

**UNIVERSITÉ DE BLIDA 1****Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

Département des Biotechnologies

**THÈSE DE DOCTORAT**

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Sciences Agronomiques

**EFFETS DES BIOFERTILISANTS SUR LA BIO-  
FOURNITURE ET LA CORRECTION DES STRESS**

Par

**Wissem CHAICHI**

A. BENRIMA-GHENDOUCZ	Professeur	U.B. 1	Présidente
Z.E. DJAZOULI	Professeur	U.B. 1	Directeur de thèse
L.ALLAL-BENFEKIH	Professeur	U.B. 1	Examinatrice
M. BAHA	Professeur	E.N.S. KOUBA	Examinatrice
L.BENDIFALLAH	Professeur	U.M.B. Boumerdes	Examinatrice
D. GHEZALI	Professeur	E.N.S.A	Examineur

Blida, Février, 2018

## RÉSUMÉ

La production intégrée en agriculture durable vise à améliorer l'efficacité des intrants biologiques à travers des formulations, prolongeant la rémanence au champ ou en incorporant des produits synergiques. Ces derniers, étant eux-mêmes non toxiques aux doses utilisées, augmentent de manière conséquente l'action protectrice de la viabilité des cultures. Dans ce contexte, la vermiculture représente une technologie appropriée qui valorise les résidus des cultures et gère durablement la santé végétale. L'utilisation de la vermiculture est récente en Algérie. L'objectif de notre étude est d'examiner l'impact des traitements avec des solutions issues de la vermiculture sur la production et la protection d'une culture légumière (la fève) et d'une essence forestière (le peuplier noir) dans les conditions naturelles. Différents biofertilisants bruts et formulés à base de thé de vermicompost ont été expérimentés dans le but d'évaluer leurs potentiels à couvrir les besoins nutritionnels et à réduire les attaques parasitaires sur les cultures étudiées. Les potentialités des biofertilisants brut et formulé ont été évaluées par l'estimation de la structure populationnelle d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas* en relation avec la qualité phytochimique du support végétal nourricier. L'apport de différents biofertilisants à base de thé de vermicompost et d'algues marines (témoin positif) a engendré différents états d'expression phytochimique en proline, en sucres totaux solubles et en chlorophylle totale chez la fève et le peuplier noir, impactant d'une manière significative les différents niveaux d'installation des populations d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas* ainsi que leur potentiel biotique (fécondité). Les résultats ont montré que les quantités des métabolites primaires et secondaires sont significativement accumulées sous l'effet des différents biofertilisants par comparaison aux témoins. Les taux d'accumulations permettent de remarquer que les bioproduits à base du thé de vermicompost stimulent l'activité photosynthétique et augmentent les réserves énergétiques en provoquant une gradation d'accumulation de la chlorophylle totale et des sucres totaux solubles. Les mêmes résultats indiquent que la sécurisation du principe (thé de vermicompost brut & extrait d'algue marine) via la formulation engendre une accumulation très importante de la proline. Les différences d'abondance et de fécondité doivent également s'exprimer par l'impact significatif du thé de vermicompost brut. Ainsi, les bioproduits bruts et fermentés montrent des effets délétères sur l'abondance et la reprise numérique des formes biologiques d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas*. Les effets les plus marqués ont été observés sur la fécondité. Enfin, les plantes traitées par les différentes formes du thé de vermicompost ont présenté des croissances plus importantes, une induction florale précoce et un nombre de fleurs et de gousses plus élevé par rapport au témoin. Les présents résultats nous permettent de valider la possibilité d'utiliser le thé de vermicompost comme engrais foliaire sur les différentes spéculations afin d'augmenter la productivité et réduire les pertes dues aux attaques parasitaires.

**Mots Clés :** *Aphis fabae*, *Chaitophorus leucomelas*, thé de vermicompost, phytochimie, abondance, fécondité, métabolites primaires, métabolites secondaires, formulation, structuration populationnelle.

## ABSTRACT

The integrated production in sustainable agriculture aims to improve the effectiveness of the biological inputs through formulations, prolonging remanence in the field or by incorporating synergistic products. These, being themselves non-toxic at the doses used, increase significantly the protective action of the viability of crops. In this context, the vermiculture represents an appropriate technology that develops the residues of the crops and manages plant health sustainably. The use of vermiculture is recent in Algeria. The objective of our study is to examine the impact of the treatments with solutions resulting from vermiculture on the production and the protection of a vegetable crop (bean) and a forest spices (black poplar) in natural conditions. Different biofertilizers raw and formulated based on vermicompost tea were tested in order to evaluate their potential to cover nutritional requirements and reduce parasite attacks on the crops studied. The potentialities of raw and formulated biofertilizers were evaluated by estimating the population structure of *Aphis fabae* and *Chaitophorus leucomelas* in relation with the phytochemical quality of the feeder plant support. The supply of different biofertilizers based on vermicompost tea and seaweed (positive control) has led to different states of phytochemical expression in proline, total soluble sugars and total chlorophyll in beans and black poplar, significantly impacting the different levels of settlement of the *Aphis fabae* and *Chaitophorus leucomelas* as well as their biotic potential (fecundity). The results showed that the quantities of primary and secondary metabolites are significantly accumulated under the effect of different biofertilizers compared to controls. Accumulation rates indicate that bioproducts based on vermicompost tea stimulate photosynthetic activity and increase energy reserves by causing a gradation of accumulation of total chlorophyll and total soluble sugars. The same results indicate that the securing of the principle (raw vermicompost tea & seaweed extract) through the formulation generates a very important accumulation of proline. Differences in abundance and fecundity should also be expressed by the significant impact of raw vermicompost tea. Thus, raw and fermented bioproducts show deleterious effects on the abundance and numerical recovery of the biological forms of *Aphis fabae* and *Chaitophorus leucomelas*. The most marked effects were observed on fertility. Finally, the plants treated with the different forms of vermicompost tea showed higher growth rates, early flower induction, and higher numbers of flowers and pods compared to the control. The present results allow us to validate the possibility of using vermicompost tea as a foliar fertilizer on various crops in order to increase productivity and reduce losses due to parasitic attacks.

**Key words:** *Aphis fabae*, *Chaitophorus leucomelas*, vermicompost tea, phytochemistry, abundance, fertility, primary metabolites, secondary metabolites, formulation, population structure.

## ملخص

يهدف الإنتاج المتكامل في الزراعة المستدامة إلى تحسين فعالية المدخلات العضوية من خلال التركيبات التي تزيد من الامتصاص و من خلال دمج المنتجات التآزرية. هذه الأخيرة، تعتبر غير سامة بالنسبة للجرعات المستخدمة، تساعد على الزيادة المعتمدة في الإجراءات الوقائية من خلال بقاء المزروعات. وفي هذا السياق، تمثل تقنية استعمال المخصبات الحيوية تقنية مناسبة لتأمين مخلفات المحاصيل وتتحكم في صحة النبات بصفة مستدامة. إن استخدام الزراعة المخصصة حيويًا هي زراعة حديثة في الجزائر. الهدف من دراستنا هو دراسة تأثير العلاج بالمحاليل الناتجة عن المخصبات الحيوية على إنتاج وحماية محصول الخضروات (الفاول) ونوع من أنواع الغابات (الهور الأسود) في ظروف طبيعية. وقد تم اختبار مختلف الأسمدة الحيوية الخام والتي تمت صياغتها من خلال السماد الطبيعي الحيوي لتقييم إمكاناتها لتغطية الاحتياجات الغذائية والحد من هجمات الطفيليات على المحاصيل الزراعية المدروسة. تم تقييم إمكانات السماد الطبيعي الحيوي الخام والمصاغ من خلال تقدير تركيبة مجموعات *Aphis fabae* و *Chaitophorus leucomelas* فيما يتعلق بالجودة الكيميائية للنبات الداعم المغذي. أسفرت مساهمة المخصبات الحيوية المختلفة الناتجة عن السماد الطبيعي الحيوي والأعشاب البحرية (مراقبة إيجابية) لحالات مختلفة للتعبير الكيميائي للنبات بالبرولين، السكريات الكلية القابلة للذوبان والكلوروفيل الكلي في الفول والهور الأسود، مما يؤثر إلى حد كبير على مستويات مختلفة من تسوية مجموعات *Aphis fabae* و *Chaitophorus leucomelas* وكذلك إمكاناتها الحيوية (الخصوبة). وأظهرت النتائج أن كميات المستقلبات الأولية والثانوية تراكمت بشكل كبير تحت تأثير مختلف الأسمدة الحيوية مقارنة بالتجربة الشاهدة. وتشير معدلات التراكم إلى أن المنتجات البيولوجية القائمة على السماد الطبيعي الحيوي تحفز النشاط الضوئي وتزيد احتياطيات الطاقة عن طريق التسبب في تراكم إجمالي الكلوروفيل والسكريات الكلية القابلة للذوبان.

نفس النتائج تشير إلى أن تأمين مبدأ (السماد الطبيعي الحيوي الخام ومستخرج الطحالب البحرية) عن طريق الصياغة يولد تراكم مهم جدا من البرولين. وينبغي أيضا أن يعبر عن الاختلافات في الوفرة والخصوبة و ذلك من خلال التأثير الكبير السماد الطبيعي الحيوي الخام. وهكذا، تظهر المنتجات البيولوجية الخام والمخمرة آثارا ضارة على الوفرة والانتعاش العددي للأشكال البيولوجية ل *Aphis fabae* و *Chaitophorus leucomelas*. ولوحظت أكثر الآثار وضوحا على الخصوبة. وأخيرا، أظهرت النباتات المعالجة بأشكال مختلفة من السماد الطبيعي الحيوي معدلات نمو أعلى، تحريض على ظهور زهرة مبكرة، وأعداد أكبر من الأزهار والقرون مقارنة بالتجربة الشاهدة. تسمح لنا النتائج الحالية بالتحقق من إمكانية استخدام السماد الطبيعي الحيوي كسماد ورقي على محاصيل مختلفة من أجل زيادة الإنتاجية وتقليل الخسائر الناجمة عن الهجمات الطفيلية.

## كلمات البحث:

*Aphis fabae*, *Chaitophorus leucomelas*، السماد الطبيعي الحيوي، الكيمياء النباتية، وفرة، الخصوبة، مستقلبات الأيض الأساسية، المركبات الثانوية، صياغة، هيكلية مجموعانية.

## REMERCIEMENTS

Une thèse est le résultat de nombreuses interactions au sein d'une communauté de chercheurs et de personnes d'horizons divers. Le travail qui vous est présenté ici, a été rendu possible grâce au concours appréciable de plusieurs personnes.

Je tiens tout d'abord à remercier Madame la Professeur BENRIMA Atika, Doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Blida 1, qui m'a honoré en présidant de ce jury, et pour avoir ouvert la première post graduation « Protection des Plantes et de l'Environnement ».

je remercie également Madame la Professeur BAHA Mounia de l'École Normale Supérieure de Kouba, Madame la Professeur BENFEKIH Leila de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida1, Madame Docteur BENDIFELLAH Leila du Département des Sciences Agronomiques, Université de Boumerdes et Monsieur le Docteur GHEZALI Djelloul de L'École Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach qui m'ont fait l'honneur d'accepter la charge d'être examinateurs de ma thèse, et pour avoir jugé ce travail.

je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur le Professeur DJAZOULI Zahr-Eddine de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Blida1, pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour le temps qu'il a consacré pour diriger cette thèse.

J'associe à mes remerciements Monsieur MERAH Othmane Maître de conférences H.D.R à l'Université de Toulouse (France) pour ses conseils, ses suggestions et son encouragement. Je remercie vivement les membres du laboratoire de chimie agro-industrielle de Toulouse d'avoir contribué à l'analyse de mes échantillons.

J'aimerais également témoigner de ma gratitude envers le Professeur Jérôme ROUSSELET du Laboratoire de Zoologie Forestière de l'Université d'Orléans (France) pour ses précieux conseils.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma gratitude à Monsieur Mustafa AVCI, Professeur à l'Université de Suleyman Demirel (Isparta, Turquie), Mr Meriç KUMBASLI, Docteur à l'Université d'Istanbul, Mr Ayhan Serttaş et Mr Fatih Aytar (Institut des Recherches Forestières, Turquie) pour les conseils d'orientations à la suite de notre rencontre.

J'aimerais également témoigner de ma gratitude envers Mr. Pedro Naves Lourdes Santos de l'Institut National d'Investigation Agricole et Vétérinaire (Portugal) pour l'ensemble des échanges scientifiques effectués.

Je remercie toute l'équipe scientifique de la zoologie de m'avoir fait profiter de son expérience et de ses conseils, dont Mr le Docteur AROUN M.E.F et Mme Docteur NEBIH- HADJSADOK D.

Un grand merci à Madame DJEMAI Y. pour sa contribution complémentaire qui a permis la réalisation des extractions des métabolites des plantes.

Je tiens également à remercier tous les membres du laboratoire qui, par leur gentillesse et leur disponibilité, ont rendu le quotidien de ces six années de thèse agréable et chaleureux.

Un très grand merci à mes parents que j'aime énormément ; ils m'ont été d'un apport indéniable dans la poursuite de mes études et leur aide m'a été très précieuse.

Je voudrais exprimer toute ma gratitude à mon mari Salah et ma fille Dina, pour leur compréhension et leur soutien.

Enfin merci à toutes les personnes qui ont contribué de différentes façons à la réalisation de ce travail.

***DEDICACES***

***Cette thèse est dédiée à mes parents, à mes frères et leurs enfants (Naila, Mélissa, Rayane, Sami).***

***A mon mari et ma petite fille « DJNA »***

***A toute la grande famille : CHAJCHJ et GHARZOUJ.***

***Cette thèse de DOCTORAT représente l'aboutissement de volonté, de beaucoup de sacrifices, tout au long de mon parcours universitaire.***

***Qu'ils en soient remerciés par cette sincère dédicace.***

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	
ABSTRACT	
الملخص	
REMERCIEMENTS	
DÉDICACES	
SOMMAIRE	
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	18
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	20
1.1 Nutrition minérale des plantes.....	20
1.1.1 Diversité des nutriments chez les plantes.....	20
1.1.2. Absorption des nutriments.....	22
1.1.3. Effet de la nutrition de la plante sur la santé végétale.....	23
1.2. Résistance des plantes aux bioagresseurs.....	23
1.2.1. Implications des composés secondaires des plantes dans les systèmes de défense à l'égard des phytophages.....	24
1.2.2. Systèmes de défense directe et indirecte induite par l'attaque des phytophages.....	26
1.2.3. Mécanismes biochimiques des systèmes de défense induite...	27
1.3. Amélioration de la protection des plantes par stimulation des défenses naturelles des plantes (SDN).....	29
1.3.1. Eliciteurs d'origine biotique.....	30
1.3.2. Eliciteurs d'origine synthétique.....	32
1.3.2.1. BABA.....	32

1.3.2.2.	L'acide salicylique et ses analogues.....	32
1.3.2.3.	Phosphonates ou phosphites.....	33
1.3.2.4.	Le probénazole.....	33
1.4.	Intérêt des SDN en protection des plantes.....	34
1.4.1.	Intérêt technique.....	34
1.4.2.	Intérêt environnemental.....	34
1.4.3.	Place dans l'agriculture contemporaine.....	35
1.5.	Biofertilisants.....	36
1.5.1.	Définition des biofertilisants.....	36
1.5.2.	Type de biofertilisant.....	36
1.5.2.1.	Les engrais d'origine végétal (= engrais vert).....	36
1.5.2.2.	Les engrais d'origine animal.....	37
1.5.3.	Le compostage.....	37
1.5.3.1.	Définition du compostage.....	37
1.5.3.2.	Principe de compostage.....	37
1.5.4.	Le vermicompostage.....	39
1.5.4.1.	Définition du vermicompostage.....	39
1.5.4.2.	Principe du vermicompostage.....	39
1.5.4.3.	Valeur et l'utilisation du vermicompost.....	40
1.5.4.3.1.	Rôle de vermicompost dans la fertilité du sol.....	42
1.5.4.3.2.	Rôle de vermicompost dans la promotion de croissance de plantes.....	42
1.5.4.3.3.	Rôle de vermicompost dans le contrôle d'agent pathogène.....	43
1.5.4.3.4.	Rôle de vermicompost dans la lutte contre les arthropodes.....	43
1.5.4.3.5.	Rôle de vermicompost dans le contrôle de nématode.....	44
1.5.4.4.	Caractéristiques et potentialités biologique du jus (thé) de vermicompost.....	44
1.6.	Impact de la formulation des bioproduits sur la stabilité du principe actif	45
1.6.1.	Définition des formulations.....	45
1.6.2.	Les composants d'un produit formulé.....	45

1.6.3.	Types de formulations.....	46
6.4.	Importance de formulation.....	47
CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES.....		48
2.1.	Présentation de la région d'étude Mitidja.....	48
2.1.1.	Localisation.....	48
2.1.2.	Impact climatique sur la région d'étude.....	48
2.1.3.	Caractéristiques climatiques des zones d'étude.....	50
2.2.	Matériel d'étude.....	51
2.2.1.	Présentation des sites d'étude.....	51
2.2.1.1.	Zonage topographique de la région de Soumâa.....	53
2.2.1.2.	Zonage topographique de la région de Boumedefâa.	54
2.2.	Obtention des bioproduits.....	55
2.2.2.1.	Vermicompostage.....	55
2.2.2.2.	Thé de vermicompost brut.....	56
2.2.2.3.	Thé de vermicompost fermenté.....	57
2.2.2.4.	Formulation du thé de vermicompost brute et fermenté.....	59
2.2.2.5.	Phytofortifiant homologué (témoin positif).....	59
2.2.3.	Modèle biologique des essais.....	60
2.2.3.1.	Modèle biologique végétale.....	60
2.2.3.2.	Modèle biologique animale.....	61
2.3.	Méthode d'étude.....	62
2.3.1.	Dispositif expérimental et application des bioproduits sur la culture de la fève.....	62
2.3.2.	Dispositif expérimental et application des bioproduits sur les essences de peuplier noir.....	63
2.3.3.	Présentation des biofertilisants.....	65
2.3.3.1.	Extraction et quantification des acides humiques...	66
2.3.3.2.	Extraction et quantification des polyphénols.....	67
2.3.3.3.	Extraction et quantification des Flavonoïdes.....	67
2.4.	Evaluation de l'implication des bioproduits dans la stimulation des activités métaboliques.....	69
2.4.1.	Extraction et quantification de la proline.....	69
2.4.2.	Extraction et quantification des sucres totaux solubles.....	69

2.4.3.	Extraction et quantification de la chlorophylle totale.....	70
2.5.	Evaluation de l'implication des bioproduits dans la stimulation de l'expression végétative (amélioration des paramètres de croissance et de production).....	71
2.5.1.	Estimation de la croissance des plantes.....	71
2.5.2.	Estimation du développement du nombre de fleurs et de bouquet floraux par plant.....	72
2.6.	Evaluation de l'implication des bioproduits dans l'activité insecticide.....	73
2.6.1.	Estimation de l'abondance des formes biologiques.....	73
2.6.2.	Estimation des populations résiduelles.....	73
2.6.3.	Estimation de la fécondité.....	74
2.7.	Analyses statistiques des données.....	74
2.7.1.	Diagramme de ternaire (PAST vers.1.37).....	74
2.7.2.	Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, [228]).....	74
2.7.3.	Corrélations-régressions (SYSTAT vers. 12, [228]).....	75
2.7.4.	Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, [227]).....	75
2.7.5.	Modélisation (PAST vers. 1.37, [227]).....	76
CHAPITRE 3 : RÉSULTAT.....		77
3.1.	Caractérisation chimique des différents bioproduits à base de thé de vermicompost.....	77
3.1.1.	Appréciation des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en éléments minéraux majeurs.....	77
3.1.2.	Appréciation des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en métabolites.....	80
3.2.	Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur la phytochimie des plantes modèles.....	82
3.2.1.	Modulation de la qualité phytochimique de la fève.....	83
3.2.1.1.	Cas des bioproduits non formulés.....	83
3.2.1.2.	Cas des bioproduits formulés.....	92
3.2.2.	Modulation de la qualité phytochimique du peuplier noir.....	99
3.2.2.1.	Cas des bioproduits non formulés.....	99
3.2.2.2.	Cas des bioproduits formulés.....	108
3.3.	Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur l'installation primaire des pucerons.....	117
3.3.1.	Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur le puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> .....	117

3.3.1.1.	Variation temporelle de la disponibilité des formes biologiques du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> .....	117
3.3.1.2.	Estimation de l'activité biologique des bioproduits sur les formes biologiques du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> .....	122
3.3.1.3.	Variation temporelle de la fécondité du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> .....	127
3.3.1.4.	Modélisation de la dynamique temporelle et du potentiel biotique du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> à travers la qualité phytochimique de sa plante hôte.....	129
3.3.1.4.1.	Simulation de la disponibilité des formes biologiques en fonction de la qualité du support nourricier.....	129
3.3.1.4.2.	Simulation de la fécondité du puceron noir de la fève en fonction de la qualité du support nourricier.....	131
3.3.2.	Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur le puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	133
3.3.2.1.	Variation temporelle de la disponibilité des formes biologiques du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	133
3.3.2.2.	Estimation de l'activité biologique des bioproduits sur les formes biologiques du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	138
3.3.2.3.	Variation temporelle de la fécondité du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	142
3.3.2.4.	Modélisation de la dynamique temporelle et du potentiel biotique du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> à travers la qualité phytochimique de sa plante hôte.....	144
3.3.2.4.1.	Simulation de la disponibilité des formes biologiques en fonction de la qualité du support nourricier.....	144
3.3.2.4.2.	Simulation de la fécondité du puceron vert du peuplier en fonction de la qualité du support nourricier.....	146
3.4.	Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur la stimulation de l'expression végétative (amélioration des paramètres de croissance et de production) de la fève.....	147
CHAPITRE 4 : DISCUSSION.....		150

4.1. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la réduction des populations des ravageurs.....	151
4.2. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la l'activité phytochimique des plantes.....	154
4.3. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la croissance des plantes.....	156
CHAPITRE 5 : CONCLUSION.....	159
CHAPITRE 6 : RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE .....	195

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1.</b>	Eléments essentiels à la vie végétale [13].....	20
<b>Figure 1.2.</b>	Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes [14].....	21
<b>Figure 1.3.</b>	Visualisation des trajets empruntés par les nutriments dans une racine [17].....	22
<b>Figure 1.4.</b>	Rôle de l'acide jasmonique dans les réactions de défense induites des plantes [50].....	28
<b>Figure 1.5.</b>	Actions conjuguées des paramètres du compostage (humidité et aération optimales) [110].....	38
<b>Figure 1.6.</b>	Aspect général des vers de vermicompost [111].....	40
<b>Figure 2.1.</b>	Localisation géographique de la plaine de Mitidja.....	49
<b>Figure 2.2.</b>	Localisation des zones d'étude dans le Climagramme d'Emberger durant la période 2000 – 2015.....	52
<b>Figure 2.3</b>	Abri serre tunnel expérimentale en film plastique.....	53
<b>Figure 2.4.</b>	Peupleraie artificielle d'essence de peuplier noir <i>Populus nigra</i> var. <i>Italica</i> de l'aire de repos de l'autoroute Est- Ouest.....	54
<b>Figure 2.5.</b>	Vermicomposteur à compartiments verticales.....	56
<b>Figure 2.6.</b>	Production du thé de vermicompost brut.....	57
<b>Figure 2.7.</b>	Production du thé de vermicompost fermenté.....	58
<b>Figure 2.8.</b>	Différentes formes biologiques d' <i>Aphis fabae</i> .....	61
<b>Figure 2.9.</b>	Différentes formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	62
<b>Figure 2.10.</b>	Dispositif expérimental de la culture de la fève.....	62
<b>Figure 2.11.</b>	Schéma directeur de la démarche hypothétique de la thèse.....	63
<b>Figure 2.12.</b>	Transects expérimentaux de la peupleraie monoclonale artificielle de <i>Populus nigra</i> .....	64
<b>Figure 2.13.</b>	Estimation de la longueur des plants de la fève.....	72
<b>Figure 2.14.</b>	Production florale des plants de la fève.....	73
<b>Figure 3.1.</b>	Quantités globales en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits à base de thé de vermicompost.....	78
<b>Figure 3.2.</b>	Ratio en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits à base de thé de vermicompost.....	79
<b>Figure 3.3.</b>	Etude comparée des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en éléments minéraux majeurs.....	80
<b>Figure 3.4.</b>	Quantités globales en métabolites des différents bioproduits à base de thé de vermicompost.....	81
<b>Figure 3.5.</b>	Ratio en métabolites des différents bioproduits à base de thé de vermicompost.....	82
<b>Figure 3.6.</b>	Etude comparée des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en métabolites.....	83
<b>Figure 3.7.</b>	Projection des profils phytochimiques de la fève sous l'effet des bioproduits non formulés sur les deux axes de l'ACP en groupe....	84
<b>Figure 3.8.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur la variation des métabolites de la fève.....	85
<b>Figure 3.9.</b>	Etude comparée des constituants foliaires de la fève sous l'effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost.....	86

<b>Figure 3.10.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation de proline de la fève.....	87
<b>Figure 3.11.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de proline de la fève..	88
<b>Figure 3.12.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de jus de lombricompost sur la quantité en sucres totaux solubles de la fève.....	88
<b>Figure 3.13.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de sucres totaux solubles de la fève.....	89
<b>Figure 3.14.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur la quantité de chlorophylle totale de la fève.....	90
<b>Figure 3.15.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève.....	91
<b>Figure 3.16.</b>	Projection des profils phytochimiques de la fève sous l'effet des bioproduits formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes.....	92
<b>Figure 3.17.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la variation des métabolites de la fève.....	93
<b>Figure 3.18.</b>	Etude comparée des constituants foliaires de la fève sous l'effet des différents bioproduits formulés.....	93
<b>Figure 3.19.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation de proline de la fève.....	94
<b>Figure 3.20.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la proline de la fève.....	95
<b>Figure 3.21.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité des sucres totaux solubles de la fève.....	96
<b>Figure 3.22.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles de la fève.....	97
<b>Figure 3.23.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité de la chlorophylle totale de la fève.....	97
<b>Figure 3.24.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève.....	98
<b>Figure 3.25.</b>	Projection des profils phytochimiques du peuplier noir sous l'effet des bioproduits non formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes.....	99
<b>Figure 3.26.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la variation des métabolites du peuplier noir.....	100
<b>Figure 3.27.</b>	Etude comparée des constituants foliaires du peuplier noir sous l'effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost.....	101
<b>Figure 3.28.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation de proline du peuplier noir.....	102
<b>Figure 3.29.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de proline du peuplier noir.....	103
<b>Figure 3.30.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la quantité en sucres totaux solubles du peuplier noir.....	103

<b>Figure 3.31.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles du peuplier noir.....	104
<b>Figure 3.32.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la quantité de chlorophylle totale du peuplier noir.....	105
<b>Figure 3.33.</b>	Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève.....	106
<b>Figure 3.34.</b>	Projection des profils phytochimiques du peuplier noir sous l'effet des bioproduits formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes...	107
<b>Figure 3.35.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la variation des métabolites du peuplier noir.....	108
<b>Figure 3.36.</b>	Etude comparée des constituants foliaires du peuplier noir sous l'effet des différents bioproduits formulés.....	108
<b>Figure 3.37.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation de proline du peuplier noir.....	109
<b>Figure 3.38.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la proline du peuplier noir.....	110
<b>Figure 3.39.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité des sucres totaux solubles du peuplier noir.....	111
<b>Figure 3.40.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles du peuplier noir.....	112
<b>Figure 3.41.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité de la chlorophylle totale du peuplier noir.....	113
<b>Figure 3.42.</b>	Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale du peuplier noir.....	113
<b>Figure 3.43.</b>	Effet des différents bioproduits sur l'abondance globale d' <i>Aphis fabae</i> .....	115
<b>Figure 3.44.</b>	Effet des différents bioproduits sur l'abondance des formes biologiques d' <i>Aphis fabae</i> .....	117
<b>Figure 3.45.</b>	Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> sous l'effet des différents bioproduits non formulés.....	120
<b>Figure 3.46.</b>	Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève <i>Aphis fabae</i> sous l'effet des différents bioproduits formulés.....	121
<b>Figure 3.47.</b>	Variation des populations résiduelles d' <i>Aphis fabae</i> sous l'effet des différents traitements à base du thé de vermicompost.....	123
<b>Figure 3.48.</b>	Effet comparé des différents traitements à base du thé de vermicompost sur les populations résiduelles d' <i>Aphis fabae</i> .....	124
<b>Figure 3.49.</b>	Effet des différents bioproduits sur la fécondité moyenne des femelles d' <i>Aphis fabae</i> .....	125
<b>Figure 3.50.</b>	Effet des différents bioproduits sur l'abondance globale de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	131
<b>Figure 3.51.</b>	Effet des différents bioproduits sur l'abondance des formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	133
<b>Figure 3.52.</b>	Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet des différents bioproduits formulés.....	136

<b>Figure 3.53.</b>	Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron vert du peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet des différents bioproduits non formulés.....	137
<b>Figure 3.54.</b>	Variation des populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet des différents traitements à base du thé de vermicompost.....	138
<b>Figure 3.55.</b>	Effet comparé des différents traitements à base du thé de vermicompost sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	139
<b>Figure 3.56.</b>	Effet des différents bioproduits sur la fécondité moyenne des femelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	140

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.1</b>	Types d'adjuvants et leurs activités [184].....	46
<b>Tableau 3.1.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances globales d' <i>Aphis fabae</i> .....	115
<b>Tableau 3.2.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances des formes biologiques d' <i>Aphis fabae</i> .....	118
<b>Tableau 3.3.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle de la fécondité moyenne des femelles d' <i>Aphis fabae</i> .....	125
<b>Tableau 3.4.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances larvaires d' <i>Aphis fabae</i> en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits.....	127
<b>Tableau 3.5.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes aptères d' <i>Aphis fabae</i> en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits.....	128
<b>Tableau 3.6.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes ailés d' <i>Aphis fabae</i> en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits.....	128
<b>Tableau 3.7.</b>	Présentation des équations d'estimation de la fécondité moyenne d' <i>Aphis fabae</i> en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits.....	129
<b>Tableau 3.8.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances globales de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	132
<b>Tableau 3.9.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances des formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	134
<b>Tableau 3.10.</b>	Comparaison par paire de la variation temporelle de la fécondité moyenne des femelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	141
<b>Tableau 3.11.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances larvaires de <i>Chaitophorus leucomelas</i> en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits.....	142
<b>Tableau 3.12.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes aptères de <i>Chaitophorus leucomelas</i> en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits.....	142
<b>Tableau 3.13.</b>	Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes ailés de <i>Chaitophorus leucomelas</i> en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits.....	143
<b>Tableau 3.14.</b>	Présentation des équations d'estimation de la fécondité moyenne de <i>Chaitophorus leucomelas</i> en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits.....	144

<b>Tableau 3.15.</b>	Traits morphologiques et reproductifs et sucres solubles totaux mesurés sur des plants de fève traités avec différentes doses du thé vermicompost.....	146
----------------------	--	-----

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Devant l'accroissement sans cesse des besoins nutritionnels, les producteurs sont contraints de développer des mécanismes et des procédés qui leur permettent d'augmenter la production et améliorer la productivité de leurs cultures. C'est ainsi qu'on a eu recours aux différents types de production, notamment l'**agriculture intensive**, ce qui permet de nourrir une population mondiale toujours plus nombreuse, mais qui met en conséquence en péril la biodiversité et la santé publique [1,2].

La protection des plantes contre les dommages causés par les insectes, entre autres les pucerons dépend actuellement des pesticides synthétiques [3]. Les pesticides sont un facteur majeur d'incidence sur la diversité biologique, de même que la perte d'habitat et le changement climatique. 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, ce qui a débouché sur une recherche de mesures de contrôle alternatives [4].

Face à ces problèmes, l'agriculture s'est orientée vers des pratiques respectueuses de l'homme et des équilibres fondamentaux. Dans ce contexte, la production biologique se veut comme un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques environnementales, un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et une méthode de production respectant la préférence des consommateurs à l'égard de produits obtenus grâce à des substances et produits naturels [5, 6].

Parmi les méthodes de lutte biologique, les molécules bioactives (biopesticides et biofertilisants) occupent une place de choix. Elles sont généralement compatibles avec les méthodes de lutte biologiques classiques (ex. lâchers de prédateurs ou de parasites) [7].

Le recours aux biostimulants constitue une des voies qui pourrait réviser complètement les paradigmes régissant la lutte contre les ennemis des cultures. Cette approche, consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense, plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). Une solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir [7].

Le vermicompost est un produit issu de la dégradation des déchets organiques par des interactions entre les vers de terres anéciques et les microorganismes dans un processus mésophile qui aboutira à la formation d'un biomatériau entièrement stable. Son application à faibles doses sur des cultures en plein champ ou sous abri serre a provoqué une augmentation de la croissance des cultures de façon spectaculaire et significative indépendante de l'approvisionnement en éléments nutritifs [8]. Les vermicomposts ont également été supposés réduire les populations des d'arthropodes comme les pucerons [9] et d'atténuer les dommages engendrés par et les agents pathogènes [10].

Dans ce contexte et à titre expérimental, on se propose dans cette thèse d'évaluer l'effet des biofertilisants bruts et formulés à base du thé de vermicompost en comparaison avec des fertilisants homologués sur les paramètres morpho-physiologiques et l'état phytosanitaire de la fève et du peuplier. La présente étude cherche à caractériser l'impact de différents biofertilisants, à base du thé de vermicompost et d'algues marines sur l'expression phytochimique de deux modèles

biologiques, la fève *Vicia faba* et le peuplier noir *Populus nigra*. Dans le même contexte, l'étude vise à vérifier l'hypothèse selon laquelle les fèves à forte expression physiologique et le peuplier noir à croissance végétative rapide sont respectivement plus résistants aux attaques d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas* et essaie de quantifier cet effet. Une deuxième hypothèse s'appuie sur les résultats les plus significatifs pour fournir un cadre théorique plus large sur la relation entre états de croissance végétative et sévérité des attaques. Dans cette partie sont aussi proposées des modifications pour la protection des cultures maraichères (la fève) et les essences forestières (le peuplier noir). Elle donne également des pistes pour classer des itinéraires techniques selon une approche visant la promotion des biofertilisants et des phytofortifiants en production végétale intégrée.

## **CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

### 1.1. Nutrition minérale des plantes

Les plantes cultivées tirent la plus grande partie de leur alimentation du sol. La fertilité du sol se divise en plusieurs compartiments qui diffèrent tant par la quantité d'éléments qui s'y retrouvent, que par la forme sous laquelle ils s'y retrouvent et par la vitesse avec laquelle ces éléments sont fournis à la plante [11].

#### 1.1.1. Diversité des nutriments chez les plantes

Les éléments requis pour assurer la croissance et le développement de la plante sont considérés comme essentiels. EPSTEIN [12] signale deux critères expliquant le caractère essentiel à savoir : l'élément faisant parti d'un constituant ou d'un métabolite essentiel. Parmi les nombreux éléments que l'on peut retrouver dans la composition des tissus végétaux, dix-neuf (19) seulement se sont révélés indispensables à la croissance, au développement et à la reproduction des plantes (Figure 1.1)

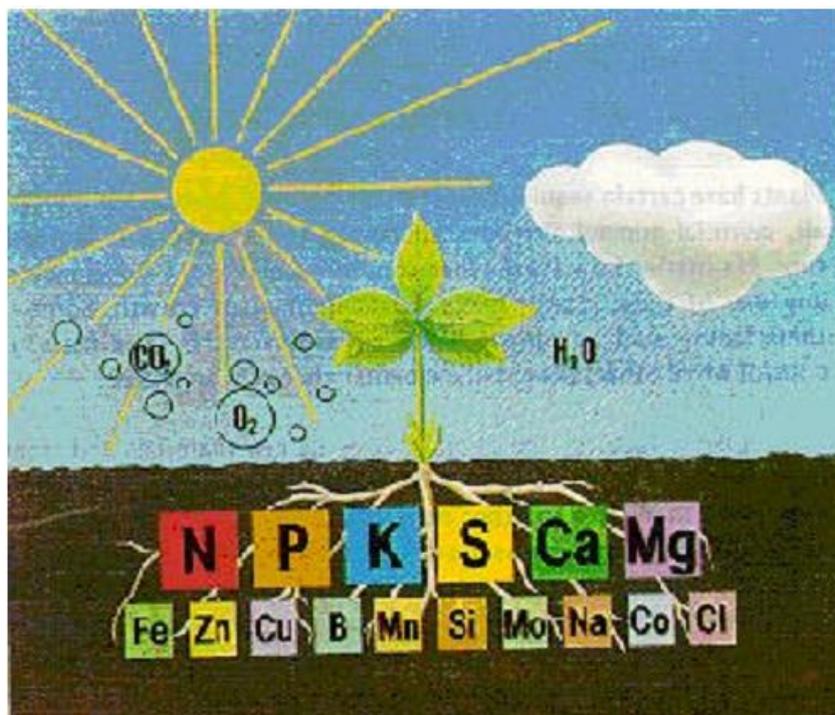


Figure 1.1 : Eléments essentiels à la vie végétale [13].

OSMAN ET MILTHORPE [14], informent que les éléments essentiels sont répartis en deux groupes, le premier groupe qui porte le carbone, l'hydrogène et l'oxygène qui proviennent de l'air et de l'eau du sol. Le deuxième groupe contient les 16 autres éléments que la plante trouvent sous forme minérale dans le sol sont appelés éléments fertilisants (Figure 1. 2).

	<b>O</b>	oxygène	42 à 44%	}	<b>3 éléments de l'air et du sol</b>
	<b>C</b>	carbone	40 à 45%		
	<b>H</b>	hydrogène	6 à 7%		
<b>6 éléments majeurs</b>	<b>N</b>	azote	1 à 3%	}	<b>16 minéraux essentiels = ELEMENTS FERTILISANTS</b>
	<b>P</b>	phosphore	0,1 à 0,5%		
	<b>K</b>	potassium	0,1 à 3%		
	<b>S</b>	soufre	0 à 0,1%		
	<b>Ca</b>	calcium	0,5 à 3,5%		
	<b>Mg</b>	magnésium	1,5 à 3,5%		
<b>10 oligo-éléments</b>	<b>Fe</b>	fer	0,1 à 1,5%		
	<b>Zn</b>	zinc	0,1 à 0,5%		
	<b>Cu</b>	cuivre	0,1 à 0,5%		
	<b>B</b>	bore	0,01 à 0,1%		
	<b>Mn</b>	manganèse	0,01 à 0,1%		
	<b>Si</b>	silicium	0,01 à 0,1%		
	<b>Mo</b>	molybdène	0,01 à 0,1%		
	<b>Na</b>	sodium	0,01 à 0,1%		
	<b>Co</b>	cobalt	0,01 à 0,1%		
	<b>Cl</b>	chlore	0,01 à 0,1%		

Figure 1.2 : Les éléments essentiels indispensables à la croissance des plantes [14].

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme assimilable [15]. Parmi les éléments minéraux essentiels, les macroéléments ; leurs apports en grande quantité est nécessaire. Ces derniers sont l'azote (**N**), le phosphore (**P**), le potassium (**K**). Cependant, Le soufre (**S**), le calcium(**Ca**) et le magnésium (**Mg**) sont considérés comme des éléments secondaires ou microéléments dont leurs apports est tolérable en petite quantité. Des éléments mineurs, dits oligo-éléments, sont nécessaires en quantité moindre : le fer, le zinc, le cuivre, le bore, le manganèse, le silicium, le molybdène, le sodium, le cobalt et le chlore [16].

### 1.1.2. Absorption des nutriments

Les nutriments du sol sont acheminés du sol jusqu'au xylème, pour ensuite être distribués à l'ensemble des tissus végétaux. Pour parvenir jusqu'aux vaisseaux conducteurs localisés dans la stèle, ils progressent transversalement et de façon centripète dans la racine (Figure 1. 3).

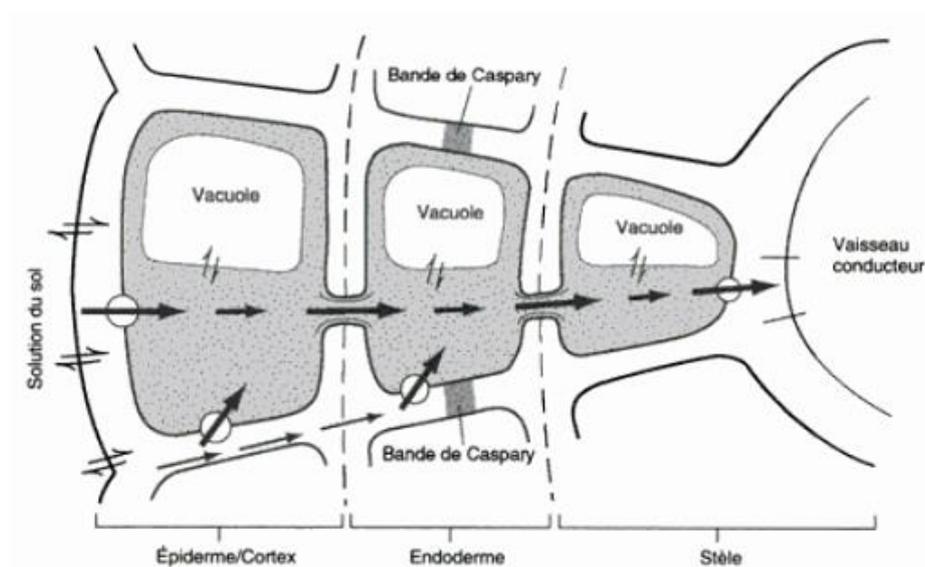


Figure 1. 3 : Visualisation des trajets empruntés par les nutriments dans une racine [17].

L'absorption des nutriments se déroule principalement au niveau de la zone pilifère. Les sels minéraux présents dans l'eau peuvent circuler dans les espaces existants entre les cellules épidermiques tout d'abord puis entre les cellules de cortex racinaire. Cette diffusion se fait de manière passive : c'est la voie apoplastique. Pour pénétrer dans les cellules, que ce soit les cellules épidermiques, corticales ou encore de l'endoderme, les nutriments sont contraints d'utiliser des transporteurs localisés sur les membranes (voie symplastique). Une fois dans les cellules, les plasmodesmes vont permettre aux nutriments de se diffuser selon leur gradient de concentration jusqu'au parenchyme xylémien de la stèle. A ce niveau, les nutriments sont chargés dans le xylème. Ce processus met en jeu des transporteurs qui vont permettre d'accumuler les nutriments dans les vaisseaux conducteurs à l'encontre de leur gradient de concentration [17].

### 1.1.3. Effet de la nutrition de la plante sur la santé végétale

La littérature notifie que les plantes fertilisées avec des matières organiques présentent peu de problèmes liés aux ravageurs et aux maladies. Il est également de notoriété publique que grâce à la modernisation de l'agriculture, le nombre d'espèces actuellement considérées comme nuisibles a considérablement augmenté. Les études

de CHABOUSSOU [18] constituent un point de départ pour la théorie de la throphobie, permettant ainsi d'établir un lien important entre ces deux faits observables et vérifiés dans la pratique par les agriculteurs. Selon cette théorie, la sensibilité d'une plante cultivée par rapport aux bioagresseurs dépend de son état nutritionnel. Les ravageurs et les maladies n'attaqueront pas une plante saine. La santé d'une plante est directement liée à son équilibre interne qui est en perpétuelle mutation. Selon le même auteur, les ravageurs et les maladies n'attaquent pas toutes les plantes, mais uniquement celle qui pourraient servir d'aliment à l'insecte ou au pathogène. Le panel des facteurs qui affectent l'équilibre interne et le fonctionnement d'une plante peut diminuer ou accroître sa sensibilité aux attaques des ravageurs et des maladies. Ceci pourrait être des facteurs liés à la plante (adaptation au climat local, âge de la plante, greffage) à l'environnement (climat, lumière, température, humidité, vent) ou aux pratiques de gestion (fertilité de sol, moment de la plantation, espacement, labour, type d'engrais utilisé) [19].

## 1.2. Résistance des plantes aux bioagresseurs

Selon la théorie co-évolutive classique énoncée par EHRLICH ET RAVEN [20], les organismes phytophages, notamment les insectes, en consommant les différentes parties d'une plante influencent la croissance ou la reproduction du végétal et exercent ainsi de fortes pressions de sélection sur celui-ci. En réponse à ces pressions, des génotypes existant dans la population végétale, possédant des caractères permettant aux plantes d'être moins consommées par les phytophages, se seraient alors transmis aux générations futures et favorisés par la sélection naturelle. De même, chez les phytophages, les gènes codant pour des mécanismes permettant à l'individu de se développer aux dépens de tels végétaux auraient été à leur tour sélectionnés. Ainsi, la sélection réciproque entre les plantes et les insectes phytophages aurait agité pendant plusieurs millions d'années comme un véritable moteur évolutif conduisant à la diversification des espèces d'insectes et des espèces végétales [21].

Les plantes, pour lutter contre les espèces phytophages, auraient donc, selon cette théorie, développé au cours de l'évolution, des batteries de défenses de natures diverses. Ces défenses peuvent être physiques notamment par l'élaboration de structures perturbant la prise alimentaire par les phytophages. Ainsi, les épines,

lespoils urticants ou la présence d'épais téguments sont fréquemment rencontrés chez un grand nombre de familles végétales [22]. En revanche, les défenses de natures chimiques vont avoir de nombreux effets sur l'ensemble des phytophages quelles que soient leurs tailles. Cependant un certain nombre de travaux ont montré que les herbivores pouvaient avoir des conséquences importantes sur la fitness des végétaux [23, 24] et ainsi provoquer la sélection de génotypes plus résistants. Il semble donc certain que les caractères défensifs des plantes ont influencé l'évolution des insectes phytophages. En revanche, le fait que les insectes phytophages soient responsables de la mise en place des processus de défense chez les plantes est toujours sujet à controverse. Toutefois, de récentes expériences de terrain dans lesquelles les patterns de sélection des caractères défensifs des plantes ont été analysés en présence ou en absence d'ennemis naturels des végétaux, tendent à montrer que ces organismes peuvent potentiellement provoquer l'évolution des systèmes de défense des plantes [25, 26, 27].

#### 1.2.1. Implications des composés secondaires des plantes dans les systèmes de défense à l'égard des phytophages

Les composés secondaires des plantes sont des substances allélochimiques susceptibles d'agir comme des systèmes de défenses constitutives directes, permettant aux plantes de réduire les dégâts occasionnés par leurs ennemis naturels. Le mode d'action des substances chimiques produites par les plantes peut s'exercer de manière très diverses sur les organismes qui y sont confrontés. Ainsi :

- Les substances chimiques végétales peuvent agir sur le système nerveux des animaux. Par exemple, la nicotine, alcaloïde produit par les plantes du genre *Nicotiana*, est un analogue de l'acétylcholine et sa liaison sur les récepteurs nicotiques de l'acétylcholine va provoquer des troubles irréversibles sur le système nerveux central des insectes (SNC). Elle se lie également aux récepteurs postsynaptiques et provoque de ce fait une stimulation suivie de dépression des ganglions du système végétatif, des terminaisons des nerfs moteurs des muscles striés et du système nerveux central. La mort survient par paralysie des muscles respiratoires [28].

- Le mode d'action de ces composés végétaux peut s'exercer également sur le métabolisme des organismes. En effet, la roténone, composé secondaire extrait des plantes de la famille des papilionacées tel *Lonchocarpus nicou*, agit sur les mécanismes de la respiration cellulaire. Elle inhibe les oxydations cellulaires en interrompant le transfert d'électrons dans la chaîne respiratoire, portant atteinte au métabolisme énergétique mitochondrial et ainsi à la production d'ATP [29].

- Des substances produites par certaines plantes vont pouvoir agir sur d'autres processus physiologiques plus spécifiques à leurs ennemis naturels. Ainsi, l'azadirachtine, isolée d'une plante de la famille des méliacées, le neem, *Azadirachta indica* va agir en tant qu'inhibiteur de croissance. Son action sur la synthèse d'ecdystéroïdes par inhibition de l'hormone protothoracicotrope va bloquer la mue des insectes et interrompre ainsi leur cycle reproductif [30].

Tous les composés secondaires ne présentent pas un mode d'action aussi spectaculaire que ceux détaillés précédemment, mais il semble que la plupart d'entre eux puissent exercer des influences néfastes sur les consommateurs des plantes qui les produisent. Par exemple, les composés secondaires tels que certains alcaloïdes, les cardénolides, les terpènes ou les glucosinolates présents dans diverses familles de plantes, vont agir directement sur des paramètres liés à la fitness des phytophages tels que la croissance, le développement, la reproduction ou la longévité [31, 32]. Enfin, d'une manière générale, la plupart des composés vont agir sur le comportement d'un grand nombre d'insectes phytophages par des processus de répulsion ou d'antiappétence et vont ainsi pouvoir limiter les phénomènes de colonisation de ces plantes par les insectes [33].

### 1.2.2. Systèmes de défense directe et indirecte induite par l'attaque des phytophages

En plus de cette production constitutive de composés ayant un rôle dans les processus de défense, les plantes ont été amenées au cours de l'évolution à répondre activement à l'attaque d'un phytophage. Des systèmes de défenses vont être ainsi induits par les herbivores et être mis en place au moment ou peu après le début de l'attaque. Depuis, de nombreux auteurs ont montré que l'attaque d'insectes phytophages induit des

changements biochimiques ou physiologiques chez les plantes ayant des conséquences négatives sur l'alimentation et le développement de ces herbivores et des conséquences positives sur la fitness de la plante [34, 35]. Dans de nombreux cas, les composés impliqués dans ce système d'induction sont les mêmes que ceux déjà présents de façon constitutive, mais leur concentration peut augmenter de façon très importante après l'attaque d'un insecte [36]. Les concentrations atteintes sont alors suffisantes pour induire la mort d'un grand nombre de phytophages [37].

L'induction des systèmes de défense est systémique chez de nombreux végétaux, c'est à dire que la production de substances défensives va augmenter non seulement au niveau du site d'attaque mais également dans toute la plante. Toutefois, l'intensité de l'augmentation des métabolites secondaires n'est pas toujours identique dans les différents tissus de la plante. En effet selon la théorie de l'« Optimal Defense » [38, 39], la concentration des composés secondaires est plus forte au niveau des parties importantes en terme de fitness pour la plante et au niveau des zones présentant de fortes probabilités d'attaques. Ainsi, chez le tabac, les concentrations de nicotine induite sont plus importantes au niveau du méristème floral et des jeunes feuilles qu'au niveau des vieilles feuilles [40].

Les mécanismes précédemment décrits peuvent être qualifiés de système de défenses induites directes. Les défenses induites peuvent également s'exprimer de façon indirecte par le biais de l'attraction des ennemis naturels des phytophages. Dans de nombreuses associations plantes-phytophages, il a été montré que l'attaque des herbivores induisait l'émission par les plantes d'un « bouquet » de composés volatils attractifs vis-à-vis des prédateurs ou des parasitoïdes des insectes phytophages [41, 42]. Ces espèces entomophages, en se nourrissant aux dépens des herbivores, vont dans certains cas permettre une diminution des dégâts engendrés sur les végétaux par ceux-ci. Par exemple, lorsque les acariens phytophages, *Tetranychus urticae* consomment les feuilles du haricot de Lima (*Phaseolus lunatus*), il y a émission par les plantes de composés volatils qui attirent leurs prédateurs, *Phytoseiulus persimilis* [43]. De même, de jeunes plants de maïs (*Zea mays*), émettent un « bouquet » de composés volatils totalement différents lorsqu'ils sont sains ou lorsqu'ils sont attaqués par les chenilles du lépidoptère *Spodoptera exigua*. De plus, dans certains systèmes tritrophiques plantes-herbivores-parasitoïdes, l'attraction des hyménoptères

parasitoïdes par les plantes attaquées se traduit par un gain de fitness immédiat pour la plante [44, 45]. Les relations liant les plantes et les parasitoïdes comme celles liant les plantes et les prédateurs auraient donc pu évoluer dans de nombreux cas, vers le mutualisme, chacun des deux protagonistes bénéficiant alors de cette association [46, 44].

### 1.2.3. Mécanismes biochimiques des systèmes de défense induite

Lors de la mise en place de la réponse physiologique de la plante à l'attaque d'un herbivore, il semblerait comme précisé précédemment que la voie de biosynthèse octadécanoïque mettant en jeu l'acide jasmonique occupe une place essentielle [47]. En effet cette molécule interagit avec de nombreux gènes, en activant notamment leur expression. Ainsi l'acide jasmonique va pouvoir activer les gènes codant pour des composés secondaires agissant directement sur l'herbivore tels que les inhibiteurs de protéases [48] ou la nicotine [49], ou pour des composés secondaires volatils impliqués dans les défenses indirectes de la plante [50] (figure. 1.4). Ainsi cette molécule clé dans les réactions de défense des plantes peut être utilisée pour mimer l'attaque d'un herbivore. L'application d'acide jasmonique exogène induit dans certains cas des réponses similaires à celles obtenues suite à l'attaque d'un insecte [51]. Il semble que d'autres voies métaboliques en plus de celle de l'acide jasmonique, puissent être activées lorsque la plante réagit à une infestation naturelle de *T. urticae*. De plus, l'accumulation d'acide jasmonique dans les cellules végétales se produit également lors de blessures artificielles de certaines plantes [52, 53]. Cette molécule ne peut donc pas à elle toute seule expliquer la spécificité de la réponse des plantes à l'attaque d'un herbivore. C'est ainsi que chez le maïs, l'attaque des larves de *S. exigua* induit non seulement l'accumulation de l'acide jasmonique par le biais de la volicitine mais déclenche en plus l'augmentation de la concentration d'éthylène [54]. Dans ce système l'acide jasmonique et l'éthylène agiraient donc en synergie pour l'induction des substances volatiles attractives pour le parasitoïde [54].

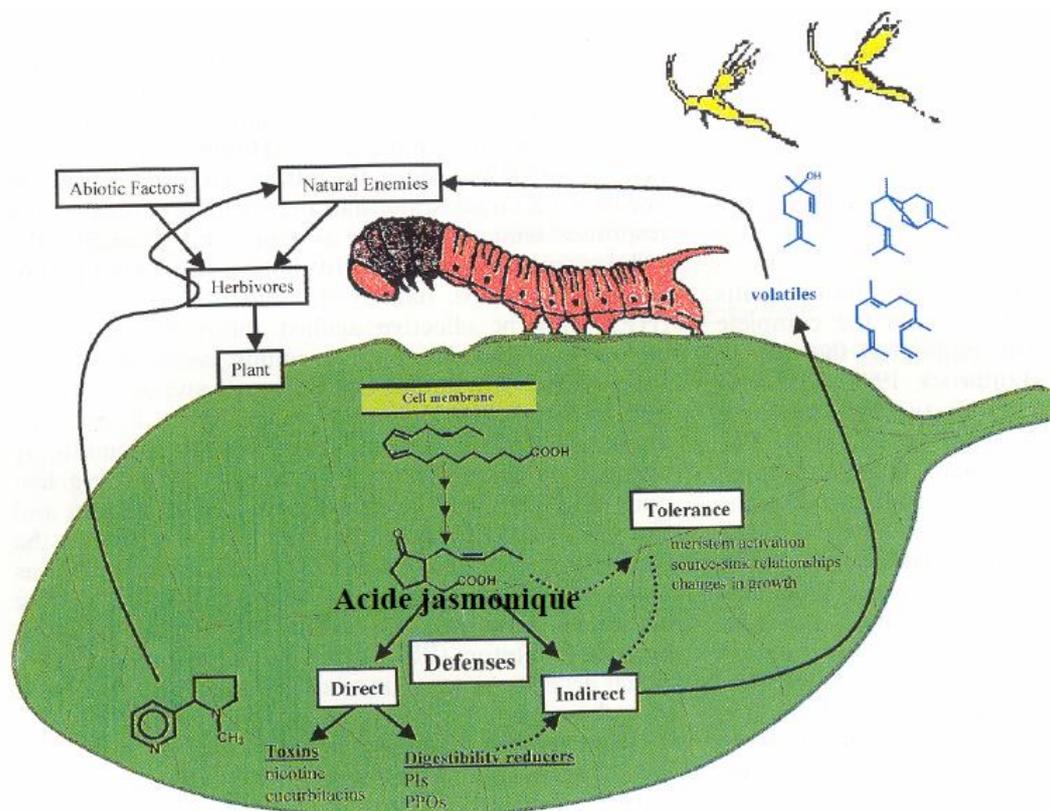


Figure 1.4: Rôle de l'acide jasmonique dans les réactions de défense induites des plantes [50].

La cascade octadécanoïque occupe un rôle central dans l'induction des défenses des plantes suite à une attaque de phytophages. L'acide jasmonique peut induire les défenses directes et indirectes, et également mettre en place des réactions limitant les conséquences de l'attaque (tolérance).

La voie de biosynthèse octadécanoïque mettant en jeu l'acide jasmonique est donc très importante dans la réponse des plantes aux attaques des insectes. Toutefois d'autres phytohormones peuvent jouer un rôle dans les systèmes de défense des plantes :

- L'acide salicylique est la molécule clé dans la réponse des plantes à l'infection de pathogènes [55] mais intervient également en synergie avec l'acide jasmonique dans la mise en place de défenses indirectes chez *Arabidopsis* [56].

- L'éthylène, comme on l'a vu précédemment, intervient chez le maïs là encore en synergie avec l'acide jasmonique dans l'induction de substances volatiles [54]. De plus, cette molécule est également connue pour induire la biosynthèse de composés

chimiques impliqués dans les systèmes de défenses directes, telle que la chitinase [22].

- L'acide abscissique est une hormone végétale impliquée notamment dans les processus de résistance aux stress hydriques mais peut également avoir un rôle dans les systèmes de défenses des plantes. En effet, des blessures occasionnées sur des plants de tomates ou de pommes de terre, induisent une augmentation de la concentration en acide abscissique qui va déclencher la biosynthèse systémique d'inhibiteurs de protéases [57].

### 1.3. Amélioration de la protection des plantes par stimulation des défenses naturelles (SDN)

La stratégie de stimulation des défenses naturelles (SDN) revêt un intérêt particulier pour cette culture en tant qu'alternative ou complément aux traitements chimiques. Par l'application d'éliciteurs généraux ou spécifiques, organiques ou inorganiques, il est possible d'amplifier le niveau basal de défense de la plante. Ainsi, grâce à l'immunité acquise, la plante opposera immédiatement, dès l'arrivée du bioagresseur, une résistance suffisante pour limiter, voire empêcher son développement. Divers éliciteurs sont connus comme étant susceptibles de stimuler les défenses des plantes. Les éliciteurs biotiques correspondent en général à des molécules issues de la plante (éliciteurs endogènes) ou de microorganismes (éliciteurs exogènes), de nature oligosaccharidique, glycoprotéique, peptidique ou lipidique [58, 59]. Une fois reconnus par la plante à l'aide de récepteurs spécifiques, ils induiront des modifications moléculaires et biochimiques conduisant à l'activation des réactions de défense de type structural (renforcement de la paroi) ou biochimique (synthèse de phytoalexines et de protéines de défense). Les éliciteurs généraux peuvent être soit d'origine abiotique ou biotique, à savoir :

#### 1.3.1. Eliciteurs d'origine biotique

Il existe une grande variété d'éliciteurs biotiques, d'origine animale, végétale, fongique ou bactérienne. Citons à titre d'exemple :

- L'acide cholique, un acide biliaire également retrouvé dans les fécès des animaux et notamment dans les composts utilisés en tant que fertilisants, protège le riz (*Oryza sativa*) contre des attaques d'un champignon pathogène (*Magnaporthe griseae*) en induisant une réaction hypersensible résultant de l'accumulation de PR protéines et de phytoalexines au site de l'infection [60].

- Les oligosaccharides qui proviennent de la dégradation des parois de la plante (oligogalacturonides) ou du pathogène (oligochitine ou oligoglucanes) suite à l'action d'enzymes spécifiques produites par l'hôte (glucanases, chitinases, polygalacturonases ou pectinases). Pour protéger des pousses de millet (*Penisetum glaucum*) contre *Sclerospora graminicola*, HINDUMATHY *et al.* [61] appliquent un extrait saccharidique d'*Aspergillus niger* sur les graines qui induit une augmentation de l'activité peroxydasique (PR protéines), et un renforcement des parois végétales par accumulation de lignine et dépôt de callose. Parmi les oligosaccharides, le chitosan, un dérivé déacétylé de la chitine (N-glucosamine), a été démontré contre l'oïdium (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) de l'orge (*Hordeum vulgare*), ainsi que son activité antivirale sur le tabac (*Nicotiana tabacum*) [62], le haricot (*Phaseolus vulgaris*) [63], et contre le *Botrytis* de la vigne [64]. La résistance induite des plantes par le chitosan est associée à l'accumulation de phytoalexines dans les tissus végétaux traités, en raison de la stimulation de la voie de biosynthèse des phénylpropanoïdes, un effet typique de l'établissement SAR [65].

- La laminarine, un oligosaccharide (b, 1-3 glucane - Iodus 40®, homologué par la société Goëmar) ou son dérivé sulfaté (PS3), extraite de l'algue brune *Laminaria digitata*, induit une résistance de la vigne contre *P. viticola* et *B. cinerea* [66], ou du blé contre l'oïdium *Blumeria graminis* [67]

- L'application d'un extrait préparé à partir d'une algue verte *Ulva armoricana* induit la protection de *Medicago truncatula* contre une infection par *Colletotrichum trifolii*, associée à l'expression du gène marqueur de défense de type PR10 [68, 69].

- Des lipides issus des membranes cellulaires de certains champignons possèdent des activités élicitrices. C'est notamment le cas de l'acide arachidonique [70, 71], l'ergostérol, un stérol majeur de la membrane des champignons à l'exception toutefois des oomycètes, des oïdiums et des rouilles [72] et des sphingolipides [73] qui induisent une cascade de MAPkinase conduisant à la mort programmée des cellules mise en place lors des réactions d'hypersensibilité pour confiner l'agent pathogène au site de l'infection.

Le monde végétal a fourni de nombreux éliciteurs. Parmi les plus connus, nous pouvons citer :

- L'extrait de renoué (*Fallopia sacchalinensis*) (Milsana®, homologué par la société KHH BioSci Inc.), appliqué en préventif, protège bien les cultures maraîchères [74, 75]. Il provoque des modifications au niveau ultrastructural associées à des modifications au niveau biochimique par l'accumulation de composés phénoliques au niveau du site d'attaque.

- Un extrait de plante (*Trigonella foenum-graecum* L, Stifenia® commercialisé par la société Soft). Une défensive de *Trigonella foenum-graecum* a été isolée et identifiée. Elle présente une activité inhibitrice contre un large spectre des pathogènes fongiques, dont *Rhizoctonia solani*, *Fusarium moniliforme* et *Phaeoisariopsis personata* [76, 77].

- D'autres éliciteurs issus de plante ont montré des efficacités de stimulation de défenses. La bardane (*Arctium lappa*) protège de façon limitée mais significative la tomate contre des attaques de *Botrytis cinerea* [78].

- Un extrait de racine de rhubarbe (*Rheum palmatum*) et un extrait d'écorce de bourdaine (*Frangula alnus*) ont été évalués sur le mildiou de la vigne (*P. viticola*) ; une inhibition significative du développement de l'agent pathogène a été obtenue. Les mécanismes de défense induits reposent principalement sur la stimulation de la synthèse delta-viniferin (le plus toxique des stilbènes pour *P. viticola*) [79].

### 1.3.2. Eliciteurs d'origine synthétique

Les éliciteurs abiotiques sont des composés de nature minérale ou organique. Parmi les nombreux produits chimiques utilisés pour induire la résistance de la plante, figurent l'acide  $\beta$ -amino butyrique (BABA), l'acide salicylique (AS) ou ses analogues fonctionnels comme l'acide 2,6-dichloroisonicotinique (INA), l'acibenzolar-S-méthyl (ASM) ou benzothiadiazole (BTH) et l'acide jasmonique ou son analogue le méthyl jasmonate [80, 81], ou encore l'éthylène (éthéphon) [82, 83].

#### 1.3.2.1. BABA

L'acide  $\beta$ -aminobutyrique (BABA), est un acide aminé non protéique, prometteur en raison de son caractère d'origine naturelle [84], qui élicite les réactions de défense dans les tissus végétaux [85] et agit sur la croissance fongique [86]. Des recherches ont indiqué que le BABA pourrait inhiber la croissance de *Penicillium digitatum* Sacc. [87], *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary [88], et *B. cinerea* Pers. [89] et *Bremia lactucae* [90], d'une manière dose-dépendante. Généralement, un traitement avec le BABA induit des réponses impliquant des activités chitinase,  $\beta$ -1,3-glucanase et peroxydase chez l'artichaut [88], l'expression de la phénylalanine ammononia lyase et de chitinases dans les pamplemousses [87], l'accumulation de phénols et de phytoalexines dans la pomme de terre [91].

#### 1.3.2.2. L'acide salicylique et ses analogues

MALAMY *et al.* [55] rapporte pour la première fois que les niveaux endogènes d'acide salicylique (AS) sont directement corrélés avec le niveau de résistance du tabac au virus de la mosaïque (VMT). Ainsi, l'augmentation d'acide salicylique précède-t-elle l'induction de gènes codant pour des PR protéines ? L'AS est un signal endogène pour l'activation de la résistance systémique induite (ISR) et la caractérisation de produits de synthèse capables de mimer son action a été réalisée [92].

#### 1.3.2.3. Phosphonates ou phosphites

Les phosphonates sont décrits comme présents dans les plantes à des concentrations qui induiraient un stress physiologique chez l'agent pathogène, qui libérerait ainsi des substances reconnues par la plante et provoquerait les réactions de défenses de l'hôte

[93, 94]. D'autres produits chimiques dont la matière active est composée de phosphonates sont commercialisés (Nutri-Phite®, Ele-Max® et Phytogard®) et plus récemment un nouveau fongicide-stimulateur, le LBG, a été homologué sur vigne. Parmi les phosphonates fertilisants, le PK2 (Proval®, Technidis-Agro), un phosphonate de potassium, augmenterait l'efficacité des traitements contre le mildiou des pommes de terre car il permet de réduire la dose de fongicide par 2 selon le fabricant [95].

Les phosphites utilisés comme engrais ou fongicides, ont un mode d'action complexe en tant que molécules fongicides, impliquant à la fois des effets directs et indirects, et une stimulation forte et rapide des mécanismes de défense des plantes. Ils conduisent à la synthèse et au transport de métabolites secondaires tels que les phytoalexines [96, 97, 98, 99, 93, 94].

#### 1.3.2.4. Le probénazole

Le probénazole, ou le 3-allyloxy-1,2-benzo-isothiazole-1,1-dioxyde, un précurseur de la saccharine est le SDN de synthèse le plus ancien sur le marché (depuis les années 1970) et aucun développement de résistance d'agents pathogènes au produit n'a été détecté à ce jour. Il protège le riz contre la pyriculariose (*Magnaporthe grisea*) et le feu bactérien (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*). Il est absorbé par les racines et induit la synthèse et l'accumulation d'acide salicylique suivies d'une production de PR protéines. L'application de probénazole induit l'accumulation d'acides gras insaturés comme des facteurs anti-conidiens et la lignification des cellules de riz [100].

#### 1.4. Intérêt des SDN en protection des plantes

Les SDN sont donc une nouvelle voie que la science a ouverte dans le domaine de la protection des plantes. Il reste cependant à bien préciser leur intérêt pour l'agriculture, aussi bien sur les plans technique qu'environnemental.

#### 1.4.1. Intérêt technique

Les SDN induisent les réactions de défense de la plante, qui mobilise alors ses moyens propres. Or le plus souvent il s'agit d'une résistance systémique acquise, qui est efficace contre un large spectre d'agresseurs. C'est un confort pour l'agriculteur qui réalise, en même temps, une économie du nombre de passages au champ par rapport à l'application de plusieurs autres interventions ciblées. De plus, ce large spectre de résistance permet d'envisager une lutte contre les viroses et les phytoplasmoses contre lesquelles on ne possède actuellement aucun traitement conventionnel. Les SDN sont aussi souvent efficaces sur un grand nombre de cultures, ce qui peut sauver des cultures mineures pour lesquelles le nombre de produits phytosanitaires disponibles est quasi-nul. Du fait de leur mode d'action indirect, il semble impossible que les SDN entraînent des résistances (qui seraient en fait des résistances aux propres systèmes de défense de la plante) [101,102].

L'utilisation des SDN en alternance avec des produits phytosanitaires « classiques » permettrait d'éviter ou de retarder l'apparition de résistances à ces produits et donc augmenterait leur durabilité. Or c'est là un enjeu majeur de la protection des plantes pour les années à venir. Il y aurait un effet de synergie intéressant à exploiter, permettant de réduire encore plus le nombre de traitements avec des fongicides grâce au gain d'efficacité [100,103].

#### 1.4.2. Intérêt environnemental

Les SDN sont le plus souvent des analogues ou des dérivés de molécules naturelles, efficaces à très faible dose et avec un profil éco-toxicologique généralement bon (certains sont même exempts de classement toxicologique et éco-toxicologique, comme Iodus 40 R). Ce sont donc des molécules très respectueuses de l'environnement, ce qui est crucial quand on sait qu'il s'agit d'une préoccupation majeure du public comme des pouvoirs publics et des agriculteurs. Par conséquent, elles n'ont généralement pas de contraintes de limite maximale de résidus (LMR) et de délai avant récolte (DAR) d'où une meilleure flexibilité pour l'utilisateur [103].

### 1.4.3. Place dans l'agriculture contemporaine

Il reste la question importante de la place que les SDN peuvent prendre dans l'agriculture contemporaine, notamment face à la lutte chimique « classique ». Nous pensons qu'il serait illusoire de vouloir remplacer l'un par l'autre, d'autant qu'une cohabitation semble bénéfique, que ce soit au sein d'un programme de lutte ou d'une formulation. Or il y a des cultures pour lesquelles le programme de lutte est très chargé (comme la vigne et ses 20 traitements fongiques par an) et où le remplacement de 2 ou 3 traitements par des SDN pourrait être envisagé. Ce serait déjà d'un intérêt évident pour les raisons environnementales et techniques évoquées précédemment et « éthiquement satisfaisant » [104].

Autre exemple, sur des cultures à cycle court comme le chou-fleur d'automne ou le chou-fleur Romanesco, un traitement SDN conférant une protection durable (30 jours) serait suffisant pour lutter contre le mildiou et remplacerait plusieurs traitements fongiques, avec en plus un gain économique [92]. Enfin, les SDN ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires classiques », notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité [102].

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

- il faut compter un certain délai avant que la réaction de la plante soit efficace ;
- il s'agit de traitements préventifs qui doivent si nécessaire être renforcés par des traitements curatifs « classiques » ;
- l'efficacité des SDN est variable ;
- l'effet des SDN n'est encore pas tout à fait connu, il reste des zones d'ombre qu'il faudra explorer.

Cela correspond à une vision d'une agriculture technicienne, plutôt intégrée et non intensive.

## 1.5. Biofertilisants

### 1.5.1. Définition des biofertilisants

Les biofertilisants sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches de micro-organismes efficaces qui aident à l'absorption des éléments minéraux par les plantes cultivées suite à leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'ils sont appliqués sur les semences ou dans le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol, et sont impliqués dans l'augmentation de la disponibilité des nutriments dans une forme facilement assimilable par les plantes [105].

### 1.5.2. Type de biofertilisant

#### 1.5.2.1. Les engrais d'origine végétal (=engrais vert)

On appelle engrais vert une plante cultivée en dérobée et destinée à être enfouie superficiellement dans le sol pour améliorer les propriétés de ce dernier. Ces cultures sont également appelées cultures intermédiaires. Les engrais verts provoquent une stimulation importante de la vie microbienne à laquelle ils fournissent une nourriture abondante et fermentescible. Les engrais verts à base de légumineuses enrichissent le sol en azote par fixation symbiotique de l'azote de l'air [106].

#### 1.5.2.2. Les engrais d'origine animal

Les engrais d'origine animale sont précisément des déchets industriels, tels que des déchets d'abattoirs : sang desséché, les bouses de vache, les fientes de poules etc. Ces derniers sont intéressants pour leur apport en azote à décomposition relativement lente et pour leur action favorisant la multiplication rapide de la microflore du sol, mais n'enrichissent guère le sol en humus stable, ces engrais sont enfouis dans le sol pendant

la préparation du terrain ou trois semaines avant le repiquage pour la campagne de saison de pluie [107].

### 1.5.3. Le compostage

#### 1.5.3.1. Définition du compostage

Le compostage est le processus biologique contrôlé de conversion par fermentation aérobie des matières organiques fraîches en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau connu sous le nom de compost [108].

#### 1.5.3.2. Principe de compostage

Selon ASDRUBAL [109], le compostage est une dégradation de matière organique en présence d'oxygène. Les molécules organiques sont transformées par étapes successives en substances de poids moléculaire de plus en plus faible pour aboutir à la production de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et d'eau. Cette fermentation se déroule selon trois phases successives :

- Phase de latence (=stade de dégradation): correspond au temps nécessaire à la colonisation du milieu par les micro-organismes. Lors de cette phase, les bactéries, principalement de type mésophile, s'attaquent aux composés facilement biodégradables tels que les glucides, les protides et les lipides. La température augmente graduellement jusqu'à 40 °C. Elle dure environ un jour. La température s'élève progressivement, elle résulte de l'activité respiratoire endogène des cellules vivantes présentes dans la masse (Figure 1.5).

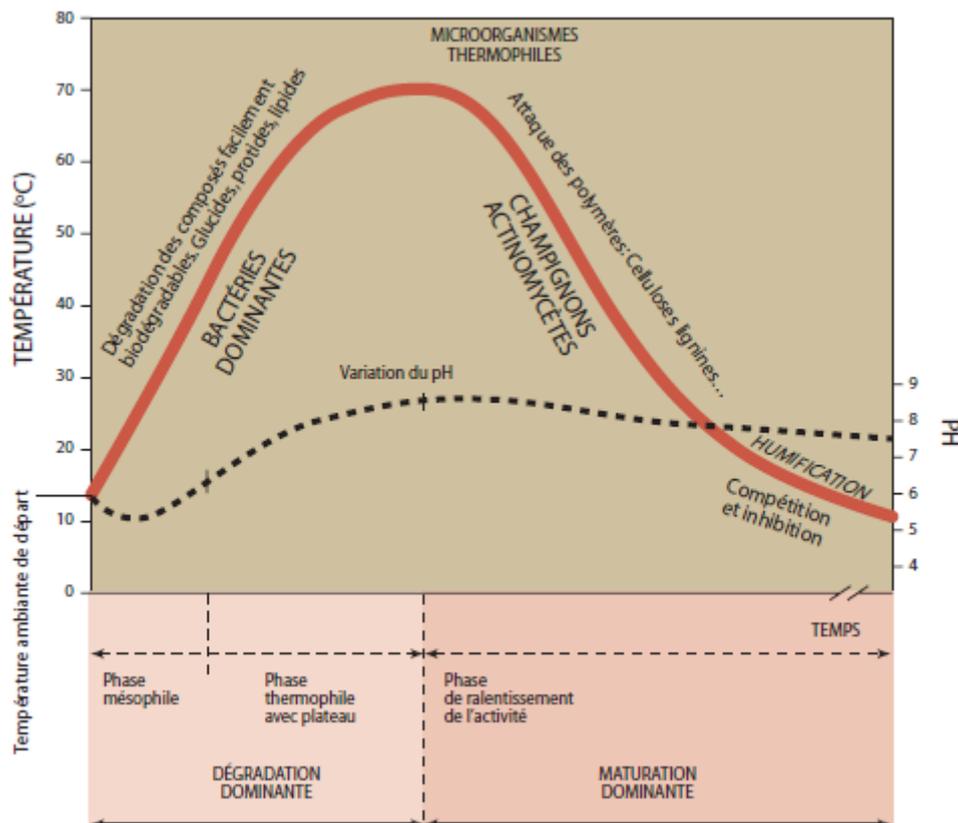


Figure 1.5 : Actions conjuguées des paramètres du compostage (humidité et aération optimales) [110].

- Phase de fermentation chaude: à partir de 40 °C, les bactéries de type mésophile meurent progressivement pour laisser la place aux bactéries de type thermophile. La température continue d'augmenter pour atteindre un plateau entre 60 °C et 70 °C. Quant au pH, il augmente graduellement pour atteindre un plateau entre 7 et 8 qu'il maintiendra jusqu'à la fin du processus de compostage. Au terme de la phase thermophile, le compost est dit brut ou très jeune (Figure 1.5).

- Phase de refroidissement et de maturation: La phase de refroidissement correspond à la baisse de température. À ce moment, les champignons et les actinomyces prennent la relève pour attaquer les composés qui sont plus difficiles à décomposer tels que la cellulose et la lignine. À la fin de cette phase, le compost est dit jeune ou frais où les matériaux sont encore identifiables. Lors de la phase de maturation (au milieu du stade de maturation), les vers de terre et les insectes colonisent le compost. On reconnaît encore quelques matériaux. Vers la fin de cette phase, l'humification est

intense (transformation en humus). À ce moment, le compost a une structure grumeleuse et les vers en sont absents. Le compost est dit mûr ou mature.

#### 1.5.4. Le vermicompostage

##### 1.5.4.1. Définition du vermicompostage

C'est une méthode d'utilisation des vers en vue de transformer des matières organiques (généralement des déchets) en une matière très semblable à l'humus ou au terreau ; connue sous le nom de vermicompost ou lombricompost. Les déchets ce sont en général les déchets verts , mous et mouillés , comme les épiluchures de fruits, les restes de légumes et les tontes de gazon qui sont facilement dégradables [111]. Le vermicompost est produit par la décomposition de la matière organique en utilisant une interaction non thermique entre les vers de terre et les microorganismes (Bender, 2008). Le vermicompost est une composition organique qui est légère, inodore et exempte de graines de mauvaises herbes [112].

##### 1.5.4.2. Principe du vermicompostage

Techniquement, le vermicompostage est plus proche de la production animale, car le processus ne repose pas sur les microorganismes, mais sur les vers qui digèrent les matières premières organiques et les excitent comme des pièces moulantes riches en éléments nutritifs. Les vers et les microorganismes ajoutent des forces dans un processus de bio-oxydation et de stabilisation et n'ont pas de stade thermophile. Les vers de terre les plus répandus utilisés pour la vermicompostation sont les vers roux ou les vers rouges (*Lumbricus rubellus*) (Fig. 1.6a) et les vers à la mèche (*Eisenia foetida*) (Fig. 1.6b) [113].



Figure 1.6: Aspect général des vers de vermicompost [111].

(a : *Lumbricus rubellus* ; b : *Eisenia foetida*)

*Eisenia foetida* [113] possède des caractéristiques qui en font un des vers les plus adaptés pour le lombricompostage. Il est davantage un éboueur qu'un laboureur. Il est particulièrement performant pour décomposer rapidement la matière organique. Dans des conditions idéales, il peut manger l'équivalent de son poids par jour. En condition naturelle, il loge dans les premiers centimètres du sol (20 à 30 cm) ou encore dans les tas de fumier ou les gros tas de compost. Aussi, il est bien adapté à l'élevage en groupe puisque chaque individu requiert très peu d'espace, soit 15 à 30 cm<sup>3</sup> par ver. Comparativement, un seul ver de terre requiert un espace de 1 500 cm<sup>3</sup>.

#### 1.5.4.3. Valeur et l'utilisation du vermicompost

Le Vermicomposting est un outil rentable pour la gestion des déchets dans l'environnement sain [114, 115]. Les vers de terre sont les conducteurs cruciaux du processus, car ils aèrent, conditionnent et réduisent le substrat et changent rigoureusement en fragments l'activité microbienne et leur potentiel de biodégradation [116, 117]. Plusieurs enzymes, mucus intestinal et antibiotique dans la région intestinale du ver de terre jouent un rôle important dans la dégradation des macromolécules organiques. Les déchets organiques biodégradables tels que les résidus publics (ordures ménagères), des hôpitaux et les déchets industriels posent des problèmes majeurs dans la disposition et le traitement. La libération des engrais d'animaux non-traités dans les champs agricoles souille les eaux souterraines causant le risque de santé publique. Le vermicomposting est la meilleure alternative au terreautage conventionnel et diffère de lui de plusieurs manières [118]. Le

Vermicomposting accélère le processus de décomposition par 2 à 5 fois, de ce fait active la conversion des déchets dans le biofertilisant précieux et produit des matériaux beaucoup plus homogènes comparés au terreautage thermophile [119, 120]. Des différences distinctes existent entre les communautés microbiennes trouvées dans les vermicomposts et les composts et par conséquent la nature des processus microbiens est très différente dans le vermicomposting et le compostage [121]. Les valeurs du pH se trouvent légèrement diminuées dans le vermicompost comparées au compost traditionnel ce qui pourrait être attribué à la minéralisation de N et de P, décomposition microbienne des matières organiques dans les acides organiques intermédiaires, entre autres les acides fulviques et les acides humiques [117] et la production concomitante du CO<sub>2</sub> [122].

La conductivité électrique (CE) indique la salinité de l'amendement organique. La production mineure des métabolites solubles tels que l'ammonium et la précipitation des sels dissous pendant vermicompostage mènent à une baisse des valeurs de la conductivité électrique, comparée à la matière première non décomposée [123]. Le rapport C/N est un indicateur du degré de décomposition. Il est significativement amélioré lors du processus de vermicompostage [117].

La minéralisation est le processus dans lequel les composés chimiques dans la matière organique se décomposent ou s'oxydent dans les formes qui pourraient être facilement assimilées par les plantes. L'augmentation de la concentration en cendre pendant le vermicompostage nous indique que ce dernier accélère le taux de minéralisation [123]. L'augmentation observée en phosphore totale dans le vermicompost est probablement dûe à la minéralisation et à la mobilisation du phosphore résultant de l'augmentation de l'activité phosphatase par des micro-organismes dans l'épithélium intestinale des vers [124, 122]. Le vermicompostage a montré une augmentation significative en Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> échangeable et en K<sup>+</sup> comparés à la boue fraîche indiquant la conversion des éléments nutritifs aux formes disponibles aux plantes pendant le passage par l'intestin des vers [122, 125].

Le vermicompost possède des propriétés biologiques exceptionnelles par référence aux populations microbiennes sensiblement plus importantes et plus diversifiées comparé aux composts conventionnels [126]. Le tube digestif d'*E.foetida* contient

diverses bactéries anaérobiques fixatrices d'azote tels que : *Clostridium butyricum*, *C. beijerinckii* et *C. paraputrificum* [127]. En revanche, le tube digestif de *Lumbricus rubellus* s'est avéré contenir un nombre plus important de bactéries aérobiques, anaérobiques [128] et dénitrifiantes utilisés en agriculture sous forme d'engrais [129].

#### 1.5.4.3.1. Rôle de vermicompost dans la fertilité du sol

Le vermicompost peut, d'une manière significative, influencer la croissance et la productivité des plantes [130] en raison de leurs éléments, vitamines, enzymes et hormones micro et macro [131]. KALE [132] a rapporté que le vermicompost enrichit le sol grâce à son statut nutritif contenant : 9,15 - 17,98% carbone organique, 0,5 - 1,5% d'azote total, 0,1 - 0,3% de phosphore disponible, 0,15% de potassium disponible, 22,70 - 70 mg/100 g de calcium et de magnésium. Son apport peut couvrir les besoins d'une grande variété de spéculations à savoir : cultures de plein champ [9], cultures légumières [121, 133], plantes ornementales et florales [134, 135]. Des améliorations considérables de la croissance de plantes ont été enregistrées après amendement des sols par le vermicompost. Les améliorations ont été attribuées aux propriétés physico-chimiques et biologiques du vermicompost qui affecte favorablement le pH, les populations microbiennes et les activités enzymatiques des sols [136] et réduit également la proportion des produits chimiques hydrosolubles qui causent la contamination de l'environnement [137].

#### 1.5.4.3.2. Rôle de vermicompost dans la promotion de croissance des plantes

L'application du vermicompost a eu comme conséquence une augmentation significative et cohérente de la croissance de plantes en plein champs et en cultures protégées [8]. Les investigations ont indiqué que des phytohormones, les substances de promotion de croissance (PGRs) tels que les auxines, les gibbérélines, les cytokinines [138], l'éthylène, l'acide abscissique [139], et l'acide humique [140] disponibles dans vermicompost en quantité appréciable se trouvent amplifiés chez les plantes. Les investigations étendues sur les activités biologiques de substances humiques incorporées dans le vermicompost ont prouvé leurs implications dans les propriétés de stimulation de croissance [141]. Les substances humiques ont augmenté le rendement de la matière sèche de jeunes plants de maïs et d'avoine [142]; le nombre

et la longueur des racines du tabac [143]; le poids sec des racines, les pousses et le nombre de nodules des plantes d'arachide, de soja et de trèfle [144]. Les études réalisées sur les activités biologiques du vermicompost ont débouché sur l'importance des substances humiques, tout en indiquant leurs effets encourageant sur la croissance [145, 146].

#### 1.5.4.3.3. Rôle de vermicompost dans le contrôle d'agent pathogène

L'incorporation du vermicompost dans le sol a significativement supprimé le *R. solani* sur le blé [147], *Phytophthora nicotianae* [148, 149, 150] et *Fusarium* sur tomate [148, 149], *Plasmodiophora brassicae* sur tomate et chou [148], *Pythium* et *Rhizoctonia* (putréfaction de racine) sur concombre et radis [151], *Botrytis cineria* [152] et *Verticillium* [10] sur fraisier [8]. La substitution des médiateurs de croissances par le vermicompost a réduit les maladies fongiques causées par *R. solani*, *P. drechsleri* et *F. oxysporum* dans le gerbera (Asteraceae) [153]. Les plantes de pomme de terre traitées avec du vermicompost étaient moins susceptibles aux attaques de *P. infestans* [154]. Les extraits aqueux du vermicompost ont empêché la croissance mycélienne de *B. cineria*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Corticium rolfsii*, *R. solani* et *F. oxysporum* [155] et la rouille sur orge [156] et a affecté le développement des rouilles sur le baume (*Impatiens balsamina*) et pois (*Pisum sativum*) causées par *Erysiphe cichoracearum* et *E. pisi*, respectivement en conditions naturelles [157].

#### 1.5.4.3.4. Rôle de vermicompost dans la lutte contre les arthropodes

L'addition des amendements organiques a aidé dans la suppression de divers insectes parasites tels que le foreur de maïs européen [158], les pucerons et les cochenilles [159, 160] et le foreur de pousse et de fruit de brinja [161]. Plusieurs rapports ont également démontré que l'addition de vermicompost a diminué l'incidence de *Spodoptera litura*, *Helicoverpa armigera*, *Apoaerema modicella*, *Empoasca kerri*, *Aphis craccivora* et les acarides inféodés aux arachides [162, 163, 164]. Aussi, l'amendement par le vermicompost a diminué l'incidence d'attaques causées par les opophages notamment *Myzus persicae* [165] et *Pseudococcus spp.* [166]. La substitution de l'acide gibbéréllique (AG3) par le vermicompost a réduit de 50% les dommages provoqués par *M. persicae* et *Pseudococcus spp.* sur les plantules de

tomate et du chou blanc [167]. Les thés de vermicompost appliqués à de fortes doses a réduit de manière significative l'incidence des « thrips » (*Scirtothrips dorsalis*) et des « acariens » (*Polyphagotarsonemus latus*) sur piment (*Capiscum annum*) [168, 169].

#### 1.5.4.3.5. Rôle de vermicompost dans le contrôle de nématode

Plusieurs documents ont montré que l'addition des amendements organiques diminue les populations des nématodes parasites de plantes [170, 171, 172]. Les amendements de vermicompost suppriment sensiblement les nématodes parasites de plantes dans les conditions de pleins champs [173]. Le vermicompost a également supprimé l'attaque de *Meloidogyne incognita* sur le tabac, le poivre, la fraise et la tomate [174, 165, 175, 176] et a diminué les nombres de galles et les masses d'oeufs de *Meloidogyne javanica* [177].

#### 1.5.4.4. Caractéristiques et potentialités biologiques du jus (thé) de vermicompost

La définition la plus simple du thé de vermicompost est : le brassé ou encore l'extrait aqueux du vermicompost. La production de thé de vermicompost est donc, un procédé « de brassage à froid », permettant la croissance des organismes extraits à partir du vermicompost. Il faut que le processus reste volontairement aérobique de telle sorte que l'ensemble du complexe d'organismes extraits à partir du vermicompost reste dans le thé. L'ensemble du complexe d'organismes est nécessaire pour établir tous les avantages d'une chaîne alimentaire saine dans le sol ; le thé du vermicompost est appliqué par voie foliaire ou par absorption racinaire [178, 179]. Le vermicompost est l'ingrédient principal dans le thé de vermicompost. Afin d'augmenter la biomasse et l'activité d'organisme, d'autres nutriments (enrichissement) peuvent être ajoutées au début de la période de brassage. Le but de cet enrichissement vise une plus haute biomasse microbienne, une meilleure production de plante, une meilleure structure du sol, un meilleur recyclage d'éléments nutritifs et moins d'agressions biologiques. Les différents types de thé aérobique et anaérobique de vermicompost fourniront des solutions appropriées pour différentes situations et feront ainsi partie intégrante de l'agriculture durable. L'agriculture viable sera possible, si d'année en année, le sol est amélioré et des augmentations de productivité sont enregistrées [179].

#### 1.6. Impact de la formulation des bioproduits sur la stabilité du principe actif

### 1.6.1. Définition des formulations

La formulation est, par définition, «l'ensemble des connaissances et des opérations mises en œuvre lors du mélange de l'association ou de la mise en forme d'ingrédients (matières premières) souvent incompatibles entre eux de façon à réaliser un produit caractérisé par une fonction d'usage» [180].

Les produits formulés sont destinés à remplir une fonction principale, appelée fonction d'usage. Contrairement à la synthèse chimique, on évite en formulation que les produits réagissent entre eux lors du mélange, puis lors du stockage et de la préparation. La réaction doit se produire précisément au moment où le produit remplit sa fonction d'usage (réactivité retardée) [181].

### 1.6.2. Les composants d'un produit formulé

D'après SMITH [182], un produit formulé ou un composé formulé est constitué d'une molécule active (matière active) et d'un adjuvant.

- Matière active : Une matière active est une matière première permettant de remplir la fonction d'usage d'un produit.

- Adjuvant : Un adjuvant permet d'augmenter l'efficacité, la sécurité, la manipulation et l'application d'une matière active en modifiant ses caractéristiques physiques ou chimiques. Les formulations des substances actives et l'ajout éventuel d'adjuvant lors de la préparation tendent à améliorer l'efficacité du produit [183]. Il existe différents types d'adjuvants, classés selon leur nature, composition et rôle. SMITH [182] classe dix types d'adjuvants selon leurs activités (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Types d'adjuvants et leurs activités [184].

Type	Activité
Pénétrants	Permettent aux produits de traverser la couche extérieure d'une surface traitée.
Dispersants	Permettent aux produits de former une couche uniforme sur la surface traitée.
Adhésifs	Permettent aux produits d'adhérer à la surface traitée.
Agents tensioactifs	Améliorent la dispersion, l'étalement ou les propriétés mouillantes d'un produit.
Agents mouillants	Facilitent le mélange des poudres mouillables et des pâtes granulées avec l'eau, et leur adhésion aux surfaces cibles.
Agents moussants	Réduisent la formation de mousse dans les mélanges à pulvériser exigeant une forte agitation.
Tampons	Augmentent la solubilité des produits dans l'eau ou ralentissent la décomposition chimique de certains produits en abaissant le pH de l'eau alcaline.
Agents antidérive ou épaississants	Augmentent le diamètre des gouttelettes pulvérisées et réduisent la dérive des particules.
Émulsifiants	Permettent de mélanger un produit à base d'huile avec de l'eau.
Émulsions inverses	Permettent de mélanger des produits à base d'eau avec des supports à base d'huile.

### 1.6.3. Types de formulations

D'après MARTINI ET SEILLER [184], les produits formulés se présentent sous forme la liquide, solide ou gazeuse. Les formulations liquides incluent: les concentrés émulsifiables, les suspensions concentrées, les suspensions en microcapsules, les solutions.

- Les formulations solides comprennent : Les poudres solubles, les appâts, les granulés, les comprimés, les pastilles, les pâtes granuléées, les granulés solubles, et les poudres mouillables,

- Les formulations gazeuses (=fumigants) : Elles sont disponibles sous forme solide, liquide ou gazeuse.

### 1.6.4. Importance de formulation

Le premier rôle d'une formulation est donc d'améliorer les performances des principes actifs en permettant notamment une réduction des doses d'emploi limitant ainsi leur impact sur la faune et la flore. Pour pallier aux problèmes de pertes lors de l'utilisation des produits phytosanitaires, il est également intéressant de rappeler les étapes et les points clés de l'application d'un produit phytosanitaire sur une culture [185]. La première étape d'une application : la pulvérisation jusqu'à l'impact sur la plante cible. La seconde étape : la formation de dépôt à l'expression de l'activité biologique. En effet après dépôt sur la feuille, des pertes de matière active sont encore envisageables [186]. Comme il a été déjà mentionné, les pertes de matière active sont très importantes durant la pulvérisation, c'est-à-dire entre la formation de gouttelettes, la rétention du liquide, et la formation du dépôt. Les phénomènes les plus importants à l'origine de ces pertes sont la volatilisation, la dégradation photochimique, la cristallisation et surtout le rebond et le ruissellement de gouttelettes [187].

GAUVRIT [188], avance que le rôle majeur des produits formulés s'exprime lors de l'impact des gouttelettes de produit sur la feuille. En effet, comme ils diminuent la tension superficielle de l'eau, ils permettent aux gouttelettes de s'étaler sur la cible. Cet étalement augmente l'adhésion de la bouillie à la surface foliaire et donc la probabilité d'accrochage (pour un diamètre donné). A l'échelle de la plante entière, on observe une rétention plus élevée de la bouillie du produit, d'où le nom d'effet mouillant, qui permet d'améliorer la sécurité et la commodité d'emploi de ces produits, leur stabilité et éventuellement leur capacité à pénétrer dans le végétal [189]. Ce qui permet de créer un produit efficace [180].

## **CHAPITRE 2 :**

### **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## 2.1. Présentation de la région d'étude «La Mitidja »

### 2.1.1. Localisation

La Mitidja s'étale sur près de 150 000 Ha, présentant une dépression resserrée entre l'Atlas Tellien au sud et les rives sahéliennes, d'altitude peu élevée atteignant 60m en moyenne. Cette vaste plaine sublittorale est bordée à l'Est par Bou Zegza, un passif calcaire qui culmine à 1050 m et par une série de collines situées entre Boudouaou et Boumerdes, d'altitudes peu élevées comprises entre 50 et 100 m. Cet ensemble de montagnes et de collines encadre la plaine et lui laisse peu d'accès vers la mer, à l'exception d'un couloir assez large formé par l'oued Réghaia. Au sud et au sud ouest, ce sont les masses de l'Atlas blidéen qui atteignent 1600 m d'altitude avec un pic à 1620 m au Mont Mouzaia, borné par les monts de Zaccar de 800 m de haut. Dans la partie occidentale de l'Atlas blidéen, les collines du Sahel entrent en contact avec le massif montagneux du Chenoua qui s'élève à 905 m et rejoignent plus au sud, au niveau du plateau de Fadjana, les premières hauteurs du Djebel Thiberrarine sis à 853 m (Fig. 2.1) [190, 191].

### 2.1.2. Impact climatique sur la région d'étude

Selon NOUACEUR et *al.* cité par AROUN [192], l'impact du réchauffement de l'atmosphère sur les changements climatiques au Maghreb est visible dans la progression des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien. Les résultats de l'analyse des températures minimales et maximales sur le littoral réalisée sur une période de quarante-trois ans (1970 à 2012) montrent de réels changements au cours de la période d'étude. L'amorce de ces changements s'est faite dès 1984 pour les températures minimales et à partir de 1987 pour les températures maximales. Sur l'ensemble de la période, ce sont ces dernières qui ont connu l'augmentation la plus sensible.

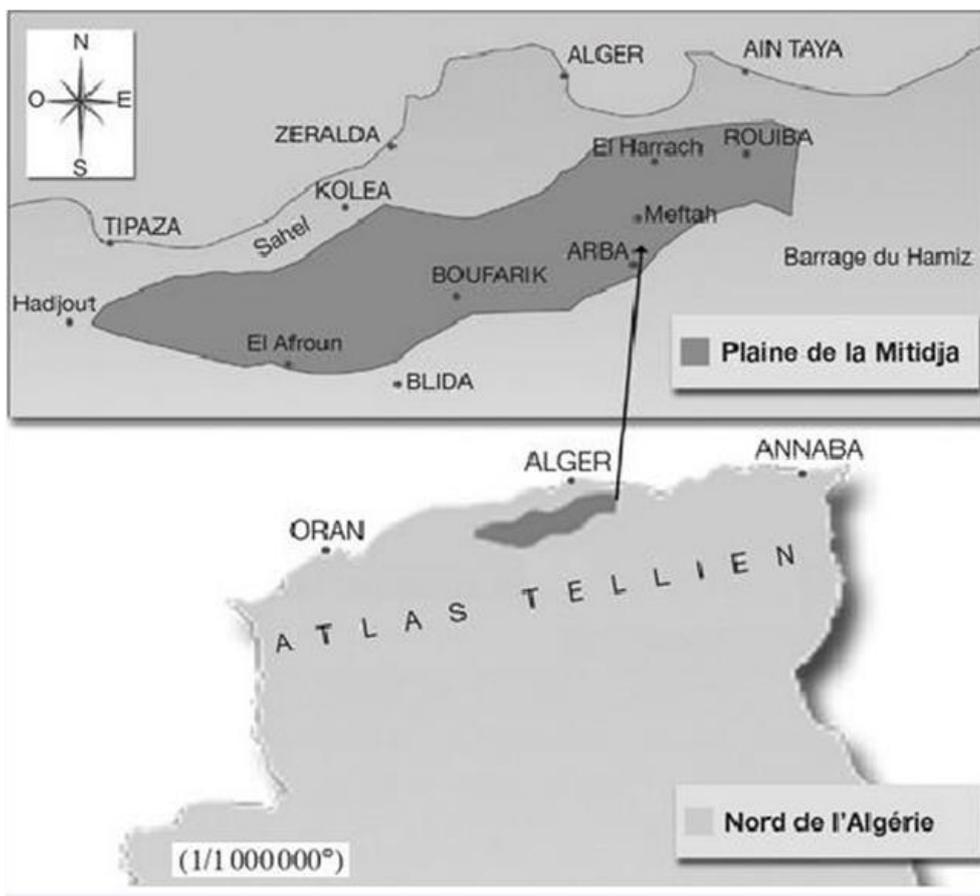


Figure 2.1: Localisation géographique de la plaine de Mitidja [191].

Les précipitations ont connu une première période humide de 1970 à 1986. Une forte sécheresse s'établit ensuite pendant près de quinze ans, de 1987 à 2002. Elle est suivie du retour à une situation plus clémente (qualifiée d'humide) depuis 2003. Ce retour à des précipitations plus abondantes s'accompagne d'un plus grand nombre d'épisodes pluvieux extrêmes (perturbations pluvio-orageuses sévères). Ces phénomènes ont été particulièrement fréquents au cours de la dernière décennie, tout comme les jours d'orage. Ainsi, après près de deux décennies de sécheresse et un retour confirmé des pluies sur une grande partie du pays, l'augmentation exponentielle de la population urbaine et la multiplication des catastrophes de type "inondations" posent plusieurs questionnements auxquels seules les investigations scientifiques poussées pourront répondre.

### 2.1.3. Caractéristiques climatiques des zones d'étude

La Mitidja centrale bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance continentale (étage humide à hiver frais). Les précipitations, majoritairement hivernales et printanières, sont caractérisées par une grande irrégularité inter annuelle et inter-mensuelle.

Pour pouvoir caractériser les zones d'étude, le diagramme ombrothermique de Gausson et le climagramme pluviothermique d'Emberger sont les deux méthodes retenues. L'intérêt du diagramme ombrothermique est de déterminer les durées des périodes sèche et humide d'une région. Il tient compte des valeurs mensuelles de la pluviométrie et de la température moyenne. Ce diagramme juxtapose les températures et les précipitations d'une région au cours d'une année. Elles sont portées sur deux axes où l'échelle des précipitations est doublée par rapport à celles des températures  $P = 2T$ . Gausson considère qu'un mois est sec si les précipitations  $P$  exprimées en millimètres sur l'axe des ordonnées à droites sont inférieures au double de la température moyenne  $T$  exprimée en degrés Celsius en ordonnées à gauche [193].

Au niveau de la région de Soumâa, le diagramme ombrothermique de Gausson conçu à partir des données de 2000 - 2015 montre une irrégularité climatique, avec une saison sèche qui s'étale sur une période de 7 mois débutant du mois d'Avril et s'achevant au mois d'Octobre, avec un cumule de précipitation de 204 mm. Les températures moyennes maximales de l'ordre 32,6 °C sont enregistrées au mois d'Aout. Cependant, la période humide, elle, s'étale de Novembre à mars soit une durée de 5 mois, avec un cumul de précipitations plus important de 857,4 mm. Les températures moyennes minimales de l'ordre 5,4 °C sont enregistrées au mois de Janvier [194].

Concernant la région de Boumedefâa, pour la même période, le diagramme ombrothermique de Gausson, signale deux périodes sèche et humide qui s'étalent respectivement sur 8 (avril – Novembre) et 4 mois (Décembre- Janvier). Les mois les plus froids sont janvier et février avec des températures moyennes minimales respectives de 4,49 °C et 4,48 °C, et une température moyenne maximale de 20,31°C et 22,56 °C, tandis que les mois les plus chauds sont juillet et août avec des

températures moyennes maximales respectives de 37,2°C et 37,00°C et de 20,54°C suivie de 22,01 °C comme températures moyennes minimales. Les mois les plus froids sont janvier et février avec des températures moyennes minimales respectives de 4,49 °C et 4,48 °C, et une température moyenne maximale de 20,31 °C et 22,56 °C, tandis que les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes maximales respectives de 37,2°C et 37,00°C et de 20,54°C et 22,01 °C comme températures moyennes minimales [194].

Le Climagramme d'Emberger établi pour la période (2000-2015), nous a permis de situer les deux zones d'étude dans l'étage bioclimatique qui leur correspond. La valeur du quotient pluviométrique modifié par Stewart [195] dans les régions d'étude est obtenue par la formule suivante :

$$Q_2 = 3,43 \times P / (M - m)$$

$Q_2$  : Quotient pluviométrique d'Emberger

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en C°

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en C°

Les valeurs du quotient pluviométrique de la région de Soumâa et de la région de Boumedefâa sont respectivement de 89,45 et de 90,12 ce qui permet de placer les deux régions d'étude dans l'étage bioclimatique sub – humide à hiver doux (Fig. 2.2).

## 2.2. Matériel d'étude

### 2.2.1. Présentation des sites d'étude

Deux stations ont été retenues à savoir : la station expérimentale de la faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Blida1 (route de Soumâa) et l'aire de repos de l'autoroute Est- Ouest reliant la ville de Oued Djer à la ville de Boumedefâa.

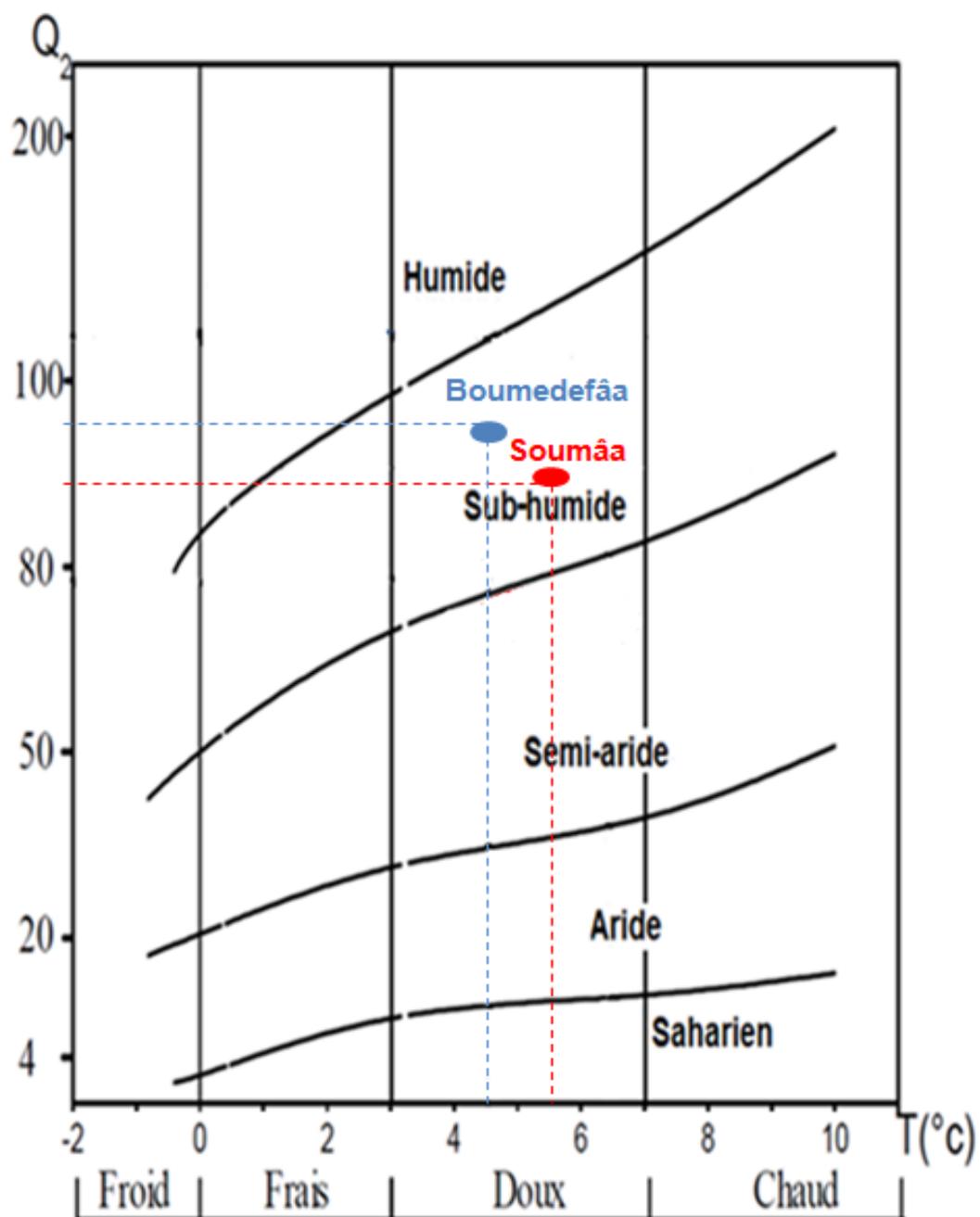


Figure 2.2 : Localisation des zones d'étude dans le Climagramme d'Emberger durant la période 2000 - 2015

### 2.2.1.1. Zonage topographique de la région de Soumâa

La région de Soumâa est adossée au piedmont de l'Atlas Blidéen à une altitude de 200 m, une longitude de 2°45', une latitude de 36°35' et d'exposition sud. C'est une formation semi-ouverte à ouverte où la strate arbustive est dominante [191].

La station expérimentation de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie est située dans la partie nord de l'université de Blida1. Elle est étalée sur une superficie de près de 80 Ha destinés aux expérimentations diverses, notamment la plasticulture, le maraichage et l'arboriculture fruitière [196].

En ce qui concerne notre objectif, l'expérimentation relative à la gestion de la santé végétale de la culture de la fève a été réalisée sous des conditions semi-contrôlées (conteneur en sac de plastique) sous un abri serre d'exposition nord-sud, d'une superficie de 200 m<sup>2</sup> (8×50), couvert d'un film plastique souple en polyéthylène incolore, aéré par des ouvertures latérales. L'éclairement est celui du jour, la température varie au cours de la journée et d'une saison à l'autre et elle est mesurée par un thermomètre placé au milieu de la serre (Fig. 2.3).



Figure 2.3 : Abri serre tunnel expérimentale en film plastique  
(Les flèches indiquent la porte et les ouvertures latérales)

### 2.2.1.2. Zonage topographique de la région de Boumedefâa

La région de Boumedefâa est une région montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell. Elle est insérée entre les massifs montagneux du Dahra-Zaccar au nord et l'Ouarsenis au sud, située à une altitude de 384 mètres dans la wilaya d'Ain Defla. Ses coordonnées géographiques sont 36° 25'13" N et 2°28'35" E [197]. L'aire de repos est une peupleraie artificielle d'essence de peuplier noir *Populus nigra* var. *Italica* âgées de 8 à 10 qui se présente sous forme d'un bosquet couvrant une superficie d'environ 1,5 Ha.



Figure 2.4: Peupleraie artificielle d'essence de peuplier noir *Populus nigra* var. *Italica* de l'aire de repos de l'autoroute Est- Ouest

### 2.2.2. Obtention des bioproduits

Les activités biocides et stimulatrices des activités métaboliques et de l'expression végétative ont fait l'objet de bioessais par le recours à différents types de biofertilisants (phytofortifiants) issus de la lombriculture (vermiculture) à savoir : le lombricompost brut (vermicompost brut) et le lombricompost fermenté (vermicompost fermenté) (non formulés) et le lombricompost brut formulé (vermicompost brut formulé) et le lombricompost fermenté formulé (vermicompost fermenté formulé).

#### 2.2.2.1. Vermicompostage

Le vermicompostage est une méthode d'utilisation des vers en vue de transformer des matières organiques en une matière très semblable à l'humus ou au terreau connu sous le nom de lombricompost ou vermicompost. Ce dernier est ensuite utilisé comme engrais. Les espèces de vers de terre les plus intéressantes convoitées dans la vermiculture sont *Eisenia foetida* et *Eisenia andrei*. Ce sont de petits vers rouges qui ont un cycle de croissance et de reproduction rapide et qui consomment environ la moitié de leur poids par jour. Leur durée de vie est de 2 ans [198]. Le vermicomposteur est en général compartimenté et composé de différents éléments. Les bacs sont percés de petits trous permettant aux vers de se déplacer de l'un vers l'autre selon leurs envies. Au départ, un seul étage sera utilisé. Les vers seront placés avec les déchets qui leur serviront de nourriture. Une fois cet étage plein, le second sera placé par-dessus et ainsi de suite. Grâce à la nourriture que nous leur apportons, les vers vont se développer et se reproduire, et ainsi, le nombre de vers augmentera jusqu'à atteindre un équilibre [199]. Le vermicompostage produit deux types d'engrais, le vermicompost et le thé de vermicompost (Jus de vermicompost). Le vermicompost a la consistance d'un terreau et sans odeur, riche en éléments nutritifs pour les végétaux (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) et en oligo-éléments (cuivre, fer, manganèse, zinc...). Il améliore l'aération, le drainage et la structure du sol. Il a un pH de 6 et n'acidifie pas le sol [200]. Le thé de vermicompost, récupéré dans le fond du vermicomposteur, provient essentiellement de l'eau contenue dans le vermicompost. Il est chargé de nutriments minéraux et d'oligo-éléments (Fig. 2.5) [201].



Figure 2.5 : Vermicomposteur à compartiments verticales

(a) Vermicomposteur a quatre compartiments (b) Bac de déchets frais (avec carton pour maintenir l'humidité) (c) Bac percé de petits trous permettant aux vers de se déplacer du bac de nourriture (au dessus) au bac de vermicompost – bac de terreau mur-(au dessous)

#### 2.2.2.2. Thé de vermicompost brut

Le vermicomposteur produit du jus, est aussi appelé « thé de vermicompost » ou le jus de vermicompost brut, après plusieurs semaines d'activité des lombrics. La quantité de thé va dépendre du modèle du vermicomposteur (s'il est plus ou moins aéré il s'en évaporerait plus ou moins d'eau) et de la quantité de déchets organiques, que nous avons ajoutée. Le thé de vermicompost est récolté dans un bac de récupération du vermicompost. Il n'a pas d'odeur particulière, normalement, sauf si des vers se sont noyés dans le bac collecteur de thé. Dans ce cas, les vers morts se décomposent ce qui provoque une odeur caractéristique [201]. Pour éviter ce type de désagrément, il est conseillé de vider régulièrement le bac collecteur de thé ou encore de laisser le robinet de ce bac ouvert avec un récipient en dessous. Ainsi, le bac collecteur de thé sera toujours vide et les vers ne pourront pas s'y noyer. Le thé peut être stocké sans problème. Il ne craint pas la lumière (Fig. 2.6) [200].



Figure 2.6 : Production du thé de vermicompost brut

- (a) Vermicomposteur a quatre compartiments avec robinet de récupération  
 (b) Conteneur de stockage du thé de vermicompost brut

### 2.2.2.3. Thé de vermicompost fermenté

Le recours à la fermentation du jus de lombricompost sur substrat solide vise à améliorer la productivité du jus indépendamment de l'activité directe des lombrics sur les déchets organiques. En outre, la fermentation solide présente un certain nombre d'avantages économiques et technologiques dont la faiblesse des coûts et la simplicité des équipements.

La fermentation solide est généralement définie comme une croissance microbienne sur des particules solides humides en l'absence d'eau libre [202, 203]. Assamoi *et al.* [204], avancent que la fermentation solide exige trois étapes à savoir : le substrat carboné, l'inoculum du milieu de culture et les conditions de la fermentation solide.

L'adaptation du principe de la fermentation solide à la fermentation du thé de vermicompost est déroulée selon le protocole ci-après (Djazouli, Com. Pers.).

**Préparation du substrat carboné** : le substrat carboné utilisé en fermentation solide du thé de vermicompost solide provient d'un substrat lignocellulosique de résidus agricoles, entre autres la paille de blé. Cette dernière a été transformée en poudre à l'aide d'un mixeur électrique à hélice. Le broyat est tamisé afin d'obtenir une poudre dont le diamètre des particules est inférieur à 0,09 mm.

**Inoculation du milieu de culture** : l'inoculation du milieu de culture se fait le plus souvent à partir d'une suspension de spores. Dans notre expérimentation 10 g. de poudre de paille de blé est mise dans une boîte en plastique est inoculée par imbibition au thé de vermicompost brut jusqu'à saturation et l'obtention d'un substrat en mélasse. Le pathosystème microbien renfermé dans le thé de vermicompost brut impliquera la dégradation du substrat (Fig. 2.7a).



Figure 2.7: Production du thé de vermicompost fermenté

(a) Poudre de paille de blé imbibée de thé de vermicompost brute (b) Boîte en plastique recouverte partiellement de papier aluminium pour éviter la saturation du substrat en eau (c) Intérieur de l'hortibox contenant un système d'étagère afin de rentabiliser l'espace et disposer un nombre important de bac de fermentation.

**Conditions de la fermentation solide** : les boîtes contenant le substrat carboné et l'inoculum sont misent en phase de fermentation pendant deux semaines dans une chambre de culture (hortibox) sous conditions contrôlées de température 25 à 35 °C et d'humidité 90%. Après la phase de fermentation, le substrat solide fermenté est

additionné à de l'eau de robinet. Après agitation et filtration, la phase liquide obtenue constitue le jus de lombricompost fermenté (Fig. 2.7b et c).

#### 2.2.2.4. Formulation du thé de vermicompost brut et fermenté

La formulation comprend l'ensemble des savoirs et savoir faire nécessaires à la conception et à la mise au point des produits commerciaux caractérisés par leur valeur d'usage. Un produit formulé est obtenu par association et mélange de diverses matières premières, d'origine synthétique ou naturelle, parmi lesquelles on distingue généralement : matières actives qui remplissent la fonction principale recherchée et les auxiliaires de formulation, qui assurent les fonctions secondaires, facilitent la préparation ou la mise en œuvre du produit commercial, ou prolongent sa durée de vie.

La présente formulation des deux bioproduits, permet de combiner de manière synergique l'association d'un principe actif avec différents composés de nature organique, basée sur des interactions électrostatiques et hydrophobes. Plus précisément, la présente formulation concerne un bioproduit de séquestration de principe actif dans une émulsion fluide concentrée caractérisée qui comprend :

- Un cœur hydrophile comprenant au moins un principe actif issu de la dégradation des résidus solides de végétaux par les vers de terre (jus de lombricompost brut et jus de lombricompost fermenté) ;
- Une couche de tensioactif anionique ;
- Une phase lipidique comprenant au moins un tensioactif amphotère lipidique ;
- Une couche superficielle constituée par un groupement glycéryle.

#### 2.2.2.5. Phytofortifiant homologué (témoin positif)

Les activités protectrice et stimulatrice des défenses naturelles des deux produits formulés sont comparées à un stimulateur des défenses naturelles à base d'algue

marine (Témoin positif). C'est un produit liquide homologué en Algérie, formulé à partir de l'*Ascophyllum nodosum*, qui constitue une réserve naturelle de micro et des macronutriments, des acides aminés et des hydrates de carbone qui augmentent le rendement des cultures, améliorent leur qualité et leur vigueur ; inclut des promoteurs de croissance d'origine naturelle comme cytokinines, auxines et gibbérellines. Ce produit est un fertilisant spécialement recommandé pour des applications foliaires, et peut aussi s'employer en irrigation par voie racinaire. L'augmentation de la fréquence des apports constitue une meilleure approche au monitoring de la viabilité des cultures [205].

### 2.2.3. Modèle biologique des essais

#### 2.2.3.1. Modèle biologique végétale

Deux modèles biologiques végétales ont été retenues pour les expérimentations à savoir : *Vicia faba var. Aquadulce* (culture herbacée) et *Populus nigra var. Italica* (essence forestière). La semence de *Vicia faba var. Aquadulce* a été introduite en Algérie avec la variété Séville, à partir de l'Espagne [206]. C'est une variété semi précoce, très productive dont les plants peuvent atteindre 1,10 à 1,20 mètres de hauteur. Ces gousses de couleur vert franc, volumineuses, mesurent 20 à 25 cm, renfermant 7 à 9 graines, dont la longévité moyenne est de 5 à 6 ans [207].

Quant au *Populus nigra*, c'est une essence de production de bois par excellence. L'espèce est également reconnue pour son rôle épurateur important dans l'amélioration de la qualité des eaux, notamment grâce à un système racinaire très développé qui joue le rôle de filtre naturel en piégeant certains polluants comme les phosphates et les nitrates d'origine agricole ou urbaine. Selon l'importance de la ripisylve (notamment sa largeur), la fonction épuratrice peut représenter de 37% à 100% de réduction de la charge en azote [208]. En plus de ce rôle épurateur, le système racinaire du peuplier noir est un facteur déterminant dans la cohésion et la fixation des matériaux alluvionnaires. Ce complexe 'alluvions-système racinaire' est indispensable pour la protection et le maintien des berges vis-à-vis de l'érosion et donc crucial pour le maintien de la ripisylve [209, 210, 211].

### 2.2.3.2. Modèle biologique animale

Les bioessais en conditions naturelles consistaient à évaluer l'activité insecticide des phytofortifiants à base de thé de vermicompost par contact et ingestion sur différentes formes biologiques de pucerons en utilisant une méthode d'application foliaire. Ces essais ont été réalisés durant la période février- mai 2012 et mars-juillet 2013 respectivement sur les générations parthénogénétiques (larves, adultes ailés et aptères) du puceron noir de la fève d'*Aphis fabae* (Fig. 2.8) et les générations parthénogénétiques de fondatrigenes et virginogènes (larves, adultes ailés et aptères) du puceron vert du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas* (Fig. 2.9).

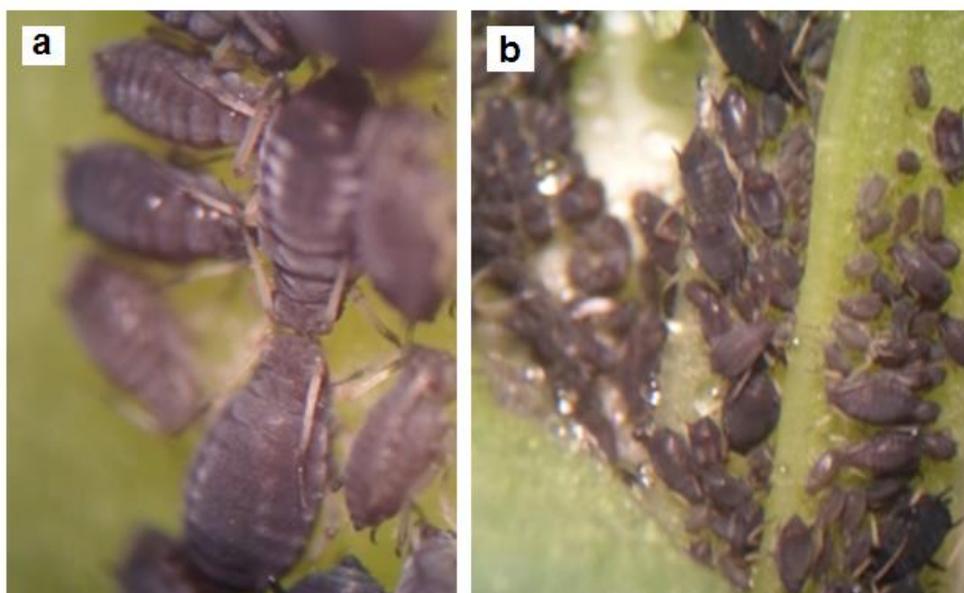


Figure 2.8: Différentes formes biologiques d'*Aphis fabae*

(a) Adultes aptères matures (Gr x 40) (b) Colonie sur tige de fève (Gr x 10).



Figure 2.9 : Différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

(a) Fondatrigènes aptère mature (Gr x 40) (b) Virginogènes aptères mature (Gr x 40)  
(c) Colonie de virginogènes (Gr x 10).

### 2.3. Méthode d'étude

#### 2.3.1. Dispositif expérimental et application des bioproduits sur la culture de la fève

L'étude a été menée sous un abri serre en film plastique (50×8). Les plantules de fève (variété Aguadulce) ont été semis directement dans des sacs en plastique noir de 250 cc remplis de terre. L'essai est réalisé en randomisation totale (1 facteur étudié + aucun gradient d'hétérogénéité) à 3 répétitions par traitements (Fig. 2.10).



Figure 2.10: Dispositif expérimental de la culture de la fève

(a) Disposition des plants de fève sous abri serre (b) Plantule de fève au stade 8 feuilles.

Les dix-huit unités expérimentales du dispositif expérimental contiennent chacune 10 plantules de fève distantes de 50 cm. Les unités expérimentales sont espacées de 1 mètre les unes des autres et vont former ultérieurement les zones d'investigations.

Au stade 6 à 7 feuilles, les plantules ont reçu les bioproducts appropriés par application foliaire aux doses arrêtées par la problématique. L'apport des bioproducts est renouvelé chaque 15 jour durant toute la période du suivi qui s'est étalée sur trois mois et demi. Les unités expérimentales retenues comme témoin positif ont reçu une application foliaire par un biofertilisant homologué à base d'algue marine, alors que les unités expérimentales retenues comme témoin négatif ont reçu une application foliaire à l'eau courante, selon le rythme d'apport des bioproducts (Voir schéma directeur Fig. 2.11).

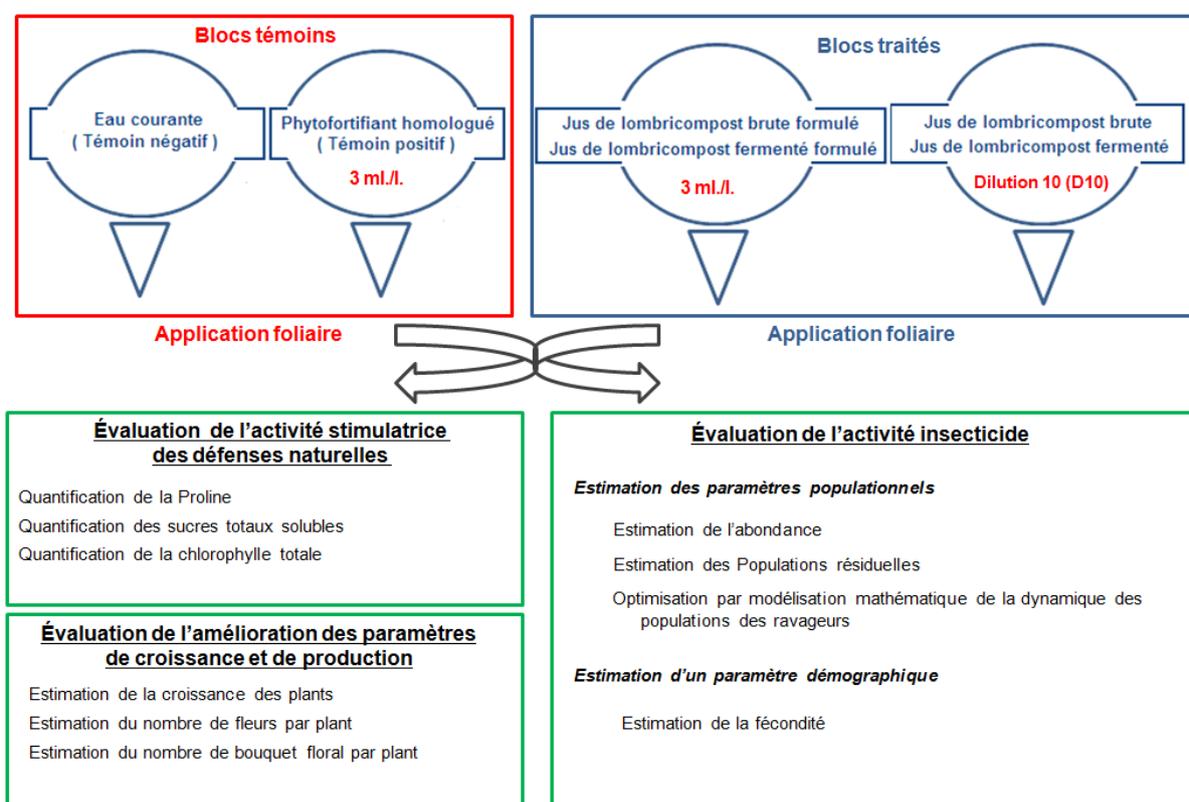


Figure 2.11 : Schéma directeur de la démarche hypothétique de la thèse

### 2.3.2. Dispositif expérimental et application des bioproduits sur les essences de peuplier noir

L'étude a été menée sur une peupleraie monoclonale artificielle de *Populus nigra*. L'essai est réalisé en blocs aléatoires complets (ou blocs de Fisher) (1 facteur étudié + 1 gradient d'hétérogénéité) à 3 répétitions par traitements (Fig. 2.12).



Figure 2.12: Transects expérimentaux de la peupleraie monoclonale artificielle de *Populus nigra*

Dix-huit transects élémentaires de 50 mètres linéaires ont été retenus contenant chacun vingt essences de peuplier avec une distance de plantation de 2,5 mètres. Les transects sont distants de 10 mètres les uns des autres et vont former ultérieurement les zones d'investigations. Après, la phase de débourrement et de feuillaison (expansion foliaire), les essences ont reçu les bioproduits appropriés par application foliaire aux doses arrêtées par la problématique. L'apport des bioproduits est renouvelé chaque 15 jour durant toute la période du suivi qui s'est étalée sur quatre mois. Les transects retenus comme témoin positif ont reçu une application foliaire par un biofertilisant homologué à base d'algues marines, alors que les transects retenus comme témoin négatif ont reçu une application foliaire à l'eau courante, selon le rythme d'apport des bioproduits (Voir schéma directeur Fig. 2.11).

L'appréciation de l'activité biocide, la stimulatrice des activités métaboliques et l'expression végétative sous l'effet des bioproduits nous ont conduits à réaliser des prélèvements de feuillage sur les deux modèles végétales. Pour cela nous avons été emmenés à réaliser des prélèvements avant l'application des bioproduits et avant chaque renouvellement d'apport. Sur peuplier, l'échantillonnage a été mené selon la méthode des transects proposée par FRONTIER [212]. A partir des transects élémentaires dix arbres ont été choisis aléatoirement sur lesquels nous avons prélevé quatre feuilles de chaque direction cardinale. En revanche, sur la culture de la fève, l'échantillonnage a été mené selon la méthode des blocs proposée par VASSEUR ET SCHIVESTER [213]. A partir des parcelles élémentaires cinq plants ont été choisis aléatoirement sur lesquelles une tige de 10 cm a été prélevée. Le matériel végétal de fève et de peuplier déjà échantillonné est lavé, stocké à -20°C ou séché et broyé afin de quantifier la proline, les sucres totaux et la chlorophylle totale. Par ailleurs, sur les mêmes échantillons (feuilles et tiges) et sous loupe binoculaire, nous avons estimé la disponibilité des différentes formes biologiques (larves & adultes ailés et aptères) du puceron noir de la fève *Aphis fabae* et du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*. Pour tenir compte de l'éventualité que les bioproduits expriment un effet insecticide, nous avons analysé une nouvelle fois les abondances des deux pucerons via l'estimation des paramètres populationnels (densité et populations résiduelles) et le potentiel biotique (fécondité). Les valeurs de chaque paramètre ont été donc calculées.

D'autres travaux ont porté sur l'évaluation des paramètres de croissance et de production. Cet aspect a touché uniquement la culture de la fève. Les mesures des effets des bioproduits sur la biomasse de la fève entre autres, la croissance des plants et la production florale ont été opérées suite aux prélèvements destructifs réalisés lors de l'estimation de la disponibilité des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae*. Sur les mêmes plants le nombre de fleur est comptabilisé.

### 2.3.3. Présentation des biofertilisants

- Biofertilisant homologué (HM), est un extrait d'algue marine, formulé à partir de l'*ascophyllum nodosum*, qui constitue une réserve naturelle de micro et des

macronutriments, des acides aminés, des hydrates de carbone et des promoteurs de croissance [214].

- Thé de vermicompost brut (BNF) : est un liquide provenant essentiellement de la dégradation des déchets ménagés par un ver de terre anécique *Eisenia foetida*. En plus de l'eau chargée de nutriments minéraux et d'oligo-éléments assimilés contenue dans les déchets, il renferme le mucus intestinal riche en protéines, en polysaccharides, en matières organiques et minérales, en acides aminés et en symbiontes microbiens (bactéries, protozoaires et micro-fungis) [214, 215].

- Thé de vermicompost fermenté (FNF) : est un liquide provenant de la fermentation d'un substrat lignocellulosique (paille de blé) saturé en thé de vermicompost brut [215].

- Thé de vermicompost brut formulé (BF) et Thé de vermicompost fermenté formulé (FF) : sont obtenus par utilisation de thé de vermicompost brut et fermenté comme matières actives auxquelles un mélange de mouillant, de pénétrant et de tension actif sont ajoutés, après une agitation active à l'Ultra-Turrax IKA. Les formulations testées sont enregistrées sous le numéro du brevet (INAP/DZ/P/2015/000256).

A partir des bioproduits issus de lombricompost nous avons essayé de vérifier l'effet des traitements sur la quantité des différents composants du brut formulé et le brut non formulé ainsi que le fermenté formulé, le fermenté non formulé.

#### 2.3.3.1. Extraction et quantification des acides humiques

Nous avons quantifié les acides humiques contenus dans chacune des traitements selon la méthode préconisée par DOOMAR *et al.* [216] et POVOLEDO ET PITZE [217] dont le protocole comporte :

- Une extraction en additionnant une solution de NaOH 0,1N à Ph12.
- Une centrifugation à 6000 tours pendant 40 min pour chaque étape d'extraction.
- La purification des acides humiques comporte essentiellement les étapes suivantes :

- Flocculation des « colloïdes organo-minéraux » (COM) dans les extraits totaux alcalins qui est représenté par le surnageant sous l'action du KCl à 10%.
- Acidification par HCl à 2N, et une centrifugation pour obtenir de l'acide humique brut sous forme d'un culot.

#### 2.3.3.2. Extraction et quantification des polyphénols

La teneur en polyphénols a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique de WONG *et al* [218]. A l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis, cette méthode est basée sur la réduction du réactif acide phosphotungstique, phosphomolybdique (réactif de Folin) dans une solution alcaline de l'échantillon à analyser [219]. Pour cela, un volume de 125 µl des traitements est introduit dans des tubes à essais, auquel on additionne un mélange constitué de 500 µl d'eau distillée, 125 µl de réactif de Folin Ciocalteu et 1250 µl de carbonate de sodium à 7,5 % et ajusté à 3 ml par l'eau distillée. Les tubes sont agités et laissés reposer pendant 90 minutes à l'obscurité.

La lecture de l'absorbance est effectuée à une longueur d'onde de 760 nm en utilisant le spectrophotomètre (Jenway 6405 UV/Vis). Une courbe d'étalonnage à différentes concentrations d'acide gallique a été préparée.

Les teneurs en polyphénols dans les échantillons sont exprimées en milligramme (mg) équivalent d'acide gallique par gramme (g) de poids de l'échantillon (mg/g). Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivante qui nous permet la teneur en polyphénols :

$$Y = 0,0114 X + 0,1191$$

Avec : Y : L'absorbance, X : La quantité des polyphénols exprimés en mg/g. M.F.

#### 2.3.3.3. Extraction et quantification des Flavonoïdes

LEBRETON *et al.* [220], préconisent après préparation des échantillons une hydrolyse à HCl (2N) dans un bain marie bouillant pendant 40 minutes avec insufflation d'air toutes les 10 minutes. L'oxygène permet l'oxydation des proanthocyanidine en anthocyanidine correspondantes. Après refroidissement de l'hydrolysate, on extrait les aglycones flavoniques dans une ampoule à décanter à deux reprises par l'éther diéthylique. La phase aqueuse (phase inférieure) de couleur rouge orange selon les échantillons contient les anthocyanes. Nous mesurons son volume total, puis nous dosons les anthocyanes à 540 nm. La phase qui contient les anthocyanes est ensuite reprise au n- butanol, la phase butanolique (phase supérieure) contiennent les C-glycosyles-flavones, est de nouveau concentrée à deux reprises par l'HCl (2N).

L'épiphase étherée (phase supérieure) est récupérée et traitée un peu plus tard. Une fois le volume des C- glycosyles-flavones mesuré, nous procédons au dosage de ces composés à 365 nm.

Les teneurs des C- glycosyles et des anthocyanes sont calculées par la même formule, suivante :

$$T \text{ (mg/g)} = \eta \times (DO/\epsilon) \times M \times V \times (d/p)$$

Avec:

M: Masse molaire de la Procyanidine égale à 306g

V : Volume de la phase aqueuse mesuré après hydrolyse

d : Facteur de dilution

P : Poids d'échantillon égal à 0,125g

T : Teneur absolue des anthocyanes en mg/g d'échantillon

En utilisant les constantes suivantes pour les anthocyanes :

DO: Densité optique à 540 nm

D: Facteur correctif qui tient compte du rendement de transformation des proanthocyanes égal à 6

$\epsilon$ : Coefficient d'absorption molaire égal à 34 700

Et les constantes ci après pour les C- glycosides :

DO: Densité optique à la longueur d'onde égale à 365 nm

$\epsilon$ : Coefficient d'absorption molaire égal à 18 850

M: Masse molaire d'un C- glycoside égal à 448g

V : Volume de la phase butanolique mesuré après concentration à l'HCl (2N)

d : Facteur de dilution

P : Poids d'échantillon égal à 0,125g

## 2.4. Evaluation de l'implication des bioproduits dans la stimulation des activités métaboliques

### 2.4.1. Extraction et quantification de la Proline

La méthode suivie est celle de TROLL ET LINDSLEY [221], simplifiée et mise au point par DREIR ET GORING [222]. Mettre 100 mg de matière végétale fraîche dans un tube à essai. On ajoute 2 ml de méthanol à 40%, le tout est chauffé à 85°C pendant 60 min tout en prenant le soin de recouvrir les tubes avec du papier aluminium. Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique, 25 mg de Ninhydrine et 1ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide ortho phosphorique) (0,4 : 1 : 0,26). La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 min au bout desquelles, la couleur vire au rouge. Après refroidissement, on rajoute 5 ml de toluène induisant la séparation en deux phases de la solution : la phase supérieure contient la proline et celle inférieure en est dépourvue. Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient ; enfin, lire la densité optique à 528 nm.

Les valeurs obtenues sont converties en teneur de la proline à partir de courbe étalon dont la relation est la suivante :

$$Y = 0,1043 X$$

Avec :

Y : Absorbance (nm)

X : Concentration de L- proline (mg/ml.)

#### 2.4.2. Extraction et quantification des sucres totaux solubles

Les sucres solubles sont extraits en accord avec la méthode modifiée de BABU *et al.* [223]. Pour cette extraction, on broie 0,2 gramme de matière fraîche foliaire dans un mortier en présence de 1 ml d'éthanol 80 % qu'on introduit par la suite dans des tubes adéquats à la centrifugation. On ajuste les poids de ces tubes à l'aide du sable fin de poly- vinylpyrrolidone K 90 et on les introduit dans la centrifugeuse. La centrifugation est faite à 2000 tours pendant 40 mn. Après écoulement des 40 mn, le surnageant de la centrifugation recueilli qui constitue l'extrait alcoolique brut, est mis dans des tubes éppendorfs que l'on conserve par la suite à froid. Il importe également de noter que la centrifugation s'est faite dans la chambre froide et ceci, pour éviter la dénaturation des enzymes.

Les sucres totaux solubles sont dosés par la méthode de DUBOIS *et al* [224]. Pour le dosage, 50 µl d'extrait sont additionnés à 0,5 ml de phénol et à 1,5 ml de solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Le mélange est chauffé au bain marie à 100 °C pendant 5 mn. Après refroidissement dans la glace fondante, la densité optique est mesurée à 485 nm contre un blanc dans lequel 50 µl d'alcool 80 % remplace l'extrait brut. Un étalon est construit grâce à une gamme (0 à 1mg/mol) de concentration d'une solution mère de glucose 1 mg/mol. Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation : **Y= 0,737 X** (Y: Absorbance (nm), X: Concentration de glucose (mg/ml.)

Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière fraîche. La formule est la suivante :

$$\text{Teneur en sucres totaux solubles (mg/g M.F)} = \frac{\Delta DO_x \times V_{\text{alcool}}}{a \times V_{\text{extrait}} \times \text{PF}}$$

a: Coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;

V<sub>alcool</sub> : Volume d'alcool en ml ;

V<sub>extrait</sub> : Volume d'extrait en µl ;

PF : Poids frais du matériel végétal utilisé en g

$\Delta DO_x$ : Variation de la densité optique

### 2.4.3. Extraction et quantification de la chlorophylle totale

D'après TAHARI *et al* [225], 50 mg du tiers médians des plus jeunes feuilles sont prélevées et broyées dans de l'acétone à 80%. Le broyage est répété plusieurs fois afin d'extraire la totalité des pigments chlorophylliens. L'extrait obtenu est centrifugé à 2500 tours pendant 5 min.

L'absorbance (D.O.) de la totalité des surnageants obtenus sont mesurés par un spectrophotomètre U.V. (Perkin Elmer Lambda 5 U.V) respectivement à 646,8 nm et à 663,2 nm. Les concentrations en chlorophylles totales (chlorophylles a et b), exprimées en mg g<sup>-1</sup> MF sont données par la formule.

**Concentrations en chlorophylles totales (mg. /g.M.F.) =  $7,15 \times DO_{663,2} + 18,71 \times DO_{646,6}$  V/M**

Avec:

V : volume de l'extrait total en litres

M : la masse de la matière fraîche broyée en grammes

## 2.5. Evaluation de l'implication des bioproduits dans la stimulation de l'expression végétative (amélioration des paramètres de croissance et de production)

### 2.5.1. Estimation de la croissance des plantes

La croissance journalière des plants a concerné la culture de la fève. Au niveau des blocs élémentaires expérimentaux 6 plants choisis aléatoirement ont fait l'objet d'un suivi régulier de la croissance en longueur durant 11 semaines. Les plants sont ajustés à une règle puis pris en photos numériques avec la prudence de maintenir le même taux de pixel (Fig. 2.13). Les photos numérisées sont traitées par le logiciel Digimizer ver. 5 afin d'évaluer la croissance des plants.



Figure 2.13: Estimation de la longueur des plants de la fève

La croissance journalière des plants a été estimée par la formule suivante :

$$CJ = 100 \times (L_f - L_i) / L_i / T_j$$

Avec

- L<sub>f</sub> : longueur finale
- L<sub>i</sub> : longueur initiale
- T<sub>j</sub> : température journalière

### 2.5.2. Estimation du développement du nombre de fleurs et de bouquets floraux par plant

Au niveau des blocs élémentaires expérimentaux de la culture de la fève 6 plants sont choisis aléatoirement chaque semaine afin d'apprécier le nombre de fleurs ainsi que le nombre de bouquets floraux (Fig. 2.14).



Figure 2.14: Production florale des plants de la fève

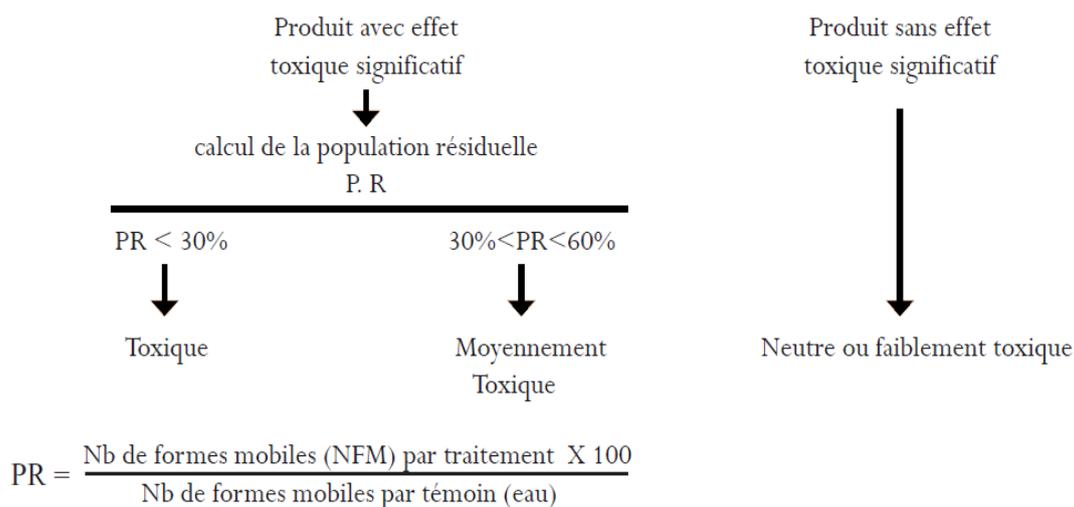
## 2.6. Evaluation de l'implication des bioproduits dans l'activité insecticide

### 2.6.1. Estimation de l'abondance des formes biologiques

À l'aide d'une loupe binoculaire (G×40), les différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas* ont été identifiées et dénombrées après chaque prélèvement.

### 2.6.2. Estimation des populations résiduelles

L'évaluation de l'effet insecticide des bioproduits phytofortifiants appliqués a été estimée par la comparaison des populations résiduelles (P.R.) selon le test de DUNNETT [226].



### 2.6.3. Estimation de la Fécondité

L'estimation de la fécondité est donnée par le rapport de larves du premier stade au nombre de femelles. La formule de calcul est la suivante :  $FEC = NL / NF$  Avec : NL : nombre des larves et NF : nombre des femelles.

## 2.7. Analyses statistiques des données

### 2.7.1. Diagramme de ternaire (PAST vers.1.37)

Dans le cas d'une comparaison quantitative entre trois variables, les points d'intersection sont étudiés à l'aide d'un diagramme de ternaire pour avoir la quantité des acides humiques, polyphénols, les anthocyanes, les C-glycosiles et les éléments minéraux majeurs en relation avec les différentes dilutions préparées. Le test est réalisé par le logiciel Past version 1.37 [227].

### 2.7.2. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, [228])

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (Qualité phytochimique de la fève ou du peuplier, type de bioproduits, paramètres démographiques, etc...), il est préconisé de réaliser une analyse de variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour Analysis Of Variance), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans certains cas, une transformation logarithmique a été nécessaire afin de normaliser cette

distribution. Lorsque plus de 2 modalités interviennent par facteur, nous avons appliqué en outre le test de Tukey qui intervient après l'ANOVA. Il permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités. Dans les cas où aucune transformation ne parvient à normaliser la distribution, une analyse de variance en condition non paramétrique a été effectuée (test de Kruskal-Wallis).

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs biofertilisants et le temps d'exposition aux bioproduits, il suffit de sélectionner explicitement les niveaux de facteurs des deux catégories.

### 2.7.3. Corrélations-régressions (SYSTAT vers. 12, [228])

Lorsque 2 variables quantitatives varient conjointement, on doit mesurer la significativité du coefficient de corrélation. En conditions paramétriques, il s'agit du coefficient  $r$  de Pearson et en conditions non paramétriques, du coefficient rho de Spearman. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les distributions sont en accord avec la normalité et que le coefficient de Pearson est significatif. Pour enlever l'effet d'une variable quantitative  $C$  corrélée à une variable d'intérêt  $V$ , on calcule l'équation de la droite de régression ( $y = ax + b$ ) puis les résidus de cette régression. Ces résidus sont calculés en retranchant les valeurs réelles ( $V_i$ ) de la variable d'intérêt aux valeurs prédites par l'équation de la droite. On a donc : Résidu (i) =  $V_i - (aC_i + b)$ .

### 2.7.4. Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, [227]).

Dans le cas de variables de type présence-absence, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances en composantes principales (A.C.P.) [229]. Dans cette analyse, les réponses phytochimiques de la fève et du peuplier, les variations des paramètres populationnels et démographiques des pucerons étudiés sont groupées selon le type de bioproduits appliqués. A partir des trois premiers axes de l'analyse factorielle, une classification ascendante hiérarchique

des variables est réalisée dans le but de détecter des discontinuités inter-communautés.

#### 2.7.5. Modélisation (PAST vers. 1.37, [227]).

La corrélation entre les mesures quantitatives a été étudiée via l'analyse des coefficients de corrélation (la significativité a été considérée lorsque  $p < 0,05$ ). Pour les variables quantitatives, les moyennes, les écart-types et les coefficients de variation ont été calculés pour tous les caractères mesurés

L'estimation des variations temporelles des pucerons est obtenue en utilisant les formules des régressions multiples. Ces données ont été utilisées aussi pour estimer la variation qui détermine les formules baryométriques obtenues à partir d'équations de régression linéaires simples et multiples. Les formules baryométriques ont été déterminées grâce au logiciel PAST vers. 1.37, en utilisant les méthodes de régression linéaire simple et multiple, pour les différents traitements séparément ensuite pour l'ensemble de la population. Les différentes équations ont été comparées sur la base de leur coefficient de détermination (R).

Régression linéaire simple :  $Y = a + b X$

Régression linéaire multiple :  $Y = a + b X_1 + c X_2 + d X_3 + e X_4 + f X_5$

Où :

Y : Variable dépendante

a : Intercept (valeur de la variable dépendante lorsque la valeur indépendante est égale à zéro)

b, c, d, e, f : coefficient de régression associé à la variable indépendante

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub> : variable indépendante

## CHAPITRE 3 :

### RÉSULTAT

Les résultats relatés dans ce chapitre s'intéressent à la caractérisation et à l'effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost à savoir : le brut non formulé (BNF), fermenté non formulé (FNF), brut formulé (BF) et fermenté formulé (FF), d'une part sur la qualité phytochimique et certains paramètres de croissance et de production de deux plantes modèles la fève (plante à production florale) et le peuplier (plante à production non florale), et d'autre part sur les infestations du puceron noir de la fève *Aphis fabae* et le puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*.

#### 3.1. Caractérisation chimique des différents bioproduits à base de thé de vermicompost

Nous nous sommes intéressés à travers la caractérisation chimique des différents bioproduits à quantifier les molécules et les éléments impliqués dans le phénomène de biofourniture (couverture nutritionnelle et couverture phytosanitaire). L'acide humique (AH) et les éléments minéraux majeurs tel que l'azote (N), le potassium (K) et le phosphore (P) ont été pris comme éléments intervenant dans la nutrition des plantes alors que les polyphénols (POLY) et les flavonoïdes entre autres les C-glycosides (C-GLYCO) et les anthocyanes (ANTHO) ont été pris comme métabolites allélochimiques non protéiques à activité entomotoxique.

##### 3.1.1. Appréciation des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en éléments minéraux majeurs

Dans le souci de vérifier la qualité en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits issus de la vermiculture, nous avons comparé deux à deux les produits bruts et les produits formulés.

La figure (3.1a) montre que le brut non formulé (BNF) dépasse largement en matière d'éléments minéraux majeurs le fermenté non formulé (FNF) (Test  $\chi^2$ ,  $p^{***}$ ). Après la formulation du bioproduit fermenté (FF), nous constatons que la mixture n'a pas

entraîné un important remaniement dans les quantités initiales en éléments minéraux, tandis que la formulation du bioproduit brut (BF) a induit une chute des quantités en éléments minéraux (Fig. 3.1b). A travers les quantités en éléments minéraux quantifiés au niveau des deux bioproduits le Test  $\chi^2$  signale la suprématie du brut formulé par rapport au fermenté formulé ( $p^{***}$ ). La figure (3.1c) montre que la formulation chez le bioproduit fermenté cause une diminution significative (Test  $\chi^2$ ,  $p^{***}$ ) même si les taux des éléments minéraux majeurs sont très infimes. Concernant la formulation du bioproduit brut, cette dernière provoque une réduction importante (Test  $\chi^2$ ,  $p^{***}$ ) des taux des éléments minéraux pouvant aller jusqu'à la moitié des quantités initiales (Fig. 3.1d).

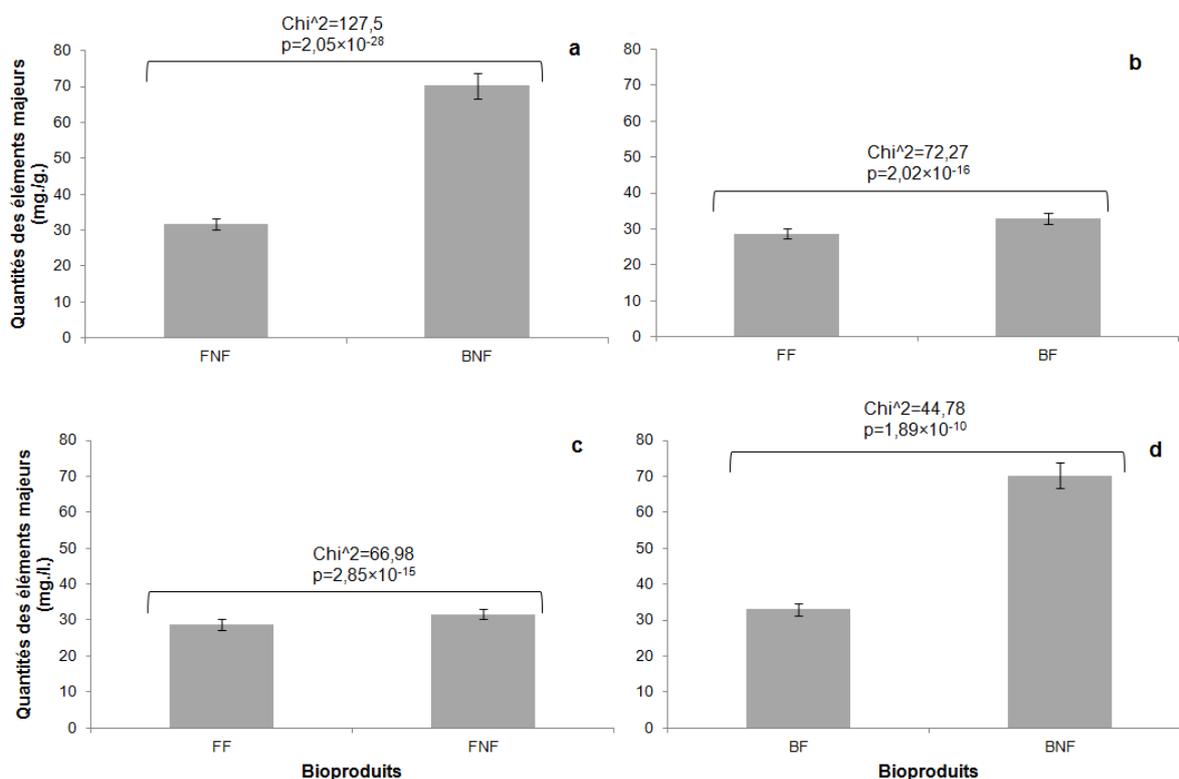


Figure 3.1 : Quantités globales en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits à base de thé de vermicompost

FNF : fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF : fermenté formulé, BF : brut formulé.

La figure (3.2) du ratio en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits à base de jus de lombricompost présente des quantités variables. Pour le potassium (K), on constate une nette dominance quantitative chez le brut non formulé dépassant les 40

mg./l. En revanche les faibles quantités sont signalées respectivement chez le fermenté non formulé, le fermenté formulé et le brut fermenté. Concernant l'azote (N), les quantités sont similaires chez le brut formulé et le brut non formulé suivie du fermenté formulé et le fermenté non formulé. Enfin la quantité du phosphore (P) est la moins importante pour les bioproduits utilisés avec une dominance chez le fermenté non formulé et le brut formulé.

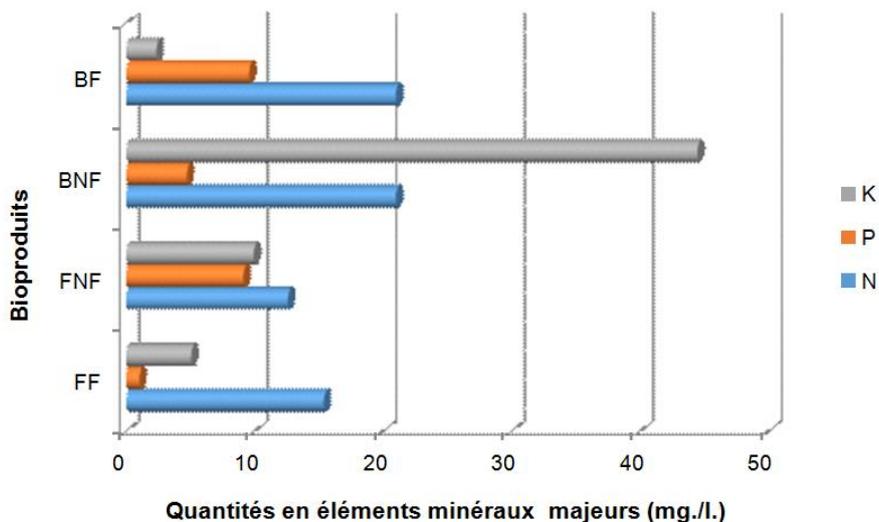


Figure 3.2: Ratio en éléments minéraux majeurs des différents bioproduits à base de thé de vermicompost

**BF** : brut formulé, **BNF** : brut non formulé, **FNF** : fermenté non formulé, **FF** : fermenté formulé,  
**K** : potassium, **P** : phosphore, **N** : azote.

Les ratios des différents minéraux majeurs quantifiés sont confrontés par bioproduit afin d'en dégager les ressemblances en constituants minérales. Le Test Ternaire permet sur la base des quantités obtenues par caractérisation des bioproduits à base du jus de lombricompost de soulever leurs rapprochements constitutifs.

D'après les résultats, la figure (3.3a) fait constater que les deux éléments minéraux majeurs l'azote (N) et le phosphore (P) sont similaires pour les différents bioproduits utilisés d'une part et d'autre part la quantité en potassium (K) est très marquée chez le bioproduit brut non formulé. En ce qui concerne les bioproduits formulés (BF et FF) par rapport au brut non formulé (Fig. 3.3b), nous constatons que l'azote représente l'élément de prédilection des trois bioproduits, alors que le brut formulé et le brut non formulé s'individualisent respectivement en phosphore et en potassium. Les figures

(3.3c et d), indiquent que l'azote persiste l'élément minéral le plus disponible entre les différents bioproduits caractérisés. Néanmoins, le brut non formulé est doté d'une quantité supplémentaire en potassium par rapport au fermenté non formulé.

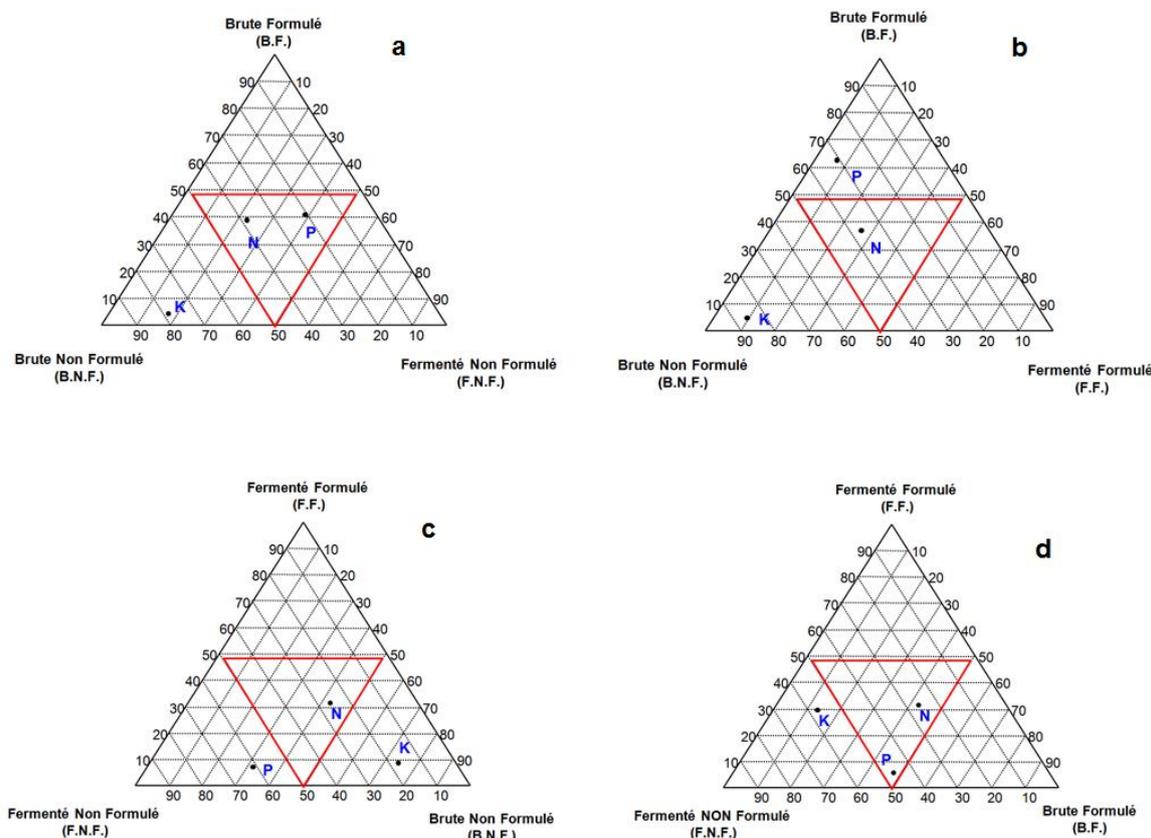


Figure 3.3 : Etude comparée des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en éléments minéraux majeurs

**B.N.F.** : brut non formulé, **B.F.** : brut formulé, **F.N.F.** : fermenté non formulé,  
**F.F.** : fermenté formulé, **K** : potassium, **P** : phosphore, **N** : azote.

### 3.1.2. Appréciation des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en métabolites

La richesse en métabolites des différents bioproduits issus de la vermiculture, a été vérifiée par comparaison des bioproduits bruts et formulés deux à deux.

La figure (3.4a) affiche que le brut non formulé (BNF) dépasse largement en métabolites le fermenté non formulé (FNF) (Test  $\chi^2$ ,  $p^{***}$ ). La figure (3.4b) montre que la formulation du bioproduit fermenté induit une diminution significative (Test  $\chi^2$ ,

p<sup>\*\*\*</sup>) même si les taux des métabolites sont très minimes. Après la formulation du bioproduit fermenté (FF), nous remarquons que le mélange n'a pas affecté la variation des quantités globales initiales en métabolites chez le fermenté non formulé (Fig. 3.4c), alors que la formulation du bioproduit brut (BF) a induit une chute des quantités en métabolites par rapport au brut non formulé (Fig. 3.4d).

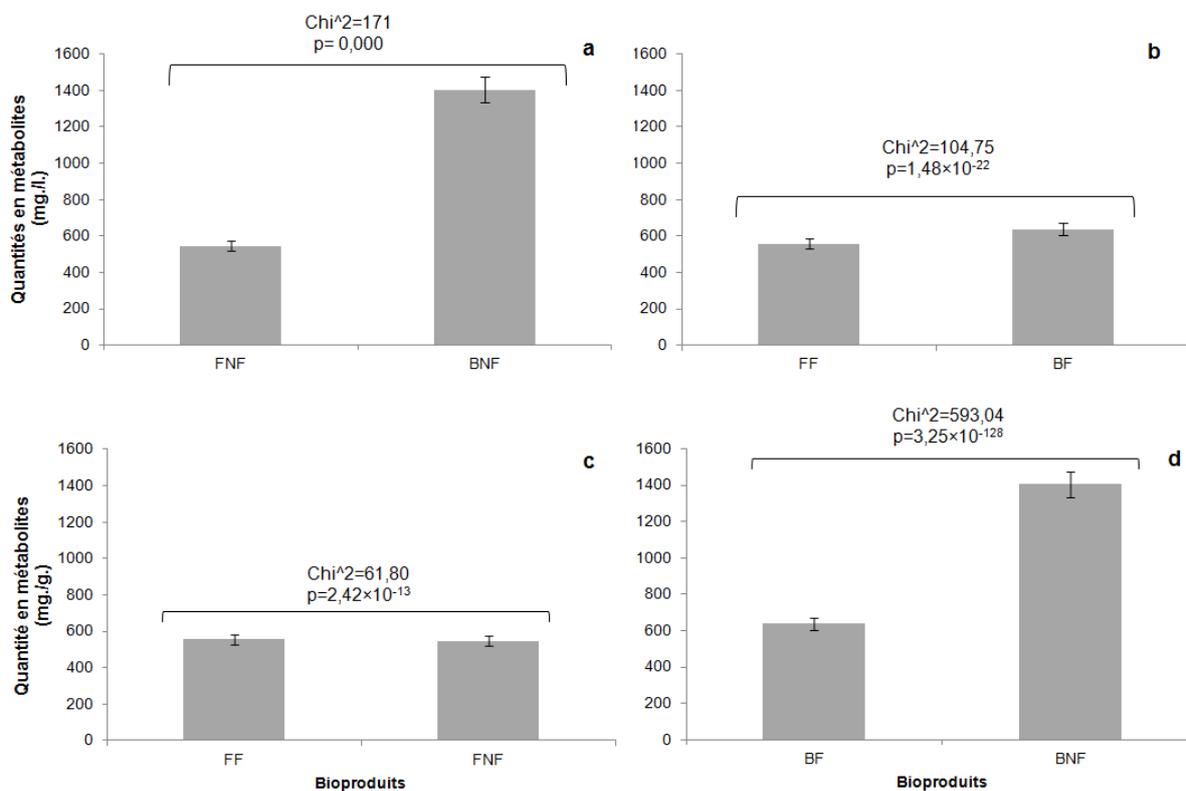


Figure 3.4 : Quantités globales en métabolites des différents bioproduits à base de thé de vermicompost

**BNF** : brut non formulé, **BF** : brut formulé, **FNF** : fermenté non formulé, **FF** : fermenté formulé.

La figure (3.5) montre le ratio en métabolites des différents bioproduits à base de jus de lombricompost. Elle étale une quantification très divergente. À savoir que le métabolite le plus dominant dans les différents bioproduits est l'acide humique (AH) avec des quantités qui dépassent les 400 mg./g. En revanche, le C-glycosides (C-GLYCO) affiche les quantités les plus importantes chez le brut non formulé. Le fermenté formulé, le brut formulé et le fermenté non formulé enregistrent de faibles quantités par comparaison au brut non formulé. Quant aux anthocynes (ANTHO) et aux polyphénols (POLY), les différents bioproduits ne renferment que des quantités très minimes.

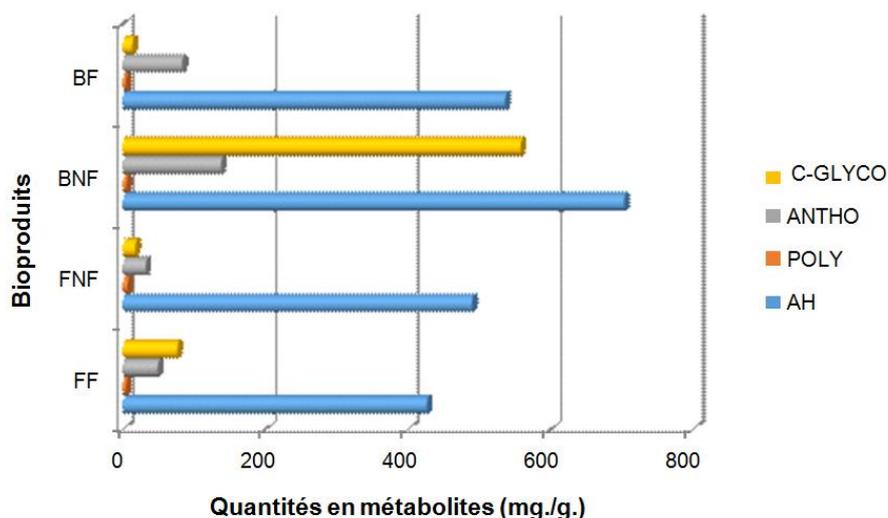


Figure 3.5: Ratio en métabolites des différents bioproduits à base de thé de vermicompost

**BF** : brut formulé, **BNF** : brut non formulé, **FNF** : fermenté non formulé, **FF** : fermenté formulé, **C-GLYCO** : C-glycosides, **ANTHO** : anthocyane, **POLY** : polyphénol, **AH** : acide humique.

La présentation Ternaire révèle que l'ensemble des bioproduits sont riches en polyphénols et en acide humique (Fig. 3.6a, b, c et d). Toutefois, nous constatons que certains bioproduits s'individualisent par des quantités variables d'anthocyanes et de C- glycosides. Il en ressort des comparaisons entre bioproduits que le brut non formulé (BNF) enregistre un supplément quantitatif en anthocyanes et en C- glycosides par rapport aux autres bioproduits (BF, FF et FNF) (Fig. 3.6a, b et c). Chez les bioproduits fermentés comparés au brut fermenté, nous remarquons que la quantité du C- glycosides est importante chez le fermenté formulé alors que le brut formulé présente une quantité importante en anthocyanes (Fig. 3.6d).

### 3.2. Effet des différents bioproduits à base de thé de vermicompost sur la phytochimie des plantes modèles

Dans le but d'estimer la modulation de la qualité phytochimique des plantes modèles (fève et peuplier) sous l'effet des différents bioproduits non formulés et formulés issus de la vermiculture, nous avons comparé le remaniement de certains métabolites, primaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale) et secondaires (proline).

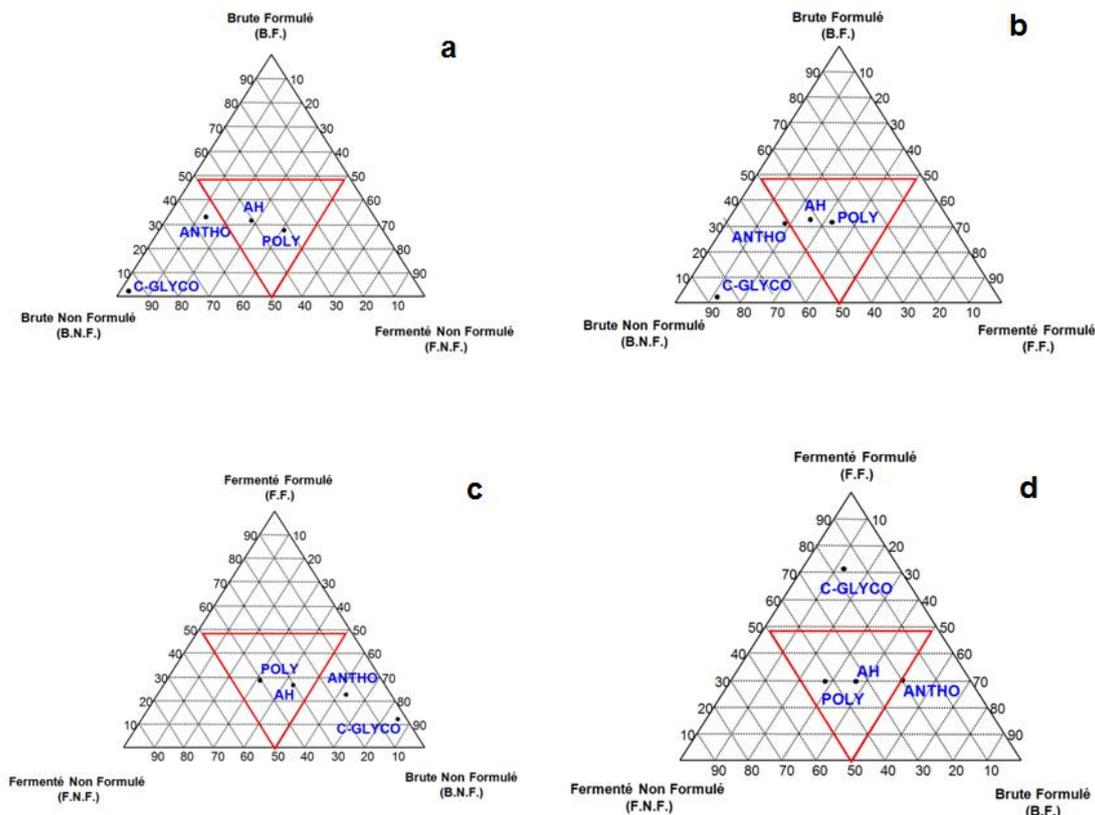


Figure 3.6 : Etude comparée des constituants des différents bioproduits à base de thé de vermicompost en métabolites

**B.N.F.** : brut non formulé, **B.F.** : brut formulé, **F.N.F.** : fermenté non formulé, **F.F.** : fermenté formulé,  
**C-GLYCO** : C-glycosides, **ANTHO** : anthocyanine, **POLY** : polyphénol, **AH** : acide humique.

### 3.2.1. Modulation de la qualité phytochimique de la fève

La culture de la fève a été considérée dans cet aspect en rapport avec son cycle végétatif dans les phénomènes d'induction-initiation florale ainsi que la floraison-nouaison qui sont des phases où la demande en nutriments est élevée. L'évaluation de la fluctuation des profils des métabolites primaires et secondaires sous l'effet des différents bioproduits permet de mieux gérer les phases cruciales du développement de la culture.

#### 3.2.1.1. Cas des bioproduits non formulés

L'analyse en composante principale en groupe (ACP<sub>G</sub>) a été adoptée afin de définir les tendances de la qualité phytochimique de la fève sous l'effet des bioproduits bruts issus de la vermiculture par comparaison à un témoin.

L'analyse multivariée est acceptable du fait que les deux axes présentent un pourcentage de contribution près de 80% (Fig. 3.7).

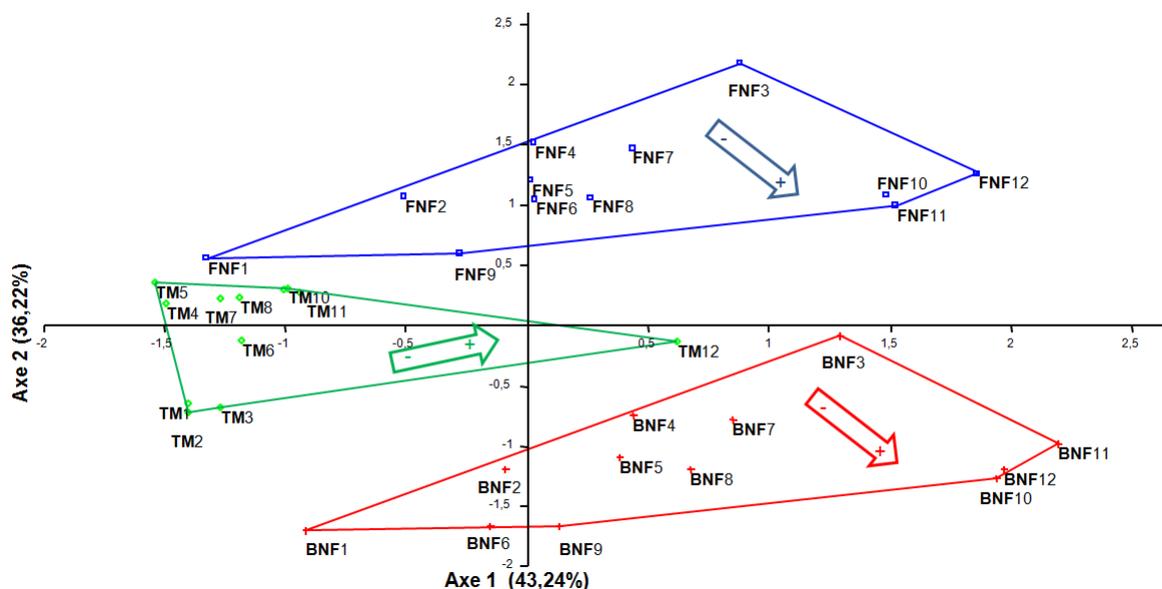


Figure 3.7: Projection des profils phytochimiques de la fève sous l'effet des bioproduits non formulés sur les deux axes de l'ACP en groupe

**BNF** : brut non formulé, **FNF** : fermenté non formulé, **TM** : témoin, **BNF1**: 05/02/2012, **BNF2**: 15/02/2012, **BNF3**: 25/02/2012, **BNF4**: 06/03/2012, **BNF5**: 16/03/2012, **BNF6**: 26/03/2012, **BNF7**: 05/04/2012, **BNF8**: 15/04/2012, **BNF9**: 25/04/2012, **BNF10**: 05/05/2012, **BNF11**: 15/05/2012, **BNF12**: 25/05/2012, **FNF1**: 05/02/2012, **FNF2**: 15/02/2012, **FNF3**: 25/02/2012, **FNF4**: 06/03/2012, **FNF5**: 16/03/2012, **FNF6**: 26/03/2012, **FNF7**: 05/04/2012, **FNF8**: 15/04/2012, **FNF9**: 25/04/2012, **FNF10**: 05/05/2012, **FNF11**: 15/05/2012, **FNF12**: 25/05/2012, **TM1**: 05/02/2012, **TM2**: 15/02/2012, **TM3**: 25/02/2012, **TM4**: 06/03/2012, **TM5**: 16/03/2012, **TM6**: 26/03/2012, **TM7**: 05/04/2012, **TM8**: 15/04/2012, **TM9**: 25/04/2012, **TM10**: 05/05/2012, **TM11**: 15/05/2012, **TM12**: 25/05/2012.

La projection des données relatives aux taux d'accumulation des métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline) sur l'axe 1 (43,24%) permet de constater que les produits fermenté non formulé (FNF) et brut non formulé (BNF) provoquent une gradation d'accumulation en métabolites qui s'intensifient dès le mois de mars (cinquième quinzaine) représentés dans les enveloppes par les initiales FNF5 et BNF5 (Fig. 3.7). La tendance des enveloppes signale le maintien de cette accumulation graduelle en métabolite jusqu'au mois de mai couvrant ainsi les phases de développement à savoir la floraison et la nouaison. Par opposition, les accumulations en métabolites chez le témoin sont précoces et s'expriment durant le laps de temps février- avril (TM1–TM9) ; au-delà de cette période

les taux des métabolites subissent une diminution apparente vers le mois d'avril. Ainsi l'enveloppe du témoin représentative des accumulations en métabolites primaires et secondaires parait couvrir la phase de floraison et ne peut atteindre la phase de nouaison. La projection des métabolites sur l'axe 2 (36,22%) permet d'observer que les profils des taux d'accumulation réagissent d'une manière différente sous l'effet du brut non formulé (BNF) et du fermenté non formulé (FNF) (Fig. 3.7).

L'analyse de la variance type G.L.M., a été adoptée dans cette étude dans le but de vérifier la réaction des profils des taux d'accumulation des métabolites primaires et secondaires sous l'effet du brut non formulé (BNF) et du fermenté non formulé (FNF). Les résultats en métabolites (Fig. 3.8) prouvent clairement l'existence de différence très significative entre les quantités accumulées sous l'effet des différents bioproduits non formulés et le témoin (Test G.L.M.,  $p^{***}$ ). Globalement, le même test montre que les taux accumulés sont en faveur des plantules traitées par le fermenté non formulé. Les quantités métaboliques qui se manifestent suite à l'application du brut non formulé ne divergent pas trop de celles obtenues sous l'effet du fermenté non formulé. Enfin, les taux enregistrés chez le témoin présentent des écarts quantitatifs très importants par comparaison au bioproduits non formulés (Fig. 3.8).

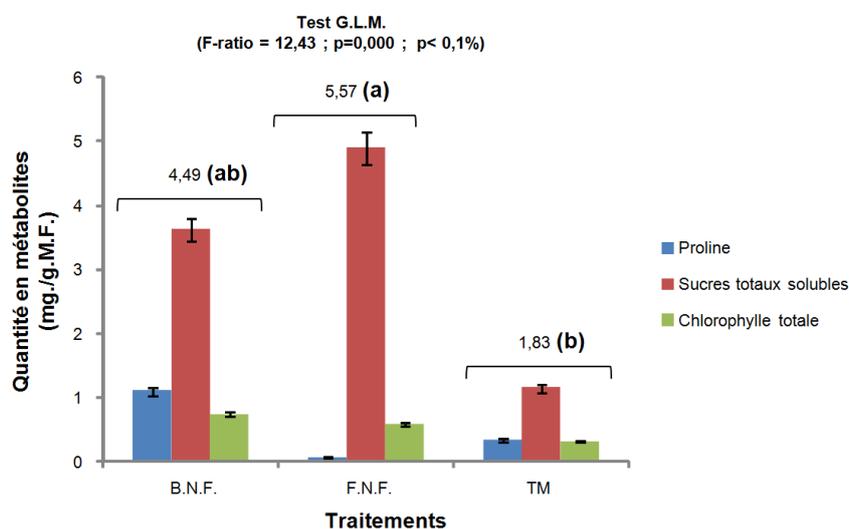


Figure 3.8: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur la variation des métabolites de la fève  
 B.N.F. : brut non formulé, F.N.F. : fermenté non formulé, TM : témoin.

Afin d'expliquer la variation des différents constituants en métabolites de la fève sous l'effet des bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost, nous avons établi

une analyse statistique par Ternaire qui nous permet de comparer quantitativement ces derniers. Pour cela, nous pouvons remarquer que la chlorophylle totale présente une quantification similaire entre les différents bioproduits utilisés par rapport à la proline et aux sucres totaux solubles, dont le brut non formulé affiche une richesse en proline tandis que le fermenté non formulé présente une dominance en sucres totaux solubles (Fig. 3.9).

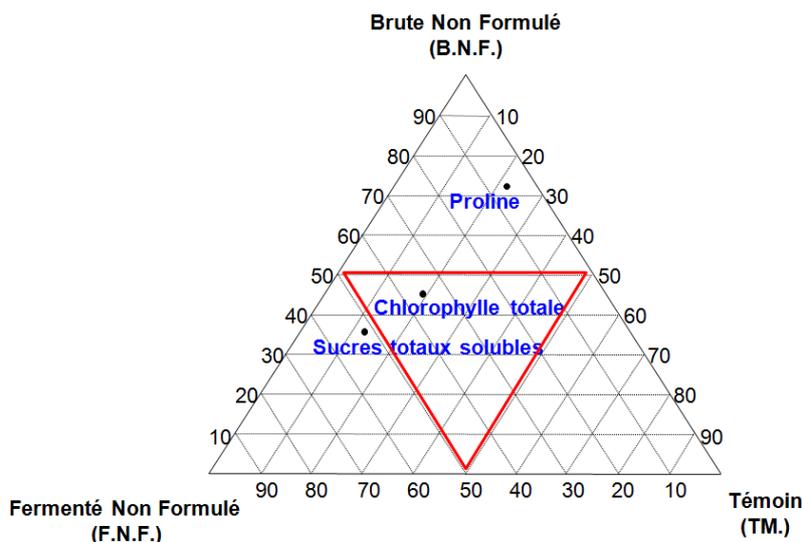


Figure 3.9: Etude comparée des constituants foliaires de la fève sous l'effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost

**B.N.F.** : brut non formulé, **F.N.F.** : fermenté non formulé, **TM.** : témoin.

Le graphe de la figure (3.10) illustre l'effet des différents bioproduits non formulés à base de jus de lombricompost sur la quantité de proline de la fève. Globalement, le test de G.L.M montre la présence d'une différence très significative en matière d'accumulation de la proline entre les différents traitements. Les boîtes à moustache (BoxPlot) désignent que le bioproduit brut non formulé (BNF), entraîne l'accumulation la plus importante en proline. En revanche, les quantités en proline disponibles chez le témoin présentent une infime variation quantitative par rapport à celle accumulée sous l'effet du fermenté non formulé. Le Test de Tukey confirme la divergence des quantités accumulées en proline en groupes homogènes (Fig. 3.10). Les médianes calculées indiquent pour l'ensemble des traitements que la proportion en proline est en faveur des fortes valeurs accumulées.

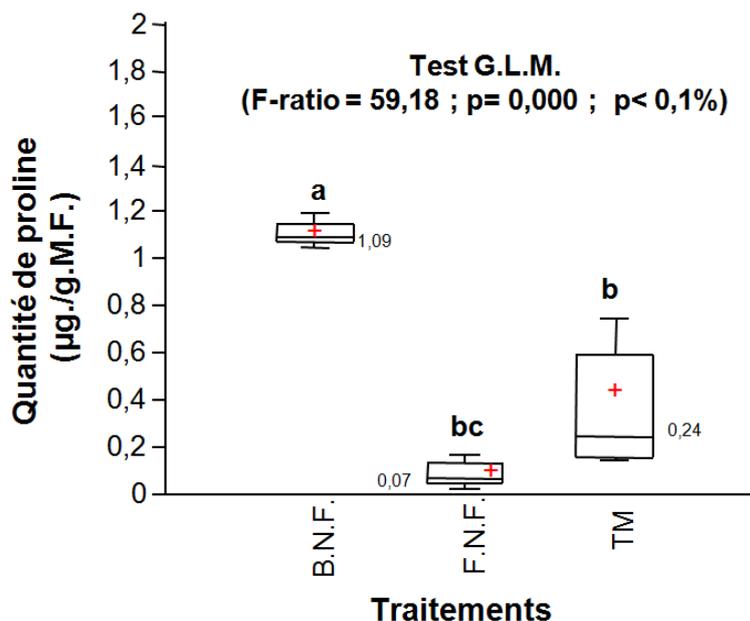


Figure 3.10: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation de proline de la fève

**B.N.F.** : brut non formulé, **F.N.F.**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Les profils de la proline chez les plantes soumises aux différents traitements présentent une accumulation temporelle très significative (Test One way Anova ;  $F=157,8$  ;  $p=1,28 \times 10^{-17}$ ,  $p < 0,01\%$ ). Sous l'effet du brut non formulé, les plantules de la fève engagent des accumulations très importantes en proline ( $1,2 \mu\text{g/g.M.F.}$ ) dès la 1<sup>ère</sup> quinzaine de l'apport du bioproduit. La proline maintient son expression à des taux assez importants ( $1-1,2 \mu\text{g/g.M.F.}$ ) dès la 3<sup>ème</sup> quinzaine jusqu'à la fin du cycle. Sous l'effet du fermenté non formulé, bien que les taux soient très réduits ( $< 0,2 \mu\text{g/g.M.F.}$ ) les accumulations paraissent fluctuer durant les trois premières quinzaines. En revanche chez le témoin, la proline affiche des taux modérés ( $0,2-0,8 \mu\text{g/g.M.F.}$ ) accumulés essentiellement durant les trois premières quinzaines ; au-delà de cette tranche temporelle, nous assistons à une chute drastique de la proline (Fig. 3.11).

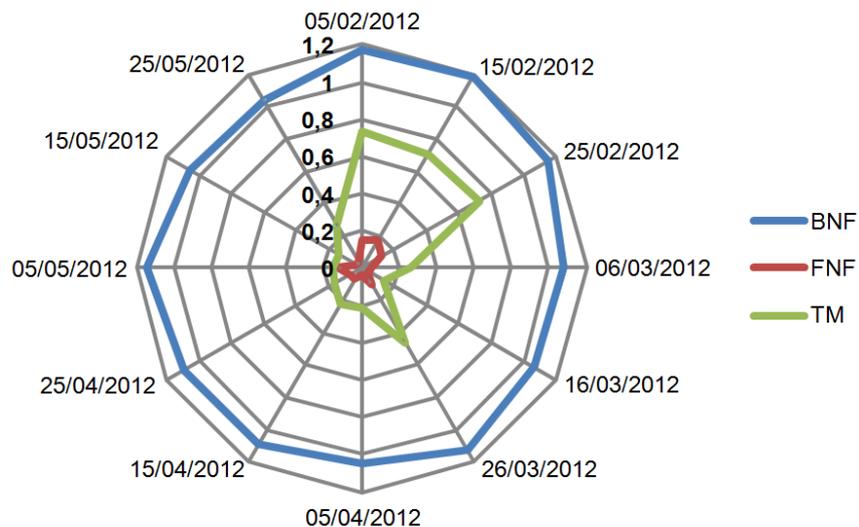


Figure 3.11: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de proline de la fève

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Le résultat de l'analyse de la variance montre que la quantité en sucres totaux solubles présente une différence très significative sous l'effet des différents bioproduits non formulés par rapport au témoin (Fig. 3.12).

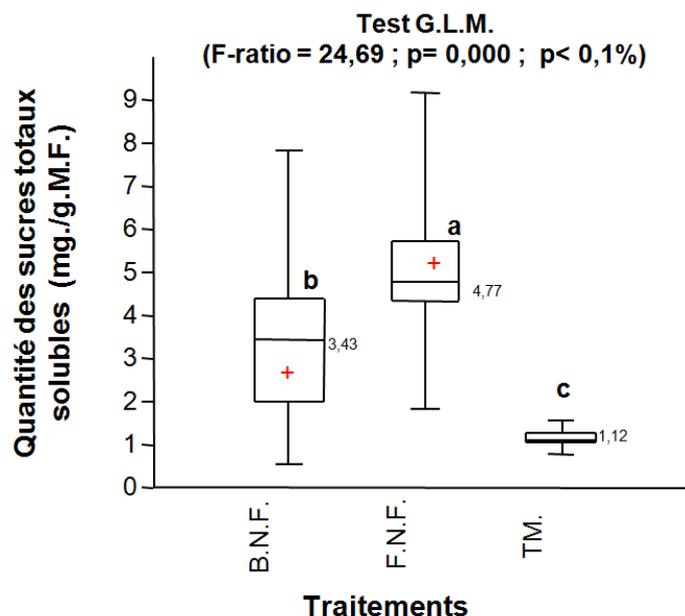


Figure 3.12: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur la quantité en sucres totaux solubles de la fève

**B.N.F.** : brut non formulé, **F.N.F.**: fermenté non formulé, **T.M.** : témoin.

En se basant sur le Test Tukey, nous estimons que le fermenté non formulé joue un rôle important dans l'élévation des sucres totaux solubles avec des proportions majeures très représentatives (Box Plot majoré). En revanche, le brut non formulé conduit à des accumulations moins importantes que celles signalées chez le fermenté non formulé avec des proportions minimales (Box Plot minoré) (Fig. 3.12).

L'accumulation temporelle des sucres totaux solubles chez les plantes soumises aux différents traitements présentent une différence très significative (Test One way Anova ;  $F= 16,77$  ;  $p= 9,45 \times 10^{-6}$ ,  $p < 0,01\%$ ). Le fermenté non formulé et le brut non formulé, mènent à des pics d'accumulation temporels caractérisés par une gradation descendante dont les quantités sont comprises entre (4 -11 mg/g.M.F.). Nous signalons que malgré l'installation de cette gradation descendante, les quantités de sucres totaux solubles accumulées dépassent de loin celles enregistrées chez le témoin (Fig. 3.13).

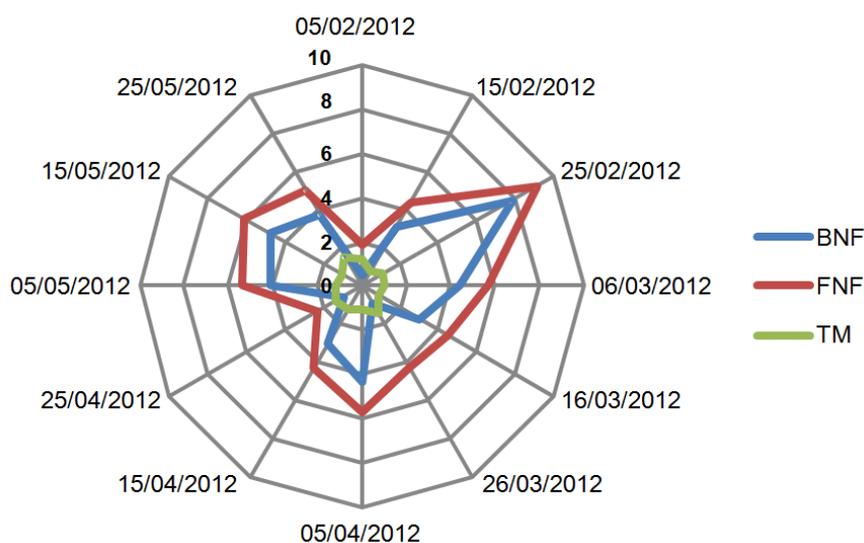


Figure 3.13: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles de la fève

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Le résultat de l'analyse de la variance montre que la quantité en chlorophylle totale présente une différence caractérisée sous l'effet des différents bioproduits non formulés par rapport au témoin ( $F= 74,33$  ;  $p= 0,000$  ;  $p < 0,1\%$ ) (Fig. 3.14).

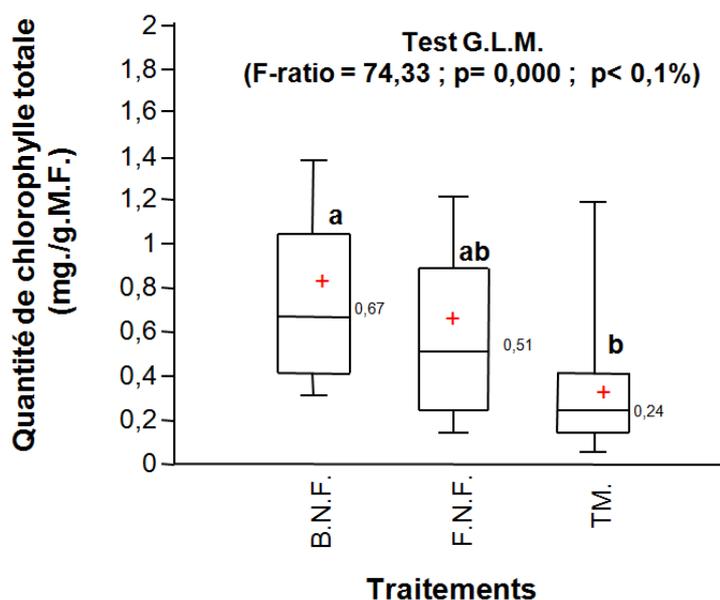


Figure 3.14: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur la quantité de chlorophylle totale de la fève

**B.N.F.** : brut non formulé, **F.N.F.**: fermenté non formulé, **T.M.** : témoin.

Le fermenté non formulé et le brut non formulé jouent un rôle important dans la synthèse de la chlorophylle totale. Le Test de Tukey confirme que la quantité enregistrée sous le brut non formulé dépasse légèrement celle du fermenté non formulé dont les proportions majeures sont très représentatives (Box Plot majoré). Cependant, les valeurs des médianes dévoilent que la proportion en chlorophylle totale produite reste minime par comparaison aux autres métabolites (Fig. 3.14).

La fluctuation temporelle des quantités de la chlorophylle totale signale la présence d'une différence significative (Test One way Anova ; F=4,262 ; p=0,0225, p< 5%) (Fig. 3.15). Les plantes soumises aux différents traitements font constater que les accumulations en chlorophylle totale s'initient pareillement dès la troisième quinzaine de l'apport du bioproduit (0,2 - 0,4 mg/g.M.F.) pour atteindre les plus hauts niveaux (1 - 1,4 mg/g.M.F.) vers la fin du cycle (neuvième quinzaine de l'apport du bioproduit).

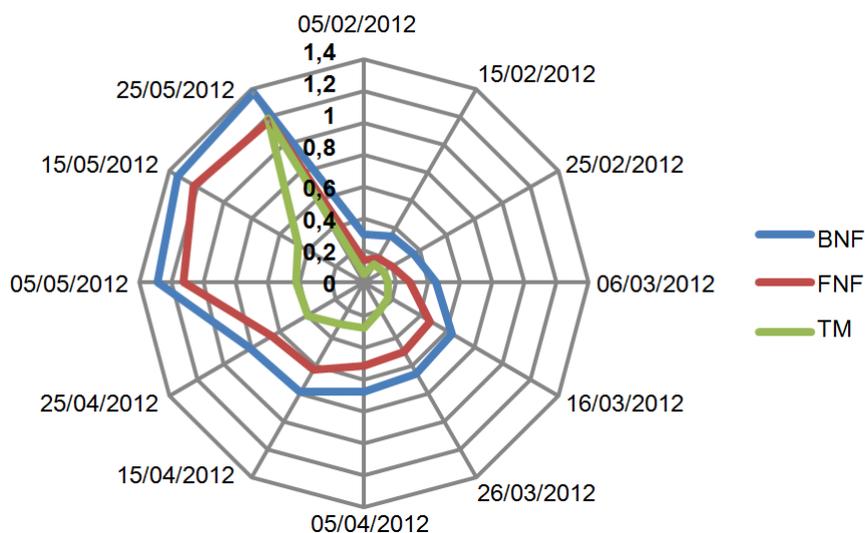


Figure 3.15: Effet des différents bioproduits non formulés à base de thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin

### 3.2.1.2. Cas des bioproduits formulés

L'analyse en composante principale en groupe (ACP<sub>G</sub>) est satisfaisante du moment où les deux axes de projection des données dépassent largement 80% en termes de pourcentage de contribution (Fig. 3.16).

Nous avons préféré discuter l'effet des différents bioproduits formulés sur la capacité d'accumulation des métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline) en se limitant à la projection des données uniquement sur l'axe1 puisqu'il représente le fort taux de contribution (73,92%).

Les enveloppes obtenues par l'analyse multivariée permettent de signaler que les taux d'accumulation enregistrés après la formulation des bioproduits à base du thé de vermicompost (fermenté formulé FF et brut formulé BF) se rapprochent des taux obtenus par application du produit homologué (bioproduit à base d'algue marine enrichie).

La tendance des enveloppes signale que l'apport des bioproduits formulés entraîne des accumulations en gradation ascendante à partir de la sixième décade. Les côtes des enveloppes des bioproduits formulés comparés au témoin précisent que le laps

temporel 8<sup>ème</sup> - 12<sup>ème</sup> décade montre les capacités de synthèse les plus performantes (Fig. 3.16).

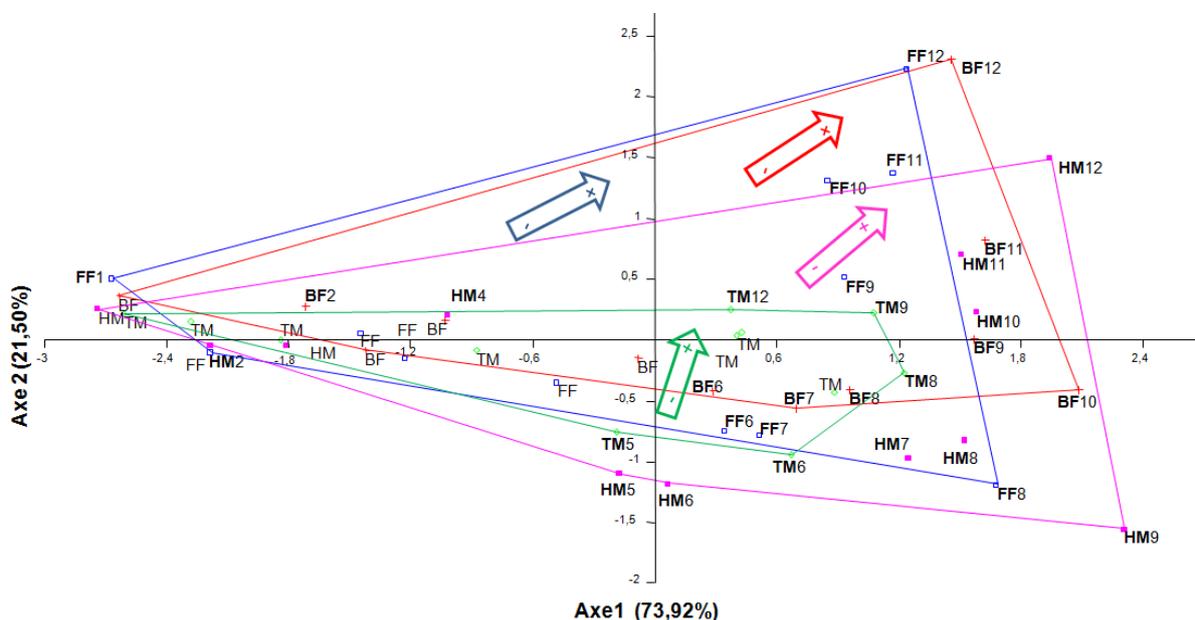


Figure 3.16: Projection des profils phytochimiques de la fève sous l'effet des bioproduits formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes

FF: fermenté formulé, TM : témoin, HM : produit homologué, FF1: 05/02/2012, FF2: 15/02/2012, FF3: 25/02/2012, FF4: 06/03/2012, FF5: 16/03/2012, FF6: 26/03/2012, FF7: 05/04/2012, FF8: 15/04/2012, FF9: 25/04/2012, FF10: 05/05/2012, FF11: 15/05/2012, FF12: 25/05/2012, TM1 : 05/02/2012, TM2 : 15/02/2012, TM3: 25/02/2012, TM4: 06/03/2012, TM5: 16/03/2012, TM6: 26/03/2012, TM7: 05/04/2012, TM8: 15/04/2012, TM9: 25/04/2012, TM10: 05/05/2012, TM11: 15/05/2012, TM12: 25/05/2012, HM1: 05/02/2012, HM2: 15/02/2012, HM3: 25/02/2012, HM4: 06/03/2012, HM5: 16/03/2012, HM6: 26/03/2012, HM7: 05/04/2012, HM8: 15/04/2012, HM9: 25/04/2012, HM10: 05/05/2012, HM11: 15/05/2012, HM12: 25/05/2012.

La variation des taux d'accumulation des métabolites primaires et secondaires sous l'effet du brut formulé (BF), du fermenté formulé (FF), du produit homologué (HM) a été vérifiée par une analyse de la variance (type G.L.M.). Le résultat de l'analyse nous montre la présence d'une différence significative entre les quantités accumulées sous l'effet des différents bioproduits formulés et le témoin (Fig. 3.17). Globalement, la figure exprime que le taux global des métabolites accumulés est en faveur des plantules traitées par le produit homologué (HM) secondé par le brut formulé (BF), alors que le fermenté formulé (FF) ne diverge pas trop des quantités accumulées chez le témoin (TM). Spécifiquement, sous l'effet des différents traitements la proline et les sucres totaux solubles s'expriment en quantités très importantes par rapport à la chlorophylle. Toutefois, les augmentations les plus apparentes sont en faveur de la proline.

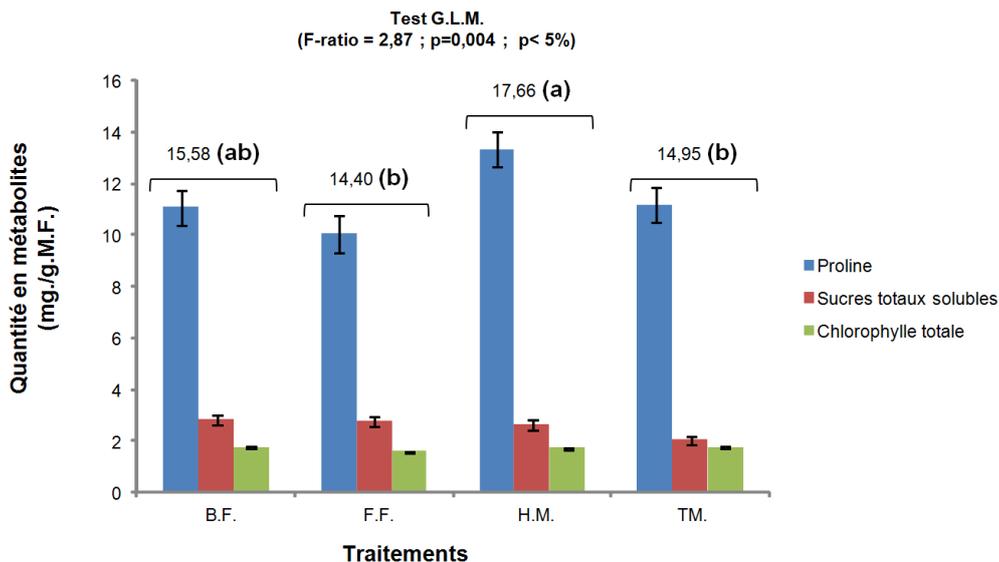


Figure 3.17: Effet des différents bioproduits formulés sur la variation des métabolites de la fève

B.F. : brut formulé, F.F. : fermenté formulé, H.M. : produit homologué, TM : témoin.

L'analyse Ternaire explique les ratios en métabolites primaires et secondaires de la fève sous l'effet des bioproduits formulés. En référence au triangle de comparaison, la tendance des bioproduits formulés à base du thé de vermicompost exprime un avantage en sucres totaux solubles à la faveur du brut formulé (Fig. 3.18a). En revanche, le bioproduit à base d'algues marines (HM) domine sensiblement les bioproduits formulés à base du thé de vermicompost (BF, FF) en matière de proline (Fig. 3.18b).

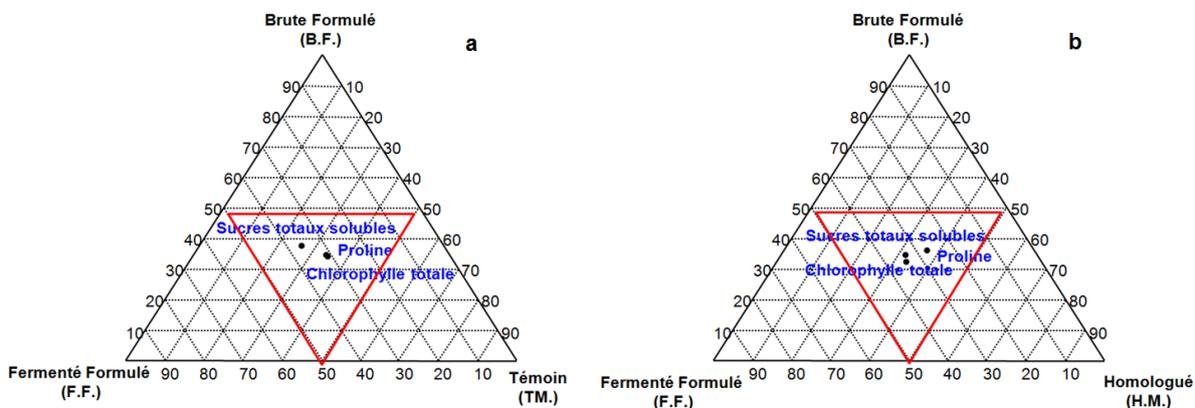


Figure 3.18: Etude comparée des constituants foliaires de la fève sous l'effet des différents bioproduits formulés

B.F. : brut formulé, F.F.: fermenté formulé, H.M. : produit homologué, TM : témoin.

Le résultat de l'analyse de la variance montre que l'accumulation en proline présente une différence significative sous l'effet des différents bioproduits formulés ( $F= 7,15$  ;  $p= 0,005$  ;  $p < 0,5$ ) (Fig. 3.19). Le fermenté formulé présente une accumulation importante en proline qui lui a permis d'occuper le groupe homogène (a), secondé par le brut formulé qui induit une production en proline très proche de celle du fermenté formulé. De ce fait, il se range dans un groupe homogène intermédiaire (ab). Sur la base des médianes calculées, ces derniers se rapprochent du troisième quartile (Q3), d'où les proportions accumulées sont minimales. Par comparaison au brut formulé et au produit homologué, le fermenté formulé s'ajuste au témoin en matière d'accumulation de la proline (groupe homogène b) ; néanmoins la valeur de la médiane signalée chez le fermenté formulé se rapproche du premier quartile (Q1) d'où les proportions accumulées sont majorées.

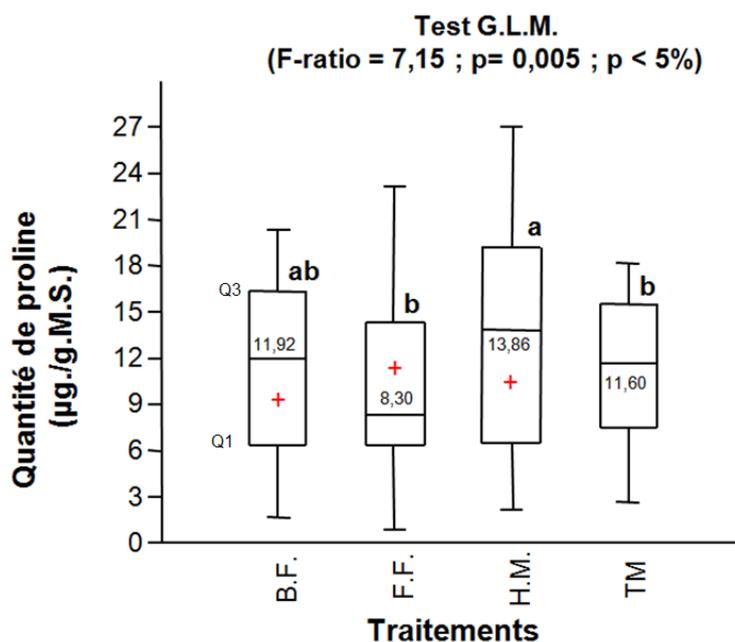


Figure 3.19: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation de proline de la fève

**B.F.** : brut formulé, **F.F.** : fermenté formulé, **H.M.** : produit homologué, **TM.** : témoin.

La figure (3.20) montre que le profil de la proline chez les plantes soumises aux différents traitements présentent une accumulation temporelle significative (Test One way Anova ;  $F=1,51$  ;  $p=0,0258$ ,  $p < 5$  %). La même figure note que les différents bioproduits formulés s'accrochent avec le témoin pour donner les mêmes dispositions en termes d'accumulation de la proline durant les cinq premières décades qui ont suivi

l'apport des traitements (5-15  $\mu\text{g/g.M.F.}$ ) ; au-delà de cette période le produit homologué (à base d'algues marine) se détache des autres traitements et signale des proportions d'accumulations en proline assez importante (15-30  $\mu\text{g/g.M.F.}$ ) qui se maintient jusqu'à la neuvième décade. Cependant, les bioproduits formulés à base de thé de vermicompost manifestent leurs premières augmentations entre la cinquième et la septième décade (15-20  $\mu\text{g/g.M.F.}$ ), de telle sorte que le fermenté formulé engage un pique d'accumulation en proline atteignant les 25  $\mu\text{g/g.M.F.}$  alors que le brut formulé n'engage son pique d'accumulation en proline que tardivement vers la dixième décade avec un taux moins important qui touche 20  $\mu\text{g/g.M.F.}$ .

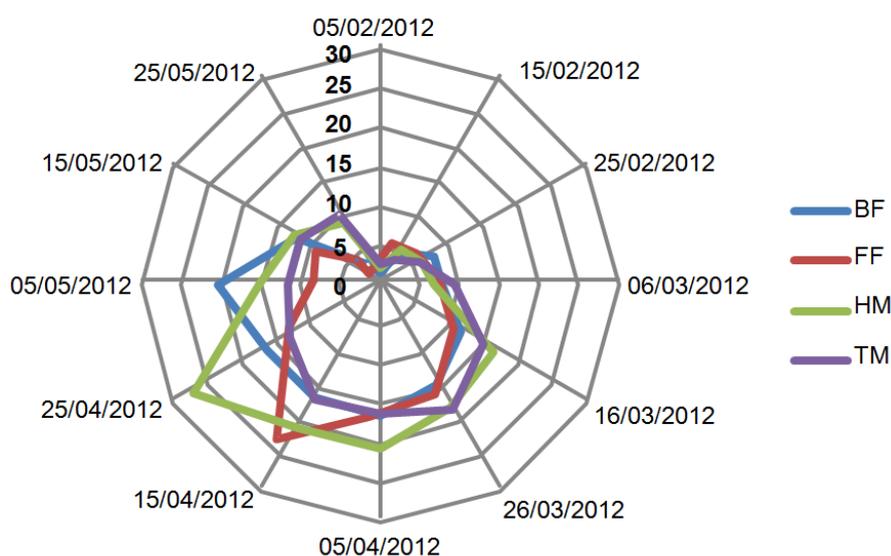


Figure 3.20: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la proline de la fève

**BF** : brut formulé, **FF** : fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

L'analyse de la variance note que les sucres totaux solubles s'accumulent significativement ( $F= 12,57$  ;  $p= 0,01$  ;  $p < 0,5$ ) (Fig. 3.21). Le Test de Tukey confirme la divergence des quantités accumulées en sucre totaux solubles d'où la présence des groupes homogènes. Le produit homologué et les bioproduits formulés à base du thé de vermicompost présentent une accumulation importante en sucres totaux solubles d'où leur désignation au niveau du groupe homogène (a) par comparaison au témoin qui se place dans le groupe homogène (b). En référence aux valeurs des médianes calculées, ces dernières se rapprochent du premier quartile (Q1) d'où les proportions accumulées sont majorées.

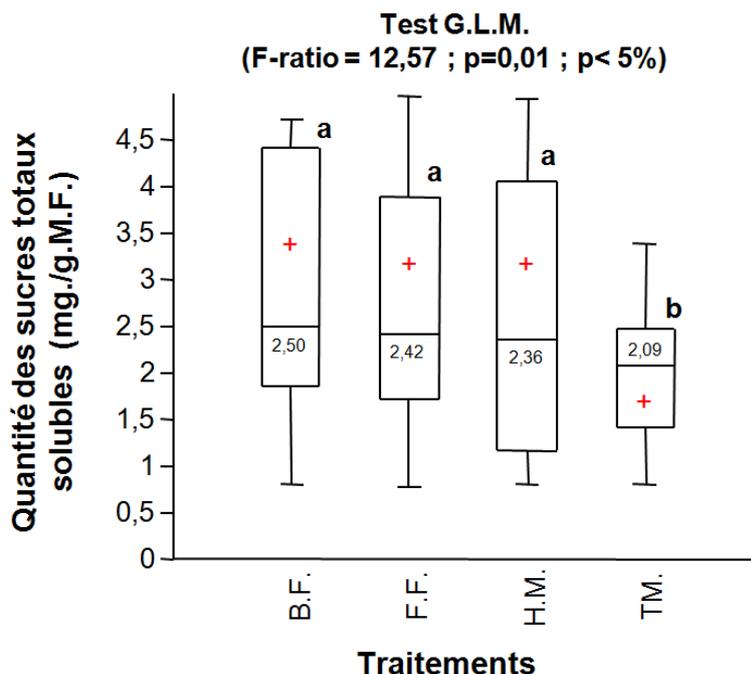


Figure 3.21: Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité des sucres totaux solubles de la fève

**B.F.** : brut formulé, **F.F.** : fermenté formulé, **H.M.** : produit homologué, **T.M.** : témoin.

Le Test One way Anova affirme la signification de l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles ( $F=2,64$  ;  $p=0,049$ ,  $p< 5\%$ ). La figure ci-après note que les différents bioproduits formulés s'accordent avec le témoin pour produire les mêmes taux en sucres totaux solubles durant la neuvième décade qui a suivi l'application des traitements (1-4 mg/g.M.F.) ; au-delà de cette période le produit homologué (à base d'algue marine) et les bioproduits formulés à base du thé de vermicompost signalent des proportions d'accumulations assez importantes (4-5 mg/g.M.F.) qui se maintiennent jusqu'à la fin de l'étude (Fig. 3.22).

Le résultat de l'analyse de la variance montre que l'accumulation en chlorophylle totale présente une différence non significative sous l'effet des différents bioproduits par rapport au témoin ( $F= 2,92$  ;  $p= 0,061$  ;  $p> 5\%$ ). Le graphique de la boîte à moustache affiche que les quantités accumulées en chlorophylle totale se situent dans l'intervalle du premier et troisième quartile ( $Q1=1$ ,  $Q3=2,50$ ) (Fig. 3.23). Par référence aux valeurs des médianes, le même graphique signale que les proportions en chlorophylle totale sont minimales.

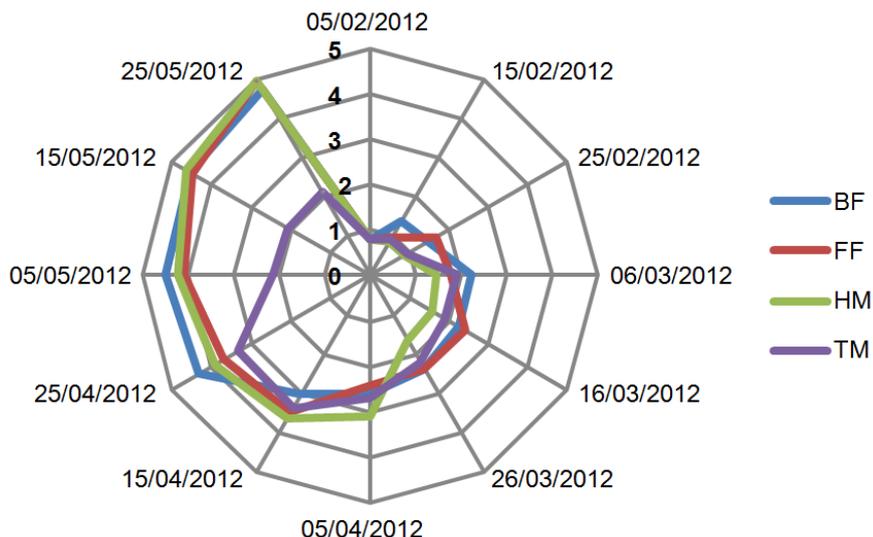


Figure 3.22: Effet des différents bioproduits formulés sur l’accumulation temporelle des sucres totaux solubles de la fève

BF : brut formulé, FF: fermenté formulé, HM : produit homologué, TM : témoin.

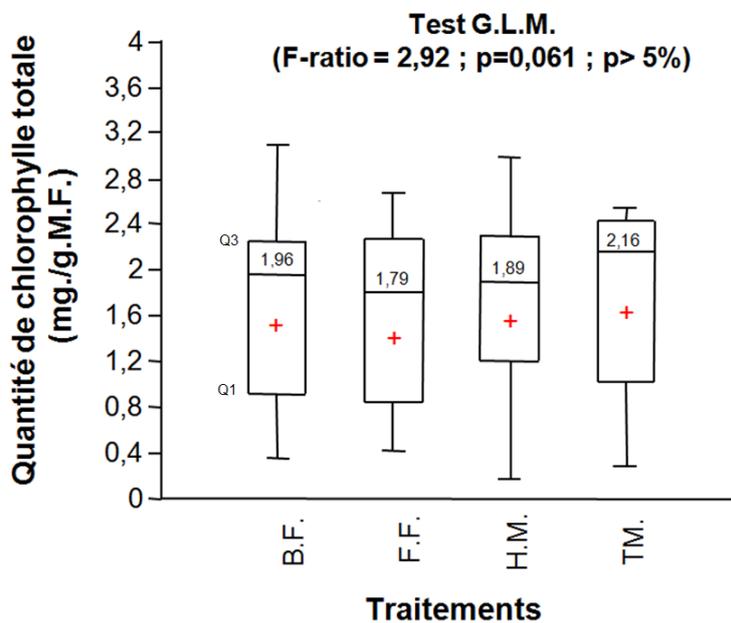


Figure 3.23: Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité de la chlorophylle totale de la fève

B.F. : brut formulé, F.F. : fermenté formulé, H.M. : produit homologué, T.M. : témoin.

L'accumulation temporelle de la chlorophylle totale chez les plantes soumises aux différents traitements ne présente pas de différence significative (Test One way Anova ;  $F=0,33$  ;  $p=0,79$  ;  $p >5\%$ ). Cependant, le rythme d'accumulation se trouve identique chez les traités et le témoin (Fig. 3.24). Les premières augmentations en chlorophylle totale sont signalées dès la première décade (0,5 – 1 mg/g.M.F.). la gradation positive de l'accumulation de la chlorophylle totale s'étale sur tout le cycle pour atteindre un maximum vers la douzième décade (2,5 – 3 mg/g.M.F.).

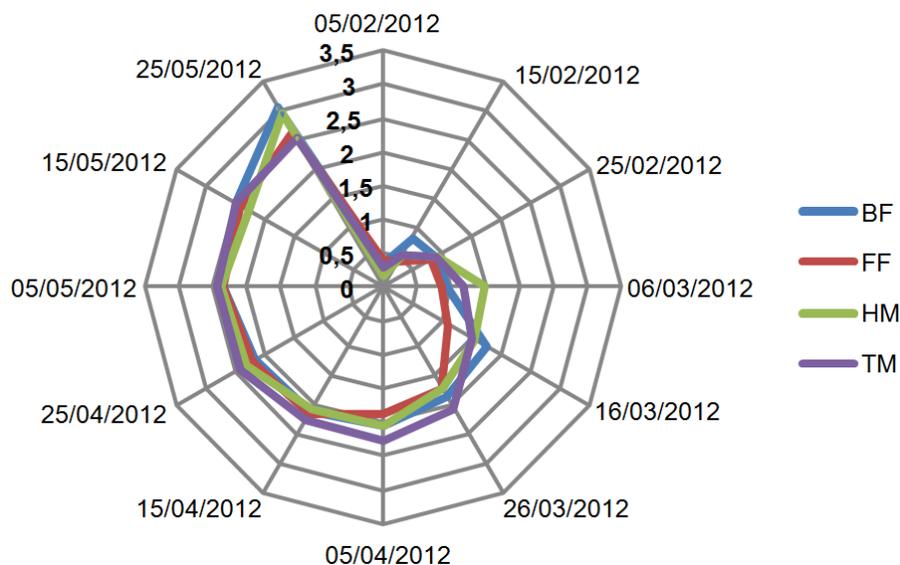


Figure 3.24: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève

**BF** : brut formulé, **FF**: fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

### 3.2.2. Modulation de la qualité phytochimique du peuplier noir

#### 3.2.2.1. Cas des bioproduits non formulés

L'analyse multivariée est acceptable du faite que les deux axes présentent un pourcentage de contribution qui dépasse largement les 80% (Fig. 3.25).

Par considération au fort pourcentage de contribution de l'axe 1 (90,68%), nous estimons que l'information disponible sur cet axe nous permet de visualiser l'effet des bioproduits non formulés sur la capacité d'accumulation des métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline).

La disparité de la disposition des enveloppes permet d'avancer que les essences traitées accumulent les métabolites d'une manière différente par rapport au témoin. Si les essences témoins accusent un laps de temps très important dans la synthèse des métabolites (4<sup>ème</sup> décade) celles qui ont reçu le traitement par les bioproduits mettent moins de temps pour avoir les mêmes accumulations du départ (une à deux décades). Des quantités très importantes de métabolites sont synthétisées chez le brut non formulé et le fermenté non formulé dès la 5<sup>ème</sup> décade, alors que chez les témoins des quantités moins importantes sont enregistrées et s'accumulent tardivement vers la 8<sup>ème</sup> décade.

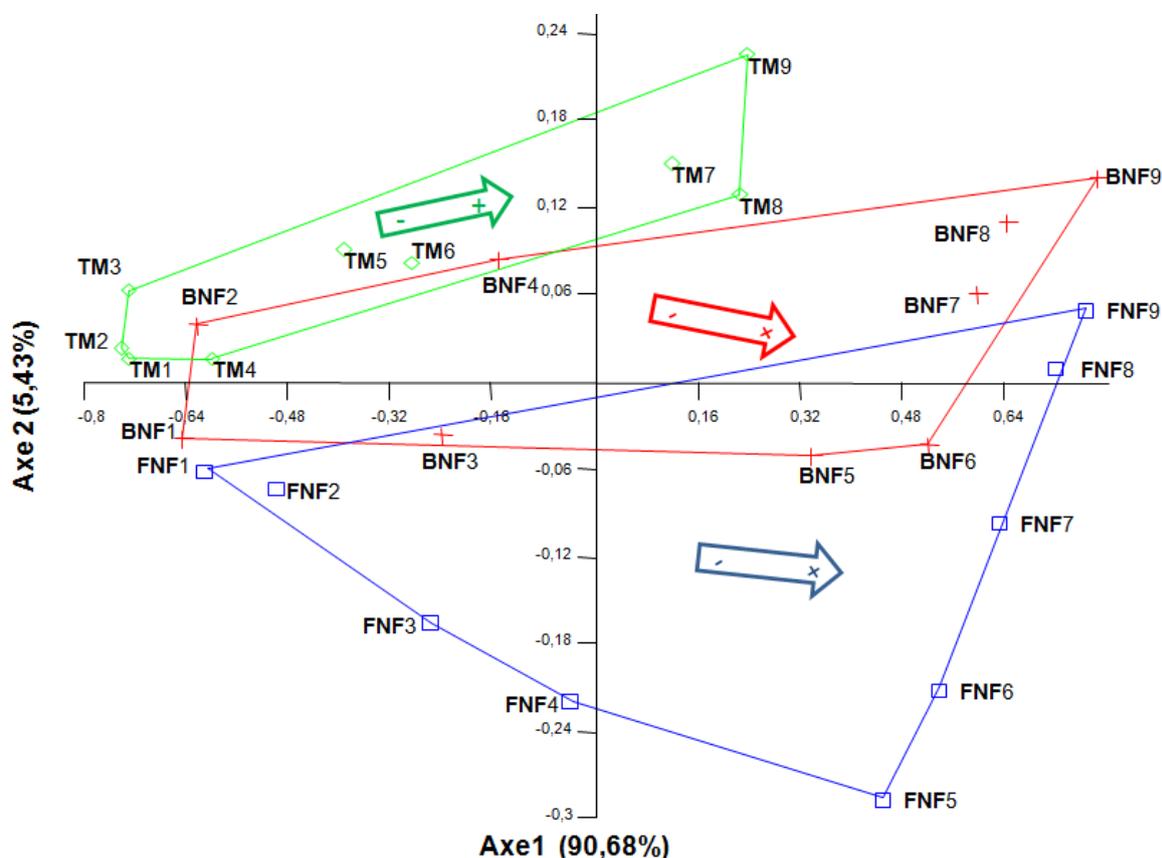


Figure 3.25: Projection des profils phytochimiques du peuplier noir sous l'effet des bioproduits non formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin, **BNF1**: 10/03/2013, **BNF2**: 25/03/2013, **BNF3**: 10/04/2013, **BNF4**: 25/04/2013, **BNF5**: 15/05/2013, **BNF6**: 30/05/2013, **BNF7**: 15/06/2013, **BNF8**: 30/06/2013, **BNF9**: 15/07/2013, **FNF1**: 10/03/2013, **FNF2**: 25/03/2013, **FNF3**: 10/04/2013, **FNF4**: 25/04/2013, **FNF5**: 15/05/2013, **FNF6**: 30/05/2013, **FNF7**: 15/06/2013, **FNF8**: 30/06/2013, **FNF9**: 15/07/2013, **TM1**: 10/03/2013, **TM2**: 25/03/2013, **TM3**: 10/04/2013, **TM4**: 25/04/2013, **TM5**: 15/05/2013, **TM6**: 30/05/2013, **TM7**: 15/06/2013, **TM8**: 30/06/2013, **TM9**: 15/07/2013.

Par analogie aux effets des traitements sur l'accumulation globale en métabolite, l'analyse de la variance présente une différence très importante (Fig. 3.26). A travers le Test de Tukey, les taux globaux accumulés sont en faveur des essences traitées par le brut non formulé et le fermenté non formulé (groupe homogène a) par rapport au témoin (groupe homogène b). Au niveau de l'ensemble des essences, les sucres totaux affichent les quantités les plus importantes toujours avec un excès pour les essences traitées par les bioproduits à base du thé de vermicompost par rapport au témoin. Il apparaît également que le brut non formulé accumule plus de proline par rapport aux autres.

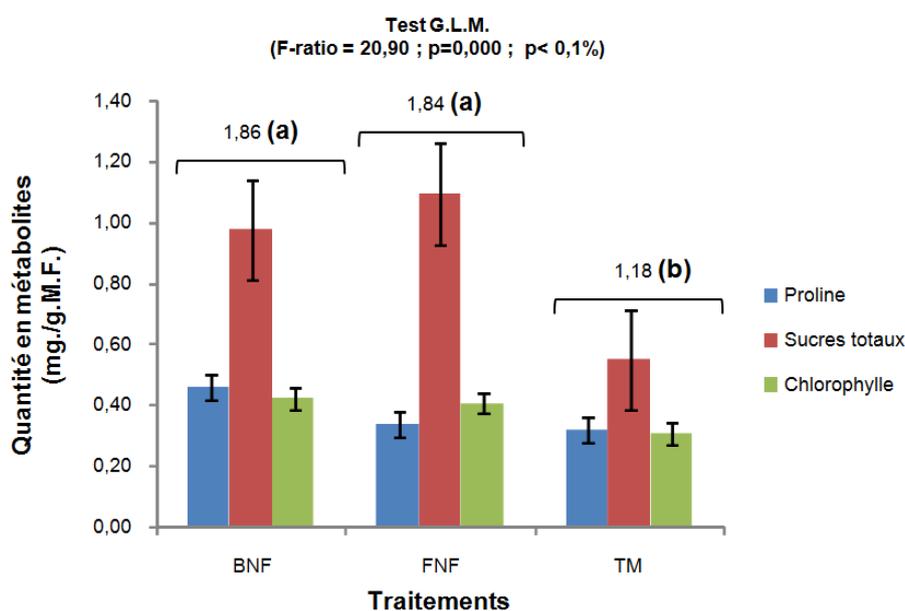


Figure 3.26: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la variation des métabolites du peuplier noir

**BNF** : brut non formulé, **FNF** : fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Le Ternaire nous a permis de comparer quantitativement les métabolites du peuplier noir sous l'effet des bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost. Pour cela, nous pouvons remarquer que les deux bioproduits non formulés affichent une richesse en sucres totaux solubles et en proline par rapport au témoin. Tandis que, la chlorophylle totale présente une quantité supérieure chez le témoin par rapport aux différents bioproduits non formulés (Fig. 3.27).

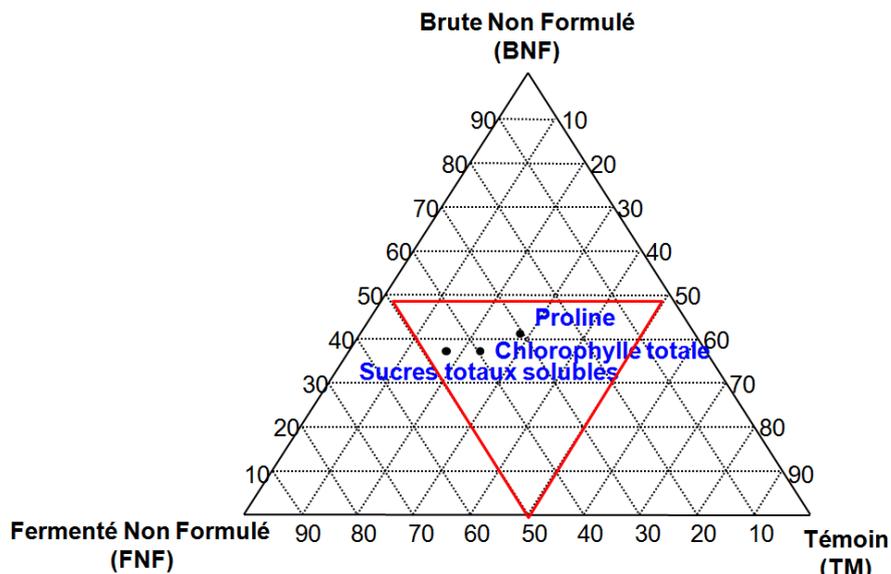


Figure 3.27: Etude comparée des constituants foliaires du peuplier noir sous l'effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM**: témoin.

Le graphe de la figure (3.28) illustre l'effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la quantité de proline du peuplier noir. Globalement, le test de G.L.M montre la présence d'une différence capitale en matière d'accumulation de la proline entre les différents traitements. Les boîtes à moustache montrent que le bioproduit brut non formulé (BNF), entraîne l'accumulation la plus importante en proline (groupe homogène a). En revanche, les quantités en proline disponibles chez le fermenté non formulé (FNF) présentent les plus faibles quantités (groupe homogène c). Cependant, le témoin se rapproche du brut non formulé en quantités maximales accumulées (groupe homogène b).

Selon les médianes, le traitement avec le brut non formulé même si les proportions en proline sont minorants, maintient toujours son hégémonie. Chez témoin, la médiane se rapproche du premier quartile (Q1) et par conséquent la majorité des quantités accumulées en proline sont importantes (Fig. 3.28).

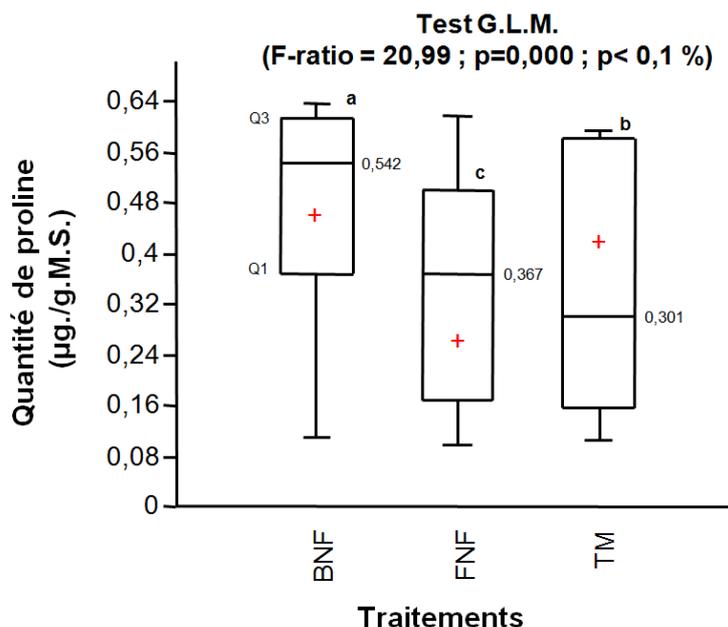


Figure 3.28: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation de proline du peuplier noir

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

L'accumulation temporelle de la proline chez les essences de peuplier noir présentent une différence marginalement significative (Test One way Anova ;  $F=2,73$  ;  $p=0,096$  ,  $p > 5\%$ ). Sous l'effet du brut non formulé, les essences du peuplier noir engagent des accumulations en constance augmentation à partir de la 1<sup>ère</sup> quinzaine avec un taux de  $0,1 \mu\text{g/g.M.F.}$ , pour atteindre les taux de  $0,4-0,5 \mu\text{g/g.M.F.}$  vers la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> quinzaine. Les taux maximaux de l'ordre de  $0,6 \mu\text{g/g.M.F.}$  sont signalés dès la 5<sup>ème</sup> quinzaine et ce maintiennent jusqu'à la maturation des feuilles. Cependant, le fermenté non formulé se joint au témoin en matière d'accumulation de proline durant les quatres premières quainzaines avec des taux variants entre  $0,1- 0,4 \mu\text{g/g.M.F.}$  À partir de la 5<sup>ème</sup> quinzaine et au-delà, nous assistons à des fluctuations d'accumulation tantôt au profit du fermenté non formulé, tantôt au témoin. Néanmoins, les quantités les plus importantes ( $0,6 \mu\text{g/g.M.F.}$ ) se maintiennent jusqu'à maturation du feuillage chez le témoin (Fig. 3.29).

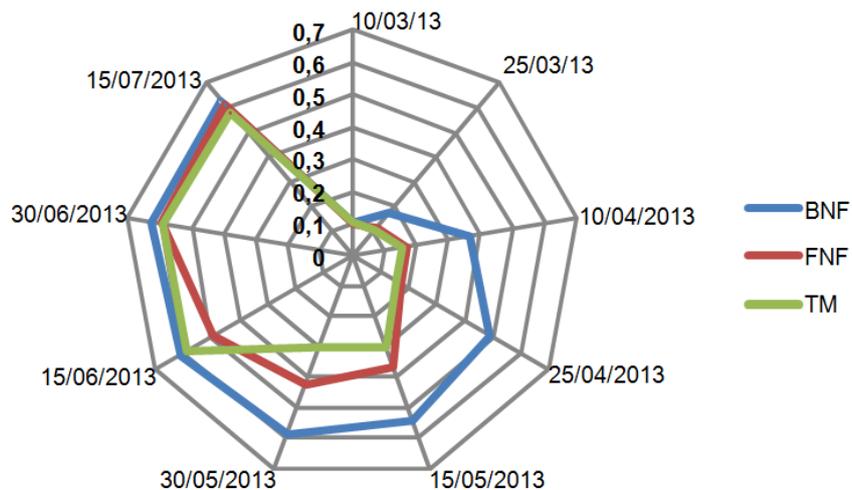


Figure 3.29: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de proline du peuplier noir

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Le résultat de l'analyse de la variance montre que les quantités accumulées en sucres totaux solubles sous l'effet des différents bioproduits non formulés par rapport au témoin présentent une différence significative (Fig. 3.30).

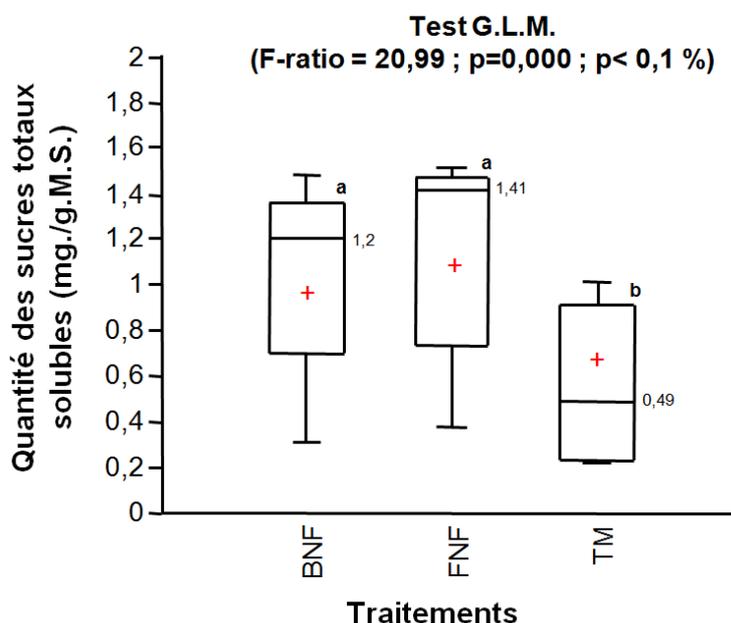


Figure 3.30: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la quantité en sucres totaux solubles du peuplier noir

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

Le Test de Tukey donne les meilleures quantités à part égale pour le brut non formulé et le fermenté non formulé (groupe homogène a), et recale les valeurs enregistrées chez le témoin (groupe homogène b). Les bioproduits n'engagent pas de très grande accumulation en sucres totaux solubles du fait que les médianes enregistrées affichent des proportions minimales (Fig. 3.30).

Les sucres totaux solubles sont accumulés temporairement chez les essences du peuplier noir d'une manière différente (Test One way Anova ;  $F= 4,079$  ;  $p=0,029$  ;  $p < 5 \%$ ) (Fig 3.31). Le fermenté non formulé et le brut non formulé, considèrent l'accumulation temporelle par un accroissement ascendant de la 1<sup>ère</sup> quinzaine jusqu'à la 4<sup>ème</sup> quinzaine dont les quantités sont comprises entre 0,5 - 1,5 mg/g.M.F. Par la suite, nous enregistrons une stagnation des quantités allant jusqu'à la fin d'expansion foliaire. Concernant le témoin, l'accroissement d'accumulation ne s'intensifie qu'à partir de la 6<sup>ème</sup> quinzaine pour un taux de l'ordre de 1mg/g.M.F.

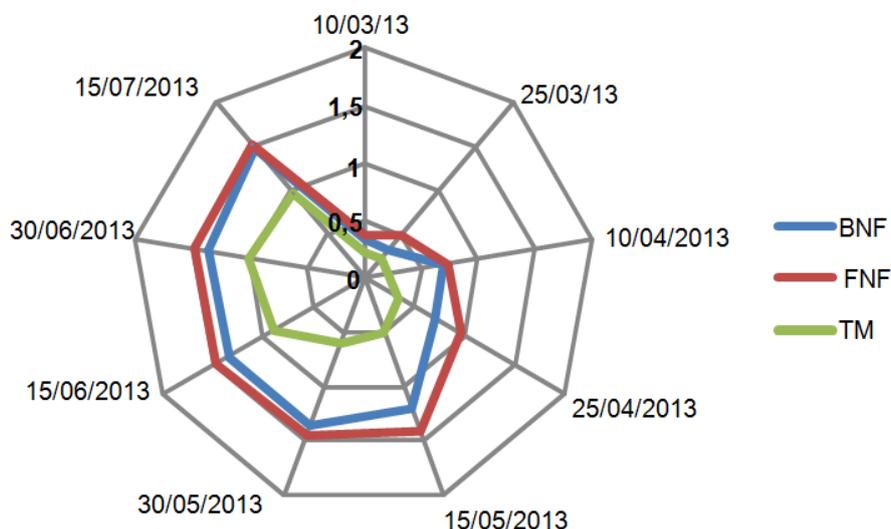


Figure 3.31: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles du peuplier noir

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

L'accumulation de la chlorophylle totale est très différente au niveau des feuilles du peuplier noir ( $F= 20,99$  ;  $p= 0,000$  ;  $p< 0,1\%$ ) (Fig. 3.32). En référence aux groupes homogènes obtenus par le biais du Test de Tukey, nous signalons une gradation négative de la synthèse de la chlorophylle totale. Le brut non formulé est plus concentré par cette dernière ; il est suivi immédiatement par le fermenté non formulé par comparaison au témoin. Cependant, les valeurs des médianes dévoilent que la proportion en chlorophylle totale produite est maximale au niveau des trois unités expérimentales par comparaison aux autres métabolites.

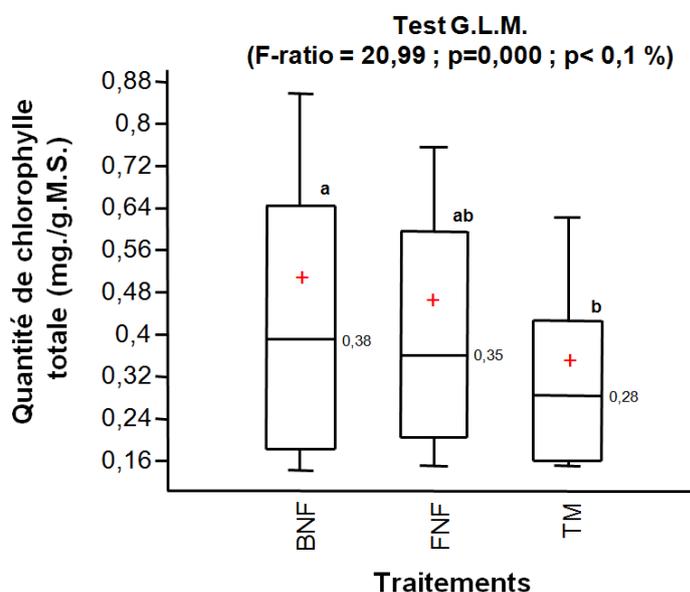


Figure 3.32: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur la quantité de chlorophylle totale du peuplier noir

BNF : brut non formulé, FNF: fermenté non formulé, TM : témoin.

La chlorophylle totale s'accumule temporellement d'une manière marginale significative (Test One way Anova ;  $F=4,617$  ;  $p=0,061$ ,  $p> 5\%$ ) (Fig. 3.33). Nous constatons que les profils temporels de synthèse de la chlorophylle totale présente la même allure au niveau des différents traitements. Il ressort que les maximums d'accumulations sont signalés dès la 6<sup>ème</sup> quinzaine (0,6 - 1 mg/g.M.F.) chez le brut non formulé et le fermenté non formulé ; tandis que le témoin, accumule moins pendant le même laps de temps (0,4 – 0,6 mg/g.M.F.).

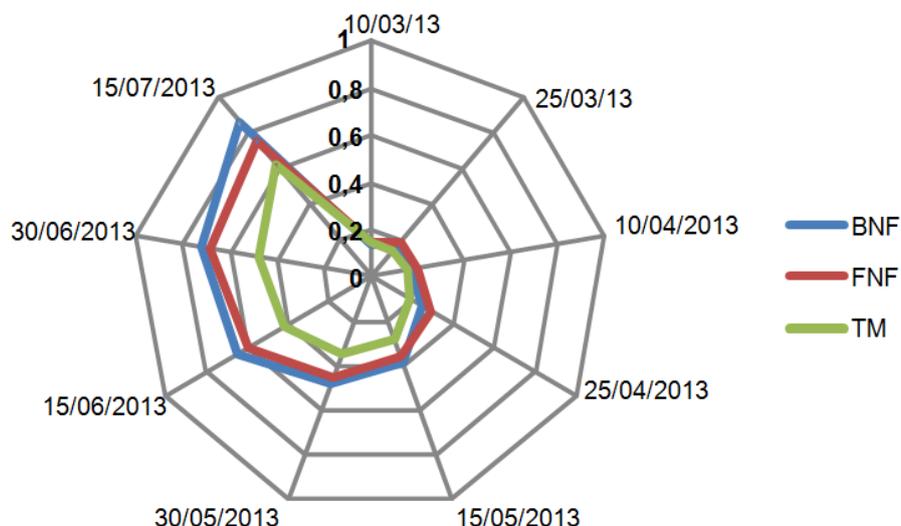


Figure 3.33: Effet des différents bioproduits non formulés à base du thé de vermicompost sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale de la fève

**BNF** : brut non formulé, **FNF**: fermenté non formulé, **TM** : témoin.

### 3.2.2.2. Cas des bioproduits formulés

L'analyse multivariée est acceptable du fait que les deux axes présentent un pourcentage de contribution qui dépasse largement les 80% (Fig. 3.34).

Du fait que la principale information est disponible par projection des quantités en métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline) sur l'axe 1 (76,97%), nous constatons que la formulation permet d'enrichir les feuilles du peuplier plus que les feuilles témoin. Les enveloppes représentant la cinétique d'accumulation des métabolites se trouvent très rapprochées entre les bioproduits formulés à base du jus de lombricompost et le produit homologué à base des algues marines qui se distinguent nettement de l'enveloppe représentant la cinétique d'accumulation des métabolites chez le témoin. Bien que la divergence soit très apparente entre les traités et le témoin, la synthèse des métabolites adopte la même tendance et affiche une augmentation précoce dès la 4<sup>ème</sup> quinzaine et se maintient jusqu'à la fin d'expansion foliaire.

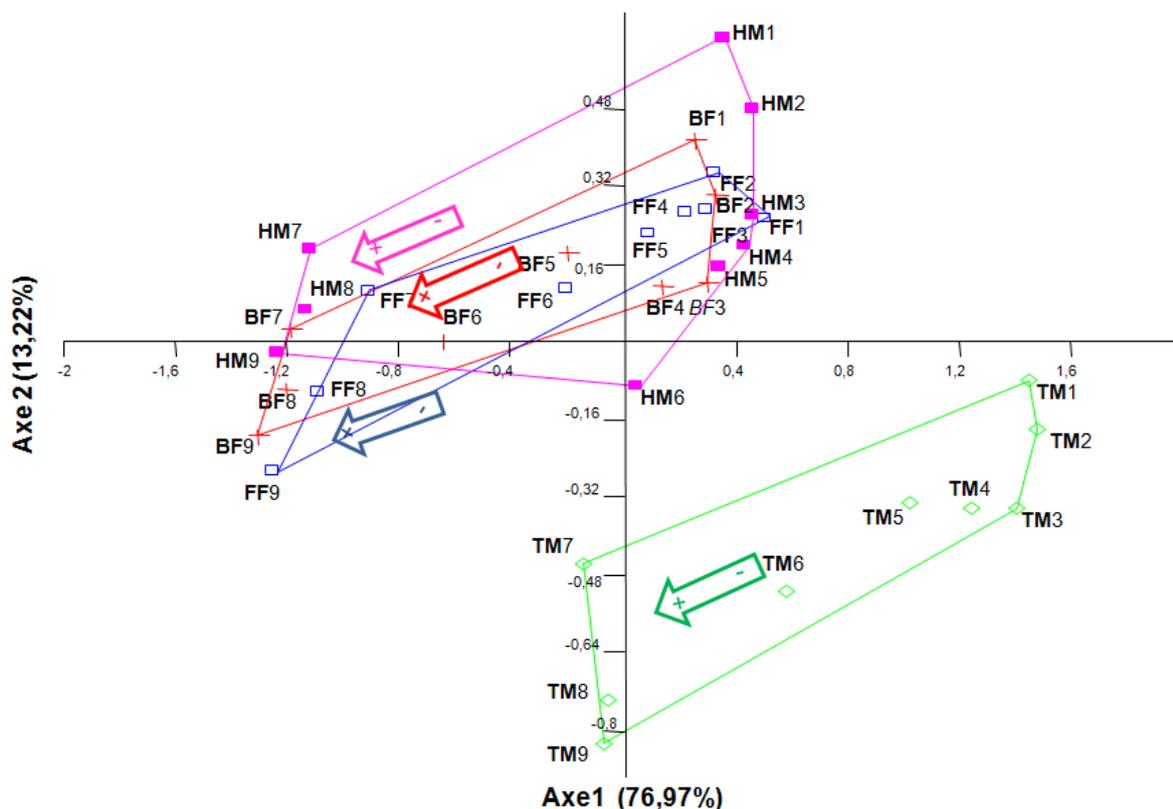


Figure 3.34: Projection des profils phytochimiques du peuplier noir sous l'effet des bioproduits formulés sur les deux axes de l'ACP en groupes

**BF** : brut non formulé, **FF** : fermenté formulé, **TM** : témoin, **HM** : produit homologué, **BF1**: 10/03/2013, **BF2**: 25/03/2013, **BF3**: 10/04/2013, **BF4**: 25/04/2013, **BF5**: 15/05/2013, **BF6**: 30/05/2013, **BF7**: 15/06/2013, **BF8**: 30/06/2013, **BF9**: 15/07/2013, **FF1**: 10/03/2013, **FF2**: 25/03/2013, **FF3**: 10/04/2013, **FF4**: 25/04/2013, **FF5**: 15/05/2013, **FF6**: 30/05/2013, **FF7**: 15/06/2013, **FF8**: 30/06/2013, **FF9**: 15/07/2013, **TM1** : 10/03/2013, **TM2** : 25/03/2013, **TM3**: 10/04/2013, **TM4**: 25/04/2013, **TM5**: 15/05/2013, **TM6**: 30/05/2013, **TM7**: 15/06/2013, **TM8**: 30/06/2013, **TM9**: 15/07/2013, **HM1**: 10/03/2013, **HM2**: 25/03/2013, **HM3**: 10/04/2013, **HM4**: 25/04/2013, **HM5**: 15/05/2013, **HM6**: 30/05/2013, **HM7**: 15/06/2013, **HM8**: 30/06/2013, **HM9**: 15/07/2013.

Le capital en métabolites quantifié au niveau des feuilles du peuplier sous l'effet des différents bioproduits formulés par rapport au témoin exhibe une différence très significative (Test G.L.M.,  $p^{***}$ ) (Fig. 3.35). En fonction des quantités enregistrées, le Test de Tukey range l'expression métabolique des produits formulés dans le même groupe homogène (a) et affecte l'expression métabolique du témoin dans un groupe homogène différent (b). Les quantités métaboliques qui se manifestent au niveau des différentes unités expérimentales s'expriment en faveur d'une accumulation accrue des sucres totaux solubles. Des écarts quantitatifs très apparents se manifestent pour la proline chez les traités par rapport au témoin. Enfin, le même constat est signalé pour la chlorophylle totale avec un taux réduit.

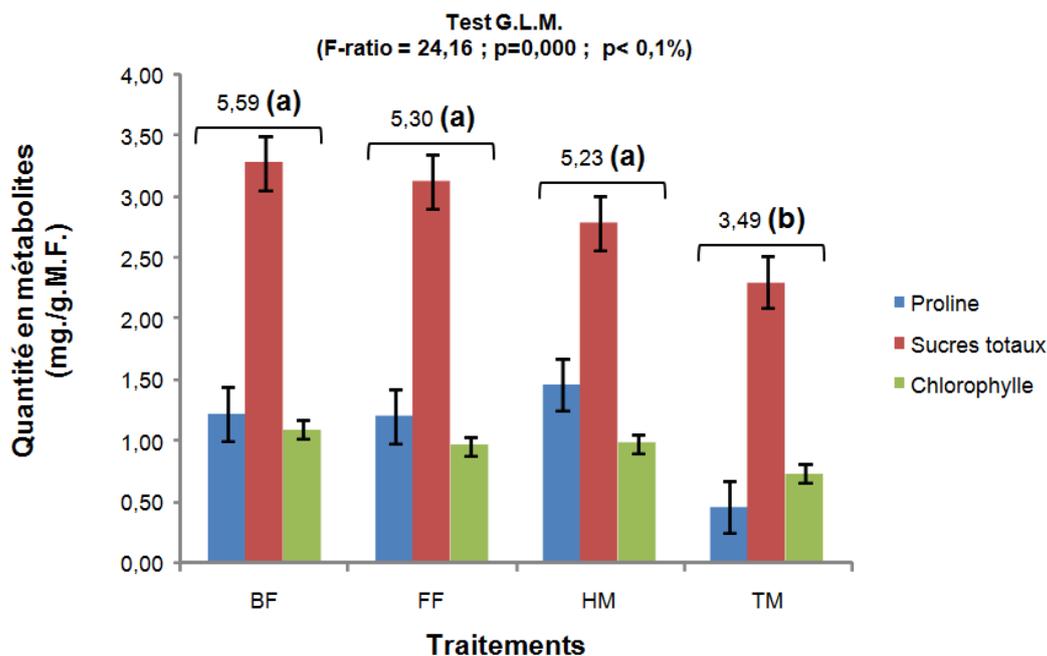


Figure 3.35: Effet des différents bioproduits formulés sur la variation des métabolites du peuplier noir

BF : brut formulé, FF : fermenté formulé, HM : produit homologué, TM : témoin.

La disponibilité des métabolites primaires et secondaires du peuplier noir sous l'effet des bioproduits formulés, obtenue par le ternaire, stipule d'une part, que le brut formulé et le fermenté formulé se caractérisent par des quantités en proline et en sucres totaux solubles supérieures à celle enregistrées chez le témoin (Fig. 3.36a) ; d'autre part, que le bioproduit à base d'algues marines (HM) domine sensiblement les bioproduits formulés à base du thé de vermicompost (BF, FF) en matière de proline (Fig. 3.36b).

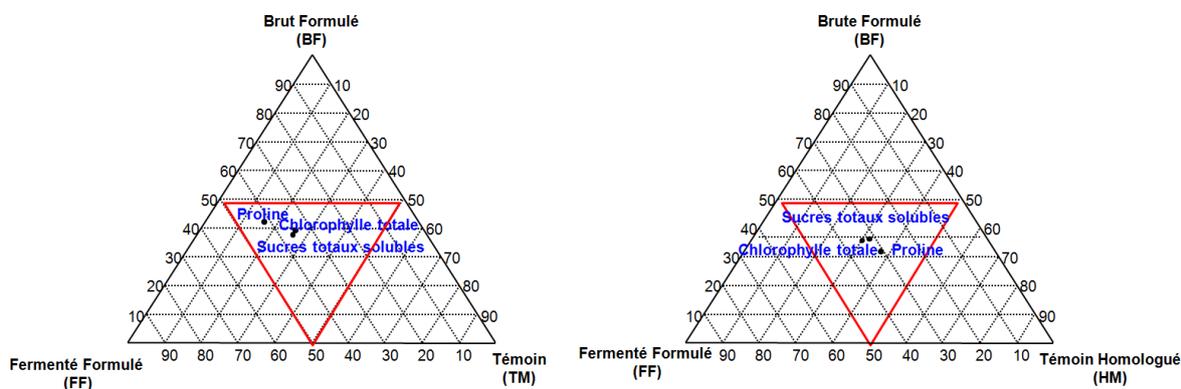


Figure 3.36: Etude comparée des constituants foliaires du peuplier noir sous l'effet des différents bioproduits formulés

BF : brut formulé, FF : fermenté formulé, HM : produit homologué, TM : témoin.

L'analyse de la variance montre que l'accumulation en proline présente une différence très significative sous l'effet des différents bioproduits formulés chez les essences du peuplier ( $F= 149,54$  ;  $p= 0,000$  ;  $p< 0,1$ ) (Fig. 3.37). Le bioproduit homologué montre une accumulation importante en proline qui lui a permis d'occuper le groupe homogène (a), suivi du brut formulé et du fermenté formulé qui s'ajustent en matière d'accumulation de la proline en formant le groupe homogène (b). Enfin, le témoin accumule la proline à des proportions très minimes et constitue le groupe homogène (c). Toutefois, les boîtes à moustaches signalent que les médianes de l'ensemble des unités expérimentales se rapprochent du premier quartile et par analogie les proportions quantitatives de l'expression de la proline sont majorées.

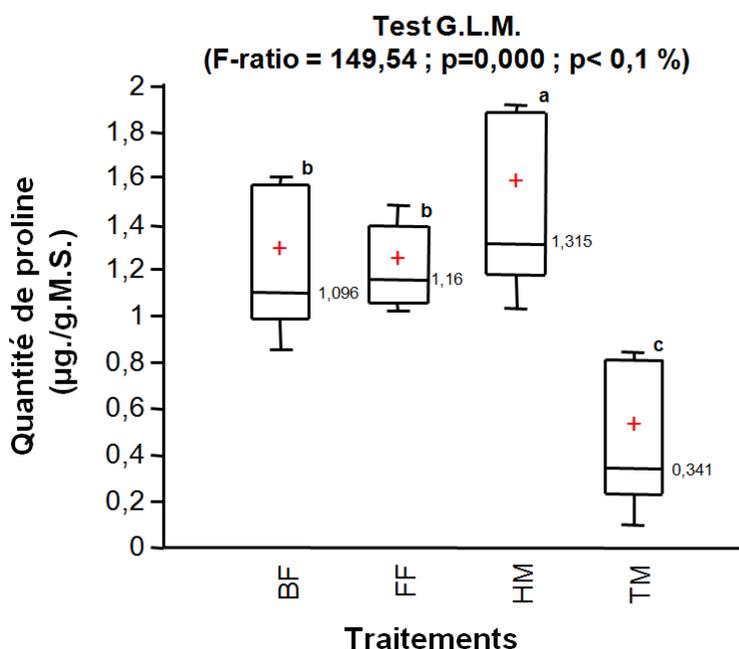


Figure 3.37: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation de proline du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF** : fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

L'accumulation temporelle de la proline au niveau des feuilles du peuplier noir présente une différence nettement significative (Test One way Anova ;  $F=19,83$  ;  $p=1,89 \times 10^{-7}$  ;  $p< 0,1$  %). La tendance de la fluctuation temporelle de la proline se rapproche chez les essences soumises aux différents bioproduits formulés à savoir : le brut formulé, le fermenté formulé et le produit homologué. Les quantités en proline enregistrées durant la phase de feuillaison (débournement) au niveau des différentes unités

expérimentales tendent à diminuer durant toute la phase croissance foliaire qui s'étale sur les cinq premières quinzaines (<1,5  $\mu\text{g/g.M.F.}$ ). Dès la 6<sup>ème</sup> quinzaine, les essences soumises aux bioproduits formulés affichent des taux très appréciables (1,5-2  $\mu\text{g/g.M.F.}$ ) avec une suprématie au bénéfice du bioproduit homologué par comparaison aux bioproduits à base du thé de vermicompost. La même fluctuation est enregistrée chez le témoin, cependant les quantités accumulées en proline restent très minimales (Fig. 3.38).

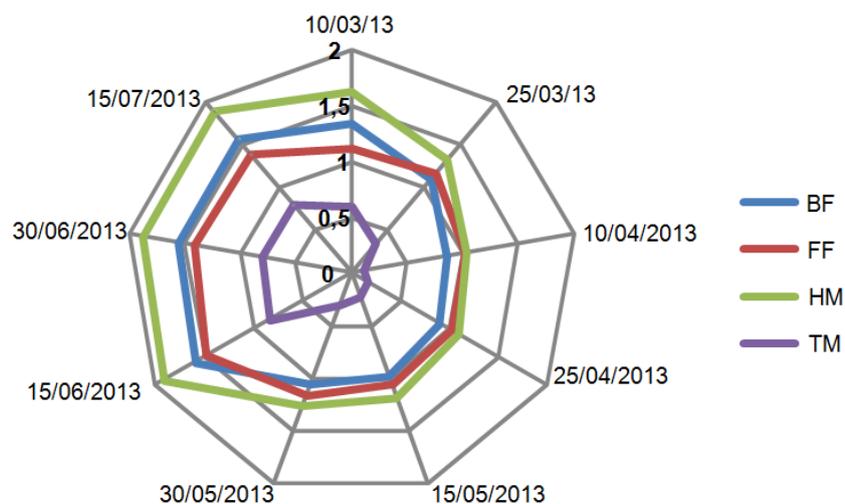


Figure 3.38: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la proline du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF**: fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

Les sucres totaux solubles s'accumulent d'une manière hautement significative chez les feuilles du peuplier ( $F= 149,54$  ;  $p= 0,000$  ;  $p < 0,1\%$ ) (Fig. 3.39). Le Test de Tukey confirme l'hégémonie des quantités en sucres totaux accumulées sous l'effet des bioproduits formulés d'où leur présence dans le groupe homogène (a). Par contre, le témoin se distingue par le groupe homogène (b) en relation aux faibles quantités de sucres totaux solubles accumulées. Le rapprochement des quantités en sucres totaux solubles chez les feuilles du peuplier soumises aux bioproduits formulés est en relation avec les proportions majorées obtenues par le calcul des médianes.

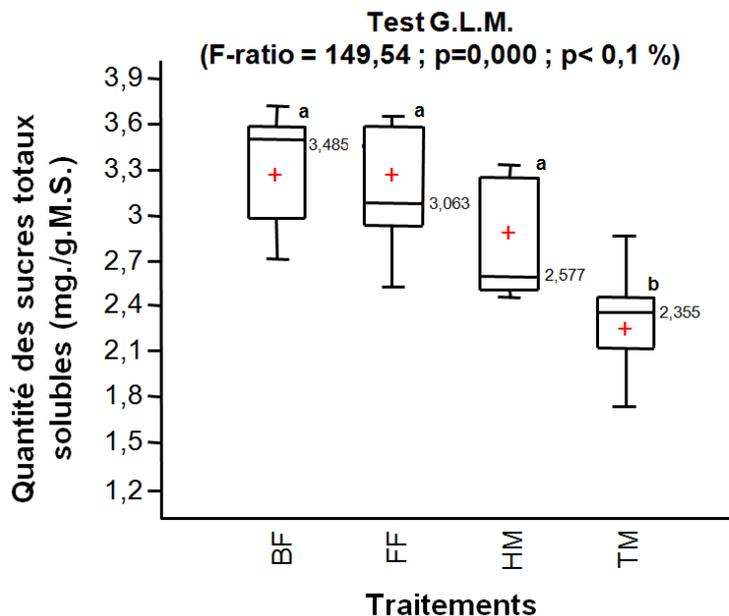


Figure 3.39: Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité des sucres totaux solubles du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF** : fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

L'allégation de la signification de l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles chez les essences du peuplier est décrite par le biais du Test One way Anova ( $F=12,13$  ;  $p=1,82 \times 10^{-7}$ ,  $p < 0,1\%$ ). La figure ci-après, précise une certaine similitude dans l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles chez les bioproduits formulés durant la 1<sup>ère</sup> - 3<sup>ème</sup> quinzaine dont les quantités affichent des valeurs près de 3 mg/g.M.F. Au delà de cette tranche temporelle, les quantités en sucres totaux solubles exprimées sous l'effet des bioproduits formulés à base du jus de lombricompost dominant les quantités accumulées sous l'effet du bioproduit formulé à base des algues marines (4 mg/g.M.F.). Cette expression métabolique en sucres totaux solubles s'installe jusqu'à la fin d'expansion foliaire. Enfin, chez le témoin, la quantification des sucres totaux solubles ne subit pas de grande fluctuation entre la phase de feuillaison et la phase d'expension foliaire ; globalement les taux fluctuent entre 2 et 3 mg/g.M.F (Fig. 3.40).

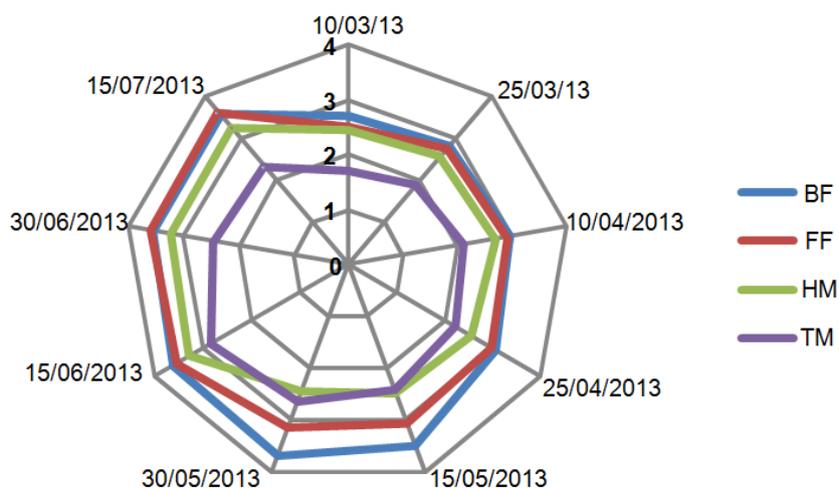


Figure 3.40: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle des sucres totaux solubles du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF**: fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

Le résultat de l'analyse de la variance montre que l'accumulation en chlorophylle totale présente une différence nettement significative sous l'effet des différents traitements ( $F=149,54$  ;  $p=0,000$  ;  $p < 0,1\%$ ) (Fig. 3.41). Le graphique des boîtes à moustache affiche que les quantités majorées en chlorophylle totale accumulées sont signalées sous l'effet du brut formulé et du bioproduit à base d'algues marines (groupe homogène a). Sous l'effet du fermenté formulé et chez le témoin, les quantités accumulées en chlorophylle totales s'avèrent réduites (groupe homogène b). Sur la base du rapprochement des médianes au premier quartile (Q1), nous estimons que le ratio de la quantité chlorophyllienne est majoré.

L'accumulation temporelle de la chlorophylle totale chez les essences du peuplier soumises aux différents traitements présente une différence très significative (Test One way Anova ;  $F=10,81$  ;  $p=0,000$  ;  $p < 0,1\%$ ). Cependant, le rythme d'accumulation se trouve identique chez les traités par les bioproduits formulés et le témoin (Fig. 3.42). Généralement les grandes fluctuations d'accumulation de la chlorophylle totale se manifestent dès la 5<sup>ème</sup> quinzaine pareillement sous les différents traitements ; toutefois le brut formulé et le bioproduit à base d'algues marines dominent les autres traitement par un excès d'accumulation en chlorophylle totale jusqu'à la fin de maturation des feuilles.

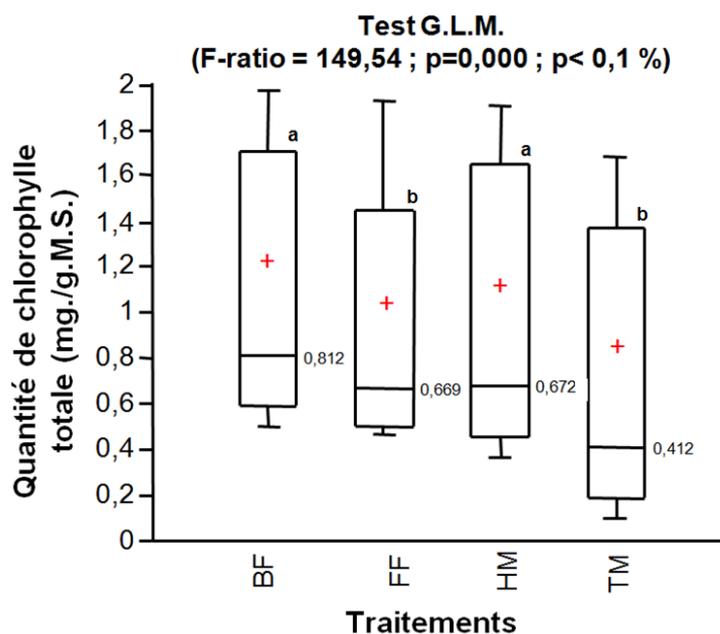


Figure 3.41: Effet des différents bioproduits formulés sur la quantité de la chlorophylle totale du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF** : fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

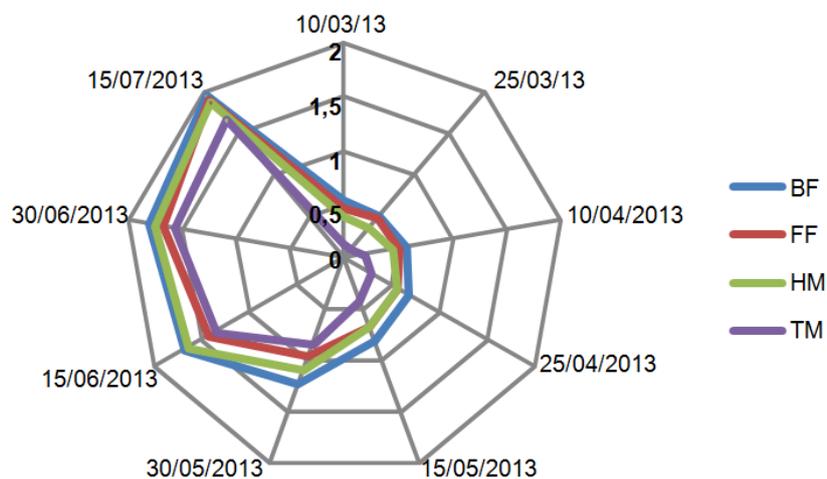


Figure 3.42: Effet des différents bioproduits formulés sur l'accumulation temporelle de la chlorophylle totale du peuplier noir

**BF** : brut formulé, **FF** : fermenté formulé, **HM** : produit homologué, **TM** : témoin.

### 3.3. Effet des différents bioproduits à base du thé de vermicompost sur l'installation primaire des pucerons

Dans la présente section nous exposons les résultats relatifs aux effets des différents bioproduits formulés à base du thé de vermicompost sur l'installation et la structuration des populations des aphides de deux plantes hôtes à savoir : la fève et le peuplier noir.

#### 3.3.1. Effets des différents bioproduits à base du thé de vermicompost sur le puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Cette partie des résultats est consacrée à la présentation des fluctuations des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* en réaction à l'application des différents bioproduits. De même, une rétrospective a été effectuée concernant le potentiel biotique des femelles à travers l'évaluation de la fécondité.

Dans l'esprit de mieux visualiser l'effet biocide et la stimulation des activités métaboliques et l'expression végétative des bioproduits, nous avons été conduits à tracer les courbes d'abondances temporelles des formes biologiques et de la fécondité d'*Aphis fabae* sous l'effet des bioproduits bruts (FNF et BNF) par comparaison à un témoin négatif (eau courante) et les bioproduits formulés (FF et BF) par comparaison à un témoin positif (extrait d'algues marines).

##### 3.3.1.1. Variation temporelle de la disponibilité des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Le graphe de la figure (3.43), présente l'évolution temporelle de l'abondance globale du puceron noir *Aphis fabae* sous l'effet des différents bioproduits bruts et formulés. Cette dernière a permis de constater que les différents types des bioproduits ont enregistré un effet appréciable sur l'abondance globale du puceron noir de la fève par comparaison au témoin négatif et témoin positif.

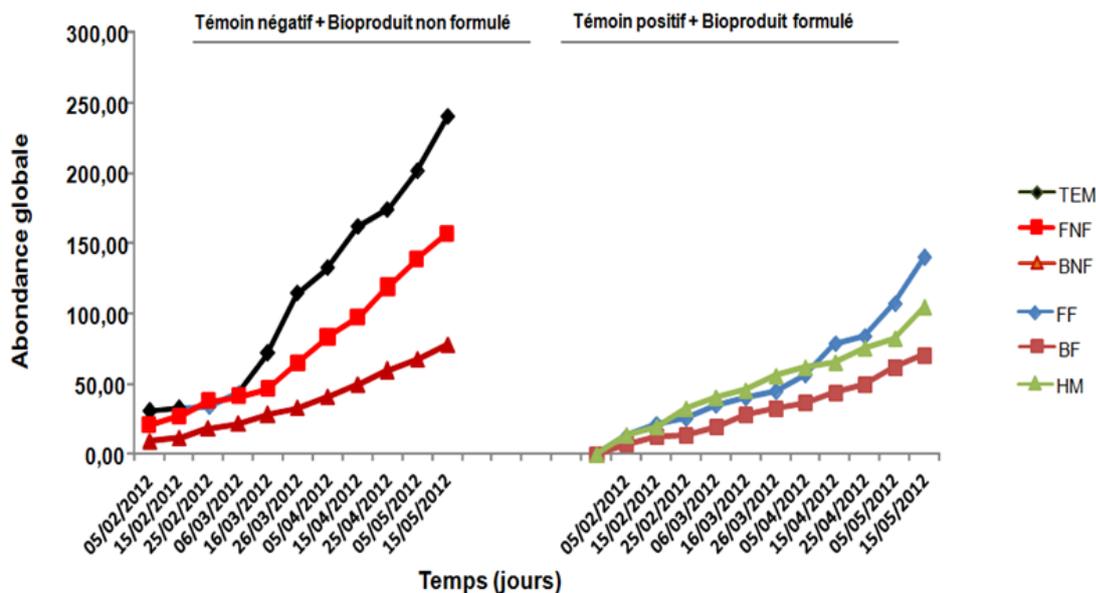


Figure 3.43: Effet des différents bioproduits sur l'abondance globale d'*Aphis fabae*

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé,  
**FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué.

Le test de Wilcoxon confirmé par le test de Monte Carlo est avancé dans le but d'apprécier la variation d'abondance à chaque niveau temporel. Les probabilités enregistrées par comparaison des abondances d'*Aphis fabae* confirme l'effet restrictif du BNF et du FNF sur l'évolution temporelle du puceron noir de la fève par comparaison au témoin. Des probabilités similaires ont été enregistrées par comparaison des effets limitatifs du BF et FF à l'HM quant à la disponibilité d'*Aphis fabae*. La visualisation simultanée des valeurs des moyennes des abondances ainsi que leurs probabilités associées nous informent de la performance du BNF et du BF au détriment du FNF et du FF (Tableau 3.1)

Tableau 3.1 : Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances globales d'*Aphis fabae*

	TEM	FNF	TEM	BNF	BNF	FNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	11		11		11		11		11		11	
Moyenne	<b>112,39</b>	<b>75,57</b>	<b>112,39</b>	<b>37,914</b>	<b>37,914</b>	<b>75,57</b>	<b>58,88</b>	<b>34,36</b>	<b>58,88</b>	<b>54,39</b>	<b>34,36</b>	<b>54,39</b>
Test Wilcoxon	0,0058**		0,0033**		0,0033**		0,0033**		0,5937 <sup>NS</sup>		0,0033**	
Test Monte Carlo	0,0028**		0,0010**		0,0011**		0,0009***		0,6380 <sup>NS</sup>		0,0009***	

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué, NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

Les résultats recueillis révèlent une variabilité d'abondance très marquée sous l'effet des bioproduits bruts et les bioproduits formulés des populations des formes biologiques d'*Aphis fabae* (Fig. 3.44). Cela fait ressortir un effet relatif des bioproduits par rapport au témoin. De même, les deux formes du bioproduit à base de jus de lombricompost présentaient des fluctuations temporelles des populations larvaires et adultes tangibles (Fig. 3.44).

L'impact des bioproduits bruts (FNF et BNF) est nettement observable sur l'abondance des populations larvaires (Fig. 3.44a), des populations d'adultes aptères (Fig. 3.44b) et des populations d'adultes ailés (Fig. 3.44c) inféodées à la fève ; en particulier l'effet du brut non formulé (BNF) apparaît très contraignant à l'évolution des populations larvaires dès la première décade, ainsi que les formes biologiques adultes d'*Aphis* et cela dès la troisième décade. La résurgence des populations se manifeste dès la cinquième décade sous l'effet des bioproduits, avec un écart visible par comparaison au témoin (Fig. 3.44 a, b et c).

L'abondance moyenne des populations des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* décline sensiblement sous l'effet des bioproduits formulés en contraste avec les bioproduits non formulés (Fig. 3.44 a, b et c). Les populations larvaires ainsi que les populations des adultes aptères régressent sous l'effet du BF et du HM (Fig. 3.44a et b), alors que les populations des adultes ailés dévoilent une rétrogradation numérique sous l'effet du BF et du FF (Fig. 3.44c).

La comparaison des moyennes des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* par paire fait ressortir l'effet individualisé et significatif des différentes formes du bioproduit à base de jus de lombricompost sur l'évolution des populations du puceron noir de la fève (Tableau 3.2). Les probabilités obtenues par les tests de Wilcoxon et de Monte Carlo prouvent la suprématie du BNF par rapport au FNF quant à sa capacité à réduire significativement les abondances des formes biologiques (larves, adultes aptères et adultes ailés) d'*A.fabae* (Tableau 3.2). Dans le cas des bioproduits formulés, le même constat est observé avec l'hégémonie du BF par rapport au FF et HM pour ce qui est du rabatement significatif des différentes formes biologiques d'*A.fabae* (Tableau 3.2).

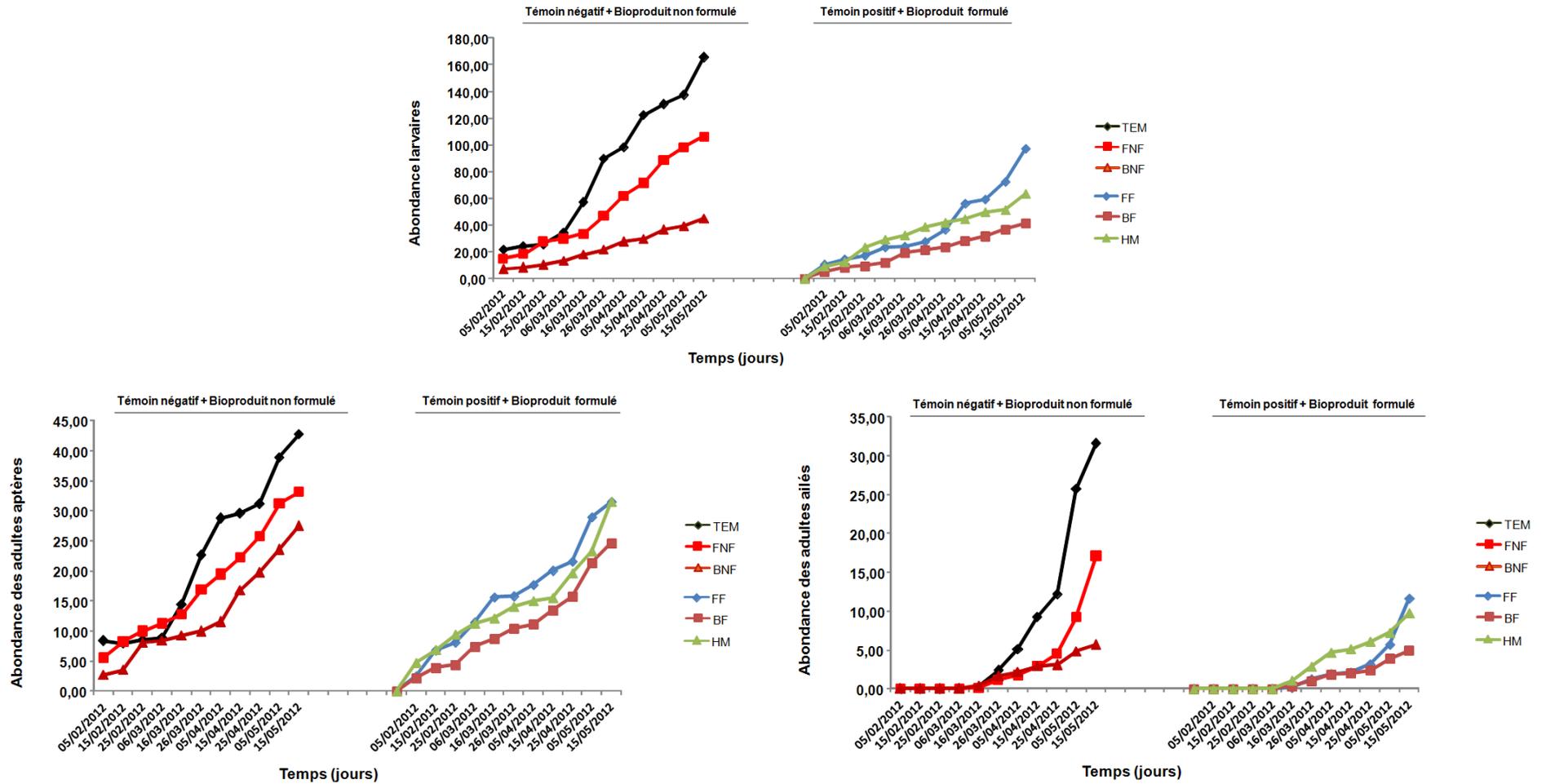


Figure 3.44: Effet des différents bioproduits sur l'abondance des formes biologiques d'*Aphis fabae*

a : larvaire, b : adulte aptère, c : adulte ailé

TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué.

Tableau 3.2: Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances des formes biologiques d'*Aphis fabae*

	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	11		11		11		11		11		11	
<b>Moyenne_Larves</b>	<b>82,53</b>	<b>54,41</b>	<b>82,53</b>	<b>23,23</b>	<b>54,41</b>	<b>23,23</b>	<b>40,15</b>	<b>21,66</b>	<b>40,15</b>	<b>36,18</b>	<b>21,66</b>	<b>36,18</b>
Médiane_Larves	89,58	47,09	89,58	21,51	47,09	21,51	27,91	21,33	27,91	38,81	21,33	38,81
Test Wilcoxon	0,0044**		0,0033**		0,0033**		0,0033**		0,5336 <sup>NS</sup>		0,0033**	
Test Monte Carlo	0,0018**		0,0011**		0,0010**		0,0009***		0,5743 <sup>NS</sup>		0,0008***	
<b>Moyenne_Adultes_Aptères</b>	<b>21,98</b>	<b>17,83</b>	<b>21,98</b>	<b>12,80</b>	<b>17,83</b>	<b>12,80</b>	<b>16,38</b>	<b>11,21</b>	<b>16,38</b>	<b>14,87</b>	<b>11,21</b>	<b>14,87</b>
Médiane_Adultes_Aptères	22,58	16,82	22,58	9,91	16,82	9,91	15,82	10,43	15,82	14,09	10,43	14,09
Test Wilcoxon	0,0207*		0,0033**		0,0033**		0,0033**		0,0911*		0,0033**	
Test Monte Carlo	0,0188*		0,0010**		0,0011**		0,0010**		0,1013		0,0011**	
<b>Moyenne_Adultes_Ailés</b>	<b>7,86</b>	<b>3,3</b>	<b>7,86</b>	<b>1,87</b>	<b>3,32</b>	<b>1,87</b>	<b>2,35</b>	<b>1,48</b>	<b>2,35</b>	<b>3,34</b>	<b>1,48</b>	<b>3,34</b>
Médiane_Adultes_Ailés	2,33	1,09	2,33	1,67	1,09	1,67	1,22	0,96	1,22	2,86	0,96	2,86
Test Wilcoxon	0,0113*		0,0243*		0,2632 <sup>NS</sup>		0,0477*		0,2282 <sup>NS</sup>		0,0159*	
Test Monte Carlo	0,0073**		0,0307*		0,3433 <sup>NS</sup>		0,0781*		0,2192 <sup>NS</sup>		0,0163*	

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé, **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué.

NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

### 3.3.1.2. Estimation de l'activité biologique des bioproduits sur les formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Dans le but d'estimer l'activité biologique des bioproduits sur les formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* à savoir : (population globale, population larvaire, population aptère et population ailée), nous avons établi les graphiques préconisés par le Test de DUNNETT (Fig. 3.45 a, b, c et d).

L'évolution temporelle des populations résiduelles chez les populations globales se rapprochent de la toxicité par l'application du brut non formulé effectuée sur *Aphis fabae* et ce durant toute la période de suivi.

Chez le bioproduit fermenté non formulé, la population résiduelle des populations globales reste neutre jusqu'à la sixième sortie ; après, on note une légère baisse qui vire vers le moyen toxique jusqu'à la douzième sortie ensuite un rebondissement vers le neutre jusqu'à la fin du suivi.

La toxicité du bioproduit brut non formulé est fluctuante dans le temps chez les populations résiduelles larvaires d'*Aphis fabae*.

L'effet du bioproduit fermenté non formulé dès les premières sorties chez les populations résiduelles larvaires est neutre puis s'en suit une fluctuation vers le moyen toxique

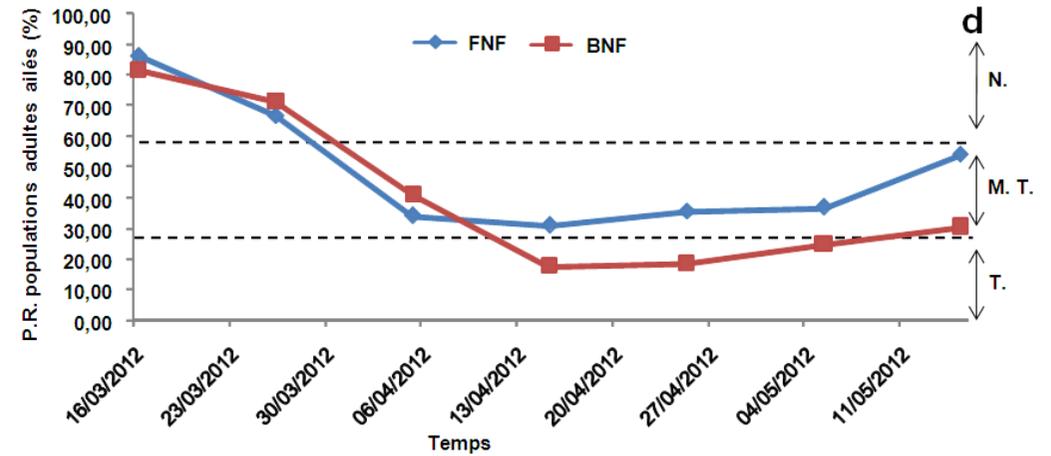
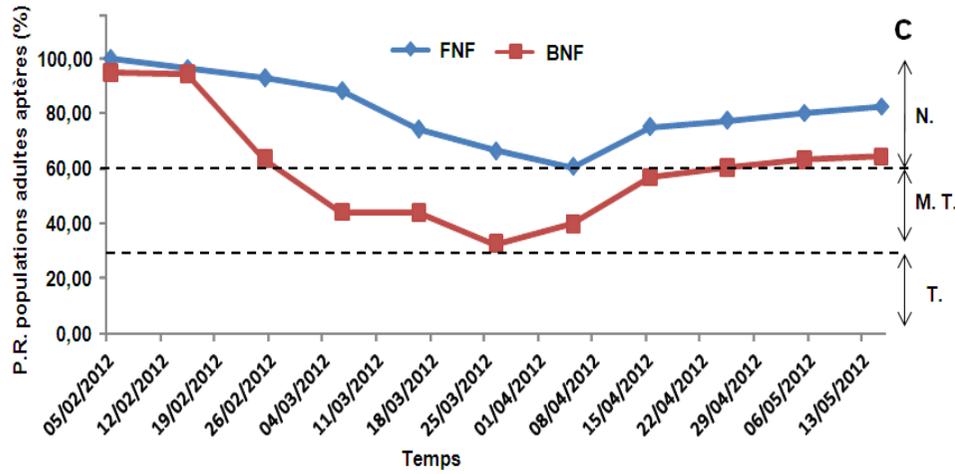
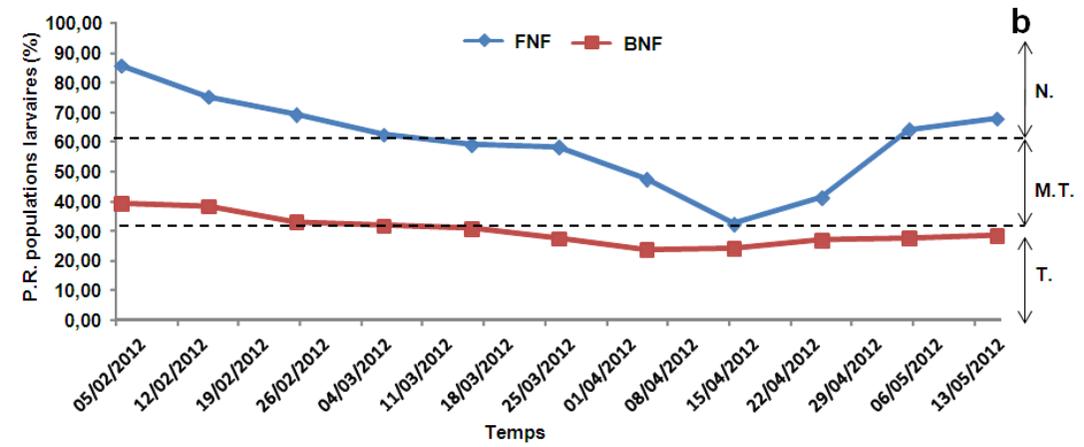
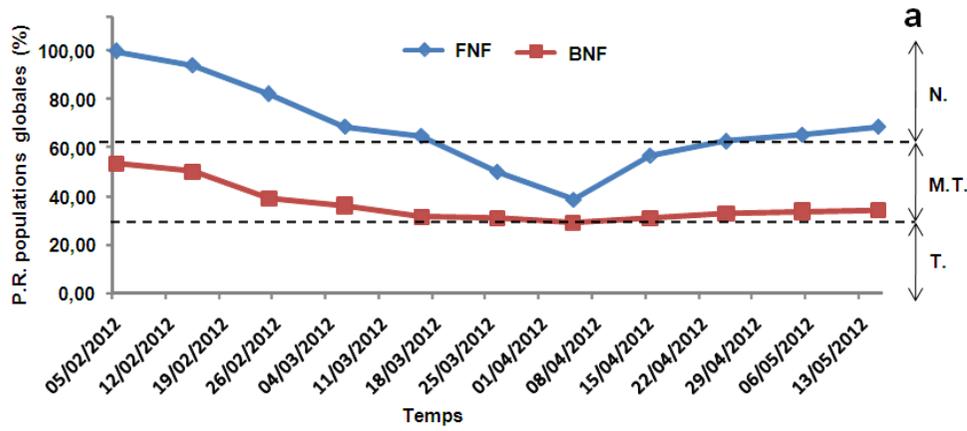


Figure 3.45: Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des différents bioproduits non formulés  
 a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé  
**FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé

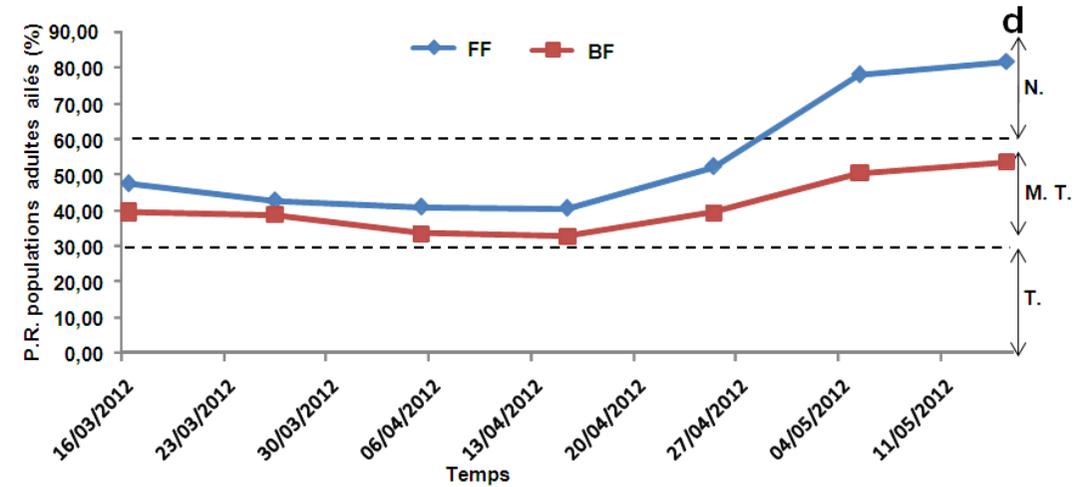
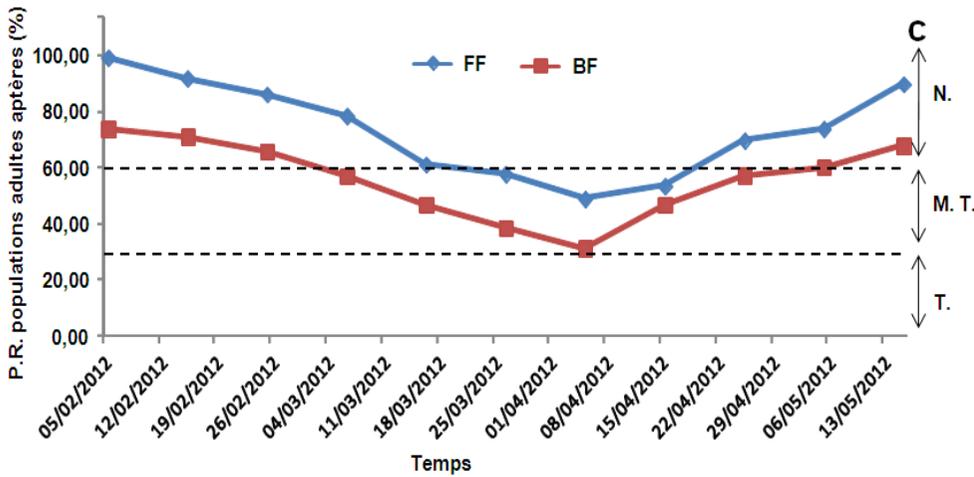
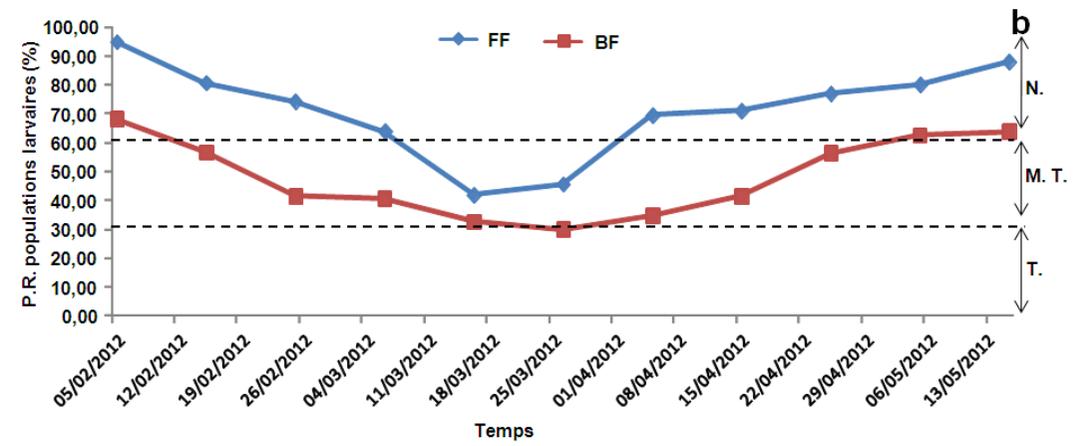
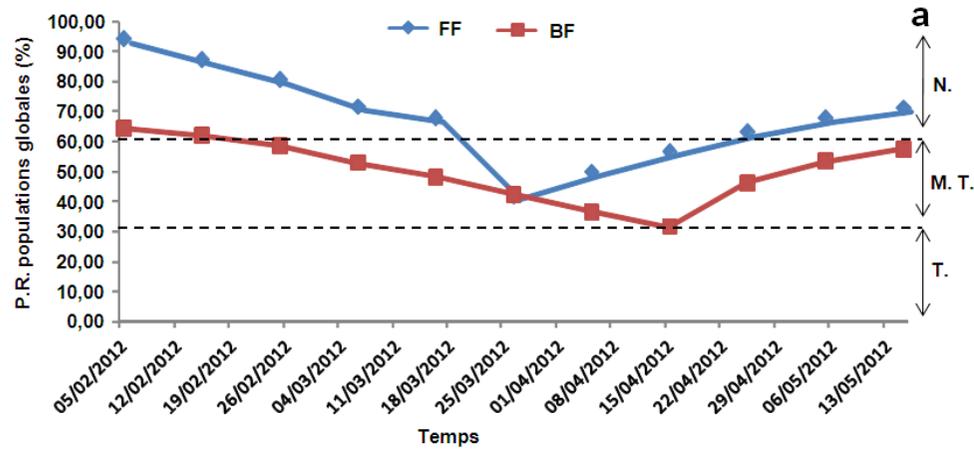


Figure 3.46: Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des différents bioproduits formulés

a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé  
 FF: fermenté formulé, BF : brut formulé.

La présentation graphique en Box Plot des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation de la disponibilité des états biologiques d'*Aphis fabae* sous l'effet des différentes préparations à base du thé de vermicompost (Fig. 3.47 a, b, c et d).

La comparaison de la disponibilité des formes biologiques exprimée par le nombre d'individus sous l'effet des traitements annonce une similitude dans le nombre d'individus dans le fermenté non formulé ( $Q_1=18,92$ ,  $Q_2=20,05$ ,  $Q_3=21,55$ ) et la formulation ( $Q_1=18,8$ ,  $Q_2=21,35$ ,  $Q_3=22,25$ ). Cependant, le nombre d'individus le moins faible est signalé sous l'effet du brut non formulé ( $Q_1=16,75$ ,  $Q_2=18,25$ ,  $Q_3=19,45$ ) et le brut formulé ( $Q_1=16,55$ ,  $Q_2=17,60$ ,  $Q_3=18,95$ ) (Fig. 3.47).

Une analyse type G.L.M a été utilisée pour chaque facteur étudié. Les résultats graphiques sont consignés dans la figure (Figure 3.48). À partir des résultats obtenus, nous remarquons que la population globale enregistre un effet significatif sous l'effet de l'ensemble des traitements ( $p<5\%$ ) (Fig. 3.47a). En revanche, les populations larvaires et les populations adultes aptères enregistrent une différence très significative concernant la disponibilité individuelle ( $p<5\%$ ) (Fig. 3.47b et c).

Le test de comparaison multiple Post- Hoc de Tukey, désigne la présence de 2 groupes homogènes relatifs aux paliers de densité foliaire. Le premier palier rapporte que les préparations formulées à base de lombricompost expriment le nombre de pucerons le plus faible, affiliés au groupe homogène (a) (Fig. 3.48).

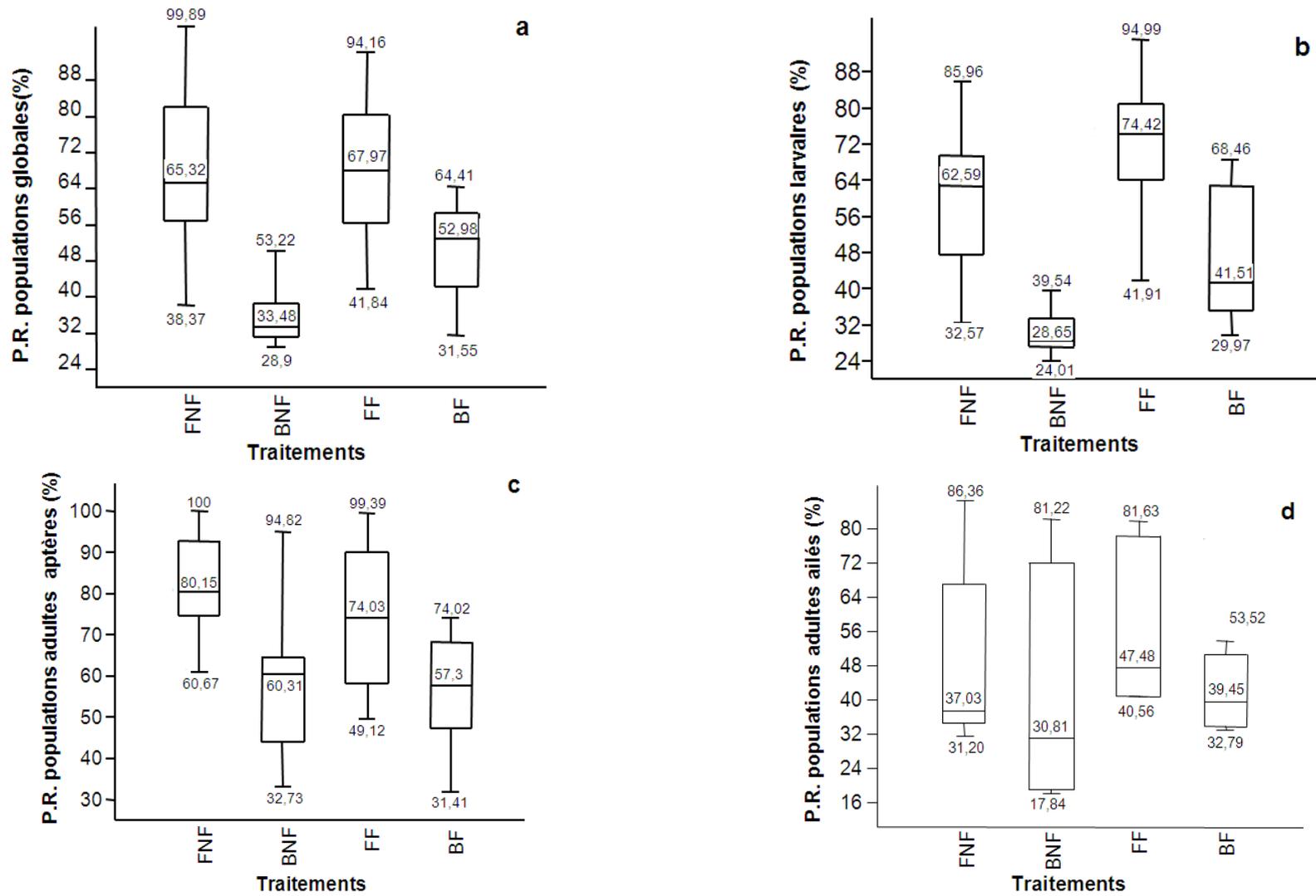


Figure 3.47: Variation des populations résiduelles d'*Aphis fabae* sous l'effet des différents traitements à base du thé de vermicompost  
a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé

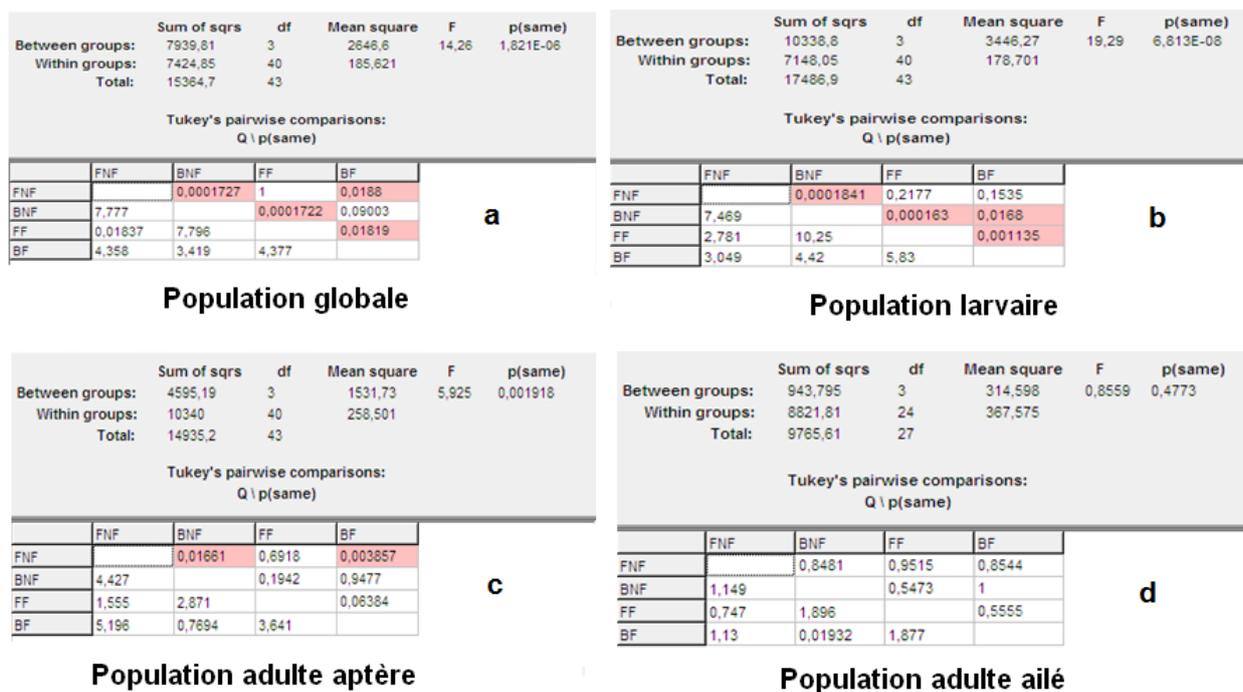


Figure 3.48 : Effet comparé des différents traitements à base du thé de vermicompost sur les populations résiduelles d'*Aphis fabae*

### 3.3.1.3. Variation temporelle de la fécondité du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

L'effet recherché à travers l'application foliaire de différentes formes de bioproduit à base de jus de lombricompost est de révéler leurs capacités perturbatrices du potentiel biotique du puceron noir de la fève. Dans cette optique, nous avons choisi d'apprécier la progéniture des adultes sous l'effet du brut et du fermenté non formulés (BNF et FNF) et formulés (BF et FF).

La fluctuation temporelle de la fécondité d'*Aphis fabae* sous l'effet des bioproduits est représentée dans la Figure (3.49).

Le diagnostic des profils temporels montre une réduction graduelle de la fécondité de manière assez contrastée sous l'effet du BNF et du FNF par rapport au témoin (Fig. 3.49). Sous l'effet des bioproduits formulés, la perturbation de la fécondité est très marquée. La tendance des profils temporels de la fécondité reflète la similarité de la pression exercée par les différents bioproduits formulés (Fig. 3.49).

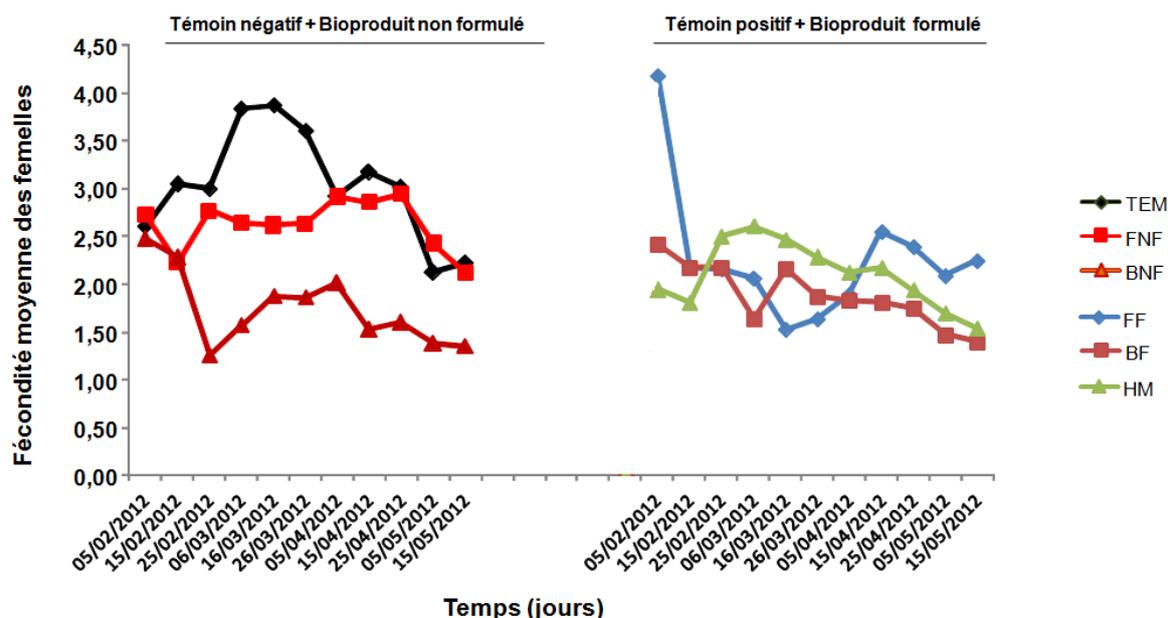


Figure 3.49 : Effet des différents bioproduits sur la fécondité moyenne des femelles d'*Aphis fabae*

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé, **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué.

Contrairement aux bioproduits formulés où la fluctuation temporelle de la fécondité n'affiche aucune différence significative (Tableau 3.3); en revanche, sous l'effet des bioproduits non formulés, la fécondité renseigne la présence d'une perturbation très significative par comparaison au témoin. Le BNF exhibe un effet perturbateur très marqué par rapport au FNF (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Comparaison par paire de la variation temporelle de la fécondité moyenne des femelles d'*Aphis fabae*

	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	11		11		11		11		11		11	
<b>Moyenne</b>	<b>3,03</b>	<b>2,62</b>	<b>3,03</b>	<b>1,74</b>	<b>2,62</b>	<b>1,74</b>	<b>2,26</b>	<b>1,88</b>	<b>2,26</b>	<b>2,10</b>	<b>1,88</b>	<b>2,10</b>
Médiane	3,01	2,64	3,01	1,6	2,64	1,6	2,16	1,83	2,16	2,13	1,83	2,13
Test Wilcoxon	0,0217*		0,0033**		0,0044**		0,1260 <sup>NS</sup>		0,6566 <sup>NS</sup>		0,1679 <sup>NS</sup>	
Test Monte Carlo	0,0169*		0,0010**		0,0018**		0,1367 <sup>NS</sup>		0,7016 <sup>NS</sup>		0,1782 <sup>NS</sup>	

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé, **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué: Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

### 3.3.1.4. Modélisation de la dynamique temporelle et du potentiel biotique du puceron noir de la fève *Aphis fabae* à travers la qualité phytochimique de sa plante hôte

#### 3.3.1.4.1. Simulation de la disponibilité des formes biologiques en fonction de la qualité du support nourricier

Les préjudices causés par les pucerons peuvent être directs par l'alimentation des insectes ou indirectes via la transmission de virus, les excréments, ou encore la réaction des plantes. Dans un contexte de changements globaux et de paysages agricoles changeants, le contrôle des insectes est devenu de plus en plus difficile, notamment pour les ravageurs envahissants. Pour anticiper sur les pics d'émergence des insectes et conduire des actions de lutte adaptées, le recours à la modélisation comme outil d'aide à la décision s'est aujourd'hui généralisé.

Pour représenter la dynamique dans le temps et dans l'espace du puceron noir de la fève, les modèles mécanistes spatialement explicites constituent des outils tout indiqués, en permettant de relier les comportements observés (abondance globale et installation des formes biologiques) à l'hétérogénéité spatiale de la qualité nutritionnelle du support nourricier, sous l'hypothèse d'une hétérogénéité explicative de la répartition des populations. Pour étudier cette hétérogénéité, il est important de se situer au niveau d'organisation adéquat, de l'individu à la communauté, en passant par la population.

Cette section de l'étude propose d'apporter sa contribution à la réflexion sur la modélisation de la dynamique spatio-temporelle d'*Aphis fabae* dans les systèmes agro-écologiques où la fertilisation organique constituerait un paradigme dans la gestion nutritionnelle et sanitaire des plantes cultivées. De manière plus générale, l'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension et intégration de la qualité phytochimique du support nourricier en modélisation de la dynamique des populations du bioagresseur.

L'intégration des métabolites primaires : la Chlorophylle totale (Chl), les Sucres totaux solubles (STS), et la Proline (Pro) de la fève *Vicia faba* (variables explicatives) et

l'abondance des adultes aptères (variable expliquée) nous permettra de prévoir les grandes tendances de la dynamique des populations d'*Aphis fabae*. Les résultats de la régression multiple (Tableau 3.4, 3.5 et 3.6), nous a permis d'obtenir plusieurs modèles de prévision de la fluctuation numérique d'*Aphis fabae* par rapport aux biofertilisants appliqués. Les équations polynomiales ont été arrêtées après vérification de l'importance des probabilités associées à chaque variable explicative. Le coefficient de détermination a également affirmé les valeurs du degré élevé de corrélation entre les valeurs observées et prédites ; alors que, les coefficients de corrélation indiquent le haut degré d'associabilité entre les variables explicatives (Métabolites primaires du support nourricier) et la variable expliquée (Abondance des adultes aptères).

La chlorophylle totale (Chl) semble influencer positivement l'abondance des adultes aptères spécifiquement sous l'effet des biofertilisants non formulés, entre autres le thé de vermicompost brut (BNF) et le fermenté (FNF), au même titre que le témoin (TEM). En revanche, l'effet synergique des sucres totaux solubles (STS) et la chlorophylle totale (Chl) constituent des éléments de prédiction positifs de l'abondance d'*A. fabae* sous l'effet du thé de vermicompost brut formulé (BF) ; tandis que sous l'effet du thé de vermicompost fermenté formulé (FF) l'abondance d'*A. fabae* est en rapport avec la fluctuation des sucres totaux solubles (STS). L'application du biofertilisant homologué (HM), indique que l'abondance des adultes aptères d'*Aphis fabae* est proportionnelle à la fluctuation des sucres totaux solubles (STS) et inversement proportionnelle à la fluctuation de la proline (Pro) (Tableau 3.5).

Tableau 3.4: Présentation des équations d'estimation des abondances larvaires d'*Aphis fabae* en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Sucres Totaux Solubles	0,094	0,306	Abd= 66,34 STS + 385,59 Chl - 56,73
	Chlorophylle totale	0,928	0,963	Abd= 23,98 STS + 327,45 Chl - 56,73
Brut Non Formulé	Chlorophylle totale	0,910	0,954	Abd= 39,82 Chl - 1,89
				Abd= 32,28 Chl - 1,89
Brut Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,938	0,968	Abd= 6,38 STS + 7,74 Chl - 4,61
	Chlorophylle totale	0,913	0,955	Abd= 4,22 STS + 7,04 Chl - 4,61
Fermenté Non Formulé	Chlorophylle totale	0,893	0,945	Abd= 96,82 Chl + 7,45
				Abd= 76,80 Chl + 7,45
Fermenté Formulé	Proline	0,039	0,198	Abd= -0,44 Pro + 25,03 STS - 9,70
	Sucres Totaux Solubles	0,910	0,954	Abd= -1,24 Pro + 20,93 STS - 9,70
Produit Homologué	Sucres Totaux Solubles	0,866	0,930	Abd= 6,37 STS + 17,64 Chl + 3,73
	Chlorophylle totale	0,914	0,956	Abd= 2,37 STS + 9,72 Chl + 3,73

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

Tableau 3.5: Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes aptères d'*Aphis fabae* en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Chlorophylle totale	0,926	0,962	Abd= 99,41 Chl - 0,65 Abd= 82,35 Chl - 0,65
Brut Non Formulé	Chlorophylle totale	0,922	0,960	Abd= 24,10 Chl - 2,52 Abd= 19,88 Chl - 2,52
Brut Formulé	Chlorophylle totale Sucres Totaux Solubles	0,809 0,934	0,899 0,966	Abd= 5,37 STS+ 7,18 Chl - 3,46 Abd= 3,49 STS+ 2,4 Chl - 3,46
Fermenté Non Formulé	Chlorophylle totale	0,935	0,967	Abd= 27,41 Chl + 4,20 Abd= 23,01 Chl + 4,20
Fermenté Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,956	0,978	Abd= 7,58 STS - 1,78 Abd= 6,58 STS - 1,78
Produit Homologué	Proline Sucres Totaux Solubles	0,253 0,832	0,503 0,912	Abd= -0,22 Pro + 4,85 STS+2,44 Abd=-0,64 Pro + 2,07 STS+2,44

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles

Tableau 3.6: Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes ailés d'*Aphis fabae* en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Chlorophylle totale	0,839	0,916	Abd= 84,98 Chl- 10,61 Abd= 63,36 Chl - 10,61
Brut Non Formulé	Chlorophylle totale	0,945	0,972	Abd= 6,08 Chl- 2,05 Abd= 5,18 Chl - 2,05
Brut Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,841	0,917	Abd= 1,37 STS - 1,76 Abd= 1,03 STS - 1,76
Fermenté Non Formulé	Chlorophylle totale	0,838	0,915	Abd= 15,71 Chl - 4,08 Abd= 11,71 Chl - 4,08
Fermenté Formulé	Proline Sucres Totaux Solubles	0,001 0,673	-0,031 0,820	Abd= -0,13 Pro+ 3,26 STS - 2,37 Abd= -0,31 Pro+ 2,32 STS - 2,37
Produit Homologué	Sucres Totaux Solubles	0,945	0,972	Abd= 2,44 STS - 2,16 Abd= 2,08 STS - 2,16

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

### 3.3.1.4.2. Simulation de la fécondité du puceron noir de la fève en fonction de la qualité du support nourricier

Une fois que le modèle de fécondité est disponible pour *Aphis fabae*, son potentiel biotique peut être prédit en utilisant les ressources alimentaires vitales qui produisent l'explosion numérique des populations avec plus ou moins de certitude.

Les résultats des modèles de prédiction de la fécondité d'*A. fabae* se fondent sur le principe selon lequel le besoin le plus fondamental de l'insecte est de compléter son cycle de vie avec une synchronie adéquate en ressources essentielles (Tableau 3.7).

Tableau 3.7: Présentation des équations d'estimation de la fécondité moyenne d'*Aphis fabae* en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	R	Equations
Témoin	Proline	4×10 <sup>-4</sup>	- 5,42×10 <sup>-3</sup>	Abd= -1,44 Pro - 3,91 Chl + 5,10
	Chlorophylle totale	0,284	-0,53	Abd= -2,84 Pro - 6,51 Chl + 5,10
Brut Non Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,359	- 0,601	Abd= - 0,07 STS - 0,36 Chl+ 2,51
	Chlorophylle totale	0,325	- 0,571	Abd= - 0,13 STS - 0,82 Chl+ 2,51
Brut Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,770	-0,879	Abd= - 0,18 STS+ 2,46 Abd= - 0,24 STS+ 2,46
Fermenté Non Formulé	Proline	0,056	-0,239	Abd= -0,82 Pro - 0,17 Chl + 3,09
	Chlorophylle totale	0,132	-0,364	Abd= -4,42 Pro- 0,65 Chl + 3,09
Fermenté Formulé	Proline	0,220	-0,467	Abd= -0,01 Pro + 0,1STS + 2,96
	Sucres Totaux Solubles	0,089	-0,300	Abd= -0,07 Pro - 0,26 STS + 2,96
Produit Homologué	Sucres Totaux Solubles	0,335	-0,578	Abd= - 0,35 STS +0,82 Chl+ 2,10
	Chlorophylle totale	0,045	-0,212	Abd= - 0,51 STS +0,48 Chl+ 2,10

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

L'application du thé de vermicompost fermenté non formulé (FNF) ne semble pas influencer la fécondité d'*A. fabae*, du moment qu'il se comporte comme le témoin où la raréfaction de proline (Pro) et de chlorophylle totale (Chl) augmente le nombre de descendants. Pareillement, sous l'effet du biofertilisant homologué (HM) et le thé de vermicompost brut non formulé (BNF), la fécondité se trouve sous l'influence de la réduction des quantités des sucres totaux solubles (STS) et de chlorophylle totale (Chl).

La formulation du thé de vermicompost brut (BF) et du thé de vermicompost fermenté (FF) modifie le paradigme naturel de prédiction de la fécondité d'*A. fabae*. L'application du thé de vermicompost formulés (BF et HM), indique que la fécondité d'*A. fabae* est inversement proportionnelle à la fluctuation des sucres totaux solubles (STS) de la proline (Pro) (Tableau 3.7).

### 3.3.2. Effet des différents bioproduits à base du thé de vermicompost sur le puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*

Le résultat des fluctuations des différentes formes biologiques du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas* comparativement au puceron noir de la fève *Aphis fabae*, bien que préliminaires, donnent des idées intéressantes sur les effets des biofertilisants qui conditionnent l'acceptation et/ou le refus du support nourricier. De même, une rétrospective a été effectuée concernant le potentiel biotique des femelles à travers l'évaluation de la fécondité.

Il est utile de signaler que la recherche de l'activité protectrice et stimulatrice des activités métaboliques et d'expression végétative des bioproduits utilisés, notamment les bioproduits bruts (FNF et BNF) et les bioproduits formulés (FF et BF) est une procédure préalable de validation d'intégration du monitoring de la nutrition organique dans la production végétale intégrée. En revanche, la connaissance des activités biologiques des bioproduits est relativement plus satisfaisante grâce à la comparaison de leurs effets à un témoin négatif (eau courante) et à un témoin positif (extrait d'algue marine). Pour visualiser les effets biologiques des bioproduits, nous avons tenu compte des courbes d'abondances temporelles des formes biologiques et de la fécondité de *Chaitophorus leucomelas*.

#### 3.3.2.1. Variation temporelle de la disponibilité des formes biologiques du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*

Il ressort de l'analyse de l'effet des deux formes des bioproduits (Brut et formulé) que la disponibilité globale des populations de *Chaitophorus leucomelas* présenterait des profils contrastés selon la nature du traitement apporté. On observe de très fortes variations entre le témoin négatif et les bioproduits bruts (BNF et FNF), certainement en relation avec la nature du jus de lombricompost. Au cours de la troisième quinzaine d'exposition aux bioproduits, on signale une divergence au niveau des évolutions graduelles de la disponibilité des individus de *C. leucomelas* qui pourraient être attribuées à la performance respective du BNF et du FNF (Fig. 3.50).

Comme chez les bioproduits non formulés, la variation des populations globales de *C. leucomelas* sous l'effet des bioproduits formulés s'opposent à celle des bioproduits non formulés par leur faible abondance. Les populations soumises au brut formulé (BF) et au produit homologué (HM) sont nettement distinctes entre elles et celles soumises au fermenté formulé (FF). Globalement, l'augmentation des populations est signalée simultanément dès la cinquième quinzaine d'exposition aux bioproduits formulés (Fig. 3.50).

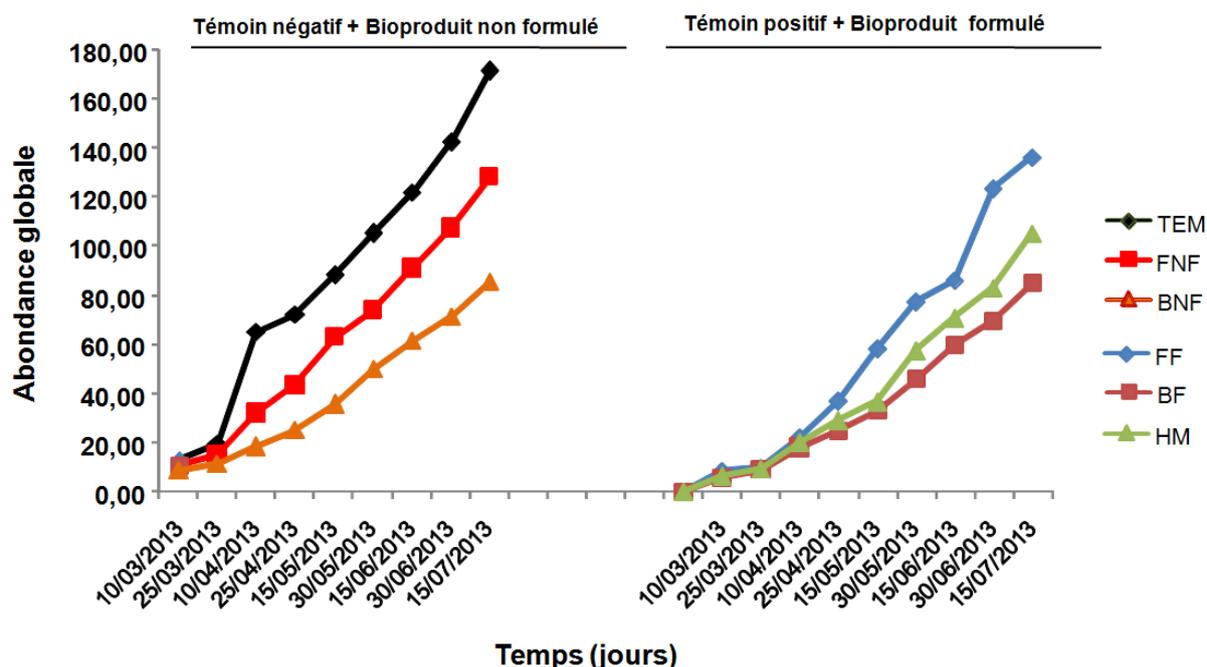


Figure 3.50 : Effet des différents bioproduits sur l'abondance globale de *Chaitophorus leucomelas*

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé, **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué.

Les analyses par paire sur les abondances globales de *C. leucomelas* ont montré des différences très significatives entre les différentes formes des bioproduits et par rapport à chacun des témoins ( $p < 1\%$ ). Si l'on suit la disponibilité globale des populations soumises au bioproduit à base du jus de lombricompost, on constate une variation très nette entre le brut et le formulé ( $p < 1\%$ ), de même qu'entre le brut et le fermenté ( $p < 1\%$ ) et surtout nous signalons la prouesse du brut sous ces deux formes (BNF et BF) (Tableau 3.8).

Tableau 3.8 : Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances globales de *Chaitophorus leucomelas*

	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	9		9		9		9		9		9	
<b>Moyenne</b>	<b>88,56</b>	<b>62,53</b>	<b>88,56</b>	<b>40,75</b>	<b>62,53</b>	<b>40,75</b>	<b>62,10</b>	<b>38,90</b>	<b>62,10</b>	<b>46,40</b>	<b>38,90</b>	<b>46,40</b>
Médiane	88,27	62,46	88,27	35,24	62,46	35,24	58,38	33,07	58,38	36,56	33,07	36,56
Test Wilcoxon	0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**	
Test Monte Carlo	0,0041**		0,0036**		0,0038**		0,0040**		0,0037**		0,0036**	

TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué, NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

Les résultats révèlent une variabilité d'abondance des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas* très marquée sous l'effet des bioproduits bruts et formulés (Fig. 3.51 a, b et c). Parallèlement, c'est sous l'effet des bioproduits non formulés que nous observons un minimum de formes biologiques par rapport au témoin. Il est à noter que les deux formes du bioproduit formulées à base de jus de lombricompost présentaient des fluctuations temporelles des populations larvaires et adultes plus faibles que celle enregistrées sous l'effet des bioproduits non formulés (Fig. 3.51a, b et c). Les populations larvaires ainsi que les populations des adultes aptères et ailés se dévoilaient une régression respective sous l'effet du BF, de l'HM et du FF (Fig. 3.51a, b et c).

La comparaison des moyennes des différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas* par paire montre qu'il y a un effet répressif très significatif (Test Wilcoxon et test Monte Carlo,  $p < 1\%$ ) des bioproduits non formulés et formulés sur les différentes formes biologiques du puceron vert du peuplier, très accusé sur la forme larvaire de *C. leucomelas* (Tableau 3.9). Les probabilités obtenues par comparaison des moyennes d'abondance des formes biologiques de *C. leucomelas* montrent une supériorité significative du BNF par rapport au FNF quant à sa capacité à réduire significativement les abondances des formes biologiques (larves, adultes aptères et adultes ailés) de *C. leucomelas* (Tableau 3.9). Concernant les bioproduits formulés, leur effet met en évidence la forte action du BF dans le rabattement significatif des différentes formes biologiques de *C. leucomelas* par rapport au FF et HM (Tableau 3.9).

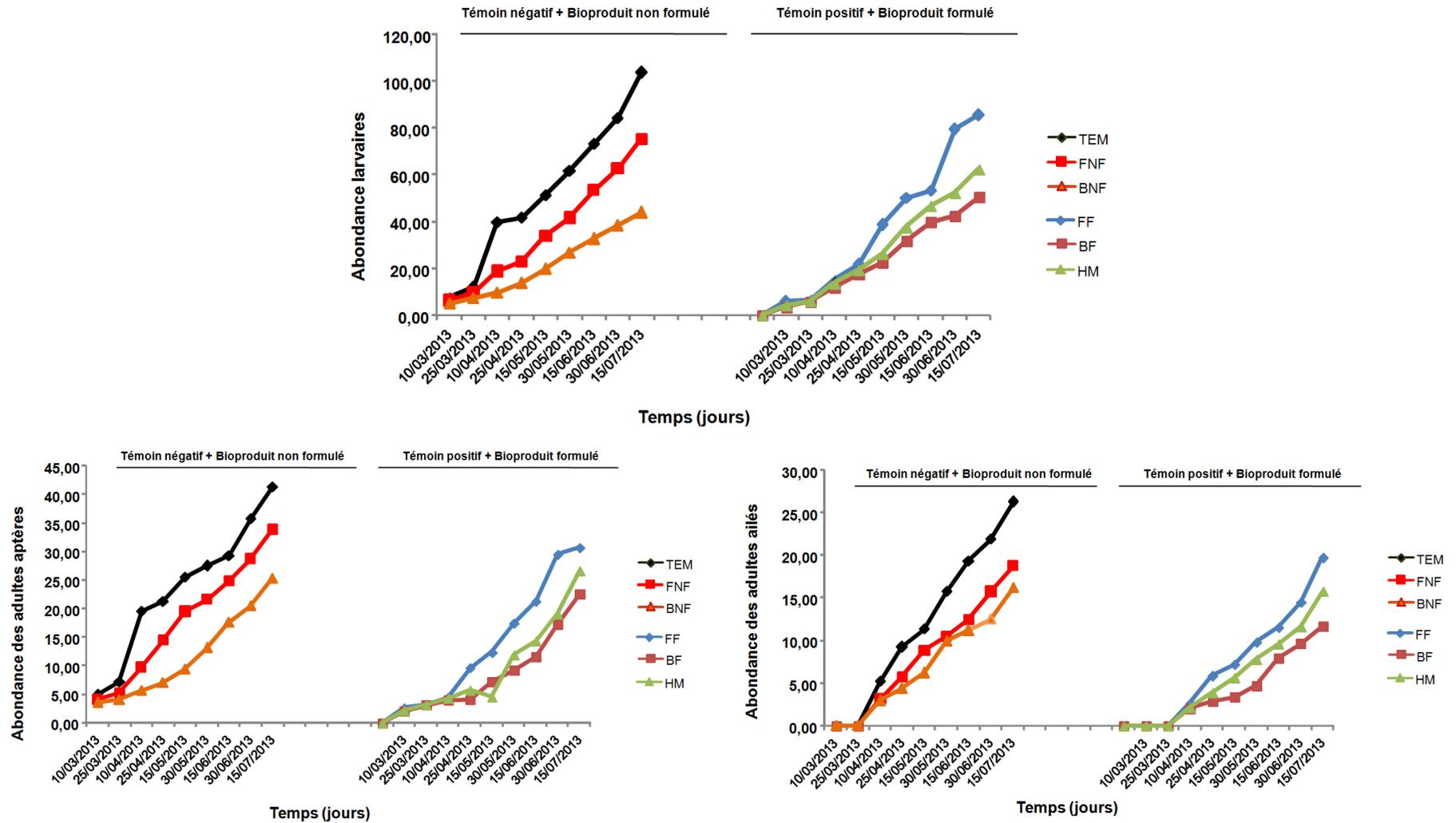


Figure 3.51: Effet des différents bioproduits sur l'abondance des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé

TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué.

Tableau 3.9: Comparaison par paire de la variation temporelle des abondances des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	9		9		9		9		9		9	
<b>Moyenne_Larves</b>	<b>52,87</b>	<b>36,15</b>	<b>52,87</b>	<b>21,90</b>	<b>36,15</b>	<b>21,90</b>	<b>52,87</b>	<b>36,15</b>	<b>52,87</b>	<b>21,90</b>	<b>36,15</b>	<b>21,90</b>
Médiane_Larves	51,39	34,11	51,39	19,65	34,11	19,65	51,39	34,11	51,39	19,65	34,11	19,65
Test Wilcoxon	0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**	
Test Monte Carlo	0,0036**		0,0039**		0,0039**		0,0043**		0,0036**		0,0040**	
<b>Moyenne_Adultes_Aptères</b>	<b>23,57</b>	<b>18,01</b>	<b>23,57</b>	<b>11,80</b>	<b>18,01</b>	<b>11,80</b>	<b>14,61</b>	<b>9,023</b>	<b>14,61</b>	<b>10,22</b>	<b>9,023</b>	<b>10,22</b>
Médiane_Adultes_Aptères	25,5	19,49	25,5	9,37	19,49	9,37	12,39	7,2	12,39	5,78	7,2	5,78
Test Wilcoxon	0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0076**		0,0578*	
Test Monte Carlo	0,0039**		0,0043**		0,0039**		0,0037**		0,0038**		0,0582*	
<b>Moyenne_Adultes_Ailés</b>	<b>12,11</b>	<b>8,36</b>	<b>12,11</b>	<b>7,04</b>	<b>8,36</b>	<b>7,04</b>	<b>7,94</b>	<b>4,70</b>	<b>7,94</b>	<b>6,29</b>	<b>4,70</b>	<b>6,29</b>
Médiane_Adultes_Ailés	11,38	8,86	11,38	6,22	8,86	6,22	7,22	3,37	7,22	5,66	3,37	5,66
Test Wilcoxon	0,0177*		0,0177*		0,0177*		0,0177*		0,0177*		0,0177*	
Test Monte Carlo	0,0161*		0,0160*		0,0154*		0,0149*		0,0154*		0,0157*	

TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué.

NS : Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,1%

### 3.3.2.2. Estimation de l'activité biologique des bioproduits sur les formes biologiques du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*

L'application des biofertilisants formulés et non formulés à base de vermicompost sur les populations de *Chaitophorus leucomelas* nous a permis d'estimer l'efficacité des bioproduits apportés en se référant à l'évaluation des populations résiduelles par le biais du test de DUNNETT.

L'évaluation temporelle des populations résiduelles a montré une toxicité tardive dès la 3<sup>ème</sup> décennie d'application dans tous les traitements. Le traitement par les biofertilisants formulés à base de vermicompost a un effet toxique plus fort que les autres traitements. Les bioproduits commencent à exprimer leur effet insecticide dès le 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> apport dans les traitements formulés.

L'effet du traitement sur les différents stades de populations résiduelles (population globale, les larves et les adultes) de *Chaitophorus leucomelas* nous montre que les larves sont les plus exposées à la toxicité des traitements (Fig. 3.52 et Fig. 3.53).

La présentation graphique en BoxPlot des données expérimentales est avancée dans le but d'apprécier la variation de la disponibilité des états biologiques de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des différents bioproduits à base du thé de vermicompost (Fig. 3.54 a, b, c et d). La comparaison de la disponibilité des formes biologiques exprimée par le nombre d'individus sous l'effet des traitements annonce une similarité dans le nombre d'individus du fermenté non formulé ( $Q_1=18,92$ ,  $Q_2=20,05$ ,  $Q_3=21,55$ ) et la formulation ( $Q_1=18,8$ ,  $Q_2=21,35$ ,  $Q_3=22,25$ ). Cependant, le nombre d'individus le moins faible est signalé sous l'effet du brut non formulé ( $Q_1=16,75$ ,  $Q_2=18,25$ ,  $Q_3=19,45$ ) et le brut formulé ( $Q_1=16,55$ ,  $Q_2=17,60$ ,  $Q_3=18,95$ ).

Une analyse type G.L.M a été utilisée pour chaque facteur étudié. Les résultats graphiques sont consignés dans la figure (Figure 3.55). À partir des résultats obtenus, nous remarquons que l'ensemble des formes biologiques enregistrent un effet non significatif sous l'effet des traitements ( $p>5\%$ ) (Fig. 3.54 a, b, c et d).

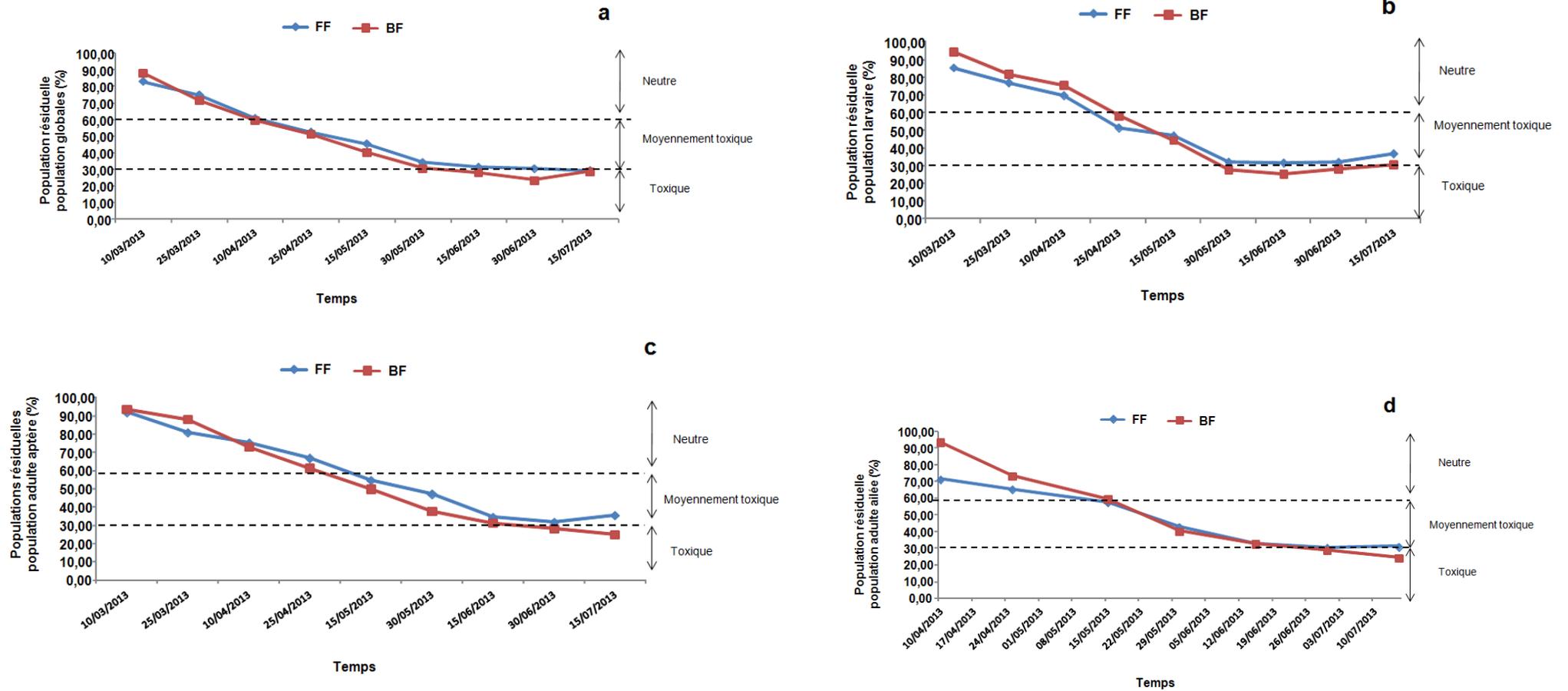


Figure 3.52: Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des différents bioproduits formulés

a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé  
 FF: fermenté formulé, BF : brut formulé.

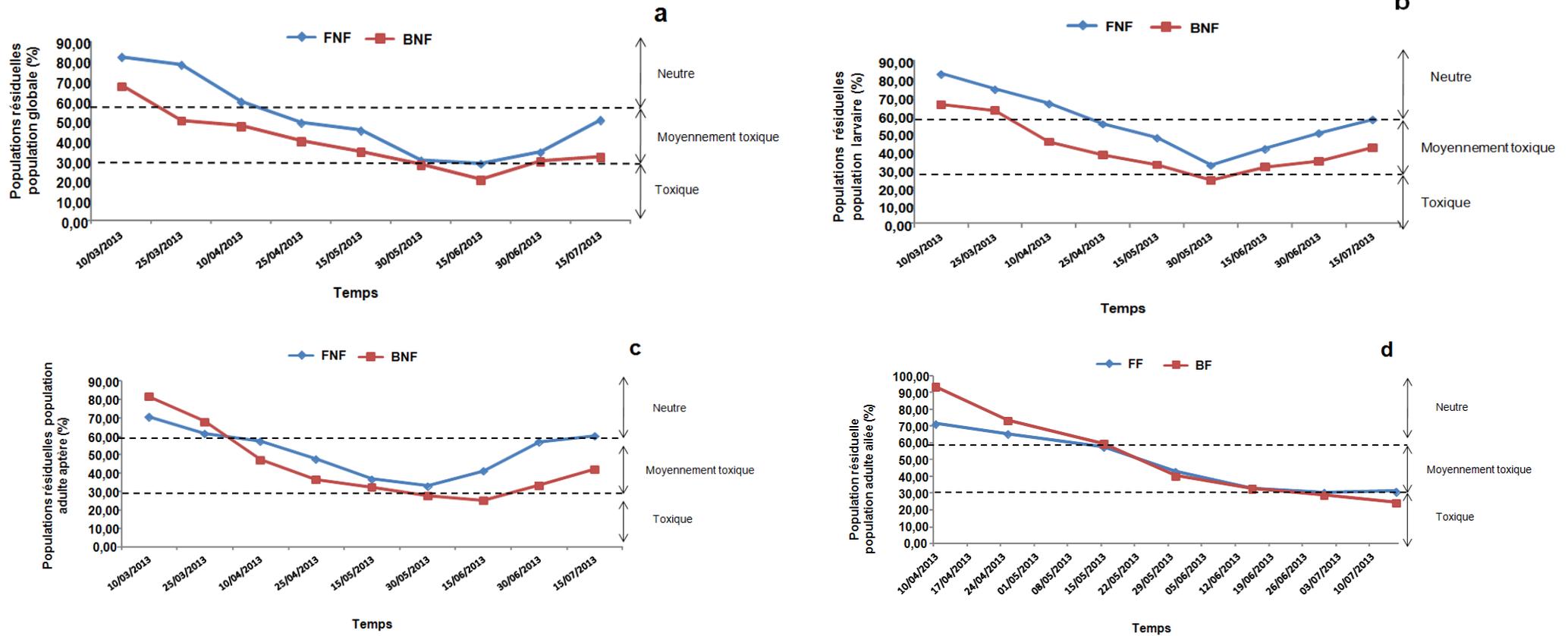


Figure 3.53: Evolution temporelle des populations résiduelles des formes biologiques du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des différents bioproduits non formulés

a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé  
**FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé.

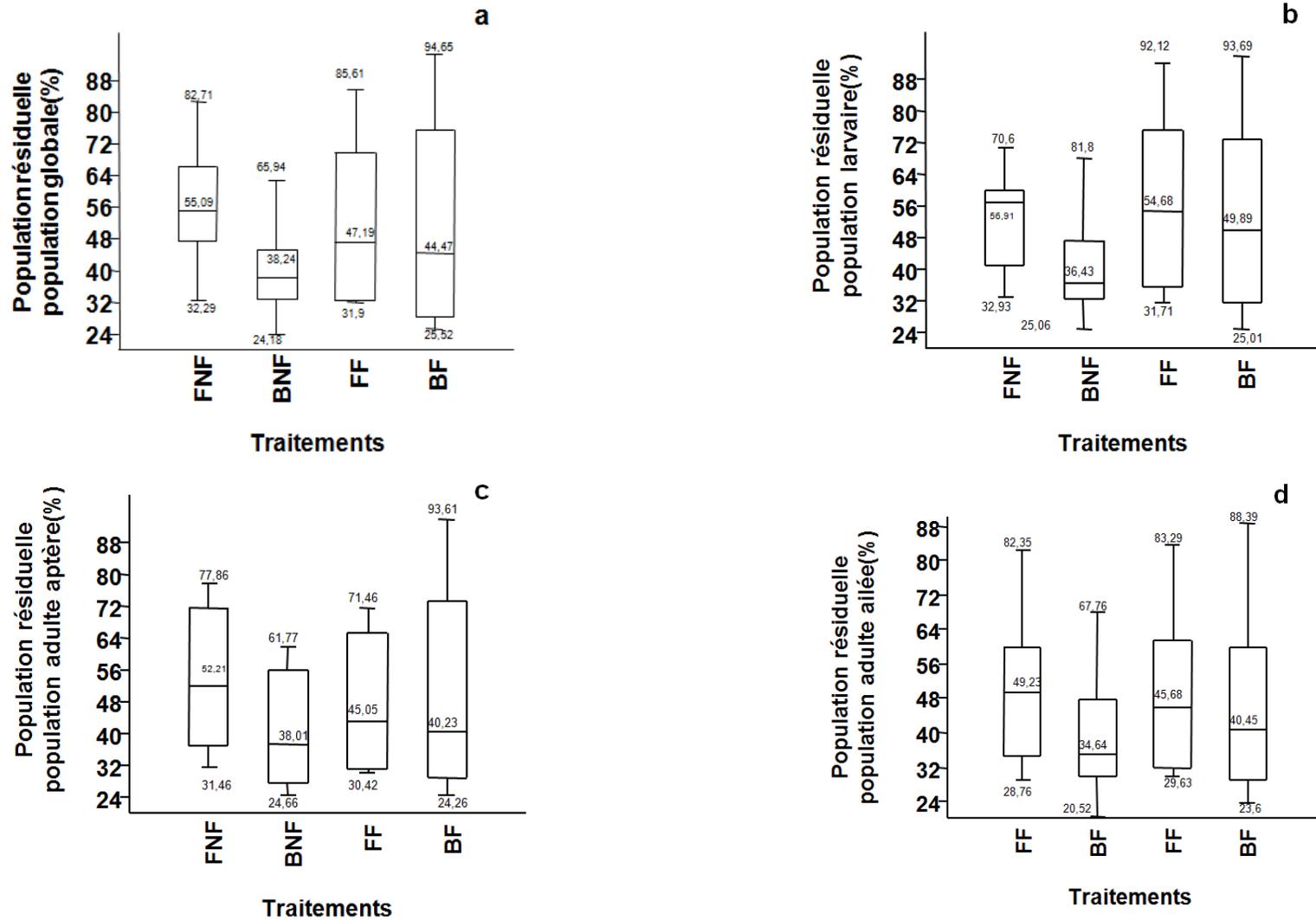


Figure 3.54: Variation des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des différents traitements à base du thé de vermicompost  
a : globale, b : larvaire, c : adulte aptère, d : adulte ailé

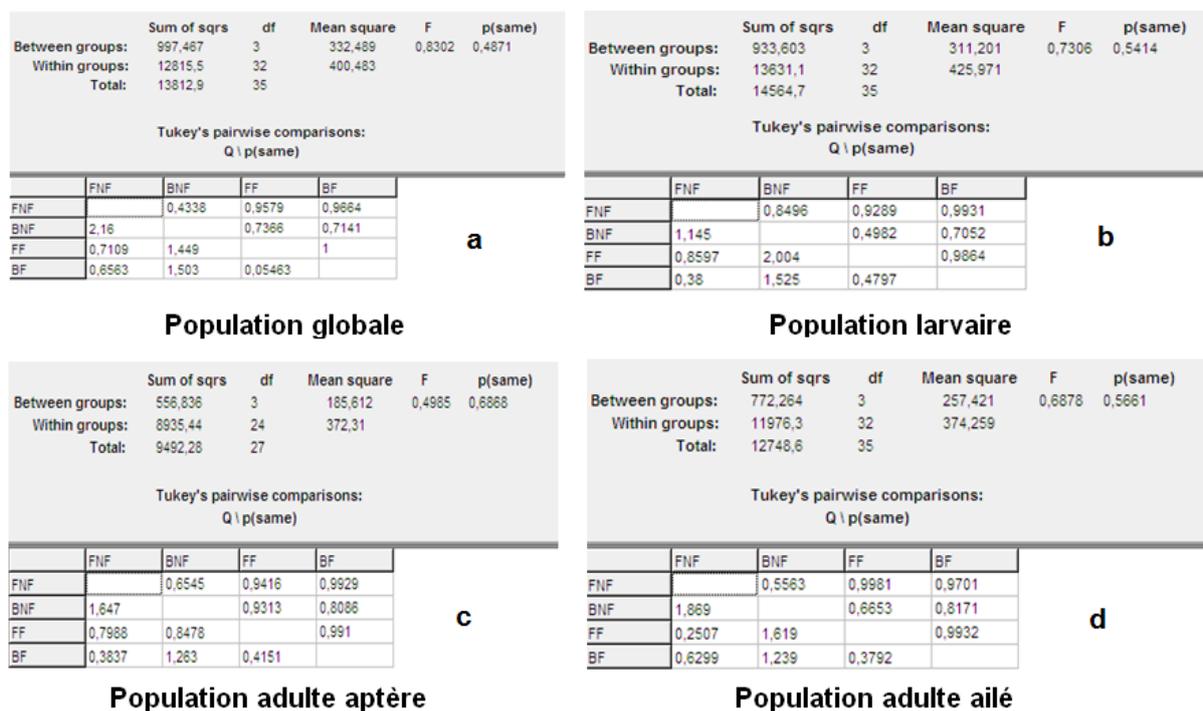


Figure 3.55: Effet comparé des différents traitements à base du thé de vermicompost sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

### 3.3.2.3. Variation temporelle de la fécondité du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas*

Dans la mesure où les différentes formes du bioproduit à base de jus de lombricompost semblent avoir un effet perturbateur du potentiel biotique du puceron vert du peuplier pendant le processus d'exposition aux traitements, il nous a paru intéressant d'entrevoir l'influence des bioproduits non formulés (BNF et FNF) et formulés (BF et FF) sur la fécondité.

Nous avons comparé l'effet des différents bioproduits non formulés et formulés par la mesure de la fluctuation temporelle de la fécondité de *Chaitophorus leucomelas* (Fig. 3.56).

Les bioproduits non formulés (BNF et FNF) et formulés (BF et FF) à base du thé de vermicompost ont été appliqués par pulvérisation foliaire. La figure (3.56) montre clairement que le brut et le fermenté non formulé ont une action plus rapide par

comparaison au témoin. Dans la majorité des points d'observations, le profil de la fluctuation temporelle de la fécondité nous a permis de déterminer la performance du brut non formulé BNF par comparaison au fermenté non formulé FNF (Fig. 3.56). En revanche, on peut remarquer que quel que soit le bioproduit formulé, la dissymétrie de la fécondité sous l'effet du fermenté formulé FF est inférieure à l'effet du brut formulé BF et du produit homologué HM (Fig. 3.56).

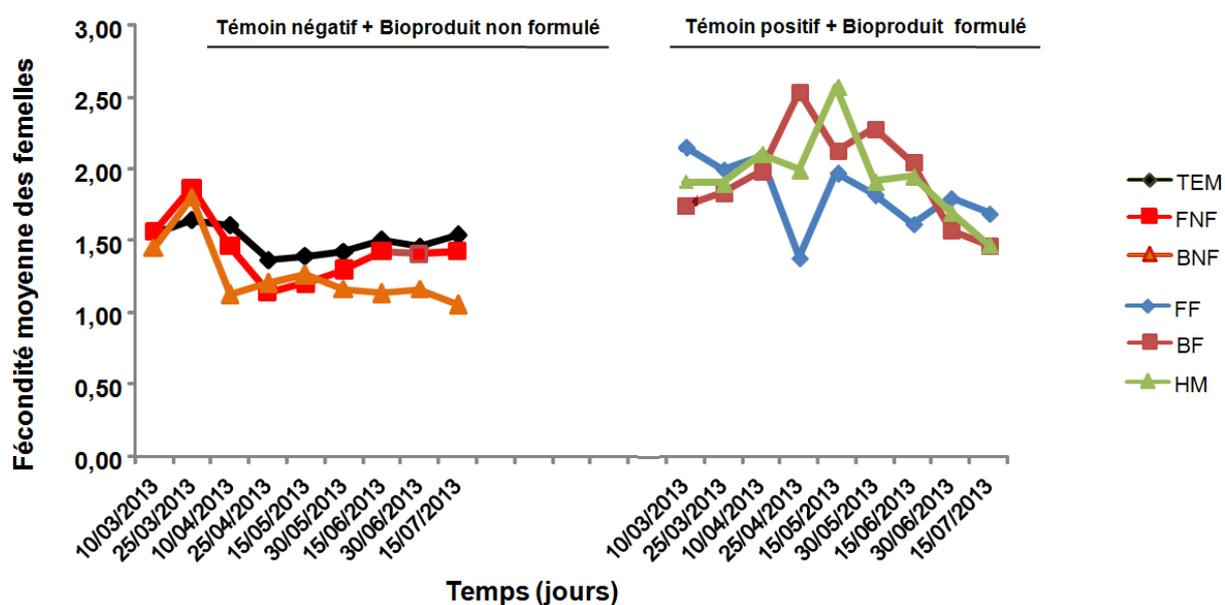


Figure 3.56 : Effet des différents bioproduits sur la fécondité moyenne des femelles de *Chaitophorus leucomelas*

**TEM** : témoin, **FNF**: fermenté non formulé, **BNF** : brut non formulé, **FF**: fermenté formulé, **BF** : brut formulé, **HM** : produit homologué.

Pour ce qui est de l'effet perturbateur des bioproduits de la fécondité de *C. leucomelas*, l'analyse par paire par confrontation de deux test Wilcoxon et Monte Carlo montre que le brut non formulé BNF agit le plus rapidement et perturbe significativement la fécondité (Tableau 3.10). Par ailleurs, l'effet des bioproduits formulés n'affichent aucune différence significative en termes de perturbation de la fécondité chez *C. leucomelas* (Tableau 3.10).

Tableau 3.10 : Comparaison par paire de la variation temporelle de la fécondité moyenne des femelles de *Chaitophorus leucomelas*

	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	9		9		9		9		9		9	
<b>Moyenne</b>	<b>1,5</b>	<b>1,42</b>	<b>1,5</b>	<b>1,26</b>	<b>1,42</b>	<b>1,26</b>	<b>1,84</b>	<b>1,95</b>	<b>1,84</b>	<b>1,95</b>	<b>1,95</b>	<b>1,95</b>
Médiane	1,51	1,43	1,51	1,17	1,43	1,17	1,83	1,99	1,83	1,92	1,99	1,92
Test Wilcoxon	0,1232		0,0241*		0,0278*		0,6784 <sup>NS</sup>		0,5936 <sup>NS</sup>		0,6781 <sup>NS</sup>	
Test Monte Carlo	0,1323		0,0237*		0,0316*		0,7366 <sup>NS</sup>		0,6262 <sup>NS</sup>		0,7162 <sup>NS</sup>	

TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué, NS: Non significative, \* : Significative à 5%

### 3.3.2.4. Modélisation de la dynamique temporelle et du potentiel biotique du puceron vert du peuplier *Chaitophorus leucomelas* à travers la qualité phytochimique de sa plante hôte

#### 3.3.2.4.1. Simulation de la disponibilité des formes biologiques en fonction de la qualité du support nourricier

L'intégration des métabolites primaires la Chlorophylle totale (Chl), les Sucres totaux solubles (STS), et la Proline (Pro) de *Populus nigra* (variables explicatives) et l'abondance des adultes aptères (variable expliquée) nous permettra de prévoir les grandes tendances de la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas*. Les résultats de la régression multiple (Tableau 3.11, 3.12 et 3.13), nous a permis d'obtenir plusieurs modèles de prévision de la fluctuation numérique de *Chaitophorus leucomelas* par rapport aux biofertilisants appliqués. Les équations polynomiales ont été arrêtées après vérification de l'importance des probabilités associées à chaque variable explicative. Le coefficient de détermination a également affirmé les valeurs du degré élevé de corrélation entre les valeurs observées et prédites; alors que, les coefficients de corrélation indiquent le haut degré d'associabilité entre les variables explicatives (Métabolites primaires du support nourricier) et la variable expliquée (Abondance des adultes aptères).

La chlorophylle totale (Chl) semble influencer positivement l'abondance des adultes aptères spécifiquement sous l'effet des biofertilisants non formulés en autres le thé de vermicompost brut (BNF) et le fermenté (FNF) au même titre que le témoin (TEM). En revanche, l'effet synergique des sucres totaux solubles (STS) et la chlorophylle totale

(Chl) constituent des éléments de prédiction positifs de l'abondance de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet du thé de vermicompost brut formulé (BF), tandis que sous l'effet du thé de vermicompost fermenté formulé (FF) l'abondance de *Chaitophorus leucomelas* est en rapport avec la fluctuation des sucres totaux solubles (STS). L'application du biofertilisant homologué (HM), indique que l'abondance des adultes aptères de *Chaitophorus leucomelas* est proportionnelle à la fluctuation des sucres totaux solubles (STS) et inversement proportionnelle à la fluctuation de la proline (Pro) (Tableau 3.12).

Tableau 3.11: Présentation des équations d'estimation des abondances larvaires de *Chaitophorus leucomelas* en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Chlorophylle totale	0,905	0,951	Abd= 200,8 Chl - 2,78 Abd= 157,1 Chl - 2,78
Brut Non Formulé	Proline	0,750	0,866	Abd= 12,13 Pro+ 49,45 Chl - 2,52
	Chlorophylle totale	0,991	0,995	Abd= 6,51 Pro+ 45,21 Chl - 2,52
Brut Formulé	Proline	0,430	0,656	Abd= - 14,33 Pro+ 36,81 Chl + 8,93
	Chlorophylle totale	0,952	0,976	Abd= 21,75 Pro+ 33,09 Chl + 8,93
Fermenté Non Formulé	Chlorophylle totale	0,983	0,991	Abd= 111,36 Chl - 7,35 Abd= 101,08 Chl - 7,35
	Proline	0,570	0,755	Abd= 48,1 Pro+ 80,35 Chl + 64,62
Fermenté Formulé	Chlorophylle totale	0,917	0,957	Abd= 107,72 Pro+ 62,05 Chl + 64,62
	Proline	0,449	0,670	Abd= - 13,91 Pro+ 43,48 Chl + 17,18
Produit Homologué	Chlorophylle totale	0,951	0,975	Abd= - 22,45 Pro+ 38,62 Chl + 17,18

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

Tableau 3.12: Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes aptères de *Chaitophorus leucomelas* en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Chlorophylle totale	0,833	0,912	Abd= 75,53 Chl + 3,47 Abd= 53,69 Chl + 3,47
Brut Non Formulé	Chlorophylle totale	0,989	0,994	Abd= 30,49 Chl - 0,67 Abd= 28,17 Chl - 0,67
	Chlorophylle totale	0,904	0,951	Abd= 12,6 Chl - 3,27 Abd= 9,86 Chl - 3,27
Fermenté Non Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,884	0,940	Abd= 10,57 STS + 34,94 Chl - 3,50
	Chlorophylle totale	0,952	0,976	Abd= 6,05 STS + 25,58 Chl - 3,50
Fermenté Formulé	Chlorophylle totale	0,945	0,972	Abd= 20,01 Chl - 3,10 Abd= 16,67 Chl - 3,10
	Chlorophylle totale	0,915	0,956	Abd= 14,22 Chl - 2,30 Abd= 11,3 Chl - 2,30

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles

Tableau 3.13: Présentation des équations d'estimation des abondances d'adultes ailés de *Chaitophorus leucomelas* en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Chlorophylle totale	0,931	0,965	Abd= 59,31 Chl - 4,61 Abd= 48,31 Chl - 4,61
Brut Non Formulé	Proline	0,807	0,898	Abd= 10,77 Pro+18,24 Chl - 3,52
	Chlorophylle totale	0,958	0,978	Abd= 5,27 Pro+ 14,1 Chl - 3,52
Brut Formulé	Chlorophylle totale	0,958	0,978	Abd= 7,44 Chl - 2,85 Abd= 6,36 Chl - 2,85
Fermenté Non Formulé	Chlorophylle totale	0,963	0,981	Abd= 31,44 Chl - 3,62 Abd= 27,12 Chl - 3,62
Fermenté Formulé	Proline	0,525	0,724	Abd= - 15,1 Pro+18,8 Chl + 17,37
	Chlorophylle totale	0,899	0,948	Abd= - 27,62 Pro+ 14,96 Chl + 17,37
Produit Homologué	Proline	0,427	0,653	Abd= - 2,92 Pro+11,69 Chl + 3,30
	Chlorophylle totale	0,920	0,959	Abd= - 7,1 Pro+ 9,33 Chl + 3,30

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

#### 3.3.2.4.2. Simulation de la fécondité du puceron vert du peuplier en fonction de la qualité du support nourricier

Une fois que le modèle de fécondité est disponible pour *Chaitophorus leucomelas*, son potentiel biotique peut être prédit en mappant les ressources alimentaires vitales qui produisent l'explosion numérique des populations avec plus ou moins de certitude. Les résultats des modèles de prédiction de la fécondité de *Chaitophorus leucomelas* se fondent sur le principe selon lequel le besoin le plus fondamental de l'insecte est de compléter son cycle de vie avec une synchronie adéquate en ressources essentielles (Tableau 3.14).

L'application du thé de vermicompost fermenté non formulé (FNF) ne semble pas influencer la fécondité de *Chaitophorus leucomelas*, du moment qu'il se comporte comme le témoin où la raréfaction de proline (Pro) et de chlorophylle totale (Chl) augmente le nombre de descendants. Pareillement, sous l'effet du biofertilisant homologué (HM) et le thé de vermicompost brut non formulé (BNF), la fécondité se trouve sous l'influence de la réduction des quantités des sucres totaux solubles (STS) et de chlorophylle totale (Chl). La formulation du thé de vermicompost brut (BF) et du thé de vermicompost fermenté (FF) modifie le paradigme naturel de prédiction de la fécondité de *Chaitophorus leucomelas*. L'application du thé de vermicompost formulés (BF et HM), indique que la fécondité de *Chaitophorus leucomelas* est inversement

proportionnelle à la fluctuation des sucres totaux solubles (STS) de la proline (Pro) (Tableau 3.14).

Tableau 3.14: Présentation des équations d'estimation de la fécondité moyenne de *Chaitophorus leucomelas* en utilisant la qualité phytochimique du peuplier soumis aux différents bioproduits

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin	Proline	0,044	-0,199	Abd= 2,18 Pro - 0,17 Chl + 1,57
	Chlorophylle totale	0,043	-0,194	Abd= 0,16 Pro - 1,47 Chl + 1,57
Brut Non Formulé	Proline	0,621	-0,789	Abd= - 0,65 Pro+ 1,68 Abd= - 1,19 Pro+ 1,68
Brut Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,0001	0,0046	Abd= 1,38 STS - 0,52 Chl - 0,45
	Chlorophylle totale	0,190	-0,44	Abd= 0,6 STS - 1,02 Chl - 0,45
Fermenté Non Formulé	Proline	0,096	-0,310	Abd= 2,22 Pro - 0,67 STS + 1,89
	Sucres Totaux Solubles	0,341	-0,583	Abd= 1,02 Pro - 1,19 STS + 1,89
Fermenté Formulé	Sucres Totaux Solubles	0,315	-0,565	Abd= - 0,31 STS+ 0,75 Chl + 4,16
	Chlorophylle totale	0,175	-0,420	Abd= -1,39 STS + 0,1 Chl + 4,16
Produit Homologué	Proline	0,418	-0,648	Abd= -0,01 Pro - 0,17 Chl + 2,65
	Chlorophylle totale	0,339	-0,579	Abd= - 0,85 Pro - 0,31 Chl + 2,65

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination, r : Coefficient de corrélation de Pearson, Abd : Abondance, Chl : Chlorophylle Totale, STS : Sucres totaux solubles, Pro : Proline

### 3.4. Effet des différents bioproduits à base du thé de vermicompost sur la stimulation de l'expression végétative (amélioration des paramètres de croissance et de production) de la fève

L'expérience effectuée visait la mise en évidence de la capacité stimulatrice de l'expression végétative sous l'effet de différents bioproduits à base du thé de vermicompost apportés comme engrais foliaire. Deux bioproduits à base du thé de vermicompost ont été appliqués à savoir : le brut non formulé (BNF) et le fermenté non formulé (FNF) par comparaison à un témoin (eau courante). La hauteur de la plante, le nombre de bouquets par plante, le nombre de fleurs par bouquets et le nombre de gousses par plante ont été mesurés chaque semaine pendant onze semaines.

Tous les traits ont enregistré une augmentation à chaque point d'évaluation (semaine). L'augmentation des valeurs des traits était plus marquée pour les plantes traitées avec le thé de vermicompost. L'approvisionnement en thé de vermicompost, quelle que soit sa forme (BNF et FNF), a touché positivement tous les traits mesurés (Tableau 3.15).

Les plantes de fève traitées au thé de vermicompost ont présenté une croissance plus importante, avec gradation positive de la production florale et par conséquent plus de bouquets floraux. Aussi nous signalons plus de gousses par plante traitée au thé de vermicompost par rapport au témoin. En outre, les plantes traitées ont atteint un stade de floraison au moins trois semaines plus tôt que le témoin. La floraison a commencé trois semaines sous l'effet du BFN, cinq semaines sous l'effet du FNF et huit semaines chez les plantes témoins. En outre, les plantes traitées au FNF et au BNF ont produit respectivement trois fois et quatre fois plus de bouquets par comparaison au témoin. De même, le nombre le plus élevé de fleurs et de gousses par grappe a été observé chez les plantes traitées au thé de vermicompost par rapport au témoin (Tableau 3.15).

Les plantes ont enregistré des croissances plus importantes de 15,68 cm et 25,84 cm respectivement sous l'effet du FNF et du BNF que le témoin 14,78cm. Les différences ont été plus prononcées aux stades reproductifs. Cela s'explique par la présence de nutriments, d'acide humique et probablement d'hormones qui peuvent affecter positivement la croissance et la reproduction. Le traitement de BNF a présenté des valeurs plus élevées que le FNF. Les résultats ont indiqué que le BNF est un engrais utile pour une meilleure croissance de la fève. Notre étude a mis en évidence la possibilité d'utiliser le (VCT) comme engrais foliaire dans la fève afin d'augmenter la croissance dans le cadre de l'agriculture biologique.

Tableau 3.15 : Traits morphologiques et reproductifs mesurés sur des plants de fève traités avec différents types de bioproduits à base du thé vermicompost

	Hauteur de la plante (cm)			Nombre de bouquets par plante			Nombre de fleurs par bouquets			Nombre de gousses par plante		
	Témoin	FNF	BNF	Témoin	FNF	BNF	Témoin	FNF	BNF	Témoin	FNF	BNF
Semaine 1	5,9	6,2	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semaine 2	6,7	6,7	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semaine 3	7,7	7,6	14,6	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
Semaine 4	8,9	8,9	17,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	4,0
Semaine 5	10,4	10,0	20,1	0,0	0,7	3,4	0,0	2,0	8,0	0,0	0,0	6,0
Semaine 6	12,0	10,8	22,3	0,0	2,0	4,0	0,0	9,0	9,0	0,0	3,0	6,0
Semaine 7	13,5	12,3	24,5	0,0	3,7	7,0	0,0	13,0	17,0	0,0	9,0	11,0
Semaine 8	16,0	15,4	31,6	0,7	6,7	11,0	0,0	19,0	28,0	0,0	13,0	24,0
Semaine 9	20,4	21,8	38,0	3,5	13,3	16,2	3,5	23,0	30,0	3,0	13,6	26,5
Semaine 10	26,4	32,4	45,0	5,4	18,3	22,7	10,5	24,0	31,5	7,5	14,5	27,5
Semaine 11	34,7	40,4	48,7	9,0	32,0	38,4	11,0	27,0	36,0	10,5	16,0	33,0
<i>p</i>	<i>0,007</i> **	<i>0,303</i> <sup>NS</sup>	<i>0,005</i> **	<i>0,583</i> <sup>NS</sup>	<i>0,023</i> *	<i>0,009</i> **	<i>0,035</i> *	<i>0,017</i> *	<i>0,004</i> **	<i>0,643</i> <sup>NS</sup>	<i>0,035</i> *	<i>0,002</i> **
F	<b>6,038</b>	<b>13,339</b>	<b>74,707</b>	<b>0,734</b>	<b>1,162</b>	<b>14,766</b>	<b>3,446</b>	<b>8,441</b>	<b>6,038</b>	<b>1,923</b>	<b>7,994</b>	<b>73,493</b>
Moyenne±S E	14,78±2,7 3	15,68±3,4 1	25,84±3,9 9	1,69±0,9 1	6,97±3,1 1	9,61±3,6 2	2,27±1,3 0	10,64±3,3 1	15,32±4,1 2	1,91±1,1 1	6,28±2,0 8	12,55±3,8 2
<i>p</i>	<b>0,000</b> ***			<b>0,011</b> *			<b>0,000</b> ***			<b>0,000</b> ***		
F	<b>6,911</b>			<b>3,839</b>			<b>12,515</b>			<b>10,649</b>		
Test Tukey	c	b	a	b	ab	a	c	b	a	c	b	a

\* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%, \*\*\* : Significative à 0,01%

## CHAPITRE 4 :

### DISCUSSION

La thématique vise à développer une agriculture durable par l'utilisation des phytofortifiants naturels d'origine végétale afin de valoriser les déchets organiques dans un cadre visant la couverture des besoins nutritionnels et le contrôle raisonné des populations d'insectes ravageurs des cultures.

L'agriculture contemporaine exprime un besoin croissant en matière de protection des cultures et des récoltes afin de maintenir les niveaux les plus hauts en rendements notamment dans les cultures stratégiques. Malheureusement, les intrants phytopharmaceutiques ont une mauvaise image chez le public et sont de plus en plus sur la sellette pour des questions de toxicité, de pollution. Il se pose également le problème de l'efficacité des produits phytosanitaires qui présentent des résistances qui les rendent inefficaces. Face à ces limitations, l'industrie agrochimique piétine et le développement de nouvelles substances actives – et encore plus de nouvelles familles – semblent de plus en plus difficiles. Or il existe des voies pour sortir de cette impasse qui révisent complètement les paradigmes régissant la lutte contre les ennemis des cultures. L'une d'entre elles consiste à donner aux plantes les moyens de se défendre elles-mêmes, ou renforcer leurs propres moyens de défense ; plutôt que de combattre directement l'agresseur. Dans cette catégorie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN) appelés aussi phytofortifiants, une solution intéressante sur les plans scientifique et agronomique, et qui pourrait bien être une solution d'avenir. Les phytofortifiants à activité SDN sont donc une nouvelle voie que la science a ouverte dans le domaine de la protection des plantes. Il reste cependant à bien préciser leur intérêt pour l'agriculture, aussi bien sur les plans technique qu'environnemental.

De nombreux matériaux organiques ont été proposés comme source de nutriments pour les cultures végétales et éliciteurs des activités SDN. Les algues, les substances humiques et le compost sont les sources les plus prometteuses [230, 231, 232].

Plusieurs travaux ont révélé une amélioration du rendement en serre chez les légumineuses et les légumes à l'aide de vermicompost [233, 234, 235, 236].

Bien que les potentialités du thé de vermicompost demeurent très documentés, nos travaux soulignent pour la première fois des effets prometteurs des différents types de thé de vermicompost (fermenté et formulé) et montrent la nécessité de développer des travaux complémentaires afin de définir les modalités potentielles de l'utilisation des produits de la vermiculture dans la protection et la stimulation de l'expression végétative (amélioration des paramètres de croissance et de production) des cultures.

### 1. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la réduction des formes biologiques d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas*

Nos résultats montrent des effets délétères des différentes formes du vermicompost sur l'abondance et la reprise numérique des formes biologiques d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas*. Si les bioproduits bruts (FNF et BNF) induisent une gradation négative majeure sur la disponibilité des bioagresseurs étudiés, en revanche, les bioproduits bruts expriment des perturbations très importantes sur les pucerons par rapport aux produits formulés. Les effets les plus marqués ont été observés sur la fécondité.

Ces différences d'activités peuvent être associées aux affinités variables entre les bioagresseurs et leurs supports nourriciers. En effet, si la plupart des insectes s'identifient directement aux fenêtres temporelles écologiques des plantes hôtes, l'apport de biofertilisants spécifiques peut modifier l'affinité et les propriétés d'installation primaire. En effet, en supposant que les biofertilisants à base de vermicompost traversent le parenchyme foliaire, ils pourraient agir directement sur le métabolisme primaire mais aussi sur le métabolisme secondaire. Si cette variabilité constitue une voie de stimulation de l'activité biochimique de la plante, elle offre la possibilité de cibler la ressource alimentaire et par conséquent la disponibilité et la capacité biotique d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas*. Des activités similaires ont été signalées par BIRADAR *et al.* [237] indiquant une corrélation claire entre les quantités de vermicompost et une diminution de l'incidence des psyllides (*Heteropsylla cubana*) sur la légumineuse tropicale (*Leucaena leucocephala*).

ARANCON *et al.* [238] ont signalé la suppression des pucerons (*Myzus persicae*) sur les choux par des vermicomposts.

Les quelques rapports dans la littérature sur les influences des vermicomposts sur l'incidence et les dommages des ravageurs suggèrent également que les bioagresseurs sont réduits par les vermicomposts suite à des modifications en matière organique [239, 240, 241]. MORALES *et al.* [242] ont signalé d'importantes successions de populations du puceron (*Rhopalosiphum maidis*) sur maïs conduit sous régie d'engrais inorganique que sur du maïs conduit sous régie d'engrais organiques. Aussi, PHELAN [243] a signalé que les plantes amendées en engrais organiques sont généralement moins susceptibles et peuvent résister aux attaques des ravageurs beaucoup mieux que les plantes qui reçoivent des engrais inorganiques. Cependant, les mécanismes écologiques traduisant ce phénomène sont mal connus. Certaines études ont suggéré que la fertilisation inorganique riche en azote (N) peut diminuer la résistance des plantes aux insectes, en améliorant la qualité nutritionnelle des plantes hôtes, et en inhibant l'accumulation de concentrations de métabolites secondaires [244, 245]. Il a été également suggéré que l'azote peut stimuler la fécondité des insectes et attirer plus d'individus pour l'oviposition sur les plantes hôtes cultivées avec du N inorganique [246], et performe également les paramètres démographiques des populations d'insectes [239, 247]. En outre, les matières organiques, assurent une libération plus lentement des éléments nutritifs et une amélioration de la composition nutritionnelle des plantes avec des niveaux d'azote plus faible [248]. Selon STEFFEN *et al.* [249], les éléments nutritifs pourraient tous contribuer à l'augmentation de la résistance des plantes face aux attaques des ravageurs. PHELAN *et al.* [250], ont suggéré que l'acceptabilité du maïs, de la pyrale du maïs *Ostrinnia nubilalis* (Hubner), pourrait être modifiée par l'équilibre minéral de la plante et aussi par un tampon biologique caractéristique des sols organiquement gérés [251, 243]. Les vermicomposts sont connus pour fournir un modèle de libération nutritionnelle lent et équilibré aux plantes, en particulier la libération de N soluble dans la plante, K soluble, Ca échangeable, Mg et P [252, 253].

Bien qu'il existe une vaste littérature sur le potentiel des engrais organiques à réduire l'incidence des infestations des insectes, peu de rapports de recherche signalent l'effet du vermicompost sur la diminution des attaques et la succession des ravageurs [254].

Dans cette optique, RAO *et al.* [162, 163] ont signalé des diminutions considérables dans les populations, de Jassidés, de pucerons, et des arachnides sur des cultures implantées sur des sols modifiés par des apports ratios de vermicompost. De leurs côtés, BIRADAR *et al.* [237] ont décrit des diminutions dans les populations d'*Heteropsylla cubana* après le développement végétatif de la plante *Leucaena leucocephala* conduite par une régie au vermicompost. Deux mécanismes ont été avancés, permettant d'expliquer la diminution des abondances des bioagresseurs. Les suggestions des chercheurs sont fondés (i) sur la disponibilité différentielle des nutriments minéraux des plantes, (ii) sur les changements dans l'équilibre des éléments nutritifs disponibles, ce qui pourrait affecter les aspects de la morphologie et de la physiologie des plantes de manière à rendre des plantes plus résistantes aux attaques de ravageurs [248, 255, 256]. Les changements dans les caractéristiques biochimiques de la plante issus de la nutrition organique ou inorganique, peuvent affecter l'épaisseur et le degré de lignification des cellules épidermiques, les concentrations des sucres totaux du complexe amino-azoté dans la sève du phloème, et les niveaux de composés secondaires des plantes [248].

La gradation négative signalée au niveau des traits populationnels d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas* pourrait être dûe à des effets directs ou indirects des fortes accumulations des composés phénoliques dans les différents bioproduits à base de vermicompost affectant ainsi, la prise alimentaire par l'inhibition de la digestion du matériel végétal. L'hypothèse avancée rejoint les conclusions de HAUKIOJA *et al.* [257] qui ont rapporté que la présence des substances phénoliques dans les tissus végétaux engendre des changements dans les taux de consommation de tissus par la chenille *Epirrita autumnata*. Aussi, STEVENSON *et al.* [258] ont signalé un ralentissement accusé dans le développement de *Spodoptera litura* suite à la détection des composés phénoliques dans les noix de Terre sauvage. Au-delà de l'effet contraignant des composés phénoliques, beaucoup d'études soulignent également l'incidence de la fertilisation sur la fluctuation des métabolites secondaires des plantes entre autres les composés phénoliques. ASAMI *et al.* [259] ont indiqué que les quantités totales de substances phénoliques étaient beaucoup plus élevées dans les fraises et le maïs cultivés organiquement que dans ceux cultivés avec des engrais inorganiques.

La connaissance de la forme de la nutrition d'une plante, associée à la dynamique et à l'écologie des organismes nuisibles, peuvent souvent constituer une excellente base pour une gestion efficace des ravageurs [260]. Les quantités, le calendrier et les types d'applications de fertilisation inorganiques ou organiques peuvent stimuler ou supprimer les populations de ravageurs, en fonction des espèces de ravageurs et de la culture. L'excès de fertilisation, en particulier l'azote, peut souvent favoriser une croissance végétale succulente et excessive, qui peut fournir un micro- environnement favorable pour un développement accru des ravageurs et des lésions parasitaires.

L'utilisation des amendements organiques a été reconnue comme source de nutrition plus équilibrée et cohérente pour la croissance des plantes, grâce à la décomposition progressive de la matière organique par les microorganismes, à la minéralisation et à la libération des nutriments qu'elle contient [261, 262, 248]. La matière organique dans les vermicomposts peut généralement fournir aux plantes une source équilibrée de nutriments qui peuvent influencer la composition et la physiologie des plantes.

## 2. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la l'activité phytochimique des plantes

Les taux d'accumulations des métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline) signalés dans nos résultats, permettent de constater que les bioproduits à base du thé de vermicompost stimulent l'activité photosynthétique et augmentent les réserves énergétiques, en provoquant une gradation d'accumulation de la chlorophylle totale et des sucres totaux solubles. Les mêmes résultats indiquent que la sécurisation du principe (thé de vermicompost & extrait d'algue marine) via la formulation engendre une accumulation très importante de la proline.

Nous supposons que la dégradation des déchets ménagers a fourni une accumulation substantielle d'acides aminés ou d'ion d'ammonium traduisant une augmentation accrue de la chlorophylle totale. L'hypothèse avancée a été documentée par les travaux de KOLTON & BARAN [263] et MIHALOVIC *et al.* [264]. Ces derniers ont signalé une amélioration de l'activité pigmentaire (chlorophylles a et b) suite à la richesse du vermicompost en ions d'ammonium par comparaison au compost. Dans

le même sens d'idée, MITTOVA *et al.* [265] avancent que la chlorophylle est un sous-produit du métabolisme oxydatif dans les chloroplastes, mitochondries et les peroxysomes. Elle permet de réguler la production de radicaux libres et les renforce en réponse à l'apport de quantités importantes d'Azote. De nombreuses études ont montré que le niveau des enzymes anti-oxydantes augmente lorsque les plantes sont exposées aux stress biotiques ou abiotiques. Une connexion vraisemblable est signalée entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. La compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun, le glutamate, peut être à l'origine de cette évolution [266, 267].

Cependant, l'accumulation des sucres totaux solubles, peut être liée à l'activation du métabolisme basale de la plante. COÛC & TENDILLE [268]; NOIRAUD *et al.* [269] signalent que la physiologie de la plante et l'espèce végétale sont des facteurs de variations quantitatives des sucres synthèse des sucres. SINHA-RAJIV [270] avance que la nutrition organique affecte aussi le métabolisme des hydrates de carbone, avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation direct avec les processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration [271, 272].

En effet, les sucres, même s'ils représentent des osmorégulateurs beaucoup moins puissants, participent également au maintien de la balance de la pression osmotique pour garder la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible [273]. Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines [274].

Concernant l'accumulation de la proline, différents résultats de recherche rejoignent nos observations notamment ceux de COÛC & TENDILLE [268] et ILDIKO & GALIBA [271], qui citent que les différents régimes nutritionnels des plantes affectent le métabolisme des hydrates de carbone, avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. En outre, l'accumulation de la proline est l'une des stratégies adaptatives souvent observée chez les végétaux pour limiter les effets des différents régimes de stress (Agression des adjuvants). MATTHEWS [275] et COME [276], confirment cette accumulation de la proline par rapport aux sucres solubles par le

phénomène d'induction de la résistance de la plante. Celle-ci modifie la balance de ses constituants en faveur des métabolites secondaires, ce qui entraîne une augmentation de sa capacité de résistance. En conséquence, ce déficit de réaction de défense induite engendre une accumulation et une utilisation progressive en sucres solubles.

La proline localisée principalement dans le cytoplasme, agit comme un cytoprotecteur durant l'exposition de la plante à des agressions externes (cas des adjuvants qui augmentent la pénétration du principe actif). BLUM [277], note l'existence d'une relation entre capacité d'accumulation de la proline et aptitude de récupération de la plante à l'issue d'un stress, et suggère que l'acide aminé sert d'énergie lors du retour aux conditions normales. La proline, observée chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones s'accumule pour restaurer l'équilibre osmotique entre cytoplasme et vacuole. L'accumulation de proline consécutive à un stress est soit le résultat d'une diminution de la synthèse protéique, soit une reconversion du glutamate en proline. L'explication de l'accumulation de la proline est confuse ; certains auteurs dont HANSON *et al.* [278], affirment que c'est une conséquence pathologique; d'autres, comme STEWART & LEE [279], suggèrent que la proline à de fortes concentrations agisse comme soluté pour l'ajustement osmotique, et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.

### 3. Evaluation des potentialités des différentes formes du vermicompost sur la croissance des plantes

L'un des objectifs centraux de cette expérience était de tester si la conduite culturale de la fève par une régie de nutrition organique issue de différents types de biofertilisants à base de thé de vermicompost affecte la bioproduktivité de la fève. La caractérisation des biofertilisants avance que les valeurs des éléments minéraux et de la teneur en acide humique, étaient assez semblables à celles connues dans le vermicompost et le compost [280, 281, 282, 283]. Les résultats obtenus dans notre étude ont révélé que l'effet du thé de vermicompost foliaire augmente les paramètres de croissance ainsi que le développement reproductif. En effet, la hauteur de la plante a augmenté d'un taux de 0,4 cm par jour (sous l'effet du FNF) et de 0,5 cm par jour (sous l'effet du BNF) à la fin de l'expérience ; tandis que la plante témoin a augmenté

de 0,3 cm par jour. Des résultats similaires utilisant du vermicompost en tant que substrat (forme solide) ou de pulvérisation foliaire (forme liquide) ont été signalés sur les céréales, les fruits et les légumineuses [284, 285, 286, 234, 281, 287, 283, 282]. Cette stimulation de la croissance peut résulter de molécules bioactives hydrosolubles comme les phytohormones, les acides humiques et fulviques, les minéraux, les acides aminés ou les métabolites microbiens présents dans les vermicomposts [288, 230]. L'analyse du thé de vermicompost utilisé dans notre étude a révélé que la teneur en acide humique était assez similaire à celle déjà rapportée [288, 283]. Ces molécules sont connues pour être impliquées dans de nombreux processus de développement dans les plantes et la stimulation de la croissance [230, 282]. En outre, l'application foliaire augmente l'absorption des nutriments résultant de la dégradation des plantes et, par conséquent, plus rapidement pour être utilisée par la croissance de la fève. OLIVARES *et al.* [289], ont signalé que la pulvérisation du sel minéral d'acide humique et les bactéries favorisent la croissance des plantes et augmentent l'absorption de nitrate dans les fèves. De même, les phytohormones disponibles dans le thé de vermicompost sont connues pour jouer un rôle central dans la croissance des plantes. En effet, il a été signalé que le vermicompost issu de la dégradation des déchets ménagers contient plusieurs phytohormones [290] ou des molécules qui présentent un effet similaire aux phytohormones [230]; ce qui explique l'efficacité de l'application du vermicompost dans le développement de la croissance et de l'induction florale. D'autres études ont attribué la disponibilité de minéraux principalement de l'azote suite à l'apport du thé de vermicompost, ce qui facilite sa biodisponibilité pour l'assimiler et l'utiliser très rapidement [288, 283]. En fait, l'acide humique, les phytohormones et les minéraux stimulent la croissance qui a probablement augmenté l'interception du flux de lumière qui, à son tour, a amélioré la photosynthèse, entraînant ainsi une croissance et un rendement plus élevés [291, 292]. Néanmoins, il est bien connu que l'augmentation de la disponibilité du N peut favoriser la croissance végétative. Dans notre étude, l'application du thé de vermicompost a conduit à une floraison précoce. Ce fait peut résulter d'une modification des hormones ou du rapport C / N ou des deux. Des études antérieures ont mis en évidence que l'ajout du thé de vermicompost favorise la floraison et le rendement en raison probablement de la présence d'hormones comme l'acide indole 3- acétique et l'acide Gibbérellique ou des molécules ayant un effet phytohormonale similaire [285, 230, 288, 282].

La teneur en sucres solubles était nettement plus élevée dans les plantes traitées que dans le témoin. L'accumulation importante de sucres a commencé plus tôt dans les plantes traitées. Des rapports antérieurs ont souligné que l'ajout du thé de vermicompost entraîne une accumulation plus élevée en sucres solubles [286, 282]. L'augmentation du nombre de fleurs et de gousses dans les plantes traitées induit probablement une modification du processus de nouaison qui se traduit par une accumulation de sucres solubles. Cette augmentation des sucres est nécessaire à l'activité mitotique dans le développement de graines [293]. D'une manière intrigante, le traitement à base du FNF a affiché une croissance et une floraison inférieures au traitement à base de BNF. Des concentrations moins élevées d'acide humique, d'hormones, et de minéraux ne s'ajustant pas à la demande des plantes pourraient être responsables des valeurs inférieures de la croissance et des caractéristiques de la floraison [294, 281, 283].

De nombreux résultats de recherche démontrent clairement les effets positifs de la fertilisation organique foliaire sur la croissance, le développement et parfois même sur le rendement des cultures. Le résultat actuel indique que le thé du vermicompost contient une composition bien équilibrée des nutriments permettant la conduite de la culture de la fève dans un cadre d'horticulture organique. Par conséquent, aucun apport supplémentaire de nutriments minéraux ne semble nécessaire.

## **CHAPITRE 5 :**

### **CONCLUSION**

La présente étude conclut que l'application de biofertilisants à base de thé de vermicompost brut, fermenté ou sécurisé par une formulation, influence les réponses physiologiques et biochimiques et conduit vers la synthèse et l'accumulation de

métabolites simples (sucres totaux solubles et proline) et des teneurs variable en pigments (chlorophylle totale) chez la fève ainsi que le peuplier noir. L'utilisation efficace des différents biofertilisants est reflétée par les perturbations signalées sur la fécondité et la disponibilité des populations d'*Aphis fabae* et celle de *Chaitophorus leucomelas*. La modélisation de la dynamique des populations d'*A. fabae* et de *C. leucomelas* par intégration de la qualité phytochimique de la fève et du peuplier noir présentée dans cette étude sera utile pour améliorer la production végétale.

Les caractéristiques de croissance et de production des plants de fève traités avec le vermicompost étaient plus importantes que chez les plants témoins. L'application foliaire du thé de vermicompost sur la fève a entraîné une floraison précoce, et un nombre plus élevé de gousses par les plantes ; ce qui montre clairement son effet bénéfique sur la bioproduktivité de la fève. Nos résultats relatifs à l'apport du thé de vermicompost offrent les possibilités d'accroître la productivité végétale par une limitation d'utilisation d'intrants de synthèses pour les cultures légumières et les essences forestières. Cependant, d'autres recherches pourraient être importantes pour affiner l'impact de ces applications sur la production et l'impact sur les maladies et les ravageurs de cette espèce et d'autres légumineuses. En terme de traits globaux de stimulation de vigueur et d'expression végétative et de limitation des disponibilités de pucerons suite aux apports de différents types de biofertilisants à base de thé de vermicompost et d'algue marine, nous pouvons dégager les principaux résultats suivants :

L'apport des différents biofertilisants à base du thé de vermicompost et du biofertilisant à base d'algue marine, fait constater une stimulation de l'activité photosynthétique et une augmentation des réserves énergétiques. Une intention particulière est à signaler quant à l'effet du thé de vermicompost brut (BNF) suite à son impact positif sur l'accumulation des métabolites primaires et secondaires (sucres totaux solubles, chlorophylle totale et proline), par augmentation graduelle des taux d'accumulation de la chlorophylle totale et des sucres totaux solubles. Les mêmes résultats, indiquent que la sécurisation du principe (thé de vermicompost brut & extrait d'algue marine) via la formulation engendre une accumulation très importante de la proline.

Les résultats correspondants à l'effet des différents biofertilisants à base de thé de vermicompost sur la stimulation de vigueur et l'expression de la bioproduktivité de la fève nous ont montré que les plantes traitées ont présenté une hauteur finale plus élevée et un nombre de fleurs et de gousses par bouquets plus important par rapport au témoin. En outre, les plantes traitées ont atteint le stade de floraison (induction florale) au moins trois semaines plus tôt que le témoin. Les résultats ont mis en évidence la possibilité d'utiliser le thé de vermicompost brut (BNF) comme engrais foliaire pour une meilleure croissance de la fève.

A partir des résultats obtenus sur la fluctuation de la disponibilité globale d'*Aphis fabae* et de *Chaitophorus leucomelas*, il apparaît clairement que l'apport des biofertilisants à base du thé de vermicompost et d'algue marine conditionnent négativement l'abondance des différentes formes biologiques. Les bioproduits bruts (FNF et BNF) induisent une gradation négative majeure sur la disponibilité des bioagresseurs étudiés ; en revanche, les bioproduits bruts expriment des perturbations plus marquées sur la fécondité des pucerons par rapport aux produits formulés.

L'étude de la réaction des plantes aux infestations par les bioagresseurs a permis de mettre en évidence l'existence d'éliciteurs de défense naturelle des plantes dans les formulations. Ceci pourra offrir une stratégie supplémentaire dans les programmes de la production intégrée.

Cependant, la difficulté d'alimenter les cultures et de contrôler les populations de ravageurs est également renforcée par les limites et les conséquences liées à l'utilisation des pesticides conventionnels en conditions naturelles. La recherche de solutions alternatives par l'utilisation de biofertilisants d'origine végétale comme le thé de vermicompost a donné des résultats satisfaisants. En effet, des études complémentaires de la structure démographique des ravageurs et en phytochimie des plantes sont donc indispensables pour déterminer la nature de la suprématie du thé de vermicompost sur l'intégrité de la culture. De plus, la caractérisation de la nature des phytohormones et des molécules SDN impliquées est nécessaire pour confirmer l'existence d'une éventuelle couverture nutritionnelle et protectrice.

Par ailleurs, une étude de l'influence de la nature des déchets vis-à-vis des capacités stimulatrices de la vigueur et de l'expression végétative est indispensable avant de mettre en place tout programme de vulgarisation de ces biofertilisants.

Il est également nécessaire de procéder à l'isolement du ou des composés impliqués dans l'activité insecticide et dans l'activité bioproduktivité végétative des différents biofertilisants à base du thé de vermicompost pour étudier leur mode d'action en comparaison avec les biofertilisants homologués à base d'extrait d'algue marine ou à base de microorganisme.

## **CHAPITRE 6:**

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. **IKERD J.E., 1990** - Agriculture's search for sustainability and profitability. *Journal of Soil and Water Conservation*. 45, pp: 18-23.
2. **TCHAKER F.Z., 2011**- Evaluation des effets des extraits aqueux d'*Inula viscosa* en combinaison avec un bio-adjuvant sur la qualité phytochimique, la densité des sexupares de *Chaitophorus leucomelas* (*Homoptera: Aphididae*) et sur la reprise biocénotique. Thèse de Magister. Science Agronomique, Blida, 241p.
3. **CHAPIN F.S., 2000** - Consequences of changing biodiversity, *Nature* 405(6783),pp:234-242,  
<http://www.nature.com/nature/journal/v405/n6783/full/405234a0.html>
4. **ADENIYI S.A., ORJIEKWE C.L., EHIAGBONARE J.E. & ARIMAH B.D., 2010**- Preliminary phytochemical analysis and insecticidal activity of ethanolic extracts of four tropical plants (*Vernonia amygdalina*, *Sida acuta*, *Ocimum gratissimum* and *Telfaria occidentalis*) against beans weevil (*Acanthscelides obtectus*). *I J Phy Sci* 5, pp: 753-762.
5. **COSTA P.T. & MC CRAE R.R., 1990** – Personality disorders and the five factor model of personality. *Journal of Personality Disorders*, 4, pp: 362- 371.
6. **DEZIEL E., GOPALAN S., TAMPAKAKI A.P., LEPINE F., PADFIELD K.E., 2005** -The contribution of MvfR to *Pseudomonas aeruginosa* pathogenesis and quorum sensing circuitry regulation: Multiple quorum sensing-regulated genes are modulated without affecting lasRI, rhlRI or the production of N-acyl-L-homoserine lactones. *Mol Microbiol* 55, pp: 998–1014.
7. **FRAVEL D.R., RHODES D.J., & LARKIN R.P., 1999** – Production and commercialization of biocontrol products. In *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops Phytopathology*. 89 (12), pp: 1152-61.

8. **EDWARDS C.A., DOMINGUEZ J. & ARANCON N.Q., 2004** – The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence, pp. 397-420. In Shakir S. H. and Mikhail W.Z.A. (eds.), Soil zoology for sustainable development in the 21st century. Self-Publisher, Cairo, Egypt.
9. **ARANCON N.Q., EDWARDS C.A., & LEE S., 2004** – Management of plant parasitic nematode populations by vermicompost. Proceeding Brighton Crop Protection Conference – Pests and Diseases. 8. 716 p.
10. **CHAOUI H., EDWARDS C.A., BRICKNER M., LEE S. & ARANCON N.Q., 2002** – Suppression of the plant diseases, *Pythium* (damping off), *Rhizoctonia* (root rot) and *Verticillium* (wilt) by vermicomposts. Proceedings of Brighton Crop Protection Conference—Pests and Diseases. vol.II, 8B-3, pp: 711- 716.
11. **MARSCHNER H., 1996** - Mineral Nutrition of Higher Plants, 2<sup>nd</sup> edition. Academic press, London, UK.
12. **EPSTEIN E., 1972-** Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley And Sons, London. 135P.
13. **MORARD & PHILIPPE., 1995** - Les cultures végétales hors sol. Publications Agricoles.340P.
14. **OSMAN A. M. & MILTHORPE F. L., 1971-** Photosynthesis of wheat in relation to age, illuminance and nutrient supplies. Result, *Photosynthetica*. 11, Vol 5, pp: 61- 70.
15. **MENGEL K., KIRKBY E. A., 1978** - Principles of plant nutrition, Ed. Item. Potash Insit., Berne, pp: 398- 425.
16. **HALL G. J., HART C. A. & JONES C. A., 2000** - Plant as sources of cations antagonistic to glyphosate activity, *Pest Manag. Sci*. 56, pp: 351- 358.

17. **HOPKINS W. G. & EVRAR D., 2003** - Physiologie végétale. 1re éd., De Boeck Université, 514 p.
18. **CHABOUSSOU F., 1980** - Les plantes malades des pesticides. Base nouvelle de prévention contre maladies et parasites. Ed. DEBARDS, Paris, 200 p.
19. **CHABOUSSOU F., 1975** - Les facteurs culturaux dans la résistance des agrumes Vis à vifs de leurs ravageurs. ST.Zool .Inst.Nat.Harech.AGRO.BORDEAUX, 39p.
20. **EHRlich P. R. & RAVAN P. H., 1964** - Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution* 18, pp: 586- 608.
21. **FUTUYAMA D. J., 2000** - Some current approaches to the evolution of plant-herbivore interactions. *Plant Spec. Biol.* 15, pp: 1- 9.
22. **KARBAN R. & BALDWIN I. T., 1997** - Induced responses to herbivory. Ed, J.N.Thompson, Univ. Chicago Press, Chicago, 319 p.
23. **CRAWLEY M. J., 1997** - Plant-herbivore dynamics. In: *Plant ecology*. Ed, M.J. Crawley. Blackwell, pp: 401- 474.
24. **HAWKES C. V. & SULLIVAN J. J., 2001** - The impact of herbivory on plants in different conditions: meta-analysis. *Ecology* 82, pp: 2045- 2058.
25. **RAUSHER M. D., 1996** - Genetic analysis of coevolution between plants and their natural enemies. *Trends Genet.* 12, pp: 212- 217.
26. **MAURICIO R. & RAUSHER M. D., 1997** - Experimental manipulation of putative selective agents provide evidence for the role of natural enemies in the evolution of plant defense. *Evolution* 51, pp: 1435- 1444.

27. **SCHONLE I. & BERGELSON J., 2000** - Evolutionary ecology of the tropane alkaloids of *Datura stramonium* L. (Solanaceae). *Evolution*. 54, pp: 778- 788.
28. **LAUWERYS R., 1990** - Toxicologie professionnelle et intoxications industrielles. Ed. Masson, Paris.503P.
29. **WEINZERL R., 1998** - Botanicals insecticide, soaps and oils. In: *Biological, Biotechnological control of insect pest*, eds, J.E. Rechcigl & N.A. Rechcigl. Boca Raton, Florida, pp: 101- 121.
30. **ISMAN M. B., 1997** - Neem insecticides. *Pestic. Outlook* 8, pp: 32- 38.
31. **ROSENTHAL G. & BERENBAUM M. R., 1991** - Herbivores: their interactions with secondary plant metabolites, eds, G. Rosenthal & M. Berenbaum, Academic. Press,Vol. 1, New York.
32. **DUFFEY S. S. & STOUT M. J., 1996** - Antinutritive and toxic components of plant defense against insects. *Arch. Insect. Biochem. Physiol.* 32, pp: 3- 37.
33. **BERNAYS E. A. & CHAPMAN R. F., 1994** - Host plant selection by phytophagous insects. Chapman & Hall, New York, 312 p.
34. **AGRAWAL A. A., 1998** - Induced response to herbivory increased plant performance. *Science*. 279, pp: 1201- 1202.
35. **BALDWIN I. T., 1998** - Jasmonate-induced responses are costly but benefit plants under native populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, pp: 8113- 8118.
36. **CONSTABEL C. P., 1999** - A survey of herbivore-inducible defensive proteins and phytochemicals. In: **AGRAWAL A. A., TUZUN S. & BENT E., 1999- Induced plant defense against pathogens and herbivores, biochemistry, ecology and agriculture**, the American Phytopathologist Society, St Paul, pp: 137- 166.

37. **BALDWIN I. T., 1988** - Short-term damage-induced increases in tobacco alkaloids protect plants. *Oecologia* 75, pp: 367- 370.
38. **RHOADES D. F., 1979** - Evolution of plant chemical defenses against herbivores. In: **ROSENTHAL G. & BERENBAUM M., 1979- *Herbivores: Their interaction with secondary plant metabolites***, Academic Press, New York, pp: 4- 54.
39. **ZANGERL A. R. & BAZZAZ F. A., 1992** - Theory and pattern in plant defense allocation. In: **FRITZ R. S. & SIMMS E. L., 1992- *Plant resistance to herbivore and pathogens: Ecology, evolution, and genetics***, University of Chicago Press, Chicago, pp: 363- 391.
40. **OHMEISS T. E. & BALDWIN I. T., 2000** - Optimal defense theory predicts the ontogeny of an induced nicotine defense. *Ecology*. 81, pp: 1765- 1783.
41. **CORTESERO A. M., DE MORAES C. M., STAPEL J. O. & LEWIS W. J., 1997** - Comparisons and contrasts in host foraging strategies of two larval parasitoids with different degrees of host specificity. *J. Chem. Ecol.* 23, pp: 1589- 1606.
42. **DE MORAES C. M., LEWIS W. J., PARÉ P. W., ALBORN H. T. & TUMLINSON J. H., 1998** - Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature*. 393, pp: 570- 573.
43. **DICKE M., SABELIS M. W., TAKABAYASHI J., BRUIN J. & POSTHUMUS M. A., 1990** - Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol.* 16, pp: 3091- 3118.
44. **VAN LOON J. J. A., DE BOER J. G. & DICKE M., 2000** - Parasitoid-plant mutualism: parasitoid attack of herbivore increases plant reproduction. *Entomol. Exp. Appl.* 97, pp: 219- 227.

45. **FRITZSCHE- HOBALLAH M. E. & TURLINGS T. C. J., 2001** - Experimental evidence that plants under caterpillar attack may benefit from attracting parasitoid. *Evol. Ecol. Res.* 3, pp: 553- 565.
46. **TAKABAYASHI J. & DICKE M., 1996** - Plant-carnivore mutualism through herbivore induced carnivore attractants. *Trends Plant. Sci.* 1, pp: 109- 113.
47. **HOWE G. A., LIGHTNER J., BROWSE J. & RYAN C. A., 1996** - An octadecanoic pathway mutant (JL5) of tomato is compromised in signalling for defense against insect attack. *Plant Cell* 8, pp: 2067- 2077.
48. **JOHNSON R., NARVAEZ J., AN G. & RYAN C. A., 1989** - Expression of proteinase inhibitors I and II in transgenic tobacco plants: Effects on natural defense against. *Manduca sexta* larvae. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 86, pp: 9871- 9875.
49. **BALDWIN I. T., 1999** - Inducible nicotine production in native *Nicotiana* as an example of adaptative phenotypic plasticity. *J. Chem. Ecol.* 25, pp: 3- 30.
50. **BALDWIN I. T. & PRESTON C. A., 1999** - The eco-physiological complexity of plant responses to insect herbivores. *Planta* 208, pp: 137-145.
51. **RODRIGUEZ – SAONA C., CRAFTS – BRANDNER S. J., PARÉ W. P. & HENNEBERRY T. J., 2001** - Exogenous methyl jasmonate induces volatile emissions in cotton plants. *J. Chem. Ecol.* 27, pp: 679- 695.
52. **CREELMAN R. A., TIERNEY M. L. & MULLET J. E., 1992** - Jasmonic acid / methyl jasmonate accumulate in wounded soybean hypocotyls and modulate wound gene expression. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 89, pp: 4938- 4941.
53. **BALDWIN I. T., ZHANG Z. P., DIAB N., OHNMEISS T. E., MC CLOUD E. S., LYNDS G. Y. & SCHMELZ E. A., 1997** - Quantification, correlations and

manipulation of wound - induced changes in jasmonic acid and nicotine in *Nicotiana sylvestris*. *Planta*. 201, pp: 397- 404.

54. **SCHMELZ E. A., ALBORN H. T. & TUMLINSON J. H., 2003** - Synergistic interactions between, volicitin, jasmonic acid and ethylene mediate insect-induced volatile emission in *Zea mays*. *Physiol. Plant*. 117, pp: 403- 412.
55. **MALAMY J., CARR J. P., KLESSIG D. & RASKIN I., 1990** - Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*. 250, pp: 1002- 1004.
56. **VAN POECKE R. M. P. & DICKE M., 2001** - Induced parasitoid attraction by *Arabidopsis thaliana*: involvement of the octadecanoid and the salicylic acid pathway. *J. Exp. Bot*. 53, pp: 1793-1799.
57. **PEÑAS - CORTÈS H., SANCHEZ - SERRANO J. J., MERTENS R., WILLMITZER L. & PRAT S., 1989** - Abscisic acid is involved in the wound-induced expression of the proteinase inhibitor II gene in potato and tomato. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 86, pp: 9851- 9855.
58. **VIDHASEKARAN P., 1993** - Defense genes for crop disease management, *Genetic engineering molecular biology and tissue culture for crop pest and disease management*. pp: 17- 30.
59. **LYON G., 2007** - Agents that can elicit induced resistance. In: **WALTERS D., NEWTON A., LYON G., 2007**- Induced resistance for plant defense: a sustainable approach to crop protection. Blackwell. Publishing, Oxford, UK. pp: 9- 29.
60. **KOGA J., KUBOTA H., GOMI S., UMEMURA K., OHNISHI M. & KONO T., 2006** - Cholic acid, a bile acid elicitor of hypersensitive cell death, pathogenesis-related protein synthesis, and phytoalexin accumulation in rice. *Plant Physiology*. 140, pp: 1475- 1483.

61. **HINDUMATHY C. K., SHAILASREE S., KINI K. R. & SHETTY H. S., 2006** - Spore cell wall components of *Aspergillus niger* elicit Downy mildew disease resistance in pearl millet. *Phytoparasitica*. 34, pp: 72- 86.
62. **FALCON – RODRIGUEZ A. B., CABRERA J. C., ORTEGA E. & MARTINEZ – TELLEZ M. A., 2009** – Concentration and physicochemical properties of chitosan derivatives determine the induction of defense responses in roots and leaves of tobacco (*Nicotiana tabacum*) plants. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 4, pp: 192- 200.
63. **IRITI M. & FAORO F., 2008** - Abscisic is involved in chitosan-induced resistance to tobacco necrosis virus (TNV). *Plant Physiology and Biochemistry*. 46, pp: 1106- 1111.
64. **TROTEL - AZIZ P., COUDERCHET M., VERNET G. & AZIZ A., 2006** - Chitosan stimulates defense reactions in grapevine leaves and inhibits development of *Botrytis cinerea*. *European Journal of Plant Pathology*. 114, pp: 405- 413.
65. **IRITI M., VITALINI S., DI TOMMASO G., D'AMICO S., BORGIO M. & FAORO F., 2011** - New chitosan formulation prevents grapevine powdery mildew infection and improves polyphenol content and free radical scavenging activity of grape and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 17, pp: 263- 269.
66. **TROUVELOT S., VARNIER A. L., ALLEGRE M., MERCIER L., BAILLIEUL F., ARNOULD C., GIANINAZZI – PEARSON V., KLARZYNSKI O., JOUBERT J. M., PUGIN A. & DAIRE X., 2008** - A beta-1,3 glucan sulfate induces resistance in grapevine against *Plasmopara viticola* through priming of defense responses, including HR-like cell death. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 21, pp: 232- 243.

67. **RENARD – MERLIER D., RANDOUX B., NOWAK E., FARCY F., DURAND R. & REIGNAULT P., 2007** - Ioduric acid, salicylic acid, heptanoyl salicylic acid and trehalose exhibit different efficacies and defence targets during a wheat/powdery mildew interaction. *Phytochemistry*. 68, pp: 1156- 1164.
68. **CLUZET S., TORREGROSA C., JACQUET C., LAFITTE C., FOURNIER J., MERCIER L., SALAMAGNE S., BRIAND X., ESQUERRE –TUGAYE M. T. & DUMAS B., 2004** - Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp. *Plant Cell and Environment*. 27, pp: 917- 928.
69. **JAULEAU V., LAFITTE C., CORIO – COSTET M. F., STADNIK M. J., SALAMAGNE S., BRIAND X., ESQUERRE – TUGAYE M. T. & DUMAS B., 2011** - An *Ulva armoricana* extract protects plant against three powdery mildew pathogens. *European Journal of Plant Pathology*. 131, pp: 393- 401.
70. **GARCIA - PINEDA E. & LOZOYA - GLORIA E., 1999** - Induced gene expression of 1-aminocyclopropane-1- carboxylic acid (ACC oxidase) in pepper (*Capsicum annuum* L.) by arachidonic acid. *Plant Science*. 145, pp: 11- 21.
71. **GARCIA - PINEDA E., CASTRO - MERCADO E. & LOZOYA - GLORIA E., 2004** - Gene expression and enzyme activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) ascorbate oxidase during elicitor and wounding stress. *Plant Science*. 166, pp: 237-243.
72. **ROSSARD S., ROBLIN G. & ATANASSOVA R., 2010** - Ergosterol triggers characteristic elicitation steps in *Beta vulgaris* leaf tissues. *Journal of Experimental Botany*. 61, pp: 1807-1816.
73. **SAUCEDO- GARCIA M., GUEVARA- GARCIA, A., GONZALEZ- SOLIS A., CRUZ- GARCIA F., VAZQUEZ- SANTANA S., MAKHAM J. E., GUADALUPE LOZANO- ROSAS M., DIETRICH C. R., RAMOS- VEGA M., CAHOON E. B.**

- & GAVILANES- RUIZ M., 2011-** MPK6, sphinganine and the LCB2a gene from serine palmitoyltransferase are required in the signaling pathway that mediates cell death induced by long chain bases in *Arabidopsis*. *New Phytologist*. 191, pp: 943- 957.
- 74. FOFANA B., MC NALLY D. J., LABBE C., BOULANGER R., BENHAMOU N., SEGUIN A. & BELANGER R. R., 2002** - Milsana-induced resistance in powdery mildew-infected cucumber plants correlates with the induction of chalcone synthase and chalcone isomerase. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 61, pp: 121- 132.
- 75. BARDIN M., FARGUES J. & NICOT P. C., 2008** - Compatibility between biopesticides used to control grey mould, powdery mildew and whitefly on tomato. *Biological Control*. 46, pp: 476- 483.
- 76. OLLI S. & KIRTI P. B., 2006** - Cloning, characterization and antifungal activity of defensin Tfgd1 from *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*. 39, pp: 278- 283.
- 77. OLLI S., GURUPRASAD L. & KIRTI P. B., 2007** - Characterization of defense (Tfgd2) from *Trigonella foenum-graecum*. *Current Science*. 93, pp: 365- 369.
- 78. LIN X., LIU C., HE P., CHEN K., LIN X. Z., LIU C. Y., HE P. Q. & CHEN K. S., 2005** - Study on inhibitory effects of chlorogenic acid originated from the leaves of *Arctium lappa* on pathogenic fungi. *Plant Protection*. 31, pp: 35- 38.
- 79. GINDRO K., GODARD S., GROOTE I. d., VIRET O., FORRER H. R., DORNART B. & DE GROOTE I., 2007-** Is it possible to induce grapevine defense mechanisms? A new method to evaluate the potential of elicitors. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*. 39, pp: 377- 383.
- 80. BELHADJ A., SAIGNE C., TELEF N., CLUZET S., BOUSCAUT J., CORIO-COSTET M. F. & MERILLON J. M., 2006** - Methyl jasmonate induces defense

- responses in grapevine and triggers protection against *Erysiphe necator*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, pp: 9119- 9125.
81. **BELHADJ A., TELEF N., SAIGNE C., CLUZET S., BARRIEU F., HAMDY S. & MERILLON J. M., 2008a** - Effect of methyl jasmonate in combination with carbohydrates on gene expression of PR proteins, stilbene and anthocyanin accumulation in grapevine cell cultures. *Plant Physiology and Biochemistry*. 46, pp: 493- 499.
  82. **BELHADJ A., TELEF N., CLUZET S., BOUSCAUT J., CORIO- COSTET M. F. & MERILLON J. M., 2008b**- Ethephon elicits protection against *Erysiphe necator* in grapevine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, pp: 5781- 5787.
  83. **FAURIE B., CLUZET S., CORIO- COSTET M. F. & MERILLON J. M., 2009**- Methyl Jasmonate/Ethephon Cotreatment Synergistically Induces Stilbene Production in *Vitis Vinifera* Cell Suspensions but Fails to Trigger Resistance to *Erysiphe Necator*. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*. 43, pp: 99- 110.
  84. **ZIMMERLI L., JAKAB G., MÉTRAUX J. P. & MAUCH- MANI B., 2000**- Potentiation of pathogen-specific defense mechanisms in *Arabidopsis* by  $\beta$ -aminobutyric acid. *Proc Natl Acad Sci USA*. 97, pp: 12920- 12925.
  85. **JAKAB G., COTTIER V., TOQUIN V., RIGOLI G., ZIMMERLI L., MÉTRAUX J. P. & MAUCH- MANI B., 2001**-  $\beta$ -aminobutyric acid-induced resistance in plants. *European Journal of Plant Pathology*. 107, pp: 29- 37.
  86. **TAVALLALI V., KARIMI S., MOHAMMADI S. & HOJATI S., 2008** - Effects of beta-aminobutyric acid on the induction of resistance to *Penicillium italicum*. *World Applied Sciences Journal*. 5, pp: 345- 351.

87. **PORAT R., VINOKUR V., WEISS B., COHEN L., DAUS A., GOLDSCHMIDT E. E. & Droby, S., 2003-** Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in grapefruit by beta-aminobutyric acid. *European Journal of Plant Pathology*. 109, pp: 901- 907.
88. **MARCUCCI E., ALEANDRI M. P., CHILOSI G. & MAGRO P., 2010-** Induced Resistance by beta- Aminobutyric Acid in Artichoke against White Mould Caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Phytopathology*. 158, pp: 659-667.
89. **FISCHER M. J. C., FARINE S., CHONG J., GUERLAIN P. & BERTSCH C., 2009-** The direct toxicity of BABA against grapevine ecosystem organisms. *Crop Protection*. 28, pp: 710- 712.
90. **PAJOT E., LE CORRE D. & SILUÉ D., 2001-** Phytogard and DL-b amino butyric acid (BABA) induce resistance to downy mildew (*Bremia lactucae*) in lettuce (*Lactuca sativa* L). *European Journal of Plant Pathology*. 107, pp: 861-869.
91. **ANDREU A. B., GUEVARA M. G., WOLSKI E. A., DALEOL G. R. & CALDIZ D. O., 2006-** Enhancement of natural disease resistance in potatoes by chemicals. *Pest Management Science*. 62, pp: 162- 170.
92. **ZIADI M. D., ROBERT A., KATHRYN A., WILLIAMS M. S., BENJAMIN J. W., CHOW M. D., JENNIFER M., RENAUD M. S., TERRENCE D., RUDDY M. D., REBECCA E., ROB S. B. & BEANLANDS M. D., 2011-** Impaired Myocardial Flow Reserve on Rubidium-82 Positron Emission Tomography Imaging Predicts Adverse Outcomes in Patients Assessed for Myocardial Ischemia. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol 58, 7, pp: 749- 751.
93. **GUEST D. I., 1984-** Modification of defense responses in tobacco and capsicum following treatment with fosetyl-Al aluminium tris (o-ethyl phosphonate). *Physiological Plant Pathology*. 25, pp: 125- 134.

94. **GUEST D. I., UPTON J. C. R. & ROWAN K. S., 1989-** Fosetyl-Al alters the respiratory response in *Phytophthora-Nicotianae* var *Nicotianae*-infected tobacco. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 34, pp: 257- 265.
95. **SOYEZ J. L., 2001-** New phosphonates and potassium polyvalents for use in viticulture (1993- 2001). *Progres Agricole et Viticole*. 118, pp: 487-490.
96. **BOMPEIX G., FETTOUCHE F. & SAINDRENAN P., 1981-** Mode of action of phosethyl Al. *Phytiatrie- Phytopharmacie*. 30, pp: 257- 272.
97. **NEMESTOTHY G. S. & GUEST D. I., 1990-** Phytoalexin accumulation, phenylalanine ammonia lyase activity and ethylene biosynthesis in fosetyl-Al treated resistant and susceptible tobacco cultivars infected with *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 37, pp: 207- 219.
98. **FENN M. E. & COFFEY M. D., 1985-** Further evidence of the direct mode of action of fosetyl-Al and phosphorous acid. *Phytopathology*. 75, pp: 601- 611.
99. **FENN M. E. & COFFEY M. D., 1989-** Quantification of Phosphonate and Ethyl Phosphonate in Tobacco and Tomato Tissues and Significance for the Mode of Action of 2 Phosphonate Fungicides. *Phytopathology*. 79, pp: 76- 82.
100. **KESSMANN H., STAUB T., HOFMANN C., MAETZKE T., HERZOG J., WARD E., UKNES S. & RYALS J., 1994-** Induction of systemic acquired disease resistance in plants by chemicals. *Annual Review of Phytopathology*. 32, pp: 439- 459.
101. **GULLINO M. L., LEROUX P & SMITH C. M., 2000-** Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*. 19, pp: 1- 11.

102. **LYON G. D. & NEWTON A. C., 1997-** Do resistance elicitors offer new opportunities in integrated disease control strategies? *Plant Pathology*. 46, pp: 636- 641.
  
103. **JEANDET P., ADRIAN M., JOUBERT J. M., HUBERT F. & BESSIS R., 1996-** Stimuler les défenses naturelles de la vigne. Un complément à la lutte phytosanitaire contre le *Botrytis*. *Phytoma*. 488, pp: 21- 25.
  
104. **DELORME. R., 2005-** Communication personnelle. (Directeur de recherche INRA Versailles).
  
105. **VESSEY J. K., 2003-** Plant growth promoting *rhizobacteria* as biofertilizers. *Plant Soil*. 255, pp : 571- 586.
  
106. **AMAND L. & LANGLOIS N., 2004** - Agriculture biologique: les grands principes de production et l'environnement professionnel : *Métiers et activités en milieu rural*. Ed. Educagri. 215 p.
  
107. **WORLD INVESTMENT REPORT., 2009** - Transnational Corporations, Agricultural Production and Development. New York and Geneva, 280 p.
  
108. **GUET G., 2003-** Mémento d'agriculture biologique, 2 ème édition mise à jour et enrichie. Ed. Agridécisions. 416 p.
  
109. **ASDRUBAL M., 2014-** Les molécules du vivant. Ed. Educagri. 85 p.
  
110. **MUSTIN M., 1987-** « Le compost, gestion de la matière organique », Ed. Educagri. Paris. 954 p.
  
111. **DESBOIS S., SEABROOK S. A. & NEWMAN J., 2013-** Some practical guidelines for UV imaging in the protein crystallization laboratory. *J Structural Biology and Crystallization Communications*. Vol 69. 2, pp: 201- 208.

112. **HUERTA- CEPAS J., MARCET- HOUBEN M., PIGNATELLI M., MOYA A. & GABALDON T., 2010-** The *pea aphid* phylome: a complete catalogue of evolutionary histories and arthropod orthology and paralogy relationships for *Acyrtosiphon pisum* genes. *J. Insect Molecular Biology*. Vol 19, 2, pp: 13- 21.
113. **GERSHUNY J., 2012-** National Utility: Measuring of Enjoyment of Activities. *European Sociological Review*. DOI: 10.1093/esr/jcs077.
114. **BANU J. R., LOGAKANTHI S. & VIJAYALAKSHMI G. S., 2001-** Biomanagement of paper mill sludge using an indigenous (*Lampito mauritii*) and two exotic (*Eudrilus eugineae* and *Eisenia foetida*) earthworms. *J Environ Biol*. 22, pp: 181- 185.
115. **ASHA A., TRIPATHI A. K. & SONI P., 2008-** Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management. *J Hum Ecol*. 24, pp: 59- 64.
116. **FRACCHIA L., DOHRMANN A. B., MARTINOTTI M. G. & Tebbe C. C., 2006-** Bacterial diversity in a finished compost and vermicompost: differences revealed by cultivation independent analyses of PCR-amplified 16S rRNA genes. *Appl Microbiol Biotechnol*. 71, pp: 942- 952.
117. **LAZCANO C., GOMEZ- BRANDON M. & DOMINGUEZ J., 2008-** Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*. 72, pp: 1013- 1019.
118. **GANDHI M., SANGWAN V., KAPOOR K. K. & DILBAGHI N., 1997-** Composting of household wastes with and without earthworms. *Environ Ecol*. 15, pp: 432- 434.
119. **BHATNAGAR R. K. & PALTA R. K., 1996-** Earthworm-Vermiculture and Vermicomposting. Kalyani Publishers, New Delhi.

120. **ATIYEH R. M., DOMINGUEZ J., SUBLER S. & EDWARDS C. A., 2000a-** Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*. 44, pp: 709- 724.
121. **SUBLER S., EDWARDS C. & METZGER J., 1998-** “Comparing Vermicomposts and Composts”. *BioCycle*. 39, pp: 63- 66.
122. **GARG P., GUPTA A., & SATYA S., 2006-** Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: a comparative study. *Bioresour Technol*. 97, pp: 391- 395.
123. **ALBANELL E., PLAIXATS J. & CABRERO T., 1988-** Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol Fertil Soils*. 6, pp: 266- 269.
124. **ZHANG B. G., LI G. T., SHEN T. S., WANG J. K. & SUN Z., 2000-** Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia foetida*. *Soil Biol Biochem*. 32, pp: 2055- 2062.
125. **YASIR M., ASLAM Z., KIM S. W., LEE S. W., JEON C. O., & CHUNG Y. R., 2009-** Bacterial community composition and chitinase gene diversity of vermicompost with antifungal activity. *Bioresour Technol*. 100, pp: 4396- 4403.
126. **EDWARDS C. A., 1998-** The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: **EDWARDS C. A., 1998-** Earthworm Ecology. CRC Press, Boca Raton, pp: 327- 354.
127. **CITERNESI U., NEGLIA R., SERITTI A., LEPIDI A. A., FILIPPI C., BAGNOLI G., NUTI M. P. & GALLUZZI R., 1977-** Nitrogen fixation in the gastro-enteric cavity of soil animals. *Soil Biol Biochem*. 9, pp: 71- 72.

128. **KARSTEN G. R. & DRAKE H. L., 1995-** Comparative assessment of the aerobic and anaerobic microfloras of earthworm guts and forest soils. *Appl Environ Microbiol.* 61, pp: 1039- 1044.
129. **KARSTEN G. R. & DRAKE H. L., 1997-** Denitrifying bacteria in the earthworm gastrointestinal tract and in vivo emission of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) by earthworms. *Appl Environ Microbiol.* 63, pp: 1878- 1882.
130. **SINHA R. K., HEART S., VALANI D. & CHAUHAN K., 2009-** Vermiculture and sustainable agriculture. *Am-Euras J Agric and Environ Sci*, IDOSI Publication. 5, pp: 1- 55.
131. **MAKULEC G., 2002-** The role of *Lumbricus rubellus Hoffm.* In determining biotic and abiotic properties of peat soils. *Pol J Ecol.* 50, pp: 301- 339.
132. **KALE R. D., 1995-** Vermicomposting has a bright scope. *Indian Silk.* 34, pp: 6- 9.
133. **ATIYEH R M., SUBLER S., EDWARDS C A., BACHMAN G., METZGER J D & SHUSTER W., 2000b –** “Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil”, *Pedo biologia.* 44, pp: 579- 590.
134. **EDWARDS C. A. & BURROWS I., 1988-** The potential of earthworm composts as plant growth media. In: **EDWARDS C. A. & NEUHAUSER E., 1988-** Earthworms in Waste and Environmental Management. SPB Academic Press, The Hague, pp: 21- 32.
135. **ATIYEH R.M., ARANCON N. Q., EDWARDS C. A. & METZGER J. D., 2000c-** Influence of earthworm- processed pig manure on the growth and yield of green house tomatoes. *Bioresour Technol.* 75, pp: 175- 180.

136. **MAHESWARAPPA H. P., NANJAPPA H. V. & HEGDE M. R., 1999-** Influence of organic manures on yield of arrowroot, soil physic- chemical and biological properties when grown as intercrop in coconut garden. *Ann Agr Res.* 20, pp: 318- 323.
137. **MITCHELL A. & EDWARDS C. A., 1997-** The production of vermicompost using *Eisenia fetida* from cattle manure. *Soil Biol Biochem.* 29, pp: 3- 4.
138. **MUSCOLO A., BOVALO F., GIONFRIDDO F. & NARDI S., 1999-** Earthworm humic matter produces auxin-like effect on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biol Biochem.* 31, pp: 1303- 1311.
139. **ARSHAD M. & FRANKENBERGER W. T., 1993-** Microbial production of plant growth regulators. In: **METTING F. B., 1993-** Applications in Agricultural and Environmental. Ed. Soil Microbial Ecology Management. Marcell Dekker, New York, pp: 307- 347.
140. **ATIYEH R. M., SUBLER S., EDWARDS C. A. & SHUSTER W., 2002-** “Vermicomposts as Insect Repellent”, *biocycle.* 44, p 19.
141. **CHEN Y., AVIAD T., 1990-** Effects of humic substances on plant growth. In: **MAC CARTHY P., CLAPP C. E., MALCOLM R. L., BLOOM P. R., 1990-** Humic Substances in Soil and Crop Sciences. Selected Reading ASA and SSSA, Madison, pp: 161- 186.
142. **ALBUZIO A., CONCHERI G., NARDI S. & DELL'AGNOLA G., 1994-** Effect of humic fractions of different molecular size on the development of oat seedlings grown in varied nutritional conditions. In: **SENESI N., MIANO T. M., 1994-** Humic substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp: 199- 204.

143. **MYLONAS V. A. & MCCANTS C. B., 1980-** Effects of humic and fulvic acids on growth of tobacco. I. Root initiation and elongation. *Plant Soil*. 54, pp: 485-490.
144. **TAN K. H. & TANTIWIRAMANOND D., 1983-** Effect of humic acids on nodulation and dry matter production of soybean, peanut, and clover. *Soil Sci Soc Am J*. 47, pp: 1121- 1124.
145. **DELL'AGNOLA G. & NARDI S., 1987-** Hormone-like effect and enhanced nitrate uptake induced by depolyconded humic fractions obtained from *Allolobophora rosea* and *A. caliginosa faeces*. *Biol Fertil Soils*. 4, pp: 111- 118.
146. **NARDI S., ARNOLDI G., & DELL'AGNOLA G., 1988-** Release of hormone-like activities from *Alloborophora rosea* and *Alloborophora caliginosa feces*. *J Soil Sci*. 68, pp: 563- 657.
147. **STEPHENS P. M., DAVOREN C. W., DOUBE B. M. & RYDER M. H., 1993-** Reduced superiority of *Rhizoctonia solani* disease on wheat seedlings associated with the presence of the earthworm *Aporrectodea trapezoids*. *Soil Biol Biochem* 11, pp: 1477- 1484.
148. **NAKAMURA Y., 1996-** Interactions between earthworms and microorganisms in biological control of plant root pathogens. *Farming Jpn*. 30, pp: 37- 43.
149. **SZCZECH M. M., 1999-** Suppressiveness of vermicomposts against fusarium wilt of tomato. *J Phytopathology*. 147, pp: 155- 161.
150. **SZCZECH M. M. & SMOLINSKA U., 2001-** Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae Breda de Haan var. nicotiannae*. *J Phytopathology*. 149, pp: 77- 82.

151. **SIMSEK ERSAHIN Y., HAKTANIR K. & YANAR Y., 2009-** Vermicompost suppresses *Rhizoctonia solani* Kühn in cucumber seedlings. *J Plant Dis Protect.* 9, pp: 15- 17.
  
152. **SINGH R., SHARMA R. R., KUMAR S., GUPTA R. K. & PATIL R. T., 2008-** Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour Technol.* 99, pp: 8507- 8511.
  
153. **RODRIGUEZ J. A., ZAVALETA E., SANCHEZ P. & GONZALEZ H., 2000-** The effect of vermicomposts on plant nutrition, yield and incidence of root and crown rot of gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus). *Fitopatol.* 35, pp: 66- 79.
  
154. **KOSTECKA J., BLAZEJ J. B. & KOLODZIEJ M., 1996-** Investigations on application of vermicompost in potatoes farming in second year of experiment. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej W Krakowie.* 310, pp: 69- 77.
  
155. **NAKASONE A. K., BETTIOL W. & DE SOUZA R. M., 1999-** The effect of water extracts of organic matter on plant pathogens. *Summa Phytopathology.* 25, pp: 330- 335.
  
156. **WELTZIEN H. C., 1989-** Some effects of composted organic materials on plant health. *Agric Ecosyst Environ.* 27, pp: 439- 446.
  
157. **SINGH U. P., MAURYA S. & SINGH D. P., 2003-** Antifungal activity and induced resistance in pea by aqueous extract of vermicompost and for control of powdery mildew of *pea* and balsam. *J Plant Dis Protect.* 110, pp: 544- 553.
  
158. **PHELAN P. L., NORRIS K. H. & MASON J. F., 1996-** Soil management history and host preference by *Ostrinia nubilatis*: evidence for plant mineral balance mediating insect-plant interactions. *Environ Entom.* 25, pp: 1329- 1336.

159. **COSTELLO M. J. & ALTIEI M. A., 1995-** Abundance, growth rate and parasitism of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) on broccoli grown in living mulches. *Agric Ecosyst Environ.* 52, pp: 187- 196.
160. **HUELSMAN M. F., EDWARDS C. A., LAWRENCE J. L. & CLARKE- HARRIS D. O., 2000-** A study of the effect of soil nitrogen levels on the incidence of insect pests and predators in Jamaican sweet potato (*Ipomoea batatas*) and (*Callaloo Amaranthus*). Proc Brighton Pest Control Conference: Pests and Diseases 8D. 13, pp: 895- 900.
161. **SUDHAKAR K., PUNNAINAH K. C. & KRISHNAYYA P. V., 1998-** Influence of organic and inorganic fertilizers and certain insecticides on the incidence of shoot and fruit borer, *Leucinodes orbonalis* Guen, infesting brinjal. *J Entomol Res.* 22, pp: 283- 286.
162. **RAO K. R., RAO P. A. & RAO K. T., 2001-** Influence of fertilizers and manures on the population of *coccinellid* beetles and spiders in groundnut ecosystem. *Annals of Plant Protection Sciences.* 9, 6, pp: 43- 46.
163. **RAO K. R., 2002-** Induce host plant resistance in the management of sucking insect pests of groundnut. *Annals of Plant Protection Sciences.* 10, 6, pp: 45- 50.
164. **RAO K. R., 2003-** Influence of host plant nutrition on the incidence of *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera* on groundnuts. *Indian J Entomol.* 65, pp: 386- 392.
165. **EDWARDS C. A., ARANCON N. Q., EMERSON E. & PULLIAM R., 2007-** Suppressing plant parasitic nematodes and arthropod pests with vermicompost teas. *Biocycle*, pp: 38- 39.

166. **ARANCON N. Q., EDWARDS C. A., YARDIM E. N., OLIVER T. J., BYRNE R. J. & KEENEY G., 2007-** Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Prot.* 26, pp: 29- 39.
167. **ARANCON N. Q., GALVIS P. A. & EDWARDS C. A., 2005a-** Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresour Technol.* 96, pp: 1137- 1142.
168. **SAUMAYA G., GIRADDI R. S. & PATIL R. H., 2007-** Utility of vermiwash for the management of thrips and mites on chilli (*Capiscum annum*) amended with soil organics. *Karnataka J Agric Sci.* 20, pp: 657- 659.
169. **EDWARDS C. A., ARANCON N. Q., BENNETT M. V., ASKAR A. & KEENEY G., 2010-** Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymna vittatum*) (Fabr.) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta*) (L.) on tomatoes. *Pedobiologia.* 53, pp: 141- 148.
170. **ADDABDO T. D., 1995-** The nematicidal effect of organic amendments: a review of the literature 1982–1994. *Nematol Mediterranea.* 23, pp: 299- 305.
171. **SIPES B. S., ARAKAKI A. S., SCHMITT D. P. & HAMASAKI R. T., 1999-** Root-knot nematode management in tropical cropping systems with organic products. *J Sustain Agr.* 15, pp: 69- 76.
172. **AKHTAR M. & MALIK A., 2000-** Role of organic amendments and soil organisms in the biological control of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresour Technol.* 74, pp: 35- 47.
173. **ARANCON N. Q., GALVIS P., EDWARDS C. A. & YARDIM E., 2003b-** The trophic diversity of nematode communities in soils treated with vermicomposts. *Pedobiologia.* 47, pp: 736- 740.

174. **SWATHI P., RAO K. T. & RAO P. A., 1998-** Studies on control of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tobacco miniseries. *Tobacco Res.* 1, pp: 26- 30.
  
175. **ARANCON N. Q., EDWARDS C. A. & LEE S., 2002-** Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts. In: Proceedings Brighton Crop Protection Conference – *Pests and Diseases*, Vol 8B-2., pp: 705-716.
  
176. **MORRA L., PALUMBO A. D., BILOTTO M., OVIENO P. & PTCASCIA S., 1998-** Soil solarization: organic fertilization grafting contributes to build an integrated production system in a tomato-zucchini sequence. *Colture-Protte.* 27, pp: 63- 70.
  
177. **RIBEIRO C. F., MIZOBUTSI E. H., SILVA D. G., PEREIRA J. C. R. & ZAMBOLIM L., 1998-** Control of *Meloidogyne javanica* on lettuce with organic amendments. *Fitopatol Brasileira.* 23, pp: 42- 44.
  
178. **INGHAM R. E., TROFYMOW J. A., INGHAM E. R. & COLEMAN D. C., 1985-** Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol. Monogr.* 55, pp: 119-140.
  
179. **INGHAM R. J., 1999-** Performance-contingent management of stuttering in adolescents and adults. In **CURLEE R., 1999-** Stuttering and related disorders of fluency. Ed. New York, NY, Thieme. Pp: 200- 221.
  
180. **AUBRY J. M. & SCHORSCH G., 1999-** Formulation - Présentation générale. Formulation. Paris, *J. Techniques de l'ingénieur*, 210 p.
  
181. **SCHORSCH C., CARRIE H., CLARK H. & NORTON I. T., 2000-** Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase-induced gels. *Int Dairy J.* 10, pp: 519- 528.

182. **SMITH A., 2006-** "Cognitive Empathy and Emotional Empathy in Human Behavior and Evolution," *The Psychological Record*. Vol 1. 56, pp: 56- 67.
183. **GUICHARD L., AUBERTOT J. N., BARBIER J. M., CARPENTIER A., GRIL J., LUCAS P., SAVARY S. & VOLTZ M., 2005-** Pesticides, agriculture et environnement. Actions techniques possibles. Ed. Quae, Cirad, lfermer, Inra, 70 p.
184. **MARTINI M. C. & SEILLER M., 2006-** Actifs et additifs en cosmétologie, 3e Ed. Paris, Éditions Lavoisier, 301 p.
185. **HOLLOWAY P. J., 1993-** Adjuvant for agrochemicals. Melingen van de faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent. 58, pp: 125-140.
186. **HOLLOWAY P. J. & STOCK D., 1990-** Factors affecting the activation of foliar uptake of agrochemicals by surfactans dans industrial applications of surfactansII. D.R Royal Society of London. pp: 303- 307.
187. **GAUVRIT C., 1995-** Les principaux types d'adjuvants et leurs actions majeures. In: *Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes* Presented at 16. conférence du COLUMA, Reims, FRA. Paris, FRA : ANPP.Vol.1,pp :445-452.  
<http://prodinra.inra.fr/record/124787>
188. **GAUVRIT C., 1994-** Les huiles en phytosanitaire: le cas des herbicides. *Phytoma la Défense des Végétaux*. 458, pp: 37- 42.  
<http://prodinra.inra.fr/record/111969>
189. **Werner R. & BAUER S., 2007-** Dispersion powders stabilized by protective colloids. Wacker chemie AG. 17 p.
190. **MUTIN G., 1977 –** La Mitidja décolonisation et espaces géographiques. Ed. OPU, Alger, 607p.

191. **LOUCIF, Z. ET BONAFONTE, P., 1977.** Observation des populations du pou de San José dans la Mitidja. *Rev. Fruits* 32(4), pp: 253-261.
192. **AROUN M F, 2015** – Le complexe aphides et ennemis naturels en milieu cultivé et forestier en Algérie. Thèse de Doctorat en Science Agronomique. ENSA El Harrach. Alger. 156 p.
193. **DREUX P., 1980** – Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p.
194. **INRH, 2015** - Institut Nationale des Ressources Hydrauliques.- Collecte des données climatiques. Alger.
195. **STEWART P., 1969** – Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique ; Quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp : 24-24.
196. **NEBRI R., 2015** – Bio écologie de quelques espèces de nématocères recensées dans les élevages de la plaine de la Mitidja. *Doc. Sciences Agronomiques. ENSA. EL HARRACH.ALGER.* 86 p.
197. **ANIRIF., 2011** – Rubrique Monographie de la Wilaya d'Ain Defla. Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière, 8 p.
198. **CARD A B., ANDERSON J V., et DAVIS J G., 2004** – "Vermicomposting Horse Manure", Colorado State University Cooperative Extension, n°1224.
199. **EDWARDS, C.A. ET J.R. LOFTY. 1972.** *Biology of Earthworms*, Chapman and Hall Ltd. (Londres), 283 p.
200. **PAJOT E., 2010** - «Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ? », XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar.

201. **NDEGWA PM., THOMPSON SA., 2001-** Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Biores. Technol.* 76, pp. 107–112.
202. **DURAND A., 2003 –** Bioreactor designs for solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.* 13. pp: 113-125.
203. **RAHARDJO Y S P., TRAMPER J et RINZEMA A., 2006 –** Modeling conversion and transport phenomena in solid-state fermentation: a review and perspectives. *Biotechnol. Adv.* 18. pp: 161-179.
204. **ASSAMOI A. A., DESTAIN J. & THONART P., 2009 -** Aspects microbiologiques de la production par fermentation solide des endo- $\beta$ -1,4-xylanases de moisissures : le cas de *Penicillium canescens*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 290 p.
205. **ACTA., 2015 -**Index phytosanitaire 51 ème. Ed. Acta. 985 p.
206. **ZAGHOUANE O., 1991-** The situation of *faba* bean (*Vicia Faba* L) in Algeria, option méditerranéennes .présent statut and futures perspects of *faba bean* production I.C.A.R.D.A. series N°10, pp: 123-125.
207. **CHAUX C. et FOURY C., 1994 –** Production légumières secs, Tome 3, légumineuses potagères, légumes, fruits. Technique et documentation Lavoisier, Paris, pp : 3-15.
208. **RUFFINONI C., TREMOLIERES M., SANCHEZ-PEREZ J. M., 2003 -** Végétation alluviale et flux de nutriments: des liens interactifs. *In*: Piégay H, Pautou G, Ruffinoni C (eds) Les forêts riveraines des cours d'eau, écologie, fonctions et gestion. Institut pour le Développement Forestier, Paris, France. pp : 134–154.

209. **BRINKMAN K. A., 1974** - *Salix* L. Willow. *In: Seeds of woody plants in the United States. Agriculture Handbook n°450. Forest Service, US Department of Agriculture, Washington DC. pp: 746–750.*
210. **FOUSSADIER R., 2003** - Les systèmes racinaires des arbres de la ripisylve : effets des contraintes physiques et exemples. *In: Piégay H, Pautou G, Ruffinoni C (eds) Les forêts riveraines des cours d'eau, écologie, fonctions et gestion. Institut pour le Développement Forestier, Paris, France. pp : 124-133.*
211. **RODRIGUES S, BREHERET J. G., MACAIRE J. J., GREULICH S., VILLAR M., 2007** - In-channel woody vegetation controls on sedimentary processes and the sedimentary record within alluvial environments: a modern example of an anabranch of the River Loire, France. *Sedimentology* 54. pp: 223- 242.
212. **FRONTIER S., 1983** - Stratégie d'échantillonnage en écologie. Masson et les presses de l'université Laval, Paris, 494 p.
213. **VASSEUR R., SCHIVESTER D., 1957** – Biologie et écologie du Pou de San José *Quadraspidiotu sperniciosus* (Const) en France. Ann. I.N.R.A., série EPIPH. 8. 161p.
214. **PATHMA J. & SAKTHIVEL N., 2012** - Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. Springer Plus, 26 (1). pp: 1-19.
215. **MATLOCK J.M. & BRADLEY ROWE D., 2017** - Does Compost Selection Impact Green Roof Substrate Performance? Measuring Physical Properties, Plant Development, and Runoff Water Quality, *Compost Science & Utilization*, 25(2), pp: 1- 11
216. **DOOMAAR J. F., METCHE M., et JACOUIN F., 1970** – Soil biol. Biochel., 2, Ed. Masson pp : 285- 293.
217. **POVOLEDO O. et PITZE M., 1979** – Soil Sci., 128, Ed. Masson pp: 1- 8.

218. **WONG C. C., LI H. B., CHENG K. W., CHEN F., 2006** – A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chem.* 97. Pp: 705- 711.
219. **VUORELA S., 2005** – Analysis, isolation, and bioactivities of rapessed phenolics. Helsinki.
220. **LENRETON P., JAY M., et VOIRIN B., 1967** – Analyse qualitative et quantitative des flavonoides. *Chim. Anal.* (Paris), 49, 7, pp : 375- 383.
221. **TROLL W. et LINDSLEY J., 1955** – A photometric method for the determination of proline. *J.Biol. Chem.*, 216, pp: 655- 660.
222. **DREIR W. et GOTING M., 1974** – Der einfluss bother. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aismwurzeln. *Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss*, 23, pp: 641- 646.
223. **BABU P., [BRYAN J. D.](#), [PANEK H. R.](#), [JORDAN S. L.](#), [FORBRICH B. M.](#), [KELLEY S. C.](#), [COLVIN R. T.](#), [ROBINSON L. C.](#), 2002** - Plasma membrane localization of the Yck2p yeast casein kinase 1 isoform requires the C-terminal extension and secretory pathway function. *J Cell Sci* 115 (Pt 24). pp: 4957- 4968.
224. **DUBOIS M. K. A, GILLES Y. K et HAMILTON P. A., 1956** - Colometric method for determination of sugars and related substance. *Anal and Chem. Jour.* 28. pp: 350- 356.
225. **TAHARI M., HALANYCH K M., 1998** – Investigations on the host preference of *Callosobruchus maculatus* F. (*Coleoptera: Bruchidae*) and its comparative biology on different varieties of chickpeas in Iran. *Appl. Ent. Phytopath.* 63, pp : 1- 2.

226. **MAGALI C., 2009** - Lutte intégrée en serres florales et en verger de pomme, Revue éditée dans le cadre du Programme National Agriculture et Développement Durable.
227. **HAMMER O., HARPER D. A. T. & RYAN P. D., 2001** - PAST: Paleontological statistical software package for education and data analysis. *Palaeontologica Electronica*, 4(1), 92 p.
228. **SPSS INC., 2009** - SYSTAT version 12, The System for Statistics Inc, Evanston, IL.
229. **TER BRAAK I. et PRENTICE C., 1988** – A theory of gradient analysis. *J. Advances in Ecological Research*. V 18. pp: 271- 317.
230. **BALDOTTO L. E. B. & BALDOTTO M. A., 2014-** Adventitious rooting on the Brazilian red-cloak and *sanchezia* after application of indole-butyric and humic acids. *Horticultura Brasileira*, 32. pp: 434- 439.
231. **SHARMA H. S., FLEMING C., SELBY C., RAO J. R. & MARTIN T., 2014-** Plant biostimulants: a review on the processing of *macroalgae* and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*. 26, pp: 465- 490.
232. **MUPAMBWA H. A., DUBE E. & MNKENI P. N. S., 2015-** Fly ash composting to improve fertiliser value – A review. *South African Journal of Science*. 111, pp: 103-108.
233. **ARANCON N. Q., EDWARDS C. A., BIERMAN P. & METZGER J. D., LUCHT C., 2005-** Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49, pp: 297- 306.

- 234. DOAN T. T., NGO P. T., RUMPEL C., NGUYEN B. V. & JOUQUET P., 2013-** Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*. 160, pp: 148- 154.
- 235. MANH V. H., WANG C. H., 2014-** Vermicompost as an Important Component in Substrate: Effects on Seedling Quality and Growth of Muskmelon (*Cucumis Melo* L.). [APCBEE Procedia](#). **8**, pp: 32- 40.
- 236. YANG L., ZHAO F., CHANG Q., LI T. & LI F., 2015-** Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*. 160, pp: 98- 105.
- 237. BIRADAR A. P., SUNITA N. D., TEGGEL R. G. & DEVARANDAVADGI S. B., 1998-** Effect of vermicompost on the incidence of *subabul psyllid*. *Isect- Envi*. 4. N° 2, pp: 55- 56.
- 238. ARANCON N. Q. & EDWARDS C.A., 2004-** Vermicomposts can suppress plant pest and disease attacks. *Biocycle March*, pp: 51- 53.
- 239. CULLINEY T. W. & PIMENTAL D., 1986-** Ecological effects of organic agricultural practices on insect populations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 15, pp : 253- 256.
- 240. EIGENBRODE S. D. & PIMENTAL D., 1988-** Effects of manure and chemical ferstilizers on insect pest populations on collards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 20, pp : 109- 125.
- 241. YARDIM E. N. & EDWARDS C. A., 2003-** Effects of organic and synthetic fertilizer sources on pest and predatory insects associated with tomatoes. *Phytoparasitica*. 31, pp: 324- 329.

242. **MORALES H., PERFECTO I. & FERGUSON B., 2001-** Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in Guatemalan highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84, pp: 145- 155.
243. **PHELAN P. L., 2004-** Connecting below- ground and above- ground food webs: the role of organic matter in biological buffering. In **MAGADOFF F. & WELL R. R., 2004-** Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC press, boca raton , Londre, New York, Washington, DC, pp: 199- 226.
244. **FRAGOYIANNIS D. A., MCKINLAY R. G. & D'MELLO J. P. F., 2001-** Interactions of aphids herbivory and nitrogen availability on the total foliar glycoalkoloid content of potato plants. *J. Chem. Ecol.* 27, pp: 1749- 1762.
245. **HERMS D. A., 2002-** Effects of fertilization on insect resistance of woody ornamental plants. *Environ. Entomol.* 31, pp: 923- 933.
246. **BENTZ J. A., REEVES III. J., BARBOSA P. & FRANCIS B., 1995-** Nitrogen fertilizer effect on selection, acceptance and suitability of *Euphorbia pulcherrima* (*Euphorbiaceae*) as a host plant to *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*). *Environ. Entomol.* 24, pp : 40- 45.
247. **JANSSON R. K. & SMILOWITZ Z., 1986-** Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: abundance, population growth and within- plant distribution of the green peach aphid, *Myzus persicae* (*Homoptera: Aphididae*). *Environ. Entomol.* 15, pp: 49- 55.
248. **PATRIQUIN D. G., BAINES D. & ABBOUD A., 1995-** Diseases, pests and soil fertility. In: **COOK H. F. & LEE H. C., 1995-** Soil management in sustainable agriculture. Wye college press, wye, UK, pp: 161- 174.
249. **STEFFEN K. L., DAN M. S., HARPER J. K., FLEISCHER S. J., MKHIZE S. S., GRENOBLE D. W., MACNAB A. A. & FAGER K., 1995-** Evaluation of the

- initial season for implementation of four tomato production systems. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120, pp: 148- 156.
- 250. PHELAN P. L., NORRIS K. H. & MASON J. F., 1996-** Soil-management history and host preference by *Ostrinia nubilalis*: evidence for plant mineral balance mediating insect- plant interactions. *Environ. Entomol.* 25, pp: 1329- 1336.
- 251. PHELAN P. L., Mason J. F. & STINNER B. R., 1995-** Soil- fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner), on *Zea mays* L.: a comparison of organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 56, pp: 1- 8.
- 252. EDWARDS C. A. & FLETCHER K. E., 1988-** Interaction between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown. *Agric. Ecosyst. Environ.* 20, pp: 235- 249.
- 253. EDWARDS C. A., 1998-** The use of earthworms in processing organic waste into plant- growth media and animal feed protein. In: **EDWARDS C. A., 1998-** Earthworm ecology. Ed. Publ. American soil and water conservation association, CRC Press; lewis publ, boca raton, FL. pp: 327- 354.
- 254. RAMESH P., 2000-** Effects of vermicomposts and vermicomposting on damage by sucking pests to ground nut (*Arachis hypogea*). *Indian. J. Agric. Sci.* 70, 334 p.
- 255. FOX L. R. & MACAULEY B. J., 1977-** Insect grazing on eucalyptus in reponse to variation in leaf tannins and nitrogen. *Oecologia.* Berlin. 29, pp: 145- 162.
- 256. PRESTIDGE R. A. & MCNEILL S., 1983-** Auchenorrhyncha- host plant interactions leafhoppers and grasses. *Ecological Entomology.* 8, pp: 331- 339.

- 257. HAUKIOJA E., OSSISOV V. & LEMPA K., 2002-** The interactive effects of leaf maturation and phenolics on consumption and growth of a geometrid moth. *Futrand. Exp. Appl.* 104, pp: 125- 136.
- 258. STEVENSON P. C., ANDERSON J. C., BLANEY W. M. & SIMMONDS M. S. J., 1993-** Developmental inhibition of *Spodoptera litura* (Fab.) larvae by a novel caffeoylquinic acid from the wild ground, *Arachis paraguariensis* (Chhod et Hassl.). *J. Chem. Ecol.* 19, pp: 2917- 2933.
- 259. ASAMI D. K., HANG Y. J., BARNETT D. M. & MITCHELL A. E., 2003-** Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze- dried and air- dried mignonberry, strawberry and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices. *J. Agric. Fd. Chem.* 51, pp: 1237- 1241.
- 260. EI-ZIK K. M., FRISBIE R. E., 1991-** Integrated crop management systems for pest control. In: **PIMENTAL D., 1991-** Handbook of pest management on agriculture. CRC press. Inc. Boca Raton, FL.
- 261. PASCUAL J. A., GARCIA C., HERNANDEZ T. & AYUSO M., 1997-** Change in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biology and fertility of soils.* 24, pp: 429- 434.
- 262. ZINK T. A. & ALLEN M. F., 1998-** The effects of organic amendments on the restoration of a disturbed coastal sage scrub habitat. *Restoration. Ecology.* 6, pp: 52- 58.
- 263. KOLTON A. & BARAN A., 2008-** Effect of different mineral nitrogen and compost nutrition on some compounds of corn salad (*Valerianella locusta* L. Lister.). *Sci. Works of the Lithuanian inst. Of horticulture and Lithuanian Univ. Of Agriculture. Sodininkystė Ir Darzininkystė.* 27, pp: 379- 387.
- 264. MIHAILOVIC N., LAZAREVIC M., DZELETOVIC Z., VUCKOVIC M. & DURDEVIC M., 1997-** Chlorophyllase activity in wheat, *Triticum aestivum* L.

leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion form applied. *Plant Science*. 129, pp: 141- 146.

- 265. MITTOVA S. V., TAL M., VOLOKITA M. & GUY M., 2002-** Salt stress induces up regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennelli* but not in the cultivated species,” *Physiol Plant*. 115, pp: 393- 400.
- 266. BENGSTON C., KLOCKARE B., KLOCKARE R., LARSSON S. & SUNDQUIST C., 1978-** The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiol*. 43, pp: 205- 212.
- 267. REDDY P. S. & VEERANJANEYULU K., 1991.** Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol*. 137, pp : 381-383.
- 268. COÛC Y. & TENDILLE C., 1972-** Importance de la racine dans la synthèse protéique chez certains genres de végétaux, Acad. Agr. France, pp : 681- 690.
- 269. NOIRAUD N., DELROT S. & LEMOINE R., 2000-** The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress. *Plant physiol.*, Vol.122, pp: 1447-1456.
- 270. SINHA-RAJIV K., 2008-** Organic farming: An economic solution for food safety and environmental security, green farming- international. *J. of agricultural sciences*. 1, pp: 42- 49.
- 271. ILDIKO K. & GALIBA G., 1995-** Carbohydrates in wheat and Maize plants under water stress. INRA, Inter drought, V-10. In: Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides. Paris, pp : 465- 472.

272. **RAMANJULU S., SREENIVASULU N & SUDHAKAR C., 1997-** Effect of water stress on photosynthesis in two mulberry genotypes with different drought tolerance .*photosynthetica*. 35. Vol 2: pp: 279- 283.
273. **BOUZOUBAA Z., EI MOURID M., KARROU M. & EI GHAROUS M., 2001-** Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes. Eds INRA Maroc.
274. **DARBYSHIRE B., 1974-** The function of the carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to dehydration. *Plant Physiol*. 54: pp: 717-721.
275. **MATTHEWS R. E. F., 1991-** Relationships between plant viruses and invertebrates. In REF Matthews, Ed. Plant virology, Ed 3. Academic press, NY, pp: 520- 561.
276. **COME D., 1992-** Les végétaux et le froid. Paris, 559p.
277. **BLUM B. J., 2004-** Perspectives pratiques du contrôle biologique des adventices. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. AFPP-dix neuvièmes conférences du Columa. Dijon. 8, pp: 8- 9.
278. **HANSON A. D., NELSON C. E., & EVERSON E. H., 1977-** Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop. Sci.*, 17: pp 720-726.
279. **STEWART G. R. & LEE J., 1974-** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*. 12, pp: 279- 289.
280. **KHAN A. & ISHAQ F., 2011-** Chemical nutrient analysis of different composts (Vermicompost and Pitcompost) and their effect on the growth of a vegetative crop *Pisum sativum*. *Asian Journal of Plant Science and Research*. 1, pp: 116-130.

281. **HAMILTON J. G., DERMODY O., ALDEA M., ZANGERL A. R., ROGERS A., BERENBAUM M. R. & DE LUCIA E., 2005-** Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. *Environmental entomology*. 34, pp: 479- 485.
282. **KIM M. J., SHIM C. K., KIM Y. K., HONG S. J., PARK J. H., HAN E. J., KIM J. H. & KIM S. C., 2015-** Effect of Aerated Compost Tea on the Growth Promotion of Lettuce, Soybean, and Sweet Corn in Organic Cultivation. *Plant Pathology Journal*. 31, pp: 259- 268.
283. **GABA S., FRIED G., KAZAKOU E., CHAUVEL B. & NAVAS M. L., 2014-** Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. *Agron. Sustain. Dev.* 34, pp: 103- 119.
284. **ARANCON N. Q., EDWARDS C. A., BIERMAN P., METZGER J. D. & LUCHT C., 2005b-** Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49, pp: 297- 306.
285. **FERNÁNDEZ-LUQUEÑO F., REYES-VARELA V., MARTINEZ-SUÀREZ C., SALOMON- HERNÁNDEZ G., YÀÑEZ-MENESES J., CEBALLOS-RAMIREZ J. M. & DENDOOVEN L., 2010-** Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Bioresource Technology*. 101, pp: 396- 403.
286. **ZHANG N., REN Y., SHI Q., WANG X., WEI M. & YANG F., 2011-** Effects of vermicompost on quality and yield of watermelon. *China Vegetables*. 6, pp: 76- 79.
287. **KHAN K., PANKAJ U., VERMA S. K., GUPTA A. K, SINGH R. P. & VERMA R. K., 2015-** Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Andrographis paniculata*, and soil properties. *Industrial Crops and Products*. 70, pp: 404- 409.

288. **ARANCON N. Q., PANT A., RADOVICH T., HUE N. V., POTTER J. K. & CONVERSE C. E., 2012-** Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (Teas). *Hortiscience*. 47, pp: 1722- 1728.
289. **OLIVARES F. L., AGUIAR N. O., ROSA R. C. C. & CANELLAS L. P., 2015-** Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 183, pp: 100- 108.
290. **ZHANG H., TAN S.N., TEO C.H., YEW Y.R., GE L., CHEN X. & YONG J.W.H., 2015-** Analysis of phytohormones in vermicompost using a novel combinative sample preparation strategy of ultrasound-assisted extraction and solid-phase extraction coupled with liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Talanta*, 139: 189-197.
291. **DATTA J. K., GHOSH A., BANERJEE A. & MONDAL N. K., 2012-** Biochemical response of selected plant species under air pollution stress. *Ecology Environment and Conservation*.18, pp: 957- 962.
292. **MONDAL T., DATTA J. K. & MONDAL N. K., 2016-** Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>.
293. **PATRICK J. W. & STODDARD F. L., 2010-** Physiology of flowering and grain filling in faba bean. *Field Crops Research*. 115, pp: 234- 242.
294. **ARANCON N. Q., EDWARDS C. A., LEE S. & BYRNE R., 2006-** Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Science*. 42, pp: 965– 969.