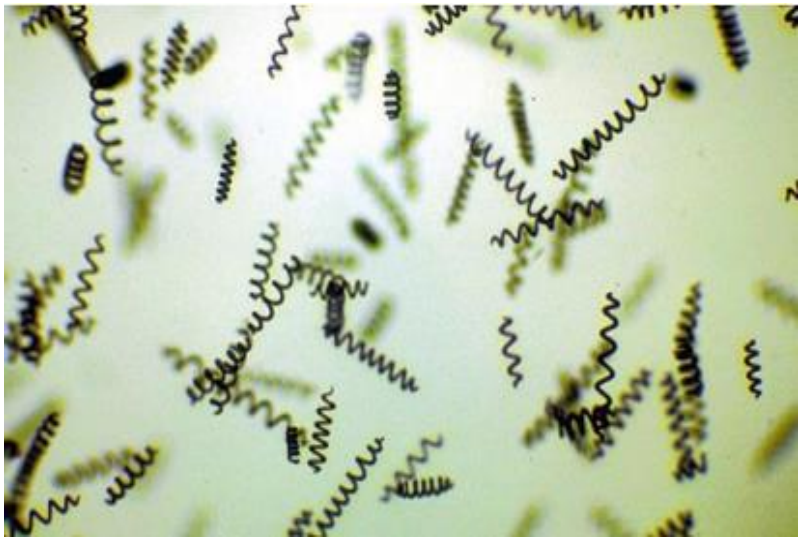


**Figure III.2.** Spiruline vue au microscope (Goulamabasse, 2018).

La spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout formant ainsi un filament ou trichome. L'enroulement du trichome sur lui – même s'effectue suivant le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on regarde au-dessus de spirale. Les facteurs environnementaux tels la température aurait cependant une influence sur l'orientation de l'hélice. Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis (Bensehaila., 2016; Goulamabasse, 2018).). Le système pigmentaire de la spiruline est constitué de chlorophylle a ; de pigments hydrosolubles, les phycobilines rouge (phycoérythrine) et bleu (phycocyanine) ; de caroténoïdes (β-carotène, cryptoxanthine) (Goulamabasse, 2018).

Cependant, les spirulines présentent différentes formes (Figure III.3). On trouve des formes spiralées classiques (Figure III.3.A), ondulées (Figure III.3.B) et parfois droites (Figure III.3.C). Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (Charpy *et al.,* 2008; Goulamabasse, 2018).

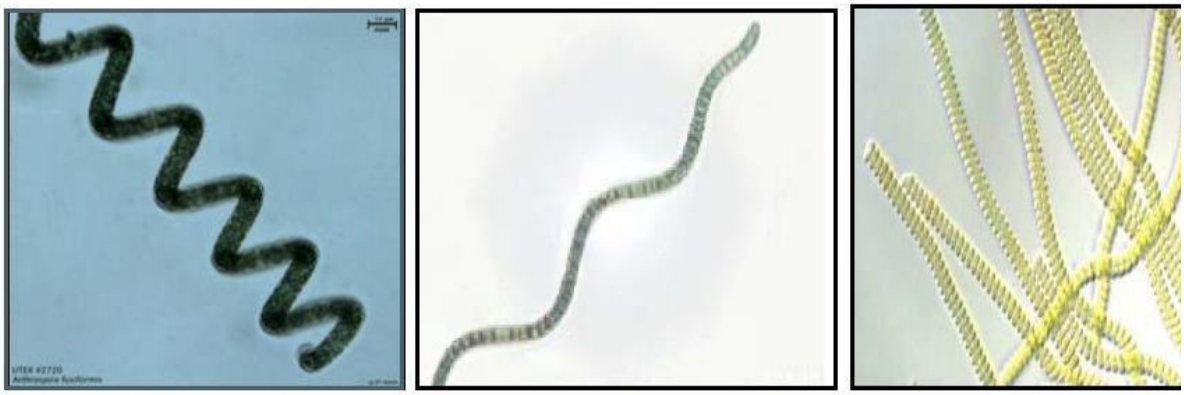



**Figure III.3.** Différentes formes prises par la Spiruline (*www.utex.org*)
**A** : Forme spiralée (*Arthrospira fusiformis*); **B** : Forme ondulée (*Spirulina maxima*) ; **C**: Form droit (*Arthrospira platensis).*

### III.5.3. Situation de la culture de spiruline dans le monde

La principale culture commerciale à grande échelle de micro-algues a commencé au début des années 1960 au Japon avec la culture de Chlorella, suivie de *Spirulina Platensis* en 1970 dans le lac Texcoco, au Mexique. En 2013, la production mondiale a été estimée à 5000 tonnes. La plus grande partie de la production vient des Etats-Unis d'Amérique, de la Chine et de l'Inde (N'Goran Urbain, 2017). La spiruline est produite dans plusieurs pays. La figure ci-dessous présente la cartographie mondiale de production commerciale de spiruline (N'Goran Urbain, 2017).




**Figure III.4.** Carte des principaux lieux de production de spiruline dans le monde (N'Goran Urbain, 2017).

L'Afrique reste l'un des continents où la production de spiruline est la plus faible malgré les conditions de culture favorables. La majorité des sites de production est créée par des ONG et autres organismes de soutien pour la lutte contre la malnutrition en Afrique. En Europe, la France est le principal pays producteur. La plupart des fermes se trouvent au sud de la France, à cause essentiellement des conditions climatiques favorables (N'Goran Urbain, 2017). La figure ci-dessous présente deux fermes à spiruline, l'une en Côte d'Ivoire et l'autre dans le sud de la France.

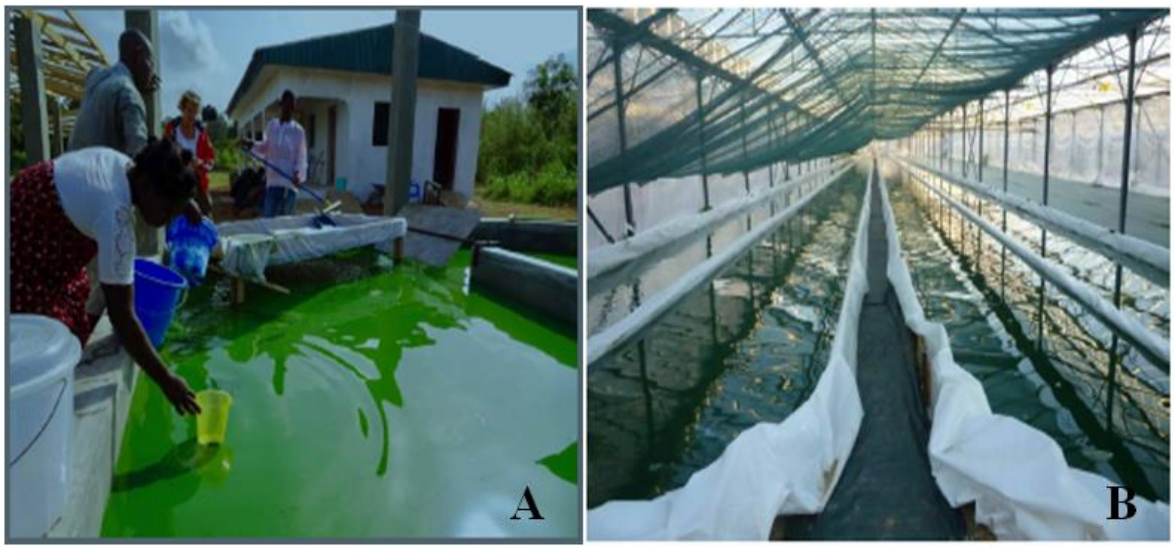



**Figure III.5.** Fermes à spiruline (N'Goran Urbain, 2017).
**A**: Ferme de Raffierkro en Côte d'Ivoire ; **B**: Ferme dans les Bouches du Rhône France

La culture de la spiruline en Algérie est toujours au stade artisanal et expérimental, une ferme pilote est installée au Sud de l'Algérie précisément dans la wilaya de Tamanrasset au début des années 2000, fondée par Dr Hiri Abdelkader, l'un des rares

connaisseur des processus de production de la spiruline (Lounici, 2010; Chenafi, 2016). La ferme, qui se situe au niveau de l'agence 4X4, à Aderrin (à 5 Km de Tamanrasset ville), s'étend sur une superficie de 120 $m^2$ où sont installés 2 bassins en dur, couverts, de 4 $m^2$ chacun et 3 bassins en plastiques (montés par le fer) constituant des bassins de réserve (Figure III.6.). L'ensemble des bassins ont une capacité de production maximale de 20 kg de spiruline par an (Lounici, 2010).

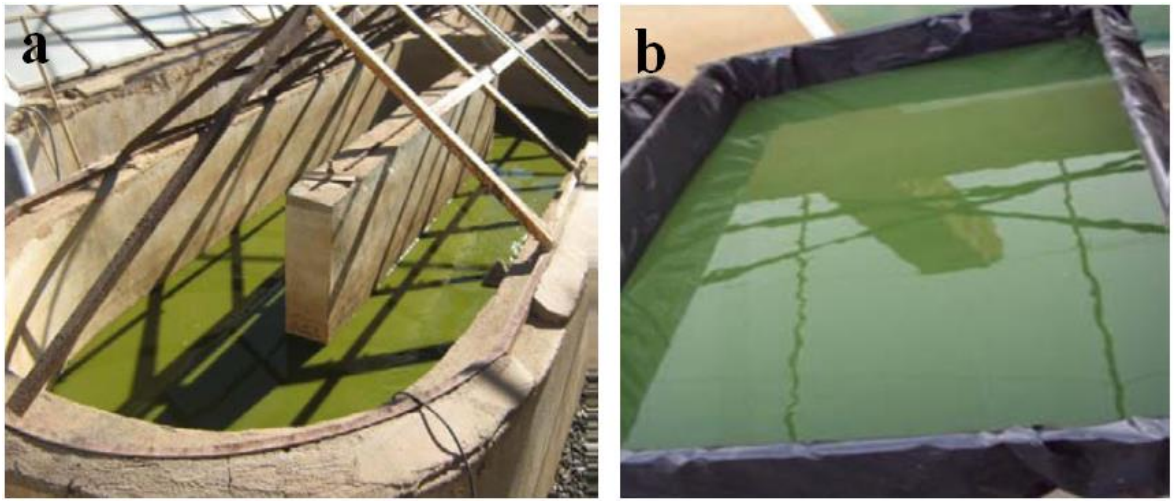



**Figure III.6.** Ferme à spiruline Tamanrasset, Algérie (Lounici, 2010).
**a : Bassins en dur ; b : bassins en plastique**

Une autre ferme de culture de la spiruline d'une capacité de production théorique de deux tonnes/an est projetée dans la wilaya de Ghardaïa, Géré par une jeune ingénieure en aquaculture. La ferme occupera une assiette de 5 hectares localisée sur le territoire de la commune de Mansourah (70 km au Sud de Ghardaïa) (Anonyme, 2016). Selon Chenafi (2016), deux projets de production de la spiruline sont en voie de développement à Ouargla et à Biskra.

L'avantage pour les habitants du Sud de pouvoir exploiter et créer des petites entreprises à coût réduit où l'environnement naturel et les conditions climatiques sont propices pour le développement de la spiruline. En attendant des productions à grande échelle de spiruline, l'importation et la commercialisation de cette algue miracle, permet aux Algériens de profiter de ses vertus nutritionnelles et thérapeutiques (Anonyme, 2018).

### III.5.4. Composition d'*Arthrospira platensis*

Il est bien établi que les variations de conditions de culture provoquent facilement de forts changements dans la composition biochimique des spirulines (Tableau III. 2). Cependant en moyenne, la spiruline contient en poids sec jusqu'à 70 % de protéines, 15 à 25 % de glucides, jusqu'à 11 % de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux (principalement des oligoéléments), de la chlorophylle et des phycobiliprotéines (Sguera, 2008).

**Tableau III.2.** Composition de la spiruline (Watanabe *et al.,* 1999; Girardin-Andréani, 2005; Charpy, 2008; Wang *et al.,* 2008)

| | |
|---|---|
| **Protéines** | 70% du poids sec, avec tous les AA y compris les AAE (acide aminée essentiel) et les acides aminés soufrés méthionine et cystéine. (Voir Annexe) |
| **Glucides** | 15 à 25 % du poids sec, très peu de glucides simples, surtout de Glucides complexes sous forme de polysaccharides membranaires aux propriétés immunostimulantes. |
| **Lipides** | Jusqu'à 11% maximum du poids sec, à noter la présence d'acide gamma-linolénique, AGE (acides gras essentiels) du groupe des oméga 6, précurseur des prostaglandines, des leucotriénes et des thromboxanes, médiateurs chimiques impliqués dans les processus inflammatoires et diminuent le risque des maladies cardiovasculaires . (Voir Annexe) |
| **Bêta-carotène (Ou provitamine A)** | La spiruline est une source exceptionnelle de provitamine A, Jusqu'à 1800 mg par kilo, il participe au mécanisme de la vision, au métabolisme de la peau, au système immunitaire. C'est aussi un antioxydant particulièrement efficace. |
| **Vitamine B12** | La spiruline contient majoritairement de l'adéninylcobamide (dites pseudo-vitamine B12), une forme de vitamine B12 qualifiée d'inactive. Mais elle contiendrait également, et ce dans des proportions non négligeables, une forme active de vitamine B12, la méthylcobalamine. Elle est indispensable à la fabrication des globules rouges. |
| **Vitamines du groupe B** | Ces co-facteurs sont tous présents dans la spiruline, impliquée dans tous les métabolismes, la synthèse des hormones et enzymes, la transmission de l'influx nerveux, la production d'énergie, le système immunitaire. |
| **Vitamine E ou tocophérol** | Indispensable à la lutte contre les radicaux libres. Les teneurs en vitamine E de la Spiruline variant de 13 à 120 µg/g . Cette très forte va riabilité des teneurs est liée probablement à des qualités de Spiruline différentes. |
| **Sels minéraux et oligo-éléments** | Nombreux comme le fer à forte concentration (seul fer végétal biodisponible) calcium à concentration supérieure à celle du lait de vache, phosphore, magnésium, cuivre, zinc, sodium, potassium et sélénium. . (Voir Annexe) |
| **Chlorophylle** | La chlorophylle A est l'un de des nombreux pigments de la spiruline avec une teneur de 61-75 mg/10g de la matière sèche, elle est Détoxiquante et purifiante. |
| **Phycocyanine** | *Arthrospira platensis* est une excellente source de phycocyanine. D'après Vonshak (1997), la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20 % de phycocyanine. En outre, la forte teneur en ce pigment pourrait être d'un grand intérêt industriel. De propriété vitalisante, Anti-oxydante, Antiallergique, Anti-cancérigène, Anti-leucémique et Anti-inflammatoire (Didier, 2010). |

(Watanabe *et al.,* 1999; Girardin-Andréani, 2005; Charpy, 2008; Wang *et al.,* 2008)

### III.5.5. Intérêts et utilisation de la spiruline

La spiruline est utilisée dans plusieurs domaines, elle est d'un grand intérêt pour l'être humain en tant qu'aliment ou cosmétique, mais également pour les animaux (Soni, 2017). Chez les êtres humains, elle est surtout utilisée pour sa grande richesse en protéines afin de lutter contre la dénutrition, ainsi elle est utilisée comme complément alimentaire afin d'augmenter les défenses anti-oxydantes de l'organisme et de lutter contre les carences en vitamines et minéraux. Des effets hypoglycémiants, hypolipémiants, antiviraux et immunostimulants lui sont également accordés (Soni, 2017, Canchihuamán *et al.,* 2010; Jaroulya *et al.,* 2012; Hosseini *et al.,* 2013).

En industrie, la spiruline est utilisée comme colorant naturel à travers la phycocyanine étant le seul colorant bleu d'origine naturelle, elle est incorporée dans plusieurs préparations alimentaires (pains, pâtes, boissons, produits laitiers, …etc) et cosmétiques (Manirafasha *et al.,* 2016; Lucas Bá Franco *et al.,* 2018). Chez l'animal, elle est utilisée comme complément pour favoriser la croissance et la fertilité des animaux ainsi que pour renforcer leur pigmentation afin de les rendre plus attrayants pour le consommateur (plumage des oiseaux, couleurs des poissons d'aquarium, couleur des crevettes, …etc). Elle est également utilisée pour augmenter les performances des animaux comme les chevaux de course (Vonshak, ,2002).

En agriculture ou biologie, le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture (Harrigan et Goetz, 2002). Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotiques, algicide, antiviral, fongicide (Harrigan *et al.,* 2001; Mundt *et al.,* 2001).

Les extraits de *Spirulina platensis* ont été appliqués par pulvérisations foliaires, les résidus d'extraction ou poudres comme amendements, et l'efficacité de ces traitements sur les paramètres de croissance et développement de la tomate déterminée. L'extrait aqueux et la poudre de *Spirulina platensis* ont montrés une efficacité importante dans l'amélioration des paramètres de croissance et du développement de la tomate. Ils peuvent donc être une alternative à l'utilisation massive d'engrais chimiques dans l'optique d'une agriculture durable, respectueuse de l'environnement, de la santé des hommes et des animaux (Aghofack-Nguemezi *et al.,* 2015).

En bioénergétique, il est intéressant de considérer ces micro-algues comme source de production de différents types de biocarburant : le bio-oil et le biodiesel (Benzidane *et al.,* 2017).

Les principales applications environnementales sont le traitement des eaux usées et bien sur la consommation de CO2 comme méthode d'abattement de ce gaz à effet de serre.

# CHAPITRE IV.

# MATERIEL ET METHODES

# CHAPITRE IV
# MATÉRIEL ET MÉTHODES

- ***Introduction***

Avec un système de production agricole intensive, les populations des ravageurs ont tendance à augmenter, ce qui aggrave les dommages aux cultures. Les exigences de rentabilité pour des rendements élevés et des produits de haute qualité dans ces systèmes font de la protection des plantes une activité vitale. Ce n'est qu'au prix d'interventions phytosanitaires fréquentes que la lutte contre ces ravageurs peuvent être réalisés. Celles-ci présentent, par contre, des effets néfastes sur l'environnement et favorisent le développement des souches résistantes. La prise de conscience du cout environnemental de ces pratiques et les craintes des consommateurs font naître des biofertilisants. Pour cela plusieurs études ont été effectuées pour mettre en évidence l'effet des biofertilisants sur la santé des plantes cultivées et démontrer son effet sur la nutrition des plantes et la fluctuation des populations de plusieurs ravageurs de culture.

## IV.1. Objectif

Dans le cadre de la recherche sur de nouveaux procédés en phyto-protection et de la lutte biologique. La biofertilisation racinaire et foliaire offre une certaine potentialité de bioprotection par, l'utilisation de nouvelles formulations des stimulateurs de défenses naturelles. L'étude a pour le but d'estimer l'impact des biofertilisants racinaires et foliaires à base de l'extraits de la spiruline *Spirulina platensis* sur la croissance de la tomate *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) et ses retombées sur la dynamique de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917).

## IV.2. Présentation de la chambre de culture

La culture de la tomate a été menée au centre de formation et vulgarisation agricole de Médéa (CFVA), dans une serre de culture contrôlée (Figure IV.1). La température de l'enceinte est maintenue entre 25 et 30°C avec une hygrométrie comprise entre 40 et 50 %.

## IV.3. Matériel d'étude

### IV.3.1. Matériel biologique

#### IV.3.1.1. Obtention des plantules de la tomate

L'expérience a été commencée par une réalisation d'un semis de tomate de variété Marmande au niveau de la micro-serre. Cette variété a été choisie en raison de leur précocité et leur vigueur (Figure IV.1).




**Figure IV.1.** Présentation de la Serre de culture (Originale, 2020).

Le semis a été effectué à la fin du mois de Février dans des alvéoles en plastique remplies de tourbe avec un nombre de 3 à 5 graines par alvéole (Figure IV.2). Au stade 3 feuilles les plants de tomate ont été repiqués dans des gobelets remplis d'un mélange de tourbe et de terre. Les plants repiqués ont été régulièrement irrigués (tous les 2 à 3 jours).




**Figure IV.2.** Semis de tomate (Originale, 2020).

### II.3.1.2. Obtention des populations inféstantes de la mineuse de tomate *Tuta absoluta*

Les individus de la mineuse de tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lépidoptère / Gelechiidae) ont été collecté auprès de l'Institue Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles **ITCMI** de Zéralda à partir des plantes de tomate infectées. Les insectes ont été collectés à différents stades. Au niveau de la chambre de culture, nous avons procédé à l'infestation par la mise en place des feuilles de la tomate infestées par le ravageur sur les plants de tomate sains déjà disposés sur les étagères.

### IV.3.1.3. L'obtention du biofertilisant

La souche utilisée dans notre expérimentation est une micro-algue bleue-verte : *Spirulina Platensis* appartenant à la classe des cyanobactéries, l'ordre des Nostocales, famille des Oscillatoriacées. La souche a été obtenu auprès de la ferme pilote de la wilaya de Tamanrasset. La souche a été aimablement fournie en culture dans des flacons de 500 ml, sous des conditions de culture bien précis.

## IV.4. Méthodes d'étude

### IV.4.1 Culture de la spiruline

L'expérimentation a été menée au laboratoire de la faculté des sciences, Département des sciences de la vie et de la nature de l'Université Dr YAHIA Farès (Médéa).

La souche de la *Spirulina* est cultivée en milieu contrôle par la présence des éléments minéraux nécessaires dans des photo-bioréacteurs cylindriques, maintenus dans des conditions d'éclairement, de température et de débit d'air identiques (Figure IV.3).




**Figure VI.3**. Culture de la spiruline dans les conditions expérimentales

### IV.4.1.1. Conditions de culture

Pour assimiler les conditions d'éclairage naturel, on a exposé la culture de la souche à la lumière blanche par lampe fluorescente (2500 lux) toute en tout en utilisant une prise programmable qui assure 12h de lumière et 12h d'obscurité et cela est effectué à l'aide d'un programmateur journalier à curseurs (Ould Bellahcen et *al*., 2013).

L'agitation des cultures est assurée par barbotage d'air à l'aide de pompes à air avec un débit de 18 l. $h^{-1}.j^{-1}$. L'agitation du milieu de culture est nécessaire afin d'assurer une bonne répartition de l'éclairage parmi toutes les spirulines, mais aussi pour favoriser les échanges gazeux (Elimination de l'oxygène et absorption du gaz carbonique) (Ould Bellahcen et *al*., 2013).

L'air est injecté par le bas du réacteur. Le mélange et l'approvisionnement en air de la culture se fait à l'aide de cette arrivée. L'air ressort par le haut du réacteur (Ould Bellahcen et *al*., 2013).

La température est maintenue à une valeur de 32°C ± 2 °C, à l'aide de thermostats réglables.

Le pH initial devrait être assez élevé. Le pH optimum d'une culture fluorescente varie de 9.5 à 11.3.

Les échantillons ont été prélevés chaque jour pour mesurer la densité optique (DO), détermination de la productivité et le taux de croissance spécifique.

### IV.4.1.2. Milieu de culture

Les cultures sont réalisées sur un milieu synthétique décrit par Zarrouk en 1966. Ce milieu contient tous les éléments nutritifs susceptibles d'être consommés par *S. platensis* à des concentrations bien supérieurs aux besoins de l'algue (Zarrouk, 1966).

### IV.4.1.3. Ensemencement

L'ensemencement est réalisé avec un culot de spirulines récolté par filtration à partir d'une culture jeune de spiruline cultivée sur un milieu synthétique de Zarrouk. Nous avons démarré l'expérimentation avec un volume de 400ml de spiruline souche (inoculum), auquel nous avons ajouté un volume 350ml de milieu de culture Zarrouk afin d'obtenir au moment de la récolte de 750 ml de qui par la suite répartie en 2 flacons de même volume 500 ml. Le milieu synthétique (milieu Zarrouk) est ajusté à pH = 9 ± 0,5 par addition de NaOH. Il est conservé à l'abri de la lumière, après stérilisation à l'autoclave à 121°C pendant 20 minutes (Zarrouk, 1966). La composition chimique du milieu de culture est donnée dans le tableau II.1.

**Tableau IV.1:** Composition chimique du milieu Zarrouk (Zarrouk, 1966).

| **Composés** | **Concentration (g. L-1)** |
|---|---|
| $NaHCO_3$ | 16.80 |
| $K_2HPO_4$ | 0.50 |
| $NaNO_3$ | 2.50 |
| $K_2SO_4$ | 1.00 |
| NaCl | 1.00 |
| MgSO4. (7H2O) | 0.20 |
| CaCl2 | 0.04 |
| FeSO4. (7 H2O) | 0.01 |
| EDTA | 0.08 |

A **1L** de la composition chimique de milieu Zarrouk ci-dessus, on a ajouté **1 ml** de chacune des solutions d'oligo-éléments **A5** et **B6** (Tableau II.2; Tableau II.3).

**Tableau IV.2.** Composition chimique de la solution A5 (Zarrouk, 1966).

| **Oligo-éléments** | **Concentration (g. L-1)** |
|---|---|
| $H_3BO_4$ | 2.86 |
| MnCl2.4 H2O | 1.80 |
| ZnSO4.7 H2O | 0.22 |
| CuSO4.7 H2O | 0.08 |
| $MoO_3$ | 0.01 |

**Tableau IV.3.**Composition chimique de la solution B6 (Zarrouk, 1966).

| **Oligo-éléments Concentration (g.L-1)** | **Concentration (g.L-1)** |
|---|---|
| $K_2Cr(SO_4)_{.24H2O}$ | 960×10-4 |
| $NiSO_{4.7H2O}$ | 477×10-4 |
| $Ti(SO_4)_3$ | 400×10-4 |
| $NH_4VO_3$ | 229×10-4 |
| $Na_2WO_4$ | 179×10-4 |
| $Co(NO_3)_{2.6H2O}$ | 44×10-4 |

### IV.4.1.4. Préparation de l'inoculum

La filtration est un moyen de séparer les contaminants de la spiruline, les minimiser ou les éliminer. Les flacons de 500 ml contenants la spiruline sont filtrés à l'aide de papier filtre Whatman N°4 de porosité de 13µm qui est inférieure à celle de spiruline et supérieure à celle des contaminants bactériens (Figure. IV. 4) (Fox., 1999). Les filaments de spiruline dans le papier filtre ont été récupérés dans des flacons de 500 ml contenant le milieu Zarrouk.

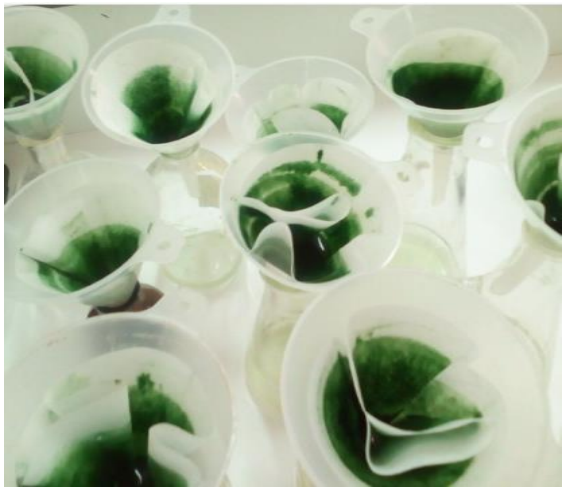


**Figure IV.4**. Technique de filtration de spiruline (Originale, 2020)

### IV.4.1.5. Contrôle de l'état physiologique de la culture

La viabilité, la physiologie de culture et le niveau de contamination sont vérifiées par la couleur, odeur, aspect.

- **L'examen microscopique à l'état frais a pour le but de:**

  - Vérifier l'état de culture;
  - Avoir une idée sur l'étape de croissance;
  - Mettre en évidence la mobilité;
  - Faire une approche sur la morphologie.

On dépose sur une lame porte-objet une goutte de culture de la souche *S. platensis* à examiner, cette goutte est recouverte d'une lame couvre-objet. La préparation est examinée à l'objectif à immersion (100x), après dépôt d'une goutte d'huile à immersion.

- **Les observations se font à:**

  - Un grossissement 40x, 10x;
  - Un diaphragme quasiment fermé pour augmenter le contraste;
  - Une intensité lumineuse ajustée.

- **Contrôle de l'évolution de biomasse**

La biomasse d*'Arthrospira platensis* est évaluée en mesurant la densité optique (DO) de la culture chaque jour à une langueur d'onde de $\lambda$ = 680 nm par un spectrophotomètre (Tedesco et *al*., 1989). Les DO obtenues ont été converties en

concentrations de cellule sèche (Poids sec) en utilisant l'équation de la courbe d'étalonnage.

### IV.4.1.6. Détermination du poids sec

Le poids sec de biomasse de la *S. platensis* est déterminé par la méthode de Vonshak (1997), les étapes de séchage et la détermination de poids sec (Ps) sont résumées comme suit:

- Des dilutions ont été préparées dans la gamme 25-50 et 100%, puis à partir de chaque dilution la densité optique correspondante est mesurée;

- Les échantillons sont filtrés à travers un filtre Whatman N°4 de porosité 13µm préalablement séchés dans l'étuve pendant 24 h à 70°C (ou bien 2 h à105°C);

- Chaque filtre (vide) est pesé (Pv) et numéroté de 1 à 4;

- Les filtres sont placés dans des boîtes de pétri à l'étuve pendant une nuit à 70°C (ou bien 2 h à105°C);

- Après avoir refroidir les filtres dans un dessiccateur (20 min), ils sont à nouveau pesés (Pc);

- Le poids sec est calculé selon l'équation suivante:

$$Ps=(Pc-Pv)/V$$

Où:

- Ps : poids sec (gramme);
- Pc : poids chargé (gramme);
- Pv : poids vide (gramme);
- V : volume filtré (litre).

### IV.4.2. Préparation de l´extrait aqueux de spiruline *Arthrospira platensis*

La biomasse obtenue après chaque culture a été récupérée par filtration sur toile en nylon (20 µm de diamètre), rincée à l'eau distillée afin d'éliminer les sels de culture puis séché et broyé à l'aide d'un mortier et la poudre obtenu est maintenue dans le réfrigérateur jusqu'à son utilisation.

100 g de la poudre de la spiruline est homogénéisés avec 500 ml d'eau distillée, et le contenu a été chauffé pendant 45 min à 60°C dans un bain marie. Après refroidissement, le contenu a été filtré à travers quatre couches de tissu mousseline (Rathore et *al*. 2009

modifié). Enfin, Le filtrat d'extrait de la spiruline a été récupéré dans un flacon ombré et conservé à 4 °C.

Afin d'estimer l'effet de l'extrait de la spiruline sur la croissance de la tomate et sur et sur le potentiel biotique de la mineuse *T. absoluta,* trois dilutions sont préparées par dissolution dans l'eau distillée à savoir 100%, 50% et 25%. Deux modes d'administration ont été appliqués à savoir l'application foliaire et absorption racinaire. Les expériences sont réalisées dans des conditions contrôlées à une température de 23-28°C. Le suivi temporaire des plantes a duré 1 mois.

### IV.4.3. Dispositif expérimental et application des traitements

Le dispositif expérimentale est composé 80 plants expérimentales relatives aux six traitements (application foliaire avec trois dilutions 100%, 50% et 25%, absorption racinaire avec trois dilutions) et aux deux témoins (un témoin foliaire et un autre racinaire avec l'eau courante). L'application foliaire à été réalisée par un pulvérisateur d'une capacité de 1000 ml alors que l'application racinaire a été réalisée par récipient de 400 ml. Les applications ont été répétées trois fois. L'estimation de l'effet de biofertilisant sur la croissance de la tomate et la dynamique de la mineuse *T. absoluta* a été évaluée durant durée un mois a partir de la date d'application (Figure. IV. 5).

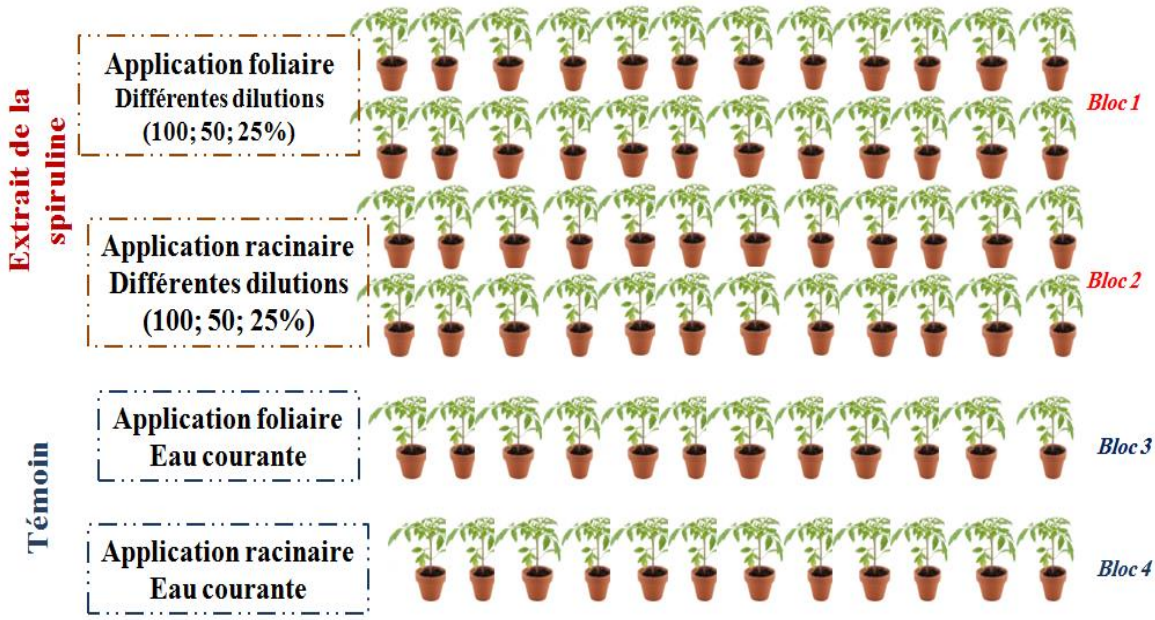



**Figure. IV.5.** Dispositif expérimental des traitements appliqués (Originale, 2018).

### IV.4.4. Estimation des paramètres morphologiques des plants de la tomate

Les données relatives aux paramètres de croissance et de développement ont été collectées sur chaque plante de tomate.

- **Estimation de la croissance journalière des plantes de la tomate,** la longueur de chaque plant a été mesurée chaque jour durant les quatre semaines de l'étude au niveau des blocs expérimentaux.
- La croissance journalière est estimée par la formule suivante:

$$CJ=100*(Lf-Li)/Li/Tj$$

Où:

- Lf: longueur final;
- Li: longueur initial;
- Tj: tempe journalière d'expérience au cours de traitement

- **Estimation de l'évolution de l'épaisseur des tiges,** une fois par semaine et à l'aide d'un pied a coulisse, l'épaisseur des tiges est estimée.

- **Estimation du développement du nombre des tiges principales par plante,** à partir de la deuxième semaine d'application, nous avons suivi l'évolution de développement des tiges principales (tallage).

- **Estimation de la longueur des racines** a été mesurée à l'aide d'une règle graduée à partir du collet une fois par semaine.

- **Les biomasses ou le poids frais des tiges et des racines** ont été mesurées à l'aide d'une balance de précision 0,1g.

- **Les paramètres de fructification** ont été déterminés par le temps mis du repiquage à la formation des premières fleurs (TRFPF) en jours.

### IV.4.5. Estimation de l'abondance de *Tuta absoluta*

**Estimation de l'abondance des formes biologiques de *T. absoluta*,** chaque semaine, cinq feuilles sont prélevées aléatoirement de chaque bloc dont le nombre des différentes formes biologiques sera estimé.

**Remarque:**

**A l'instar de tous les pays du monde; l'Algérie connait des conditions sanitaires très particulières compte tenu de la pandémie du Covid-19 à cause desquelles des mesures de protection sont prises.**

**Parmi ces mesures, nous assistons à la fermeture de l'université chose qui a inhibé la partie expérimentale et par conséquent l'obtention de résultats.**

# CHAPITRE V.

# EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LA CROISSANCE ET L'ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA PLANTE

# CHAPITRE V.
# EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LA CROISSANCE ET L'ETAT PHYTOSANITAIRE DE LA PLANTE

La majorité des systèmes de cultures intensives reposent sur une mécanisation poussée et l'usage d'engrais chimiques, de pesticides, de fongicides et d'herbicides afin de maximiser la production. Ce mode de production assure un rendement important des cultures, permettant ainsi de nourrir une population mondiale de plus en plus nombreuse; mais il met en péril la biodiversité et la santé humaine. La disparition de la biodiversité, la pollution des sols, des nappes phréatiques et des cours d'eau souterrains est en grande partie due à l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques (N'Goran Urbain, 2017).

C'est pourquoi les biostimulateurs qui sont des matériels biologiques ou leurs extraits ayant des effets bénéfiques sur les propriétés du sol, la croissance et le développement de la plante, la résistance aux stress biotiques et abiotiques (Paradikovic' et *al*., 2011 *in* Aghofack-Nguemezi et *al*., 2015) peuvent être une alternative aux intrants chimiques.

L'objectif de cette étude était d'améliorer la croissance et renforcer la résistance de la tomate par l'utilisation des extraits de la spiruline *Spirulina platensis.*

Selon Khan *et al.* (2009 *in* Aghofack-Nguemezi *et al.,* 2015), 15 millions de tonnes d'algues sont produits annuellement et une importante partie est utilisée comme supplément nutritif ou comme régulateurs de croissance des végétaux, engrais ou pesticides. Konstantinidou (2006), estime que les algues contiennent plusieurs éléments minéraux, des acides aminés et des hydrates de carbone sous différentes formes. Les produits à base d'algues contiennent initialement des hormones de croissances : auxines, cytokinines et gibbérellines. Cependant, les auxines et les cytokinines se dégradent rapidement, donc leur présence n'est pas garantie dans la plupart des produits. En 1981, la F.A.O a documenté les possibilités de remplacement des engrais chimiques par des algues bleues. En Inde, les algues bleues sont cultivées dans des étangs de terre peu profonds. Lorsque l'eau s'évapore, les algues séchées sont récupérées et vendues aux riziculteurs. Cette source naturelle d'azote ne représente que le tiers du coût des engrais chimiques et augmente le rendement du riz jusqu'au 22 % en moyenne. L'étude de N'Goran Urbain (2017), montre que l'application des micro-algues est nombreuses et variées. Ces applications peuvent se regrouper en trois parties : l'alimentation humaine et animale, le développement de molécules biochimiques pour l'industrie et les applications agricoles et environnementales.

D'après la F.A.O. (1981), les cyanobactéries sont des microalgues, présentent un grand intérêt scientifique et agronomique, car elles jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité du sol et le développement des plantes. En agriculture ou

biologie, le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture (Harrigan et Goetz, 2002). Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotiques, algicide, antiviral, fongicide (Harrigan *et al.,* 2001; Mundt *et al.,* 2001). Parmi ces cyanobactéries on distingue la spiruline *Spirulina Platensis.* Jean et *al*., (2015) ont rapporté que l'amendement avec la *Spiruline* a amélioré la croissance, le rendement et la résistance de la culture au stress biotique et abiotique

Les effets de la poudre et l'extrait de la *S. platensis* proviendraient d'une part de sa composition en acides aminés, en minéraux principalement des oligoéléments, en protéines, en vitamines, en cytokinine et en auxine, car ces substances affectent le métabolisme cellulaire des plantes et permettent d'augmenter leur croissance et leur rendement. D'autre part, les polysaccharides que cette poudre contient peuvent contribuer à l'amélioration de la capacité du sol à retenir de l'eau, du développement des racines et des bactéries bénéfiques au sol, de l'absorption des minéraux par les racines (Aghofack-Nguemezi *et al.,* 2015; N'Goran Urbain, 2017).

Les extraits de *Spirulina platensis* ont été appliqués par pulvérisations foliaires, les résidus d'extraction ou poudres comme amendements, et l'efficacité de ces traitements sur les paramètres de croissance et développement de la tomate déterminée. L'extrait aqueux et la poudre de *Spirulina platensis* ont montrés une efficacité importante dans l'amélioration des paramètres de croissance et du développement de la tomate (Aghofack-Nguemezi *et al.,* 2015). Selon Zeenat *et al.* (1990), la spiruline utilisée en combinaison avec d'autres engrais donne un bon rendement en tomates. Au cours de l'étude, les cyanobactéries fixatrices de N2, *Aulosira fertilissima*, les cyanobactéries non fixatrices de N2, *Spirulina platensis* et l'engrais chimique, le phosphate diammonique (DAP), ont été appliqués en diverses combinaisons aux plants de tomates dans des pots quatre fois à sept jours d'intervalle. Le poids frais de la plante le plus élevé (290 g/plante), le nombre de feuilles (127/plante), le nombre de fleurs (29/plante), le nombre de fruits (37/plante) et le poids frais des fruits (71 g/plante) ont été obtenus avec l'application de 2,25 g d'aulosira + 2,25 g de spiruline + 0,50 g de DAP dans chaque pot. Ce résultat représente une augmentation de 522 % du nombre de fruits et une augmentation de 977 % du rendement sur le contrôle. Les cyanobactéries et le DAP n'ont montré aucune augmentation significative du rendement lorsqu'ils étaient appliqués seuls. L'utilisation de l'azote biologique est plus bénéfique que celle de l'azote inorganique, car, en plus de fournir l'azote nécessaire, ils libèrent des composants de carbone et d'autres nutriments qui favorisent la croissance des plantes (Banerjee et Deb, 1996). Spiruline contient 10 % N w / w (pourcentage élevé), et d'autres macronutriments et micronutriments qui sont lentement libérés dans des conditions de sol normales, et augmente la fertilité.

D'après Klarzynski (2000), la richesse de plante peut agir qualitativement et quantitativement sur les composantes du régime alimentaire des insectes phytophage il a été démontre que les insectes phytophage évoluant sur des plantes riche en magnésium, en calcium, et en fer ont pu réaliser des mues dans des temps très réduits avec en conséquence

une augmentation de la fécondité. D'autres minerais, tels que le potassium, le sélénium et le zinc peuvent être clairement corrélés avec l'acte de la ponte (Tweedie, 1976).

Les fertilisants ont stimulé les défenses naturelles de la plante. Cet état physiologique a permis a travers une cascade de mécanismes de défenses induites d'extérioriser l'effet répressif et/ou répulsif à l'encontre de l'évolution numérique des densités des ravageurs. Selon Pajot, (2010), l'application des éliciteurs naturels sur les plantes conduisant la plante à résister aux bioagresseurs, de ce fait l'utilisation judicieuse d'éliciteurs naturels pourrait permettre de diminuer la quantité de pesticides nécessaires à la protection des cultures.

Plusieurs scientifiques croient que les algues marines ont développé des antitoxines qui combattent les bactéries et virus dans l'océan. Pour les cultures, ces antitoxines font cesser le cycle de reproduction de certains insectes et semblent en éloigner d'autres espèces (Benhamou et Nicole, 1999). Blancard (1988) et Urban (1997), ont démontré une diminution marquée des aphidiens et des cochenilles sur les plantes traitées avec des algues; d'autres tests ont prouvé que les plantes traitées avec des algues résistent bien aux araignées, aux mites et aux scarabées.

Nos recherches bibliographiques montrent que les extraits de la spiruline *Spirulina platensis* peuvent donc être une alternative à l'utilisation massive d'engrais chimiques dans l'optique d'une agriculture durable, respectueuse de l'environnement, de la santé des hommes et des animaux

# CONCLUSION

# CONCLUSION

Les conséquences écotoxicologiques des pesticides mènent à une augmentation importante des coûts de développement de bioproduits qui sont considérés comme un moyen plus sain et écologique pour la protection des plantes.

De ce fait, le travail entrepris dans ce mémoire avait pour objectifs d'estimer l'effet d'un biofertilisant a base d'extrait de la spiruline *Spirulina Platensis* sur la croissance de la tomate *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754) et sur l'état phytosanitaire de la tomate. L'originalité de cette étude réside dans la mise en évidence des propriétés bio-stimulatrices de la défense naturelle de *S. platensis* comme ressource renouvelable pour une agriculture durable.

Selon les résultats des études ultérieures, on peut retenir que les extraits de la *Spirulina Platensis* ont eu des effets très remarquables sur l'amélioration des paramètres de croissance et de développement mesurés chez les plantes étudiées. Les extraits de cette cyanobactérie peuvent être utilisés pour optimiser quantitativement et qualitativement la production agricole.

En perspective, il serait intéressant d'instaurer un programme d'apport de biofertilisants sur la base des connaissances accumulées via cette approche. Le recours à une évaluation de certains paramètres physiologiques (exp. Osmo-régulateurs) nous permet de bien connaitre le mode et les conditions d'applications des différentes molécules. Connaître l'opportunité d'apport sur différents modèles végétales (grandes cultures, arboriculture et Culture légumières).

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

# REFERENCES BIBLIOGRAFIQUES


| | *A* |
|---|---|
| **1.** | **Adroit B., 2008** .Structures des paléo forêts européennes de la fin du Cénozoïque : apport des interactions plante-insecte. Biodiversité et Ecologie. Université Montpellier; Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie (Bonn). Français. NNT : 018MONTG008. |
| **2.** | **Aghofack-Nguemezi J., Passannet A. S. et Valère T., 2015.** Effets des extraits ou de la poudre de *Spirulina platensis* et *Jatropha curcas* sur la croissance et le développement de la tomate. J. Appl. Biosci., 90:8413 – 8420. |
| **3.** | **Agulhon H., 1910.** Emploi du bore comme engrais catalytique. C. R. Acad. *Sci. Paris* **150**: 288–290. |
| **4.** | **Ainane, T. , 2011**. Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata.* Thèse de doctorat en chimie. Université Hassan II – Casablanca, MAROC. 201p. |
| **5.** | **Anonyme, 2014.** biocontrol. *INRA* .https://www.google.tn/search?q=les+diff%C3%A9rents+stades+de+Tuta+absoluta&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwje_IPjlcPXAhVGKVAKHZWUA2UQsAQIKw&biw=1366&bih=662#imgrc |
| **6.** | **Anonyme, 2016**.Site web: https://www.algerie360.com/une-ferme-de-culture-de-spiruline-dune-capacite-de-2-tonnesan-projetee-a-ghardaia/ |
| **7.** | **Anonyme , 2017.** Les différents stades de *Tuta absoluta*. Site web :https://www.google.tn/search?q=les+diff%C3%A9rents+stades+de+Tuta+absoluta&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwje_IPjlcPXAhVGKVAKHZWUA2UQsAQIKw&biw=1366&bih=662#imgrc=-2Az9CXz72IDBM:. |
| **8.** | **Anonyme, 2018.**http://www.nouara-algerie.com/article-la-spiruline-une-algue-en-quete-d-une-mise-en-valeur |
| **9.** | **Amborabé E., Aziz A., Trotel-Aziz P., Quantinet D., Dhuicq L. et Guy V., 2004.**Stimulation des défenses naturelles de la vigne. Essais d'emploi du chitosan contre *Botrytis cinerea*.*Phytoma*, 571:26–29. |

| | |
|---|---|
| **10.** | **Amtmann A ,Troufflard S. and Armengaud P., 2008**. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133, 4, 682-691. |
| **11.** | **Assemien E.F. L., 2018.** Impact de pratiques agricoles conventionnelles et innovantes sur la fertilité des sols et les acteurs microbiens impliqués dans la zone de savanes humides de Côte d'Ivoire. Biochimie [q-bio.BM]. Université de Lyon, Français. ffNNT : 2018LYSE1103ff. fftel-01896147f, 205p. |
| **12.** | **Atherton, J. C., Rudich, J., 1986**. The tomato crop: a scientific basis for improvement. P56. |
| **13.** | **Badaoui M., 2018.** Contribution à l'étude de la dynamique des populations de *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera ; Gelechiidae) et essais de contrôle biologique sur la culture de tomate .Thèse de Doctorat en Protection des végétaux. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.Algérie.151p |
| **14.** | **Barat M., 2007.** Interactions plante-insecte, spécialisation et invasion biologique : écologie évolutive des ajoncs (genre Ulex) et de leurs charançons spécifiques (genre exapion) en Bretagne. Thèse de doctorat, Université de Rennes, 167p. |
| **15.** | **Barker A.V. et Pilbeam D.J., 2007.** Handbook of plant nutrition,edit. CRC Taylor & Francis Group, London, 631p. |
| **16.** | **Belay A., Ota Y., Miyakawa K., Shimamatsu H., 1993.** Connaissances sur les bienfaits de la Spiruline sur la santé. Journal of Applied Phycology 5: 235-241. |
| **17.** | **Bénard C., 2009**. Étude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Lorraine.Français. NNT : 2009INPL050N. tel-01748724,260p. |
| **18.** | **Benhamou N & Nicole M.,1999.** Cell biology of plant immunization against microbial infection: The potential of induced resistance in controlling plant diseases. Plant Physiol. Biochem. 37, 703-719. |
| **19.** | **Benhamou N. & Rey P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. I. Principes de la résistance induite. *Phytoprotection*, *92* (1), 1–23. |

| | |
|---|---|
| | https://doi.org/10.7202/1012399ar. |
| **20.** | **Bensehaila.S., 2016**. Etude de l'effet antimicrobien et antidiabétique des probiotiques en association avec de la spiruline. Doctorat. Université de Hassiba Ben Bouali Chlef. P 72-125. |
| **21.** | **Benzidane D., Baba Hamed M.B. and Abi-Ayad S.-M. E.-A., 2017** . Biodiesel production from marine microalgae *Nannochloropsis gaditana* by in situ transesterification process. African Journal of Biotechnology 16 (22): 1270-1277. |
| **22.** | **Blancard D., 1988** . Maladies de la tomate: Observer, Identifier, lutter. Ed. Institut nati. rech. agro. (I.N.R.A.) – PHM, Rev. Hort, Paris, 211 p. |
| **23.** | **Blancard D., 2009**-.*Les maladies de la tomate. Identifier, connaître, maîtriser*: Ed. Quae, Versailles, 750 p. |
| **24.** | **Blanchard A. et Limache F., 2005.** Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). [Travaux universitaires] Institut national agronomique Paris-grignon - INA P-G; ENSA de Rennes; Montpellier SupAgro. 2005, pp.18. ffhal-01857661f, 16p. |
| **25.** | **Bluden G., Jenkins T., Liu Y., 1997.** Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. Journal Applied Phycology 8: 535-543. |
| **26.** | **Boccon-Gibod *J.*, 2014.** Connaître la nutrition minérale des végétaux pour bien fertiliser. Jardins de France 631, https://www.jardinsdefrance.org/connaitre-la-nutrition-minerale-des-vegetaux-pour-bien-fertiliser/ |
| **27.** | **Bogorni P.C., Da Silva A.R. et Carvalho G.S., 2003.** Leaf mesophyll consumption by *Tuta absoluta* (Meyrick, 1971) (Lepidoptera, Gelechiidae) in three cultivars of Lycopersicon esculentum Mill. Ciencia rural, Santa Maria, 33(1): 7-11. |
| **28.** | **Bokil K.K., Mehta V.C. et Datar D.S. , 1974**. Other groups of algae, seaweed liquid fertilizer can be applied to various crop plants in order to enrich the nutrient content of the soil and intern to increase the growth and yield of cultivable plants. |
| **29.** | **Booth E., 1965**. The manorial value of seaweed. Botanica Marina., 8: 138-143. |
| **30.** | **Boualem et *al*., 2012.** Biologie et complexe des ennemis naturels de *Tuta absoluta* |

| | |
|---|---|
| | à Mostaganem (Algérie). Bulletin OEPP/EPPO Bulletin (2012) 42 (2), 268–274. |
| **31.** | **Boudour A., 2008.** Recherche et essais de purification de *Spirulina sp*. dans différents habitats et culture *d'Arthrospira sp*. PCC 8005.Mémoire de Magister. Université Badji Mokhtar-Annaba**.** P 23,71. |
| **32.** | **Bradacova K., W. N.-T., 2016.** Micronutrients (Zn/Mn), seaweed extracts, and plant growth-promoting bacteria as cold-stress protectants *in* maize. Chemical Biological Technologies in Agriculture, pp19. |
| **33.** | **Bronstein, J.L., Alarcón, R., and Geber, M., 2006.** The evolution of plant–insect mutualisms. In *New Phytologist* 172, p. 412-428. |
| **34.** | **Cakmak I.,2002**. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. Plant Soil 247:3–24. |
| **35.** | **Calvo P., Nelson L. et Kloepper J. W., 2014.** « Agricultural uses of plant biostimulants », *Plant and soil,* October, volume 383, Issue 1, pp 3-41. |
| **36.** | **Canchihuamán P., Pérez-Méndez, O., Hernández-Muñoz, R.,Torres-Durán, P., Juárez-Oropeza, M., 2010.** Protective effects of *Spirulina maxima* on hyperlipidemia and oxidative stress induced by lead acetate in the liver and kidney. *Lipids in Health and Diseases*. 9, 35-42. |
| **37.** | **Chaboussou F., 1973.** Le rôle du potassium et de l'équilibre cationique dans la résistance de la plante aux parasites et aux maladies. Le Document technique de la SCPA, no 16, Mulhouse**.** 26 p. |
| **38.** | **Chaboussou F., 1981.** *Les plantes malades des pesticides. Base nouvelle de prévention contre maladies et parasites*. Ed. DEBARD, Paris, 200p. |
| **39.** | **Chaichi W., 2011.** Effet d'un lombricompost sur la qualité phytochimique et la fitness du puceron noir de la fève dans les conditions contrôlées. Mémoire de Magister , Blida ,179p. |
| **40.** | **Chamel A., Gambonnet B., 1980.** Foliar penetration of micronutrients: study with isolated pear leaf cuticules of cuticular. Retention and penetration of zinc, *in*: Mineral Nutrition of fruit trees, 318p. |
| **41.** | **Charpy, L., Langlade, M-J., Vicente, N. et Riva, A., 2004.** "International |

| | |
|---|---|
| | Symposium on cyanobactéria, for Health", Science and Development, CICSSD, 192p, Siteweb:http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/urcyano/activites/pdf/embiez abstracts.pdf |
| **42.** | **Charpy.L., Langlade. M. J., Alliod R. ,2008.** « La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ?». Institut de Recherche pour le Développement. Marseille. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 49 p. |
| **43.** | **Chaussod R., Breuil M-C., Nouaim R., Leveque J. et Andreux F., 1999 .** Des mesures microbiologiques pour évaluer la fertilité des sols viticoles. Revue des Oenologues, 95,p : 19-22. |
| **44.** | **Chaux C. et Foury C., 1994** . Production légumières T. 2 : Légumes feuilles, Tiges, Fleurs, Racines, Bulbes. Ed. Lavoisier ″Tec et Doc″, Paris : 639 p. |
| **45.** | **Chenafi I., 2016.** Des projets prometteurs qui souffrent du manque de coordination. Journal El Wattan ,13 Avril 2016 .Algérie. https://www.elwatan.com/pages-hebdo/etudiant/des-projets-prometteurs-qui-souffrent-du-manque-de-coordination-13-04-2016 |
| **46.** | **Chennouf R., 2011**. Diversité entomofaunistique associée à la tomate et étude de Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera, Gelechiidae) dans la région d'Ouargla (Hassi Ben Abdallah).Mémoire de Magister en Protection Des Végétaux. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach – Alger.107p. |
| **47.** | **Clément, G., 1971**. « Une nouvelle algue alimentaire: la *Spirulina», Rev. Inst. Pasteur, V.* 4 , 103 p. |
| **48.** | **Cluzet S., Terregrosa C., Jacquet C., Lafitte C., Fournier J., Mercier L., Salamagne S., Jayaraj J., Wan A., Rahman M.et Punja Z.K. , 2008.** Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. Crop Protection. 27: 1360-1366. |
| **49.** | **Coïc Y. et Coppenet M., 1989**. Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Institut Nationale de la Recherche Agronomique ,Paris,109p. |
| **50.** | **Colomo M.V. et BErta M.C., 1995.** Fluctuacion de la poblacionde *Scobipalpulaabsoluta* (Meyrick) (Lépidoptera:Gelechiidae) en plantaciones de tomate en el Departemento de Lules, Tucuman. *Acta Zool. Lilloana 43:165-177.* |

| | |
|---|---|
| **51.** | **Couderchet M., Le Floch G., Rey P. et Tirilly Y., 2003.** Effet du flumioxazine sur l'attaque de feuilles de tomate par Botrytis cinerea. In AFPP, éd. : 7ème Conférence internationale sur les maladies des plantes, Tours. |
| **52.** | **Crosby K, 2008**. Agronomy and the nutritional quality of vegetables. Improving the healthpromoting properties of fruit and vegetable products. Tomas-Barberan, F AGil, M I. Cambridge, UK., New York, USA, Woodhead publishing limited, CRC press. **15:**392-411. |
| **53.** | **Crouch I.J. et Van Staden J., 1993**. Evidence for the presence of growth regulator in commercial seaweed product. Plant Growth Regulators, 13: 21-29. |
| **54.** | **Delaire M., 2005.** Variations de la capacité d'absorption minérale par les racines du jeune *Acer pseudoplatanus*, L. (Acéracées) consécutives à l'histoire nutritionnelle récente et ancienne de la plante. Application à la culture hors sol des végétaux ligneux. Biologie végétale. Université d'Angers, Français, 177p. |
| **55.** | **Delas J., 2000**. Fertilisation de la vigne. Édit. Féret., Bordeaux, 21-80 p. |
| **56.** | **Demoulain G., Leymergie C., 2009.** Les algues, le trésor de la mer. Haute école de santé (heds), Filière Nutrition et diététique PP. 1-7 |
| **57.** | **De Raymond, A. B.,2010.**"Dispositifs d"intermédiation marchande et politique des marchés". La modernisation du marché des fruits et légumes en France, 1950Ŕ1980". *Sociologie du Travail*, 52, 1-20. |
| **58.** | **Desneux N, Wajnberg E, Wyckhuys KAG, Burgio G, Arpaia S, Narvaez-Vasquez CA, Gonzalez-Cabrera J, Catalan Ruescas D, Tabone E, Frandon J, Pizzol J, Poncet C, Cabello T, Urbaneja A. 2010**. Biological invasion of European tomato crops by *Tut absoluta*: ecology, history of invasion and prospects for biological control. Journal of Pest Science 83 :197–215. |
| **59.** | **Didier B., 2010**.Le joyau bleu de la spiruline: la phycocyanine. Nutrithérapie N° 122, 82-84. |
| **60.** | **Drouai, H., Fateh Mimeche, A.Z., Mimeche, H., Belhamra, M., and Biche, M. ,2016.** New floristic records of *Tuta absoluta* Meyrick 1917, in Zibans's Oasis (Biskra Algeria). |

| | |
|---|---|
| **61.** | **Durand-Gillmann M., 2014.** Interactions plantes-insectes dans deux écosystèmes forestiers méditerranéens contrastés : le cas des scolytes (Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae) en région méditerranéenne. Thèse de Doctorat en Ecologie, ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT, Aix-Marseille Université, France,176p. |
| **62.** | **Esenali Uulu et *al*., 2017**. First record of tomato leafminer *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) in Kyrgyzstan. Turquie. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin (2017) 0 (0), 1–3. |
| **63.** | **Elalaoui A.C., 2007.** Fertilisation Minérale des Cultures. Les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). Bulletin mensuel d'information et de liaison du Pntta, Transfert de technologie en agriculture, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, Maroc, N°155. |
| **64.** | **Epstein E., 1972**. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley And Sons, London. |
| **65.** | **Estay P., 2010.** Polilla del tomate *Tuta absoluta* (Meyrick) [WWW document]. URL Httpalerce Inia CldocsInformativosInformativo09 Pdf Accesed *2*. |
| **66.** | **Faessel L. et Morot-Gaudry J.-F., 2009.**« Les stimulateurs de nutrition et autres produits émergeants à la lumière de la physiologie », Rencontres de Blois, les 25 et 26 novembre 2009. Lien : http://www.comifer.asso.fr/images/publications/livres/2%20-%20faessel%20-%20morot_gaudry.pdf |
| **67.** | **Faessel L., Gomy C., Nassr N., Tostivint C., Hipper C., Dechanteloup A., 2014.** Produits de stimulation en agriculture visant à améliorer les fonctionnalités biologiques des sols et des plantes. Étude des connaissances disponibles et recommandations stratégiques, rapport d'étude au ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Bio by Deloitte et RITTMO Agroenvironnement, 148 p. |
| **68.** | **Falquet, J., et Hurni, J., 2006**. Spiruline : aspects nutritionnels, Antenna Technologies, 41 p. |
| **69.** | **FAO., 1981.** Blue-green algae for rice production. *FAO Soils Bulletin*. Rome, 1981. |

| | |
|---|---|
| **70.** | **Ferguson G. et Shipp L., 1994**. La mineuse de la tomate – cycle évolutif et stratégies de protection des tomates de serre. ISSN :Pp 1-6. |
| **71.** | **Fernandez, S., et A. Montagne. 1990**. Biologica del minador del tomate, *Scrobipalpula absoluta* (Meyick). *Bol. Entomol. Venez N. S.* 5(12):89-99. |
| **72.** | **Ehrlich P.R. et Raven P.H., 1964**. Butterflies and plants: a study in coevolution . In JSTOR, Evolution, Vol. 18, No. 4 ,pp. 586-608. |
| **73.** | **Eyras M.C., Defosse G.E., Dellatorre F., 2008.** Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina. Compos. Sci. Util. 16, 119-124. |
| **74.** | **Faller H., 2011.** Les applications et la toxicité des algues marines. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de limoges. 132p. |
| **75.** | **Fan D., 2011**. *Ascophyllm nodosum* extracts improve shelf life and nutritional quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Dissertation, Dalhousie University. |
| **76.** | **FAOSTAT,2015.** Base de données des statistiques de l'organisation des nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. |
| **77.** | **Farrar, W.V., 1966. «**Tecuitlatl, A Glimpse of Aztec» (23 juillet, 1966).Food Technology. Nature", n° 5047 |
| **78.** | **Fleurance J., Gueant J.L., 1999. «** Les algues : une nouvelle source de protéines ». Bibliomer. Biofutur, n°191, p.32-36. |
| **79.** | **Fox RD ; 1999**. La spiruline: technique, pratique et promesse. Aix-en-Provence: Edisud; 1999. |
| **80.** | **Fravel D. R., 2005. «**Commercialization and implementation of biocontrol». *Annu. Rev. Phytopathol.* 43, p: 337-359. |
| **81.** | **Gallais A. et Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées.Objectifs et critères de sélection. Ed. *INRA*. Paris. |
| **82.** | **Gardner N.L., 1917.**New Pacific Coast marine algae. I. University of California, |

| | |
|---|---|
| | Publication in Botany. V6: 9. |
| **83.** | **Genc, H. ,2016**. The tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): pupal key characters for sexing individuals. Turk. J. Zool. *40*, 801–805. |
| **84.** | **Gerchwin, M.E. et Belay, A.,2008**. Spirulina in humain nutrition and health,edition Taylor et François London, 312 p. |
| **85.** | **Girardin-Andréani C. 2005.** Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. Volume 3, Issue 4, pp 158–161. |
| **86.** | **Giselrad H. R. et Patil, K.-Q., 2008**. Tran Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae, International Journal of Molecular Sciences,9,1188-1195. |
| **87.** | **Goulamabasse T. R., 2018.** La spiruline : activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar. Thèse doctorat, Univ. Lille, France, 125p. |
| **88.** | **Gras R., Benoit M., Deffontaines J.P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P.L., 1989 .**Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude, Inra, L'Harmattan, 184p. |
| **89.** | **Grasselly D., Navez B., Letard M., 2000.** Tomate : Pour un produit de qualité. CTIFL,Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes. 22 Rue Bergères, Paris, 222p. |
| **90.** | **Grusak M A, Della Penna D., 1999. "**Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. " Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 133-161. |
| **91.** | **Guenaoui Y., 2008** .Nouveau ravageurs de la tomate en Algérie. Première observation de T.absoluta mineuse de la tomate, invasive, dans la région de Mostaganem .Phytoma la défense du végétal. pp 16-19. |
| **92.** | **Guermache L. et *al*., 2018.** Évaluation des changements induits par différents types de vermicompost sur les traits morpho-physiologique et biochimique du haricot vert.*Revue Agrobiologia* 8(2):1066-1077. |

| | |
|---|---|
| **93.** | **Gullino M. L., Leroux P. et Smith C. M., 2000** .Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*, 19:1–11. |
| **94.** | **Halidou Doudou, M., Degbey, H., Daouda, H., Leveque, A., Donnen, P. et Hennart, P., 2008.**" Supplémentation en spiruline dans le cadre de la réhabilitation nutritionnelle, revue systématique", Rev. Epidemiol. Sante Publ., V. 56, 425–31. |
| **95.** | **Haougui A.; Madougou G.; Mounouni D. M.; Basso A.; Salissou O.; Bague G.; Aissa K.; Moumouni A. et Patrick D., 2017.** Geographical distribution of the tomato borer, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera, Gelichiidae) in Niger. Scholars Academic Journal of Biosciences (SAJB), 5(2):108-113 |
| **96.** | **Harkat H., 2014.** Appréciation de la nutrition minérale de quelques vignobles de la région de Skikda par la démarche de l'enquête. Mémoir Magister, Univ. Constantine, Algérie, 64p. |
| **97.** | **Harrigan, G.G. et Goetz, G., 2002.** Symbiotic and dietary marine microalgae as a source of bioactive molecules-experience from natural products research, Journal of Applied Phycology, V. 14, 103-108. |
| **98.** | **Harrigan, G.G., Luesch, H., Yoshida, W.Y., Moore, R.E., Nagle, D.G., Paul, V.J., 1999.** Symplostatin 2: a dolastatin 13 analogue from the marine cyanobacterium *Symploca hydnoides*. J. Nat. Prod., V. 62, 655-658. |
| **99.** | **Heller R., Esnault R. et Lance C., 2011**.Physiologie Végétale :1. Nutrition, 6ème édition,DUNOD,France,323p. |
| **100.** | **Heller R., 1969 -** Biologie végétale .II. Nutrition et Métabolisme, Ed. Masson, Paris, 413p. |
| **101.** | **Hopkins W.G., 2003 .** Physiologie végétale. 1re éd., De Boeck Université, 514 p. |
| **102.** | **Hosseini, S.M.,Khosravi-Darani, K.,Mozafari, M.R., 2013.** Nutritional and medical applications of *spirulin*a microalgae. *Mini Review of Medical Chemistry*. *13,* 1231-1237. |
| **103.** | **Hurtado AQ., Yunque DA., Tibubos K., Critchley., 2009.** Use of Acadian |

| | |
|---|---|
| | marine plant extract powder from *Ascophyllum* nodosum in tissue culture of Kappaphycus varieties. J Appl Phycol 21 : pp. 633-639 |
| **104.** | **I.N.P.V., 2008 :** Nouveau déprédateur de la tomate : état des lieux et programme d'action » Note de L'Institut National de la Protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Algérie, Juillet 2008, 11 pages. |
| **105.** | **ITCMI, 1995 b** . Guide pratique : la culture de la tomate sous serre. Institut technique des cultures maraîchères et industrielles (ITCMI), 20p. |
| **106.** | **Jannin L., 2012 .** Caractérisation des modifications physiologiques et métaboliques induites chez *Brassicanapus* L. par l'apport d'extraits algaux ou d'acides humiques. Thèse de doctorat en physiologie, biologie des organismes, populations, interactions. Université de Caen Basse- Normandie. Ecole Doctorale Normande Biologie Intégrative, *Santé et Environnement*. Caen, France. 136p. |
| **107.** | **Jaramillo J.; Rodriguez V.; Guzman M. et Zapata, M., 2007.** Technical manual: Good Agricultural Practices in the Production of tomato under protected conditions. FAO. |
| **108.** | **Jaroulya, U., Anish, Z. J., Kumar, P, Bisen, P.S., Prasad G.B.K.S., 2012.** Alleviation of metabolic abnormalities induced by excessive fructose administration in Wistar rats by *Spirulina maxima*. *Indian Journal of Medical Research*. 135, 422-428. |
| **109.** | **Jayaraj J., Wan A., Rahman M.** and **Punja Z., 2008.**Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. Crop Prot., 27 :1360-1366. |
| **110.** | **Jean et *al*., 2015.** Effets des extraits ou de la poudre de *Spirulina platensis* et *Jatropha curcas* sur la croissance et le développement de la tomate. Journal of Applied Biosciences 90:8413 – 8420. |
| **111.** | **Jeandet P., Adrian M., Joubert J.-M., Hubert F. et Bessis R., 1996.** Stimuler les défenses naturelles de la vigne. Un complément à la lutte phytosanitaire contre le Botrytis.*Phytoma*, 488:21–25. |
| **112.** | **Jordan-Meille L., 2012.** Besoins de recherche sur la nutrition potassique des plantes. ENITA de Bordeaux, UMR INRA/ENITAB TCEM, CS 40201 |

| | |
|---|---|
| **113.** | **Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J. et Prithiviraj B., 2009 .** Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul*. 28: 386–399. |
| **114.** | **Klarzynski O. et Fritig B., 2001 .**Stimulation des défenses naturelles des plantes. C. R. Acad.Sci. Paris, Sciences de la vie, 324:953–963. |
| **115.** | **Konstantinidou-Doltisinis S., Markellou E., Kasselakii A.M., Fanourak, M.N., Koumaki C.M., Schmitt A., Liopa-Tsakalidis A. ET MalathrakiS N.E. 2006**-Efficacy of Milsana, a formulated plant extract from Reynoutria sachalinensis, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). Biocontrol, 51, 375-392. |
| **116.** | **Krauss A., 2001.** Potassium and abiotic stress. In: International Potash Institute (ed) Potassium in Argentina's Agricultural Systems. Buenos Aires, pp 1–6 |
| **117.** | **Kumar S.A., Rakshit A., Dipti S. and Suresh C. Ameta., 2016 .**Vermicomposting of *Parthenium hysterophorus* with different organic wastes and activators. *Academ Arena*;8(4):34-38. |
| **118.** | **Lahaye M., Kaeffer B., 1997.** Les fibres algales. Cahier Nutrition Diététique, 32, 2. |
| **119.** | **Lamy F., 2016.** Comprendre et manipuler la communication entre les plantes et les insectes pour protéger les cultures : vers l'élaboration d'une stratégie « Push-Pull » pour lutter contre la mouche du chou *Delia radicum.* Thèse de doctorat en Biologie , Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes, Université de RENNES 1.France.153 p. |
| **120.** | **Laumonnier R., 1979.** Culture légumières et maraichères, tome III. Edition : Bailliere. Paris. 279p. |
| **121.** | **Lebdi Grissa et *al*.,2011.** Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie. *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology* 2011 (2010) **63** (3), 125-132. |
| **122.** | **Le Floch V, Rey P., Déniel F., Benhamou N., Picard K. et Tirilly Y., 2003**. Enhancement of development and induction of resistance in tomato plants by the |

| | |
|---|---|
| | antagonist, *Pythium oligandrum*. *Agronomie*, 23:455–460. |
| **123.** | **Lemieux G. et Germain D., 2001.** « Le bois raméal fragmenté : la clé de la fertilité durable du sol ». Univ. Laval, Québec, N° 129, 23p. |
| **124.** | **Léonard, J. et Compére, P.,1967.** "*Spirulina platensis* (Gom.) Geitler, algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines", *Bull. Jard. bot. Nat. Belg., V.* 37, n°1, Suppl.23. |
| **125.** | **Lounici S., 2010.** Caractérisation de la spiruline : *Spirulina htam,* optimisation de ses conditions de culture et application industrielle. Mémoire de Magister en Nutrition et transformation des aliments, Université Saad Dahleb- Blida.131p. |
| **126.** | **Lucas Bá.Franco., De Morais, M.G., Santos, T.D., Costa, J.A.V.,2018**. *Spirulina* for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. LWT-Food Science and Technology.90, 270-276. |
| **127.** | **Lutzenberger José A., 1987. Introduction :** Récoltes et parasites, le poison est-il la réponse ?. In: Revue Juridique de l'Environnement, n°2. Les pesticides en droit comparé. pp. 133-142. |
| **128.** | **Lyon G.D et Newton a.C., 1997 .**Do resistance elicitors offer new opportunities in 1integrated disease control strategies ? *Plant Pathology*, 46 : 636–641. |
| **129.** | **Mahdi Kh., 2014** .Importance des facteurs limitant les pullulations de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Meyrick, 1917) dans l'Algérois. Thèse Doctorat, ENSA d'El Harrach, 245p. |
| **130.** | **Mahi F., 2015.** Traduction de la résistance contre les bioagresseurs de la tomate sous l´application de micro-doses de sucres solubles en Biodiversité et Bioprotection.Université Blida 1,Algérie.94p. |
| **131.** | **Mäkelä P., Kontturi M., Pehu E.et Somersalo S., 1999.** Photosynthetic response of drought- and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycinebetaine.*Physiologia Plantarum*, 105 : 45 50. |
| **132.** | **Mancuso S., Azzarello E., Mugnai S.et Briand X., 2006.** Marine bioactive substance (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Advances in Horticultural Science.* 20: 156-161. |

| | |
|---|---|
| **133.** | **Manirafasha, E., Ndikubwimana T., Zeng, X., Lu., Y., Jing, K.,2016.** Phycobiliprotein: potential microalgae derived pharmaceutical and biological reagent, *Biochemical Engineering Journal*. 109, 282-296. |
| **134.** | **Marin M.S., Diaz Bruno E., Quercettiet M. et Caballero A., 2002**.*Tuta absoluta* rearing in laboratory conditions, *FCAUN Cuyo. Tomo XXXIV. N° 2. Año*, 6p. |
| **135.** | **Margarida M.A., 2008.** Meneira do romateira (*Tuta absoluta*).Uma nova ameraça aproduçao de tomate. (PDF).10p. |
| **136.** | **Martinez C., Besnard O. et Baccou J.-C., 1996 .**Stimulation des défenses naturelles des plantes. Cellulases et protéases d'origine biologique : deux exemples d'éliciteurs. *Phytoma*, 521:16–19. |
| **137.** | **Marty C., 2009.** Nutrition et réponses des plantes subalpines pyrénéennes a la contrainte azotée. Thèse doctorat, Univ. Toulouse, France, 244p. |
| **138.** | **Mcneil S., Nuccio M. et Hanson A., 1999 .** Betaines and related osmoprotectants. Targets for metabolic engineering of stress resistance. Plant Physiology, 120 : 945-949. |
| **139.** | **Mercier L., Lafitte C., Borderies G., Briand X., Esquerré-Tugayé M.T.et Fournier J., 2001**.The algal polysaccharide carrageenans can act as elicitor of plant defense. *New Phytologist* .149: 43-51. |
| **140.** | **Mohanty D., Adhikary S. P., and Chattopadhyay G. N., 2013.** Seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. International quarterly journal of environmental sciences. The Ecoscan: Special issue, vol III: 147-155. |
| **141.** | **Molla O., Monton H., Beitia F. et Urbaneja A., 2008.** La pollila del tomate, una nueva plaga invasora, *Tuta absoluta* (Meyrick), eds. Agrotécnicas, S.L. CIF B80194590 Terallia, 69:36-42. |
| **142.** | **Morel R., 1989 .** Les sols cultivés. Editions Tec & Doc, Lavoisier, 373 p. |
| **143.** | **Morot-Gaudry J.-F., 2016.** Nutrition minérale des plantes!: aspects moléculaires. Académie d'agriculture de France Groupe de travail sur potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. 1-25. |
| **144.** | **Mughal, A.D., 1992**. Letters to the Editor. Journal of sustainable Agriculture, 2 . |

| | |
|---|---|
| **145.** | **Mundt, S., Kreitlow, S., Nowotny, A. and Effmert, U., 2001.** Biochemical and pharmacological investigations of selected cyanobacteria, International Journal of Hygiene an Environmental Health, V. 203, 327-334. |
| **146.** | **Munro D B., Small E. 1997.** Les legumes du Canada. NRC Research Press, 30p. |
| **147.** | **Naika S., Joep V. L. D. J., DE Goffau M., Hilmi M., Barbara V. D., 2005**. Agrodok 17 : La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. *Agromisa Foundation.* Wageningen, Pays-Bas, PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), 105 p. |
| **148.** | **Nelson W.R. and Van Staden J., 1984.** The effect of seaweed concentrate on wheat culms. J. PLAN PHYSIOL., 1156: pp: 4333-437. |
| **149.** | **N'Goran Urbain F. N., 2017.** Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse. Optique / photonique. Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2017. Français. NNT : 2017TOU30378. tel-02013829, 144p. |
| **150.** | **Nicot P., 2010.** La conduite de la fertilisation, facteur de la santé des plantes. http://www.legumesdefrance.fr/sites/fnplegweb/doss/protection_des_cultures_legumieres/picleg/11_interview_ph_nicot.pdf |
| **151.** | **Norrie, J., Keathley JP., 2006.** Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to "Thompson seedless' grape production. Acta Hortic 727 : pp. 243-247. |
| **152.** | **OEPP/EPPO, 2005**."*Tuta absoluta,* fiches informatives sur les organismes de quarantaine".*Organisation européenne de protection des plantes (OEPP), Paris*, (35), pp. 434 -435. |
| **153.** | **Otles, S. et Pire, R.,2001.** Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgeae species, JAOAC Int. 84(6),14-17. |
| **154.** | **Ould Bellahcen et *al*., 2013.** Culture et production de *Spirulina platensis* dans les eaux usées domestiques. Larhyss Journal,n°14, Juin 2013, pp. 107-122. |
| **155.** | **Pajot E., 2010.** Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en ProductionVégétale : Mythe ou Réalité ?, XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. |

| | |
|---|---|
| | Rittmo. Colmar. |
| **156.** | **Perez R. *et al*., 1992.** La culture des algues marines dans le monde. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.Ifremer. |
| **157.** | **Perrenoud S., 1990.** Potassium and plant health, 3, International Potash Institute, Basel. |
| **158.** | **Person. J., 2010.** Algues, filières du futur. LIVRE TURQUOISE. Édition Adebiotech – Romainville – Juillet 2011. |
| **159.** | **Percival Glynn C. 2001**. Induction of systemic acquired disease resistance in plants: Potential implications for disease management in urban forestr. Journal of Arboriculture, 7, (4): 181-192. |
| **160.** | **Povolny D., 1994.** On three neotropical species of *Gnorimoschemini* (*Lepidoptera*: *Gelechiidae*) mining Solanaceae. *Acta Universalis Agriculturae, 23, 379-393.* |
| **161.** | **Primavesi, A., 1989.** Manejo ecológico de solo.Nobel, São Paulo, Brazil. |
| **162.** | **Pyron J.Y., 2006.** Références productions légumières, Edition Lavoisier (synthèse agricole), Paris, 613p. |
| **163.** | **Ramel J.M. et Oudard E., 2008.** *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) Éléments de reconnaissance. S.R.P.V. Avignon, 2p. |
| **164.** | **Rathore S., Chaudhary S., Boricha D., 2009.** Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (Glycine max) under rainfed conditions. S Afr J Bot 75: pp. 351-355. |
| **165.** | **Rayirath P, Benkel B, Hodges DM, Allan-Wojitas P, MacKinnon S, Critchley AT, Prithiviraj B., 2009 .** Lipophilic component of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Planta .230: 135-147. |
| **166.** | **Reynier A., 2007.** Manuel de viticulture. Édit. Tec et Doc., Paris, 280-380 p. |
| **167.** | **Roussos PA., Denaka N.K., Damvakaris T., 2009.** Strawberry fruit quality attributes after application of plant growth stimulating compound. *Scientia Horticulturae* 119:138-146. |

| | |
|---|---|
| **168.** | **Royer M., 2013**. Etude des relations entre croissance, concentrations en métabolites primaires et secondaires et disponibilité en ressources chez la tomate avec ou sans bioagresseurs. Thèse Doctorat, Univ. Lorraine, 158 p. |
| **169.** | **Ruocco M., Giorgini M., Alomar O., Blum B., Kohl J., Nicot P., 2011.** Lutte biologique. Numéro 2: Tomate. ENDURE, INRA, France, 10 p. |
| **170.** | **Ryckewaert P. et Rhino B., 2017.** Insectes et acariens des cultures maraîchères en milieu tropical humide: Reconnaissance, bioécologie et gestion agro-écologique. Edition QUAE , Versailles Cedex ,France.152p |
| **171.** | **Ruttan V.W., 1990.** Sustainability is not enough. University of Illinois. Symposium Sustainability : Agriculture and Society. Agro-ecology paper A-E 96-6. |
| **172.** | **Saadi S., 2015.** Effet des conditions de la conservation sur la qualité nutritionnelles et technologiques d'un couscous enrichi en spiruline. Mémoire de Magister, Université de Saad Dahleb, Blida,157p. |
| **174.** | **Safiddine F., 2012.** Effet des biofertilisants sur l'évolution des métabolites secondaires des plants de tomate et le développement des nématodes a galles dans des conditions contrôlées. Mémoire de Magister, Université de Saad Dahleb, Blida,121p. |
| **175.** | **Sauvion, N., Calatayud, P.-A., Thiéry, D., et Marion-Pol, F., 2013.** Interactions insectes-plantes. Quae. |
| **176.** | **Sguera S., 2008.** *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Sciences pharmaceutiques. ffhal-01732214f, 160p. |
| **177.** | **Sédillot et *al*., 2016** .Notes et études socio-économiques. Centre d'études et de prospective : service de la statistique et de la prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la foret, Cedex.108p. |
| **178.** | **Shankara N., Jeop V., Jeude A., Marja De Goffau. et Martin H., 2005**. *La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation*, Ed Arwen Floryn, Digigrafi, Wageningen, Pays-Bas, 107p. |
| **179.** | **Sivasankari S., Venkatesalu V., Anantharaj M., Chandrasekaran M., 2006 .** Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna* |

| | |
|---|---|
| | *sinensis*. Bioresource Technology. 97: 1745-1751. |
| **180.** | **Sivasangari Ramya S., Nagaraj S. and Vijayanand N., 2010.** Biofertilizing efficiency of brown and green algae on growth, biochemical and yield parameters of *cyamopsis tetragonolaba* (l.) taub. *Recent Research in Science and Technology 2010, 2(5): 45-52* **.** |
| **181.** | **Soni, R.A., Sudhakar, K., Rana, R., 2017.** S*pirulina*–From growth to nutritional product: A review, *Trends Food Science and Technology*. 69, 157-171. |
| **182.** | **Spichiger, R. E., Vincent , V., Figeat, S. M. et Jeanmonod, D., 2004**.Botanique systématique des plantes à fleurs : une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. 3eme édition. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, Français, 413 p. |
| **183.** | **Subramanian S., Sangha J.S., Gray BA., Singh R.P., Hiltz D., Critchley AT., Prithiviraj B., 2011.** Extracts of the marine brown macroalga, *Ascophyllum nodosum*, induce jasmonic acid dependent systemic resistance in *Arabidopsis thaliana* against *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 and *Sclerotinia sclerotiorum*. European Journal of plant Pathology DOI 10.1007/s10658-011-9802-6. |
| **184.** | **Sylla E.S., 2018**. Invasion de la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) au Sénégal : dynamique des populations, gamme d'hôtes et potentiel de régulation biologique. Thèse de doctorat en Horticulture et Agriculture Urbaine et Périurbaine. Université cheikh Anta Diop De Dakar.169p. |
| **185.** | **Tedesco M.A., Duerr E.O. ,1989.** Light, temperature and nitrogen starvation effects on the total lipid and fatty acid content and composition of *Spirulina platensis* UTEX 1928. J. Applied Phycol. |
| **186.** | **Thuries L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Herrmann P., Larre-Larrouy M-C., Martin C., Pansu M., Remy J-C. et Viel M., 2000 .** Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. Etude et Gestion des Sols, 7, 1, pp: 73-88. |
| **187.** | **Tweedie M W F., 1976** - A note on moths with flightless females. Entomologist's gazette, 27, p: 2-3. |
| **188.** | **Urban L., 1997**- Introductions à la production sous serres. Tec-Doc., Paris. p.125. |

| | |
|---|---|
| **189.** | **Urbaneja (A), Vercher (R.), Navarro (V.), Mari (F.G.) et Percuna (J.I.), 2007**.La pollil de la tomate, *Tuta absoluta.* Centro ProteccionVegatal y biotechnologie (IVIA). I nstituto Valencia de InvestigationesAgrarias. Valencia. Espagne. Horticolas. Phtoma. Espana, no194 Déc 2007: 16-23. |
| **190.** | **Van Oosten MJ., Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A., 2017.** The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and biological Technologies in Agriculture. 4:5. |
| **191.** | **Vargas, H. 1970.** Observaciones sobre la biología y enemigos naturales de la polilla del tomate, *Gnorismoschema absoluta* (Meyrick) (Lep. Gelechiidae).IDESIA 1: 75-110 verano. Empresa y Avance Agrícola 1(5): 6-7. |
| **192.** | **Vidalo J.L., 2008.** Spiruline l'algue bleue de santé et de prévention. Dauphin édition. |
| **193.** | **Vonshak A,1997.** *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology, and biotechnology*. London: Bristol, PA: Taylor & Francis; 1997. |
| **194.** | **Vonshak A., 2002.** *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology, Taylor & Francis, London, p 233. |
| **195.** | **Watanabe F. et *al*., 1999**. Pseudovitamin B (12) is the predominant cobamide of an algal health food, *spirulina* tablets. J Agric Food Chem.47 (11) :4736-41. |
| **196.** | **Wang J. et *al*., 2008.** Vitamin A equivalence of *spirulina* beta-carotene in Chinese adults as assessed by using a stable-isotope reference method. In The American journal of clinical nutrition 87 (6):1730-7. |
| **197.** | **Whitney H.M et Federle W., 2013.** Biomechanics of plant–insect interactions. In Current Opinion in Plant Biology , 16:105–111. |
| **198** | **Wiedenhoeft A.C., 2006** . Plant nutrition, edit. Chelsea House Publishers.New York,144p. |
| **199.** | **Wu Y., Jenkins T., Blunden G., Von Mende N. et Hankins S.D., 1998.** Suppression of fecundity of the rootknot nematode, *Meloidogyne javanica*, in monoxenic cultures of *Arabidopsis thaliana* treated with an alkaline extract of *Ascophyllum nodosum*. *Journal of Applied Phycology* .10: 91–94. |

| | |
|---|---|
| **200.** | **Zarrouk C., 1966.** Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch el Gardner) Geitler, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Paris. |
| **201.** | **Ziadi S., Godard J., Barbedette S., Pajot E., Le Corre D., Monot C. et Silué D., 2001**. Deux nouvelles molécules, le benzothiadiazole (BTH) et le phytogard (K2HPO3) permettent de protéger le chou-fleur contre le mildiou provoqué par *Peronospora parasitica*. *In* 30ÈME CONGRÈS DU GROUPE FRANÇAIS DES PESTICIDES, éd. : *Produits phytosanitaires : analyse, résidus, métabolites, écotoxicologie, modes d'action, transfert...*, Reims.Presses universitaires de Reim. p. 239–255. |
| **202.** | **Zidani, S., 2009**. Valorisation des pelures de tomates séchées en vue de leur incorporation dans la margarine. Thèse de magister, option : Technologie Alimentaire. Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire L.R.T.A, université M'hamed Bougara Boumerdes, 74 p. |
| **203.** | **Zuang H., 1982.** La fertilisation des cultures légumières. Ed S.T.I.F.L.P349. |

# ANNEXE

**Tableau 1.** Composition en acides aminés (mg / 100 g de spiruline sèche) (Gerchwin et *al*., 2008)

| Acides aminés essentiels | Teneur |
|---|---|
| Isoleucine | 3500 |
| Leucine | 5380 |
| Lysine | 2960 |
| Méthionine | 1170 |
| Phénylalanine | 2750 |
| Thréonine | 2860 |
| Tryptophane | 1090 |
| Valine | 3940 |
| Histidine* | 1000 |

| Acides aminés non essentiels | Teneur |
|---|---|
| Alanine | 4590 |
| Arginine | 4310 |
| Acide aspartique | 5990 |
| Cystine | 590 |
| Acide glutamique | 9130 |
| Glycine | 3130 |
| Tyrosine | 2500 |
| Proline | 2380 |
| Sérine | 2760 |

* **Essentiel pour l'enfant.**

**Tableau 2**. Composition en acides gras de 100 g de spiruline sèche (Otles et Pire, 2001)

| Acide gras | Taux (%) |
|---|---|
| Acide myristique (C14) | 0,23 |
| Acide palmitique (C16) | 25,8 |
| Acide palmitoléique (C16:1) | 1,26 |
| Acide Palmitique (C16:0) | 46,07 |
| Acide oléique (C18:1) | 5,26 |
| Acide Linoléique (C18:2) | 17,43 |
| Autres acides | 20,88 |

**Tableau 3.** Composition de la spiruline en minéraux en mg / 10 g de spiruline sèche (Falquet et Hurni, 2006).

| Minéraux | Teneur de spiruline | ANC (mg/jour)* |
|---|---|---|
| Calcium | 13 – 140 | 900 |
| Phosphore | 67 – 90 | 750 |
| Magnésium | 20 – 29 | 360-420 |
| Fer | 5,80 -18 | 9 – 16 |
| Zinc | 0,21 - 0,40 | 10 – 12 |
| Cuivre | 0,08 - 0,10 | 1,5 – 2 |
| Sodium | 45 | 500 |
| Potassium | 64 – 154 | 3500 |

* Les apports nutritionnels conseillés par l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire et Alimentaire).