



UNIVERSITÉ DE BLIDA 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologie et Agro-Écologie



THÈSE DE DOCTORAT

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production végétale intégrée

IMPACT DE LA NUTRITION ORGANIQUE SUR LES TRAITS DE VIE FONCTIONNELS DE L'ENTOMOFAUNE AGRUMICOLE EN MITIDJA CENTRALE.

Réalisé par :

BENHAMMOUDA Bouchra

Devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------------|------------|-----------------|--------------------|
| CHAOUIA Chérifa. | Professeur | U. Blida1 | Présidente |
| CHakali Gahdab. | Professeur | ENSA El Harrach | Examineur |
| CHEBOUTI- MEZIOU Nadjiba. | Professeur | U. Boumerdès | Examinatrice |
| DJAZOULI Zahr-eddine. | Professeur | U. Blida1 | Directeur de thèse |

Blida, Octobre 2023.

DEDICACES

A la mémoire de celui qui me manquera toujours, mon beau père

AROUN Mohamed El Fodhil qui m'a toujours encouragée

A mon cher père qui m'a soutenue avec amour et affection

A ma très chère mère et belle mère

A mon mari et ma fille Dania

A mes sœurs, belles sœurs et mon beau frère

A ma famille et mes amies

REMERCIEMENTS

Une thèse c'est un escalier d'expériences scientifiques et humaines qui marque l'esprit. Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects aux membres du jury de thèse d'avoir accepté d'honorer et d'enrichir mon travail. Pour cela, je leur exprime ma profonde reconnaissance.

Je tiens à remercier profondément Professeur DJAZOULI Zahr-eddine, mon directeur de thèse, d'abord pour ses qualités humaines et d'être la personne qu'il est. Je le remercie de m'offrir une liberté de réflexion et la chance d'avoir cette thématique, de faire naître en moi une scientifique qui a une vision d'avenir avec un savoir-faire, et de m'avoir transmis son amour envers la science et son honnêteté envers le travail. Je le remercie encore pour son accompagnement, disponibilité, orientation et ses conseils éclairés tout au long de ces quatre ans de thèse et surtout de m'avoir apporté son énergie positive comme une lumière dans le noir.

Je commencerais par remercier Madame CHAOUIA Cherifa, Professeur à l'Université de Blida 1, pour avoir accepté de présider mon jury. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre bienveillance et votre simplicité avec lesquelles vous m'avez accueillie.

Je voudrais remercier aussi Monsieur CHAKALI Gahdab, Professeur à l'E.N.S.A. d'El Harrach, de m'avoir honoré par votre présence et je vous suis très reconnaissante de bien vouloir porter intérêt à ce travail. Vous avez accepté aimablement de juger cette thèse. Cet honneur me touche infiniment et je tiens à vous exprimer ma profonde reconnaissance. Veuillez accepter, Professeur, dans ce travail l'assurance de mon estime et mon profond respect.

Je désire grandement remercier Madame CHEBOUTI Nadjiba, Professeur à l'Université de Boumerdès, pour l'honneur qu'elle me fait de bien vouloir juger mon travail. Ses remarques, son ouverture d'esprit, sa franchise, sa gentillesse sont autant d'éléments qui vont me permettre de perfectionner le parcours de développement des biostimulants organiques. Je la remercie pour tout cela.

Je tiens à remercier tous les membres de l'équipe du laboratoire LBPV, pour leur aide et leur bonne humeur. Nous avons partagé de bons moments.

J'adresse mes remerciements à madame AROUN Imen Docteur à l'Université de BLIDA1 pour ses conseils.

Enfin, je remercie ma famille pour leur soutien au cours de cette formation doctorale et sans lesquels je n'en serais pas là aujourd'hui.

RESUME

IMPACT DE LA NUTRITION ORGANIQUE SUR LES TRAITS DE VIE FONCTIONNELS DE L'ENTOMOFAUNE AGRUMICOLE EN MITIDJA CENTRALE

L'agriculture moderne exige de plus en plus une alternative aux produits chimiques de synthèse (engrais et pesticides) afin de répondre à l'évolution de la législation et des réglementations internationales, mais aussi aux besoins des consommateurs en matière d'aliments sans résidus potentiellement toxiques. Une alternative ou un complément durable et efficace, apportant des bénéfices à l'environnement a été proposé dans cette étude c'est le biostimulant.

Au cours de ce travail, nous avons commencé par une étude de la qualité de deux biostimulants E3 (Marc de café, Coquilles d'œufs, Carton broyé, Tourbe professionnelle) et E4 (marc de café, carton broyé, chapelure de pain) obtenus par le vermicompostage de marc de café complété. Notre étude a été effectuée par deux méthodes de caractérisation MEB-EDX et DRX. Par référence à nos résultats, l'analyse DRX démontre une structure amorphe et une faible cristallinité des deux substrats dans le domaine allant de 20 à 70°. L'analyse quantitative de E3 et E4 par MEB-EDX a permis de signaler une composition minérale assez contrastée pour les deux biostimulants, avec une structure poreuse et une grande capacité de rétention d'eau et des éléments nutritifs. d'autre part, nous avons appliqué ces deux biostimulants E3 et E4 sur les plants d'oranger *Citrus Sinensis Thomson* sous deux doses D1=60g/l et D2=120g/l avec le témoin (eau de ville) pour évaluer leurs effets sur l'entomofaune agrumicole et leurs impacts sur la qualité phytochimique des plants (sucres solubles totaux, teneurs relative en eau, acide aminé soluble et proline). Les résultats de la disponibilité de l'arthropodofaune folivore démontrent une diversité d'espèce très riche dans les unités expérimentales, notamment les consommateurs primaires qui sont les arthropodes nuisibles avec un nombre important dans les unités expérimentales traitées par le biostimulant E3 et témoin par rapport l'unité expérimentale traitée par le E4 qui exprime le nombre d'individus le moins important associé à un nombre de taxa très faible avec une suppression de divers groupes entomologique opophages, surtout avec la forte dose E4D2 (120g/l) qui s'avère la plus contraignante en termes d'installation primaire des bioagresseurs. Les consommateurs secondaires : les auxiliaires entomophages qui sont la plupart des prédateurs avec un nombre important dans les unités expérimentales traitées par les biostimulants E3 et E4. Nous avons aussi essayé d'étudier l'Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants, les résultats montrent que la succession des espèces varie selon le type de traitement apporté. Nous remarquons clairement que l'état d'équilibre de la biocénose diffère entre les traitements avec des équations de tendance différentes. Pour les résultats de l'effet des deux biostimulants sur les paramètres physiologiques et biochimiques sur les citrus en comparant avec le témoin, on constate que l'apport d'E3 et d'E4 a influencé significativement sur les teneurs en eau, en sucres solubles totaux, en acides aminés solubles et en proline libre endogène. Le bio engrais E4 sous ses deux doses, se démarque particulièrement pour la quantité des sucres solubles totaux et des acides aminés solubles.

Mots clés: Vermicompostage, biostimulants, *Citrus Sinensis Thomson*, arthropodofaune, folivore, opophages.

ABSTRACT

IMPACT OF ORGANIC NUTRITION ON FUNCTIONAL LIFE TRAITS OF CITRUS ENTOMOFAUNA IN CENTRAL MITIDJA.

Modern agriculture is increasingly demanding an alternative to synthetic chemicals (fertilizers and pesticides) in order to meet changing international legislation and regulations, as well as consumers' needs for food without potentially toxic residues. In this study, we proposed a sustainable and effective alternative or complement, with benefits for the environment: biostimulants.

In the course of this work, we began by studying the quality of two biostimulants E3 (coffee grounds, egg shells, ground cardboard, professional peat) and E4 (coffee grounds, ground cardboard, breadcrumbs) obtained by vermicomposting supplemented coffee grounds, using two characterization methods SEM-EDX and XRD. With reference to our results, the DRX analysis showed an amorphous structure and low crystallinity of both substrates in the 20-70° range. The quantitative analysis of E3 and E4 by SEM-EDX revealed a fairly contrasting mineral composition for the two biostimulants, with a porous structure and high water and nutrient retention capacity.

In another part of this work, we applied these two biostimulants E3 and E4 to *Citrus Sinensis* Thomson orange plants at two doses D1=60g/l and D2=120g/l, together with the control (city water), to assess their effects on the citrus entomofauna and their impact on the phytochemical quality of the plants (total soluble sugars, relative water content, soluble amino acid and proline). The results of the availability of folivorous arthropodofauna show a very rich diversity of species in the experimental units, The primary consumers are arthropod pests, with high numbers in the experimental units treated with E3 biostimulant and control, compared with the experimental unit treated with E4, which has the lowest number of individuals, associated with a very low number of taxa, and the suppression of various opophagous entomological groups, especially with the high dose of E4D2 (120g/l), which is the most restrictive in terms of the primary establishment of bioaggressors. Secondary consumers: entomophagous beneficials, most of which are predators, with significant numbers in the experimental units treated with biostimulants E3 and E4. We also tried to study the ecological arrival order of folivorous arthropodofauna under the effect of biostimulants, and the results show that the succession of species varies according to the type of treatment applied. We can clearly see that the equilibrium state of the biocenosis differs between treatments, with different trend equations. In terms of effect of the two biostimulants on physiological and biochemical parameters in citrus compared with the control, E3 and E4 significantly influenced water content, total soluble sugars, soluble amino acids and endogenous free proline. The E4 biofertilizer, in both doses, stood out particularly for the quantity of total soluble sugars and soluble amino acids.

Keywords: Vermicomposting, biostimulants, *Citrus Sinensis* Thomson, arthropodofauna, folivores, opophages.

ملخص

تأثير التغذية العضوية على سمات الحياة الوظيفية لحشرات الحمضيات بوسط متيجة

تتطلب الزراعة الحديثة بشكل متزايد بديلاً للمنتجات الكيماوية الاصطناعية (الأسمدة والمبيدات الحشرية) من أجل الاستجابة لتطور التشريعات الدولية ، ولتلبية احتياجات المستهلكين من حيث الغذاء بدون مخلفات محتملة. تم اقتراح بديل أو مكمل مستدام وفعال في هذه الدراسة ، يجلب الفوائد للبيئة : وهو المنشط الحيوي.

خلال هذا العمل ، بدأنا بدراسة جودة نوعين من المحفزات الحيوية E3 (القهوة المطحونة ، قشر البيض ، الورق المقوى المطحون ، الخث الاحترافي) و E4 (القهوة المطحونة والكرتون المسحوق وفتات الخبز) التي تم الحصول عليها من السماد الدودي للقهوة المكمل. من خلال طريقتين MEB-EDX و DRX. نتائج تحليل XRD توضح بنية غير متبلورة وتبلور منخفض للركيزتين في المجال الممتد من 20 إلى 70 درجة . بينما توضح نتائج التحليل الكمي لـ E3 و E4 بواسطة SEM-EDX تركيبة معدنية لمختلف المنشطات الحيوية المحضرة ، مع هيكل مسامي وقدرة عالية على الاحتفاظ بالمياه والمغذيات.

في الجزء الآخر من هذا العمل ، قمنا بتطبيق هذين المحفزين الحيويين E3 و E4 على نباتات شجرة البرتقال *Citrus Sinensis Thomson* تحت جرعتين D1 = 60 غ / ل و D2 = 120 غ / ل مع الشاهد (مياه المدينة) لتقييم آثارهما على الحيوانات الحشرية الحمضية وتأثيرها على الجودة الكيميائية النباتية للنباتات (السكريات الذائبة الكلية ، المحتوى المائي النسبي ، الأحماض الأمينية القابلة للذوبان والبرولين) . أظهرت نتائج توافر المفصلية الورقية تنوع الأنواع الغنية جداً في الوحدات التجريبية. ، على وجه الخصوص المستهلكين الأساسيين الذين هم من المفصلية الضارة مع وجود عدد كبير في الوحدات التجريبية المعالجة بالمحفزات الحيوية E3 و الشاهد مقارنة بالوحدة التجريبية المعالجة بـ E4 والتي تعبر عن عدد الأفراد الأقل أهمية المرتبط بعدد منخفض جداً من الأصناف مع قمع مجموعات حشرات المبيض المختلفة ، خاصة مع جرعة عالية من E4D2 (120 غ / ل) والتي أثبتت أنها الأكثر تقييداً من حيث التركيب الأولي للمنشطات الحيوية.

المستهلكون الثانويون: المواد المساعدة للحشرات وهي أكثر من الحيوانات المفترسة بعدد كبير في الوحدات التجريبية المعالجة بالمحفزات الحيوية E3 و E4 ، كما حاولنا دراسة الترتيب البيئي لوصول الحيوانات المفصلية الورقية تحت تأثير المنشطات الحيوية ، وأظهرت النتائج أن تعاقب الأنواع يختلف باختلاف نوع العلاج المقدم. نلاحظ بوضوح أن الحالة المستقرة للتكاثر الحيوي تختلف بين العلاجات مع معادلات الاتجاه المختلفة. بالنسبة لنتائج تأثير اثنين من المنشطات الحيوية على العوامل الفسيولوجية والكيميائية الحيوية على ثمار الحمضيات من خلال المقارنة مع السيطرة ، لوحظ أن مساهمة E3 و E4 أثرت بشكل كبير على محتويات الماء والسكريات الذائبة الكلية والأحماض الأمينية الذائبة وبرولين حر داخلي. يبرز السماد الحيوي E4 في جرعتين بشكل خاص بالنسبة لكمية إجمالي السكريات القابلة للذوبان والأحماض الأمينية القابلة للذوبان.

الكلمات المفتاحية: السماد الدودي ، المحفزات الحيوية ، شجرة البرتقال *Citrus Sinensis Thomson* ،

الحيوانات المفصلية ، الأليف .

LISTE DES ABREVIATIONS

| | | |
|-------------------|---|---|
| J-C | : | Jésus-Christ. |
| MH | : | Million d'hectares |
| MT | : | Million de tonne |
| G | : | Gramme |
| °C | : | Degré Celsius |
| MM | : | Millimètre |
| M ³ | : | Mètre cube |
| PGPR | : | Plant growth-promoting rhizobacteria |
| C/N | : | Carbone/ azote |
| NO ₃ | : | Nitrate |
| PO ₄ | : | Acide phosphorique |
| SCG | : | Spent coffee grounds |
| KG | : | Kilogramme |
| G/CM ³ | : | Gramme sur centimètre cube |
| KCAL/KG | : | Kilocalorie par kilogramme |
| MG/KG | : | Milligramme par kilogramme |
| KCAL/KG | : | Marc de café |
| MM | : | Coquille d'œuf |
| G/CM ³ | : | Carton broyé |
| CP | : | Chapelure |
| TP | : | Tourbe professionnel |
| CM | : | Centimètre |
| G | : | Gramme par litre |
| M | : | Mètre |
| NM | : | Nanomètre |
| MG/G | : | Milligramme par gramme |
| DRX | : | Diffraction des Rayons X. |
| MEB | : | Microscope Electronique à Balayage |
| MEB/EDX | : | Microscope Electronique à Balayage associé à la microanalyse par Energie Dispersive des rayons X |
| KV | : | Kilovolt |

A : Azote
FRX : Fluorescence des rayons x
T : Témoin
D : Dose
P : Probabilité

Liste des illustrations et graphiques

| | | |
|--------------|--|----|
| Figure 1.1 : | Production d'agrumes en Algérie de 2010 à 2021 (en 1.000 tonnes métriques). | 7 |
| Figure 1.2 : | Les besoins en nutriments des agrumes selon le stade de croissance. | 10 |
| Figure 1.3 : | Schéma conceptuel présentant les effets des facteurs du milieu sur la composition des communautés. | 14 |
| Figure 1.4 : | Principaux effets et actions physiologiques entraînés par les biostimulants. | 17 |
| Figure 1.5 : | Schéma de mécanisme direct présenté par la Rhizobactéries PGPR. | 19 |
| Figure 1.6 : | Les étapes de production de biocarburant à partir de marc de café. | 28 |
| Figure 2.1 : | Dispositif expérimental de la préparation des deux substrats vermicompostés E3 et E4. | 32 |
| Figure 2.2 : | L'oranger <i>Citrus sinensis</i> Thomson. | 33 |
| Figure 2.3 : | Schéma hypothétique de l'impact des deux biostimulants sur la qualité phytochimique de la plante cultivé et leurs effets sur le recrutement des groupes fonctionnels et sur la structuration populationnelles des espèces folivores. | 34 |
| Figure 3.1 : | Images par MEB des biostimulants a : E3, b : E4. | 40 |
| Figure 3.2 : | Micrographes MEB-EDX des biostimulants E3 et E4. | 41 |
| Figure 3.3 : | Diffractogramme des rayons X des biostimulants E3 et E4 | 43 |
| Figure 3.4 : | Spectres DRX E3 et E4. | 44 |
| Figure 3.5 : | Estimation de la richesse spécifique (Indice de raréfaction) de l'arthropodofaune folivore de <i>Citrus sinensis</i> Thomson. | 45 |
| Figure 3.6 : | Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore de <i>Citrus sinensis</i> Thomson sous l'effet des Biostimulants. | 52 |
| Figure 3.7 : | Présentation en Box Plot des données expérimentales de la qualité phytochimique de <i>Citrus sinensis</i> Thomson sous l'effet des Biostimulants. | 54 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1 : Composition en acides aminés (% de protéines) du marc de café. | 26 |
| Tableau 2.1 : Composition des deux substrats vermicompostés E3 et E4. | 31 |
| Tableau 2.2 : Les différentes doses des biostimulants vermicompostés E3 et E4. | 32 |
| Tableau 3.1 : Caractérisation des Biostimulants obtenus par MEB-EDX | 42 |
| Tableau 3.2 : Paramètre qualitatif de l'arthropodofaune nuisible et auxiliaire agrumicole sous l'effet des traitements. | 46 |
| Tableau 3.3 : Comparaison des abondances moyennes des nuisibles et des auxiliaires sous l'effet des biostimulants. | 47 |
| Tableau 3.4 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore dans le bloc témoin (Sans traitement). | 48 |
| Tableau 3.5 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet du Biostimulant E3. | 49 |
| Tableau 3.6 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet du biostimulant E4. | 50 |
| Tableau 3.7 : Comparaison des pentes de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants à l'ajustement du modèle MOTOMURA. | 53 |
| Tableau 3.8 : Valeurs de la qualité phytochimique de Citrus sinensis Thomson sous l'effet des différentes doses des Biostimulants. | 54 |
| Tableau 3.9 : Effets des différents traitements sur la qualité physiologique et biochimique des feuilles d'oranger. | 55 |

Table des matières

| | |
|---|----------|
| DEDICACES | |
| REMERCIEMENTS | |
| RESUME..... | |
| ABSTRACT | |
| ملخص..... | |
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES | |
| LISTE DES TABLEAUX..... | |
| INTRODUCTION..... | 1 |

CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|--|----|
| 1.1. Généralités sur les agrumes | 5 |
| 1.2. Importance des agrumes | 7 |
| 1.3. Exigence climatique des agrumes | 8 |
| 1.4. La nutrition minérale des agrumes..... | 9 |
| 1.5. La biodiversité et les traits histoire de la vie | 12 |
| 1.5.1.Approche fonctionnelle de la diversité..... | 13 |
| 1.5.2. Filtre des traitements sur la diversité..... | 14 |
| 1.5.3. Filtre des intrants phytopharmaceutiques sur les ravageurs..... | 15 |
| 1.6. Les biostimulants | 16 |
| 1.6.1.Les types des biostimulants..... | 18 |
| 1.6.1.1. Les biostimulants d'origine bactérienne..... | 18 |
| 1.6.1.2. Les biostimulants d'origine animale | 19 |
| 1.6.1.3. Le compost | 20 |
| 1.6.1.4. Le vermicompost | 20 |
| 1.6.1.5. Les biostimulants d'origine végétale (le marc de café)..... | 24 |

CHAPITRE 2: MATÉRIELS ET MÉTHODES

| | |
|---|----|
| 2.1. Introduction..... | 30 |
| 2.2. Présentation globale des zones d'études | 30 |
| 2.3. Matériels et méthodes d'étude..... | 31 |
| 2.3.1.Obtention des biostimulants vermicompostés..... | 31 |
| 2.3.2. Préparation des doses..... | 32 |
| 2.3.3. Présentation du matériel végétal..... | 33 |
| 2.3.4. Dispositif expérimental et conduite de l'essai..... | 34 |
| 2.3.5.Technique d'échantillonnage et de détermination des espèces inventoriées..... | 34 |
| 2.3.6. Analyse phytochimique. | 35 |
| 2.3.6.1. Quantification et dosage des acides aminés solubles et de la proline..... | 35 |
| 2.3.6.1.1. Dosage des acides aminé soluble..... | 35 |
| 2.3.6.1.2. Dosage de la proline..... | 36 |
| 2.3.6.2. Extraction et dosage des sucres solubles totaux..... | 36 |
| 2.3.6.3. Mesure de la teneur relative en eau | 36 |
| 2.3.7. Analyse des biostimulants vermicompostés E ₃ et E4..... | 37 |
| 2.3.7.1. Analyse par MEB/EDX | 37 |
| 2.3.7.2. Analyse par diffraction des Rayons X (DRX)..... | 37 |
| 2.3.8. Analyse de la biodiversité..... | 38 |
| 2.3.9.Analyse statistiques..... | 39 |

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

| | |
|--|----|
| 3.1. Caractérisation des biostimulants | 40 |
| 3.1.1. Analyse des biostimulants E3 et E4 par la microscopie électronique à balayage (MEB) | 40 |
| 3.1.2. Analyse quantitative des biostimulants E3 et E4 par MEB-EDX..... | 41 |
| 3.1.3. Analyse des biostimulants E3 et E4 par Diffraction des Rayons X (DRX) | 42 |

| | |
|---|----|
| 3.2. Estimation de la disponibilité des taxons folivores | 44 |
| 3.2.1. Estimation de la richesse spécifique..... | 44 |
| 3.2.2. Disponibilité et recrutement de l'arthropodofaune folivore..... | 45 |
| 3.2.3. Estimation du statut écologique de l'arthropodofaune folivore..... | 47 |
| 3.2.4. Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants..... | 50 |
| 3.2.5. Similarité de l'arthropodofaune folivore entre les différents traitements | 53 |
| 3.3. Expression physiologiques et biochimiques des feuilles d'oranger sous l'effet des Biostimulants..... | 53 |

CHAPITRE 4 : DISCUSSIONS

| | |
|---|-----------|
| 4.1. Caractérisation des biostimulants..... | 56 |
| 4.2. Impact des biostimulants sur l'arthropodoaune agrumicole..... | 60 |
| 4.2.1. Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants..... | 65 |
| 4.3. Expression physiologiques et biochimiques des feuilles d'oranger sous l'effet des Biostimulants..... | 67 |
| CONCLUSION –PERSPECTIVES..... | 71 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 74 |

INTRODUCTION

Introduction

Les agrumes sont des cultures d'importance majeure dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans la région méditerranéenne. En Algérie, la culture des agrumes a une grande importance par rapport aux autres arbres fruitiers. Les vergers d'agrumes algériens comprennent diverses espèces telles que les oranges (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), les clémentines (*Citrus clementina* Hort. ex Tan.), les citrons (*Citrus limon* (L.) Burm.) et les pamplemousses (*Citrus paradisi* Macf.). La gamme de cultivars du groupe des oranges est la plus large, avec une prédominance des variétés Washington Navel et Thomson Navel (50 % de la superficie couverte) [1], [2]. Plusieurs facteurs défavorables ont influencé négativement sur la physiologie et la croissance normale des plantes ont entraîné une baisse de rendement total, de la qualité et de la quantité de la production des agrumes en Algérie, malgré leur grande capacité d'adaptation aux différents climats. Parmi ces facteurs, le vieillissement des arbres, la sécheresse, stress hydrique, les pratiques culturales, les méthodes de lutte inappropriées et les effets de divers ravageurs et pathogènes sont les plus importants [3]–[5].

D'après WICAKSONO et al [6], les contraintes de la culture des agrumes sont la présence de la distraction des maladies causées par des agents phytopathogènes appartenant aux virus, viroïdes, phytoplasmes, bactéries, champignons et des ravageurs qui endommagent les racines, les tiges, les feuilles ou d'autres parties de la plante et qui l'empêchent de pousser correctement ou la font mourir [7], [8]. Ils constituent un problème majeur qui peuvent réduire la production et la qualité des récoltes. Parmi les ravageurs d'agrumes en Algérie : les cochenilles (*Parlatoria ziziphi*, *P. pergandii*...) [9], la mouche des fruits (*Ceratitidis capitata* Wiedemann) [10], les aleurodes (*Aleurothrixus floccosus*, *Aonidiella aurantii*...) [11] et les pucerons (*Aphis spiraecola*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Toxoptera aurantii*...) [12], [13].

Généralement, la plante a besoin d'une nutrition en éléments minéraux nutritifs qui sont essentiels pour la croissance et le développement des plantes, la tolérance au stress ou la résistance aux ravageurs et maladies [14].

L'utilisation d'intrants chimiques dans l'agriculture tels que les pesticides est limitée par un cadre juridique plus strict en raison de l'inquiétude croissante du public et soulignée par de nombreuses externalités négatives, notamment : la dégradation des sols et de l'environnement, la résistance des ravageurs, l'épuisement des ressources et la perte de la durabilité de l'agriculture [15]–[17]. En revanche, La demande croissante de la durabilité dans l'agriculture qui consiste à réduire la dépendance à l'égard de ces intrants chimiques non agricoles pour améliorer l'efficacité de l'absorption et l'assimilation des nutriments, le rendement et la tolérance des plantes aux stress environnementaux. Cette demande a mené à l'émergence des technologies prometteuses et respectueuses de l'environnement représentent une alternative intéressante, parmi eux les biostimulants. Ils sont quant à eux un moyen pour aller vers une fertilisation raisonnée limitant les apports en engrais minéraux et la stimulation des défenses naturelles des plantes est vue comme une option pour aller vers la réduction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques traditionnels. [18], [19].

Aujourd'hui, le café est la deuxième matière première la plus échangée après le pétrole, il est préféré pour son goût, son arôme et ses propriétés stimulantes [20]. Au niveau mondial, l'industrie du traitement du café produit près de 33 millions de tonnes de déchets solides de café par an[21]. L'augmentation de la consommation de ce produit est à l'origine de la production d'un nombre croissant de déchets et de sous-produits dans le monde, Chaque tonne de café consommée génère environ 650 kg de résidus. Lors de la période 2020-2021, la consommation mondiale de café s'élevait à près de 10 millions de tonnes, ce qui signifie qu'environ 6,5 millions de tonnes des déchets solides appelés le marc de café[22].

Le marc de café est de petite taille, c'est le principal résidu organique de l'industrie du café obtenu lors de la torréfaction des grains et du processus de préparation du "café instantané" et du "café expresso, il possède une forte humidité [20], [23]. La plupart de SCG finit dans des décharges ou dans les égouts, ce qui constitue un grave problème environnemental lié à la décomposition de la matière organique biodégradable et à la libération de composés potentiellement toxiques, tels que les polyphénols, les tanins et la caféine [21], [24].

La valorisation du marc de café est très intéressante d'un point de vue environnemental et économique car il est riche en minéraux et en matière organique notamment les polysaccharides en particulier la cellulose et de l'hémicellulose et de la lignine .Aussi elle contribuerait à une réduction de leur impact sur l'environnement en diminuant la toxicité, la génération de composés à valeur ajoutée, et la création d'emplois [20], [21].

Les avantages de l'utilisation du marc de café en agriculture sont liés à leur gamme de nutriments, qui peuvent fertiliser le sol, accélérer la croissance des plantes et même améliorer la teneur en nutriments des légumes .Aussi le marc de café ne contient pas de métaux lourds qui peuvent être dangereux pour la chaîne alimentaire .Cependant, les limites de l'utilisation de MC sont liées à leur toxicité en fonction de la quantité utilisée, mais ce problème peut être résolu en compostant les mélanges avec d'autres déchets et en appliquant certains traitements pour éliminer les éléments toxiques, tels que la caféine et les tannins[25]. Il existe une vaste bibliographie sur la valorisation du marc de café par le compostage, par exemple, HACHICHA et al [26] ont rapporté que le compost final (mélange du fumier de volaille, les boues d'épuration des moulins à olives, le marc de café et le champignon de la pourriture blanche *Trametes versicolor* a été ajouté au mélange à la fin de compostage pendant la phase de refroidissement afin de tester la capacité de ce champignon à améliorer les processus d'humification) était mature avec un indice de germination (IG) de l'orge de 120% en moins de 5 mois de compostage. La production d'acide humique était 1,75 fois plus importante dans le mélange inoculé par *T.versicolor* ce qui suggère que le processus d'humification a été renforcé par ce champignon de la pourriture blanche et le marc de café usagé constitue une matière première hautement compostable. RONGA et al [27] ont montré que le compostage pouvait être une bonne pratique durable pour recycler et valoriser le marc de café en tant que composant alternatif des milieux de culture pour remplacer partiellement la tourbe commerciale et les engrais dans la production de plantes en pot.

Le vermicompostage du marc de café constitue une solution peu coûteuse, rapide et respectueuse de l'environnement pour l'élimination des grandes quantités de MC produites chaque année dans le monde. Plusieurs auteurs ont signalé que

l'utilisation de marc de café seul dans le vermicompostage cause une faible survie des vers de terre comme *Eiseinia foetida*, alors ils ont suggéré la possibilité de mélanger le SCG avec d'autres types de déchets pour résoudre ce problème. La dernière décennie a vu une augmentation substantielle du nombre d'études sur la revalorisation du marc de café en tant que matériau biodégradable intéressant les industries pharmaceutiques, cosmétiques, alimentaires et énergétiques. Cependant, peu d'attention a été accordée à ces déchets organiques en tant qu'amendements biostimulants potentiels pour la bioremédiation des sols contaminés[28].

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'évaluer la qualité de deux biostimulants à base de marc de café, matière cellulosique et matière organique obtenue par le vermicompostage et étudié leurs impacts sur la qualité phytochimique de la plante cultivée *Citrus sinensis*, ainsi que leurs effets sur le recrutement des groupes fonctionnels et la structuration populationnelles des espèces folivores.

Le présent travail est structuré en quatre parties principales :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique qui positionne la thèse dans son contexte global ainsi que la plante utilisée pour ce travail.
- La deuxième partie présente des méthodes et des techniques utilisées pour répondre à nos objectifs.
- La troisième partie présente les interprétations des résultats concernant les différentes parties abordées dans la deuxième partie.
- La dernière partie du manuscrit, qui propose une discussion de l'ensemble de ces résultats, une conclusion générale, suggère quelques perspectives à ce travail.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralités sur les agrumes

Le mot 'agrumes' dérive du latin médiéval 'acrumen', désignant dans l'antiquité des arbres aux fruits acides [29]. Les agrumes constituent une grande diversité d'espèces, appartenant à la famille des *Rutacées*, sous-famille des *Aurantioideae*, tribu des *Citreae* et sous-tribu des *Citrinae*. Cette famille comprend environ 160 genres et 1900 espèces. Parmi les genres les plus cultivés : *Fortunella*, *Poncirus* et *Citrus* [30], [31].

Les agrumes sont originaires des pays du Sud-Est Asiatique, leur culture est très ancienne, elle a commencé en Chine. La propagation des agrumes à travers le Monde s'est faite très lentement [32]. La première grande migration des agrumes a eu lieu au premier millénaire avant notre ère, en direction de l'ouest, vers la Mésopotamie. De là, ils atteignirent les rivages de la Méditerranée, l'Égypte et la Grèce entre le VIII^{ème} et le IV^{ème} siècle avant J-C [33], le premier agrume introduit dans le bassin méditerranéen à l'époque d'Alexandre le Grand (III^{ème} siècle avant J-C) est le cédrat sous le nom de pomme de Médie, l'oranger le bigaradier et le citronnier ne soient arrivées en Occident qu'à partir du X^{ème} siècle, lors des échanges commerciaux entre le bassin méditerranéen et l'Asie [32]. Les bigaradiers, les pamplemoussiers et les citronniers furent introduits au méditerrané par les Maures, les Génois et les Portugais (X- XII^{ème} siècles) [33]. La diffusion des agrumes dans le monde au XV^{ème} siècle à cause de l'essor du commerce maritime, ils ont introduit dans les Caraïbes par Christophe Colomb (1493), présents dans plusieurs régions du continent américain au XVI^e siècle [33], et répandus à travers le monde entier à partir des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles [34].

Depuis les années 80, la production des agrumes a connu une forte augmentation dans le monde d'environ 122 Mt et occupe la deuxième place après la production des bananes. Pour la production moyenne mondiale d'agrumes, toutes espèces confondues, s'élève à plus de 110 Mt par an, sur une superficie de 7,5 Mh environ, elle est variée avec les oranges qui représentent environ 60% de la production totale d'agrumes, les petits agrumes qui comptent pour 23 % du volume Mondial, environ 13,7 Mt de citrons et de limes et 4,4 Mt de pomelos [35], [36].

Selon les données du Département Américain de l'Agriculture USDA [37], la Chine est le premier producteur d'agrumes dans le monde avec une part de 34% et un volume de 29.5 Mt, suivie par le Brésil qui présente la deuxième place avec une part de 22% (19,2 Mt). L'Union Européenne (UE) arrive au 3ème rang avec une part de 13% (10,7 Mt), suivi par le Mexique avec une part de 7,9% avec une production de 6,7 Mt et les Etats unis (4,6 Mt). Le Maroc occupe le 7ème rang, suivi par la Turquie avec une part de 1,6% et la Tunisie avec 0,7%.

En 2019 , cette production a atteint plus de 157 Mt avec une production de plus 44 Mt pour la Chine classée comme le premier producteur[38].

En 2020, elle s'est élevée à plus de 158,4 Mt dans le monde avec une production de plus de 44,6 Mt pour la Chine [39].

En 2021/2022, la production mondiale des agrumes a atteint à 158,5 Mt, et les principaux pays producteurs sont la Chine, le Brésil et l'Inde. Si 51% des agrumes sont produits en Asie, 52% des exportations d'agrumes 7,2 Mt proviennent de la région méditerranéenne. La part du lion des exportations provient d'Espagne, d'Afrique du Sud, de Turquie et d'Égypte[40].

Selon un récent rapport du service agricole étranger du Département Américain de L'agriculture (l'USDA), La production mondiale dans toutes les catégories d'agrumes devrait diminuer en 2022/2023 en raison des facteurs négatifs tels que des événements météorologiques défavorables et la hausse des coûts des intrants agricoles. À l'exception de l'Afrique du Sud, du Chili et de l'Égypte[41].

L'Algérie occupe la 19^{ème} place dans le monde et la 2^{ème} en Afrique du Nord dans la production des agrumes [42]. Cette production fruitière est classé la première dans ce pays , dont la plaine de la Mitidja présente la plus grande superficie avec 16970 ha soit 30% la surface agrumicole algérienne avec une production de 215235 tonnes [43]. Cette culture est très ancienne en Algérie. En 1937, les agrumes couvraient environ 10 000 hectares du sol algérien. Et durant les années 1930 jusqu'à l'indépendance de l'Algérie en 1962, le développement de l'industrie française des agrumes en Algérie a connu une croissance rapide en termes de superficie et de production de fruits [44]. En 1970, cette production a atteint 530000 tonnes à cause des efforts fournis pour améliorer le niveau de la production. De la

fin des années 80 jusqu'à 1999, l'agrumiculture a connu une diminution à cause de la faible production, l'arrêt du développement et l'abandonnement des vergers. A partir de cette date, aucune exportation n'a été enregistrée jusqu'à 1995 avec une augmentation de 12000 tonnes [45].

En 2013, la superficie agrumicole totale a connu une progression de 46010 ha en 2000 à 64766 ha en 2013 avec une production totale d'agrumes qui atteint 1.204.801 tonnes de toutes variétés confondues [46]. En 2020, la production totale des agrumes en Algérie a atteint 1564,915 mille tonnes, dont 1174,845 mille tonnes d'oranges 85,303 mille tonnes de citrons et 302,476 mille tonnes de mandarines, clémentines et satsumas [47].

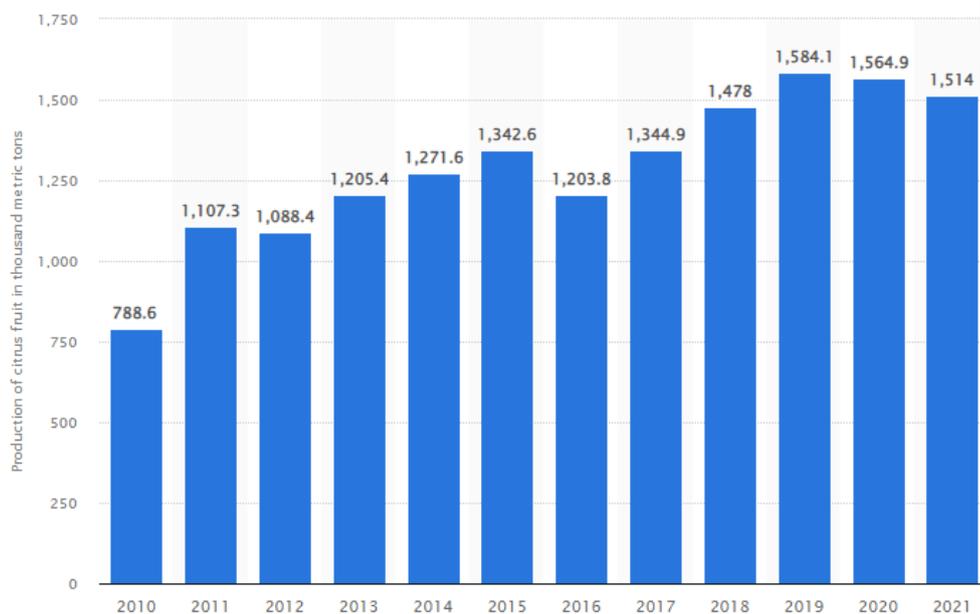


Figure 1.1 : Production d'agrumes en Algérie de 2010 à 2021 (en 1.000 tonnes métriques) [48]

1.2. Importance des agrumes

Les agrumes représentent la première catégorie fruitière en termes de valeur en commerce international, cette importance est justifiée par leur consommation et commercialisation sous forme des fruits frais ou des produits transformés en jus ou sirop. La valeur nutritionnelle des agrumes est très diversifié, ils sont riches en vitamine C avec une teneur de 40 mg/ 100 g, B6, constituent une source de fibres avec une teneur se situe dans la moyenne des autres fruits (1,8 g/100 g), d'acide

ascorbique et folique, du potassium et du calcium. En outre, ils ne contiennent ni graisses, ni cholestérol [45], [49].

En plus de l'intérêt alimentaire, les agrumes sont très utilisés en pharmacologie ils possèdent des métabolites et des composés secondaires (vitamines C et E, c'est-à-dire tocophérols, pro-vitamine A, flavonoïdes, limonoïdes, polysaccharides, lignine, fibres, polyphénols, huiles essentielles) présentant des bienfaits et des propriétés intéressantes pour la santé, telles que des propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, anti-cholestérol et allergiques. Ils peuvent contribuer à la diminution des risques de maladies cardio-vasculaires, de certains cancers ainsi que de maladies congénitales chez le nouveau-né et l'obésité [45], [50]. En outre, Le pamplemousse ou le jus de pamplemousse (GFJ) est souvent préconiser dans une alimentation saine pour les personnes qui souffrent d'un excès de poids car il aide à réduire le poids et a de nombreux bienfaits pour la santé[51].

Les agrumes possèdent un produit agricole essentiel qui fournit une source de revenus nationaux et d'emplois pour les zones rurales et périurbaines. Comme ce sont des plantes ornementales, elles contribuent à créer un agro-écosystème plus stable et à protéger l'environnement. Cette culture présente une importance économique considérable, c'est une source d'emploi et d'activité économique, un produit d'exportation et une culture de rapport dans de nombreux pays [32].

1.3. Exigence climatique des agrumes

Les agrumes s'accroissent sur des sols aux textures différentes, les meilleurs sols pour la production d'agrumes sont les limoneux sableux , profonds et bien drainés qui présentent un pH de 5 à 7,5 et un faible degré de salinité .Les agrumes sont très sensibles au froid et gel qui affecte gravement le feuillage et détruit la charpente [52], [53]. D'après SINGH et RAJAM [54], ils ont besoin d'une température élevé pour atteindre une croissance et maturation appropriées des fruits et la température nécessaire pour la croissance optimale est 20°C la nuit et 35°C le jour.

Pour les besoins en eau , les agrumes exigent une quantité d'eau qui varie selon le climat entre 1200 et 2400mm/an pour éviter tout stress hydrique [53]. Selon REBOUR [55], les agrumes sont généralement irrigués, la précipitation de la région de culture n'a pas une grande importance, mais les eaux de pluie produisent des

meilleure récolte par rapport aux eaux d'irrigation car elles sont riches en principes fertilisants. Malgré la quantité globale de pluie, la répartition inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'intensité de l'évapotranspiration potentielle jouent un rôle régulateur des activités biologiques. La répartition des précipitations au cours de l'année influe sur le citronnier surtout après la période de sécheresse, la pluie déclenche la floraison ce qui produit plusieurs récoltes au cours de l'année [56].

Le vent cause des dégâts très importants sur les agrumes par sa violence et son action mécanique, il provoque des blessures sur les fruits, des dommages incalculables sur les jeunes plantations comme la chute précoce des fruits et au moment de la floraison, le sirocco (vent sec et chaud) cause le dessèchement. Les agrumes doivent être protégés des vents par l'installation de brise vent qui augmente également le rendement par suite de la réduction des dégâts mécaniques causés au feuillage, aux fleurs et aux fruits. C'est un moyen d'amélioration de la qualité externe du fruit [46], [57].

Les agrumes ne s'adaptent pas à une humidité atmosphérique excessive, elle favorise la prolifération des cochenilles et donc le développement de la fumagine, des moisissures et elle cause la pourriture des fruits [46], [55]. D'autre part, la faible humidité augmente la transpiration des agrumes et élève le besoin en eau d'irrigation et pendant la saison chaude, elle peut provoquer des attaques de phytophthora et son excès dans cette saison favorise le parasitisme, mais réduit également la transpiration de l'arbre et donc ses besoins en eau (moyenne de 40m³/ha/jour en été)[56].

1.4. La nutrition minérale des agrumes

Les nutriments essentiels dans la croissance des plantes sont de 17 éléments : carbone (C), hydrogène (H), oxygène (O), azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), fer (Fe), zinc (Zn), manganèse (Mn), bore (B), cuivre (Cu), molybdène (Mo), chlore (Cl) et nickel (Ni). Ces éléments sont divisés en 3 groupes : les éléments organiques, les éléments minéraux majeurs et les éléments minéraux mineurs.



Figure 1.2 : Les besoins en nutriments des agrumes selon le stade de croissance.

Les éléments organiques sont trois : le carbone C représente 44 %, l'hydrogène 6 % H et l'oxygène O représente 44 % soit au total 94 % de la matière sèche d'un végétal, avec une variabilité de 90 à 95 %. Les plantes prennent ces éléments organiques à partir du dioxyde de carbone et de l'eau [58], [59].

Les éléments minéraux majeurs sont six : N, Ca, Mg, P, K et S, les teneurs de ces éléments dans les tissus foliaires sont variables selon les espèces, variétés et conditions du milieu de culture et les éléments minéraux mineurs sont sept : Fe, B, Mn, Zn, Cu, Cl et Mo [58].

Les éléments minéraux majeurs et mineurs sont appelés les éléments ou les nutriments minéraux essentiels nécessaires, ils sont obtenus sous forme d'ions qui se trouvent dans la solution de sol. Cette solution de sol (appelée facteur d'intensité) est alimentée par solubilisation, par les réserves de la phase solide du sol (appelées facteur de capacité) [58].

Malgré que le calcium et le potassium soient utilisés en grandes quantités, mais **l'azote** reste l'élément minéral le plus utilisé par les agrumes pour produire les fleurs, les fruits et les feuilles des citrus qui ne représentent que 20% du poids totales de l'arbre, contiennent 41% de l'azote total de l'arbre. L'azote a un grand impact sur la croissance, l'apparence des arbres, la production et la qualité des fruits, il influe sur l'absorption et la distribution de presque tous les autres éléments, c'est un composant essentiel dans la production des engrais minéraux appliqués

aux plantations d'agrumes et un éléments important pour l'arbre dans tous les stades de croissance (figure 1.2) surtout le stade de la floraison et la nouaison [53], [59].

Le phosphore constitue 0,1 à 0,6 % de la matière sèche, il est présent dans tous les tissus vivant et situé dans les partie jeune de la plante, fleurs et grains. Il est nécessaire dans plusieurs processus tel que la synthèse et la décomposition des glucides, le transfert d'énergie à l'intérieur de la plante (ATP) et la photosynthèse. Il aide la plante à utiliser et stoker l'énergie de la photosynthèse pour former les grains, développer les racines et résister aux stress. Il joue un rôle au cour de la floraison, nouaison, précocité de la production, grossissement des fruits, maturation des grains (Figure 1.2) et de l'assimilation de l'azote [58]–[60]. D'après OTHMANI [53], les besoins des agrumes en phosphore sont peu élevés et les racines peuvent accumuler une grande quantité de cet élément au cours de repos végétatif. La carence en phosphore cause une diminution de la croissance des plantes, un retard de la floraison et les feuilles âgée prennent une couleur rouge violette [61], [62].

Le potassium est le composant minéral principal et indispensable des fruits, sa teneur chez les agrumes varie entre 0,3 et 2% de la matière sèche ,elle est fortement dépendante des variétés et des porte-greffes [60], [63]. C'est un élément important dans tous les stades de croissance (Figure 1.2) pour la formation des fruits et l'amélioration de leur taille, leur saveur et leur couleur. Il aide à réduire l'influence des conditions climatiques défavorables comme la sécheresse, le froid et les inondations, il améliore la santé des plantes, leur résistance aux maladies et leur tolérance aux nématodes et aux insectes. Une carence en K peut entraîner une réduction de la taille de la plante , altération de la synthèse des protéines, de la cellulose et de l'amidon, une perte de rendement et de qualité de la récolte [59], [64].

Le calcium se trouve principalement dans les feuilles des plantes, un tiers des cendres des feuilles de *Citrus* est composé de calcium. Il joue un rôle dans la neutralisation des acides organiques, c'est un élément important dans tous les stades de croissance (Figure 1.2), surtout pour le développement et le fonctionnement des racines et dans la résistance aux maladies des plantes [58],

[59], [65]. En cas de carence en Ca, les plantes deviennent plus sensibles aux pathogènes tels que les champignon[64].

Le magnésium entre dans la composition de la chlorophylle et joue un rôle important dans la photosynthèse et dans l'activation de plusieurs enzymes, il stimule également l'absorption et le transport du phosphore. Une carence de cet élément cause une décoloration qui commence entre les nervures des feuilles plus âgées et qui atteint à la nécrose, réduit le rendement ainsi que le calibre et la qualité des fruits [56], [59], [65].

Le soufre est un élément important dans la production des acides aminés et certaines hormones végétales, la carence de cet élément dans les plantes retarde la synthèse des protéines [59].

Selon SILVA-STENICO [66], **le fer** est un composant de plusieurs enzymes liées au transfert d'énergie, la réduction et la fixation de l'azote, il participe dans la production de la chlorophylle. **Le bore** est lié à la formation de la paroi cellulaire, aux transports du sucre dans la plante, formation et germination du pollen. **Le manganèse** est très important à la photosynthèse, formation des composés nécessaires pour le métabolisme de la plante et métabolisme de l'azote. **Le zinc** est un composant essentiel de diverses enzymes nécessaires à la transformation de l'énergie, synthèse des protéines et régulation de la croissance. **Le chlorure** est lié à l'équilibre des charges électriques, à l'effet du sel dans les fonctions physiologiques des plantes.

D'après ZEKRI et al [59], **le cuivre** joue un rôle important dans la formation de la chlorophylle et dans la photosynthèse, il régule plusieurs processus biochimiques dans la plante. Une forte fertilisation en azote augmente la gravité de carence en cuivre. **Le molybdène** est considéré comme un catalyseur qui facilite la conversion de l'azote gazeux en formes utilisables par les micro-organismes fixateurs d'azote, il contribue à la formation des protéines végétales, de l'acide aminé, d'amidon et des vitamines des agrumes.

1.5. **La biodiversité et les traits histoire de la vie**

La spécialisation écologique induit certainement une évolution des traits d'histoire de vie des organismes. Ces adaptations dans leurs traits d'histoire de vie permettent aux individus de mieux répondre en termes de valeur sélective aux pressions de sélection qu'ils subissent dans leur habitat, que ces pressions

proviennent des ressources utilisées ou des interactions interspécifiques existant au sein de leur communauté [67].

Selon BARBAULT [68] et BEGON [69], pour comprendre la distribution et l'abondance d'une espèce, il est nécessaire de connaître son histoire, les conditions environnementales favorables, les ressources nécessaires, ses paramètres démographiques et les effets des interactions intra et interspécifiques. Les traits d'histoire de vie nécessitent la combinaison d'informations provenant de l'écologie, qui détermine les pressions de sélection, de la génétique quantitative et des compensations entre traits d'histoire de vie, dont les composantes sont à la fois physiologiques et génétiques. La théorie des traits d'histoire de vie cherche donc à fournir une explication évolutive pour interpréter la diversité et la complexité du cycle de vie d'une espèce, à élucider le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance et la maintenance des fonctions somatiques avec les performances reproductrices, ou "effort de reproduction". Les stratégies individuelles varient cependant au sein d'une population, cette diversité étant liée à la qualité hétérogène des individus, mais aussi à l'hétérogénéité spatiale et/ou temporelle des conditions environnementales. De ces interactions va résulter la valeur sélective des individus, et le cadre dans lequel ces interactions vont pouvoir varier est limité par des contraintes définies par l'histoire évolutive des espèces. Ces contraintes restreignent donc les capacités de réponse des individus aux changements environnementaux et se répercutent in fine sur les capacités dynamiques des populations [70].

1.5.1. Approche fonctionnelle de la diversité

L'approche fonctionnelle de la diversité, se propose de décrire les organismes par leurs propriétés fonctionnelles, qui sont plus directement utilisables dans un contexte agro-écologique [71], [72]. En effet, Les pratiques agricoles mises en œuvre au niveau de la parcelle peuvent être considérées comme des facteurs du milieu particuliers qui agissent sur les organismes. Dans le paradigme "trait-environnement" qui s'est développé en écologie des communautés au cours des 25 dernières années [73], ces facteurs sont considérés comme des filtres qui vont déterminer la composition des communautés locales à partir du pool d'espèces disponibles à un niveau régional (Figure 1.3).

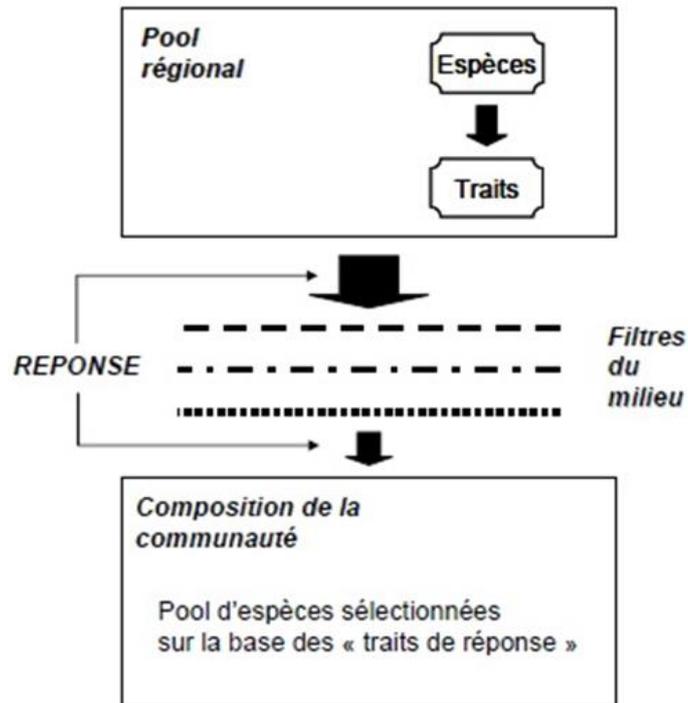


Figure 1.3 : Schéma conceptuel présentant les effets des facteurs du milieu sur la composition des communautés [74], [75].

1.5.2. Filtre des traitements sur la diversité

Les pesticides employés pour lutter contre les organismes nuisibles peuvent se retrouver dans l'environnement. Ils risquent alors d'engendrer une contamination ponctuelle ou diffuse [76].

Lorsqu'ils se retrouvent dans les milieux naturels, les pesticides peuvent avoir différents impacts sur la biodiversité. Ceux-ci peuvent être directs ou indirects. Les impacts des pesticides sur l'environnement et la biodiversité sont cependant difficiles à circonscrire vu le nombre élevé d'organismes vivants, leur sensibilité différente aux pesticides, la grande diversité des milieux et des pesticides employés, ainsi que la difficulté de recenser les effets engendrés. Les risques attribuables aux pesticides sont donc encore incertains et relativement méconnus. Ils peuvent avoir des effets toxiques sur le court terme sur les organismes qui y sont directement exposés, ou des effets sur le long terme, en provoquant des changements dans l'habitat et la chaîne alimentaire [77].

1.5.3. Filtre des intrants phytopharmaceutiques sur les ravageurs

La variation des rendements des cultures est associée à des dégâts sporadiques causés par les ravageurs tels que les insectes, les nématodes. De plus, les infestations des ravageurs peuvent parfois affecter de vastes zones, touchant les rendements globaux et les prix des produits de base. Généralement, les intrants tels que certains traitements de pesticides qui diminuent les dommages causés par les ravageurs sont considérés comme facteur réducteur de rendement et de déséquilibre biologique, entraînant par la suite une pullulation brusque et apparemment déconcertante d'un ravageur quelconque et des maladies cryptogamiques d'une plante [78]. Une étude approfondie sur les déséquilibres biologiques induits par les traitements phytosanitaires met en évidence l'importance de l'état physiologique, biochimique et les facteurs nutritionnels d'une plante dans sa sensibilité aux maladies et aux ravageurs animaux [79].

Dans la fertilisation minérale, DURENOY [80] fait remarquer «qu'un déséquilibre alimentaire, et en particulier un dérèglement du rapport N-P-K peut influencer la résistance des plantes aux maladies et une déficience d'un éléments minéraux qui bloque l'utilisation des autres éléments présents en proportion relativement excessive provoquant, dans la solution vacuolaire des cellules, une accumulation de produits solubles, tels que les acides aminés. L'augmentation de niveau et le transport de l'azote soluble à cause d'une déficience en potassium accélère la sénescence des feuilles, déclenchement de l'hydrolyse des protéines et favorise la sensibilisé aux pucerons [81].

L'enrichissement de la sève élaborer en azote soluble provoque un état biochimique de la plante favorable à la multiplication des pucerons, des Cicadelles, des Acariens et des attaques des cochenilles [81].

Les intrants possèdent plusieurs effet négatifs, des études montrent que l'effet néfaste de certains pesticides : divers insecticides et acaricides sur la physiologie de la plante entraînent un arrêt de la photosynthèse et infectent la plante et la rendre susceptible aux maladies et aux acarien [79].

Une enquête au Maroc montre que un traitement de pesticide appliqué sur citrus contre les cochenilles et la pou rouge de californine : *Aonidiella aurantii* a conduit à

la pullulation des Tetranyque et l'application de traitement à base de DDT sur les orangers entraîne une grave pullulation *Tetranychus telarius* et deux espèces de cochenille : la Cochenille chinoise *ceroplaste sinensis* et la cochenille australienne *Icerya purchi* [82].

THOMSON [83], a cité que l'utilisation de traitement cuprique sur citrus entraînent des multiplications des Tetranyque *Paratetranychus citri*, Aleurode : *Dialeurode citrifolius* et la cochenille blanche des agrumes *Pseudococcus citri*.

DELUCCHI et LIBAN [84] ont montré que les pesticide : produit cuprique, sulfate de zinc, soufre et insecticide phosphoré de synthèse augmentent sensiblement les populations d'acararien tel que *Aceria sheldoni*. Aussi, Une erreur dans la fertilisation notamment l'abus d'engrais azoté, cause une exacerbation de sensibilité de nombreuses plantes aux maladies et les insectes.

Les intrants possèdent aussi des effets positifs sur les attaques des ravageurs, tels que la fertilisation organique. Un certain nombre de travaux ont montré les effets bénéfiques de divers oligo-éléments aux maladies qui favorisent la croissance des plantes et qui sont indispensables pour l'augmentation la résistance de la plante, tels que la résistance de la pomme de terre au mildiou et la Tournesol au pourriture blanche *Sclerotinia* s'accompagne d'un accroissement des rendements et de la teneur en huile des graines sous l'action de ces olégo –éléments [79].

D'après les travaux de STALL et al [85], les amendements à base de calcium entraînent une régression de divers maladies telles que les attaques de *Botrytis* et du *Verticellium* de la tomate, le *Rhizoctonia soloni* du haricot et de la Verse [86], [87].

1.6. Les biostimulants

L'agriculture et l'horticulture modernes dépendent largement de l'apport externe de nutriments minéraux sous forme d'engrais synthétique qui cause un grave danger pour la santé humaine et l'environnement. En raison de la demande croissante de durabilité dans l'agriculture pour réduire l'utilisation des produits chimiques et la dégradation de l'environnement afin d'obtenir une production des fruits sains et durables, améliorer la tolérance des plantes aux stress, augmenter les profits des producteurs et à réserver les ressources naturelles, cela a conduit à

l'émergence des principes de la production biologique pour remplacer l'utilisation de ces produits chimiques par des substances naturels et organiques comme les biostimulants [88]–[90].

Le biostimulant est parmi les innovations technologiques prometteuses et respectueuses de l'environnement. Cette substance organique est appliquée en petites quantités, elle améliore la croissance, la nouaison, la productivité des cultures, l'efficacité de l'utilisation des nutriments et le développement des plantes (Figure 1.4) [91], [92].

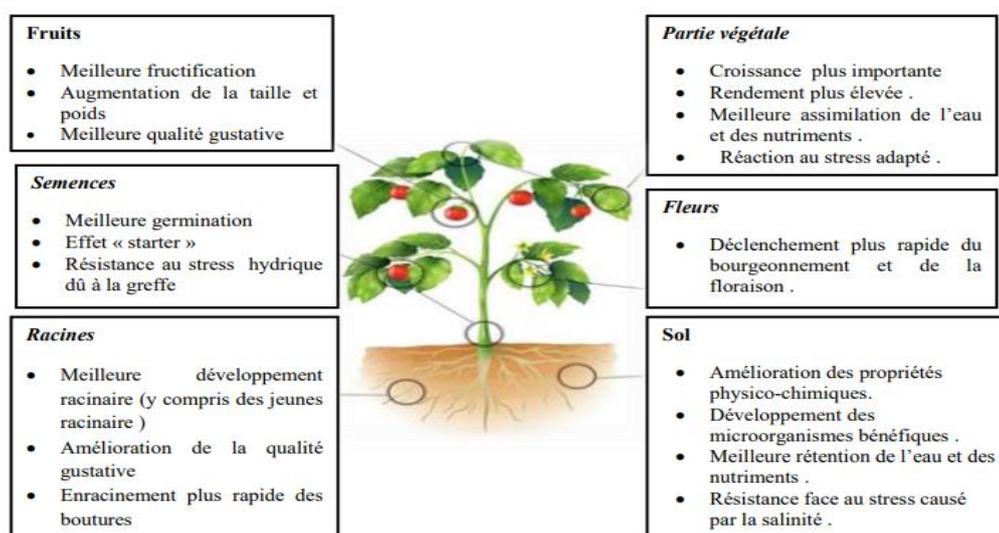


Figure 1.4 : Principaux effets et actions physiologiques entraînés par les biostimulants [93]

Le biostimulant est défini par YAKHIN *et al.* [94], comme « un produit d'origine biologique qui améliore la productivité des plantes consécutive à des propriétés émergentes provoquées par les complexes de constituants, et non comme seule conséquence de la présence de nutriments essentiels, de régulateurs de croissance des plantes ou de composés protecteurs des plantes connus ».

Généralement, les biostimulants sont censé être inoffensifs pour les organismes vivants, biodégradables, non toxiques, non polluants et dont on peut tirer la même conclusion pour ses dérivées [95].

1.6.1. Les types des biostimulants

1.6.1.1. Les biostimulants d'origine bactériennes

Parmi les bactéries libres vivant principalement isolées dans la rhizosphère, on trouve des rhizobactéries qui sont appelées PGPR (plant growth-promoting rhizobacteria)[96], ce genre de bactérie peut réduire l'application des engrais chimique car il joue un rôle important dans l'augmentation de la fertilité du sol, la suppression des phytopathogènes et favorisant la croissance des plantes[97].

Les rhizobactéries peuvent être classés en 2 groupes en fonction du compartiment de la plante qu'ils occupent : (i) Les rhizobactéries extracellulaires (ePGPR) se trouvent dans la rhizosphère, sur la surface des racines (le rhizoplane) ou dans les espaces intercellulaires du cortex racinaire. On peut citer quelques bactéries de ce groupe : *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, et *Serratia*. (ii) Les rhizobactéries intracellulaires (iPGPR) se trouvent généralement à l'intérieur des structures nodulaires spécialisées des racines, ils comprennent *Allorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* et *Rhizobium* [98], [99].

Nombreuses études montrent qu'il existe un certain nombre de mécanismes utilisés par les PGPR pour améliorer la croissance et le développement des plantes, tels que les mécanismes direct et indirect (Figure 1.5). Le PGRP par le mécanisme direct affecte l'équilibre des régulateurs de croissance de la plante, facilite l'absorption des nutriments et augmente leur disponibilité par la fixation de l'azote, la solubilisation des nutriments minéraux tels que le phosphate et le potassium, la minéralisation de composés organiques et la production des chélateurs de fer et des phytohormones et stimule les mécanismes systémiques aux résistances aux maladies[98], [100], [101].

Les PGR par le mécanisme indirect favorise la croissance des plantes et réduit les besoins en produits agrochimiques (engrais et pesticides) afin d'obtenir une fertilité durable du sol par divers processus tels que la production d'antibiotique, d'enzyme hydrolytique et de sidérophores, etc.....(Figure 1.5) [97].

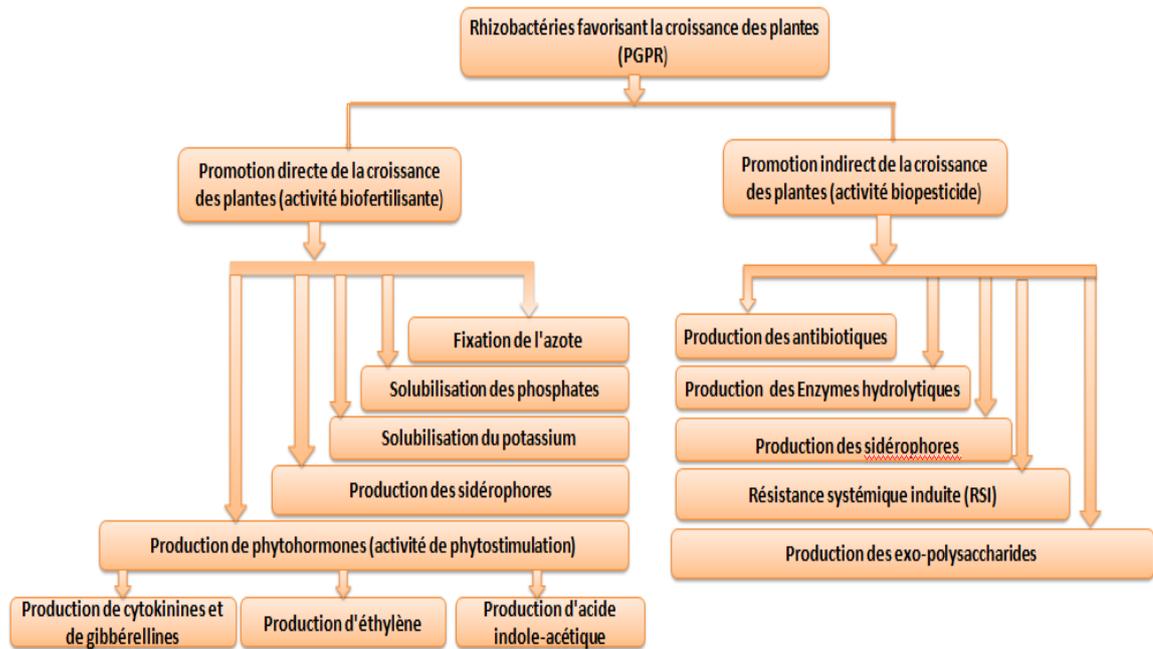


Figure 1.5 : Schéma de mécanisme direct présenté par la Rhizobactéries PGPR [97].

1.6.1.2. Les biostimulants d'origine animale

Les biostimulants d'origine animale sont des déchets industriels tels que les fientes de volaille, la bouse de vache, le fumier de chèvre, le fumier de porc, le sang desséché et le sang de porc, etc. Malgré que leur décomposition soit lente mais elles possèdent un effet positif sur la croissance des plantes et le stress thermique. Les biostimulants constituent une source potentielle d'éléments nutritifs essentiels pour les plantes tels que le phosphore, le potassium et l'azote qui s'est révélé très efficace pour stimuler la croissance des plantes et joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité du sol [95], [102]–[104]. Plusieurs études montrent que le fumier animal améliore la bioremédiation en fournissant des nutriments favorisant la croissance et les activités microbiennes responsables de la dégradation des hydrocarbures. Cependant, parmi les fumiers animaux couramment utilisés les excréments de volaille comme étant un meilleur biostimulant. En outre, le fumier animal séché au soleil et pulvérisé a donné de meilleurs résultats. Il a été observé que le fumier animal sert de substrat aux vers de terre, ce qui accélère leur potentiel à assainir le sol [104].

1.6.1.2.1. Le compost

Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliqués aux sols en tant que fertilisant, après un compostage approprié [105]. Le compostage est un processus naturel biologique de décomposition des déchets organiques en substance amorphe et stable de type humus par des micro-organismes dans des conditions contrôlées telles que : la température, l'humidité et l'aération [106]. Des études montrent que le compostage est un processus biochimique complexe qui joue un rôle primordial dans l'amélioration de la fertilité du sol, la réduction des émissions de méthane des décharges, le recyclage des nutriments dans les sols et de tuer les bactéries pathogènes, etc..... [107], [108]. Le produit obtenu par ce processus est appelé le compost, mûr a l'apparence, de couleur brun foncé, et d'une odeur d'un terreau [109]. La production de ce produit favorise les pratiques agricoles durables et réduit la dépendance aux ressources finies. Il peut être manipulé, stocker et appliquer sur les terres sans impact sur l'environnement [110], [111].

1.6.1.2.2. Le vermicompost

Le vermicompostage est un processus éco-biotechnologique et mésophile bio-oxydant de gestion des déchets d'origine organique dans lequel des espèces de vers de terre détritvires interagissent avec des micro-organismes, affectant fortement les processus de décomposition, accélérant la stabilisation de la matière organique et modifiant considérablement ses propriétés physiques, chimiques et biologiques pour obtenir un matériau stable de meilleur qualité appelé le vermicompost [112]–[114].

Le vermicompost est un engrais organique finement devisé, semblable à la tourbe, riche en nutriment, présentant un faible rapport C : N, une porosité élevée, une bonne aération, un bon drainage, une capacité tampon, une bonne capacité de rétention en eau, une activité microbienne, un excellent statut nutritif ce qui lui confère les caractères physico-chimiques nécessaires à la fertilité du sol et à la croissance des plantes. Il contient la plupart des nutriments sous forme facilement assimilable par les plantes [115], [116]. D'après MUSTAPHA et al. [117], le vermicompost est un engrais organique prometteur qui peut améliorer la croissance

végétative et le rendement de nombreuses plantes, car sa valeur nutritionnelle est plus élevée que le compost traditionnel, Cela est dû à l'augmentation du taux de minéralisation et d'humification due à l'action des vers de terre.

Les turricules de vers sont riches en nutriments et en micro-organismes donc ils sont considérés comme un produit de plus grandes valeurs qui contient jusqu'à 5 fois plus de nutriments disponibles pour les plantes que les mélanges de terreaux. Le phosphore est généralement considéré comme un élément limitant la croissance des plantes. Des études montrent que lorsqu'il traverse l'intestin des vers il sera convertie en une forme disponible pour les plantes et généralement tout processus qui augmente considérablement la disponibilité du phosphore pour les plantes et la matière organique sera très important pour l'agriculture[118].

Il existe des espèces de vers de terre adaptées au vermicompostages : ce sont les espèces épigées [119]. notamment *Eisenia andrei* , *Eisenia foetida* , *Dendrobaena veneta* et dans une moindre mesure, *Perionyx excavatus*, et *Eudrilus eugeniae* [120]. Les espèces les plus couramment utilisées dans les installations de lombricompostage et de lombriculture dans le monde sont *Eisenia andrei* et *Eisenia foetidae*[112].

Le vermicompost contient 2 à 3% d'azote (N), 1,55 à 2,25% de phosphore (P), 1,85 à 2,25% de potassium (K), des oligo-éléments, des microbes qui présentent des effets bénéfiques pour le sol comme les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens et des micronutriments comme le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S), le fer (Fe) et le zinc (Zn) qui présentent des effets bénéfiques sur la croissance et le rendement des plantes [115], [118]. Le vermicompost possède aussi des substances humiques qui agissent sur le développement des plantes et des régulateurs de croissance tels que les auxines, les gibbérellines et les cytokinines qui sont produits par les activités des microorganismes tels que les bactéries, les champignons, les actinomycètes qui sont responsables de la croissance des plantes et le rendement des cultures[121]–[125].

L'agriculture contemporaine a un besoin de plus en plus grand de protéger ses cultures et ses récoltes et de limiter l'utilisation des pesticides contre les maladies

et les ennemies de culture à cause de sa toxicité et ses impacts négatifs sur l'environnement et donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou pour combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN) comme solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir[126], [127].

Des nombreuses études ont démontré l'importance du vermicompost et son utilisation comme amendement dans l'amélioration de la production agricole [128]. C'est un fertilisant bénéfique pour l'environnement qui permet de réduire la quantité de déchets mis en décharge et les besoins et l'utilisation d'engrais chimiques [129]. L'application de ce biofertilisant sur un sol renforce la fertilité du sol, inhibe le développement des champignons du sol (*Pythium*, *Rhizoctonia*), c'est la base de la suppression de certaines maladies des plantes, aussi il améliore la porosité et la capacité de rétention d'eau, l'aération du sol et assure une bonne activité des microorganismes[130].

Un autre avantage de l'utilisation du vermicompost est leur teneur élevée en macro et micro-éléments par rapport aux autres composts organiques [131]. En outre, le vermicompost augmente ces nutriments comme azote (N), phosphore (P), magnésium (Mg) et calcium (Ca) qui possèdent des effets positifs pour la croissance et la qualité des plantes en les transformant en une forme disponible pour la plante et il améliore l'activité des microorganismes bénéfiques [132]. Une étude montre que l'utilisation de lombricompost comme alternative aux engrais inorganiques peut être une meilleure option pour réduire l'accumulation des nitrates dans les légumes qui peut être préjudiciable à la santé[133].

Plusieurs études de terrain montrent que le vermicompost a des effets sur les insectes nuisibles et les acariens si on l'ajoute au sol. Il diminue considérablement l'incidence des psylles *Heteropsylla cubana*, de l'insecte suceur *Approaerema modicella*, des coleoptères, une suppression considérable de nématodes des racines *Meloidogyne incognita*, une suppression drastique des tétranyques *Tetranychus spp* et des pucerons *Myzus persicae* dans les plants de tomates après l'application du thé de vermicompost et une réduction significative des cochenilles

pseudococcus sp dans les fermes des légumes après l'utilisation du vermicompost obtenu à partir des déchets de cuisine [118], [133], [134].

XIAO ZHENGGAO et *al.* [135], ont démontré que le vermicompost pourrait aider le cultivar des plants de tomates sensibles à résister aux infections de Nématode à galles *M. incognita* en augmentant et favorisant la synthèse des composés et des métabolites de défense des racines, l'expression des gènes liés à la défense et l'amélioration de manière significative les propriétés et la qualité du sol, en particulier le pH, l'IAA (indole-acetic acid) et l'activité microbienne, ce qui pourrait collectivement stimuler la croissance des plantes pour tolérer les infections de Nématode à galles *M. incognita*. En outre, Il pourrait aussi supprimer de manière significative des ravageurs des racines en modulant les propriétés du sol ainsi que les défenses des plantes, en particulier pour les plantes sensibles.

Le vermicompost possède aussi une capacité de combattre les maladies des plantes transmises par le sol, comme la pourriture des racines, et de supprimer 20 à 40% de l'infection des insectes nuisibles tels que la punaise velue *Pseudococcus spp* et la chenille blanche du chou *Peiris brassicae* sur le poivron *Capiscum annuum*, le chou *Brassica oleracea* et sur la tomate *Lycopersicum esculentum* [136].

En ce qui concerne la suppression des maladies fongiques, des études ont montré que l'ajout du vermicompost à trois espèces de plantes ornementales de manière significative permet de réduire la sporulation du pathogène *Phytophthora cryptogea*. Les extraits aqueux du vermicompost sont capable aussi de réduire et d'inhiber la croissance de champignons pathogènes comme *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Corticium rolfsii*, *Rhizoctonia solani* et *Fusarium oxysporum* [118]. L'ajout de vermicompost solide aux graines de tomates est capable aussi de réduire l'infection causée par le champignon tellurique *Fusarium lycopersici* et le champignon *Phytophthora nicotianae* [137], [138]. Une autre étude a montré que la pulvérisation foliaire de l'extrait du vermicompost permet de réduire l'apparition de troubles mycologiques sur les cultures causés par des champignons tels que *Phytophthora infestans*, *Erysiphe pisi*, et *Erysiphe cichoracearum*. La production de substances de défense par la plante est un résultat de la résistance systémique par le vermicompost qui favorise la réduction des maladies [133].

1.6.1.2. Les biostimulants d'origine végétale (Le marc de café)

Aujourd'hui le café est l'une des boissons les plus populairement consommées dans le monde [139]. Près de 50% du café produit dans le monde est utilisé pour la préparation du café moulu [140], ce qui génère par sa consommation des quantités importantes d'un résidu solide qu'on appelle marc de café.

Le marc de café (*en anglais spent coffee grounds, SCG*) est un déchet obtenu après l'infusion de la poudre de café dans l'eau chaude pour la préparation du café instantané [139], chaque kilogramme de café torréfié produit environ 1,2 kg de marc de café et six millions de tonnes de marc de café sont produites chaque jour dans le monde [141], [142].

Le marc de café a un impact considérable sur l'environnement, en produisant d'énormes quantités de déchets solides et liquides [143]. Le non traitement de tels résidus présente des enjeux environnementaux indélébiles. La composition chimique du marc de café est très riche et variée donc il peut être valorisé en tant qu'une source très importante de composés naturels à usage biologique et thérapeutique [144].

-Propriétés physico-chimiques du marc de café

Le marc de café possède plusieurs propriétés : physiques, chimiques et également bioactives [145]. Le marc de café contient une forte teneur en humidité variant entre 55% et 80% [146], plus l'humidité est élevée plus la croissance microbienne est favorisée [145]. Le diamètre des grains de marc de café séchés varie entre 50 et 100 μ m. Ce diamètre augmente avec le taux d'humidité [147]. La densité apparente du marc de café est environ de 0,42 g/cm³ et la densité réelle est d'environ 1,16 g/cm³, concernant leur porosité, les grains de marc de café ne possèdent pas des micropores. En général, la porosité est de 0,63, peu importe le taux d'humidité et la taille des pores, est d'environ 10 μ m [147]. Cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité du marc de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine [139]. Enfin, la surface des grains est de charge négative [148].

Le pouvoir calorifique du marc de café est évalué en moyenne à 5000 kcal/kg de matière sèche. Des études affirment que ce pouvoir est de 5700 kcal/kg [149], ce

pouvoir est diminué lorsque le taux d'humidité du marc de café augmente. Aussi, la température de combustion spontanée du marc de café est de 460°C [145].

La composition chimique de marc de café dépend du type et de l'âge de cafiier, de l'emplacement géographique ou le cafiier est cultivé ,le climat et les conditions du sol de la région [150]. Le marc de café est constitué de carbone avec une quantité de 49,7%, c'est l'élément majoritaire de sa composition, de 2,3% d'azote, et le C/N peut varier entre 20 et 24, de l'oxygène, de l'hydrogène, de polysaccharides, de lipides, de protéines, de polyphénols et de minéraux [151], [152].

D'après CARASSOU [145], les glucides sont les éléments les plus abondants dans le marc de café. En effet, il est riche en polysaccharides [153], il est reconnu comme une source importante de matières lignocellulosiques. Cette matière représente au moins 45 à 50% de la masse du marc de café ,elle est principalement composé de 8,6% à 13,3% de la cellulose ou le glucane, de 30% à 40% Des hémicelluloses et de 25% à 33% de lignine [154]–[156]. Les monosaccharides majoritaires de la partie hémicellulose trouvée dans le marc de café sont 46,8 % de mannose, 30,4% de galactose, 19% de glucose et 3,8% de l'arabinose. Ces données varient d'une étude à l'autre, probablement en raison des différents variétés de grains de café utilisés [157].

Le taux des lipides varie entre 9,3 % à 16,2%, parfois aux alentours de 20% [151]. Ils ont composé de 84,4% de triglycérides. Ceux-ci sont représentés par l'acide linoléique(C18:2), l'acide palmitique (C18:2) et (C16:0), l'acide oléique (C18:1) et l'acide stéarique [158]. Les lipides du marc de café contiennent aussi des stérols, dont le sitostérol (10-14 % du marc de café), les tigmastérol (4-5 %) et le campestérol (3-4 %) [159].

La quantité des protéines de marc de café est très importante, elle varie entre 13,6% à 17% en fonction du processus de la préparation, elle possède une forte concentration en acides aminés à chaîne latérale ramifiée. 17 acide aminés sont présents dans le marc de café, dont les neuf acides aminés essentiels [142]. Le tableau 1.1 présente la composition en acides aminés (% de protéines) du marc de café.

Tableau 1.1 : Composition en acides aminés (% de protéines) du marc de café [159]

| Acides aminés | SCG (% protéines) |
|------------------------|-------------------|
| Alanine (Ala) | 2,34 ± 0,71 |
| Arginine(Arga) | 0,01 ± 0,01 |
| Acide Aspartic (Asp) | 5,10 ± 0,71 |
| Cysteine(Cys) | 0,15 ± 0,01 |
| Acide Glutamic (Glu) | 4,13 ± 0,56 |
| Glycine(Gly) | 2,68 ± 0,17 |
| Histidine(His) | 0,39 ± 0,08 |
| Isoleucine(Ileu) | 0,94 ± 0,13 |
| Leucine(Leu) | 2,49 ± 0,37 |
| Lycine(lys) | 0,59 ± 0,10 |
| Methionine (Met) | 0,26 ± 0,03 |
| Phenylalanine (Phe) | 1,18 ± 0,22 |
| Proline (Pro) | 1,63 ± 0,29 |
| Serine (Ser) | 0,57 ± 0,10 |
| Threonine (Thr) | 4,71 ± 1,01 |
| Tyrosine (Tyr) | 0,33 ± 0,09 |
| Valine (Val) | 1,69 ± 0,14 |
| Essentiel AAs (%total) | 42,0 ± 1,2 |
| BCAA (Val+leu+Ile) | 5,12 ± 0,6 |
| AAA (Phe+Thyr) | 1,51 ± 0,3 |
| Fisher Ratio | 3,40 ± 0,3 |

Le marc de café est très riche en minéraux tels que le potassium est le macroélément principal avec 11.700 mg/kg, suivi par le Magnésium (1900 mg/kg), le Phosphore (1800 mg/kg), le Soufre (1600 mg/kg) et le Calcium (1200 mg/kg). En ce qui concerne les micro-éléments, le marc de café est riches en Fer (52 mg/kg), Manganèse (29 mg/kg), Cuivre (19 mg/kg), Carbone organique (15 mg/kg) et Zinc (8 mg/kg)[160].

Le marc de café contient des éléments antioxydants comme les tanins, parmi eux : La catéchine est un antioxydant puissant qui possède une action complémentaire à la vitamine C, la gallocatéchine, la gallocatéchine galate et l'acide chébulique [161]. Il possède aussi la caféine et d'autre polyphénols comme les flavonoïdes, l'acide protocatéchuique et l'acide chlorogénique qui est l'un des composés phénoliques les plus abondants dans le Mc, celui-ci étant plus important dans le marc de café arabica que dans le marc de café robusta [145], [162].

- Propriété bioactive

Le marc de café est très riches en composé bioactif tels que les acides chlorogénique, caféique, caféoylquinique, ellagique, trans-ferulique, feruloylquinique, gallique, p-hydroxybenzoïque, p-coumarique, p-coumaroylquinique, protocatéchique et tannique, esters des acides caféique et férulique avec l'acide quinique, flavonoïdes, catéchine, épicatechine, rutine, trigonelline, caféine et quercétine, etc..... [163]. Ces composés bioactifs tels que les polyphenols présentent de nombreuses propriétés telles que les propriétés antioxydantes, anticancérigènes, anti-allergène, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antitumorales, ainsi que des propriétés bénéfiques liées à la neuroprotection [164].

Plusieurs études montrent que le marc de café est une source des composés susceptibles d'être utilisés dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires et un exemple intéressant de valorisation des déchets dans l'industrie agroalimentaire [159], [165].

-Utilisation de marc de café

(i) Production de biocarburant : Le marc de café est riche en lipides et acides gras libres, ce qui le rendrait convertible en biodiesel obtenu par la transestérification à partir de d'huile contenue dans le marc de café et en bioéthanol par la fermentation organique [166]–[168]. Il peut également être transformé en granulés pour le chauffage, en combustible pour les fours industriel et en bio huile obtenu par la pyrolyse lente des déchets solides dégraissés [146], [155]. La figure 1.6, présente les étapes de production de biocarburant à partir du marc de café.

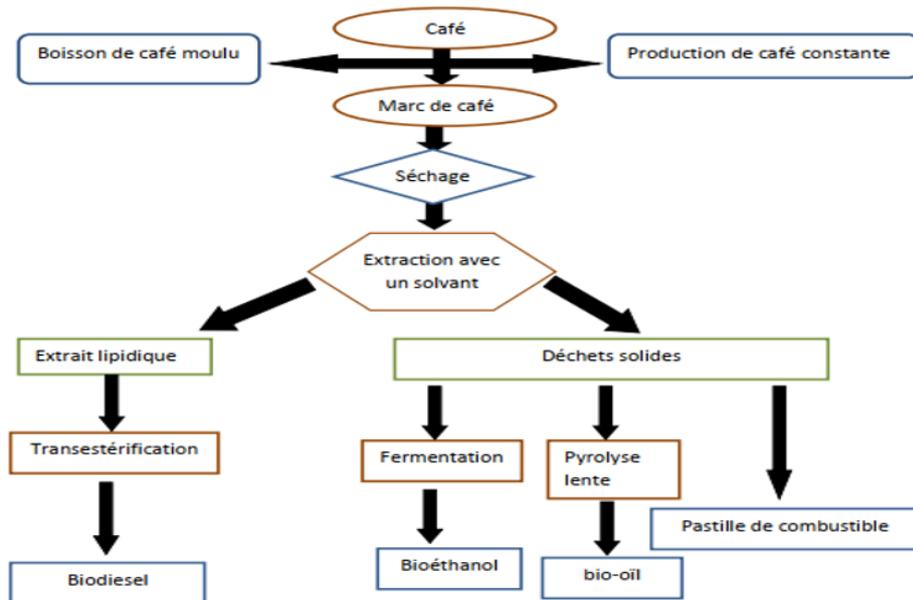


Figure 1.6 : Les étapes de production de biocarburant à partir de marc de café [146]

(ii) Industrie alimentaire et santé : Le marc de café contient plusieurs composés liés à la santé humaine avec des propriétés antioxydantes, il est riche en polyphénols et en protéines qui peuvent être utilisés dans l'alimentation humaine et comme ingrédient alimentaire dans les aliments solides, tels que les biscuits et pour réduire les maladies chroniques comme l'obésité et le diabète, et leur ajout à la viande peut diminuer la croissance des bactéries pathogènes et la détérioration des aliments [145], [154], [169], [170]. Concernant la nourriture animale, le marc de café peut être ajouté à la nourriture des ruminants, des cochons, des poulets et des lapins [145]. Cependant, la forte teneur en lignine dans le MC limite cette option [167]. La consommation de Marc de café et sa capacité de produire des composants par la fermentation dans le côlon peuvent provoquer des petits changements dans la production des acides gras à chaîne courte qui favorisent directement les effets anti-inflammatoires du côlon [142]. Il possède aussi une activité anti-cancérogène anti-tumorales, il peut servir à combattre le cancer, tels que les cellules cancéreuses du côlon [171], [172].

Le marc de café peut être utilisé dans la production de produits cosmétiques comme les produits de soins de peau par l'extraction des composés phénoliques, les produits de protection de peau par l'extraction des huiles de SCG qui possèdent une concentration élevée d'acide palmitique et les écrans solaires qui réduisent le photo-vieillessement et les effets nocifs de la lumière du soleil par l'extraction des acides

gras qui ont la capacité de bloquer les rayons solaires nocifs pour la peau humaine avec une protection améliorée [173]–[175]. Des tentatives ont également été faites pour produire de l'alcool à partir des SCG, mais ce processus nécessite un apport énergétique important [176].

(iii) Production de compost : Dans le cadre de la production de compost, le marc de café est riche en différents éléments minéraux et en énergie avec un bon ratio C/N et peuvent être incorporés au sol en tant qu'amendement organique directement ou modifié par deux types des biostimulants qui sont le compostage et vermicompostage [145], [160]. En Amérique du Nord, 1,8 million de tonnes métriques de marc de café usagé produites sont mises en décharge ou traitées dans des installations de compostage municipales avec d'autres déchets organiques. LIU et PRICE [177] ont évalué l'utilisation de marc de café comme un compost niche pour l'horticulture par le système de vermicompostage, le compostage (en cuve et en tas statique aéré), ils ont conclu que Le vermicompostage est nécessaire de mélanger le marc de café avec d'autres matières organiques pour réussir le vermicompostage et augmenter la quantité des nutriments, car la survie des vers de terre dans le MC seul est très faible et augmente la mortalité des vers. Le compostage en cuve du marc de café avec du carton a permis la décomposition la plus rapide de la matière organique, mais il entraîne la perte d'une grande quantité de N. Le compostage en tas statique qui permet à réduire la perte d'azote et augmenter sa quantité à hauteur de 75 % [177].

(iv) Autres utilisations : Le marc de café peut être utilisé aussi comme : remblai pour les abords des routes, une matière première pour la production de charbon actif, un substrat pour la culture de micro-organismes et de champignons comestibles, un adsorbant peu coûteux pour l'élimination des colorants cationiques dans les traitements des eaux usées, un composant de nano composite, de bijoux, dans la production de dihydrogène, de résine et de lubrifiant [145], [159], [178], [179]. Il peut être utilisé pour éliminer les métaux lourds, obtenir certains produits tels que l'hydrogène, le butanol, l'éthanol, les acides organiques, le glycérol et l'hydroxy méthyle par la conversion de la cellulose en glucose et dans la fabrication du papier par la cellulose [167], [178].

CHAPITRE 2: MATÉRIELS ET MÉTHODES

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

2.1. Introduction

Le vermicompostage est une méthode biotechnologique qui utilise les vers de terre comme l'espèce *Eisenia foetida* pour convertir des déchets comme les déchets ménagers pour obtenir un produit de meilleure qualité appelé le vermicompost. Parmi le vermicompostage utilisé est celui du marc de café. Ce biofertilisant a un intérêt croissant chez les chercheurs pour son potentiel biostimulants des plantes. Dans cette partie, on s'intéresse à la description de deux biostimulants vermicompostés à base de marc de café. Ces derniers ont été pulvérisés à différentes doses sur les plantes d'oranger *Citrus sinensis Thomson* pour évaluer les effets biostimulateurs des défenses naturelles et leurs impacts sur l'installation primaire des espèces folivores.

2.2. Présentation globale des zones d'études.

L'étude a été menée au niveau de la station expérimentale de l'université de Blida 1 (36° 29' 46" Nord, 2° 51' 40" Est). Les expériences ont été réalisées sous conditions semi-contrôlées, pendant les saisons 2018 et 2019. La région est caractérisée par un climat de type méditerranéen. Les précipitations mensuelles en Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été, variant entre 600 et 900 mm en fonction de la région considérée (localisation géographique et l'altitude). Cette distribution inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche joue un rôle régulateur des activités biologiques des aphides et leurs ennemis naturels. Les données pluviométriques moyennes mensuelles et annuelles montrent que les précipitations varient en fonction des saisons et années. Les mois les plus pluvieux sont Janvier (94,54 mm) et Novembre (98,45 mm), alors que le mois le plus sec est juillet (3,47 mm). Les précipitations moyennes annuelles sont de 681 MM. Le mois le plus froid est janvier (température moyenne de 11,5°C). Le mois le plus chaud est août (température moyenne de 28°C) [180]. Le sol utilisé dans le dispositif et celui de la parcelle. Il est brun calcaire, de texture argileuse, profond et homogène [181].

2.3. Matériels et méthodes d'étude

2.3.1. Obtention des biostimulants vermicompostés

Les deux substrats E3 et E4 vermicompostés à base de marc de café complétement ont été préparés selon le protocole proposé par AROUN et al [182], qui prévoit deux types d'amendement :

- Biostimulants E4 (marc de café, carton broyé, chapelure de pain) à C/N 24,90, afin d'obtenir un produit plus stable à court terme.
- Biostimulants E3 (Marc de café, Coquille d'œufs, Carton broyé, Tourbe professionnelle) à C/N 50,30 afin d'obtenir un produit plus stable à long terme.

La préparation des deux substrats vermicompostés E3 et E4 est reporté dans le tableau 3.1, chacune des 3 répétitions des deux mélanges d'un poids de 1kg=1000g, contient des proportions de marc de café (Mc) mélangé à des proportions variables de coquille d'œuf broyée (Co), de carton broyé (Cb), de chapelure de pain broyé (Cp) et de tourbe professionnelle (Tp). Ces derniers ont été mise dans des boites en polystyrène transparentes, couvertes d'une tulle à maille très fine afin d'assurer l'aération du matériel d'élevage et d'éviter la fuite des vers. Les dimensions extérieures des boites sont de 19 cm de hauteur, 41cm de longueur et 27cm de largeur et pour un intervalle de température des biostimulants vermicompostés compris entre 15°C et 23°C durant toute la période de notre suivi. Chaque boite contient dix couples de ver adulte du fumier *Eisenia foetidae* reconnaissable à la présence d'un Clitellum ; organe lié au processus de ponte et de maturité sexuelle. Les vers de terre ont été déterminés par l'élevage en masse réalisé par le compostage des déchets organique ménagers, mis en place dans la salle d'élevage du laboratoire de Phytopharmacie appliquée du département de Biotechnologie et Agro-Écologie. La durée de production des bio engrais E3 et E4 a été menée dans une chambre de 5 mètres carrés de superficie dont la température varie entre 12,6°C et 21,9°C et l'humidité relative de l'air comprise entre 41% et 84% pendant 17 semaines. Une pulvérisation des deux substrats par l'eau a été réalisé chaque semaine [182].

Tableau 2.1 : Composition des deux substrats vermicompostés E3 et E4.

| Substrat | Répétition | Poids des substrats (g) | Mc (g) | Co (g) | Cb (g) | CP(g) | TP (g) |
|----------------|------------|-------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|
| E ₃ | 1 | 1000 | 800 | 50 | 100 | 0 | 50 |
| | 2 | 1000 | 800 | 50 | 100 | 0 | 50 |
| | 3 | 1000 | 800 | 50 | 100 | 0 | 50 |
| E ₄ | 1 | 1000 | 800 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| | 2 | 1000 | 800 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| | 3 | 1000 | 800 | 0 | 100 | 100 | 0 |

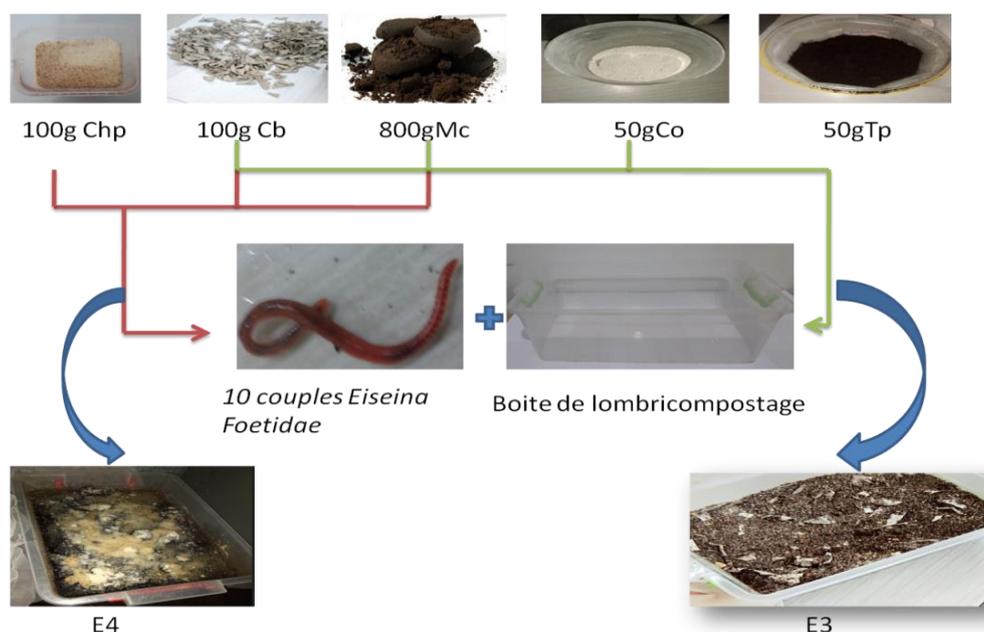


Figure 2.1 : Dispositif expérimental de la préparation des deux substrats vermicompostés E3 et E4.

2.3.2. Préparation des doses

Les biostimulants vermicompostés E₃, E₄ obtenus par vermicompostage, ont été séchés à l'air libre après le prélèvement des vers de terre pour préparer les doses. Quatre doses ont été préconisées dans des conditions de températures ambiantes pendant 48h. La macérât a été filtré à l'aide d'une compresse dans une fiole jaugée. Chaque dose a été conservée dans un conteneur en verre dans le but de les pulvériser sur les plantes d'oranger *Citrus sinensis Thomson*. Le tableau 2.2 englobe les différentes doses des biostimulants vermicompostés E3 et E4.

Tableau 2.2 : Les différentes doses des biostimulants vermicompostés E3 et E4

| Dose Biostimulants | Dose 1 (60 g/l) | Dose 2 (120 g/l) |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| E3 | 60 g de E ₃ + 1 L d'eau | 120g de E ₄ + 1 L d'eau |
| E4 | 60g de E ₄ + 1 L d'eau | 120g de E ₄ + 1L d'eau |

2.3.3. Présentation du matériel végétal

La plante utilisée dans cette expérimentation est l'oranger *Citrus sinensis Thomson* appartient de la variété Thomson navel. Cette variété d'agrumes fait partie des oranges douces Navels (Washington, Thomson et Navelate). Les plantes sont âgées de 2 ans (Figure 2.6).



Figure 2.2 : L'oranger *Citrus sinensis Thomson* (Original)

2.3.4. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Après la préparation des doses des biostimulants lombricomposté E3 et E4, l'essai est réalisé en bloc aléatoire complet en utilisant la variété Thomson navel, espèce *Citrus sinensis Thomson*. Le dispositif est composé de 100 plants (100 plants=unité expérimentale) disposés ou organisés en 5 blocs (bloc 1, bloc 2, bloc 3, bloc 4, bloc 5). Chaque bloc est composé de 20 plants à raison de 20 plants par traitement et Chaque plant a été numéroté. Les blocs sont distants de 50 m les uns des autres.

Le témoin (eau de ville) a été appliqué sur le bloc 1, le Bio engrais lombricomposté à base de marc de café complétement E3 ont été appliqués sous deux doses : D1=60 g/l, un mélange de 60g du substrat E3 avec un litre d'eau appliqué sur le bloc 2 et D2=120 g/l, un mélange de 120 g du substrat E3 avec un litre d'eau appliqué sur le bloc 3.

Les biostimulants vermicompostés à base de marc de café complétement E4 a été appliqué sous deux doses : D1=60 g/l, mélange de 60g du substrat E4 avec un litre d'eau appliqué sur le bloc 2, D2=120 g/l, mélange de 120 g du substrat E4 avec un litre d'eau appliqué sur le bloc 5.

Les apports ont été renouvelés chaque mois, durant la période de l'essai qui s'est étalée sur 6 mois (6 applications foliaires des biostimulants E₃, E₄ et témoin ont été réalisées à l'aide d'un pulvérisateur manuel, les plants sont irrigués régulièrement selon leur besoin en eau de ville).

Les hypothèses de recherche sont avancées dans le schéma hypothétique (Figure 2.1), visant l'évaluation de l'impact des deux biostimulants à base de marc de café sur la qualité phytochimique de la plante cultivée *Citrus sinensis* ainsi que leurs effets sur le recrutement des groupes fonctionnels et la structuration populationnelles des espèces folivores.

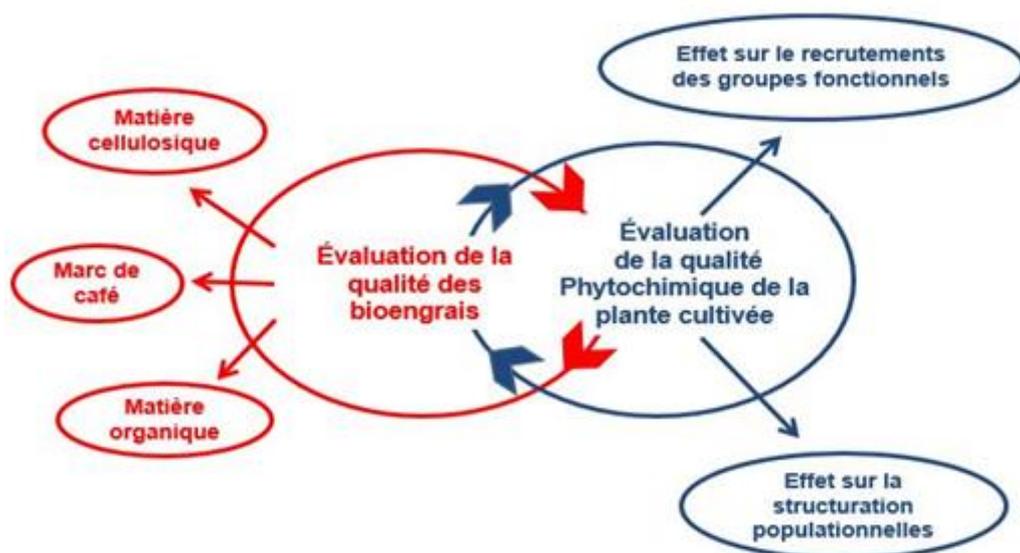


Figure 2.3 : Schéma hypothétique de l'impact des deux biostimulants sur la qualité phytochimique de la plante cultivée et leurs effets sur le recrutement des groupes fonctionnels et sur la structuration populationnelles des espèces folivores.

2.3.5. Technique d'échantillonnage et de détermination des espèces inventoriées

L'échantillonnage de l'entomocénose de l'oranger *Citrus sinensis* Thomson a été traité d'un point de vue qualitatif et quantitatif. Nous avons adopté une approche classique qui fournit un inventaire de bonne qualité et des informations spatialisées par le recours à la méthode de transect linéaire (line intersect sampling) [183], [184]. Le positionnement des transects est de type systématique avec un point de départ aléatoire de manière à obtenir une surface d'inventaire suffisante tout en restant à l'intérieur de l'homogénéité de l'unité expérimentale. Nous avons donc retenu, deux transects relativement courts (5 m) disposés en lignes parallèles, espacés entre eux de 10 m. Pour la collection d'une entomocénose ordonnée dans le temps et dans l'espace, tous les 15 jours durant la période de février à juillet 2018, nous avons choisi de prélever cinq feuilles par plant se positionnant au niveau des placeaux d'observation retenus chaque 2 mètres le long du transect. Tous les prélèvements et les observations ont été réalisés entre 9 heures et 13 heures [185]. Ce délai est un compromis acceptable entre la réduction des déplacements et la conservation des individus échantillonnés.

Les spécimens ainsi collectés sont mis dans des flacons contenant du formol à 33% pour être déterminés et dénombrés (estimation de l'abondance). Chaque spécimen a été identifié par des spécialistes de l'entomofaune agrumicole par le recours aux collections de références de l'Ecole National supérieure Agronomique et sur la base de la littérature spécialisée.

2.3.6. Analyse phytochimique

2.3.6.1. Quantification et dosage des acides aminés solubles et de la proline

L'extraction a été réalisée selon la méthode décrite par Naidu [186]. 50mg d'échantillon (les feuilles de *Citrus sinensis* Thomson) ont été placés dans des tubes de centrifugation contenant 5ml d'un mélange (60 ml de méthanol, 25 ml de chloroforme et 15ml d'eau). Les tubes scellés ont été chauffés au bain marie (60°C) durant 2 heures et centrifugés à 5000 G pendant 10 minutes. Le surnageant a servi ensuite aux dosages des acides aminés solubles et de la proline.

2.3.6.1.1. Dosage des acides aminé soluble

1 ml de solution tampon acide acétique /acétate de sodium (pH= 4,3) et 1ml de Ninhydrine (5% dans l'éthanol) ont été additionnés à 1ml de surnageant. Les échantillons ont été agités puis chauffés au bain marie (95°C) pendant 15mn. Les densités optiques obtenues par le biais d'un spectrophotomètre ($\lambda=570$ nm) permettent ensuite de calculer la concentration initiale en acides aminés solubles contenue dans les échantillons au moyen d'une courbe standard effectuée avec L-leucine, suivant la relation : $Y=0,0023X+0,005$ ($R^2=0,9221$). Y : étant l'absorbance, X : étant la quantité des acides aminés solubles est exprimée en mg./g. de M.S.

2.3.6.1.2. Dosage de la proline

La proline a été déterminée par une méthode développée par Singh [187]. 1ml de surnageant, 4ml de solution de Ninhydrine, 4ml d'acide acétique glacial et 1ml d'eau distillée sont placés dans des tubes de centrifugation de 10 ml. Ce mélange a été chauffé au bain marie (90°C) pendant 45mn et refroidi à la température ambiante.

Les densités optiques obtenues par le biais d'un spectrophotomètre ($\lambda=520$ nm) permettent ensuite de calculer la concentration initiale de proline contenue dans les échantillons au moyen d'une courbe standard effectuée avec une protéine de référence (L-proline), suivant la relation : $Y=0,0112X+0,0004$ ($R^2=0,9989$). Y : étant l'absorbance, X : étant la quantité de la proline est exprimée en mg./g. de M.S.

2.3.6.2. Extraction et dosage des sucres solubles totaux

La quantification des sucres totaux est réalisée par la méthode de Dubois et *al.* [188]. Elle consiste à additionner 3 ml d'éthanol à 80 % à 100mg de matière végétale fraîche. Le mélange est mis à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, l'éthanol est évaporé par passage à l'étuve à 80°C. L'extrait obtenu est additionné à 10 ml d'eau distillée. Une prise d'essai de 0.5 ml de la solution analyse reste mélangée à 0.5ml de phénol 5%. Dont on ajoute rapidement 2.5ml d'acides sulfurique concentré 96%, le mélange vire en couleur jaune orange. Après homogénéisation au vortex, l'échantillon est placé au bain-marie pendant 10à20min à une température de 30°C. La couleur de la solution est stable pendant plusieurs heures. L'absorbance est lu à 485nm.les valeurs obtenues sont reportés sur la

gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant : $Y=4,3918X-0.1946$ ($R^2=0,9865$), Avec Y: étant l'absorbance, X: étant la quantité des sucres totaux exprimée en mg/g.m.f.

2.3.6.3. Mesure de la teneur relative en eau

Selon BEN NACER [189], le contenu relatif en eau qui exprime la quantité d'eau présente en pourcentage de la quantité mesurée à saturation. Il permet donc une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal au même titre que le potentiel hydrique. La prise en compte de la quantité d'eau dans cette étude a pour objectif de savoir si cet état de stress de manque d'eau va influencer les constituants biochimiques des feuilles infestées par les pucerons, notamment les productions par la plante en proline et en flavonoïdes, lesquelles vont conditionner la densité de ces opophages. L'estimation teneur relative en eau se fait par la formule suivante : $CRE = (PF - PS) \cdot 100 / (PSat - PS)$. Avec : PF : Poids Frais, PS : Poids Sec, PSat : Poids à la saturation. Le poids frais est déterminé par pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement.

2.3.7. Analyse des biostimulants vermicompostés E₃ et E₄

2.3.7.1. Analyse par MEB/EDX

Cette partie de caractérisation a été réalisée au niveau du Plateau Technique des Analyses Physico-chimiques Laghouat CRAPC (Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimique). La microscopie électronique à balayage consiste à observer la morphologie et la structure de la surface d'un échantillon. Contrairement à la microscopie optique, le microscope électronique à balayage ne nous donne pas une image réelle de l'objet mais une image virtuelle construite point par point à partir d'un signal émis par l'échantillon. Les images des différents biocomposites magnétiques préparés ont été réalisées à l'aide d'un Microscope Electronique à Balayage (MEB) associé à la microanalyse par Energie Dispersive des rayons X (EDX) de marque Bruker type Quanta FEG 250.

2.3.7.2. Analyse par diffraction des Rayons X (DRX)

Cette partie a été réalisée au niveau du Centre de Développement des Technologies Avancées Baba Hassen. La diffractométrie des Rayons X permet d'étudier la structure cristalline d'un matériau. Dans notre étude, les analyses de diffractions de rayons X ont été réalisées sur un diffractomètre de marque Rigaku Smart Lab high resolution (XRD), la diffraction a été effectuée sur des échantillons finement broyés avec les conditions opératoires suivantes : un tube de rayons X avec anticathode en cuivre et un filtre de nickel avec un rayonnement incident de longueur d'onde de $1,54060 \text{ \AA}$, une tension de 40Kv et une intensité de 40mA. Cet appareil est piloté par un logiciel pour l'exploitation des résultats. Le scan a été enregistré sur une gamme 2θ qui varie de 5° jusqu'à 80° .

2.3.8. Analyse de la biodiversité

2.3.8.1. Estimation de la richesse spécifique

La richesse des espèces a été calculée selon le programme de raréfaction de logiciel Past3.1.0 [190]. Nous avons appliqué les analyses de richesse d'espèce sur les limites supérieures et inférieures à hauteur d'un intervalle de confiance 95%. Ce qui définit le nombre prévu d'espèces représenté parmi un nombre donné d'individus [191].

2.3.8.2. Statut écologique

La fréquence centésimale et la constance ont été utilisées pour établir le statut écologique des espèces recensées. La Fréquence centésimale renseigne sur l'importance de chaque espèce, elle est définie par le pourcentage des individus de l'espèce (n_i) par rapport au total des individus N de toutes espèces confondues [192]. Elle est évaluée par la formule suivante : $F\% = n_i \times 100 / N$. Où n_i : est le nombre des individus d'une espèce, N : est le Nombre total des individus toutes espèces confondues.

Concernant la Constance, elle s'exprime en pourcentage et elle se définit par le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée par rapport au nombre total de relevés [193]. Elle est calculée par la formule suivante: $C\% = P_i \times 100 / P$. Où P_i : est

le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée et P : est le nombre total de relevés effectués.

On considère qu'une espèce est accidentelle si : $C\% < 25\%$, dans ce cas l'espèce arrive par accident ou par hasard, elle n'a aucun rôle dans le peuplement.

Accessoire si : $25\% \leq C\% \leq 50\%$, Celle-ci n'appartient pas au peuplement mais sert à son fonctionnement.

Régulière si : $50\% \leq C\% \leq 75\%$

Constante si : $75\% \leq C\% \leq 100\%$

Omniprésente si : $C\% = 100\%$.

Les espèces constantes et omniprésentes sont les plus dominantes, car elles ont plus de nourriture et ont une étendue plus vaste[193]

2.3.9. Analyses statistiques

L'analyse statistique a concerné l'évaluation de l'impact des biostimulants vermicompostés à base de marc de café sur la qualité phytochimique de *Citrus sinensis Thomson* et leurs effets sur le recrutement des groupes fonctionnels et sur la structuration populationnelles des espèces folivores. Les analyses de la variance sont faites sur des moyennes homogènes adoptées sur la base d'un coefficient de variance (C.V. $< 15\%$). La signification des comparaisons des moyennes a été confirmée par un test de comparaison par paire (Test ANOVA et le Test Newman-Keuls). Les contributions significatives retenues sont respectivement au seuil d'une probabilité de 5%, les calculs ont été réalisés par le logiciel XLSTAT vers. 16 [194].

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS

Chapitre 3: Résultats

3.1. Caractérisation des biostimulants

3.1.1. Analyse des biostimulants E3 et E4 par la microscopie électronique à balayage (MEB)

Les biostimulants (=substrats) E3 et E4 à base de marc de café ont été analysées par microscope électronique à balayage. La figure 3.1 montre bien la structure poreuse de deux biostimulants vermicompostés. L'analyse de la variance monte l'absence de différence significative pour le facteur diamètre des pores des deux substrats (Pores-E3= 1,158 μM et pores-E4= 0,907 μM , $p>5\%$) (Figure 3.1). La porosité obtenue au niveau des deux substrats, après vermicompostage des ratios proposés par cette étude, nous indique que les biostimulants E3 et E4, présentent une grande capacité de rétention d'eau et des éléments nutritifs. Ainsi, ils fournissent un milieu de croissance pour permettre les échanges gazeux et nutritifs.

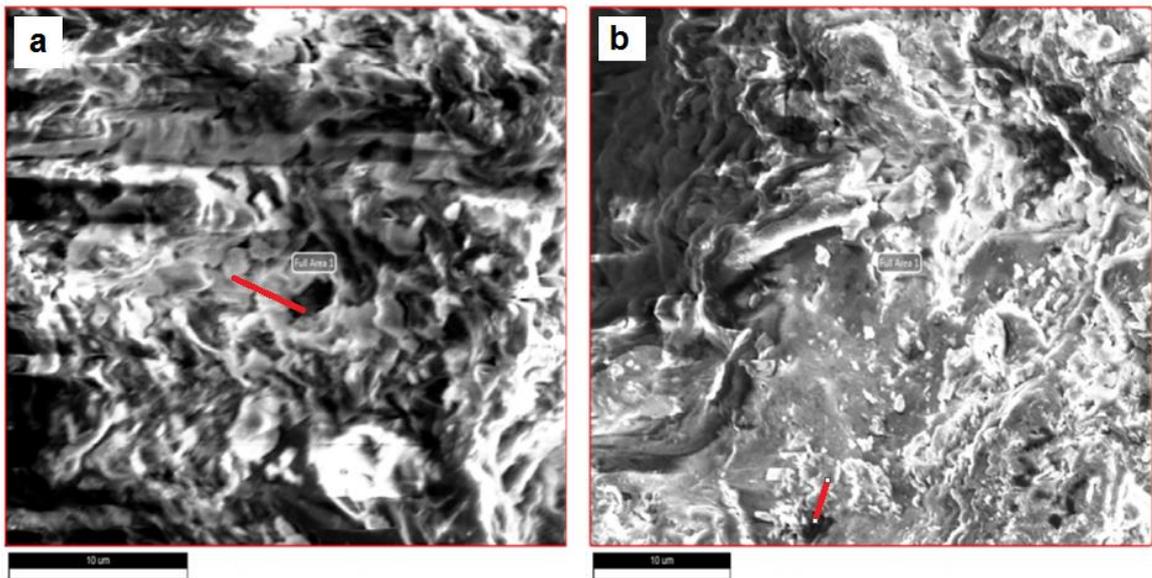


Figure 3.1 : Images par MEB des biostimulants

a : E3, b : E4.

3.1.2. Analyse quantitative des biostimulants E3 et E4 par MEB-EDX

L'analyse quantitative des biostimulants E₃ (marc de café, coquille d'œufs, carton broyé, tourbe professionnelle) et E₄ (marc de café, carton broyé, chapelure de pain) par microscopie électronique à balayage associée à la microanalyse par énergie dispersive de rayons X (MEB-EDX), a permis de signaler une composition minérale assez contrastée pour les eux biostimulants (Figure 3.2 et Tableau 3.1)

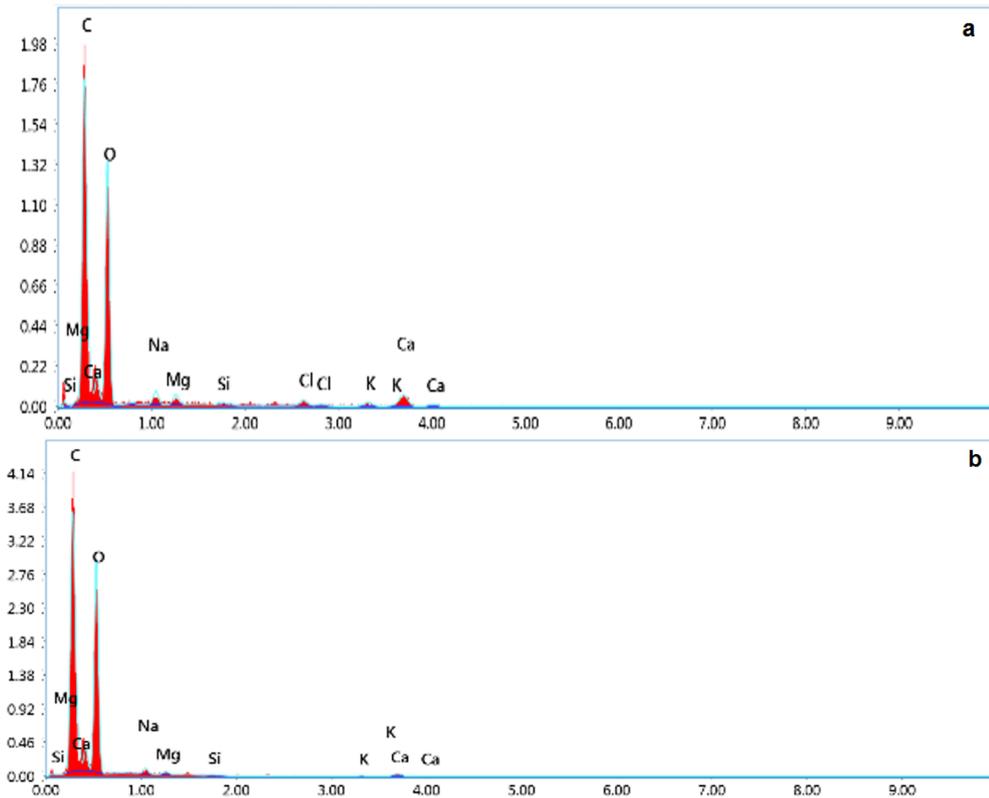


Figure 3.2 : Micrographes MEB-EDX des biostimulants E₃ et E₄

A : micrographie EDX de biostimulants E₃ ; B : micrographie EDX de biostimulants E₄.

Tableau 3.1 : Caractérisation des Biostimulants obtenus par MEB-EDX

| Eléments | Biostimulants E ₃ (Marc de café, coquille d'œufs, carton broyé, tourbe professionnelle) | | | Biostimulants E ₄ (Marc de café, carton broyé, chapelure de pain) | | |
|----------------|---|--------------|------------|---|--------------|------------|
| | Poids (%) | Atomique (%) | Erreur (%) | Poids (%) | Atomique (%) | Erreur (%) |
| Carbone (C) | 37,53 | 48,07 | 9,99 | 37,01 | 45,13 | 8,96 |
| Oxygène (O) | 46,32 | 44,54 | 10,04 | 56,73 | 51,92 | 8,79 |
| Sodium (Na) | 2,26 | 1,51 | 14,74 | 1,68 | 1,07 | 15,05 |
| Magnésium (Mg) | 1,37 | 0,87 | 14,18 | 0,69 | 0,42 | 20,49 |
| Silicium (Si) | 0,60 | 0,33 | 16,82 | 0,20 | 0,10 | 64,66 |
| Chlore (Cl) | 1,90 | 0,82 | 16,94 | - | - | - |
| Potassium (K) | 1,80 | 0,71 | 25,39 | 0,64 | 0,24 | 33,76 |
| Calcium (Ca) | 8,22 | 3,15 | 9,95 | 3,05 | 1,11 | 13,10 |

Les résultats de l'analyse EDX du biostimulants E₃ sont présentés dans la figure 3.2.A et le tableau 3.1. On peut constater que l'E3 contient C (48,07%), O (44,54%) et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, Cl, K et Ca sont également présents dans le vermicompost E₃, mais dans une faible proportion.

Les résultats de l'analyse EDX du biostimulants E₄ sont présentés dans la figure 3.2.B et le tableau 3.1. On peut constater que l'E4 contient C (45,13%), O (51,92%) et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, K et Ca sont également présents dans le vermicompost E₄, mais dans une faible proportion.

La méthode FRX, nous a permis d'identifier les éléments chimiques et les formes oxydées de ces mêmes éléments, ainsi que leurs pourcentages massiques dans les deux biostimulants. Cette méthode n'étant pas très précise, quant à l'identification des molécules présentes dans l'échantillon, nous avons donc fait le choix d'analyser le même échantillon par le DRX (Diffraction des Rayons X).

3.1.3. Analyse des biostimulants E3 et E4 par Diffraction des Rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X permet d'identifier la nature des phases cristalline et amorphe présentes dans un solide. Cependant, plusieurs mailles cristallines doivent se succéder pour former des raies de diffraction visibles. Si le nombre de mailles constituant les cristallites est faible, les raies de diffraction apparaîtront larges. Cette propriété permet dans certains cas de déterminer la taille des cristallites. On analyse

les échantillons par diffraction des rayons X, à l'aide d'un diffractomètre son principe repose sur la réflexion sélective des rayons X par un cristal, avec utilisation de la loi de Bragg : $\lambda = 2d \sin \theta$

La figure 3.3 ci-dessous, démontre une structure amorphe des deux substrats et une faible cristallinité des échantillons dans le domaine allant de 20 à 70°. Les diagrammes de diffraction des deux échantillons présentent de grandes similitudes, ceci prouve que le vermicompostage, n'influe pas sur le changement des composants des biostimulants.

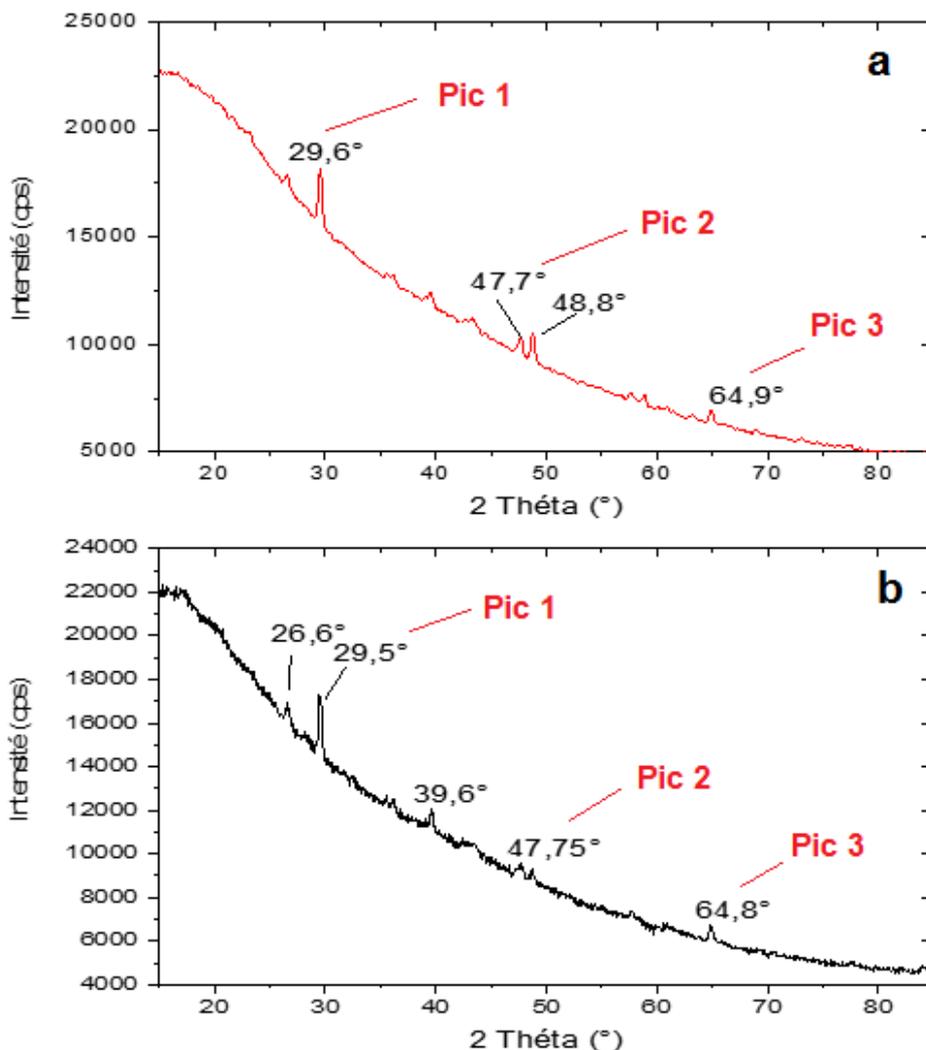


Figure 3.3 : Diffractogramme des rayons X des biostimulants E3 et E4

A : Spectre DRX des biostimulants E3 ; B : Spectre DRX des biostimulants E4.

En effet, le Diffractogramme présente la même allure pour les deux échantillons et présente les mêmes pics de diffraction 2 Téta de 26,6°, 29,5°, 47,65° et 64,8° qui sont attribués respectivement à la présence du substance humique, carbone et calcium. (Figure 3.4).

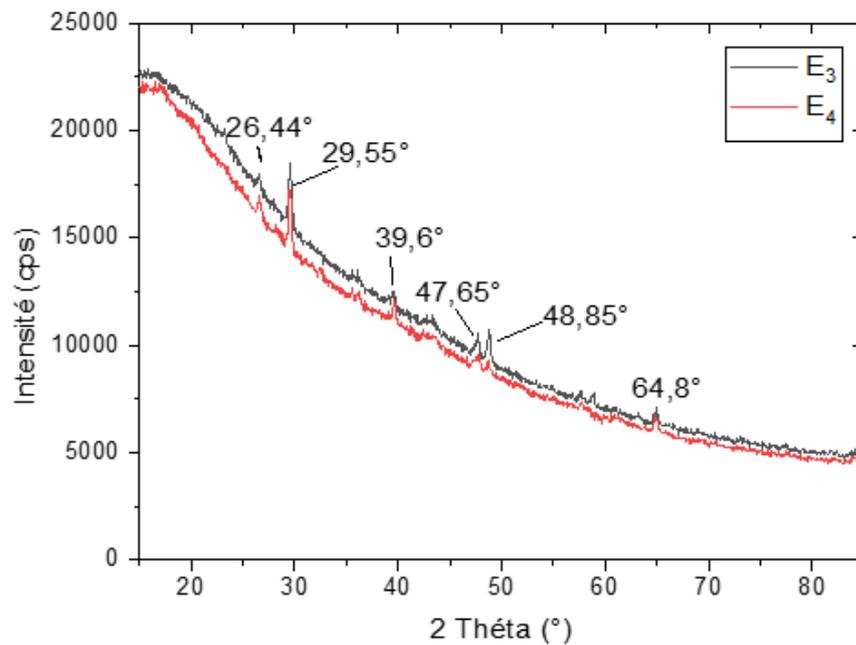


Figure 3.4 : Spectres DRX E3 et E4

3.2. Estimation de la disponibilité des taxons folivores

3.2.1. Estimation de la richesse spécifique

Les résultats de l'inventaire de l'arthropodofaune agrumicole sont reportés dans la figure 3.5. Le graphique de raréfaction de l'entomocénose folivore affiche une faible gradation en nombre de taxa, ce qui réconforte le dispositif d'échantillonnage de la présente étude. Il ressort que l'effort d'échantillonnage déployé sur le terrain a pu cerner la disponibilité des taxons qui présente une relation directe avec les plants de *Citrus sinensis Thomson* sous l'effet des différents traitements. Cette raréfaction se traduit par un nombre de taxa très réduit signalé au niveau des plants

traité à la forte dose du substrat E4 (E4D2) (Fig. 3.5.d), par comparaison aux différents agrégats du dispositif expérimental (Fig. 3.5. a, b, c et e).

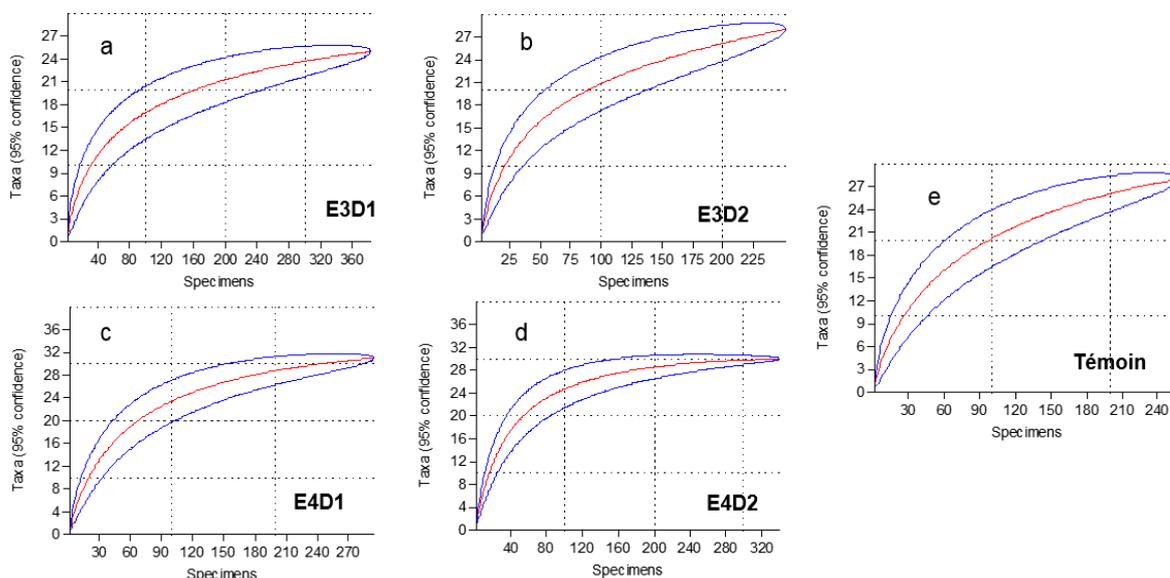


Figure 3.5 : Estimation de la richesse spécifique (Indice de raréfaction) de l'arthropodofaune folivore de *Citrus sinensis Thomson*.

3.2.2. Disponibilité et recrutement de l'arthropodofaune folivore

Cette partie est focalisée sur la diversité et la succession temporelle des communautés de l'arthropodofaune folivore associées à *Citrus sinensis Thomson*. Conduite sous un itinéraire de nutrition organique. L'écosystème dépend des contributions conjuguées de chacun des organismes qu'il abrite et la modification d'une quelconque espèce peut donc entraver le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème. Dans le cas des unités expérimentales de cette étude, les populations de consommateurs primaires (Hemiptera) interagissent non seulement avec le statut sanitaire et physiologique des plants de *Citrus sinensis Thomson* mais aussi avec les différentes populations d'auxiliaires (Araneae, Coleoptera, Diptera et Hymenoptera).

Les données présentées concernent essentiellement le complexe arthropodologique folivore présent dans les conditions de la pratique de la nutrition organique par l'apport de biostimulants lombricomposté à base de marc de café complétement (E3 & E4). Les espèces dénombrées dans les unités expérimentales

sont regroupées par ordres puis classées dans une liste systématique (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Paramètre qualitatif des consommateurs primaire I et consommateurs secondaire II agrumicole sous l'effet des traitements.

| Ordres | Familles | Espèces | ni E3 | ni E4 | ni TM |
|------------------------------------|------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| Hemiptera | Diaspidae | <i>Parlatoria pergandii</i> (Comstock, 1881) | 114 | 82 | 261 |
| | | <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell, 1879) | 243 | 107 | 385 |
| | | <i>Parlatoria ziziphi</i> (Lucas, 1853) | 198 | 0 | 296 |
| | Aphididae | <i>Aphis gossypii</i> (Glover, 1877) | 76 | 0 | 112 |
| | | <i>Aphis spiraecola</i> (Patch, 1914) | 381 | 74 | 451 |
| | | <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841) | 276 | 62 | 372 |
| | | <i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776) | 98 | 0 | 114 |
| | Aleyrodidae | <i>Aleurothrixus floccosus</i> (Maskell, 1896) | 167 | 39 | 239 |
| | | <i>Dialeurodes citri</i> (Ashmead, 1885) | 82 | 0 | 108 |
| | Total consommateurs I | | | 1635 | 364 |
| Total taxa consommateurs I | | | 9 | 5 | 9 |
| Araneae | Salticidae | <i>Salticidae sp1</i> (Blackwall, 1841) | 28 | 18 | 1 |
| | | <i>Salticidae sp2</i> (Blackwall, 1841) | 23 | 9 | 2 |
| Coleoptera | Coccinellidae | <i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794) | 26 | 8 | 11 |
| | | <i>Coccinella algerica</i> (kovar, 1977) | 4 | 1 | 23 |
| | | <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 5 | 12 | 1 |
| | | <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850) | 70 | 21 | 67 |
| | | <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) | 35 | 13 | 5 |
| | | <i>Stethorus punctillum</i> (Weise, 1891) | 15 | 4 | 0 |
| Diptera | Cecidomyiidae | <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847) | 59 | 69 | 2 |
| | Syrphidae | <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) | 38 | 53 | 84 |
| Hymenoptera | Aphelinidae | <i>Aphelinus mali</i> (Haldeman, 1851) | 7 | 17 | 32 |
| | | <i>Cales noacki</i> (Howard, 1907) | 71 | 22 | 84 |
| | Formicidae | <i>Tapinoma nigerimum</i> (Forster, 1850) | 30 | 19 | 103 |
| Total consommateurs II | | | 411 | 266 | 415 |
| Total taxa consommateurs II | | | 13 | 13 | 12 |
| Total individus C I et C II | | | 2046 | 630 | 2753 |

L'inventaire montre une diversité d'espèces très riche dans les unités expérimentales. Les données montrent un nombre important d'arthropodes nuisible au niveau des unités expérimentales traitées au biostimulants E3 et témoin. Cependant, l'unité expérimentale traité au E4, exprime le nombre d'individus le moins important associé à un nombre de taxa très faible (Tableau 3.2).

Par ailleurs, l'inventaire a mis en évidence des auxiliaires entomophages qui sont pour la plupart des prédateurs Salticidae, Coccinellidae, Cecidomyiidae et Syrphidae, Leurs effectif se rapprochent numériquement, alors que la disponibilité taxonomique est en faveur des unités expérimentales ayant subis les biostimulants E3 et E4 (Tableau 3.2).

L'examen de la distribution moyenne des abondances des différents groupes fonctionnels selon le type de bioengrais et des doses appliquées, fait ressortir une gradation de recrutement des nuisibles selon le gradient : TM > D1-E3 > D2-E3 & D1-E4 > D2-E4. La forte dose d'E4 s'avère la plus contraignante en termes d'installation primaire des bioagresseurs (Tableau 3.3). En parallèle, nous avons analysé le recrutement des auxiliaires selon les mêmes conditions expérimentales. La matrice globale établie à partir des données d'abondance des taxons bénéfiques montre une suprématie d'individus selon un gradient ascendant TM > D1-E3 > D1-E4 > D2-E3 > D2-E4.

Tableau 3.3 : Comparaison des abondances moyennes des consommateurs I et consommateurs II sous l'effet des biostimulants.

| | D1-E3 | D2-E3 | D1-E4 | D2-E4 | TM | F | p |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|-------|--------------------------|
| Abondance CI | 128,56±4,50 b | 53,11±1,09 c | 32,67±1,23 c | 7,78±0,21 d | 259,78±7,93 a | 18,41 | 1,19×10 ^{-8***} |
| AbondanceCII& CIII | 20,85±1,08 a | 10,77±0,63 ab | 15,15±4,12 ab | 5,31±1,52 b | 31,92±10,64 a | 3,33 | 0,015* |

CI : Consommateur primaire, CII & CIII : Auxiliaires, D1 : 60 g/l, 60g de substrat / litre d'eau ; D2= 120 g/l, 120 g de substrat /litre d'eau), TM : Témoin, * : Significative à 5%, ***/ Significative à 0,1%, les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à p<5%, selon le test deTukey a>b>c

3.2.3. Estimation du statut écologique de l'arthropodofaune folivore

L'arthropodofaune folivore de *Citrus sinensis* Thomson est représentée par une diversité de consommateurs primaires (CI) et consommateurs secondaires (CII). En termes de statut écologique, au niveau du bloc témoin (Tableau 3.4), les consommateurs primaires (CI), dont *Parlatoria pergandii*, *Aonidiella aurantii*, *Parlatoria ziziphi*, *Aphis gossypii*, *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii* et *Aleurothrixus floccosus* dont les constances affichent 100%, montrent qu'elles sont omniprésentes. Cependant, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri*, affichent des constances de près de 57%, ce qui les classe dans le statut d'espèces régulière. En revanche, chez les consommateurs secondaires (CII), nous signalons *Rodolia cardinalis*, *Scymnus subvillosus*, *Episyrphus balteatus* et *Cales noacki* comme espèces omniprésentes, *Clitostethus arcuatus*, *Coccinella algeric* et *Aphelinus mali* comme espèce régulière, alors que *Salticidae sp1*, *Salticidae sp2*, *Psyllobora vigintiduopunctata* et *Aphidoletes aphidimyza* sont considérées comme espèces accessoires.

Tableau 3.4 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore dans le bloc témoin (Sans traitement)

| Espèces | Témoin | | |
|--|--------|-------|----------|
| | F % | C % | STAT ECO |
| <i>Parlatoria pergandii</i> (Comstock, 1881) | 7,12 | 100 | Omn |
| <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell, 1879) | 9,23 | 100 | Omn |
| <i>Parlatoria ziziphi</i> (Lucas, 1853) | 4,13 | 100 | Omn |
| <i>Aphis gossypii</i> (Glover, 1877) | 3,62 | 100 | Omn |
| <i>Aphis spiraecola</i> (Patch, 1914) | 6,49 | 100 | Omn |
| <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841) | 8,26 | 100 | Omn |
| <i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776) | 1,78 | 56,09 | Rég |
| <i>Aleurothrixus floccosus</i> (Maskell, 1896) | 4,38 | 100 | Omn |
| <i>Dialeurodes citri</i> (Ashmead, 1885) | 1,71 | 54,89 | Rég |
| <i>Salticidae sp1</i> (Blackwall, 1841) | 0,236 | 36,41 | acces |
| <i>Salticidae sp2</i> (Blackwall, 1841) | 0,439 | 32,72 | acces |
| <i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794) | 1,45 | 61,09 | Rég |
| <i>Coccinella algerica</i> (kovar, 1977) | 1,86 | 66,98 | Rég |
| <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 0,193 | 29,88 | acces |
| <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850) | 7,86 | 100 | Omn |
| <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) | 6,19 | 100 | Omn |
| <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847) | 0,251 | 29,15 | acces |
| <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) | 3,01 | 100 | Omn |
| <i>Aphelinus mali</i> (Haldeman, 1851) | 1,10 | 56,19 | Rég |
| <i>Cales noacki</i> (Howard, 1907) | 3,41 | 100 | Omn |
| <i>Tapinoma nigerimum</i> (Forster, 1850) | 2,15 | 100 | Omn |

F% : Fréquence, C% : Constance, STAT ECO : Statut écologique, Acces : Accessoire, Omn : Omniprésente, Rég : Régulière

Les résultats relatifs au statut écologique des consommateurs primaires sous l'effet des différentes doses du Biostimulants E3 sont reportés sur le Tableau 3.5. Il ressort d'après les valeurs de la constance qu'*Aonidiella aurantii*, *Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii* ont maintenus leur statut écologique d'espèces omniprésentes. Cependant, *Parlatoria pergandii*, *Parlatoria ziziphi* et *Aleurothrixus floccosus*, sous l'effet de l'augmentation de la dose de traitement au Biostimulants E3, se sont vue changées de statut écologique d'espèces omniprésentes en espèces constantes. Le même cas de figure a été signalé chez *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri*, où les résultats de la constance ont montré que les espèces ont changés de statut écologique d'espèces constantes en espèces régulières.

Tableau 3.5 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet du Biostimulant E3

| Espèces | E3-D1 | | | E3-D2 | | |
|--|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | F % | C % | STAT ECO | F % | C % | STAT ECO |
| <i>Parlatoria pergandii</i> (Comstock, 1881) | 7,37 | 100 | Omn | 2,88 | 82,02 | Cons |
| <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell, 1879) | 12,79 | 100 | Omn | 9,66 | 100 | Omn |
| <i>Parlatoria ziziphi</i> (Lucas, 1853) | 8,13 | 100 | Omn | 2,81 | 79,91 | Cons |
| <i>Aphis gossypii</i> (Glover, 1877) | 1,73 | 78,09 | Cons | 0,415 | 61,19 | Rég |
| <i>Aphis spiraeicola</i> (Patch, 1914) | 19,82 | 100 | Omn | 8,94 | 100 | Omn |
| <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841) | 13,55 | 100 | Omn | 7,79 | 100 | Omn |
| <i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776) | 2,55 | 85,91 | Cons | 0,771 | 65,22 | Rég |
| <i>Aleurothrixus floccosus</i> (Maskell, 1896) | 6,76 | 100 | Omn | 2,12 | 78,61 | Cons |
| <i>Dialeurodes citri</i> (Ashmead, 1885) | 3,24 | 89,11 | Cons | 0,831 | 67,09 | Rég |
| <i>Salticidae sp1</i> (Blackwall, 1841) | 9,33 | 100 | Omn | 4,17 | 82,11 | Cons |
| <i>Salticidae sp2</i> (Blackwall, 1841) | 8,21 | 100 | Omn | 3,44 | 80,34 | Cons |
| <i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794) | 6,66 | 100 | Omn | 3,26 | 80,12 | Cons |
| <i>Coccinella algerica</i> (kovar, 1977) | 3,86 | 77,91 | Cons | 0,223 | 57,46 | Rég |
| <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 2,72 | 75,12 | Cons | 0,461 | 69,24 | Rég |
| <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850) | 18,18 | 100 | Omn | 14,91 | 100 | Omn |
| <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) | 22,42 | 100 | Omn | 16,66 | 100 | Omn |
| <i>Stethorus punctillum</i> (Weise, 1891) | 1,35 | 100 | Omn | 1,73 | 100 | Cons |
| <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847) | 14,77 | 100 | Omn | 11,54 | 100 | Omn |
| <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) | 21,71 | 100 | Omn | 17,05 | 100 | Omn |
| <i>Aphelinus mali</i> (Haldeman, 1851) | 1,10 | 100 | Cons | 1,32 | 100 | Rég |
| <i>Cales noacki</i> (Howard, 1907) | 19,99 | 100 | Omn | 16,95 | 100 | Omn |
| <i>Tapinoma nigerimum</i> (Forster, 1850) | 11,76 | 100 | Omn | 9,47 | 100 | Omn |

F% : Fréquence, C% : Constance, STAT ECO : Statut écologique, Acces : Accessoire, Omn : Omniprésente, Rég : Régulière, Cons : Constante

L'analyse des valeurs de la constance chez les consommateurs secondaires, a démontré que l'effet dose du Biostimulants E3, n'a pas influencé grandement le statut écologique de l'arthropodofaune auxiliaire où nous remarquons que la grande majorité des taxons soit ont maintenus le statut d'espèces omniprésentes tels que *Rodolia cardinalis*, *Scymnus subvillosus*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Episyrphus balteatus* et *Cales noacki*. Ou bien ont changé leur statut écologique d'espèces omniprésentes en espèces régulières tels que *Salticidae sp1*, *Salticidae sp2*, *Clitostethus arcuatus* et *Stethorus punctillum*. À l'exception des espèces sus citées, l'effet doses a été très visible sur le statut écologique de *Coccinella algerica*, *Psyllobora vigintiduopunctata* et *Aphelinus mali* à travers l'acquisition du statut d'espèces régulières (Tableau 3.5).

L'analyse de la constance chez les consommateurs primaires sous l'effet du Biostimulant E4, nous a montré l'incapacité d'installation primaire des espèces *Parlatoria ziziphi*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri* par comparaison au bloc témoin et au bloc traité au biostimulant E3 (Tableau 3.6). Cependant, les espèces *Parlatoria pergandii*, *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii* et *Aleurothrixus floccosus* ont dû changer de statut écologique d'espèces constantes en espèces régulière sous l'effet de la double dose du Biostimulant E4. En revanche, l'ensemble des espèces auxiliaires ont maintenues le statut d'espèce constante même avec l'augmentation des doses du Biostimulant E4 (Tableau 3.6).

Tableau 3.6 : Statut écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet du biostimulant E4.

| Espèces | E4-D1 | | | E4-D2 | | |
|--|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | F % | C % | STAT ECO | F % | C % | STAT ECO |
| <i>Parlatoria pergandii</i> (Comstock, 1881) | 5,52 | 91,42 | Cons | 0,882 | 71,33 | Rég |
| <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell, 1879) | 16,42 | 100 | Omn | 9,11 | 100 | Omn |
| <i>Aphis spiraecola</i> (Patch, 1914) | 4,24 | 89,49 | Cons | 0,653 | 66,90 | Rég |
| <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841) | 3,16 | 81,22 | Cons | 0,579 | 65,45 | Rég |
| <i>Aleurothrixus floccosus</i> (Maskell, 1896) | 3,26 | 83,07 | Cons | 0,486 | 61,95 | Rég |
| <i>Salticidae sp1</i> (Blackwall, 1841) | 6,64 | 87,12 | Cons | 5,56 | 80,55 | Cons |
| <i>Salticidae sp2</i> (Blackwall, 1841) | 7,71 | 89,22 | Cons | 6,44 | 79,74 | Cons |
| <i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794) | 9,13 | 92,33 | Cons | 8,90 | 88,32 | Cons |
| <i>Coccinella algerica</i> (kovar, 1977) | 5,36 | 80,61 | Cons | 4,11 | 78,51 | Cons |
| <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 5,69 | 83,98 | Cons | 3,53 | 76,47 | Cons |
| <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850) | 3,77 | 79,26 | Cons | 3,33 | 75,93 | Cons |
| <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) | 2,89 | 76,93 | Cons | 2,87 | 75,06 | Cons |
| <i>Stethorus punctillum</i> (Weise, 1891) | 3,48 | 80,04 | Cons | 2,36 | 77,12 | Cons |
| <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847) | 11,15 | 100 | Omn | 9,22 | 100 | Omn |
| <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776) | 14,51 | 100 | Omn | 9,88 | 100 | Omn |
| <i>Aphelinus mali</i> (Haldeman, 1851) | 3,19 | 80,29 | Cons | 2,44 | 76,31 | Cons |
| <i>Cales noacki</i> (Howard, 1907) | 4,54 | 83,62 | Cons | 3,88 | 78,89 | Cons |
| <i>Tapinoma nigerimum</i> (Forster, 1850) | 6,63 | 91,15 | Cons | 5,77 | 89,65 | Cons |

F% : Fréquence, C% : Constance, STAT ECO : Statut écologique, Acces : Accessoire, Omn : Omniprésente, Rég : Régulière

3.2.4. Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants

Nous avons essayé d'étudier la structuration des taxons folivores de *Citrus sinensis* Thomson en prenant en considération l'effet des Biostimulants E3 et E4 par comparaison au témoin, cela, par une méthode de dénombrement périodique

durant toute la période des traitements. Ce qui nous a permis d'élaborer les diagrammes rang/fréquences à fin d'estimer l'ordre d'arrivée de cette biocénose. Les diagrammes rang/fréquences des espèces sont tracés en classant les espèces par ordre de fréquence décroissantes. Les rangs des espèces sont portés en abscisses et leurs fréquences en ordonnées avec une échelle logarithmique. Les diagrammes varient en fonction de la richesse spécifique qui permet de caractériser les distributions des différentes espèces. Les résultats obtenus ont montré que la succession des espèces varie selon le type de traitement apporté. Nous remarquons clairement que l'état d'équilibre de la biocénose diffère entre les traitements avec des équations de tendance différentes (Figure 3.6).

Les assemblages les plus riches sont le témoin et l'E3 et comprennent 21 et 22 espèces respectivement (Figure 3.6a et b), alors que le moins riche, correspond à l'E4 avec seulement 18 espèces (Figure 3.6c). La composition des assemblages montre la forte disparité de la structure de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants par apport à la structure de l'assemblage témoin.

Dans l'assemblage Témoin, les premiers rangs d'abondance sont attribués aux consommateurs primaires, notamment, *Aphis spiraecola* (CI-Apsp), *Aonidiella aurantii* (CI-Aoau), *Toxoptera aurantii* (CI-Toau), *Parlatoria ziziphi* (CI-Pazi) et *Parlatoria pergandii* (CI-Paper). Cependant, les rangs intermédiaires distinguent une multitude de consommateurs secondaires spécifiques et généralistes entre autres, *Cales noacki* (CII-Cano), *Rodolia cardinalis* (CII-Roca) et *Aphidoletes aphidimyza* (CII-Apap) (Figure 3.6a).

Concernant l'assemblage E3, les espèces *Aphis spiraecola* (CI-Apsp), *Toxoptera aurantii* (CI-Toau), dominant l'assemblage à l'inverse de l'assemblage témoin, avec le maintien des espèces intermédiaires qui sont des consommateurs secondaires spécifiques et généralistes a savoir, *Cales noacki* (CII-Cano), *Rodolia cardinalis* (CII-Roca) et *Aphidoletes aphidimyza* (CII-Apap) (Figure 3.6b). Chez l'assemblage E4, les cochenilles *Aonidiella aurantii* (CI-Aoau), et *Parlatoria pergandii* (CI-Paper), dominant la biocénose, mais avec des effectifs très réduits. Cet assemblage se caractérise par la présence d'*Aphidoletes aphidimyza* (CII-Apap) parmi les espèces dominatrice de l'assemblage (Figure 3.6c).

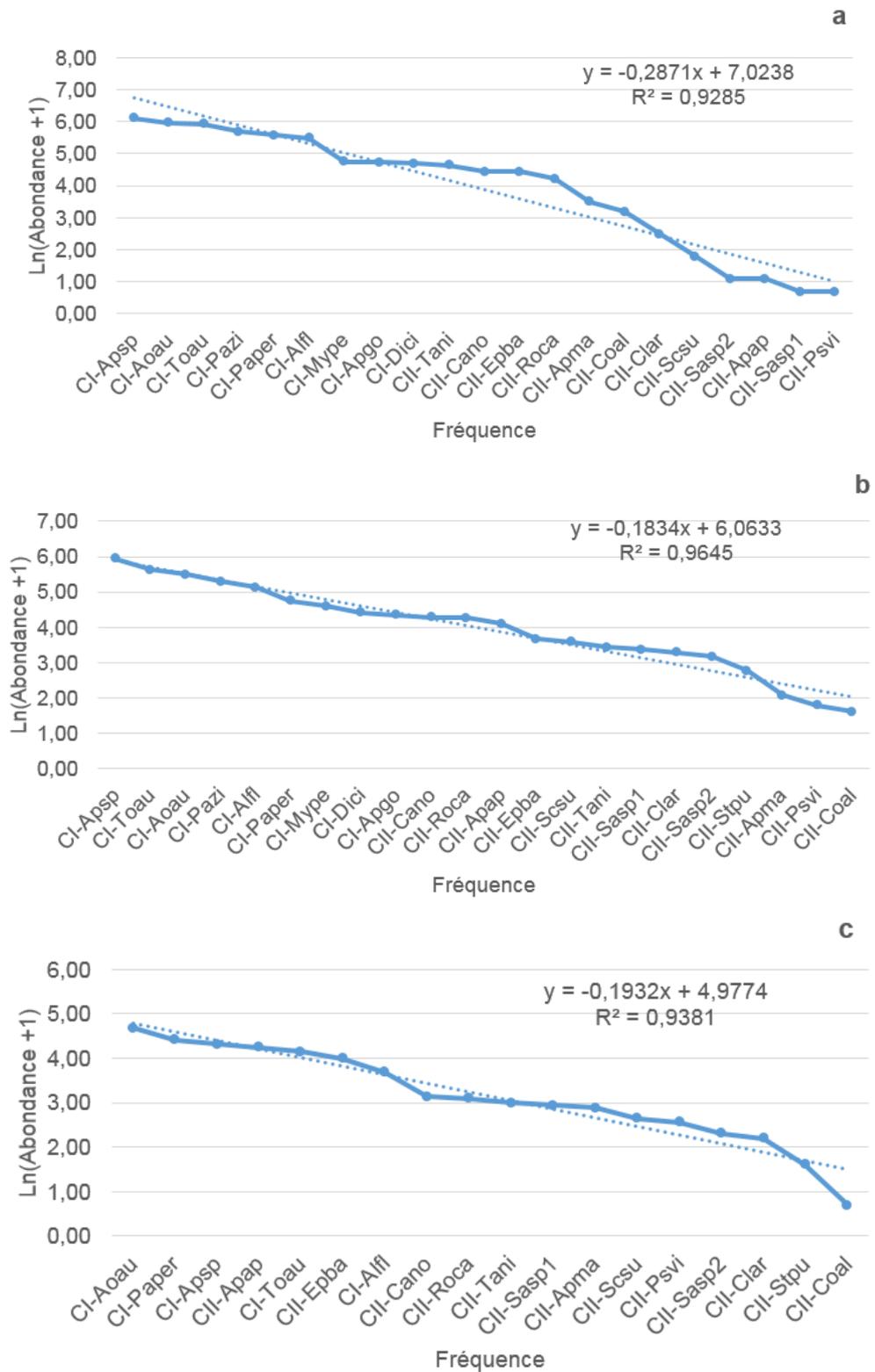


Figure 3.6 : Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore de *Citrus sinensis* Thomson sous l'effet des Biostimulants

CI-Paper : *Parlatoria pergandii* , CI-Aoau : *Aonidiella aurantii*, CI-Pazi : *Parlatoria ziziphi*, CI-Apgo : *Aphis gossypii*, CI-Apso : *Aphis spiraeicola*, CI-Toau : *Toxoptera aurantii*, CI-Mype : *Myzus persicae*, CI-Alfi : *Aleurothrix floccosus*, CI-Dici : *Dialeurodes citri*, CII-Sasp1 : *Salticidae sp1*, CII-Sasp2 : *Salticidae sp2*, CII-Clar : *Clitostethus arcuatus*, CII-Coal : *Coccinella algerica* , CII-Psvi : *Psyllobora vigintiduopunctata*, CII-Roca : *Rodolia cardinalis*, CII-Scsu : *Scymnus subvillosus*, CII-Stpu : *Stethorus punctillum*, CII-Apap : *Aphidoletes aphidimyza*, CII-Epba : *Episyrphus balteatus*, CII-Apma : *Aphelinus mali*, CII-Cano : *Cales noacki*, CII-Tani : *Tapinoma nigerimum*

3.2.5. Similarité de l'arthropodofaune folivore entre les différents traitements

D'après le tableau 3.7, l'ajustement des dénombrements des espèces folivores au modèle MOTOMURA est statistiquement hautement significative pour les trois traitements avec des valeurs respectives de Témoin= $3,46 \times 10^{-14}$; E3= $5,73 \times 10^{-21}$ et E4= $2,22 \times 10^{-31}$ ($p < 0,01\%$).

La comparaison des pentes de l'arthropodofaune folivore étudiée révèle une différence très marquée entre les trois traitements.

Le tableau 3.7 comporte les résultats finaux des probabilités (P) du rapprochement des fluctuations de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des biostimulants par comparaison au témoin au modèle standard de MOTOMURA. Ce même tableau met en évidence que les espèces qui cohabitent au niveau des feuilles de *Citrus sinensis Thomson*, présentent une structuration différente d'un type de traitement à un autre.

Tableau 3.7 : Comparaison des pentes de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

| Blocs | Témoin | E3 | E4 |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| PENTE | -0,2871 | -0,1834 | -0,1932 |
| Ajustement au modèle MOTOMURA | $3,46 \times 10^{-14}$ | $5,73 \times 10^{-21}$ | $2,22 \times 10^{-31}$ |
| Témoin | - | | |
| E3 | $4,61 \times 10^{-9}$ | - | |
| E4 | $1,71 \times 10^{-11}$ | $3,64 \times 10^{-9}$ | - |

3.3. Expression physiologiques et biochimiques des feuilles d'oranger sous l'effet des Biostimulants

La présentation graphique en Box Plot des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation de la qualité phytochimique observée sous l'effet des différentes doses des biostimulants (Fig. 3.7 et tableau 3.8). La comparaison des valeurs des paramètres phytochimiques étudiées sous l'effet des fortes doses annonce une similarité d'effet entre les deux biostimulants. Cependant, la forte dose d'E4, dépasse largement l'effet des Biostimulants en termes d'expression positif des paramètres étudiés.

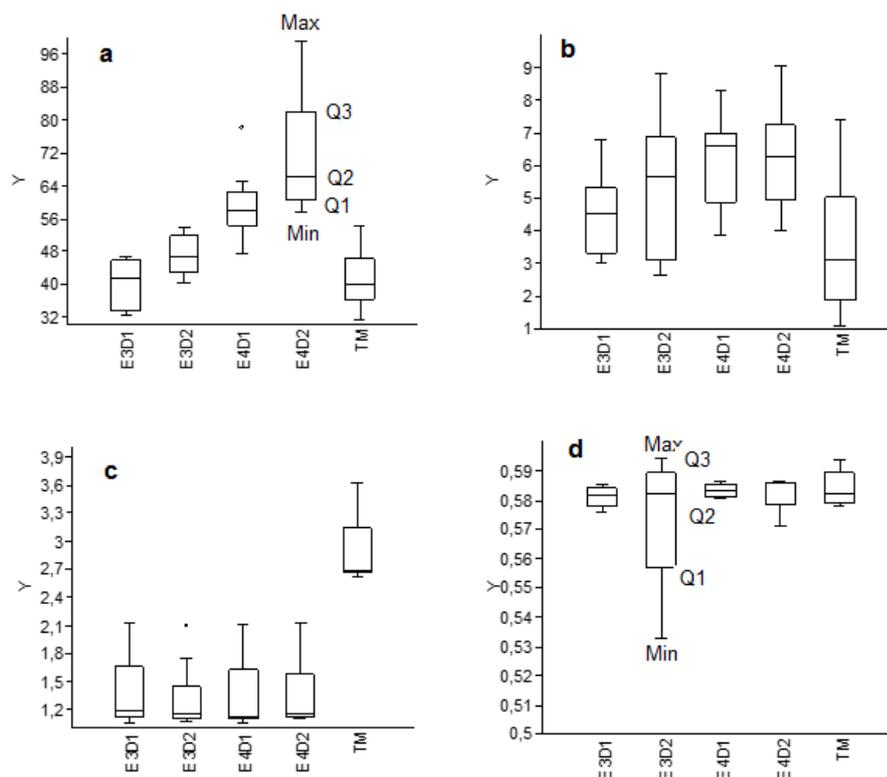


Figure 3.7 : Présentation en Box Plot des données expérimentales de la qualité phytochimique de *Citrus sinensis* Thomson sous l'effet des Biostimulants

a : Teneur relative en eau (%), b : Teneur en acides aminés solubles (mg.g^{-1} de M.S.), c : Teneur en proline libre endogène (mg.g^{-1} de M.S.), d : Teneur en sucres solubles totaux (mg.g^{-1} de M.F.)

Tableau 3.8 : Valeurs de la qualité phytochimique de *Citrus sinensis* Thomson sous l'effet des différentes doses des Biostimulants

| | | E3D1 | E3D2 | E4D1 | E4D2 | TM |
|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Teneur relative en eau (%) | Min | 32,30 | 40,10 | 47,50 | 57,50 | 31,30 |
| | Max | 46,80 | 53,50 | 78,00 | 99,00 | 54,30 |
| | Q2 | 41,60 | 46,75 | 58,00 | 65,85 | 39,80 |
| | Q1 | 32,90 | 42,55 | 53,98 | 59,73 | 35,60 |
| | Q3 | 46,15 | 51,90 | 63,78 | 86,60 | 47,03 |
| Teneur en acides aminés solubles (mg.g^{-1} de M.S.) | Min | 3 | 2,63 | 3,85 | 3,99 | 1,08 |
| | Max | 6,76 | 8,81 | 8,27 | 9,06 | 7,39 |
| | Q2 | 4,49 | 5,61 | 6,59 | 6,26 | 3,12 |
| | Q1 | 3,23 | 2,92 | 4,46 | 4,64 | 1,59 |
| | Q3 | 5,47 | 6,89 | 6,99 | 7,55 | 5,19 |
| Teneur en proline libre endogène (mg.g^{-1} de M.S.), | Min | 1,05 | 1,07 | 1,05 | 1,11 | 2,62 |
| | Max | 2,12 | 2,09 | 2,10 | 2,13 | 3,61 |
| | Q2 | 1,18 | 1,14 | 1,12 | 1,14 | 2,67 |
| | Q1 | 1,12 | 1,10 | 1,10 | 1,12 | 2,65 |
| | Q3 | 1,87 | 1,59 | 1,86 | 1,79 | 3,36 |
| Teneur en sucres solubles totaux (mg.g^{-1} de M.F.) | Min | 0,58 | 0,53 | 0,58 | 0,57 | 0,58 |
| | Max | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 |
| | Q2 | 0,58 | 0,58 | 0,58 | 0,59 | 0,58 |
| | Q1 | 0,58 | 0,54 | 0,58 | 0,57 | 0,58 |
| | Q3 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 |

Les données des paramètres physiologiques et biochimiques des feuilles de *Citrus sinensis* Thomson ont été mises en relation avec la nature et les doses des biostimulants expérimentés. Cela permet de valider l'hypothèse des effets positifs d'une expression physiologique et biochimique élevée sous l'effet des biostimulants à C/N 50,30. En effet, des différences très significatives (Test One-Way ANOVA, $p < 1\%$) entre l'expression phytochimique des plants traités et le témoin ont été établies, autant pour les faibles doses que pour les fortes doses (Tableau 3.9).

Pour la teneur relative en eau on observe aussi des différences significatives (Test One-Way ANOVA, $p < 0,01\%$) entre l'effet des biostimulants E3 à C/N24, 90 et les biostimulants E4 à C/N50, 30, avec des relations de meilleure qualité pour l'E4 sous les deux doses expérimentées. Une plus forte dispersion de l'expression phytochimique pour les deux doses de l'E4 et la forte dose de l'E3 montrent l'effet important sur la modulation des teneurs en sucres solubles totaux et en acides aminés solubles par rapport au témoin. Pour cette expérimentation pareillement sous l'effet des deux doses de l'E3 et de l'E4, montrent des quantités faibles en proline libre endogène par comparaison au témoin (Tableau 3.9).

Tableau 3.9 : Effets des différents traitements sur la qualité physiologique et biochimique des feuilles d'oranger

| Traitements | Teneur relative en eau (%) | Teneur en sucres solubles totaux (mg.g ⁻¹ de M.F.) | Teneur en acides aminés solubles (mg.g ⁻¹ de M.S.) | Teneur en proline libre endogène (mg.g ⁻¹ de M.S.) |
|-------------|----------------------------|---|---|---|
| D1-E3 | 40,06±2,21d | 3,07±0,03c | 4,50±0,46c | 1,33±0,10b |
| D2-E3 | 46,99±1,77c | 3,93±0,12b | 5,32±0,78b | 1,36±0,12b |
| D1-E4 | 59,34±3,24b | 4,74±0,82b | 6,12±0,54a | 1,39±0,16b |
| D2-E4 | 71,59±5,45a | 6,83±0,79a | 7,85±0,60a | 1,42±0,25b |
| TM | 41,26±2,61d | 2,31±0,25d | 3,57±0,76d | 2,89±0,35a |
| F | 16,38 | 10,13 | 9,03 | 20,31 |
| p | 1,34×10 ^{-8***} | 2,8×10 ^{-5***} | 0,0077* | 1,01×10 ^{-7***} |

D1:60g/l,60g de substrat / litre d'eau; D2=120g/l,120g de substrat /litre d'eau), TM :Témoin,**: Significative à 1%, ***/ Significative à 0,1%, ² les valeurs avec les lettres sont significativement différentes à $p < 5\%$, selon le test de Tukey a>b>c

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

Chapitre 4 : Discussion

Les biostimulants sont devenus une pratique courante dans l'agriculture, offre un certain nombre d'avantages en stimulant la croissance et en protégeant les plantes contre le stress. Un biostimulant est défini au sens large comme une matière organique et/ou un micro-organisme qui est appliqué pour améliorer l'absorption des nutriments, stimuler la croissance, améliorer la tolérance au stress ou la qualité de la culture contre le stress. Parmi les biostimulants obtenus par le vermicompostage dans cette étude est le vermicompost, constitué des résidus ménagers et domestiques comme le marc de café, les coquilles d'œuf, le papier carton et le pain dur.

En raison d'obtenir un bioproduit constitue une approche très intéressante dans la production intégrée durable, l'objectif est d'étudier et évaluer la qualité des bioengrais obtenus par le vermicompostage et évaluer leurs effets sur la qualité phytochimique des plantes de *Citrus Sinensis Thomson* et est –ce-que ils peuvent donner aux plantes de *Citrus Sinensis Thomson* la richesse en éléments minéraux et les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense et évaluer l'impact de ces biostimulants sur le recrutement des groupes fonctionnels et la structuration populationnelles des espèces folivores.

4.1. Caractérisation des biostimulants.

Relativement aux résultats obtenus par la microscopie électronique à balayage (MEB), les deux biostimulants vermicompostés ont une structure poreuse avec une absence de différence significative pour le facteur diamètre des pores des deux substrats (Pores-E3= 1,158 μM et pores-E4= 0,907 μM , $p>5\%$). Cette porosité obtenue au niveau des deux substrats, après vermicompostage, nous indique que les biostimulants E3 et E4, présentent une grande capacité de rétention d'eau et des éléments nutritifs. Nos résultats sont conformes aux travaux de ABARANJI et al [195], ils ont montré que La nature poreuse du lombricompost est visible sur l'image MEB et les pores sont répartis dans une large gamme de 0,5 μm à 6 μm . La présence de ces pores est responsable de la conductivité hydraulique du vermicompost. Ainsi, le vermicompost à structure poreuse possède d'excellentes

caractéristiques de stockage de l'eau. En effet, BHAT et al [196] ont montré que dans les substrats après le vermicompostage, les protéines et la lignine ont été désagrégées par les vers de terre. Les vers de terre décomposent les déchets dans leurs intestins qui contiennent divers microbes qui contribuent à la dégradation progressive. Les mélanges après le vermicompostage ont confirmé la présence d'un plus grand nombre d'irrégularités de surface, ce qui indique que l'approche du vermicompostage a permis d'obtenir un vermicompost de bonne qualité avec une porosité élevée et une bonne disponibilité des nutriments.

OLLE [197] a confirmé que le vermicompost Possède une grande porosité, une capacité de rétention d'eau et une surface élevée qui fournit des sites abondants pour l'activité microbienne et pour la rétention des nutriments. KUMAR et al [198] et PANDIT et al [199] ont montrés que l'ingestion des substrats par les vers de terre a produit un vermicompost avec des surfaces irrégulières ce qui confirment que le vermicompost final a atteint sa maturité. D'après ATIYEH et al [200] et DOMINGUEZ ET EDWARDS [201], dans un vermicompost de qualité, la porosité doit représenter 70 à 80 % du volume total et le taux d'aération dans les pores doit être compris entre 20-30% et 55-75%. Ces critères ont été déterminés en tenant compte du développement optimal des plantes. A la fin de la production du vermicompost, la teneur en eau est d'environ 50-90%, avec des variations.

Nos résultats obtenus par L'analyse quantitative des biostimulants E3 (marc de café, coquille d'œufs, carton broyé, tourbe professionnelle) et E4 (marc de café, carton broyé, chapelure de pain) vermicompostés par microscopie électronique à balayage associée à la microanalyse par énergie dispersive de rayons X (MEB-EDX) montrent une composition minérale assez contrastée pour les deux biostimulants, l'E3 contient C (48,07%), O (44,54%) et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, Cl, K et Ca qui sont également présents dans le vermicompost E3, mais avec une faible proportion. Le E4 contient C (45,13%), O (51 ,92%) et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, K et Ca qui sont également présents dans le vermicompost E4, mais avec une faible proportion. Ces résultats sont en parfait accord avec celles trouvées par GARG et al [202] dont la composition élémentaire englobe le carbone, le Calcium , le Magnésium , le Potassium et le Sodium.

D'après THEUNISSEN et al et GUERRERO [203], [204] ont montrés que ces composants et ces valeurs de la composition élémentaires du vermicompost peuvent varier en fonction de type de déchets organiques utilisés pour produire le vermicompost et la qualité du vermicompost (teneur en éléments nutritifs) dépend largement des matériaux utilisés et de la biomasse de vers de terre produite.

Concernant le taux élevé de carbone trouvé dans les deux bioengrais E3 et E4, AROUN et AL [182] ont indiqué que ce résultat montre bien que le marc de café que nous avons utilisé comme élément majeur de deux substrats à lombricomposter n'est pas pur, il est très riche en carbone et pauvre en azote. Ce qui nous laisse envisager l'hypothèse qu'il a été enrichi en substrat carbonaté pendant sa phase de torréfaction.

Plusieurs études ont indiqué que Le vermicompost est un engrais organique nourrissant qui contient une grande quantité d'humus, d'azote, de phosphore, de potassium et des micronutriments. D'après AROUN et al [182], Il semblerait que l'ajout de pain broyé soit à l'origine de l'apport complémentaire d'azote protéique aux E4. Comme, il s'avère également que les autres compléments en coquille d'œuf broyée, carton broyé soient à l'origine de l'augmentation du taux d'azote total dans le bioproduit final lombricomposté E3, en effet, Il semblerait que le complément en tourbe professionnelle est le facteur responsable de l'enrichissement de la teneur en phosphore de substrat E3 par rapport aux substrats E4 [205], [206]. Il est précisé par MOREL et al [207] que les teneurs en phosphore diminuent régulièrement en fonction du temps pendant le compostage. En outre, Les analyses de paramètres physico- chimiques des deux substrat E3 et E4 réalisés par AROUN et al[182] montrent que les deux bioengrais contiennent une faible quantité d'azote et de phosphore, E3 avec une quantité de N= 0,77% et P=0,176 %, E4 avec une quantité de N=1,12% et P= 0,0125% .L'absence de l'azote et du phosphore dans les résultats fournis par MEB-EDX est probablement due à la faible teneur qui n'a pas pu être détecter par cette technique analytique.

de nombreux chercheurs ont confirmé que le vermicompost contient des nutriments, ces derniers possèdent des effets sur la plante notamment N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu et B, dont l'absorption a un effet positif sur la nutrition, le développement, la croissance des plantes, la photosynthèse, la teneur en chlorophylle des feuilles

et améliore la teneur en éléments nutritifs des différents composants de la plante (racines, pousses et fruits).leur carence peuvent entrainer une mauvaise croissance des plantes [208] .Les travaux de SINGH et al [209] ont montré que les minéraux de vermicompost tels que le Ca, S, Mg, K ont des effets similaires sur la croissance et le rendement des plantes.

Nos résultats obtenus par La diffraction des rayons X montrent une structure amorphe des deux substrats et une faible cristallinité des échantillons dans le domaine allant de 20° à 70° et une grande similitudes des deux substrats, ceci prouve que le vermicompostage, n'influe pas sur le changement des composants des biostimulants ni sur la structure cristalline.

Des pics de diffraction ont été détectés vers des valeurs de 2θ égales a :

- $26,6^\circ$ correspond : à la présence des substances humiques.
- Les deux pics situés à $29,5^\circ$ et $64,8^\circ$ correspondent à la présence du carbone
- $47,65^\circ$ correspond à la présence du calcium.

En 2017, ARUMGAM et al ont comparé les spectres DRX de deux vermicomposts préparés à base de gobelets en carton avec les spectres DRX de la cellulose et des gobelets en carton seules considéré comme témoins. Les résultats obtenus montrent que des pics localisés vers 2θ égale à $15,2^\circ$ et $22, 64^\circ$ ont été détectés dans les diffractogrammes des témoins qui sont attribués a la cellulose. D'autre part, une absence de ces mêmes pics a été noté pour les deux vermicomposts préparés. En comparant nos résultats avec celles trouvés par ARUMUGAM et al [210] nous pouvons conclure que l'absence de ces pics $15,2^\circ$ et $22, 64^\circ$ dans nos spectres est principalement due à la biodégradation de la cellulose sous l'effet du vers de terre *Eisenia foetidae* , de plus le même pic a été détecté à 2θ égale $26,6^\circ$ attribué au substances humiques [211].Le pic détecté vers 2θ égale à $29,5^\circ$ indique la présence du carbone dans nos bioengais E3 et E4. Ce pic avait déjà été observé par DIAZ-RAMIREZ et al[212].dans des aliments contenant du carbonate de calcium. De plus , le pic situé à 2θ égale à $64,6^\circ$ est attribué au carbone ce résultat est en parfait accord avec celui obtenu par PANDIARAJ et al [213].

Le pic localisé a une valeur de 2 θ de l'ordre de $47,64^\circ$ est attribué au calcium. Ce résultat coïncide avec ceux obtenue par PANDIARAJ et al [213] et BIYADA [214].

4.2. Impact des biostimulants sur l'arthropodoaune agrumicole

L'inventaire de l'arthropodofaune agrumicole montre une diversité d'espèces très riche dans les unités expérimentales notamment les consommateurs primaires qui sont les arthropodes nuisibles et les consommateurs secondaires qui sont les auxiliaires.

D'après nos résultats, l'unité expérimentale traitée par le substrat E4 exprime le nombre d'individus le moins important associé à un nombre de taxa (espèces) très faible avec une suppression de divers groupes entomologiques opophages tels que *Parlatoria ziziphi* (Diaspididae), *Aphis gossypii* et *Myzus persicae* (Aphididae), *Dialeurodes citri* (Aleyrodidae), en faveur de l'apport de la forte dose d'E4 qui s'avère la plus contraignante en termes d'installation primaire des bioagresseurs selon le gradient de la distribution moyenne des nuisibles sous l'effet des biostimulants : TM > D1-E3 > D2-E3 & D1-E4 > D2-E4. Cette tendance a également rapporté qu'après de fortes doses d'E3 et de faibles doses d'E4, mais avec une moindre intensité. Nos résultats confirment que les constituants du lombricompost qui induisent des variations dans le métabolisme végétal, permettant de stimuler la défense naturelle des plantes.

Pour Les résultats relatifs au statut écologique des consommateurs primaires au niveau du bloc témoin, les espèces *Parlatoria pergandii*, *Aonidiella aurantii*, *Parlatoria ziziphi*, *Aphis gossypii*, *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii* et *Aleurothrixus floccosus* sont omniprésentes. Cependant, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri*, sont régulière sous l'effet des différentes doses du Biostimulants E3, les espèces *Aonidiella aurantii*, *Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii* ont maintenus leur statut écologique d'espèces omniprésentes, les especes *Parlatoria pergandii*, *Parlatoria ziziphi* et *Aleurothrixus floccosus*, sont et vue changées de statut écologique d'espèces omniprésentes (sous l'effet de la faible dose d'E3) en espèces constantes (sous l'effet de la forte dose de E3) et *Aphis gossypii*, *Myzus*

persicae et *Dialeurodes citri*, où les résultats de la constance ont montré que les espèces ont changés de statut écologique d'espèces constantes (sous l'effet de la forte dose de E3) en espèces régulières sous l'effet de l'augmentation de la dose de traitement au Biostimulants E3 avec. Les plants traités par E4 montrent l'incapacité d'installation de quelque espèce ravageuse tels que *Parlatoria ziziphi*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri* et et l'espèces *Parlatoria pergandii*, *Aphis spiraeicola*, *Toxoptera aurantii* et *Aleurothrixus floccosus* ont dû changer de statut écologique d'espèces constantes en espèces régulière sous l'effet de la double dose du Biostimulant E4.

On se basant sur l'hypothèse avancée, nous pouvons l'accorder avec plusieurs études antérieures sur l'efficacité de vermicompost sur la diminution des ravageurs opophages. Une étude de RAZMJOU et al [215] sur l'évaluation des effets de vermicompost et du cultivar de concombre (*Cucumis sativus L.*) sur les niveaux d'infestation par *A. gossypii*, montre que les populations de pucerons ont atteint les niveaux les plus élevés pour les plantes concombre (*Cucumis sativus L*) cultivées dans des pots contenant à 0 et 10 % de vermicompost, à une concentration de 30 % de vermicompost . Les plantes ont hébergé moins de la moitié des pucerons que les plantes cultivées dans un sol sans lombricompost. Pour une concentration de 50% de vermicompost, les populations de pucerons ont été encore plus réduites avec un effet sur les indices de performance des plantes (la hauteur, le poids sec et la teneur en chlorophylle des plantes). Les mêmes auteurs ont indiqué que ce résultat suggère certainement qu'il existe un niveau optimal d'ajout de lombricompost qui permet de supprimer fortement les populations de pucerons sans entraver la croissance des plantes. ALIZAMANI et al [216] ont démontré que l'ajout de lombricompost au milieu de culture des plants de concombre pouvait affecter positivement certains paramètres démographiques de *H. variegata*, ce qui en ferait un prédateur approprié d'*A. gossypii* dans les plants traités au lombricompost. PATRIQUIN et al [217] ont signalé plus de pucerons *Aphis fabae*, sur des plantes cultivées avec des applications d'urée que sur celles cultivées dans des sols gérés biologiquement.

ARANCON et al [218] ont affirmé l'efficacité du vermicompost contre les attaques de cochenilles farineuses sur les concombres et les tomates, contre les attaques de

tétranyques à deux points (*Tetranychus urticae*) sur les haricots et aubergine et contre les attaques de pucerons (*Myzus persicae*) sur les choux.

Dans le cadre d'une expérience dans une serre en système fermé, le lombricompost solide a été utilisé pour remplacer le sol comme milieu de plantation. Les résultats ont démontré une suppression significative du puceron (*Myzus persicae*), de la cochenille (*Pseudococcus spp.*), et la chenille du chou (*Peiris brassicae*) sur les tomates et les poivrons et la capacité du lombricompost de produire une plante résistante aux invasions de ravageurs [219]. L'amendement du sol avec 30 % de lombricompost affectait de manière significative les paramètres de la table de survie de *M. persicae*. Il a donc été conclu que l'amendement du sol du poivron avec 30 % de lombricompost peut permettre de lutter efficacement et sans danger pour l'environnement contre ce puceron [220]. Une expérience de PEIMANI FOROUSHANI et al [221] a affirmé que L'application de lombricompost a également réduit le pourcentage des feuilles de tomate infestées par les Aleyrodidae et augmente la mortalité du deuxième stade nymphal de l'aleurode des serres *Trialeurodes vaporariorum* (d'environ 10 %) - stade auquel les insectes se fixent aux feuilles par leurs pièces buccales suceuses. SEDAGHATBAF et al [222] ont indiqué que le vermicompost à base des déchets de pistaches et à base des déchets de dattes augmente la mortalité pré-adulte de l'aleurode de la patate douce *Bemisia tabaci* (*Gennadius*) et les plantes traitées avec les déchets de pistaches ont donné les meilleurs résultats en termes de croissance et de résistance à l'aleurode de la patate douce.

RAO et al [223] et RAO [224] ont signalé des diminutions considérables des populations, de jassides, de pucerons, de coccinellidés et de tétranyques sur les arachides cultivées dans des sols amendés avec des lombricomposts.

D'autres études montrent que le L'application de lombricompost et de ses dérivés a suscité un grand intérêt scientifique pour la lutte contre *Meloidogyne sp.* Dans diverses cultures, y compris la carotte [225], la tomate [226] et le concombre [227]. Dans un contexte similaire, SHOVA et al [228], ont affirmé que les mécanismes d'action par lequel le lombricompost pourrait supprimer la pénétration des larves de *M. incognita* dans les racines et l'éclosion des œufs de cette espèce, pourraient être dû à l'induction de la résistance de la plante hôte par des Rhizobactéries bénéfiques, ou la sécrétion d'enzymes hydrolytiques telles que la chitinase, qui

provoque l'hydrolyse des œufs de nématodes , ou une protéase qui hydrolyse les protéines protégeant la couche de chitine de la coquille d'œuf de nématodes, exposant ainsi la couche de chitine à la chitinase.

RENCO et KOVACIK [229] ont démontré l'efficacité de la forme liquéfiée du lombricompost par rapport à sa forme solide. Ils ont indiqué que L'application d'extraits de lombricompost seuls ou en mélange avec de l'urée a eu un fort effet de suppression contre les nématodes à kystes de la pomme de terre : *Globodera rostochiensis* et *Globodera pallida*. Le nombre d'œufs et de juvéniles des deux espèces a été significativement réduit lorsque le sol a été traité avec du lombricompost. En outre, l'application de vermiwash (extrait aqueux de lombricompost) dans le sol ou la pulvérisation à la surface des plantes a permis de supprimer de manière significative les agents pathogènes et les ravageurs. En outre, il contient des hormones (cytokines, auxines) qui facilitent la croissance et le développement des cultures, des bactéries décomposeurs qui suppriment les agents pathogènes, de l'amylase et de la cellulose qui stabilisent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol[230] .

Des études antérieures ont montré que le lombricompost était très efficace pour lutter contre les maladies et les parasites des plantes. BELGÜZAR [231] a déterminé que le lombricompost supprime de manière significative le chancre bactérien et la maladie du flétrissement. Dans les expériences en pot, différentes doses de lombricompost ont été utilisées et la gravité de la maladie a diminué le plus dans les traitements avec 40% de lombricompost et la maladie a été supprimée de 90%. La taille des lésions dans les faisceaux vasculaires a également diminué de manière significative (66%).

DUCASSE [232], estime que les teneurs élevées en microorganismes de lombricompost protègent les plantes en concurrençant les organismes pathogènes sur le plan des ressources tout en bloquant également leur accès aux racines par une occupation des sites disponibles. Cette hypothèse a été expérimentée par CHAOUI et AL[233], qui ont testé l'apport du lombricompost commercial sur des végétaux malades. Les résultats ont montré que les infections de *Pythium* (concombre), de *Rhizoctone* (radis sous-serre), de *Verticilliose* (fraise), d'*Excoriose*

et d'Oïdium (vigne), ont été fortement réduites. Les applications du lombricompost ont diminué de manière importante l'incidence de ces diverses maladies.

Nos résultats démontrent aussi un nombre important des consommateurs secondaires ou les auxiliaires entomophages qui sont la plupart des prédateurs tels que Salticidae (*Salticidae sp1*, *Salticidae sp2*), Coccinellidae (*Psyllobora vigintiduopunctata*, *Scymnus subvillosus*), Cecidomyiidae (*Aphidoletes aphidimyza*), et Syrphidae (*Episyrphus balteatus*) dans les unités expérimentales traité par les biostimulants E3 et E4.

En termes de statuts écologique du bloc témoin, nous signalons *Rodolia cardinalis*, *Scymnus subvillosus*, *Episyrphus balteatus* et *Cales noacki* comme espèces omniprésentes, *Clitostethus arcuatus*, *Coccinella algerica* et *Aphelinus mali* comme espèce régulière, alors que *Salticidae sp1*, *Salticidae sp2*, *Psyllobora vigintiduopunctata* et *Aphidoletes aphidimyza* sont considérées comme espèces accessoire. L'analyse des valeurs de la constance chez les consommateurs secondaires, a démontré que l'effet dose du Biostimulants E3, n'a pas influencé grandement le statut écologique de l'arthropodofaune auxiliaire. En revanche, l'ensemble des espèces auxiliaires même avec l'augmentation des doses du Biostimulant E4 ont maintenu le statut d'espèce constante.

Ces résultats montrent que les biostimulants E3 et E4 n'affectent pas négativement les auxiliaires et ils sont en conformité avec plusieurs études. Nombreux chercheurs ont étudié l'effet de vermicompost sur les insectes auxiliaires. MONALYN et al [234] ont appliqué différents volumes de thé de vermicompost (10ml , 15 ml, 20ml) dilués dans 1L d'eau sur les plantes de riz. Ils ont montré que Le nombre le plus élevé d'insectes ennemis naturels a été enregistré sur les plantes traitées avec 20 ml de vermicompost tels que l'espèce de demoiselles à queue orange (*Agriocnemis pygmaea*), des coléoptères orange (*Cycloneda sanguine L.*), des araignées orbes (*Argiope catenulata*) , des araignées lynx (*Oxyopes catenulata*) et l'araignée lynx (*Oxyopes javanus*) . Cela signifie que l'augmentation des niveaux d'application du thé de vermicompost ne nuit pas aux insectes et aux arthropodes bénéfiques du riz, mais les attire même.

GIRADDI [235] a évalué l'effet de lombricompost, le tourteau de neem et le thé de vermicompost sur l'activité de la faune prédatrice des insectes ravageurs du piment.

Il a confirmé que ces amendements organiques utilisés dans l'étude n'ont pas affecté les prédateurs *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius) (Coleoptera : Coccinellidae) et *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera : Chrysopidae) dans le piment (*Capsicum annuum* L.) et leur densité était comparable à celle observée dans le témoin non traité. En revanche, le même auteur a montré que les interventions chimiques effectuées sur la même culture pour lutter contre les insectes nuisibles ont eu des effets néfastes sur la population de prédateurs. Cela signifie que les produits organiques tels que le vermicompost n'ont pas d'effets négatifs sur l'activité des auxiliaires présents dans l'écosystème des cultures. L'ajout de lombricompost au milieu de culture des plants de concombre pouvait avoir un effet positif sur certains paramètres démographiques de La coccinelle panachée *Hippodamia variegata* (Goeze) ce qui en ferait un prédateur approprié d'*Aphis gossypii* dans les plantes traitées au lombricompost [216]. En outre, MOTTAGHINIA et al [236] ont indiqué que la plupart des paramètres biologiques d'*Aphis gossypii* et *Aphidoletes aphidimyza* étaient affectés par le type de cultivar et le dosage de l'engrais à base de lombricompost. Par conséquent, l'intégration des deux méthodes culturales et de l'ennemie naturel peut conduire à un meilleur contrôle du puceron du melon dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs, en particulier dans les cultures sous serre.

4.2.1. Ordre d'arrivée écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants .

Les résultats des rang-fréquence, de la biocénose des espèces folivore de *citrus sinensis thomson* des espèces folivores ont montré que la succession des espèces varie selon le type de traitement apporté. Nous remarquons clairement que l'état d'équilibre de la biocénose diffère entre les traitements avec des équations de tendance différentes.

L'ordre d'arrivée des groupes fonctionnels a montré que les communautés vivant au niveau des unités expérimentales traité par le témoin et le E3 sont les plus riches par rapport l'unité expérimentales traité par le E4, La composition des assemblages avec les probabilités associé montrent la forte disparité de la structure de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Bio stimulants par rapport à la structure de l'assemblage témoin. Ces espèces qui cohabitent au niveau des feuilles de

Citrus sinensis Thomson, présentent une structuration différente d'un type de traitement à un autre. Cela se traduit que l'effet des biostimulants sur l'ordre d'arrivée des espèces folivores peut varier en fonction du types et composition de biostimulant utilisé, les arthropodes folivores présent, les conditions environnementales spécifiques et les stades phénologiques.

l'utilisation des bio stimulants tels que le vermicompost peut avoir une efficacité positive sur la santé des plantes en fournissant des nutriments, en améliorant la structure et la fertilité du sol, la croissance et la santé des plantes [93], [237]. Cela peut potentiellement retarder ou réduire l'arrivée de certain insectes dans les cultures[238], c'est le cas de l'assemblage E4, ou les cochenilles *Aonidiella aurantii* et *Parlatoria pergandii* dominant la biocénose, mais avec des effectifs très réduits. Pour l'assemblage E3, les espèces *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii*, dominant l'assemblage à l'inverse de l'assemblage témoin, cela démontre que le biostimulant ou le vermicompost E3 puisse améliorer la santé globale des plantes et renforcer leur résistance contre les ravageurs, il ne modifie pas directement l'ordre d'arrivée des pucerons. Cependant, une plante en bonne santé peut être plus résistante aux pucerons et peut attirer davantage de leurs prédateurs naturels, tels que les coccinelles ou les guêpes parasitoïdes, ce qui peut réduire les populations de pucerons.

Cependant, nous avons relevé des consommateurs secondaires spécifiques et généralistes dans les trois assemblages Temoin, E3 et E4 à savoir, *Cales noacki*, *Rodolia cardinalis* et *Aphidoletes aphidimyza*. D'après SARMOUM [239], la disponibilité de plusieurs espèces d'auxiliaires en grande partie généralistes, notamment les Eulophidae, les Chrysopidae, les Scelionidae et les Aphelinidae. Cela suggère que pour ces espèces à phases de maturation et de reproduction différenciées, la pression d'abondance est susceptible de s'exercer sur la disponibilité de la ressource alimentaire, en termes d'activité parasitaires ou d'alimentation de substitution (pollen et nectar) en réponse au bouleversement de l'ordre d'arrivée écologique tributaire aux changements climatiques (glissement des saisons). En effet, ISE et MOORCROFT [240] et BROOKER et al [241], ont signalé l'impact du changement climatique sur les réseaux complexes d'interactions biotiques telles que la prédation, le parasitisme et la pollinisation. De nombreuses

études ont montré que l'augmentation de la température du sol accélère la décomposition des matières organiques par les organismes du sol, permettant une meilleure productivité des plantes et augmentant ainsi les ressources nutritives en nectar et pollen, mais également de sites de refuge [240], [242]. L'ordre d'arrivée des groupes fonctionnels des communautés vivant au stades végétatifs, début (Feuilles étalées/ Bourgeons floraux) et en fin de végétation (Nouaison/ Fermeture de la grappe/ Maturation/ Récolte) sont les plus riches et les moins stables. Cette modification de structure se traduit principalement par une diminution de la fragmentation et une augmentation de connectivité entre les indices phénologiques[239].

4.3. Expression physiologiques et biochimiques des feuilles d'oranger sous l'effet des Biostimulants.

Relativement aux résultats obtenus et en comparant les paramètres physiologiques et biochimiques des plants témoin (sans apport) aux paramètres des plants traités, on constate que l'apport d'E3 et d'E4 ont eu un impact significatif sur les teneurs en eau, en sucres solubles totaux, en acides aminés solubles et en proline libre endogène. Cependant, en comparant les valeurs des paramètres phytochimiques étudiées, une similarité d'effet entre les deux biostimulants E3 et E4 a été enregistré sous l'effet des différentes fortes doses étudiées. En revanche, Le bioengrais E4 a C/ N=50,30, à ses deux doses, se distingue particulièrement par sa contribution à la modulation de la quantité des différents paramètres phytochimiques (sucres solubles totaux et d'acides aminés solubles). Cela permet de valider l'hypothèse des effets positifs d'une expression physiologique et biochimique élevée sous l'effet du bioengrais à C/N 50,30.

Dans notre étude, La teneur en eau était plus élevée dans les plants traités par la forte dose d'E3 avec des relations de meilleure qualité pour l'E4 sous les deux doses expérimentées. Plusieurs études ont montré l'effet positif de vermicompost sur l'amélioration de la teneur relative en eau et qui sont en conformité avec nos résultats. KAZEMINASAB et al [243] ont étudié l'effet du lombricompost et du PGPR sur les caractéristiques physiologiques de la mélisse (*Melissa officinalis L.*) sous l'effet de la sécheresse ,ils ont trouvé que la teneur en eau relative a été significativement augmenté par l'application de lombricompost sur la plante de

mélisse (*Melissa officinalis L.*), en particulier, la teneur en eau relative a augmenté avec une augmentation de la quantité d'application de lombricompost et en interactions avec l'irrigation.

Une étude de SCOTT sur l'effet de l'engrais à base de lombricompost sur les caractéristiques de croissance des tomates [244] montre que l'engrais à base de lombricompost a amélioré les caractéristiques de croissance et les paramètres physiologiques tels que la teneur en eau relative. ASLAM et AHMAD [245] ont indiqué que la teneur en eau relative du maïs a été améliorée par l'utilisation du thé de vermicompost et du vermicompost. BENAOUK et al [246] ont indiqué que la salinité réduit la croissance (particulièrement la biomasse foliaire) ainsi que les teneurs en eau et le potentiel osmotique. Le stress salin induit une accumulation de Na au niveau racinaire, une réduction du K et une accumulation de proline et de sucres totaux chez la tomate *Solanum Lycopersicum l.* L'ajout de vermicompost dans la solution nutritive (6ml/l) permet d'atténuer les effets néfastes du NaCl. Le vermicompost en présence du sel améliore la croissance foliaire de la plante et augmente la teneur en eau des feuilles.

Par références à nos résultats, nous dénotons qu'une teneur en eau élevée est importante pour la croissance des plantes.

La teneur en sucre soluble était nettement plus élevée dans les plants traités par le vermicompost E3 et E4 sous les deux doses que dans le témoin. Ces résultats sont cohérent avec des rapports antérieurs [181], [247] ou l'ajout de vermicompost dans les plants se traduit par une valeur élevée des hydrates de carbone et en sucres solubles. En outre, il a été signalé que le lombricompost augmentait la teneur en sucre des bananes [248], de la moutarde [249], des épinards et du persil [250], [251].

Nos résultats ne sont pas similaires avec ceux de SALEHI et al [252], car ils ont montré que la concentration élevée des sucres totaux dans les feuilles des plantes camomille allemande (*Matricaria chamomilla L.*) traitée avec du lombricompost pourrait être due à l'augmentation du potentiel hydrique des feuilles et de la surface foliaire ainsi qu'à une réduction de l'activité de photo-oxydation de la chlorophylle.

Nos résultats ont montré une teneur élevée des acides aminés sous les deux doses de E3 et E4 par rapport au témoin. Ces résultats sont en conformité avec plusieurs recherches, CHENPING et BEIQUAN [253] ont indiqué que le vermicompost a également amélioré la qualité des épinards en augmentant la succulence et la teneur en caroténoïdes, en protéines et en acides aminés, GUERMACH et DJAZOULI [254] montrent que L'apport du vermicompost sur le haricot vert sous ses différentes formes induit un accroissement significatif de la chlorophylle, des caroténoïdes, des acides aminés et des sucres totaux. En revanche, d'autre expérience de GUERMECH et al [255] démontrent que les teneurs moyennes en acides aminés dans les feuilles traitées au vermicompost de déchets ménagers et au jus de vermicompost sont significativement plus élevées que dans les feuilles traitées au vermicompost de marc de café.

Le rôle des acides aminée est très important dans les plantes, ASHMEAD [256] montre que les A. Aminés équilibrent les microorganismes du sol, ce qui améliore la minéralisation de la matière organique, ce qui permet d'obtenir un sol fertilisé et bien structuré entourant les racines des plantes.

BAQIR et al [257] indiquent que les acides aminés contribuent ainsi à réduire l'effet de stress de la sécheresse et de la salinité par le biais de différentes activités physiologiques en modifiant le potentiel osmotique des tissus végétaux et en réduisant considérablement les lésions causées par les bio-stress . Ils stimulent les processus physiologiques et biochimiques et participent à la synthèse des protéines et des hydrates de carbone. On pense également que les acides aminés sont responsables de la division cellulaire et de la production de certaines hormones de croissance naturelles ce qui permet d'augmenter le rendement et d'améliorer la qualité des produits.

D'autres chercheurs [258], [259] démontrent que les acides aminés représentent une source importante d'azote, ils influencent donc grandement la croissance des cultures.

Nos résultats ont montré que l'accumulation des teneurs en proline libre endogène est relativement différente. Les teneurs accumulées ne deviennent significatives qu'après comparaison des plants traités aux bioengrais E3 et E4 avec

les plants témoins. Une faible teneur sous l'effet des deux doses de l'E3 et de l'E4 par comparaison au témoin. Cette divergence d'accumulation entre les plants traités et le témoin peut s'expliquer par l'installation d'un stress nutritionnel chez les plants témoins, perturbant ainsi le fonctionnement physiologique des plants de Citrus.

Nos résultats sont en conformité avec plusieurs recherches, VERBRUGGEN et HERMANS [260] ont indiqué que L'accumulation de proline est une réaction physiologique courante chez de nombreuses plantes en réponse à un large éventail de stress biotiques et abiotiques. Leur fort taux de présence chez les plantes est relatif aux différentes situations de stress qu'elles confrontent [261], cette accumulation a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) [262]–[264].

SALEHI et al [252] montrent que la teneur en proline des feuilles a été augmenté en raison d'un stress et de sécheresse modéré et sévère. Son impact a été plus important dans des conditions de stress sévère. Ils ont indiqué que l'application de lombricompost a amélioré la résistance à la sécheresse de la camomille et a diminué la teneur en proline des feuilles de camomille par rapport au traitement sans lombricompost. MATIOLLI et al [265] Ont démontré une corrélation positive entre l'accumulation de proline et la tolérance des plantes au stress abiotique. La quantification de la proline est utilisée systématiquement par les physiologistes végétaux comme indicateur du degré de tolérance et comme mesure du potentiel antioxydant des plantes dans des conditions de stress.

Il convient de noter que l'augmentation de la concentration en proline des feuilles peut être un changement accidentel associé à une lésion des tissus [266].

CONCLUSIONS –PERSPECTIVES

Conclusions –Perspectives

Dans la nécessité de répondre aux vagues écologiques en agriculture et réduire les intrants chimiques. Ce travail de thèse a été consacré au développement de deux biostimulants à base de marc de café obtenus par vermicompostage dans le but d'évaluer l'effet de ces deux bioengrais sur la phytochimie des *plants de Citrus sinensis thomson* et leur impact sur la biocénose d'agrumes. Les résultats obtenus font ressortir un certain nombre de réponses aux objectifs.

La première partie de cette étude est focalisé pour l'étude de la qualité de ces deux biostimulants vermicompostés par différentes méthodes de caractérisation : MEB, MEB-EDX et DRX qui ont permis d'avoir une idée sur la morphologie, la structure de la surface, la composition élémentaire et la structure cristalline des échantillons.

Les résultats du MEB-EDX indiquent que les deux biostimulants E3 et E4 se caractérisent par une structure poreuse, une composition élémentaire différentes. Le biostimulant E3 contient 48,07% de C, 44,54% de O et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, Cl, K et Ca et le biostimulant E4 contient 45,13% de C 51,92% de O et D'autres éléments tels que Na, Mg, Si, K et Ca. Les résultats de la DRX montrent une structure amorphe avec une faible cristallinité, ce qui prouve que le vermicompostage n'influe pas sur le changement des composants des biostimulants. D'après ces résultats, nous pouvons conclure que ces deux 2 bioengrais obtenue par vermicompostage sont de bonne qualité riche en nutriment. Leur composition varie selon le type des déchets utilisés, ils possèdent une grande capacité de rétention d'eau et d'éléments nutritifs. Ils fournissent un milieu de croissance pour permettre les échanges gazeux.

La deuxième partie de ces travaux vise l'étude de la diversité et les communautés de l'arthropodofaune folivore associées à Citrus sinensis Thomson sous un itinéraire de nutrition organique par les deux biostimulants développés E3 et E4 et leurs effets sur les paramètres phytochimiques de la plante de citrus.

Les résultats de cette partie démontrent une diversité d'espèces d'arthropodes nuisibles et auxiliaires dans les unités expérimentales traitées par le témoin et

biostimulants E3 et E4. En outre, les plants traités par le E4 expriment un nombre d'individus moins important avec 630 individus et un nombre d'espèce très faible avec 18 espèces par rapport aux plantes traitées par le témoin et par le E3 qui montrent un nombre important d'individus et surtout d'arthropodes nuisibles. L'apport des bioengrais E3 et E4 est très contraignant à l'installation primaire des ravageurs de Citrus surtout la forte dose de E4 (120g/l). Car Les résultats relatifs au statut écologique des consommateurs primaires sous l'effet des différentes doses du Biostimulants E3, les espèces *Parlatoria pergandii*, *Parlatoria ziziphi* et *Aleurothrixus floccosus*, sont vue changées de statut écologique d'espèces omniprésentes en espèces constant et *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri*, où les résultats de la constance ont montré que les espèces ont changé de statut écologique d'espèces constantes en espèces régulières sous l'effet de l'augmentation de la dose de traitement au Biostimulants E3, et les plants traités par E4 montrent l'incapacité d'installation de quelque espèces ravageurs tels que *Parlatoria ziziphi*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Dialeurodes citri* et l'espèces *Parlatoria pergandii*, *Aphis spiraeicola*, *Toxoptera aurantii* et *Aleurothrixus floccosus* ont dû changer de statut écologique d'espèces constantes en espèces régulière sous l'effet de la double dose du Biostimulant E4.

Pour les auxiliaires entomophages qui sont la plupart des prédateurs *Salticidae*, *Coccinellidae*, *Cecidomyiidae* et *Syrphidae*, leur nombre se rapprochent et leur disponibilité taxonomique est en faveur dans les unités expérimentales traité par le E3 et E4. L'analyse des valeurs de la constance chez les consommateurs secondaires, a démontré que l'effet dose du Biostimulants E3, n'a pas influencé grandement le statut écologique de l'arthropodofaune auxiliaire. En revanche, l'ensemble des espèces auxiliaires même avec l'augmentation des doses du Biostimulant E4 ont maintenu le statut d'espèce constante.

Concernant les résultats de l'ordre d'arrivé écologique de l'arthropodofaune folivore sous l'effet des Biostimulants, les résultats du rang- fréquence obtenus ont montré que la succession des espèces varie selon le type de traitement apporté. Nous remarquons clairement que l'état d'équilibre de la biocénose diffère entre les traitements avec des équations de tendance différentes.

Pour l'effet des deux biostimulants E3 et E4 avec le témoin sur les paramètres physiologiques et biochimiques des plants de citrus, on constate que l'apport d'E3

et d'E4 a influencé significativement et améliore les teneurs en eau, en sucres solubles totaux, en acides aminés solubles et en proline libre endogène qui montre des quantités faibles en par comparaison au témoin. Le bioengrais E4 sous ses deux doses, se démarque particulièrement pour la quantité des sucres solubles totaux et des acides aminés solubles. D'après ces résultats nous pouvons conclure que les biostimulants E3 et E4 possèdent des effets positifs et une expression physiologique et biochimique élevée sur les plants de citrus surtout le biostimulants E4.

A la fin de cette étude, nous pouvons conclure que les deux biostimulants E3 et E4 ont une grande efficacité et un rôle très important dans la réduction des insectes nuisible grâce à ces constituants, en apportant à la plante une nutrition organique qui améliore les paramètres physiologiques et biochimiques (teneur relative en eau ,proline , acide aminée et sucre totaux) de citrus et donc renforçant la résistance et le système de défense de la plante contre les arthropodes nuisibles sans nuire aux auxiliaires ,et donc ces deux bioengrais E3 et E4 ont montré leurs statut de biostimulant et de stimulateur des défenses naturelles des plantes.

L'utilisation de vermicompost comme biostimulant offre des perspectives intéressantes pour une agriculture durable, productive et respectueuse de l'environnement. Cependant, il faudrait continuer l'étude afin de connaître l'efficacité de ces biostimulants sur l'ensemble des paramètres de croissance et de production des agrumes, et d'autres cultures fruitières. Aussi, il est important de continuer à explorer les avantages et les limitations de ces biostimulants dans les différentes conditions agricole.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- [1] A. El Ferran, H. Belkahla, N. bouras, A. Ataoui, M. Bakli, J-P. Thermo, C. Chatillon et H. Boutoumi, (2003). « Application of Real Time PCR for the Prevalence Determination of Citrus Exocortis Viroid (CEVd) in Algeria », *Advanced Research in Life Sciences*, vol. 7, n° 1, p. 68-72.
- [2] A. Taibi, A. Gacemi, Y. Medjdoub, I. Medjdoub, et S. Doumandji, (2016). « Citrus infestation by the black scale, *Parlatoria ziziphi* Lucas (Homoptera: Diaspididae) in Tlemcen, Algeria », *Journal of Entomological Research*, vol. 40, n° 3, p. 217-221.
- [3] A. Berraf-Tebbal, A- E. Mahamedi, W. Aigoun-Mouhous, M. Špetík, J. Čechová, R. Pokluda, M. Baránek, A. Eichmeier et A. Alves, (2020). « *Lasiodiplodia mitidjana* sp. nov. and other Botryosphaeriaceae species causing branch canker and dieback of *Citrus sinensis* in Algeria », *PloS one*, vol. 15, n° 5, p. e0232448.
- [4] Z-E. Labdaoui et Y. Guenaoui, (2015). « The aphids infesting citrus orchards and their natural enemies in the Northwestern Algeria », in *Proceedings of the VIth International Scientific Agricultural Symposium*, p. 15-18.
- [5] E. A. Waraich, R. Ahmad, et M. Y. Ashraf, (2011). « Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants », *Australian Journal of Crop Science*, vol. 5, n° 6, p. 764-777.
- [6] R. C. Wicaksono, O. Endato, S. Wuryantini, et Z. Hussain, (2023). « Pest Control using Bark Pesticide Applicator (BPA) in Citrus Plants », in *E3S Web of Conferences*, Vol. 374, EDP Sciences.
- [7] K. Khanchouch, A. Pane, A. Chriki, et S. O. Cacciola, (2017). « Major and emerging fungal diseases of citrus in the Mediterranean Region », *Citrus Pathology*, vol. 1, n° 10.5772, p. 66943.

- [8] M. H. Lubis et A. A. Tanjung, (2023). « Identification of orange pests using the method certainty factor », *jurteksi (jurnal teknologi dan sistem informasi)*, vol. 9, n° 3, p. 393-398.
- [9] K. Aroua, M. B. Kaydan, R. Belguendouz, T. D. Achiri, et M. Biche, (2019). « Inventaire des cochenilles des agrumes (clémentinier et oranger) dans deux régions de la Mitidja (Algérie) », *Revue Agrobiologia*, vol. 9, p. 1707-1714.
- [10] M. Laamari, M. S. Bouasbana, et R. Mahmoudi, (2022). « Effect of climate change on the spatio-temporal distribution of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wiedemann (1824) in Algeria », *European Journal of Environmental Sciences*, vol. 12, n° 2, p. 93-100.
- [11] O. Khaladi et A. Guendouz-benrima, (2019). « An assessment of population fluctuations of a hemipteran citrus pest in the northeast of Algeria: A case study from Guelma region », *Acta agriculturae Slovenica*, vol. 113, n° 2, p. 289-298.
- [12] Z. E. Labdaoui et Y. Guenaoui, (2017). « Why *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) is becoming the most dominant pest on citrus in Algeria? », in *VIII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2017", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 2017. Book of Proceedings*, Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo, p. 1461-1468.
- [13] K. Gacem, F. Mezerdi, et N. Billal, (2022). « Diversity of aphids and their natural enemies in the citrus (*Citrus sinensis*) orchard of Lakhdaria, Bouira, Algeria », *Munis Entomology & Zoology*, vol. 17, n° 1, p. 573-582.
- [14] P. H. Brown, F.-J. Zhao, et A. Dobermann, (2022). « What is a plant nutrient? Changing definitions to advance science and innovation in plant nutrition », *Plant and Soil*, vol. 476, n° 1-2, p. 11-23.
- [15] P. Chiaiese, G. Corrado, G. Colla, M. C. Kyriacou, et Y. Roupael, (2018). « Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance », *Frontiers in plant science*, vol. 9, p. 1782.

- [16] E. O. Fenibo, G. N. Ijoma, et T. Matambo, (2021). « Biopesticides in sustainable agriculture: A critical sustainable development driver governed by green chemistry principles », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 5, p. 619058.
- [17] A. Rehman et M. Farooq, (2023). « Challenges, constraints, and opportunities in sustainable agriculture and environment », in *Sustainable Agriculture and the Environment*, Elsevier, p. 487-501.
- [18] E. Cataldo, M. Fucile, et G. B. Mattii, (2022). « Biostimulants in viticulture: A sustainable approach against biotic and abiotic stresses », *Plants*, vol. 11, n° 2, p. 162.
- [19] M. Thakur et B. S. Sohal, (2013). « Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review », *International Scholarly Research Notices*, vol. 2013.
- [20] M-A. González-Moreno, B. García Gracianteparaluceta, S. Marcelino Sádaba, J. Zaratiegui Urdin, E. Robles Domínguez, M.A. Pérez Ezcurdia et A. Seco Meneses, (2020). « Feasibility of vermicomposting of spent coffee grounds and silverskin from coffee industries: A laboratory study », *Agronomy*, vol. 10, n° 8, p. 1125.
- [21] A. Hanc, T. Hrebeckova, A. Grasserova, et T. Cajthaml, (2021). « Conversion of spent coffee grounds into vermicompost », *Bioresource Technology*, vol. 341, p. 125925.
- [22] W. Czekala, A. Łukomska, J. Pulka, W. Bojarski, P. Pochwatka, A. Kowalczyk-Juśko, et J. Dach, (2023). « Waste-to-energy: Biogas potential of waste from coffee production and consumption », *Energy*, vol. 276, p. 127604.
- [23] P. Esquivel et V. M. Jimenez, (2012). « Functional properties of coffee and coffee by-products », *Food research international*, vol. 46, n° 2, p. 488-495.

- [24] J. H. Low, W. A. W. A. Rahman, et J. Jamaluddin, (2015). « The influence of extraction parameters on spent coffee grounds as a renewable tannin resource », *Journal of Cleaner Production*, vol. 101, p. 222-228.
- [25] A. S. C. de Bomfim, D. M. de Oliveira, E. Walling, A. Babin, G. Hersant, C. Vaneeckhaute et D. Rodrigue, (2022). « Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment », in *Waste*, MDPI, Vol. 1, No. 1, p. 2-20.
- [26] R. Hachicha, O. Rekik, S. Hachicha, M. Ferchichi, S. Woodward, N. Moncef et T. Mechichi. (2012). « Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity », *Chemosphere*, vol. 88, n° 6, p. 677-682.
- [27] D. Ronga, C. Pane, M. Zaccardelli, et N. Pecchioni, (2016). « Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants », *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 47, n° 3, p. 356-368.
- [28] S. Pérez-Burillo, A. Cervera-Mata, A. Fernández-Arteaga, S. Pastoriza, J. Á. Rufián-Henares, et G. Delgado, (2022). « Why Should We Be Concerned with the Use of Spent Coffee Grounds as an Organic Amendment of Soils? A Narrative Review », *Agronomy*, vol. 12, n° 11, p. 2771.
- [29] F. Curk, (2014). « Organisation du complexe d'espèce et décryptage des structures des génomes en mosaïque interspécifiques chez les agrumes cultivés », Thèse de doctorat, Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc.
- [30] M. Groppo, J. R. Pirani, M. L. Salatino, S. R. Blanco, et J. A. Kallunki, (2008). « Phylogeny of Rutaceae based on two noncoding regions from cpDNA », *American Journal of Botany*, vol. 95, n° 8, p. 985-1005.
- [31] J.-M. Polese, (2008). « *La culture des agrumes* ». Editions Artemis.

- [32] F. Hamas, (2018). « Evaluation du potentiel des communautés auxiliaires spécifiques aux écotopes des ravageurs dans des régions agrumicoles d'Algérie », Mémoire de magister, université de BLIDA 1.
- [33] F. Luro, (2015) . « L'origine des agrumes: leur évolution et la naissance des espèces cultivées », *Jardins de France*, n° 636, p. 35-37.
- [34] C. Jacquemond, F. Curk, et M. Heuzet,(2013). «*Les clémentiniers et autres petits agrumes*». Savoir faire. Editions Quae, p. 263.
- [35] D. Loeillet, (2010). Les marchés mondiaux. « La renaissance du Palais d'Eté». Paris : Economica, p.421-424.Cyclope .
- [36] Anonyme, (2022). «Vers l'effondrement de la production d'agrumes en méditerranée». <https://www.agroligne.com/actu/24839-2019-2020vers-effondrement-de-la-production-d-agrumes-en-mediterranee.html>.
- [37] United States Department of Agriculture, (2017): «Un regard sur le marché Mondial et tunisien des agrumes». calculs de l'ONAGRI d'après L'USDA, p. 13.
- [38] K. Khfif, (2022). « La mineuse des feuilles des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae): Synthèse sur des approches biologiques et chimiques de lutte », *African and Mediterranean Agricultural Journal-AI Awamia*, n° 135, p. 106-122.
- [39] K. Khfif, F. M. F. Mokrini, et M. Sbaghi, (2022). « Suivi des populations des mâles stériles de la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824) dans des vergers d'agrumes (Région de Moulouya) », *African and Mediterranean Agricultural Journal-AI Awamia*, n° 135, p. 123-135.
- [40] Anonyme, (2020). « Global Citrus Statistics Released », *Citrus Industry Magazine*, <https://citrusindustry.net/2022/11/30/global-citrus-statistics-released/> (consulté le 4 mars 2023).

- [41] Anonyme, (2023), « Estimation mondiale: Se esperan cosechas menores para todas las categorías de cítricos en 2022/23 », SimFRUIT, Plataforma de Información de la Industria Frutícola Chilena. <https://www.simfruit.cl/estimacion-mundial-se-esperan-cosechas-menores-para-todas-las-categorias-de-citricos-en-2022-23/undefined> (consulté le 4 mars 2023).
- [42] A. Basli et A. Benmahammed, (2021). « Determination of Polyphenols Content and Antioxidant Activity of Citrus sinensis Fruit Peel », *South Asian Journal of Experimental Biology*, vol. 11, n° 6, p. 716-724.
- [43] B. Abla et B. Atika, (2018). « Effet des facteurs climatiques sur la répartition spatiotemporelle des pucerons d'agrumes en mitidja centrale (algérie) », *Revue Agrobiologia*, vol. 8, n° 1, p. 958-966.
- [44] A. R. Cooper, (2019). « A Ray of Sunshine on French Tables” Citrus Fruit, Colonial Agronomy, and French Rule in Algeria (1930–1962) », *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 49, n° 3, p. 241-272.
- [45] K. Hanitet, (2021). « Contribution à l'Etude des Adventices des Agrumeraies du Secteur Phytogéographique Oranais: Aspects Botanique, Ecologique et Agronomique », Thèse de doctorat .Université de SIDI BEL ABBES.
- [46] Y. Agagna, (2016). « Rôle d'Aphytis melinus (Hymenoptera, Aphelinidae) dans la régulation des niveaux d'infestation du Pou de Californie Aonidiella aurantii (Homoptera, Diaspididae) sur citronnier à Rouiba », Mémoire de magister, ENSA.
- [47] B. Mohammed, R. Kouadria, D. Mahiout, A. BERkani, et B. Lotmani, (2022). « Nutritional quality of Citrus clementina leaves affects infestation distribution of Phyllocnistis citrella Stainton (Lepidoptera; Gracillariidae) », *research square*, p.1-23.
- [48] Anonyme, (2020). « Algeria: production of citrus fruits », Statista Research Department, <https://www.statista.com/statistics/1182052/production-volume-of-citrus-fruits-in-algeria/> .

- [49] V. Liégeois, (2014). « Gastronomie et diététique: les agrumes », *Phytothérapie*, vol. 12, n° 2, p. 109-115.
- [50] F. R. Tadeo, M. Cercos, J.M. Colmenero-Flores, D.J. Iglesias, M.A. Naranjo, G. Rios et M. Talon, (2008). « Molecular physiology of development and quality of citrus », *Advances in Botanical Research*, vol. 47, p. 147-223.
- [51] Y.-J. Xiao, M. Hu et B. Tomlinson, (2014). « Effects of grapefruit juice on cortisol metabolism in healthy male Chinese subjects », *Food and Chemical Toxicology*, vol. 74, p. 85-90.
- [52] M. Agustí, C. Mesejo, C. Reig, et A. Martínez-Fuentes, (2014). « Citrus Production », in Horticulture: *Plants for People and Places*, Vol 1, p. 159-195.
- [53] Z. Othmani, (2005). « Evaluation de l'état nutritionnel en éléments majeurs essentiels d'un verger agrumicole de la plaine de la Mitidja », mémoire de magister, INA.
- [54] S. Singh et M. V. Rajam, (2009). « Citrus biotechnology: Achievements, limitations and future directions », *Physiology and Molecular Biology of Plants*, vol. 15, n° 1, p. 3-22.
- [55] H. Rebour, (1950). "Les agrumes en Afrique du nord". Ed. Union des syndicats de production d'agrumes Alger, p .485
- [56] R. Belguendouz- Benkhelfa, (2014). « Relations plantes hôtes–cochenilles diaspines sur les agrumes (Citrus spp) en Algérie », Thèse de doctorat, ENSA.
- [57] A. Ait Houssa, M. Eladnani, M. Hsayni, M. Maataoui, et M. Benbella, (2013). « Utilisation du sorgho comme brise vent starter pour de jeunes plantations d'agrumes », *Bulletin de transfert de technologie en agriculture*, n° 196, p.1-6.
- [58] A. Skiredj, (2019). « Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs ». Département d'horticulture, IAV Hassan II, Rabat, Maroc.

- [59] M. Zekri et T. A. Obreza, (2003). « *Plant nutrients for citrus trees* ». University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS, p.1-5.
- [60] P. M. Prevel, (1978). « Rôle des éléments minéraux chez les végétaux », *Fruits*, vol. 33, n° 7-8, p. 521-529.
- [61] B. Lerot, (2016).« Les éléments minéraux ». <https://www.doc-developpement-durable.org/>
- [62] L. Benaouda, (2006). « Evaluation de l'état nutritionnel en éléments majeurs secondaires d'un verger agrumicole de la plaine de la Mitidja », mémoire de magister, INA, El Harrach.
- [63] J.C. Praloran. (1971), «Les agrumes», Edition: Maison neuve et la Rose Paris, 530p.
- [64] T. M. Spann et A. W. Schumann, (2009). « The role of plant nutrients in disease development with emphasis on citrus and huanglongbing », in *Proc. Fla. State Hort. Soc*, p. 169-171.
- [65] J. C. Lemaistre, (1950). « Résultats de l'expérimentation sur la fumure des agrumes en Californie et en Floride », *Fruits*, vol. 5, n° 2, p. 58-63.
- [66] M. E. Silva-Stenico, F. T. H. Pacheco, E. R. Pereira-Filho, J. L. M. Rodrigues, A. N. Souza, A. Etchegaray, S. M. Tsai, (2009). « Nutritional deficiency in citrus with symptoms of citrus variegated chlorosis disease », *Brazilian Journal of Biology*, vol. 69, p. 859-864.
- [67] D. N.Reznick et Travis, J, (2001). «The empirical study of adaptation in natural populations». In: *Adaptation*, (M. R. Rose and G. V. Lauder, eds.). Academic Press, San Diego, CA, p. 243-290.
- [68] R. Barbault, , 1981. «Ecologie de population et des peuplements». Ed. MASSON, p .200.

- [69] M. Begon , J. L. Harper et C. R. Townsend, (1996). « Ecology: Individuals, Populations and Communities». 3rd ed. Blackwell Science, Oxford, UK.
- [70] C. L. Gaudet et P. A. Keddy, (1988). « A comparative approach to predicting competitive ability from plant traits », *Nature*, vol. 334, n° 6179, p. 242-243.
- [71] J.P. Grime, (2001). « Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties », 2nd Edition ed., John Wiley & Sons, Chichester, p. 456.
- [72] M. Westoby, D. S. Falster, A. T. Moles, P. A. Vesk, et I. J. Wright, (2002). « Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species », *Annual review of ecology and systematics*, vol. 33, n° 1, p. 125-159.
- [73] E. Weiher, P. Keddy (1999). « Ecological assembly rules. Perspectives, advances, retreats », Cambridge University Press, Cambridge, p. 418.
- [74] F.I. Woodward et A.D. Diament, (1991). « Functional approaches to predicting the ecological effects of global change ». *Functional Ecology* vol. 5, p. 202-212.
- [75] P. A. Keddy, (1992). « Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology », *Journal of vegetation science*, vol. 3, n° 2, p. 157-164.
- [76] R. J. Gilliom Robert J. Gilliom, J. E. Barbash, C.G. Crawford, P. A. Hamilton, J.D. Martin, N. Nakagaki, L.H. Nowell, J.C. Scott, P. E. Stackelberg, G. P. Thelin, et D. M. Wolock. (2006), « *Pesticides in the nation's streams and ground water, 1992–2001* ». US Geological Survey. p.184. DOI: 10.3133/cir1291
- [77] I. Giroux, C. Robert et N. Dassylva, (2006). « Présence de pesticides dans l'eau au Québec: bilan dans des cours d'eau de zones de culture de maïs et de soya en 2002, 2003, et 2004, et dans les réseaux de distribution d'eau potable », Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Direction des politiques de l'eau et Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, p. 57.

- [78] G. A. Carlson, (1984). « Risk reducing inputs related to agricultural pests ». . Risk analysis of agricultural firms: concepts, information requirements and policy issues. Proceedings of Regional Research Project S-180. Department of Agricultural Economics, University of Illinois,P.146-175.
- [79] F. Chaboussou, (1975). « Physiologie et résistance de la plante ». Nature et Progres,vol.2, p.11-12.
- [80] J. Dufrenoy, (1936). « Le traitement du sol, désinfection, amendement, fumure, en vue de combattre chez les plantes agricoles de grande culture les affections parasitaires et les maladies de carence », *Ann Agron Suisse*, p. 680-728.
- [81] C. H. Wearing et H. F. Van Emden, (1967). « Studies on the relations of insect and host plant: I. Effects of water stress in host plants on infestation by *Aphis fabae* Scop., *Myzus persicae* (Sulz.) and *Brevicoryne brassicae* (L.) », *Nature*, vol. 213, n° 5080, p. 1051-1052.
- [82] F. Chaboussou, (1975). « Les facteurs culturaux dans la résistance des agrumes vis à vis des ravageurs ».
- [83] W. L. Thompson, (1939). « Cultural practices and their influence upon citrus pests », *Journal of Economic Entomology*, vol. 32, n° 6, p. 782-789.
- [84] A. Howard,J.Keilling et R. Lautié, (2010), «Testament agricole. Pour une agriculture naturelle», Vie & action; CERAB [Centre européen de recherches alimentaires et biologiques] p .246
- [85] R.E.Stall, C.E.Hortenstin et J.R. Bey, (1965) . «Incidence of Botrytis grey mould on tomato in relation to B calcium phosphorus balance». *Phytopath* , vol. 55 p. 447-49.
- [86] D. F. Bateman, (1964). « An induced mechanism of tissue resistance to polygalacturonase in *Rhizoctonia*-infected hypocotyls of bean », *Phytopathology*, vol. 54, n° 4, p. 438-445.
- [87] N. Hubbeling et K. B. Chaudhary, (1969). « Influence of pH and calcium nutrition on the resistance of tomato seedlings to *Verticillium Wilt* ». NO 530.

- [88] K. J. Bergstrand, (2022). « Organic fertilizers in greenhouse production systems—a review », *Scientia Horticulturae*, vol. 295, p. 110855.
- [89] M. K. Tahami, M. Jahan, H. Khalilzadeh, et M. Mehdizadeh, (2017). « Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production », *Industrial Crops and Products*, vol. 107, p. 97-104.
- [90] W. F. Abobatta et A. M. El-Azazy, (2020). « Role of organic and biofertilizers in citrus orchards », *Aswan University Journal of Environmental Studies*, vol. 1, n° 1, p. 13-27.
- [91] S. M. Hamed, A. A. Abd El-Rhman, N. Abdel-Raouf, et I. B. Ibraheem, (2018). « Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology », *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 7, n° 1, p. 104-110.
- [92] Y. Rouphael et G. Colla, (2020). « Biostimulants in agriculture », *Frontiers in plant science*, vol. 11. Frontiers Media SA, p. 40.
- [93] G. Povero, J. F. Mejia, D. Di Tommaso, A. Piaggese, et P. Warrior, (2016). « A systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants », *Frontiers in plant science*, vol. 7, p. 435.
- [94] O. I. Yakhin, A. A. Lubyantsev, I. A. Yakhin, et P. H. Brown, (2017). « Biostimulants in plant science: a global perspective », *Frontiers in plant science*, vol. 7, p. 2049.
- [95] M. Anissa, (2021). « Potentialités des extraits algaux et végétaux dans l'optimisation des activités métaboliques et l'expression végétative chez les plantes cultivées », Thèse de doctorat, Université de Blida1.
- [96] P. Calvo, L. Nelson, et J. W. Kloepper, (2014). « Agricultural uses of plant biostimulants », *Plant and soil*, vol. 383, p. 3-41.

- [97] G. Gupta, S. S. Parihar, N. K. Ahirwar, S. K. Snehi, et V. Singh, (2015). « Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture », *J Microb Biochem Technol*, vol. 7, n° 2, p. 096-102.
- [98] O. Martínez-Viveros, M. A. Jorquera, D. E. Crowley, G. Gajardo, et M. L. Mora, (2010). « Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria », *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 10, n° 3, p. 293-319.
- [99] M. Ahemad et M. Kibret, (2014). « Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective », *Journal of King saud University-science*, vol. 26, n° 1, p. 1-20.
- [100] D. Bhardwaj, M. W. Ansari, R. K. Sahoo, et N. Tuteja, (2014). « Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity », *Microbial cell factories*, vol. 13, p. 1-10.
- [101] N. K. Arora, S. Tewari, S. Singh, N. Lal, et D. K. Maheshwari, (2011). « PGPR for protection of plant health under saline conditions », *Bacteria in agrobiolgy: stress management*, p. 239-258.
- [102] I. Bogunovica et B. Duralija, (2013). « Application of animal origin biostimulators in strawberry production », *Acta Horticulturae*, vol.697, p.337-344. sept. 2013. doi: 10.13140/2.1.4241.6325.
- [103] S. Mukherjee, A. Basak, A. Chakraborty, R. Gowasmi, K. Ray, M. Nassim Ali, S.Santra, A. Kumar Hazra, S. Tripathi, H. Banerjee, J. Layek, A. Panwer, N. Ravisenker, M. Ansari et G. Chatterjee, (2023), « Revisiting the oldest manure of India, Kunapajala: Assessment of its animal waste recycling potential as a source of plant biostimulant », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 6, p. 1073010.

- [104] J. A. Adewoyin et F. O. Arimoro, (2023). « Animal manure as a biostimulant in bioremediation of oil-contaminated soil: the role of earthworms », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 195, n° 2, p. 293.
- [105] R. V. Misra, R. N. Roy, et H. Hiraoka, (2005). « Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole », *FAO. ed. Rome*, p.35.
- [106] I. Shafique, S. Andleeb, M.S. Aftab, F.Naeem, S.Ali, S.Yahya, F.Ahmed, T.Tabasum, T.Sultan, B.Shahid, A.khan, G. Islam et W.A.Abbasi *al.*, (2021). « Efficiency of cow dung based vermi-compost on seed germination and plant growth parameters of *Tagetes erectus* (Marigold) », *Heliyon*, vol. 7, n° 1, p. e05895.
- [107] L. Chen, C. Yaoning, Y.Li, Y. Liu, H. Jiang, H. Li, Y. Yuan, Y. Chen et B. Zou, (2023). « Improving the humification by additives during composting: A review », *Waste Management*, vol. 158, p. 93-106.
- [108] S. L. Nordahl, C. V. Preble, T. W. Kirchstetter et C. D. Scown, (2023). « Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting », *Environmental Science & Technology*, Vol. 57, no 6, p. 2235-2247.
- [109] J. Duplessis, (2006). « Guide sur le compostage domestique: le compostage facilité », NOVA Envirocom, p.1-105.
- [110] M. Gondek, D. C. Weindorf, C. Thiel, et G. Kleinheinz, (2020). « Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review », *Compost science & utilization*, vol. 28, n° 2, p. 59-75.
- [111] R. Ahmad, M. Arshad, A. Khalid, et Z. A. Zahir, (2008). « Effectiveness of organic-/bio-fertilizer supplemented with chemical fertilizers for improving soil water retention, aggregate stability, growth and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) », *Journal of sustainable agriculture*, vol. 31, n° 4, p. 57-77.
- [112] J. Domínguez, (2018). « Earthworms and Vermicomposting », in *Earthworms - The Ecological Engineers of Soil*, S. Ray, Éd., InTech, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.76088.

- [113] R. Ahmed et H. Deka, (2022). « Vermicomposting of patchouli bagasse—A byproduct of essential oil industries employing *Eisenia fetida* », *Environmental Technology & Innovation*, vol. 25, p. 102232.
- [114] C. Lucie, (2019), « Étude d'un nouveau mode de gestion des espaces verts ». Stage Licence 3 Biologie Environnement, Université Paris-Est Créteil .
- [115] G. S. Rekha, P. K. Kaleena, D. Elumalai, M. P. Srikumaran, et V. N. Maheswari, (2018). « Effects of vermicompost and plant growth enhancers on the exo-morphological features of *Capsicum annum* (Linn.) Hepper », *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 7, n° 1, p. 83-88.
- [116] J. Pathma et N. Sakthivel, (2012). « Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential », *SpringerPlus*, vol. 1, n° 1, p. 1-19.
- [117] Y. Moustafa, A. Moustafa, N. Moustafa, M. El Dahshouri, S. El-Sawy, L. Haggag, L. Zhang, Zuhair, (2022). « Asian Journal of Plant Sciences Research Article Role of Vermicompost Types (Fish Sludge and Cow Dung) in Improving Agronomic Behavior and Soil Health of Tomato Crop », *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 22, p. 1-12. Doi: 10.3923/ajps.2023.1.12.
- [118] S. Adhikary, (2012). « Vermicompost, the story of organic gold: A review », *Agricultural Sciences*, Vol.3 No.7, P.13.
- [119] H. Chaoui, Vermicompostage (ou lombricompostage), (2010). « Le traitement des déchets organiques par les vers de terre». In : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales, éd. Fiche technique n°10. Guelph, ON, Canada: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales.

- [120] J. Dominguez et C. A. Edwards, (2011). « Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting », *Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management*. CRC Press, Boca Raton, p. 27-40.
- [121] X. H. Zhang et R. Schmidt, (1999). « Biostimulating turfgrasses. », *Grounds maintenance*.
- [122] U. Tomati, A. Grappelli, et E. Galli, (1988). « The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth », *Biology and fertility of soils*, vol. 5, p. 288-294.
- [123] A. O. Aremu, W. A. Stirk , M. G. Kulkarni, D.Tarkowská, V. Turečková, J. Gruz, M. Šubrtová A. Pěňčík, O. Novák, K. Doležal, M. Strnad et J. V. Staden (2015). « Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant », *Plant growth regulation*, vol. 75, p. 483-492.
- [124] R. M. Atiyeh, S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon, et J. D. Metzger,(2002). « The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth », *Bioresource technology*, vol. 84, n° 1, p. 7-14.
- [125] N. Q. Arancon, C. A. Edwards, P. Bierman, C. Welch, et J. D. Metzger, (2004). « Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields », *Bioresource technology*, vol. 93, n° 2, p. 145-153.
- [126] I. Ribera et J. M. Nancé, (2017).« Stimulation des défenses naturelles », *Lebanese Science Journal*, vol. 18, n° 1, p. 81-97.
- [127] O. Klarzynski et B. Fritig, (2001). « Stimulation des défenses naturelles des plantes », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, vol. 324, n° 10, p. 953-963.
- [128] A. M. Guei, F. G. B. Zro, S. Bakayoko, et F. D. B. TA, (2020). « Effets du vermicompost à base d'ordures ménagères associées aux balles de riz sur les paramètres agronomiques du maïs (*Zea mays* L.) », *Journal of Applied Biosciences*, vol. 154, p. 15862-15870.

- [129] A. Biabani et A. Gholizadeh, (2020). « Study of microbial respiration in different types of vermicompost », *Malaysian Journal of Soil Science*, vol. 24, p. 135-46.
- [130] C. Lazcano et J. Domínguez, (2011). « The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility », *Soil nutrients*, vol. 10, n° 1-23, p. 187.
- [131] E. Rezaei-Chiyaneh, R. Amirnia, S. Fotohi Chiyaneh, F. Maggi, M. Barin, et B. S. Razavi, (2021). « Improvement of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) yield quality through a coupled intercropping system and vermicompost application along with maintenance of soil microbial activity », *Land Degradation & Development*, vol. 32, n° 9, p. 2833-2848.
- [132] J. A. K. Rubabura, J. J. M. Bagalwa, A. C. Lorena, C. N. Ngerengo, et C. L. Masunga, (2020). « Caractérisation et évolution de vermicompost des déchets ménagers des vers de terre *Eisenia feotida* et *Perionyx escavatus* au Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, République Démocratique du Congo », *Afrique SCIENCE*, vol. 17, n° 2, p. 25-35.
- [133] D. O. Alabi, R. Cooposamy, K. Naidoo, et G. Arthur, (2022). « Journal of Agricultural Science and Food Research », *J Agri Sci Food Re*, Vol.13. p.1-8.
- [134] C. A. Edwards, N. Arancon, E. Emerson, et R. Pulliam, (2007). « Suppression of plant parasitic nematode and arthropod pests by vermicompost 'teas », *Biocy. Dec*, vol. 48, p. 61-63.
- [135] Z. Xiao, M. Liu, L. Jiang, X. Chen, B.S, H. Li et F. Hu , (2016). « Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants », *Applied soil ecology*, vol. 105, p. 177-186.
- [136] N. Arancon, C. Edwards, S. Lee, E. Yuzuncu, B. Bolumu, et V. Turkey, « Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts », In *Brighton crop protection conference pests and diseases*, Vol. 2, p. 705-710.

- [137] M. Szczech, (2008). « Suppressiveness of Vermicompost against Fusarium Wilt of Tomato », *Journal of Phytopathology*, vol. 147, p. 155-161. Doi: 10.1046/j.1439-0434.1999.147003155.x.
- [138] M. Szczech et U. Smolińska, (2001). « Comparison of Suppressiveness of Vermicomposts Produced from Animal Manures and Sewage Sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae* », *Journal of Phytopathology*, vol. 149, p. 77-82 . Doi: 10.1046/j.1439-0434.2001.00586.x.
- [139] L. F. Ballesteros, J. A. Teixeira, et S. I. Mussatto, (2014). « Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin », *Food and bioprocess technology*, vol. 7, n° 12, p. 3493-3503.
- [140] K. Ramalakshmi, L. J. M. Rao, Y. Takano-Ishikawa, et M. Goto, (2009), « Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems », *Food Chemistry*, vol.115, n°1, p.79-85. Doi: 10.1016/j.foodchem.2008.11.063.
- [141] Anonyme, (2023). « Traitement de biodéchets de café vert et torréfié » Institut International de Caféologie . <http://institut-cafeologie.com/traitement-de-biodechets-de-cafe-vert-et-torrefie/> .
- [142] N. J. Salazar-López, C. V. López-Rodríguez, D. A. Hernández-Montoya, et R. Campos-Vega, (2020). « Health benefits of spent coffee grounds », *Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential*, p. 327-351.
- [143] N. V. Hue, H. C. Bittenbender, et M. E. Ortiz-Escobar, (2006). « Managing coffee processing water in Hawaii », *J. Hawaiian Pacific Agric*, vol. 13, p. 15-21.
- [144] S. Amokrane, R. Arhab, et O. Derouiche, (2020). « *Le marc du café Algérien* ». Editions universitaires europeennes, p.104.
- [145] F. Carassou, (2015). « Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? : cas de l'Île de Montréal », Essai, Université de Sherbrooke, p.103.

- [146] F. J. Gómez-de la Cruz, F. Cruz-Peragón, P. J. Casanova-Peláez, et J. M. Palomar-Carnicero, (2015). « A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics », *Fuel Processing Technology*, vol. 130, p. 188-196, févr. Doi: 10.1016/j.fuproc.2014.10.012.
- [147] K.-I. Chen, Y.-C. Lo, C.-W. Liu, R.-C. Yu, C.-C. Chou, et K.-C. Cheng, (2013). « Enrichment of two isoflavone aglycones in black soymilk by using spent coffee grounds as an immobiliser for β -glucosidase », *Food Chemistry*, vol. 139, n° 1, p. 79-85. Doi: 10.1016/j.foodchem2013.01.093.
- [148] K. Shen et M. A. Gondal, (2017). « Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground », *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 21, p. S120-S127. Doi: 10.1016/j.jscs.2013.11.005.
- [149] A. Zuorro et R. Lavecchia, (2012), « Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy », *Journal of Cleaner Production*, vol. 34, p. 49-56, Doi: 10.1016/j.jclepro.2011.12.003.
- [150] P. S. Murthy et M. M. Naidu, (2012). « Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review », *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 66, p. 45-58.
- [151] L. Limousy, M. Jeguirim, P. Dutournié, N. Kraiem, M. Lajili, et R. Said, (2013). « Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets », *Fuel*, vol. 107, p. 323-329. Doi: 10.1016/j.fuel.2012.10.019.
- [152] A. Jiménez-Zamora, S. Pastoriza, et J. A. Rufián-Henares, (2015). « Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties », *LWT - Food Science and Technology*, vol. 1, n° 61, p. 12-18. Doi: 10.1016/j.lwt.2014.11.031.
- [153] N. Kondamudi, S. K. Mohapatra, et M. Misra, (2008). « Spent coffee grounds as a versatile source of green energy », *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 56, n° 24, p. 11757-11760.

- [154] J. McNutt, (2019) .« Spent coffee grounds: A review on current utilization », *Journal of industrial and engineering chemistry*, vol. 71, p. 78-88.
- [155] A. Vandepoosele, M. Draye, et G. Chatel, (2020). « Le marc de café : nouvel or brun des chimistes ? », *L'Actualité Chimique*, p. 29.
- [156] M. A. Stylianou,A. Agapiou, M. Omirou,I. Vyrides, I.M, Ioannides, G. Maratheftis et D.A. Fasoula, (2017). « Potential environmental applications of spent coffee grounds », in *Proceeding of the 5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, p.22.
- [157] S. I. Mussatto, L. M. Carneiro, J. P. Silva, I. C. Roberto, et J. A. Teixeira, (2011). « A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds », *Carbohydrate polymers*, vol. 83, n° 2, p. 368-374.
- [158] M. M. R. de Melo, H. M. A. Barbosa, C. P. Passos, et C. M. Silva, (2014). « Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis », *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 86, p. 150-159. Doi: 10.1016/j.supflu.2013.12.016.
- [159] R. Campos-Vega, G. Loarca-Pina, H. A. Vergara-Castaneda, et B. D. Oomah, -(2015). « Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects », *Trends in Food Science & Technology*, vol. 45, n° 1, p. 24-36.
- [160] S. Pérez-Burillo, A. Cervera-Mata, A. Fernández-Arteaga, S. Pastoriza, J. Á. Rufián-Henares, et G. Delgado, (2022) .« Why Should We Be Concerned with the Use of Spent Coffee Grounds as an Organic Amendment of Soils? A Narrative Review », *Agronomy*, vol. 12, n° 11, p. 2771.
- [161] J. H. Low, W. A. W. A. Rahman, et J. Jamaluddin, (2015) .« Structural elucidation of tannins of spent coffee grounds by CP-MAS 13C NMR and MALDI-TOF MS », *Industrial Crops and Products*, vol. 69, p. 456-461.
- [162] J. Bravo, C. Monente, I. Juániz, M. P. De Peña, et C. Cid, (2013). « Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee », *Food Research International*, vol. 50, n° 2, p. 610-616.

- [163] C. Andrade, R. Perestrelo, et J. S. Câmara, (2022) .« Bioactive Compounds and Antioxidant Activity from Spent Coffee Grounds as a Powerful Approach for Its Valorization », *Molecules*, vol. 27, n° 21, p. 7504.
- [164] M. Ramón-Gonçalves, E. Gómez-Mejía, N. Rosales-Conrado, M. E. León-González, et Y. Madrid, (2019). « Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses », *Waste Management*, vol. 96, p. 15-24.
- [165] S. K. Karmee, (2018). « A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites », *Waste management*, vol. 72, p. 240-254.
- [166] M. Haddoudi, H. Mellouk, B. Bejjany, A. Dani, et K. Digua, (2014). « Valorisation du marc du café : extraction de l'huile et évaluation de son activité antioxydante », vol. 8, p. 9.
- [167] S. I. Mussatto, E. M. S. Machado, S. Martins, et J. A. Teixeira, (2011).« Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues », *Food and Bioprocess Technology*, vol. 4, n° 5, p. 661-672.
- [168] R. M. Couto, J. Fernandes, M. G. Da Silva, et P. C. Simoes, 2009. « Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds », *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 51, n° 2, p. 159-166.
- [169] J.-H. Kim, D. U. Ahn, J. B. Eun, et S. H. Moon,(2016). « Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat », *Antioxidants*, vol. 5, n° 3, p. 21.
- [170] N. Martinez-Saez, A. Tamargo García, I. Domínguez Pérez, M. Rebollo-Hernanz, F.j. Morales, M. Martín-Cabrejas et M. del Castillo, (2017). « Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products », *Food Chemistry*, vol. 216, p. 114-122.

- [171] F. Acevedo, M. Rubilar, E. Scheuermann, B. Cancino, E. Uquiche, M. Garcés, C. Shene, (2013). « Bioactive compounds of spent coffee grounds, a coffee industrial residue », in *Proceedings of the III Symposium on*, 2013, Vol. 212, pp. 12-14
- [172] N. García-Gutiérrez, M. E. Maldonado-Celis, M. Rojas-López, G. F. Loarca-Piña, et R. Campos-Vega, (2017). « The fermented non-digestible fraction of spent coffee grounds induces apoptosis in human colon cancer cells (SW480) », *Journal of Functional Foods*, vol. 30, p. 237-246.
- [173] A. M. Rabasco Álvarez et M. L. González Rodríguez,(2000).« Lipids in pharmaceutical and cosmetic preparations », *Grasas y Aceites*, 51 (1-2), 74-96.
- [174] F. Acevedo, M. Rubilar, E. Scheuermann, B. Cancino, E. Uquiche, M. Garcés, k. Inostroza et C. Shene, (2013). « Spent coffee grounds as a renewable source of bioactive compounds », *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, vol. 7, n° 3, p. 420-428.
- [175] J. Marto, L.F. Gouveia, B.G. Chiari, A. Paiva, V. Isaac, P. Pinto, P. Simões, A.J. Almeida, H.M. Ribeiro,(2016). « The green generation of sunscreens: Using coffee industrial sub-products », *Industrial Crops and Products*, vol. 80, p. 93-100.
- [176] T. Ciesielczuk, C. Rosik-Dulewska, J. Poluszyńska, D. Miłek, A. Szewczyk, et I. Sławińska, (2018). « Acute Toxicity of Experimental Fertilizers Made of Spent Coffee Grounds », *Waste Biomass Valor*, vol. 9, n° 11, p. 2157-2164. Doi: 10.1007/s12649-017-9980-3.
- [177] K. Liu et G. W. Price, (2011). « Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds », *Bioresource technology*, vol. 102, n° 17, p. 7966-7974.

- [178] A. E. Atabani, S. M. Mercimek, S. Arvindnarayan, S. Shobana, G. Kumar, M. Cadir, et A.H.H. Al-Muhateb, A. A. H., (2018). « Valorization of spent coffee grounds recycling as a potential alternative fuel resource in Turkey: An experimental study », *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 68, n° 3, p. 196-214, Doi: 10.1080/10962247.2017.1367738.
- [179] F. Leifa, A. Pandey, et C. R. Soccol, (2001). « Production of *Flammulina velutipes* on coffee husk and coffee spent-ground », *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 44, n° 2, p. 205-212.
- [180] M. E. F. AROUN, (2015). « Le complexe aphides et ennemis naturels en milieux cultivé et forestier en Algérie », Thèse de doctorat , ENSA El Harrach.
- [181] W. Chaichi, Z. Djazouli, B. Zebib, et O. Merah, (2018). « Effect of vermicompost tea on faba bean growth and yield », *Compost Science & Utilization*, vol. 26, n° 4, p. 279-285.
- [182] M. E. F. Aroun, B. Benhammouda, L. Bendifallah, et Z. E. Djazouli, (2018). « Retracted: Physicochemical evaluation of the composting of different types of organic matter on some biological parameters of the manure worm (*Eisenia foetida*) », *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 10, n° 5S, p.16-31.
- [183] K. L. Waddell, (2002) .« Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories », *Ecological indicators*, vol. 1, n° 3, p. 139-153.
- [184] G. Woldendorp, R. J. Keenan, S. Barry, et R. D. Spencer,(2004). « Analysis of sampling methods for coarse woody debris », *Forest ecology and management*, vol. 198, n° 1-3, p. 133-148.
- [185] A. Bastide, (1989).« Méthodologie d'échantillonnage sur terrain sur terrain », *Ed Masson Paris*, vol. 280.

- [186] B. P. Naidu, D. F. Cameron, et S. V. Konduri,(1998). « Improving drought tolerance of cotton by glycinebetaine application and selection », in *Proceedings of the 9th Australian agronomy conference, Wagga Wagga*.
- [187] T. N. Singh, D. Aspinall, L. G. Paleg, et S. F. Boggess, (1973). « Stress metabolism II. Changes in proline concentration in excised plant tissues », *Australian Journal of Biological Sciences*, vol. 26, n° 1, p. 57-64.
- [188] M. Dubois, K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. t Rebers, et F. Smith,(1956). « Colorimetric method for determination of sugars and related substances », *Analytical chemistry*, vol. 28, n° 3, p. 350-356.
- [189] M. Ben Naceur, (1994). « Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et la fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.) ». Thèse de doctorat d'état en Sciences, p.113.
- [190] O. Hammer, D. Harper et P. Ryan, (2001). «PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis Palaeontologia Electronica». vol.4, n° 1, p. 9.
- [191] R. K. Colwell, A.Chao, N. J. Gotelli, S. Y. Lin, C. X. Mao, R. L. Chazdon et J. T. Longino, (2012). « Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages », *Journal of plant ecology*, vol. 5, n° 1, p. 3-21.
- [192] R. DAJOZ, (1971). «Précis d'écologie», Dunod , Edition, Paris. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, vol .43, n° 6. p. 180-181.
- [193] R. DAJOZ, (1985). «Précis d'écologie» . Dunod . Edition, Paris. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, vol. 54, n° 6. p. 52.
- [194] SPSS, Inc. 2016- SYSTAT 4.00 for windows, statistics and graphics.

- [195] S. Abaranji, K. Panchabikesan, et V. Ramalingam, (2021) .« Experimental study on the direct evaporative air-cooling system with vermicompost material as the water storage medium », *Sustainable Cities and Society*, vol. 71, p. 102991.
- [196] S. A. Bhat, J. Singh, et A. P. Vig, (2015). « Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost », *Springerplus*, vol. 4, n° 1, p. 1-9.
- [197] M. Olle, (2019), « Vermicompost, its importance and benefit in agriculture », *Journal of Agricultural Science*, Vol. 30, No. 2,p.93-97.
- [198] D. Senthil Kumar, P. Satheesh Kumar, N. M. Rajendran, V. Uthaya Kumar, et G. Anbuganapathi, (2014). « Evaluation of vermicompost maturity using scanning electron microscopy and paper chromatography analysis », *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 62, n° 13, p. 2738-2741.
- [199] L. Pandit, D. Sethi, S. K. Pattanayak, et Y. Nayak, (2020). « Bioconversion of lignocellulosic organic wastes into nutrient rich vermicompost by *Eudrilus eugeniae* », *Bioresource Technology Reports*, vol. 12, p. 100580.
- [200] R. M. Atiyeh, C. A. Edwards, S. Subler, et J. D. Metzger,(2001). « Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth », *Bioresource technology*, vol. 78, n° 1, p. 11-20.
- [201] J. Dominguez et C. A. Edwards, (2011). « Relationships between composting and vermicomposting », *Vermiculture technology earthworms, organic wastes, and environmental management*. eds C. A. Edwards, N. Q. Arancon, and R. Sherman (Boca Raton, FL: CRC Press), p. 11-26. Doi: 10.1201/b10453-3
- [202] V. K. Garg et R. Gupta, (2009).« Vermicomposting of agro-industrial processing waste », *Biotechnology for Agro-industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-residues*, p. 431-456.

- [203] J. Theunissen, P. A. Ndakidemi, et C. P. Laubscher, (2010). « Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production », *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5, n° 13*, p. 1964-1973.
- [204] R. D. Guerrero III, (2010).« Vermicompost production and its use for crop production in the Philippines », *International journal of global environmental issues*, vol. 10, n° 3-4, p. 378-383.
- [205] G. S. Rekha, P. K. Kaleena, D. Elumalai, M. P. Srikumaran, et V. N. Maheswari, (2018). « Effects of vermicompost and plant growth enhancers on the exo-morphological features of *Capsicum annum* (Linn.) Hepper », *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 7, p. 83-88.
- [206] P. Baweja, S. Kumar, et G. Kumar, (2020).« Fertilizers and pesticides: Their impact on soil health and environment », *Soil health*, Vol. 59, p. 265-285.
- [207] J.-L. Morel, A. Guckert, B. Nicolardot, D. Benistant, G. Catroux, et J.-C. Germon, (1986). « Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage », *Agronomie*, vol. 6, n° 8, p. 693-701.
- [208] R. S. Achsah et M. L. Prabha, (2013). « Potential of vermicompost produced from banana waste (*Musa paradisiaca*) on the growth parameters of *Solanum lycopersicum* », *Int. J. Chem. Tech. Res*, vol. 5, n° 5, p. 2141-2153.
- [209] R. Singh, R. R. Sharma, S. Kumar, R. K. Gupta, et R. T. Patil, (2008). « Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) », *Bioresource Technology*, vol. 99, n° 17, p. 8507-8511.

- [210] K. Arumugam, S. Renganathan, O. O. Babalola, et V. Muthunarayanan, (2018). « Investigation on paper cup waste degradation by bacterial consortium and *Eudrillus eugeinea* through vermicomposting », *Waste management*, vol. 74, p. 185-193.
- [211] C. P. Jordao, M. de G. Pereira, R. Einloft, M. B. Santana, C. R. Bellato, et J. W. Vargas de Mello, (2002). « Removal of Cu, Cr, Ni, Zn, and Cd from electroplating wastes and synthetic solutions by vermicompost of cattle manure », *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 37, n° 5, p. 875-892.
- [212] M. Díaz-Ramírez, G. Calderón-Domínguez, M. de la P. Salgado-Cruz, J. J. Chanona-Pérez, J. A. Andraca-Adame, et P. D. Ribotta, (2016). « Sponge cake microstructure, starch retrogradation and quality changes during frozen storage », *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 51, n° 8, p. 1744-1753.
- [213] P. K. Priya, S. Vanitha, et P. Meyyappan, (2020). « Characteristic and microstructural study on an alternate material in brick manufacturing », in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, vol. 955, p. 012038.
- [214] S. Biyada, M. Merzouki, K. Elkarrach, et M. Benlemlih, (2020). « Spectroscopic characterization of organic matter transformation during composting of textile solid waste using UV–Visible spectroscopy, Infrared spectroscopy and X-ray diffraction (XRD) », *Microchemical Journal*, vol. 159, p. 105314.
- [215] J. Razmjou, C. Vorburger, M. Mohammadi, et M. Hassanpour, (2012). « Influence of vermicompost and cucumber cultivar on population growth of *Aphis gossypii* Glover », *Journal of Applied Entomology*, vol. 136, n° 8, p. 568-575.

- [216] T. Alizamani, J. Razmjou, B. Naseri, M. Hassanpour, A. Asadi, et C. Kerr, (2017), « Effect of vermicompost on life history of *Hippodamia variegata* preying on *Aphis gossypii* Glover », *Journal of the Entomological Research Society*, vol. 19, n° 1, p. 51-60.
- [217] D. G. Patriquin, D. Barnes, et A. Abboud, (1995). « Diseases, pests and soil fertility. In 'Soil Management in Sustainable Agriculture». eds HF Cook and HC Lee . Wye College Press, Wye, England.
- [218] N. Q. Arancon, C. A. Edwards, E. N. Yardim, T. J. Oliver, R. J. Byrne, et G. Keeney, (2007).« Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts », *Crop Protection*, vol. 26, n° 1, p. 29-39.
- [219] N. Q. Arancon, P. A. Galvis, et C. A. Edwards,(2005), « Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts », *Bioresource technology*, vol. 96, n° 10, p. 1137-1142.
- [220] M. Mardani-Talaei, G. Nouri-Ganblani, J. Razmjou, M. Hassanpour, B. Naseri, et A. Asgharzadeh, (2016). « Effects of chemical, organic and bio-fertilizers on some secondary metabolites in the leaves of bell pepper (*Capsicum annuum*) and their impact on life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) », *Journal of Economic Entomology*, vol. 109, n° 3, p. 1231-1240.
- [221] A. Peimani Foroushani, N. Poorjavad, M. Haghghi, et J. Khajehali, (2016). « Effect of solid and aqueous extract of vermicompost on growth characteristics of tomato and greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) », *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, vol. 7, n° 2, p. 35-46
- [222] R. Sedaghatbaf, M. A. Samih, H. Zohdi, et M. Zarabi, (2018). « Vermicomposts of different origins protect tomato plants against the sweetpotato whitefly », *Journal of economic entomology*, vol. 111, n° 1, p. 146-153.

- [223] K. R. Rao, P. A. Rao, et K. T. Rao, (2001). « Influence of fertilizers and manures on the population of coccinellid beetles and spiders in groundnut ecosystem », *Ann Plant Protect Sci*, vol. 9, p. 43-46.
- [224] K. R. Rao, (2002). « Induced host plant resistance in the management of sucking insect pests of groundnut », *Annals of Plant Protection Sciences*, vol. 10, n° 1, p. 45-50.
- [225] M. S. Rao, M. Kamalnath, R. Umamaheswari, R. Rajinikanth, P. Prabu, K. Priti, G.N. Grace, M.K. Chaya, C.Gopalakrishan ,(2017). « Bacillus subtilis IIHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot », *Scientia Horticulturae*, vol. 218, p. 56-62.
- [226] M. S. Rao, R. Umamaheswari, A. K. Chakravarthy, G. N. Grace, M. Kamalnath, et P. Prabu,(2015) « A frontier area of research on liquid biopesticides: the way forward for sustainable agriculture in India », *Current Science*, vol. 108, n° 9, p. 1590-1592.
- [227] M. Rostami, M. Olia, et M. Arabi, (2014). « Evaluation of the effects of earthworm *Eisenia fetida*-based products on the pathogenicity of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) infecting cucumber », *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 3, p. 1-8.
- [228] S. Mishra, K.-H. Wang, B. S. Sipes, et M. Tian,(2017). « Suppression of root-knot nematode by vermicompost tea prepared from different curing ages of vermicompost », *Plant disease*, vol. 101, n° 5, p. 734-737.
- [229] M. Renco et P. Kováčik,(2005). « Assessment of the nematicidal potential of vermicompost, vermicompost tea, and urea application on the potato-cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* », *Journal of plant protection research*, vol. 55, n° 2.

- [230] M. T. Mubvuma I. Nyambiya, K. Makaza, P. Chidoko, C. P. Mudzengi, E. Dahwa, X. Poshiwa, R. Nyamusamba, A. M. Manyanga, M. Muteveri et H.A. Mupambwa, (2023). « The Potential of Vermicomposts in Sustainable Crop Production Systems », in *Vermicomposting for Sustainable Food Systems in Africa*, Springer, p. 261-277.
- [231] S. Belgüzar, (2023). « Potential Use of Vermicompost Against Tomato Bacterial Canker and Wilt Disease », Research square, p.1-17. Doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2751018/v1>
- [232] V. Ducasse, (2015). « Valorisation des déchets organiques de la métropole de Lyon par la technique du lombricompostage », *Mémoire de License. France: Université de Lyon*.
- [233] H. Chaoui, C. A. Edwards, A. Brickner, S. S. Lee et N. Q. Arancon, (2002) « Suppression of the plant diseases, Pythium (damping-off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicomposts », in *Brighton crop protection conference pests and diseases*, Vol.2, p. 711-716.
- [234] M. L. Oloroso, S. J. Legaspi, M. L. Bernabe, F. L. Baranda, et N. L. Obeja, (2021). « Effect of Varying Levels and Brewing Durations of Vermitea on the Performance of Rice and Pest Occurrence », *Volume 30, No. 1 (2018)*, vol. 30, n° 1.
- [235] R. S. Giraddi, (2007). « Effect of organic amendments on the activity of *Menochilus sexmaculatus* (Fabricius)(Coleoptera: Coccinellidae) and *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) in chilli,(*Capsicum annum* L.) », *Pest management in Horticultural ecosystems*, vol. 13, n° 1, p. 38-43.
- [236] L. Mottaghinia, M. Hassanpour, J. Razmjou, E. Chamani et M. Hossieni, (2015). « Effect of Vermicompost on Some Biological parameters of the Melon Aphid, *Aphis gossypii* Glover and the Predatory Gall Midge *Aphidoletes aphidimyza* Rondani on Two Greenhouse Cucumber Cultivars », *Journal of Applied Research in Plant Protection*, vol. 4, n° 2, p. 55-71.

- [237] C. N. Sible, J. R. Seebauer, et F. E. Below,(2021). « Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators », *Agronomy*, vol. 11, n° 7, p. 1297.
- [238] M. A. Altieri et C. I. Nicholls, (2023). « Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems », *Soil and Tillage Research*, vol. 72, n° 2, p. 203-211.
- [239] R. Sarmoum, (2019). « Statut bio-écologique de la cicadelle verte de la vigne: Table de vie et perspectives de lutte », Thèse de doctorat , Ecole Nationale Supérieure agronomique-Khalef Abdellah alias Kasdi Merbah.
- [240] T. Ise et P. R. Moorcroft, (2006). « The global-scale temperature and moisture dependencies of soil organic carbon decomposition: an analysis using a mechanistic decomposition model », *Biogeochemistry*, vol. 80, p. 217-231.
- [241] R. W. Brooker et Z. Kikvidze, (2008). « Importance: an overlooked concept in plant interaction research », *Journal of Ecology*, vol. 96, n° 4, p. 703-708.
- [242] M. C. Mack, E. A. Schuur, M. S. Bret-Harte, G. R. Shaver, et F. S. Chapin III,(2004). « Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization », *Nature*, vol. 431, n° 7007, p. 440-443.
- [243] A. Kazeminasab, M. Yarnia, M. H. Lebaschy, B. Mirshekari et F. Rejali (2016). « The effect of vermicompost and PGPR on physiological traits of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) plant under drought stress », *Journal of Medicinal plants and By-product*, vol. 5, n° 2, p. 135-144.
- [244] M. A. Scott, (1988). « use of worm-digested animal waste as a supplement to peat in loamless composts for hardy nursery stock », *Earthworms in waste and environmental management/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser*, spa Acad. Pub. The Netherlands, p. 231-229.

- [245] Z. Aslam et A. Ahmad, (2020). « Effects of vermicompost, vermi-tea and chemical fertilizer on morpho-physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) in Suleymanpasa District, Tekirdag of Turkey », *Journal of Innovative Sciences*, vol. 6, n° 1, p. 41-46.
- [246] S. Benazzouk, S. Lutts et Z.E Djazouli, (2018). « L'atténuation du stress salin par l'extrait de vermicompost chez *solanum lycopersicum* L. en mobilisant les mécanismes de tolérance au sel ». *Revue Agrobiologia*, Vol. 8, n° 2, p. 1136-1144.
- [247] N. Zhang, Y. Ren, Q. Shi, X. Wang, M. Wei, et F. Yang, (2011). « Effects of vermicompost on quality and yield of watermelon. », *China Vegetables*, n° 6, p. 76-79.
- [248] P. K. Padmavathiamma, L. Y. Li et U. R. Kumari, (2008). « An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement », *Bioresource technology*, vol. 99, n° 6, p. 1672-1681.
- [249] P. Kumar Srivastava, P.C.Singh, M. Gupta, A. Sinha, A. Vaish, A. Shukla, N.Singh, S. Tewari, (2011). « Influence of earthworm culture on fertilization potential and biological activities of vermicomposts prepared from different plant wastes », *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 174, n° 3, p. 420-429.
- [250] G. H. Peyvast, J. A. Olfati, S. Madeni et A. Forghani, (2008). « Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.) », *Journal of Food, Agriculture & Environment*, vol, 6, n° 1, p. 110-113.
- [251] G. Peyvast, J.-A. Olfati, S. Madeni, A. Forghani, et H. Samizadeh, (2008). « Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of parsley », *International Journal of Vegetable Science*, vol. 14, n° 1, p. 82-92.

- [252] A. Salehi, H. Tasdighi, et M. Gholamhoseini, (2016). « Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments », *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, vol. 6, n° 10, p. 886-891.
- [253] C. Xu et B. Mou, (2016). « Vermicompost Affects Soil Properties and Spinach Growth, Physiology, and Nutritional Value », *horts*, vol. 51, n° 7, p. 847-855. Doi: 10.21273/HORTSCI.51.7.847.
- [254] L. Guermache et Z.-E. Djazouli, (2021). « Effets de la fertilisation à base de la biomasse vermicompostée sur les performances agronomiques du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) en culture irriguée ». *Revue Agrobiologia*, Vol. 11, n° 1, p.2394-2405.
- [255] L. Guermache, S. Kobbi, M. E. F. Aroun, O. Merah, Z. E. Djazouli, (2018). « Evaluation of the changes induced by different types of vermicompost on the morpho-physiological and biochemical traits of bean ». *Revue Agrobiologia*, Vol. 8, n° 2, p. 1066-1077
- [256] H. Ashmead, (1986). « The absorption mechanism of amino acid chelates by plant cells ». In: *Foliar feeding of plants with amino acid chelates* (Ashmead, H.D. ; H.H. Ashmead ; G.W. Miller and H.H. Hsu, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA), pp 219-235.
- [257] H. A. Baqir, N. H. Zeboon et A. A. J. Al-Behadili, (2019). « The role and importance of amino acids within plants: A review », *Plant Archives*, vol. 19, n° 2, p. 1402-1410.
- [258] T. Näsholm, K. Huss-Danell et P. Högberg, (2000). « Uptake of organic nitrogen in the field by four agriculturally important plant species », *Ecology*, vol. 81, n° 4, p. 1155-1161.
- [259] J. Persson et T. Näsholm, (2002). « Regulation of amino acid uptake in conifers by exogenous and endogenous nitrogen », *Planta*, vol. 215, p. 639-644.

- [260] N. Verbruggen et C. Hermans, (2008). « Proline accumulation in plants: a review », *Amino acids*, vol. 35, p. 753-759.
- [261] A. B. El Houssine Tahri et K. Sadki, (1998). « Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*) », *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat*, vol. 1997, n° 21, p. 81-87.
- [262] K. Dörffling et P. Askman, (1989). « Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid, and specific proteins in cold hardened winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties », *XII Eucarpia Congress. in spring wheatcultivars. 1. Grain yield response. Aust J Agric Res*, vol. 29, p. 897-912.
- [263] E. S. Ober et R. E. Sharp, (1994). « Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials (I. Requirement for increased levels of abscisic acid) », *Plant Physiology*, vol. 105, n° 3, p. 981-987.
- [264] T. N. Singh, I. G. Paleg, et D. Aspinall, (1973). « Stress metabolism I. Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress », *Australian journal of biological sciences*, vol. 26, n° 1, p. 45-56.
- [265] R. Mattioli, P. Costantino, et M. Trovato, (2009). « Proline accumulation in plants: not only stress », *Plant signaling & behavior*, vol. 4, n° 11, p. 1016-1018.
- [266] Y. Zhang, C. Li, Y. Wang, Y. Hu, P. Christie, J. Zhang et X. Li, (2016). « Maize yield and soil fertility with combined use of compost and inorganic fertilizers on a calcareous soil on the North China Plain », *Soil and Tillage Research*, vol. 155, p. 85-94.