

## IMPACT DU THÉ DE VERMICOMPOST SUR LA QUALITÉ PHYTOCHIMIQUE DE LA FÈVE ET SUR LA RÉDUCTION DES POPULATIONS DU PUCERON NOIR DE LA FÈVE *APHIS FABAE*

CHAICHI Wissem<sup>1\*</sup> et DJAZOULI Zahr-Eddine<sup>1</sup>

1. Université de Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, B.P. 270, route de Soumâa, Blida 09000- Algérie

Reçu le 17/05/2017, Révisé le 12/06/2017, Accepté et mis en ligne le 30/06/2017

### Résumé

**Description du sujet:** L'étude a porté sur l'estimation de l'incidence des biofertilisants à base de thé de vermicompost sur la modulation de la qualité phytochimique de la fève *Vicia faba* et sur la capacité de réduction des infestations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*. L'intégration des informations relatives aux activités biologiques des biofertilisants, peuvent cadrer un programme de lutte raisonnée plus performant.

**Objectifs:** Le but du travail consiste à maîtriser la nutrition organique des plantes cultivées et de mettre en valeur l'effet des biofertilisants sur la promotion de la qualité phytochimique de *Vicia faba* et la réduction du recrutement des populations d'*Aphis fabae*.

**Méthodes:** L'apport de différents biofertilisants à base de vermicompost et d'algues marines a engendré différents états d'expression phytochimique chez la fève et qui ont produit différents niveaux d'installation des populations d'*Aphis fabae*. Des mesures d'abondance et de fécondité d'*Aphis fabae* ont été réalisées en rapport avec la fluctuation de proline, de sucres totaux solubles et de chlorophylle totale afin de confirmer l'hypothèse avancée.

**Résultats:** Les quantités des métabolites primaires et secondaires sont significativement accumulées sous l'effet des différents biofertilisants par comparaison au témoin. Les différences d'abondance et de fécondité doivent également s'exprimer par l'impact significatif du thé de vermicompost brut.

**Conclusion:** Les résultats présentés valident l'utilisation des biofertilisants à base de vermicompost du fait qu'ils améliorent le fonctionnement physiologique de *Vicia faba* et réduisent la sévérité des attaques d'*Aphis fabae*.

**Mots clés:** Thé de vermicompost, qualité phytochimique, fève *Vicia faba*, population du puceron noir de la fève *Aphis fabae*.

### Impact of the vermicompost tea on the phytochemical quality of the bean and on the reduction of populations of the black bean aphid *Aphis fabae*

#### Abstract

**Description of the subject:** The study focused on estimating the incidence of vermicompost tea biofertilizers on the phytochemical quality modulation of the *Vicia faba* bean and on the ability to reduce infestations of the black bean aphid *Aphis fabae*. The integration of information related to the biological activities of biofertilizers can create a more effective pest management program.

**Objective:** The aim of the work is to control the organic nutrition of crop plants and to highlight the effect of biofertilizers on the promotion of the phytochemical quality of *Vicia faba* and reducing the recruitment of *Aphis fabae* populations.

**Methods:** The contribution of different biofertilizers based on vermicompost and marine algae has generated different states of phytochemical expression in the bean and produced different levels of settlement of *Aphis fabae* populations. Abundance and fertility measurements of *Aphis fabae* were performed in relation to fluctuation of proline, total soluble sugars and total chlorophyll in order to confirm the hypothesis advanced.

**Results:** The quantities of the primary and secondary metabolites are significantly accumulated under the effect of the different biofertilizers compared to the control. Differences in abundance and fertility must also be expressed in the significant impact of raw vermicompost tea.

**Conclusion:** The results presented validate the use of vermicompost biofertilizers because they improve the physiological functioning of *Vicia faba* and reduce the severity of attacks by *Aphis fabae*.

**Keywords:** Vermicompost tea, phytochemical quality, bean *Vicia faba*, population of black bean aphid *Aphis fabae*.

\*Corresponding author: CHAICHI Wissem Université de Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, B.P. 270, route de Soumaa, Blida 09000, Algérie, E-mail: wissagro@hotmail.fr

## INTRODUCTION

En Algérie, le puceron noir de la fève *Aphis fabae* (Scopoli, 1763), est une espèce anholocyclique, très polyphage, dont la gamme de plante-hôte est très large. Il peut s'attaquer aux tiges, rameaux, feuilles, fleurs, bourgeons et fruits de toutes les cultures et plantes spontanées, en plein champs et sous abri [1]. Ce puceron peut endommager les plantes directement et indirectement. Les dommages directs sont liés à la prise alimentaire provoquant ainsi un enroulement des feuilles et même la mort de ces dernières en cas de fortes infestations, y compris l'étouffement par le miellat et la fumagine qui peuvent être créés au niveau de la plante. Cependant, les dommages indirects, comprennent la transmission des virus [2]. Cette combinaison d'effets peut être dévastatrice pour la production végétale.

La protection des plantes contre les dommages causés par les insectes 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 [4], ce qui a débouché sur une recherche de mesures de contrôle alternatives [5]. 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 dans 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 significativement indépendantes de l'approvisionnement en éléments nutritifs [6]. Les vermicomposts ont également été supposés réduire les populations d'arthropodes comme les pucerons [7], et d'atténuer les dommages engendrés par les agents pathogènes [8].

La présente étude cherche à caractériser l'impact de différents biofertilisants, à base de thé de vermicompost et d'algues marines sur l'expression phytochimique de la fève *Vicia faba*. Dans le même contexte, l'étude vise à vérifier l'hypothèse selon laquelle les fèves à forte expression physiologique sont plus

résistantes aux attaques d'*Aphis fabae* et essaie de quantifier cet effet. Enfin, 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 de la fève et le puceron étudié. Dans cette partie sont aussi proposées des modifications aux règles de décision pour la protection de la fève. 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.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Matériel testé

#### 1.1. Production de plantes

Des graines de fève *Vicia faba* (variété Aguadulce), provenant de la Société SOMEDIA (Alger), de bonne qualité germinative, ont été désinfectées par trempage pendant 5 minutes dans 1 L d'hypochlorite de sodium 1%. Les graines sont imbibées ensuite dans l'eau pendant 24h. Le semis a été effectué dans des alvéoles en plastique remplies de tourbe à raison de 1 graine par alvéole. Au stade 6 à 7 feuilles, les plantules de fève ont été repiquées dans des pots en plastiques de capacité de 1500 ml (D/H : 15,5 cm, D/B : 13,5 cm) remplis de terre et de terreau (1:2).

#### 1.2. Production en masse d'*Aphis fabae*

Des plantules de fève *Vicia faba* (variété Aguadulce), sont cultivées dans des pots à raison de 4 plantules par pot. Ces derniers sont confinés dans des modules (70cm × 40cm × 170cm) recouverts d'une maille en nylon à ouverture de 0,2 mm, disposés dans une chambre de culture dont la température varie entre 20 et 25°C. L'humidité relative de l'air comprise entre 50 et 60%, et équipée d'un système de contrôle de la photopériode à 16/8, alimenté par des lampes à sodium d'une puissance de 300 Wat. Des feuilles infestées d'*Aphis fabae* recueillies d'un champ infesté dans la région de Tipasa sont déposées sur les plantules pour faciliter et uniformiser l'infestation.

### 1.3. Présentation des biofertilisants

- Le biofertilisant homologué (HM) est un extrait d'algue marine, formulé à partir de l'*Ascophyllum nodosum*, qui constitue une réserve naturelle de micro et macronutriments, d'acides aminés, d'hydrates de carbone et de promoteurs de croissance [9].

- Le 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 symbiotes microbiens (bactéries, protozoaires et micro-fungis) [9, 10].

- Le 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 [11].

- Le thé de vermicompost brut formulé (BF) et le 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).

## 2. Traitements

### 2.1. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'essai a été conduit sous un abri serre tunnel (8m×50m) en bloc aléatoire complet avec 3 répétitions. Le dispositif est composé de 6 blocs à raison de 40 plants par traitement: Bloc 1: Eau courante (Témoin négatif), Bloc 2: Biofertilisant homologué (HM), (Témoin positif), Bloc 3: Thé de vermicompost brut (BNF), Bloc 4: Thé de vermicompost fermenté (FNF), Bloc 5: Thé de vermicompost brut formulé (BF), Bloc 6: Thé de vermicompost fermenté formulé (FF). Les blocs sont distants de 1,5 mètre les uns des autres.

Les différents biofertilisants sont apportés par voie foliaire aux doses respectives: HM (4ml/l), BNF ( $V_{\text{thé de vermicompost brut}}/10V_{\text{eau}}$ ), FNF ( $V_{\text{thé de vermicompost fermenté}}/10V_{\text{eau}}$ ), BF et FF (4ml/l) à l'aide d'un pulvérisateur à dos (COSMOS 18 PRO). Le bloc témoin négatif a reçu une application foliaire à l'eau courante. L'apport des biofertilisants est renouvelé chaque 10 jours durant toute la période d'étude (3 mois). Les plantules sont irriguées à l'eau courante. Avant chaque apport des biofertilisants, trois plants sont prélevés de chaque bloc afin d'évaluer l'effet des biofertilisants sur la fève.

### 2.2. Infestations des plantules de fève par *Aphis fabae*

Des infestations artificielles du puceron *Aphis fabae* ont été réalisées afin d'assurer une infestation homogène sur les unités expérimentales. Ces infestations ont été faites par dépôt au milieu de la plantule de fève d'un rameau de 10 cm infesté récupéré de l'élevage de masse. L'infestation s'est déroulée au stade 5 entre-nœuds. La disponibilité des différentes formes biologiques (larves, adultes aptères et ailés) a été déterminée à chaque décade avant l'apport des biofertilisants.

## 3. Paramètres étudiés

La fluctuation des traits physiologiques, proline, sucres totaux et chlorophylle totale ont été enregistrés à différents stades du cycle phénologique coïncidant avec les apports des biofertilisants.

### 3.1. Quantification des glucides solubles totaux

100 mg de matière sèche est broyée au mortier avec 1,5 mL de tampon phosphate de potassium à 0,1 M puis le mélange a été centrifugé à 10 000 g et à 4°C pendant 15 min [13]. 200 µL de surnageant est mélangé avec 1 mL d'acide sulfurique (12,5 N) contenant 0,1 % d'anthrone et 0,1 % de thio-urée puis incubés pendant 10 min à 95°C. Après refroidissement, l'absorption a été lue à 625 nm au spectrophotomètre (Jenway, Bibby Scientific Ltd, UK). La teneur en glucides solubles totaux a été exprimée en µmol. g<sup>-1</sup> MS à partir d'une gamme étalon de glucose.

### 3.2. Quantification de la proline

100 mg de matière sèche est broyée au mortier avec 1 mL d'acide 5- sulfosalicylique à 5 % puis le mélange a été centrifugé à 10 000 g et à 4°C pendant 15 min afin d'éliminer le culot. 200 µL de surnageant ont ensuite été mélangés avec 800 µL d'acide acétique à 60 % (v/v) contenant 1 % de ninhydrine [14] puis incubés pendant 20 min à 95°C. Après refroidissement, 1 mL de toluène a été ajouté et le contenu des tubes a été vigoureusement mélangé pendant 15 s avant d'être laissé à l'obscurité pendant 4h à température ambiante. La phase supérieure a été prélevée pour être mesurée au spectrophotomètre à 520 nm (Jenway, Bibby Scientific Ltd, UK). La teneur en proline a été exprimée en µmol. g-1 MS à partir d'une gamme étalon de proline.

### 3.3. Quantification de la chlorophylle

La méthode a été utilisée pour mesurer la chlorophylle [15]. Des feuilles fraîches (0,1 g) ont été mélangées avec 4 ml d'acétone à 80% et centrifugées à 3000 tr / min pendant 10 min. l'absorption du surnageant a été lue à 647 et à 664 à l'aide d'un spectrophotomètre (Jenway, Bibby Scientific Ltd, Royaume-Uni). Les taux de chlorophylle a, b et totale ont été déterminés comme suit:

$$\begin{aligned} \text{Chl}_a &= 12,21 (A_{664}) - 2,79 (A_{647}) \\ \text{Chl}_b &= 21,21 (A_{647}) - 5,1 (A_{664}) \\ \text{Chl}_T &= \text{Chl}_a + \text{Chl}_b \end{aligned}$$

Cette étude a porté également sur l'évaluation des modifications structurelles des formes biologiques d'*Aphis fabae* sous l'effet des différents traitements de biofertilisants en termes d'abondance, de populations résiduelles et de fécondité.

### 3.4. Evaluation de l'abondance des formes biologiques d'*Aphis fabae*

Cette abondance représente le nombre d'individus des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae*. Elle renseigne donc sur l'importance de chaque forme biologique.

### 3.5. Evaluation des populations résiduelles d'*Aphis fabae*

L'évaluation de l'activité biologique des différents biofertilisants a été réalisée par estimation de la population résiduelle (PR) selon Test de Dunnett [16]. Le test estime l'activité réductrice des biofertilisants selon les valeurs de PR. PR < 30% biofertilisant très actif, 30% < PR < 60% biofertilisant modérément actif et PR > 60% biofertilisant faiblement actif ou neutre.

### 3.6. 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.

## 4. Analyses statistique des données

Toutes les mesures ont été exprimées par moyenne  $\pm$  déviation standard ( $\pm$  SD). L'analyse de la variance type GLM a été adoptée pour déterminer les différences significatives ( $P < 0,05$ ), la comparaison multiple a été appliquée entre les moyennes des composés phytochimiques de *Vicia faba* ainsi que les populations résiduelles d'*Aphis fabae* par le recours au test Post Hoc de Tukey. L'analyse statistique des données a été effectuée à l'aide du logiciel SYSTAT vers. 12 [17].

La comparaison de l'abondance des différentes formes biologiques et de la fécondité d'*Aphis fabae* est établie pour chaque point de mesure (mois) par les tests de Wilcoxon et Monte Carlo à 0,05. Le test est réalisé par le logiciel Past ver. 1,37 [18].

Les relations entre les variables expliquées (abondance des adultes aptères et la fécondité) et les variables explicatives (Proline, Sucres totaux solubles et la Chlorophylle totale) ont été explorées en utilisant des corrélations et des régressions linéaires. Les données de l'abondance et de la fécondité ont été ajustées aux variables explicatives par analyse de régression linéaire (seules les données ayant une incidence supérieure à 0% étant considérées).

Les variables ayant un effet significatif ont été sélectionnées en fonction de la valeur de seuil du coefficient de corrélation de Pearson à  $p = 0,05$  de 0,75 et 0,88 pour 5 et 3 degrés de liberté, respectivement. Afin d'éviter la redondance, lorsque le coefficient de corrélation de Pearson est supérieur à 0,95 entre deux variables dans un ensemble de variables explicatives, une seule variable est conservée. Le test est réalisé par le logiciel Past ver. 1,37 [18].

## RÉSULTATS

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

Les quantités des métabolites primaires et secondaires signalées prouvent clairement l'existence de différences très significative entre les quantités accumulées sous l'effet des différents biofertilisants non formulés et le témoin (Test G.L.M.,  $p^{***}$ ) (Fig.1). Globalement, le Test Tukey montre que les taux accumulés sont en faveur des plantules traitées par le fermenté non formulé (FNF). Le fermenté non formulé (FNF) et le brut non formulé (BNF), mènent à des piques d'accumulation des sucres totaux solubles caractérisés par une gradation descendante

dont les quantités sont comprises entre (4,49-5,57 mg/g. M.F.). Nous signalons que malgré l'installation de cette gradation descendante, les quantités de chlorophylle totale accumulées dépassent de loin celles enregistrées chez le témoin (Fig.1).

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) et le témoin a été vérifiée par une analyse de la variance (type G.L.M.). Les résultats nous révèlent la présence d'une différence significative entre les quantités accumulées sous l'effet des différents types de biofertilisants formulés et le témoin (Fig.2).

Le Test Tukey signale 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 types de traitements la proline et les sucres totaux solubles s'expriment en quantités très importante par rapport à la chlorophylle. Toutefois, les augmentations les plus apparentes sont en faveur de la proline.

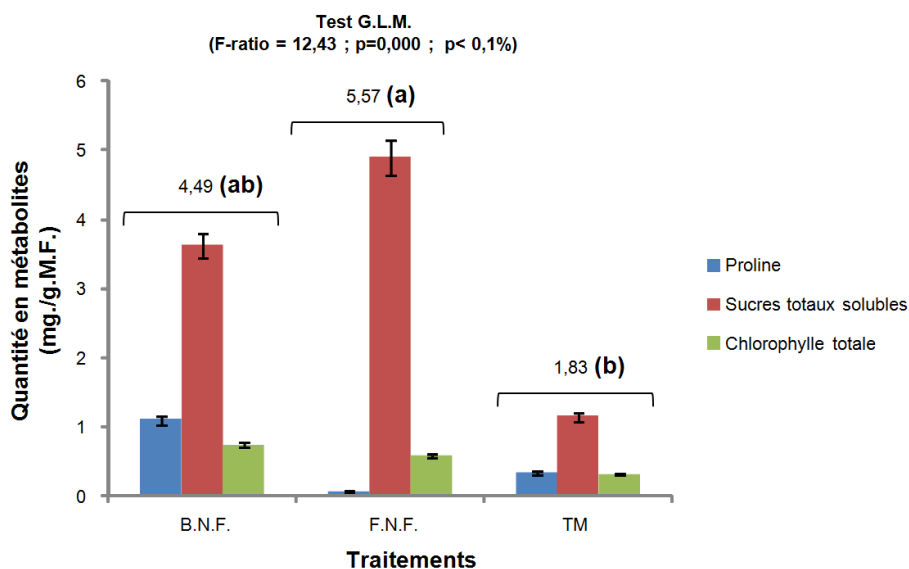


Figure 1: Effet des différents biofertilisants non formulés à base de thé de vermicompost sur la variation des métabolites de la fève

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

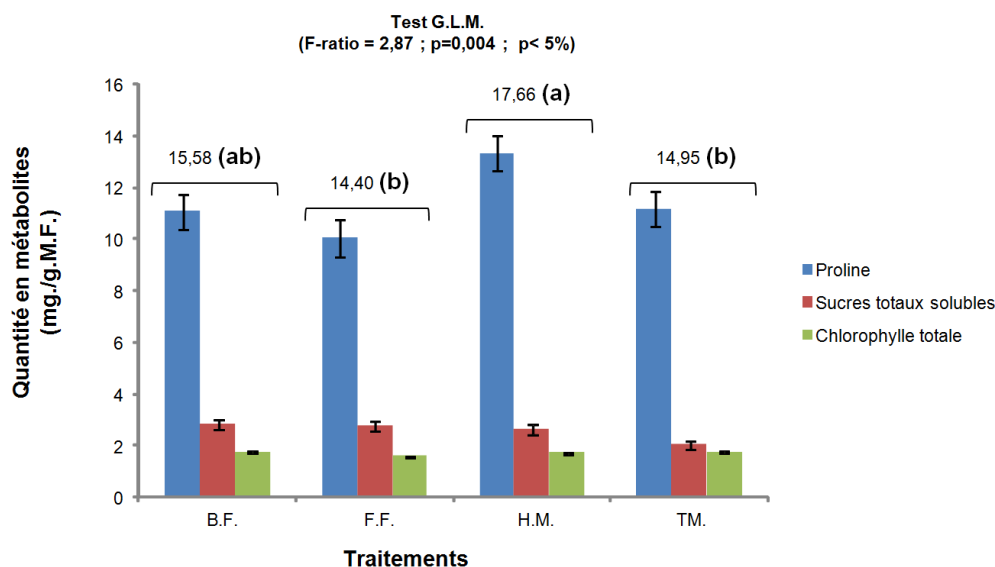


Figure 2: Effet des différents biofertilisants formulés sur la variation des métabolites de la fève  
B.F. : brut formulé, F.F. : fermenté formulé, H.M. : produit homologué, TM : témoin.

## 2. Effet des différents biofertilisants à base du thé de vermicompost sur la réduction des populations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

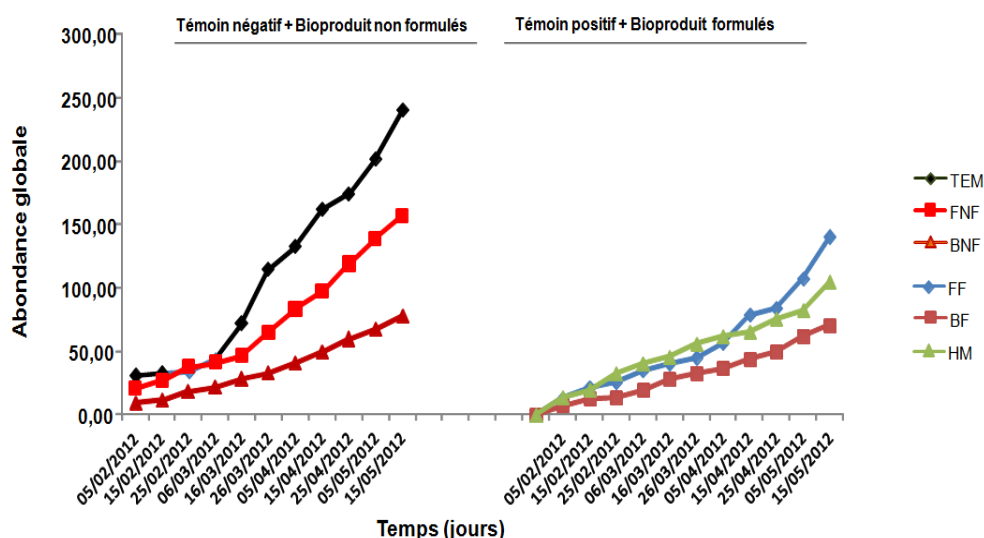
Cette partie des résultats est consacrée à la présentation des fluctuations des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* en réaction à l'application des différents biofertilisants. De même, une rétrospective a été effectuée concernant le potentiel biotique des femelles à travers l'évaluation de la fécondité. Afin de visualiser l'effet répressif des biofertilisants, 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 biofertilisants bruts (FNF et BNF) par comparaison à un témoin négatif (eau courante) et les biofertilisants formulés (FF et BF) par comparaison à un biofertilisant homologué (extrait d'algues marine) considéré comme témoin positif.

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

La figure 3 expose les profils des abondances globales d'*Aphis fabae*. Les biofertilisants bruts et formulés montrent leur effet contraignant graduellement par comparaison au témoin négatif et au témoin positif sur le plan de la capacité de réduction de la disponibilité d'*A. fabae*. Au-delà de la 3<sup>ème</sup> décade,

les biofertilisants non formulés (BNF et FNF) manifestent d'avantage leur effet sur l'abondance d'*A. fabae*, mais le thé de vermicompost brut non formulé (BNF) se distingue du vermicompost fermenté non formulé (FNF) en termes d'efficacité. Concernant l'activité des biofertilisants formulés, le thé de vermicompost brut (BF) se distingue également du thé de vermicompost fermenté formulé (FF).

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 différences significatives enregistrées par comparaison des abondances d'*Aphis fabae* confirment l'effet restrictif du BNF et du FNF sur l'abondance globale du puceron noir de la fève par rapport au témoin. Des différences similaires ont été enregistrées en termes d'effets limitatifs du BF et FF sur la disponibilité d'*Aphis fabae* par référence au biofertilisant homologué (HM). La visualisation simultanée des valeurs des moyennes des abondances ainsi que leurs probabilités associées nous informe de la performance du BNF et du BF au détriment du FNF et du FF (Tableau 1).

Figure 3: Effet des différents biofertilisants 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.

Tableau 1: Comparaison par paire de la variation des abondances globales d'*Aphis fabae* sous l'effet des différents biofertilisants

	TEM	FNF	TEM	BNF	BNF	FNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
Nombre d'échantillon	11		11		11		11		11		11	
<b>Moyenne</b>	<b>112,3</b>	<b>75,5</b>	<b>112,3</b>	<b>37,91</b>	<b>37,91</b>	<b>75,5</b>	<b>58,8</b>	<b>34,3</b>	<b>58,8</b>	<b>54,3</b>	<b>34,3</b>	<b>54,3</b>
	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
Test Wilcoxon (p)	<b>0,0058**</b>		<b>0,0033**</b>		<b>0,0033**</b>		<b>0,0033**</b>		0,5937 <sup>NS</sup>		<b>0,0033**</b>	
Test Monte Carlo (p)	<b>0,0028**</b>		<b>0,0010**</b>		<b>0,0011**</b>		<b>0,0009***</b>		0,6380 <sup>NS</sup>		<b>0,0009***</b>	

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%

La comparaison des moyennes des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae* par paire fait ressortir l'effet individualisé et significatif des différents types de biofertilisants à base de thé de vermicompost sur la structuration populationnelle du puceron noir de la fève. Les probabilités obtenues par les tests de Wilcoxon et de Monte Carlo illustrent 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*. Dans le cas des biofertilisants formulés, le même constat est observé avec l'hégémonie du BF par rapport au FF et HM pour ce qui est du rabattement significatif des différentes formes biologiques d'*A. fabae* (Tableau 2).

## 2.2. Estimation de l'activité réductrice des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des biofertilisants

Dans l'esprit de mieux visualiser la capacité des différents biofertilisants à réduire les populations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*, nous avons été conduits à tracer le Box Plot (Fig. 4). Cette présentation graphique de données statistiques issues du test de Dunnett permet d'exposer le profil essentiel des populations résiduelles. Ce dernier a permis de dire que les différents biofertilisants s'ajustent pareillement en termes de réduction de l'abondance des populations globales. Ainsi, les populations résiduelles d'*Aphis fabae* se rapprochent de la toxicité ( $PR < 30\%$ ) par l'application du brut non formulé (BNF) et formulé (BF) en référence aux valeurs faibles du premier quartile ( $Q_1$ ). En revanche, les valeurs du quartile 1 ( $Q_1$ ) montrent clairement le rapprochement de l'effet du fermenté non formulé (FNF) et formulé (FF) sur les populations globales en termes de toxicité moyenne ( $30\% < PR < 60\%$ ) (Fig. 4a).

Tableau 2: Comparaison par paire de la variation des abondances des formes biologiques d'*Aphis fabae*

Nombre d'échantillon	TEM	FNF	TEM	BNF	FNF	BNF	FF	BF	FF	HM	BF	HM
	11	54,41	11	23,23	11	23,23	11	21,66	11	36,18	11	36,18
<b>Moyenne Larves</b>	82,53	54,41	82,53	23,23	54,41	23,23	40,15	21,66	40,15	36,18	21,66	36,18
Test Wilcoxon (p)	0,0044**		0,0033**		0,0033**		0,0033**		0,5336 <sup>NS</sup>		0,0033**	
Test Monte Carlo (p)	0,0018**		0,0011**		0,0010**		0,0009***		0,5743 <sup>NS</sup>		0,0008***	
<b>Moyenne Adultes Aptères</b>	21,98	17,83	21,98	12,80	17,83	12,80	16,38	11,21	16,38	14,87	11,21	14,87
Test Wilcoxon (p)	0,0207*		0,0033**		0,0033**		0,0033**		0,0911*		0,0033**	
Test Monte Carlo (p)	0,0188*		0,0010**		0,0011**		0,0010**		0,1013 <sup>NS</sup>		0,0011**	
<b>Moyenne Adultes Ailés</b>	7,86	3,3	7,86	1,87	3,32	1,87	2,35	1,48	2,35	3,34	1,48	3,34
Test Wilcoxon (p)	0,0113*		0,0243*		0,2632 <sup>NS</sup>		0,0477*		0,2282 <sup>NS</sup>		0,0159*	
Test Monte Carlo (p)	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%

Globalement, les profils dressés par les taux des populations résiduelles font apparaître que le thé de vermicompost brut (BNF) et le thé de vermicompost formulé (BF) arrivent à réduire les formes biologiques larvaire et adultes par comparaison au thé de vermicompost fermenté non formulé (FNF) ( $PR \leq 30\%$ ) (Fig. 4 b, c, d). Les valeurs du premier quartile ( $Q_1$ ) les plus faibles sont désormais signalées chez les populations larvaires et les populations des adultes ailés soumises aux applications du thé à vermicompost brut (BNF) (Fig. 4 b, d).

En finalité, les valeurs de la médiane indiquent que le recours à l'utilisation du thé de vermicompost non formulé (BNF) conduit à la réduction des populations larvaires ( $PR < 30\%$ ). En revanche, le recours à l'utilisation du thé à vermicompost brut et fermenté sous sa forme formulée ou non formulé permettent d'exercer une toxicité moyenne sur les populations des adultes ailés ( $30\% < PR < 60\%$ ).

L'application du test One way anova (Tableau 3), nous permet de déduire que le taux des populations résiduelles signalé sur les plants de fève varie significativement en fonction des différents types du thé de vermicompost appliqué et des différentes formes biologiques d'*Aphis fabae*.

L'analyse de la dynamique des populations résiduelles globales d'*A.fabae* sous l'effet des différents biofertilisants à base du thé de vermicompost fait ressortir une différence très significative ( $p < 0,1\%$ ). En effet le nombre d'individus augmente significativement en fonction des types du thé de vermicompost. Cette disponibilité atteint son minimum sous l'effet du thé de vermicompost brut non formulé (BNF). Celle soumise au thé de vermicompost brut formulé (BF) reste relativement moins importante, alors le vermicompost fermenté non formulé (FNF) et formulé (FF) conduisent pareillement les populations globales à des taux assez importants. Par référence aux valeurs très significatives des probabilités associées aux taux des populations résiduelles des populations larvaire et adulte aptère ( $p < 1\%$ ), nous constatons que les formes larvaires et adultes ailées affichent une gradation ascendante en terme de populations résiduelles obéissant au gradient  $BNF < BF < FNF < FF$ . Cette gradation fait ressortir que les différents biofertilisants exercent un effet réprécif significatif sur la majorité des formes biologiques d'*A. fabae*.

Tableau 3: Variation des populations résiduelles des formes biologiques du puceron noir de la fève sous l'effet des différents types du thé de vermicompost

	Test	Test Post Hoc de Tukey			
	One way anova	FNF	BNF	FF	BF
Population globale	$1,82 \times 10^{-6}$ ***	68,29±5,45 c	36,34±2,42 a	68,37±4,67 c	50,39±3,16 b
Population larvaire	$6,81 \times 10^{-8}$ ***	60,43±4,60 bc	30,33±1,55 a	71,65±4,89 c	48,15±2,16 b
Population adulte aptère	$1,91 \times 10^{-3}$ **	81,32±3,69 b	59,86±4,09 a	73,78±5,09 b	56,13±4,14 a
Population adultes ailé	0,477 <sup>NS</sup>	49,37±2,84	41,04±1,74	54,78±2,66	41,18±2,99

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

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



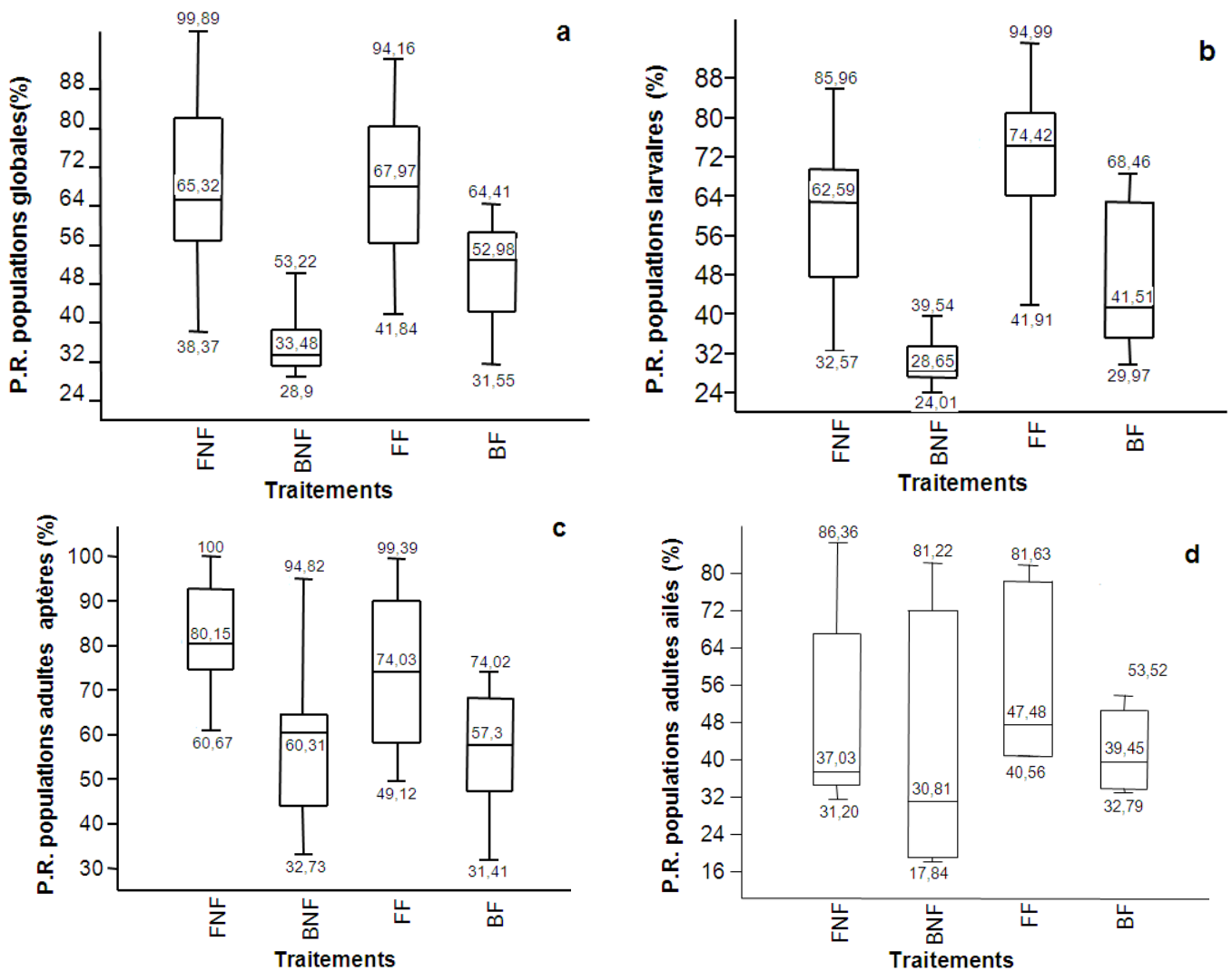


Figure 4: Variation des populations résiduelles du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des biofertilisants ; TEM : témoin, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF: fermenté formulé, BF : brut formulé, HM : produit homologué.

### 2.3. Estimation de l'activité réductrice de la fécondité du puceron noir de la fève *Aphis fabae* sous l'effet des biofertilisants

L'effet recherché à travers l'application foliaire de différents types de biofertilisants à base du thé de vermicompost est de révéler leur capacité réductrice du potentiel biotique du puceron noir de la fève *A. fabae*. Dans cette optique, nous avons choisi d'apprécier la fécondité des adultes sous l'effet du thé de vermicompost brut et fermenté non formulés (BNF et FNF) et formulés (BF et FF) par comparaison aux témoins (Fig. 5). Le diagnostic des profils temporels montre une réduction graduelle de la fécondité de manière assez contrastée sous l'effet du thé de vermicompost brut et fermenté non formulés (BNF et FNF) par rapport au témoin négatif

(Fig. 5). Sous l'effet des biofertilisants formulés (BF et FF), la perturbation de la fécondité est très marquée. La tendance des profils temporels de la fécondité reflète une similarité dans l'action réductrice du potentiel biotique d'*A.fabae* suite à la pression exercée par les différents biofertilisants formulés en l'occurrence le thé à vermicompost brut et fermenté formulé (BF et FF) et le biofertilisant homologué (HM) (Fig. 5).

Les variations numériques notées dans la fécondité font ressortir le facteur biofertilisant organique comme élément de réduction du potentiel biotique des adultes d'*A. fabae*. Les écarts de la fécondité sont confirmés par les probabilités associées calculées mutuellement par le test de Wilcoxon et le test de Monte Carlo. Elles précisent que la fécondité sous l'effet des biofertilisants non formulés,

renseigne la présence d'une réduction très significative par comparaison au témoin. Le BNF exhibe un effet réducteur significativement marqué par rapport au FNF (Tableau 4). Contrairement aux biofertilisants

bruts, la fécondité se trouve similairement influencée sous l'effet des biofertilisants formulés (BF et FF), que sous l'effet du biofertilisant homologué (HM) ( $p > 5\%$ ) (Tableau 4).

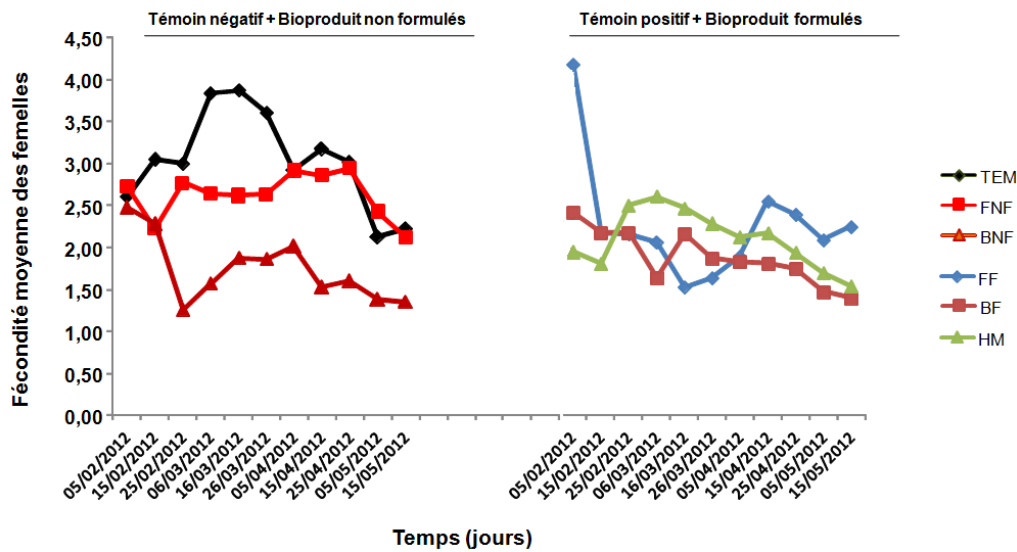


Figure 5: Effet des différents bioproducts sur la fécondité moyenne des femelles d'*Aphis fabae*  
 TEM : témoin négatif, FNF: fermenté non formulé, BNF : brut non formulé, FF: fermenté formulé,  
 BF : brut formulé, HM : produit homologué (témoin positif)

Tableau 4: Comparaison par paire de la variation de la fécondité des femelles d'*Aphis fabae* sous l'effet des différents biofertilisants

	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>
Test Wilcoxon (p)	<b>0,0217*</b>		<b>0,0033**</b>		<b>0,0044**</b>		0,1260 <sup>NS</sup>		0,6566 <sup>NS</sup>		0,1679 <sup>NS</sup>	
Test Monte Carlo (p)	<b>0,0169*</b>		<b>0,0010**</b>		<b>0,0018**</b>		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, NS: Non significative, \* : Significative à 5%, \*\* : Significative à 1%

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

Cette section de l'étude vise la modélisation de la dynamique des populations d'*A.fabae* par intégration de la qualité phytochimique de la fève. Le recours à la modélisation permet de relier les comportements observés (variation du potentiel biotique et installation des formes biologiques) à l'hétérogénéité spatiale de la qualité nutritionnelle du support nourricier afin d'anticiper les pics d'émergence du puceron

noir de la fève et conduire des actions de lutte adaptées.

#### 3.1. Simulation de la disponibilité des formes biologiques d'*Aphis fabae* en fonction de la qualité phytochimique de la fève

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 5), nous a permis d'obtenir plusieurs modèles de prévision de la fluctuation numérique d'*A.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 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'*A.fabae* est proportionnelle à la fluctuation des sucres totaux solubles (STS) et inversement proportionnelle à la fluctuation de la proline (Pro) (Tableau 5).

Tableau 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 biofertilisants

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin (TEM)	Chlorophylle totale	0,926	0,962	Abd= 99,41 Chl - 0,65 Abd= 82,35 Chl - 0,65
Brut Non Formulé (BNF)	Chlorophylle totale	0,922	0,960	Abd= 24,10 Chl - 2,52 Abd= 19,88 Chl - 2,52
Brut Formulé (BF)	Chlorophylle totale Sucres Totaux Solubles	0,934	0,966	Abd= 5,37 STS + 7,18 Chl - 3,46 Abd= 3,49 STS + 2,4 Chl - 3,46
Fermenté Non Formulé (FNF)	Chlorophylle totale	0,935	0,967	Abd= 27,41 Chl + 4,20 Abd= 23,01 Chl + 4,20
Fermenté Formulé (FF)	Sucres Totaux Solubles	0,956	0,978	Abd= 7,58 STS - 1,78 Abd= 6,58 STS - 1,78
Produit Homologué (HM)	Proline Sucres Totaux Solubles	0,832	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, Pro :Proline

### 3.2. 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 épuisant 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 6).

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 6).

Tableau 6: Présentation des équations d'estimation de la fécondité moyenne d'*Aphis fabae* en utilisant la qualité phytochimique de la fève soumise aux différents biofertilisants

Traitements	Variables	R <sup>2</sup>	r	Equations
Témoin (TEM)	Proline	0,284	-0,53	Fec = -1,44 Pro - 3,91 Chl + 5,10
	Chlorophylle totale			Fec = -2,84 Pro - 6,51 Chl + 5,10
Brut Non Formulé (BNF)	Sucres Totaux Solubles	0,359	-0,601	Fec = -0,07 STS - 0,36 Chl + 2,51
	Chlorophylle totale			Fec = -0,13 STS - 0,82 Chl + 2,51
Brut Formulé (BF)	Sucres Totaux Solubles	0,770	-0,879	Fec = -0,18 STS + 2,46 Fec = -0,24 STS + 2,46
Fermenté Non Formulé (FNF)	Proline	0,132	-0,364	Fec = -0,82 Pro - 0,17 Chl + 3,09
	Chlorophylle totale			Fec = -4,42 Pro - 0,65 Chl + 3,09
Fermenté Formulé (FF)	Proline	0,220	-0,467	Fec = -0,01 Pro + 0,1 STS + 2,96
	Sucres Totaux Solubles			Fec = -0,07 Pro - 0,26 STS + 2,96
Produit Homologué (HM)	Sucres Totaux Solubles	0,335	-0,578	Fec = -0,35 STS + 0,82 Chl + 2,10
	Chlorophylle totale			Fec = -0,51 STS + 0,48 Chl + 2,10

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

## DISCUSSION

Cette étude a eu pour objectif principal de mettre à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle la restriction de l'abondance des populations d'*Aphis fabae* et la gradation positive des quantités des métabolites primaires et secondaires de *Vicia faba* sont positivement corrélés à l'apport des biofertilisants à base de vermicompost. Les différents états d'expressions phytochimiques qui ont été créés expérimentalement par apport des biofertilisants et qui ont produit différents niveaux d'attaque sur *V. faba* confirment cette hypothèse.

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

Le taux global des sucres totaux solubles et de chlorophylle totale accumulés chez des plantules de fève traitées par rapport au témoin est en faveur du fermenté non formulé (FNF) et du brut non formulé (BNF). Spécifiquement, après sécurisation du principe actif (thé de vermicompost) par le processus de formulation, la proline et les sucres totaux solubles se sont exprimés en quantité très importante par rapport à la chlorophylle sous l'effet du brut formulé (BF) et le fermenté formulé (FF). Les observations faites sur d'autres espèces comme la tomate et le concombre, ainsi que le peu des résultats publiés pour la fève montrent des résultats similaires [19, 20, 21].

Parmi les mécanismes proposés pour expliquer la relation positive entre la modulation des métabolites primaires de la fève et la nature des biofertilisants à base de vermicompost, le facteur explicatif majeur mis en évidence dans notre expérimentation est le taux de sucres totaux solubles. Ces résultats sont à rapprocher de ceux observés par Ram Rao *et al.* [22] qui révèlent également qu'un double apport de biofertilisants influence significativement la biosynthèse des hydrates de carbone dans les feuilles de moutarde. Cette accumulation plus élevée des sucres dans les feuilles dans des parcelles traitées au compost pourrait être due à un taux de photosynthèse plus élevé. Nos résultats confirment également les résultats antérieurs d'Uprety et Yadava [23] qui avancent que les forts taux d'accumulation des sucres totaux solubles dans les feuilles des plantes cultivées dans des procédés de fertilisation aux composts, induisent des changements d'hydrates de carbone qui revêtent une importance particulière en raison de leur relation directe avec des processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration.

### 2. Effet des différents biofertilisants à base du thé de vermicompost sur la réduction des populations du puceron noir de la fève *Aphis fabae*

Les biofertilisants non formulés (BNF et FNF) manifestent d'avantage leur effet sur l'abondance d'*A. fabae*, où le thé de vermicompost brut non formulé (BNF)

se distingue du vermicompost fermenté non formulé (FNF) en termes d'efficacité sur la capacité de réduction de la disponibilité d'*A. fabae*.

Le thé de vermicompost brut (BF) se distingue également du thé de vermicompost fermenté formulé (FF) concernant l'activité des biofertilisants formulés. Les différences d'abondance des formes biologiques d'*A. fabae* doivent s'exprimer en faveur des apports du thé de vermicompost. En effet, Norman *et al.* [24] ont montré que les mécanismes sous-jacents de la résistance aux attaques d'insectes, en raison d'utilisation de vermicomposts, ne peuvent être identifiés. Il semble probable qu'il y ait trois composantes environnementales principales qui pourraient contribuer à la lutte contre les insectes nuisibles ou les maladies: (i) degré de disponibilité de l'hôte; (ii) la présence de l'organisme nuisible; et (iii) un environnement favorable à l'attaque par les organismes nuisibles. Les relations entre ces trois composantes sont essentielles au succès des programmes de lutte contre les maladies et les parasites.

Un deuxième mécanisme envisage des changements des propriétés de tissus, qui à ce stade de l'étude s'avère plus difficile à mettre en évidence. Mais nous suggérons que la connaissance des exigences nutritionnelles d'une plante, associée à la dynamique et à l'écologie des organismes nuisibles, peut souvent constituer une base excellente pour un efficace monitoring des ravageurs. El-Zik et Frisbie [25], estiment que les quantités et le timing des apports de fertilisants inorganiques ou organiques peuvent stimuler ou supprimer les populations de ravageurs. En conditions de fertilisation azotée la croissance végétale est favorisée, ce qui peut fournir un micro-environnement favorable pour un développement accru des ravageurs et des lésions parasitaires. Bien qu'il existe une vaste littérature sur le potentiel des engrais organiques à réduire l'incidence des infestations d'insectes, Rao *et al.* [26] et Rao [27], incriminent deux mécanismes: (i) disponibilité différentielle des nutriments minéraux des plantes, soit 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,

(ii) changements dans les caractéristiques de la plante notamment leurs modèles de croissance tels que le début de la sénescence, l'épaisseur et le degré de lignification des cellules épidermiques, les concentrations de sucre dans l'apoplaste amino-N dans la sève du phloème, et les niveaux de composés végétaux secondaires.

Les résultats montrent que la tendance des profils temporels de la fécondité reflète une similarité dans l'action réductrice du potentiel biotique d'*A. fabae* suite à la pression exercée par le thé de vermicompost brut et fermenté non formulés (BNF et FNF) et les biofertilisants formulés (BF et FF). Ces observations montrent donc bien à quel point la physiologie d'*A. fabae* est sensible aux variations d'intensité des contraintes subies par la fève au cours des apports des biofertilisants à base de vermicompost. Razmjou *et al.* [28], ont montré que le développement, la fécondité et d'autres paramètres biologiques d'*A. gossypii* ont été affectés par les différentes concentrations de vermicompost apportées. Les mêmes auteurs avancent que les pucerons élevés sur des plantes cultivées dans un sol amendé en vermicompost ont eu des temps de développement plus courts, une faible longévité chez les adultes et une fécondité inférieure à celle des pucerons évoluant sur des plantes cultivées dans un sol sans vermicompost.

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

L'analyse de régression linéaire multiple a été faite sur la qualité phytochimique de la fève pour estimer la dynamique des populations d'*Aphis fabae*. Les variables explicatives utilisées ont été les sucres totaux solubles (STS) et la chlorophylle totale (Chl). Les modèles linéaires montrent qu'avec une seule variable, Chl on arrive à expliquer la fluctuation des populations d'*A. fabae* sous l'effet des biofertilisants à base de vermicompost non formulés. Cependant, les modèles linéaires prédictives de la fluctuation des populations d'*A. fabae* sous l'effet des biofertilisants à base de vermicompost non formulés exigent deux variables STS et Chl.

De même, pour la prédiction de la fécondité d'*A. fabae* l'analyse de régression linéaire montre que le meilleur ajustement se fait avec deux variables, proline (Pro) et chlorophylle totale (Chl) ou encore sucres totaux solubles (STS) et chlorophylle totale (Chl). Nous supposons que les biofertilisants à base de vermicompost ont probablement entraîné de grandes différences dans le potentiel physiologique de la plante, ce qui peut expliquer en partie la fluctuation et la fécondité controversée d'*A. fabae*.

Mondal *et al.* [29] et Banerjee *et al.* [30], signalent que l'application de vermicompost a entraîné une augmentation graduelle de la teneur totale en chlorophylle par rapport au témoin. La biosynthèse élevée de la chlorophylle et de la photosynthèse dans les feuilles des plantes cultivées sous vermicompost a engendré un niveau plus élevé en sucres totaux solubles. Ces conclusions révèlent également que les niveaux de changements positifs en métabolites primaires revêtent une importance particulière en raison de leur relation directe avec l'ensemble des processus physiologiques des plantes. En revanche, Sheteawi et Tawfik [31], signalent que la synthèse et l'accumulation de métabolites secondaires tels que la proline dans les feuilles de moutarde est très fréquente sous l'influence du vermicompost.

## CONCLUSION

La présente étude conclut que l'application de biofertilisants à base de thé de vermicompost brut 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. L'utilisation efficace des différents biofertilisants est reflétée par les perturbations signalées sur la fécondité et la disponibilité des populations d'*Aphis fabae*. La modélisation de la dynamique des populations d'*A. fabae* par intégration de la qualité phytochimique de la fève présentée dans cette étude sera utile pour améliorer la production végétale intégrée.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Aroun M.E.F. (1985).** Les aphides et leurs ennemis naturels en verger d'agrumes de la Mitidja. Thèse magister. Inst, Nat, Agro., El Harrach, Alger, 125p.
- [2]. **Blackman. R.L. & Eastop.V.F. (2000).** *Aphids on the world's crops: an identification and information guide*, 2<sup>nd</sup> Ed. Chichester. London, United Kingdom, John Wiley & Sons. 476 pp.
- [3]. **Rahman S.S., Rahman M., Mizanur M., Khan R. & Begum S.A. (2007).** Ethanol extract of melgoda (*Macaranga postulata*) for repellency, insecticidal activity against rice weevil (*Sitophilus oryzae*). *Afri J of Biotech* 6: 379-383.
- [4]. **Chapin F.S. (2000).** Consequences of changing biodiversity, *Nature* 405(6783): 234-242, <http://www.nature.com/nature/journal/v405/n6783/full/405234a0.html>
- [5]. **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: 753-762.
- [6]. **Edwards C.A., Dominguez J. & Arancon N.Q. (2004).** *The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence*, pp. 397-420. In S. H. Shakir and W.Z.A. Mikhail (eds.), *Soil zoology for sustainable development in the 21st century*. Self-Publisher, Cairo, Egypt.
- [7]. **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 E 716.
- [8]. **Chaoui H., Edwards C.A., Brickner M., Lee S. & Arancon N. (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.

- [9]. **Acta. (2015)**. Index phytosanitaire 51 ème. Ed. Acta. 985p.
- [10]. **Pathma J. & Sakthivel N. (2012)**. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus*, 26 (1). pp:1-19.
- [11]. **Matlock J.M. and 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), 1–11
- [12]. **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*, 290p.
- [13]. **Saladin G., Magne C. & Clement C. (2003)**. Stress reactions in *Vitis vinifera L.* following soil application of the herbicide flumioxazin, *Chemosphere* 53: 199–206.
- [14]. **Magne C. & Larher F. (1992)**. High sugar content of extracts interferes with colorimetric determination of amino acids and free proline. *Analytical biochemistry*, 200(1): 115-118.
- [15]. **Lichtenthaler H.K. (1987)**. Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic membrane. *Methodology Enzyme journal* 148:350–82.
- [16]. **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 <http://dx.doi.org/10.3917/med.175.0039>
- [17]. **SPSS INC (2007)**. SYSTAT version 7, The System for Statistics Inc, Evanston, IL.
- [18]. **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.
- [19]. **Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Bachman, G., Metzger, J.D. & Shuster W. (2000)**. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo Biologia* 44: 579–590.
- [20]. **El-Sherbeny S.E., Khalil M.Y. & Naguib N.Y. (2005)**. Influence of compost levels and suitable spacing on the productivity of *Sideritis montana L* plants recently cultivated under Egyptian conditions. *Bulletin. Fac Cairo University* 56: 373-392.
- [21]. **Zhao X., Carey E. E., JE Y., Wang W. & Iwamoto (2007)**. Influence of organic fertilization, high tunnel environment, and post harvest storage on phenolic compounds in lettuce *Horticulture Science* 42: 71-76.
- [22]. **Ram Rao D.M., Kodandara Maiah J., Reddy R.S., Katiyar & Rahmathulla V.K. (2007)**. Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characteristics under semiarid condition *Caspian Journal of Environmental Science* 5(2): 111-117.
- [23]. **Uprety M., Yadava R. B.R. (1985)**. Effect of CCC on lodging, yield, and grain quality of Oat (*Avena sativa*) cultivar Kent *Indian Journal Plant Physiol* 28(1): 103-106.
- [24]. **Norman Q., Arancon A., Clive A., Edwards N., Erdal N., Yardim I., Thomas J., Oliver P., Robert J., Byrne I. & Geaoge Keeney K. (2007)**. Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus sp*) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Protection journal*. 26: 29- 39.
- [25]. **El-Zik K.M. & Frisbie R.E. (1991)**. Intergrated Crop Management Systems for pest control. *In Handbook of pest Management on Agriculture*, vol. 3, Ed. Pimental, D. pp.3- 104. Boca Raton, FL. CRC Press;
- [26]. **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) : 43- 46.
- [27]. **Rao K.R. (2002)**. Induce host plant resistance in the management of sucking insect pests of groundnut. *Annals of Plant Protection Sciences* 10(6): 45- 50.
- [28]. **Razmjou J., Mohammadi M. & Hassanpour M. (2011)**. Effect of vermicompost and cucumber cultivar on population growth attributes of the melon aphid (*Hemiptera: Aphididae*). *Journal of Economic Entomology*. 104 (4): 1379- 1383.

- [29]. **Mondal T., Datta J. K. & Mondal N.K. (2016).** Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and biochemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2): 135–144.
- [30]. **Banerjee A., Datta J.K. & Mondal N.K. (2012).** Biochemical changes in leaves of mustard under the influence of different fertilizers and cycocel. *J. Agric. Technol.* 8 (4): 1397–1411.
- [31]. **Sheteawi S.A. & Tawfik K. M., (2007).** Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mung bean (*Vigna radiata*) growth and yield. *J. Appl. Sci. Res.* 3 (3) : 251–262.